

ISSN 0042-8469



4

UDC 623 + 355/359

---

GODINA LVIII OKTOBAR-DECEMBAR 2010.

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](mailto:nebojsa.gacesa@mod.gov.rs)

tel.: 011/3349-497

UREĐIVAČKI ODBOR

Brigadni general dr *Danko* Jovanović, dipl. inž. (predsednik Odbora); brigadni general dr *Mladen* Vuruna, dipl. inž.; pukovnik dr *Slobodan* Ilić, dipl. inž. (zamenik predsednika Odbora); pukovnik dr *Branislav* Jakić, dipl. inž.; pukovnik dr *Mladen* Pantić, dipl. inž.; pukovnik dr *Miljko* Erić, dipl. inž.; pukovnik dr *Jugoslav* Radulović, dipl. inž.; pukovnik dr *Marko* Andrejić, dipl. inž.; pukovnik dr *Goran* Dikić, dipl. inž.; pukovnik dr *Bojan* Zrnić, dipl. inž.; pukovnik dr *Željko* Ranković, dipl. inž.; pukovnik *Zoran* Patić, dipl. inž.; pukovnik dr *Zoran* Rajić, dipl. inž.; dr *Zoran* Filipović, dipl. inž.; dr *Dragoljub* Vujić, dipl. inž.; dr *Slobodan* Jaramaz, dipl. inž.; potpukovnik mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž. (sekretar Odbora)

Adresa redakcije:

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,

Braće Jugovića 19, Beograd

[http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni\\_casopisi/vojnotehnicki\\_glasnik.html](http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni_casopisi/vojnotehnicki_glasnik.html)

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

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

Pretplata: e-mail: [pretplata@odbrana.mod.gov.rs](mailto:pretplata@odbrana.mod.gov.rs);

tel.-fax: 3241-009; tekući račun: 840-49849-58

*Rukopisi se ne vraćaju*

Časopis izlazi tromesečno

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b

# SADRŽAJ

## NAUČNI ČLANCI

Mrdak R. <i>Mihajlo</i> Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS – NICR/AL prevlake .....	5–16
Jovanović M. <i>Miroslav</i> Analiza niskofrekventnog spektra vibracija na elementima strukture helikoptera Gazela .....	17–36
Andrejić D. <i>Marko</i> Sokolović S. <i>Vlada</i> Milenkov A. <i>Marjan</i> Koncept razvoja službi logistike .....	37–62
Regodić D. <i>Miodrag</i> Primena satelitskih snimaka za dopunu sadržaja topografskih karata ....	63–85

## STRUČNI ČLANCI

Nikolić V. <i>Nebojša</i> Implementacija metode automatizovanih nezavisnih ponavljanja u simulaciji sistema masovnog opsluživanja .....	86–101
Perić R. <i>Sreten</i> Monitoring stanja kroz testove analize ulja .....	102–133
Jovanović Ž. <i>Boriša</i> Algoritmi selektivnog šifrovanja – pregled sa ocenom performansi .....	134–154
Lazić M. <i>Goran</i> Šiljak D. <i>Zdenko</i> Jovandić B. <i>Stevo</i> Protivoklopni vođeni projektili zapadne Evrope, Izraela i Indije .....	155–171
Jelenković B. <i>Natalija</i> Matematika u vojno-tehničkim dostignućima .....	172–179
Tešanović M. <i>Branko</i> Novaković Ž. <i>Srđan</i> Tehnika za proizvodnju hrane u terenskim uslovima .....	180–200
Gaćeša N. <i>Nebojša</i> 54. konferencija za elektroniku telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN 2010 .....	201–204
SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA .....	205–209
POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA .....	210–214

# CONTENTS

## SCIENTIFIC PAPERS

Mrdak R. <i>Mihailo</i> Effect of the powder deposition rate on the mechanical properties and the structure of the APS – NICR/AL coating .....	5–16
Jovanović M. <i>Miroslav</i> Analysis of low frequency vibrations on the structural connection elements of the Gazelle helicopter .....	17–36
Andrejić D. <i>Marko</i> Sokolović S. <i>Vlada</i> Milenkov A. <i>Marjan</i> Concept development of logistic services .....	37–62
Regodić D. <i>Miodrag</i> An application of satellite images for improving the content of topographic maps .....	63–85

## PROFESSIONAL PAPERS

Nikolić V. <i>Nebojša</i> Implementation of automated independent replications in the simulation of queueing systems .....	86–101
Perić R. <i>Sreten</i> Condition monitoring through oil analysis tests .....	102–133
Jovanović Ž. <i>Boriša</i> Selective encryption algorithms – overview with performance evaluation .....	134–154
Lazić M. <i>Goran</i> Šiljak D. <i>Zdenko</i> Jovandić B. <i>Stevo</i> Anti-tank guided missiles of western Europe, Israel and India .....	155–171
Jelenković B. <i>Natalija</i> Mathematics in military-technical achievements .....	172–179
Tešanović M. <i>Branko</i> Novaković Ž. <i>Srđan</i> Technology for food preparation in field conditions .....	180–200
Gaćeša N. <i>Nebojša</i> 54th conference for electronics, telecommunications, computers, automatic control and nuclear engineering ETRAN 2010 .....	201–204
MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT .....	205–209
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS .....	210–214

# UTICAJ BRZINE DEPOZICIJE PRAHA NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE I STRUKTURU APS – NICR/AL PREVLAKE

Mrdak R. *Mihailo*, Institut za mikrotalasnu tehniku  
i elektroniku IMTEL, Beograd

UDC: 669.245.7'268'71:621.793.7

### Sažetak:

U radu su prikazani rezultati ispitivanja atmosferskih plazma-sprej prevlaka APS-NiCr/Al. Kompozitni prah NiCr/Al koji se sastoji od NiCr čestica obloženih finim česticama Al u procesu depozicije omogućuje egzotermnu reakciju. Reakcija ovih metala dovodi do formiranja samovezujućih NiCrAl prevlaka koje poseduju jedinstvene kombinacije osobina. Radi dobijanja najboljih strukturnih i mehaničkih karakteristika izvršena je optimizacija parametara depozicije. U ovom istraživanju urađene su tri grupe uzoraka prevlake NiCrAl sa različitim brzinama depozicije praha da bi se dobili depoziti velike čvrstoće i žilavosti. Kod prve grupe uzoraka brzina depozicije praha bila je 50 g/min, kod druge 40 g/min, a kod treće 30 g/min. Procena osobina depozita rađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom  $HV_{0.3}$  i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Metalografska procena strukture rađena je tehnikom svetlosne mikroskopije. Verifikovane prevlake primenjene su za zaštitu i revitalizaciju delova turbomlaznih motora izloženih oksidaciji na povišenim temperaturama.

Ključne reči: *atmosferski plazma-sprej (APS), mikrostruktura, interfejs, mikrotvrdoća, čvrstoća spoja, oksidacija, vrela korozija.*

## Uvod

Plazma-sprej proces ima široku primenu u mnogim industrijama, a koristi se radi poboljšanja performansi ili resursa komponenti. Ovaj proces je našao široku primenu u mnogim industrijama kao što su: vazdu-

hoplovstvo, petrohemija, automobilska industrija i dr. Termo sprej prevlake imaju nekoliko prednosti u odnosu na druge tehnike inženjerstva površina. Pri primeni ove tehnologije supstrat se ne topi i omogućuje mu da zadrži originalne karakteristike, kao što su hemijski sastav, struktura i mehanička svojstva. Jedna od karakteristika procesa je da se između deponovanih čestica praha i supstrata ostvaruje mehanička veza [1]. Plazma-sprej proces je jedan od najefikasnijih termičkih procesa i konfigurisan je tako da mlaz čestica plazme ima širok opseg temperature i brzine. Tipičan raspon temperature plazme je 8700–12000°C i brzine od 80 do 400 ms<sup>-1</sup> [2].

Kompozitni prah NiCr/Al sastoji se od čestica (jezgara)legure NiCr obloženih finim česticama Al. Pri plazma-sprej depoziciji dolazi do egzotermne reakcije između metala pri čemu se formiraju prevlake koje poseduju jedinstvene kombinacije osobina. To su guste i neporozne prevlake velike čvrstoće i žilavosti sa vezom fuzionog tipa za metalnu osnovu. Deponovane prevlake su bolje od prevlaka tipa NiCr i Ni/Al. Otporne su na oksidaciju, vrelu koroziju, nagle promene temperatura, abraziju, eroziju i dobro podnose mehaničke udare. Čvrstoća veze ostaje adekvatna do radnih temperatura od 980°C [3]. Zbog svojstva samovezivanja za metalne supstrate prevlake NiCrAl se preporučuju za mnoge supstrate. Ove prevlake su našle široku primenu i kao vezni i prelazni međuslojevi pri izradi termalnih barijera. Na resurs prevlake utiču karakteristike deponovanih slojeva: njihov fazni sastav, udeo i raspodela oksida, udeo pora, udeo nestopljenih čestica, koheziona čvrstoća i adhezija. Zavisno od parametara depozicije u strukturi deponovanih slojeva u određenoj meri su prisutne mikropore i lamele oksida, koje umnogome utiču na mikrotvrdoću i čvrstoću spoja prevlake sa supstratom.

Pošto legura NiCr predstavlja osnovu razvoja složenih sistema legura tipa NiCrAl i NiCrAlY, važno je razumeti mehanizam i brzinu oksidacije i znati koji se sve tipovi oksida mogu formirati u procesu depozicije i eksploatacije. Zbog oksidacije čestica praha u procesu izrade prevlake u slojevima su, pored pora, prisutni oksidi: NiO, NiCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i u manjem udelu CrO<sub>3</sub>. Oksid NiO kao površinski centrirana kubna faza nalazi se na krajevima lamela i u centralnim delovima lamela. Ovaj tip oksida formira se sa oksidacijom i jednim delom izdvaja na krajevima lamela usled sudara lamela sa površinom supstrata i usled širenja NiCr lamela [4]. Takođe, u prevlacima se nalazi porozna nanokristalna spinel faza NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Prisustvo oksida NiO je povezano sa formiranjem pora. Kada istopljena NiCr čestica udari o površinu osnove dolazi do zagrevanja osnove i oslobađanja gasova apsorbiranih na njenoj površini (vlage). Priroda i količina oslobođenih gasova zavisi od hemijskog sastava površine osnove na koju se nanosi prevlaka [4]. Prisustvo oslobođenih gasova i vodene pare utiče na formiranje pora u slojevima i na granici između prevlake i osnove, a uz prisutnu oksidaciju

pospešuju i formiranje oksida kao što je NiO [5, 6]. Od oksida hroma u većini slučajeva je prisutan oksid  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  kao tanak sloj na površini NiCr lamela, a mnogo ređe je prisutan oksid tipa  $\text{CrO}_3$  [5].

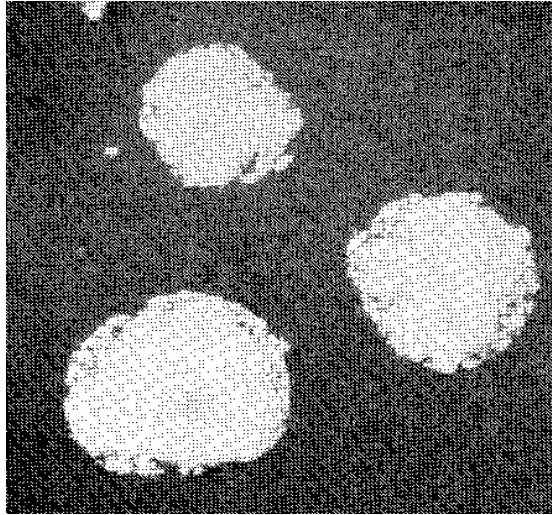
Zbog inkorporiranja vazduha u mlaz plazme, u prevlaci NiCrAl su, pored oksida nikla i hroma, prisutni oksidi tipa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  i spinel faza  $\text{Ni}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$  [3]. Osnovu deponovane prevlake čini čvrst rastvor hroma i aluminijuma u niklu. Ono što daje veliku otpornost na oksidaciju je prisutan aluminijum u prevlaci. U strukturi deponovanih slojeva su, pored oksida, u određenoj meri prisutne nestopljene čestice i mikropore koje zajedno sa oksidima znatno utiču na mikrotvrdoću i čvrstoću spoja prevlake sa supstratom. Zbog mogućnosti velikog udela pora i nestopljenih čestica veličine  $\phi \leq 60 \mu\text{m}$  u količini iznad 15%, slojevi ne bi smeli imati vrednosti mikrotvrdoće manje od  $170 \text{HV}_{0,3}$  i čvrstoću spoja manju od 32 MPa [7]. Pošto materijal NiCrAl predstavlja prvu generaciju složenih sistema legura tipa MeCrAl i MeCrAlY, važno je poznavati mehanizam stvaranja oksida u eksploataciji. Na samom početku oksidacije na površini NiCrAl prevlake formiraju se oksidi tipa  $\text{NiO}, \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{O}_3$  i spinel faze, čiji udeo i odnos zavisi od sastava legure, tj. od sadržaja Cr i Al u prevlaci. Kada je u prevlaci niska koncentracija Cr i Al, na njenoj površini se ne mogu formirati zaštitni kontinualni slojevi oksida tipa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . U tom slučaju na površini prevlake se formira nepoželjan kontinualni sloj oksida tipa NiO, koji se nalazi iznad podsloja koji sačinjavaju oksidi tipa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Mehanizam rasta oksida NiO rezultuje u formiranju pora na interfejsu prevlaka /oksidni sloj. Formirane pore na interfejsu su posledica veće brzine rasta oksida NiO zbog veće brzine difuzije jona Ni ka frontu oksidacije od brzine difuzije kiseonika ka unutrašnjim slojevima prevlake. Kako mehanizam oksidacije napreduje pore se povezuju i prave zamorne mikroprskotine. Nagle promene temperature u eksploataciji i različiti koeficijenti termalne ekspanzije formiranog keramičkog sloja i žilave prevlake uzrokovaju pucanje i odvajanje keramičkog sloja sa površine prevlake. Da bi se na površini prevlake formirali zaštitni kontinualni slojevi oksida tipa  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i sprečilo formiranje oksida tipa NiO u eksploataciji, za prevlake na bazi Ni donja koncentracija Cr u prevlaci treba da bude oko 20% i Al najmanje od 5%. Za druge sisteme prevlaka tipa MeCrAl i MeCrAlY menja se sadržaj Cr i Al u leguri zavisno od njene namene [3]. U eksploataciji na povišenim temperaturama zbog difuzije kiseonika duž granica lamela dolazi do promene u mikrostrukturi prevlake. U prevlaci se formira samo jedan oksid tipa  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , dok se na površini formiraju svi tipovi oksida, kao što su: NiO,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ . Kako oksidacija napreduje, na površini prevlake brže rastu oksidi tipa  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  od oksida tipa NiO i na taj način formiraju kontinualan zaštitni sloj. Ovaj zaštitni sloj usporava dalju oksidaciju nikla i produžava resurs prevlake. Oksidni slojevi tipa  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  su žilaviji od oksida tipa NiO i otporniji na nagle promene temperature.

Radi izrade NiCrAl prevlake sa najboljim strukturno-mehaničkim karakteristikama urađene su tri grupe uzoraka sa različitim brzinama depozicije praha. S obzirom na to da plazma-sprej dopušta kontrolisanu brzinu depozicije praha (g/min), optimizirani su parametri depozicije praha. U radu su prikazani i analizirani rezultati mehaničkih i strukturnih ispitivanja NiCrAl prevlaka namenjenih za revitalizaciju i zaštitu nekih delova turbomlaznih motora, kao i primene prevlaka na nekim delovima vazduhoplova. Analiza ispitnih slojeva omogućila je da se uspostavi korelacija između parametara depozicije i strukturno-mehaničkih karakteristika i izvrši odabir najboljih slojeva. Cilj ovog rada bio je da se unapredi remont na sekcijama turbomlaznih motora koje su se odbacivale zbog pohabanosti uzrokovane oksidacijom, vrelom korozijom i drugim mehanizmima oštećenja. Novi sistem primene prevlaka u procesu remonta obezbeđuje veću efikasnost i pouzdanost rada u eksploataciji, uz smanjene troškove održavanja.

## Detalji eksperimenta i materijal

Za eksperiment se koristio obloženi prah firme Sulzer Metko (Sulzer Metco) sa oznakom AMDRY 960. Prah NiCr/Al je razvijen za izradu prevlaka koje se najčešće koriste zasebno, kao zaštita metalne osnove od oksidacije i vrela korozije pri visokim temperaturama ili u kombinaciji sa keramičkim prevlakama kao vezni sloj. Kompozitni prah NiCr /Al se sastoji od čestica praha legure nikla i hroma (75%Ni, 19%Cr) koje su obložene sa 6% Al. Prah NiCr/Al se proizvodi tehnikom suvog raspršivanja (Spray drying). Kao jezgra za oblaganje koriste se čestice legure NiCr. Ove čestice mogu se dobiti postupkom suvog raspršivanja ili atomizacijom tečnog rastopa inertnim gasom. Jezgra od legure NiCr oblažu se česticama Al granulacije od 1 do 10  $\mu\text{m}$ , uz upotrebu silikasola kao organskih veziva. Obloženi prahovi u procesu deponovanja omogućuju da dođe do egzotermne reakcije između komponenti praha da bi se oslobađanjem toplote obezbedilo bolje vezivanje prevlake za metalnu podlogu. Proizvedene čestice su približno sferičnog oblika i imaju dobru protočnost u mlaz plazme [8]. Na slici 1 prikazana je (SEM) skening elektronska mikrofotografija morfologije obloženih čestica praha NiCr/Al. Temperatura topljenja čestica legure NiCr je 1339°C, a čestica Al 660°C. Raspon granulacije čestica praha koji se koristio u eksperimentu bio je od 45 do 120  $\mu\text{m}$ .





*Slika 1 – (SEM) Skening elektronska mikrografija čestica praha NiCrAl*  
*Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrography of NiCrAl powder particles*

Depozicija praha izvršena je na atmosferskom pritisku sa mešavinom plazma-gasova Ar-He i sa snagom napajanja od 40KW. Na slici 2 prikazan je atmosferski plazma-sprej sistem (APS) firme Plasmadyne koji se koristio za izradu prevlaka.



*Slika 2 – Atmosferski plazma sprej sistem*  
*Figure 2 – Atmospheric plasma spraying system*

Oprema se sastoji od: zaštitne kabine, komandnog pulta 3600, dodavača praha 1251, robota i plazma-pištolja SG-100. Materijal osnove na koje su deponovane prevlake bio je čelik X15Cr13 (AMS 5504). Pre deponovanja praha osnove nisu predgrevane, a površine supstrata su ohrapavljene belim plemenitim elektrokorundom granulacije od 0,7 do 1,5 mm. Cilj povećanja hrapavosti površine supstrata je uklanjanje tankog oksidnog sloja kako bi se površina učinila reaktivnijom sa istopljenim prahom i dobila bolja veza između prevlake i supstrata. Pri izboru parametara depozicije praha kao osnovni parametar uzeta je brzina deponovanja praha (g/min.). Brzina depozicije praha je jedan od najvažnijih parametara koji utiče na naponsko stanje prevlake koje je u direktnoj vezi sa kohezionom čvrstoćom, mikrotvrdoćom i adhezijom prevlake. Sa brzinom depozicije praha u velikoj meri se može regulisati udeo nestopljenih čestica, oksida i pora u prevlaci. Brzina deponovanja praha mora da bude optimalna da bi se obezbedilo potpuno topljenje čestica praha i na minimum smanjio procenat nestopljenih čestica, oksida i pora u slojevima prevlake. Sa većom brzinom deponovanja praha od optimalne brzine, čestice praha nemaju dovoljno vremena da se potpuno istope, što dovodi do povećanja udela nestopljenih čestica i pora u slojevima prevlake. Neistopljene čestice zajedno sa porama umanjuju kohezionu i adhezionu čvrstoću prevlake. Sa manjom brzinom deponovanja praha od optimalne brzine čestice praha su potpuno istopljene i imaju dovoljno vremena da u većem udelu reaguju sa kiseonikom u mlaz plazme, što dovodi do povećanja stepena oksidacije praha i udela oksida u deponovanim slojevima. Veliki udeo oksida, neistopljenih čestica i pora znatno umanjuje zaštitno dejstvo prevlake u eksploataciji. U ovom istraživanju urađene su tri grupe uzoraka da bi se dobili depoziti velike čvrstoće i žilavosti. Kod prve grupe uzoraka brzina depozicije praha bila je 50 g/min sa protokom nosećeg gasa od 7 l/min, kod druge grupe uzoraka ova brzina bila je 40 g/min sa protokom nosećeg gasa od 6 l/min, a kod treće grupe uzoraka 30 g/min sa protokom nosećeg gasa od 5 l/min. Ostali parametri deponovanja praha bili su konstantni i imali su sledeće vrednosti: jačina električne struje 800 A, napon luka 36 V, protok primarnog gasa (Ar) 47 l/min, protok sekundarnog gasa (He) 32 l/min, i odstojanje mlaza plazme 90 mm od supstrata. Prevlake su formirane sa debljinama od 0,55 do 0,6 mm koje su u skladu sa propisanim debljinama za funkcionalne delove turbomlaznih motora.

## Ispitivanje mikrotvrdoće, čvrstoće spoja i mikrostrukture

Ispitivanja i karakterizacija slojeva prevlake rađena su prema TURBOMEKA (TURBOMECA) standardu [7].

Mikrotvrdoća je merena duž lamela slojeva metodom Vickers (Vickers) sa opterećenjem od 300 g (HV 0.3). Merenje je izvršeno u tri obla-

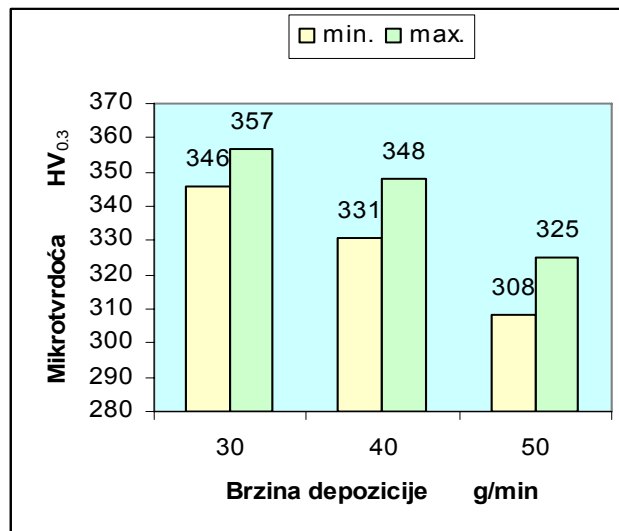
sti: u sredini i na krajevima uzoraka. Prikazani vrednosti mikrotvrdoće su usrednjene zbog većeg broja merenja. Uzorci za merenje mikrotvrdoće, kao i za analizu mikrostrukture, izrađeni su od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju, dimenzija 70x20x1,5 mm [14].

Ispitivanje čvrstoće spoja između prevlake i osnove je metoda ispitivanja zatezanjem na kidanje. Uzorci za merenje čvrstoće spoja izrađeni su po standardu TURBOMEKA (TURBOMECA) od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju dimenzija  $\phi 25 \times 50$  mm [14]. Za ispitivanje su korišćena po dva uzorka u paru, od kojih je jedan sa depovanom prevlakom. Epruvete su ispitivane na sobnoj temperaturi sa brzinom kidanja od 1 mm/60 s [7]. Za ispitivanje se koristilo po pet parova epruveta za svaku grupu prevlaka, a dobijene vrednosti su usrednjene.

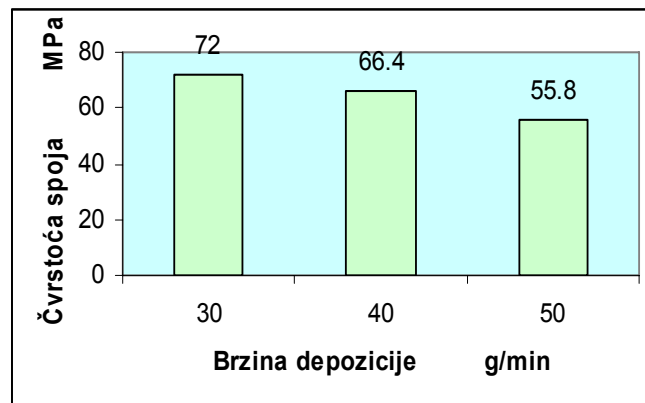
Mikrostruktura slojeva i kvalitet spoja između prevlake i osnove analizirana je pomoću svetlosnog mikroskopa pri uvećanju od 400x. Uzorci su sečeni normalno na površinu prevlake. Pre ispitivanja uzorci su obrušeni i ispolirani do ogledala. Procentualni udeo i veličina pora u slojevima prevlake određeni su poređenjem slike sa svetlosnog mikroskopa sa šablonima datim u odgovarajućem standardu [7].

## Rezultati i diskusija

Na slici 3 dijagramski su prikazane vrednosti mikrotvrdoće slojeva NiCrAl prevlake.

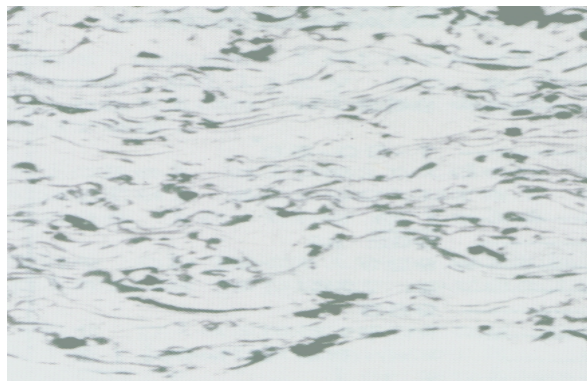


Slika 3 – Mikrotvrdoća NiCrAl slojeva  
Figure 3 – Microhardness of NiCrAl layers



Slika 4 – Čvrstoća spoja NiCrAl slojeva  
Figure 4 – Bond strength of NiCrAl layers

Iz dobijenih vrednosti se vidi da su se za sve tri grupe uzoraka dobile mikrotvrdoće slojeva iznad  $170\text{HV}_{0.3}$ . Najveću vrednost mikrotvrdoće od 346 do  $357\text{HV}_{0.3}$  pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Razlika između minimalne i maksimalne vrednosti mikrotvrdoće za ovu brzinu depozicije je mala i iznosi  $11\text{HV}_{0.3}$ , što ukazuje na to da je raspodela oksida i pora ravnomerna u deponovanim slojevima. Na slici 4 dijagramski su prikazane vrednosti čvrstoće spoja prevlaka čije su vrednosti za sve tri grupe uzoraka bile iznad 35 Mpa [7]. Najveće vrednosti čvrstoće spoja pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Vrednosti čvrstoće spoja potvrđuju da je adhezija prevlaka sa supstratima dobra, kao i koheziona čvrstoća lamela u slojevima prevlake. Karakter razaranja za sve prevlake bio je adhezioni na interfejsu prevlaka/supstrat. Izuzetno visoke vrednosti čvrstoće spoja i vrednosti mikrotvrdoće slojeva pokazatelj su da su udeli pora i nestopljenih čestica minimalni. Na slici 5 je prikazana mikro-struktura slojeva NiCrAl prevlake koji su pokazali najbolje mehaničke karakteristike. To su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Kvalitativna analiza prevlake je pokazala da se dobila uniformnost slojeva na supstratu bez segmentnog odvajanja slojeva sa površine supstrata. Struktura slojeva je lamelarna. Na međupovršini se ne uočavaju oksidi, mikroprskotine i odvajanje slojeva od supstrata. Takođe, na međupovršini se ne uočava kontaminacija od sredstva za hrapavljenje. Veza deponovanih slojeva sa površinom supstrata je izvanredna. Unutrašnji slojevi prevlake su bez prisutnih mikroprskotina i makroprskotina. Kvantitativna analiza prevlake je pokazala da strukturu osnove čini čvrst rastvor hroma i aluminijuma u niklu svetlosive boje. U slojevima se ne uočavaju nestopljene čestice praha, što govori o dobroj istopljenosti čestica i dobrom razlivanju čestica praha u procesu depozicije na supstrat.



Slika 5 – Mikrostruktura prevlake NiCrAl  
Figure 5 – Microstructure of NiCrAl coating

Na granicama lamela svetlosive boje prisutne su lamelle oksida tipa NiO i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  tamnosive boje i lamelle oksida  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  crne boje, što je posledica inkorporiranja vazduha u mlaz plazme i mikropore. Prisutne pore su crne boje sa udelom ispod 8%.

## Zaključak

Atmosferskim plazma-sprejom (APS) izrađene su tri prevlake NiCrAl sa tri različite brzine depozicije praha (30,40 i 50 g/min). Njihove mehaničke karakteristike su ispitane i analizirana je mikrostruktura prevlake čije su mehaničke karakteristike zadovoljavajuće, na osnovu čega se došlo do određenih zaključaka.

Vrednosti mikrotvrdoće prevlake zavise od brzine depozicije praha. Najveće vrednosti mikrotvrdoće, od 346 do 357HV<sub>0,3</sub>, pokazali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Sa povećanjem brzine depozicije praha mikrotvrdoća slojeva opada.

Čvrstoća spoja je dobra za sve tri prevlake. Najveće vrednosti čvrstoće spoja od 72 MPa imali su slojevi deponovani brzinom depozicije praha od 30 g/min. Sa povećanjem brzine depozicije praha opada čvrstoća spoja prevlake. Mehanizam loma išao je kroz sloj prevlake blizu površine prevlaka/supstrat. Vrednosti mikrotvrdoće i čvrstoće spoja prevlaka ukazuju na to da je optimalna brzina depozicije praha 30 g/min.

Prva prevlaka koja je formirana brzinom depozicije praha od 30 g/min i pokazala najbolja mehanička svojstva ima dobru mikrostrukturu. Ova svojstva prevlake potvrđena su u eksploataciji funkcionalnih delova. Primenom ove prevlake znatno se poboljšala efikasnost i pouzdanost rada delova turbomlaznog motora u eksploataciji i znatno su se smanjili troškovi održavanja i remonta.

## Literatura

- [1] Dorfman, M., Adv. Mater., Process., (2002) 47.
- [2] Bunshah, R. F., Handbook of Hard Coatings, deposition Technologies, Properties and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U. S.A. and William Andrew Publishing, LLC, Norwich, New York, U. S.A., 2001.
- [3] Nicoll, A. R., The Environment – High Temperature Oxidation and Hot Corrosion, Plasma Technik AG, 5610 Wohlen Switzyerland.
- [4] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the effects of surface chemistry on splat formation for plasma sprayed NiCr onto stainless steel substrates, Surface&Coatings Technology SCT-15342, No Pages 1–9, 2009.
- [5] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the microstructure of NiCr splats plasma sprayed on to stainless steel substrates by TEM, Surface&Coatings Technology SCT-15341, No Pages 1–8, 2009.
- [6] Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Qin, T., Withy, B., James, B. J., in: E. Lugscheider (Ed.), Thermal Spray 2008: Crossing Borders (Proceedings of International Thermal Spray Conference 2008). Pub. DVS – Verlag GmbH, 40223 Dusseledorf, Germany, 2008, p. 701.
- [7] "Turbojet engine-standard practices manuel" TURBOMECA.
- [8] Kushner, B. A., Thermal Spray powders – Manufacturing Methods and Quality Control Procedures, 1<sup>st</sup> plasmatechnik symposium Lucerne /Switzerland may 18<sup>th</sup> - 20<sup>th</sup>, 1988.

### EFFECT OF THE POWDER DEPOSITION RATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND THE STRUCTURE OF THE APS – NICR / AL COATING

#### Summary:

*The paper presents the results of the examination of atmospheric plasma spraying of APS-NiCr/Al coatings. Composite NiCr/Al powders, composed of NiCr particles coated with fine Al particles, enable an exothermic reaction during the deposition process. The exothermic reaction of these metals results in the formation of selfbonding NiCrAl coatings with a unique combination of properties. For the purpose of obtaining excelent structural and mechanical properties, the deposition parameters were optimised. In this study, three groups of NiCrAl coating samples with different powder deposition rate were made to get deposits of greater strength and toughness. In the first group of samples, the deposition rate was 50g/min, in the second group the powder deposition rate was 40 g/ min. while in the third group it was 30 g/min. The assessment of the properties of deposits was made by the HV0.3 microhardness testing method and the bond strength was examined by tensile strength testing. The metallographic evaluation of the structure was done by optical microscopy The verified coatings were applied for the protection and revitalization of parts exposed to oxidation at elevated temperatures.*

## Introduction

*Plasma spraying is widely used in many industries to improve performance of components. This process has found wide applications in many industries such as aviation, petrol chemistry or automotive industry.*

*Plasma spraying is one of the most efficient thermal processes. A jet of plasma particles has a wide range of both temperature and rate. A typical plasma temperature range is from 8700 to 12000°C and the rate range is from 80 to 400ms<sup>-1</sup>.*

*Composite NiCr/Al powder consists of NiCr alloy particles (nuclei) coated with fine Al particles.*

*Deposited coatings are better than NiCr and Ni/Al-type coatings. They are resistant to oxidation, hot corrosion, sudden changes in temperature, abrasion, erosion, and they react well to mechanical damage. Mechanical strength of bonding remains adequate up to a working temperature of 980°C.*

*For designing NiCrAl coatings with the best structural mechanical properties, three groups of samples with different powder deposition rates were made.*

*The aim of this work was to improve the repair of the sections of turbo jet engines rejected due to wear-based oxidation, hot corrosion and other damage mechanisms.*

## Experiment details and materials

*The coated AMDRY 960 powder of the Sulzer METCO company was used in the experiment. The NiCr / Al powder was developed for the production of coatings which are often used separately as a protection of the base metal from oxidation and hot corrosion at high temperatures or in a combination with ceramic coatings as a middle layer.*

*Powder deposition was performed at atmospheric pressure with a mixture of Ar-He plasma gases and the power supply of 40KW.*

*The study examined three groups of samples to get deposits of high toughness. The powder deposition rate in the first group of samples was 50g/min with a carrier gas flow of 7 l / min, the second group of samples had a powder deposition rate of 40 g / min. with a carrier gas flow of 6 l / min. while the third group of samples had 30 g / min. of the deposition rate with a carrier gas flow of 5 l / min.*

## Testing microhardness, bond strength and microstructure

*The testing and characterization of the coating layers were made in accordance with the TURBOMECA standard.*

*Microhardness was measured along the lamellar layers with the Vickers test with 300 g load (HV 0.3).*

*The microhardness test samples and the samples for microstructure analysis were made of Č.4171 (X15Cr13 EN10027) steel in the thermally raw state with the dimensions of 70x20x1.5 m.*

*Testing the coating/substrate interface strength was done by the tensile test. The specimens for tensile bond strength testing were made in accordance with the TURBOMECH standard, out of Č.4171 (X15Cr13 EN10027) steel in the raw thermal state with 25x50 mm in diameter.*

*The microstructure of the layers and the quality of the coating/substrate interface was analyzed using an optical microscope with a magnification of 400X.*

#### Results and discussion

*The obtained results show that the microhardness values for layers in all three groups of specimens were over 170HV0.3. The highest microhardness values (from 346 to 357 HV0.3) occurred in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.*

*The values of the bond strength confirm that there is good adhesion between the coating and the substrate; the cohesion strength of the lamellae in coating layers is good as well. The destruction in all coatings was of an adhesive type along the coating/substrate interface.*

*The coating qualitative analysis showed that the uniformity of layers on the substrate was obtained without the segment separation of layers from the surface of the substrate.*

*The coating quantitative analysis showed that the structure of the substrate is a solid solution of chromium and aluminum in nickel light gray color.*

*On the light gray lamellar boundaries, there are dark gray oxide (NiO and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) lamellae and black α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lamellae as a result of air penetration into the plasma jet and micro pores. The existing pores are black and account for less than 8%.*

#### Conclusion

*Atmospheric plasma spraying (APS) was used for three NiCrAl coatings with three different powder deposition rates (30, 40 and 50 g / min). Their mechanical properties were investigated and the coating microstructure was analyzed, resulting in satisfactory mechanical properties. The following conclusions were drawn:*

*The highest values of micro hardness of 346–357HV0.3 were found in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.*

*With the increase of the powder deposition rate, the microhardness of layers decreases.*

*The highest values of the bond strength of 72MP were found in the layers deposited with the powder deposition rate of 30 g / min.*

*The coating properties were confirmed in the exploitation of functional parts.*

*Key words: Atmospheric Plasma Spraying (APS), microstructure, microhardness, bond strength, oxidation, hot corrosion.*

Datum prijema članka: 17. 03. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 03. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 04. 2010.



# ANALIZA NISKOFREKVENTNOG SPEKTRA VIBRACIJA NA ELEMENTIMA STRUKTURE HELIKOPTERA „GAZELA“

Jovanović M. *Miroslav*, Tehnički Obitni Centar – Sektor za  
vazduhoplovna sredstva, Beograd

UDK: 623.746.17:534.13

## Sažetak:

*U radu je prikazan postupak i metodologija ispitivanja vibracija na helikopteru „gazela“ radi definisanja efikasnosti prigušenja vibracija na vezi struktura – sedište pilota. Posebna pažnja posvećena je teorijskim osnovama vibracija na helikopteru, određivanju radnih frekvencija, definisanju režima rada i profila leta helikoptera u toku ispitivanja. Na kraju rada prikazani su rezultati merenja vibracija u frekventnom domenu.*

*Ključne reči: helikopter, vibracije, frekvencija, merna oprema.*

## Uvod

Mogućnost i sposobnost određivanja opterećenja i vibracija helikoptera u današnje vreme je jedan od najvažnijih zahteva u procesu projektovanja i modifikacija ove vrste vazduhoplova, tj. preciznijim određivanjem i predviđanjem aeromehanike nosećeg rotora ostvaruje se kvalitativna karakteristika kompletnog projekta helikoptera. Opterećenja koja se javljaju na glavnom rotoru helikoptera u toku leta su dominantni izvori vibracija helikoptera, koje su kritičan aspekt, kako pri projektovanju i razvoju, tako i u fazi eksploatacije. Zbog toga celokupni današnji trend razvoja helikoptera teži ka smanjenju uticaja prenosa pobuda sa izvora vibracija (glavnog rotora) na ostale delove strukture u fazi eksploatacije.

Merenja i analiza nivoa vibracija pojedinih elemenata strukture helikoptera u operativnoj upotrebi služi razvoju elemenata sistema radi što efikasnijeg prigušenja vibracija. Ovakav razvoj ima za cilj smanjenje štetnog uticaja vibracija na posadu i putnike (povećanje komfora sistema), smanjenje troškova održavanja i povećanje veka upotrebe helikoptera.

Ocena uspešnosti prigušenja vibracija na helikopteru definisana je svetskim standardima ISO 2631/1 i MIL-H 8501A. Prvi ISO 2631/1 definiše ograničenja izloženosti vibracijama i dozvoljene doze vibracija posade helikoptera (humane vibracije), a drugi MIL-H 8501A definiše dozvoljene nivoe vibracija na komandama, sedištimu pilota, posade i putnika pri različitim režimima leta (strukturalne vibracije).

Imajući u vidu kontinualno pooštavanje zahteva kvaliteta svetskih standarda, koji definišu vibracije (humane i strukturalne), merenja i analiza vibracija na helikopteru preuzimaju ulogu pokretača razvoja i modifikacija sistema u operativnoj upotrebi.

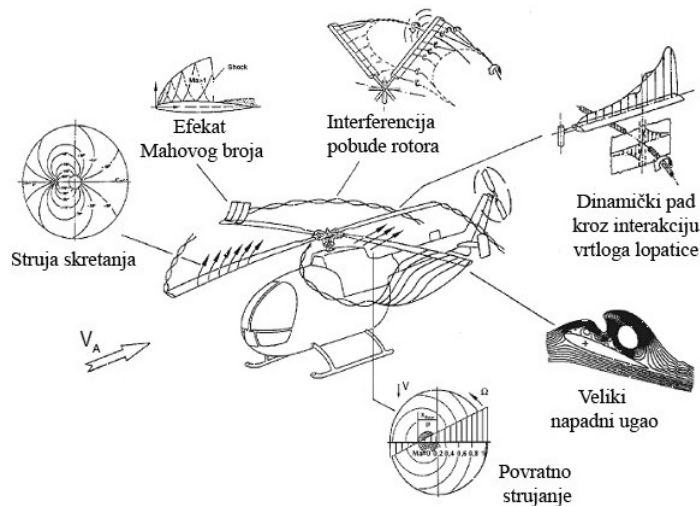
Nivo vibracija helikoptera izražava se u RMS (*root mean square* – srednji kvadratni koren) ubrzanja ( $g$ ), brzine ( $m/s$ ) ili pomeranja ( $mm$ ) u frekventnom spektru.

Uspešnost merenja i analize vibracija na helikopteru umnogome zavisi od: pravilnog izbora lokacije merenja (montaže mernih pretvarača), izabranih profila i parametara leta (brzina, visina, opterećenja...), posredovanje savremene ispitno-merne opreme visoke tačnosti sa računarskom podrškom za akviziciju i obradu prikupljenih signala odmah nakon izvršenog opita.

U radu je prikazan postupak merenja i analize vibracija radi definisanja efikasnosti prigušenja vibracija na vezi struktura helikoptera – sedište pilota na helikopteru „gazela“, upotrebom savremenog akvizicionog sistema NetdB12 i pripadajućeg softvera dBFA Suite, francuskog proizvođača 01dB-Metravib.

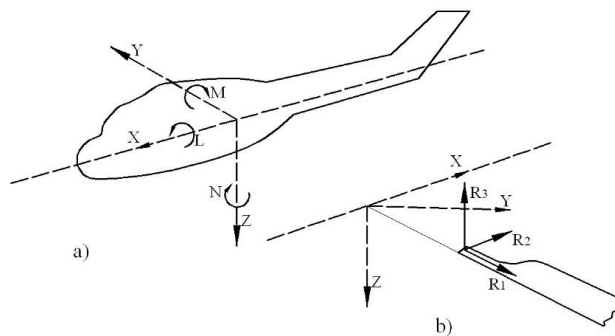
## Teorijska analiza izvora vibracija na rotoru helikoptera

Rotor helikoptera je operativan u kompleksnom aerodinamičkom polju. Aerodinamička opterećenja na lopaticama rotora znatno variraju pri njihovom kretanju oko ose rotacije, a u slučaju stacionarnog leta opterećenja su periodična. U letu unapred brzina dolazeće struje vazduha na lopatice rotora zavisi od njihovog azimutalnog položaja u odnosu na ravan obrtanja rotora. Relativna brzina vazduha uzrokovana je brzinom rotacije lopatica i brzinom kretanja helikoptera. Aerodinamička opterećenja se superponiraju za lopatice koje napreduju kroz dolazeću struju vazduha, u odnosu na lopatice koje beže od dolazeće struje, tj. kreću se u istom pravcu kao i dolazeća struja, smanjujući brzinu ovog strujanja za vrednost komponente brzine kretanja lopatice. Ovakva pojava na rotoru vodi ka transoničnim uslovima opstrujavanja lopatica koje napreduju kroz dolazeću vazдушnu struju i ka oblastima povratnog strujanja na lopaticama koje beže od te struje (slika 1). Ove promene aerodinamičkih uslova strujanja su stvarni uzroci stvaranja vibracija na helikopteru koje se preko veznih elemenata glavčine, vratila reduktora i reduktora prenose na strukturu helikoptera, tj. na prostor posade, putnika ili tovarnog prostora [1].



Slika 1 – Aerodinamički efekat povezan sa rotorom helikoptera  
 Figure 1 – Aerodynamic effects associated with helicopter rotors

Sile i momenti koji se stvaraju na lopaticama rotora helikoptera u toku leta prenose se na glavčinu rotora, a sa glavčine preko glavnog reduktora na strukturu helikoptera mogu se razložiti na komponente sile X, Y i Z, i momente L, M i W u vezanom koordinatnom sistemu helikoptera (slika 2).



Slika 2 – (a) Komponente sile i momenta glavnog rotora,  
 i (b) Reakcija u tački vezivanja lopatica i glavčine  
 Figure 2 – (a) Components of the main rotor forces and moments,  
 i (b) Reaction at the joint point of the blades and the rotor hub

Sa stanovišta kvalitativne analize spektra vibracija dovoljno je posmatrati samo sile. One su rezultat jednovremenog delovanja aerodinamičkih sila, sila inercije, elastičnih sila i konstruktivnih geometrijskih parametara lopatica, glavčine i cikličnog prstena helikoptera [2] .

Ako u sistemu rotora od tri lopatice izaberemo „nultu“ lopaticu (bilo koja se proizvoljno usvaja za početnu)  $\psi_1$ , onda je azimutni ugao  $k$ -te lopatice:

$$\psi_k = \psi_1 + \frac{k}{kl} \quad (1)$$

gde je:

$k_l$  – broj lopatica.

Posmatrajući sile reakcije delovanja lopatica na glavčinu  $R_1, R_2$  i  $R_3$  (slika 2) dobijaju se odgovarajuće komponente rezultujuće sile kojom rotor deluje na helikopter  $X_k, Y_k$  i  $Z_k$ . Jednačine sila rotora na helikopter date su sledećim jednačinama:

$$X_k = -R_{1k} \cos \psi_k + R_{2k} \sin \psi_k \quad (2)$$

$$Y_k = R_{1k} \sin \psi_k + R_{2k} \cos \psi_k \quad (3)$$

$$Z_k = -R_{3k} \quad (4)$$

Pri pretpostavci ustaljenog leta sile  $R_{1k}, R_{2k}$  i  $R_{3k}$  su periodične i mogu se izraziti u vidu Furijeovih redova. Međutim, na osnovu teorijske analize, kao i rezultata letnih ispitivanja različitih tipova helikoptera, zaključuje se da je vertikalna komponenta rezultujuće sile najuticajnija, tako da će se u daljoj analizi vibracija unetih sa glavnog rotora samo ona tretirati. Na osnovu iznetog stava i relacijom (4) vertikalna komponenta rezultante data je sledećim Furijeovim nizom:

$$Z = -\sum_{k=0}^{k_l-1} R_{3k}, \quad \text{tj.} \quad (5)$$

$$Z = -k_l \left[ \begin{array}{l} U_0 + U_{kl} \cos k_l \psi_1 + U_{2kl} \cos 2k_l \psi_1 + \dots \\ + V_{kl} \sin k_l \psi_1 + V_{2kl} \sin 2k_l \psi_1 + \dots \end{array} \right] \quad (6)$$

Iz jednačine za rezultantu vertikalne komponente  $Z$  se zaključuje da u njoj figurišu samo frekvencije deljive sa brojem lopatica.

Primetno je da su vibracije uzrokovane periodičnošću aerodinamičkih sila glavnog rotora harmonijske. Osnovna učestanost lopatica helikoptera se u daljem tekstu naziva učestalost prolaženja lopatica (UPL), u stranju literaturi BPF – *Blade Pass Frequency*:

$$f_{no} = n \cdot k_I \cdot \frac{N}{60} \quad (7)$$

gde je:

$n = 1, 2, 3, \dots$ ,

$N$  – broj obrtaja u minuti glavnog rotora.

U dosadašnjem razmatranju pošlo se od pretpostavke da su sve lopatice jednog rotora po aerodinamičkim i mehaničkim karakteristikama identične. Ukoliko to nije slučaj jedna ili više lopatica kreću se tako da narušavaju konus rotora, zbog čega se javljaju debalansi i vibracije učestanosti:

$$f_{nl} = n \cdot \Omega = n \cdot \frac{N}{60} \quad (8)$$

Može se zaključiti da glavni rotor helikoptera prouzrokuje vibracije zbog periodične promene reakcija u tačkama vezivanja lopatica za glavčinu učestanosti  $f_{no} = n \cdot k_I \cdot \Omega$  (ove vibracije su rezultat principa leta helikoptera) i vibracije učestanosti  $f_{nl} = n \cdot \Omega$  kao rezultat neidentičnosti u mehaničkom i aerodinamičkom smislu svih lopatica jednog rotora [3].

## Izvori vibracija i određivanje radnih frekvencija helikoptera „gazela“ (H-45)

### *Izvori vibracija na helikopteru*

Helikopter „gazela“ (SA-342, H-45) jeste laki transportni helikopter, druge generacije, namenjen za transport ljudstva i opreme, dok se u vojne svrhe koristi za: protivoklopnu borbu, izviđanje bojišta, održavanje veze i korekturu artiljerijske vatre (slika 3).

Glavni (primarni) izvori vibracija ovog helikoptera su: glavni rotor, motor i repni rotor.

Glavni rotor helikoptera sastoji se od 3 lopatice i glavčine helikoptera. Lopatica nosećeg (glavnog) rotora (krakovi) ima ulogu noseće površine helikoptera, tj. na njegovom aeroprofilu se u toku obrtanja stvara sila uzgona koja nosi helikopter. Na glavčinu se montiraju tri kraka i radi lakšeg praćenja stanja označavaju se kao: crveni, žuti i plavi krak. Glavčina (glava glavnog rotora) služi kao vezni element lopatica glavnog rotora, tj. osnovnih nosećih aerodinamičkih površina helikoptera. Osnovna funkcija glavčine helikoptera je promena napadnog ugla lopatica glavnog rotora, tj. upravlja se helikopterom.



Slika 3 – Helikopter „gazela“ (SA 342, H-45)  
 Figure 3 – Gazelle Helicopter (SA 342, H-45)

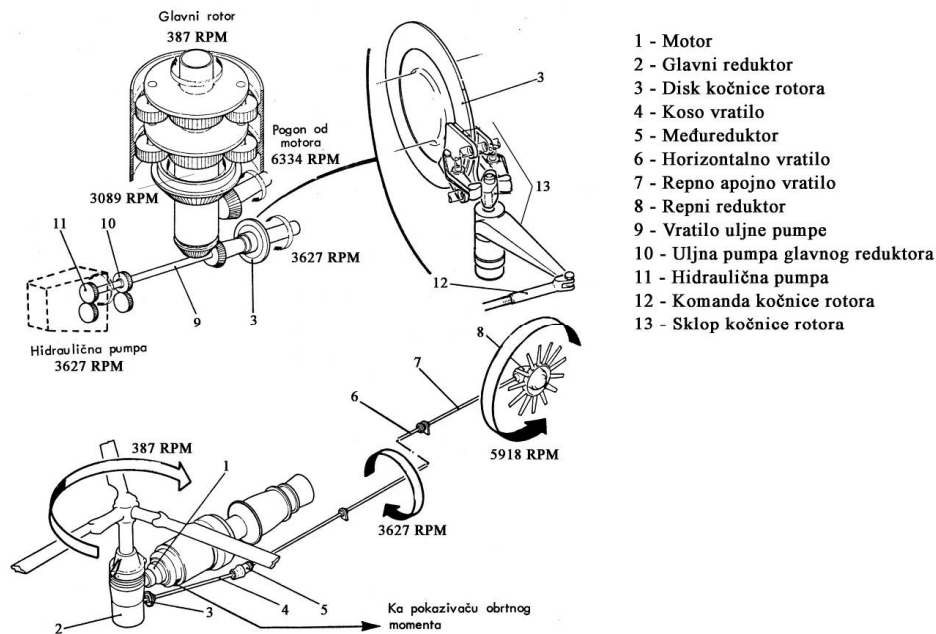
Motor Astazou XIV M je turbovratilni motor sa reduktorom. Posедуje aksijalno-radijalni kompresor (dvostepeni aksijalni deo kompresora i radijalni deo kompresora). Motor ima konstantnu brzinu obrtanja od  $43\ 000\ \text{min}^{-1}$ . Na izlaznom vratilu motora nalazi se reduktor koji služi da broj obrtaja vratila turbine redukuje sa  $43000\ \text{min}^{-1}$  na  $6334\ \text{min}^{-1}$ , a to su obrtaji izlaznog vratila iz motora (izlaz snage). Prenosni odnos reduktora motora je 1:6.788.

Motor je ispitan do maksimalne termičke snage od 640 kW i do maksimalnog stalnog režima od 575 kW. S obzirom na ove vrednosti motoru je na maksimalnom vremenski ograničenom režimu određena granična vrednost snage od 440 kW koju može da izdrži transmisija helikoptera „gazela“.

Sklop repnog rotora služi da uravnoteži obrtni moment glavnog rotora i da omogući upravljanje helikopterom po vertikalnoj osi, tj. po pravcu. Repni rotor dobija pogon od repnog reduktora, sa brzinom obrtanja od  $5918\ \text{min}^{-1}$ . Repni rotor helikoptera sastoji se od 13 duralnih lopatica.

Osnovna uloga transmisije helikoptera je da prenese snagu motora na rotore (glavni i repni) helikoptera. Ostvarena snaga motora se preko određenih sklopova prenosi na glavni i repni reduktor. Svi elementi koji služe za prenos snage, podmazivanje sklopova, održavanje hidrauličkog pritiska elemenata helikoptera spadaju pod transmisiju helikoptera. Transmisija helikoptera je veza između izvora vibracija i konstrukcije helikoptera koja prima sve vibracije. Kao i svaki element koji u svom sastavu

ima obrtne delove i transmisija helikoptera ima određene frekvencije rada po kojima mogu da se prepoznaju određeni elementi sklopa. Transmisija je izvor vibracija određenih frekvencija, kao i element koji prima aerodinamička opterećenja stvorena na rotorima helikoptera, tako da transmisiju možemo posmatrati i kao izvor i kao prenosnik vibracija. Na slici 4 prikazani su svi elementi transmisije helikoptera, dok je uz rotirajuće elemente sistema transmisije dat i njihov broj obrtaja u minuti.



Slika 4 – Transmisija helikoptera „gazela“  
Figure 4 – Transmission of the Gazelle helicopter

Sa stanovišta vibracija strukturu helikoptera možemo posmatrati kao prijemnik vibracija, tj. sve vibracije nastale od izvora vibracija (primarnih i sekundarnih – transmisije) imaju tendenciju da se preko veza prenesu na strukturu i da egzistiraju na njoj u toku rada helikoptera. Na helikopteru „gazela“ vibracije se unose preko centralnog dela trupa od glavnog rotora, reduktora i motora, dok se preko repnog konusa unose vibracije generisane od međureduktora, horizontalnog i repnog vratila, repnog reduktora i rotora. Od kvaliteta prigušne karakteristike veznih elemenata zavisi nivo vibracija koji će biti unesen na strukturu helikoptera, a zatim proslediti do posade i putnika helikoptera, elektro-elektronskih uređaja, gorivnog sistema (rezervoara) i komandi helikoptera. Od frekvencije i veličine amplitude koja se apsorbuje kroz vezne elemente zavisi karakteristika komforosti helikoptera.

## Određivanje radnih frekvencija helikoptera

Na osnovu iznetih teorijskih analiza, radi pripreme merenja vibracija, potrebno je odrediti radne frekvencije helikoptera.

Na osnovu izraza 7 i 8, slike 4 i tehničke dokumentacije helikoptera „gazela“, određuju se radne frekvencije elemenata i sklopova.

U tabeli 1 navedene su radne frekvencije u niskofrekventnom spektru do 105 Hz.

Tabela 1  
Table 1

Karakteristične radne frekvencije helikoptera „gazela“  
Typical working frequencies of helicopter Gazelle

RB	Element helikoptera	Brzina obrtanja ( $min^{-1}$ )	Frekvencija ( $f$ ) (Hz)
1.	Rotor helikoptera, $f_{rl}$	387	6.45
2.	Glavno vratilo reduktora	3089	51.48
3.	Učestalost prolaženja lopatica glavnog rotora, $f_{no}$	387	19.35
4.	Motor	43000	716.67
5.	Reduktor motora (izlaz)	6334	105.57
6.	Koso vratilo, $f_{vrr}$	3627	60.45
7.	Horizontalno vratilo, $f_{vrr}$	3627	60.45
8.	Spojno vratilo repnog reduktora, $f_{vrr}$	3627	60.45
9.	Repni reduktor, $f_{vrr}$	3627	60.45
10.	Repni rotor, $f_{rr}$	5918	98.63
11.	Hidraulična pumpa	3627	60.45
12.	Uljna pumpa	3627	60.45

Niskofrekventni spektar podrazumeva opseg frekvencija od 2 Hz do 105 Hz. Niskofrekventni spektar vibracija u tehničkim sistemima predstavlja opseg koji ima najveći uticaj na zamor i oštećenje strukture, kao i na zamor posade helikoptera.

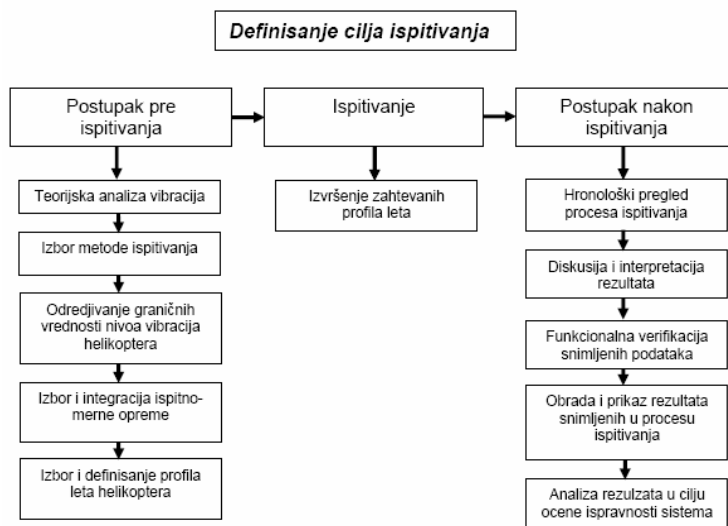
Telo čoveka može se posmatrati kao viskoelastični mehanički sistem, koji raspolaže sopstvenim frekvencijama oscilovanja (oči 12 do 27 Hz, vrat 6 do 27 Hz, grudni koš 2 do 12 Hz, noge i ruke 2 do 8 Hz, glava 8 do 27 Hz, stomak 4 do 14 Hz) i u priličnoj meri izraženim rezonantnim svojstvima. Pri projektovanju helikoptera njegove pobudne frekvencije treba da budu van opsega frekvencija koje štetno utiču na telo čoveka. U slučaju nemogućnosti izbegavanja štetnih vibracija na datim frekvencijama ove vibracije je neophodno prigušiti, od izvora, preko strukture, pa do posade helikoptera. Ovaj zahtev važi i za sistem komandi, kojim se vibracije prenose na ruku pilota [4].



## Metodologija i postupak ispitivanja vibracija na helikopteru „gazela“

Tok merenja niskofrekventnih vibracija do 105 Hz na strukturi helikoptera zahteva određen sled koraka, međusobno zavisnih, kako bi dobijeni rezultati merenja bili adekvatni stvarnom stanju vibracija helikoptera. Svako merenje za sobom povlači tri osnovne faze: prva faza je priprema ispitivanja (predtest), zatim faza ispitivanja, i treća, najvažnija, faza je obrada i analiza rezultata ispitivanja (posttest).

Na slici 5 dat prikazan je dijagram faza primenjivih u postupku ispitivanja niskofrekventnih vibracija na helikopteru „gazela“.



Slika 5 – Primenjene faze u procesu ispitivanja vibracija na helikopteru „gazela“  
 Figure 5 – Phase in process of the vibration testing on the Gazelle helicopter

Predmet ispitivanja je kruta veza strukture trupa helikoptera (donja barka) sa sedištem pilota (slika 6). Cilj ispitivanja ove veze bio je da se utvrdi da li postoji smanjenje nivoa vibracija (apsorbicija) kroz ovu vezu, tj. da li postoji smanjenje nivoa vibracija koje se sa strukture prenose na sedište pilota, a zatim i na njegovo telo.

Faza teorijske analize vibracija helikoptera „gazela“ izvršena je u prethodnom delu ovog rada, u kome su objašnjeni izvori, prenosnici i prijemnici vibracija. Takođe, date su i karakteristične radne frekvencije na kojima se može očekivati povišeni nivo vibracija u toku rada helikoptera.

## Izbor i integracija ispitno-merne opreme na helikopteru

Merenje niskofrekventnih vibracija na helikopteru „gazela“ izvršeno je sledećom ispitno-mernom opremom: digitalnim akvizicionim sistemom **Damian V** i digitalnim akvizicionim sistemom **NetdB12-01 Metravib**.

Za potrebe ispitivanja na helikopter je ugrađen magnetni digitalni registrator podataka leta Damian V na namenskom nosaču postavljenom na zadnju klupu kabine helikoptera. Na komandni pult kabine ugrađena je odgovarajuća upravljačka kutija.

Potrebni merni pretvarači za merenje parametara leta, parametara rada pogonske grupe i njihova instalacija ugrađeni su na odgovarajuće pozicije u strukturu helikoptera i motoru. Digitalnim akvizicionim sistemom Damian V vršena je akvizicija 17 parametara leta (brzina, visina, temperature, otkloni komandi, itd.).

NetdB12 namenjen je za različite aplikacije sa internim baterijskim napajanjem i rekorderom. Karakteristike ove opreme prikazane su u tabeli 2, a izgled opreme na slici 6. NetdB12-01 Metravib je višekanalni digitalni akvizicioni sistem za merenje vibracija i buke, a opremljen je namenskim softverom dBFA Suite za obradu podataka u realnom vremenu.

Tabela 2  
Table 2

Karakteristike sistema NetdB12  
Characteristics of NetdB12 system

Ulazni kanali	
Broj kanala	12 BNC
Rezolucija	24 bits
Napajanje	AC / DC / AC ICP
Opseg	-20 db: 14.1 V (10 V RMS)
	0 db: 1.41 V (1 V RMS)
	+20db: 141 mV (100 mV RMS)
CHP	> 105 dB RMS pune skale

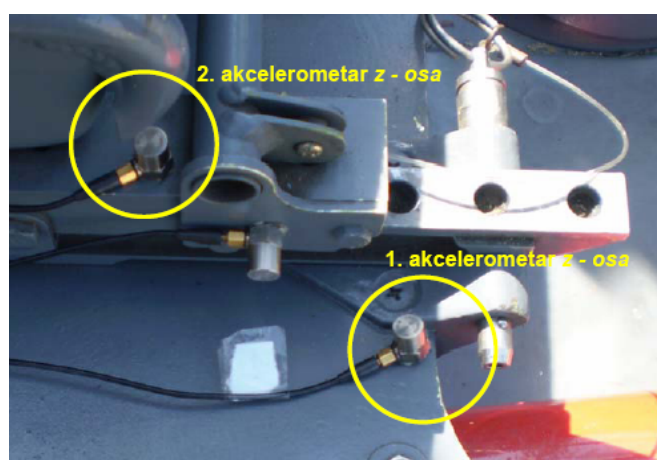


Slika 6 – Izgled akvizicionog sistema NetdB12 sa akcelerometrima  
Figure 6 – NetdB12 acquisition system with accelerometers

Za potrebe ispitivanja obezbeđeno je 5 pijezo-akcelerometra proizvođača Bruel&Kjaer, tipa 4393, prosečne osetljivosti  $\sim 5 \times 10^{-4}$  mV/ms<sup>2</sup>.

## Montaža akcelerometara na helikoptersku strukturu

Na osnovu izabranog cilja, prethodne teorijske analize rada elementa i sistema helikoptera, kao i mogućnosti opreme za merenje vibracija, odlučeno je da se akcelerometri instaliraju u pravcu vertikalne ose (z-ose) helikoptera. Na slici 7 dat je prikaz montiranih akcelerometara na prednjoj desnoj vezi trup helikoptera – sedište pilota.



Slika 7 – Pozicije mernih pretvarača na vezi struktura – sedište pilota  
Figure 7 – Positions of accelerometers at the structure – pilot seat connection

Lokacije montaže akcelerometara su:

- na prednjem delu poda helikoptera – ispod šine,
- na prednjem delu sedišta pilota – iznad šine,
- na zadnjem delu poda helikoptera – ispod šine,
- na zadnjem delu šine helikoptera.

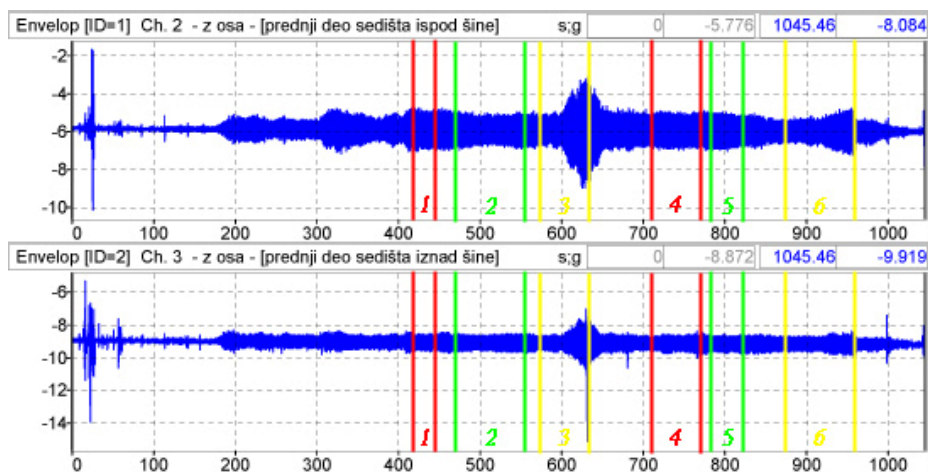
## Izbor profila leta helikoptera

Za ispitivanje niskofrekventnih vibracija na helikopteru „gazela“, a u skladu sa njegovim operativnim mogućnostima, ispitivanja se vrše na zemlji i u letu. U radu su prikazani rezultati merenja u toku leta sa tačno definisanim programom i zahtevanim profilima leta. Izabrani profili leta su: ubrzanje do maksimalne brzine helikoptera ( $V_i=V_{imax}$ ) na visini  $H_i=1000$  m, i zaokreti (levi i desni).

## Rezultati ispitivanja i analiza izmerenih vibracija na vezi struktura – sedište pilota

Na osnovu postavljenog cilja ispitivanja i izabranih profila leta helikoptera „gazela“, sva merenja se mogu prikazati u vremenskom i frekventnom domenu.

Na slici 8 prikazan je vremenski domen vibracija izmerenih na prednjem delu sedišta pilota (ispod i iznad šine). Na slici 8 označeni su profili leta helikoptera: 1 – lebdenje sa uticajem tla, 2 – penjanje do  $H_i=1000$  m, 3 – ubrzanje do  $V_i=V_{imax}$ , 4 – levi zaokret i 5 – desni zaokret.

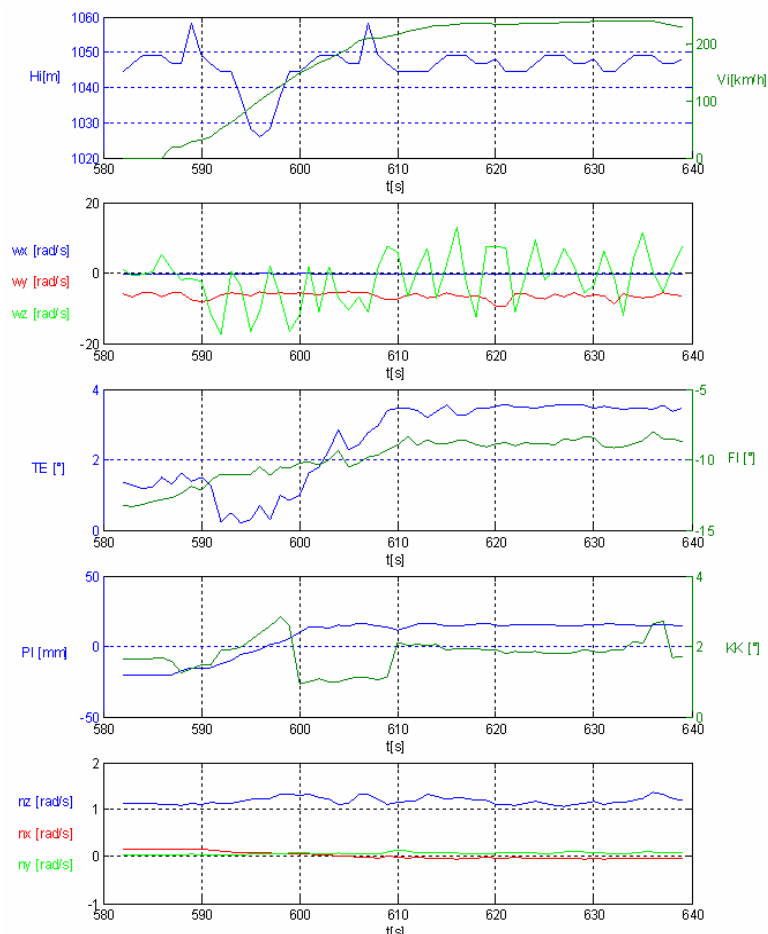


Slika 8 – Vremenski zapis vibracija u toku leta  
Figure 8 – Time domain of vibration in flight

Na osnovu prikazanog vremenskog domena (slika 8) ispitivanja, za davanje ocene kvaliteta prigušenja vibracija izvršiće se analiza nivoa vibracija u frekventnom domenu do 105 Hz, za sledeće karakteristične profile leta: ubrzanje do  $V_i=V_{imax}$  i zaokreta (levi i desni).

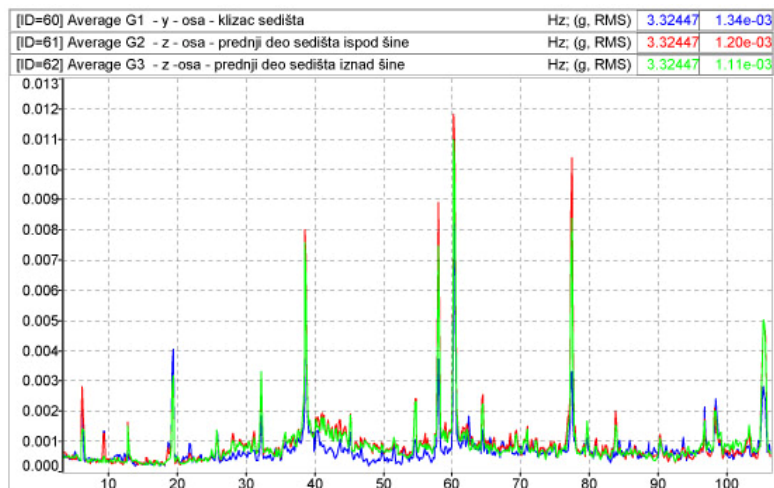
### *Nivo vibracija u fazi ubrzanja do $V_{imax}$*

Faza ubrzanja helikoptera podrazumeva upravljanje cikličnom komandom od sebe i povlačenjem komande skupnog koraka radi korekcije potrebne snage leta. U toku ubrzanja neophodno je da se vrši i korekcija obrtnog momenta glavnog rotora otklonima nožnih komandi udesno, kao korekcija ciklične komande po nagibu (slika 9).



Slika 9 – Parametri leta helikoptera u fazi ubrzanja na  $H_i=1000$  m  
 Figure 9 – Parameters of flight during the phase of acceleration at  $H_i=1000$  m

Na slici 10 prikazan je usrednjeni niskofrekventni opseg vibracija. Pri ovom profilu leta helikoptera dominantna je frekvencija obrtanja repnog reduktora sa pripadajućim vratilima (koso, horizontalno i spojno) na  $f_{vrr} = 60.45\text{Hz}$ , vrednosti  $a_{vrr} = 0.012g$  (RMS). Ova vrednost ubrzanja repnog reduktora je konstantna u toku faze ubrzanja. Ostali dominantni pikovi su na frekvenciji  $f_{no} = 19.35\text{Hz}$  i njegovim harmonicima  $2 \cdot f_{no}$ ,  $3 \cdot f_{no}$  i  $4 \cdot f_{no}$ . Osrednjeni nivoi vibracija na datim frekvencijama su niži od nivoa vibracija frekvencije obrtanja sklopa vratila i repnog reduktora, pa se nivoi ovih frekvencija prate u funkciji brzine leta. Nivoi vibracija u toku faze ubrzanja helikoptera prikazani su u tabeli 3.



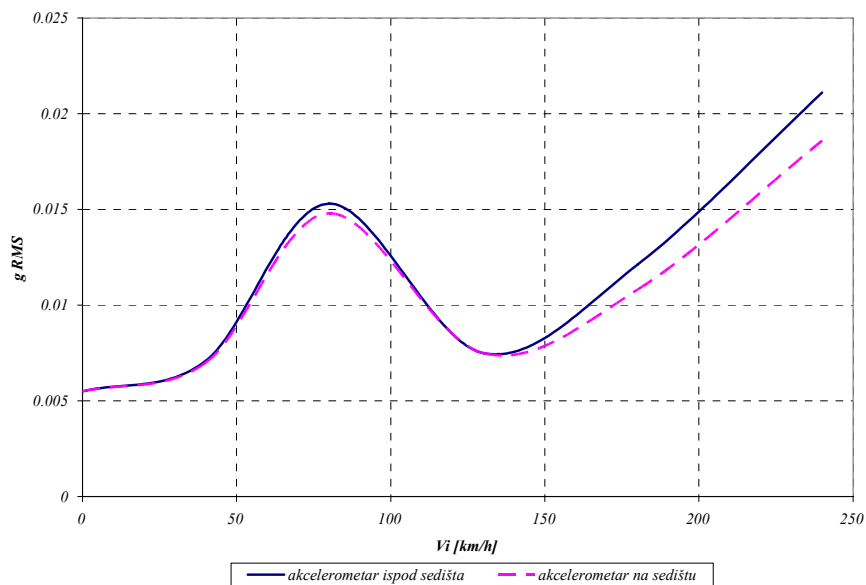
Slika 10 – Osrednjeni frekventni spektar vibracija u fazi ubrzanja na  $H_i=1000$  m  
 Figure 10 – Average frequency domain during the phase of acceleration at  $H_i=1000$  m

Tabela 3  
 Table 3

Frekvencije i nivoi vibracija pri različitim progresivnim brzinama  
 Frequencies and amplitudes of vibration at different helicopter velocity

$V_i$ [km/h]	$f$ [Hz]	ispod sedišta [g RMS]	iznad sedišta [g RMS]
0	19.35	0.0036	0.0034
	38.70	0.0055	0.0055
	58.05	0.0035	0.0033
	77.40	0.0025	0.0024
40	19.35	0.0043	0.0044
	38.70	0.0071	0.0070
	58.05	0.0018	0.0017
	77.40	0.0061	0.0057
80	19.35	0.0045	0.0045
	38.70	0.0153	0.0148
	58.05	0.0051	0.0037
	77.40	0.0068	0.0052
130	19.35	0.0061	0.0053
	38.70	0.0075	0.0075
	58.05	0.0136	0.0105
	77.40	0.0151	0.0122
180	19.35	0.0042	0.0051
	38.70	0.0121	0.0108
	58.05	0.0231	0.0193
	77.40	0.0274	0.0223
240	19.35	0.0044	0.0050
	38.70	0.0211	0.0186
	58.05	0.0241	0.0213
	77.40	0.0302	0.0243

Na osnovu podataka iz Tabele 3 možemo odrediti zavisnost amplitu-  
de vibracija za određenu frekvenciju u funkciji brzine helikoptera, ova za-  
visnost je data dijagramom na slici 11.



Slika 11 – Vibracije na sedištu pilota u toku faze ubrzanja na  $f = 2 \cdot f_{no} = 38.7 \text{ Hz}$   
 Figure 11 – Vibration on the pilot seat during the phase of acceleration  $f = 2 \cdot f_{no} = 38.7 \text{ Hz}$

Na osnovu iznetih podataka zaključuje se da najveći uticaj na vibra-  
cije helikoptera u toku leta vrši glavni rotor u funkciji brzine: indukovane  
brzine na lopaticama i progresivne brzine leta helikoptera.

Na slici 11 prikazane su vibracije na sedištu pilota u funkciji promene  
brzine leta u fazi ubrzanja helikoptera od ( $V_i = 0 \text{ km/h} \rightarrow V_{i \text{ max}}$ ). Na osno-  
vu rezultata za različite brzine leta mogu se izvesti dva zaključka: prvi, vi-  
bracije rastu sa brzinom leta, kao rezultat porasta asimetrije vučne sile  
glavnog rotora, što uvećava harmonijsko mahanje lopatica, a drugi za-  
ključak je da dijagram na slici 11 prikazuje određenu „grbu“. Dati pregib  
nedvosmisleno pokazuje da su, u letu helikoptera „gazela“ pri brzinama  
od  $V_i = 40 \text{ km/h}$  do  $V_i = 90 \text{ km/h}$ , nivoi vibracija helikoptera izraženiji na  
nižim brzinama nego na brzinama bliskim krstarećoj brzini.

Razlog ovih vibracija leži u činjenici da su indukovana brzina i progresivna  
brzina u dijapazonima od  $40 \text{ km/h} \leq V_i \leq 90 \text{ km/h}$  i pri brzinama  $V_i \geq V_{\text{cruise}}$  veli-  
čine istog reda, a njihovim vektorskim sabiranjem dobija se brzina koja na kra-  
jevima lopatica dolazi pod uglovima bliskim kritičnom. Zbog toga je struja iza

lopatica jako zavihorena i sve lopatice bivaju zahvaćene vrtložnim tragom pret-hodne lopatice. Istovremeno, blizu prednje ivice diska javljaju se veliki gradijen-ti brzine koji stvaraju intenzivne više harmonike mahanja. Krajnji rezultat delo-vanja ovog mehanizma ogleda se u snažnim vibracijama celog helikoptera.

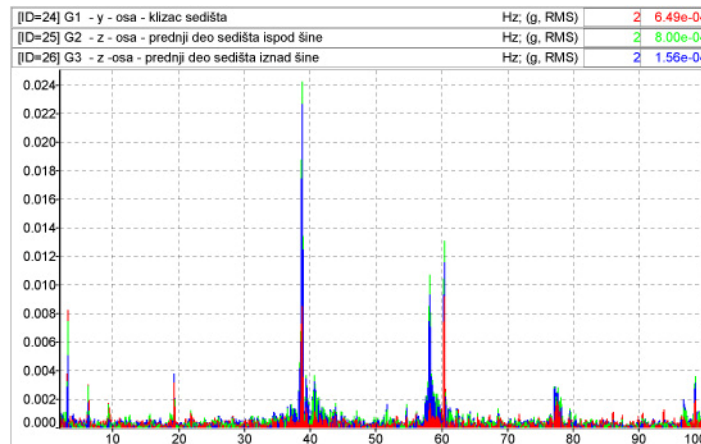
Oscilovanje lopatica na višim harmonicima je pojava koja se javlja iznad brzina preko  $V_i = 120 \text{ km/h}$ . Sa povećanjem progresivne brzine he-likoptera javlja se trešenje helikoptera, tj. oscilovanje lopatica na višim harmonicima, pri nestacionarnom kretanju se povećava tako da je pri maksimalnim brzinama dominantna frekvencija,  $f_{n3} = 4 \cdot f_{no} = 77.4 \text{ Hz}$ .

Dominantno oscilovanje rotora helikoptera na datoj frekvenciji ima za posledicu osetno trešenje celokupne strukture helikoptera, a samim tim i dinamički debalans rotora, koji se preko reduktora i veza sa struktu-rom helikoptera prenosi do pilotskog sedišta. Na osnovu principa leta he-likoptera napadni ugao ( $\alpha$ ) helikoptera pri ubrzanju je negativan, a u ta-kvom profilu leta dominantni su treći i drugi harmonik  $f_{no}$ .

Na osnovu dijagrama datog na slici 11 može se zaključiti da funkcional-nost veze struktura helikoptera – sedište pilota na frekvenciji  $2 \cdot f_{no} = 38.70 \text{ Hz}$  zavisi od brzine leta. Na brzinama manjim od  $140 \text{ km/h}$ , ne postoji prigu-šenje vibracija na vezi, dok je sa porastom brzine preko  $140 \text{ km/h}$  veza funkcionalna, tj. postoji prigušenje vibracija. [5]

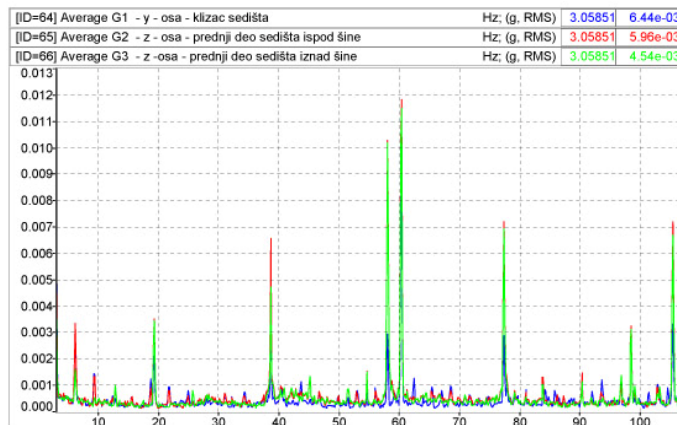
### Nivo vibracija u toku levog i desnog zaokreta

Nakon izvršene frekventne analize rezultata merenja u toku izvođe-nja levog i desnog zaokreta dobijeni su frekventni spektri dati na dijagra-mima na slikama 12 i 13.



Slika 12 – Osrednjeni frekventni spektr vibracija u fazi levog zaokreta na  $H_i=1000 \text{ m}$   
Figure 12 – Average frequency domain during the left turn at  $H_i=1000 \text{ m}$

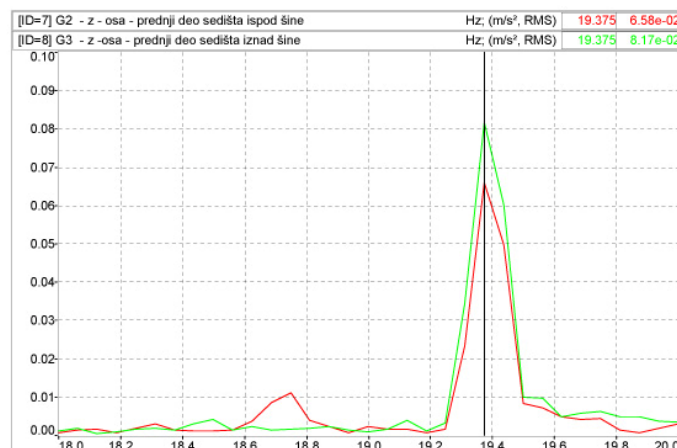




Slika 13 – Osrednjeni frekventni spektar vibracija u fazi desnog zaokreta na Hi=1000 m  
 Figure 13 – Average frequency domain during the right turn at Hi=1000 m

Osnovna razlika u frekvenciji i nivou vibracija u toku izvođenja zaokreta jeste što je u toku faze izvođenja levog zaokreta dominantna frekvencija od  $2 \cdot f_{no} = 38.70 \text{ Hz}$ , dok je u desnom zaokretu dominantna frekvencija  $3 \cdot f_{no} = 58.05 \text{ Hz}$ . Nivoi vibracija u toku izvođenja levog zaokreta su izrazito veći i uslovljeni su elastičnim pojavama lopatica usled opstrujavanja vazduha.

Analizom ova dva profila leta uočava se pojava pojačanja vibracija na frekvenciji  $f_{no} = 19.35 \text{ Hz}$ , kroz ispitivanu vezu u toku levog zaokreta (slika 14). Na drugim frekvencijama u toku ispitivanih profila leta nije uočena pojava pojačanja vibracija, ali potrebno je napomenuti da je i prigušenje vibracija izuzetno nisko. [6]



Slika 14 – Pojačanje vibracija kroz vezu struktura – sedište pri levom zaokretu  
 Figure 14 – Amplification of vibrations at the structure – pilot seat connection during the left turn

## Zaključak

Na osnovu iznetih teorijskih osnova, rezultata i analize izvršenih ispitivanja stanja veze strukture helikoptera i sedišta pilota na helikopteru „gazela“ može se sa sigurnošću konstatovati da postojeća veza nije filter vibracija u svim režimima rada helikoptera.

Ispitivana veza se u određenim profilima leta ponaša kao multiplikator vibracija u frekventnom opsegu od 3 Hz do 35 Hz, dok se na frekventnom opsegu iznad 35 Hz ponaša kao prigušivač vibracija. Funkcionalnost (prigušenje vibracija) veze se povećava sa povećanjem brzine helikoptera (bliske maksimalnim).

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da posmatrana veza zadovoljava propisani kvalitet standarda MIL-H 8501A i da nije potrebno vršiti modifikaciju ove veze.

Prikazana metodologija i postupak merenja i analize niskofrekventnog opsega vibracija na helikopteru „gazela“ može se primeniti na sve tipove letelica koje se nalaze u operativnoj upotrebi Vojske Srbije. Prikazanim postupkom ispitivanja može se vršiti merenje i analiza vibracija na svim elementima sistema helikoptera čiji je krajnji cilj zadovoljenje svetskih standarda, kontinualnim razvojem i modifikacijama tehničkih sistema, ili otkrivanjem potencijalnih oštećenja sistema. Stalnim usavršavanjima i modifikacijama tehničkih sistema iz sastava Vojske Srbije postiglo bi se podizanje celokupnog tehnološkog nivoa sistema odbrane.

## Literatura

[1] Thomas. M., *Helicopter Vibration Reduction Using Robust Control*, Dissertation, Von der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik der Universität Stuttgart, München, 2003.

[2] Johnson, W., *Helicopter theory*, Dover Publications, New York, 1994.

[3] Heffernan, R., Precetti, D., Johnson, W., *Vibration analysis of the SA349/2 Helicopter*, NASA Technical Memorandum 102794, USA, Januar 1991.

[4] Jovanović, S., Đurić, A., *Analiza štetnog uticaja vibracija na posadu u transportnim sredstvima Vojske Srbije*, Vojnotehnički glasnik, 4/2009, str. 93–107.

[5] Jovanović, M., *Uticaj promene brzine leta na niskofrekventni spektar vibracija helikoptera Gazela*, Zbornik radova III konferencije OTEH, Beograd, oktobar 2009.

[6] Jovanović, M., *Ispitivanje niskofrekventnog spektra vibracija na helikopteru Gazela*, Magistarski rad, Beograd, januar 2010.

## ANALYSIS OF LOW FREQUENCY VIBRATIONS ON THE STRUCTURAL CONNECTION ELEMENTS OF THE GAZELLE HELICOPTER

### Summary:

*In this paper the procedure and methodology of vibration testing on a Gazelle helicopter are presented with the aim to define efficiency of vibration damping at the structure– pilot seat connection. A particular attention is paid to the theoretical basis of helicopter vibrations, definition of working frequency, regime and profile of flight during the test. The results of the vibration measurement are shown in the frequency domain.*

### Introduction

*Nowadays, possibility of defining loads and vibrations is one of the most important requests in the design and modification of processes on helicopters. The loads occurring on the main rotor during flight are the basic source of vibrations on the helicopter. Possibilities to satisfy international standards in the area of structural and human vibrations are based on continuous and adequate measurement and analysis of the vibration levels on all elements of helicopters. This paper shows the procedures of vibration measuring and analysing in order to define efficiency of vibration damping using a modern acquisition system NetdB 12 and its software dBFA Suite.*

### Theoretical analysis of vibration sources on the helicopter main rotor

*The helicopter rotor operates in a complex aerodynamic flow field. The aerodynamic loads on the rotor blade vary considerably as it moves around the rotor disc, and in steady flight these loads are periodic. A particular attention is paid to a theoretical basis of vibration sources on a helicopter. A complex aerodynamic field in the plane of the helicopter main rotor during different profiles of flight is shown and explained. This part of the paper gives the equations of force and moments on the main rotor with the aim to define basic working frequencies.*

### Sources of vibrations and the determination of working frequencies on the gazelle helicopter

*The sources of vibrations on the Gazelle helicopter (main rotor, tail rotor and engine) are described as well as the vibration transfer from the sources to the structure through the helicopter transmission and the structure as a receiver of vibrations. The working frequencies of the Gazelle helicopter are defined and the causes for avoiding the low vibration frequency range are explained.*

### Methodology and procedure of vibration testing on the gazelle helicopter

*The procedure of vibration testing has a few steps (pre-test, test and post test step), given in Fig. 5. After the determination of working frequencies and the testing point, the next step is selecting test equip-*

*ment and installement of the accelerometers and other probes. After these preparations, the last step in the pre-test procedure is chosing the flight profiles in which the vibrations are measured.*

The results of testing and analysis of vibration damping at the structure – pilot seat connecting point

*The testing results are collected in the test phase. The results of the vibration measurment are shown in the time and frequency domain for the chosen flight conditions of the Gazelle helicopter. The results are given for two profiles of flight (for acceleration and for the left and right turn). The analysis must give an answer about the efficiency of vibration damping at the structure – pilot seat connecting point. The conclusions must not be ambiguous and must give enough elements for making a decision about subsequent actions.*

Vibration levels of in the acceleration phase

*For this phase of flight, all helicopter flight parameters are recorded and given as a function of time (velocity, altitude, drift of commands, loads und angular velocity) while the vibrations are given in the frequency domain. The vibrations at the tested connecting point are analysed in the function of velocity, followed by the conclusions and comments about the level of vibrations in the phase of acceleration.*

Level of vibrations during the left and the right turn

*For this profile of flight, the frequency spectrum for both turns is given and the fundamental difference in that spectrum is explained. The analysis of these two turns reveals the increase of the vibration level at the test point at a particular frequency.*

Conclusion

*The illustrated methodology and the procedures of measuring and analysing the low-frequency vibration range on the Gazelle helicopter can be applied for all types of aircraft which are in operational use in the Serbian Air Forces. The shown procedure can be used for measuring and analysing vibrations on all elements of helicopter systems, aiming at meeting international standards, continious system developing, modifying technical systems and detecting potential failure elements in the systems in operational service.*

*Key words: helicopter, vibration, frequency, test equipment*

Datum prijema članka: 23. 03. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29. 03. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 04. 2010.

# KONCEPT RAZVOJA SLUŽBI LOGISTIKE

Andrejić D. Marko, Sokolović S. Vlada, Milenkov A. Marjan,  
Vojna akademija, Katedra logistike, Beograd

UDC: 355.41

## Sažetak:

*Da bi logističke službe, kao deo sistema odbrane, bile efikasne i efektivne moraju biti kvalitetno organizaciono-tehnološki isprojektovane i kvalitetno vođene. Moraju da imaju dugoročni koncept razvoja sa ugrađenim organizacionim aspektom, jasno izražena težišta i prioritete u funkcionisanju, a takođe i kvalitetno definisane pokazatelje uspešnosti. Neophodno je da prate promene u bližem i daljem okruženju. Takođe, svaki proces koji je u nadležnosti logističkih službi mora biti dobro isprojektovan i upravljiv. Važan uslov za prevođenje logističkih službi iz jednog stanja u drugo jeste posmatranje odbrane i logistike odbrane i Vojske na načelima i logici sistemskog, a povremeno i situacionog pristupa. Polazna osnova za ostvarenje velikog stepena jedinstva unutar sistema logistike jeste definisanje koncepta razvoja službi logistike sa ugrađenim organizacionim aspektom, koji treba da razume i prihvati logistički sistem pri misaonom poimanju i operativnom delovanju.*

*Ključne reči: odbrana, logistika, jedinstveno shvatanje logistike, koncept, razvoj, logističke službe.*

## Uvod

Svaki organizacioni i ekonomski sistem, da bi bio efikasan i efektivan, mora biti kvalitetno organizaciono-tehnološki isprojektovan i kvalitetno vođen (upravljan), mora da ima dugoročni koncept razvoja sa ugrađenim organizacionim aspektom i jasno izražena težišta i prioritete u funkcionisanju, a takođe i precizno definisane pokazatelje uspešnosti. Neophodno je da prati promene u bližem i daljem okruženju i da im se prilagođava, ali i da aktivno utiče na svoje okruženje. Takođe, svaki proces u organizacionim i ekonomskim sistemima, da bi se odvijao kvalitetno, mora biti dobro isprojektovan i upravljiv.

Česte i brze organizacione promene, praćene povremenom promenom orijentacije i radikalnim smanjenjem brojnog stanja kadra u sistemu odbrane, a ponekad i narušavanjem propisane tehnologije radova, uslove su kao neophodnost postojanja u sistemu odbrane, a posebno u oblasti logistike dugoročnog „konsenzusa“, po najvažnijim pitanjima logistike, svih logističara i svih logističkih *steijholder-a*.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Svi oni koji su zainteresovani za logistiku i oni koji mogu uticati na rešenja u logistici.

Da bi se dostigle potrebne operativne sposobnosti i željeno stanje logistike neophodno je ostvariti filozofsko, intelektualno, doktrinarno, tehničko i operativno jedinstvo unutar sistema logistike, a zatim i sa ostalim podsistemima odbrane, u skladu sa potrebama prakse, zahtevima vremena i savremenim trendovima.

Polaznu osnovu za ostvarenje velikog stepena jedinstva unutar logistike Vojske jeste definisanje **koncepta razvoja službi logistike**<sup>2</sup> sa ugrađenim organizacionim aspektom, kao jedne intelektualne idejne skice koja sadrži smernice i preporuke pri intelektualnom promišljanju, razvoju i operativnom delovanju i doprinosi postepenom formiranju jedinstvenog logističkog shvatanja u sistemu odbrane.

U tom konceptu logističke službe moraju se posmatrati kroz duži vremenski horizont i dinamički, a opredeljenje je da bez razvoja logistike nema ni dostizanja visokih standarda podrške Vojske, u budućnosti.

Pri definisanju koncepta razvoja logistike u Vojsci<sup>3</sup> neophodno je da se sistem logistike sagleda na načelima i logici sistemskog pristupa, kao složeni, višenivojski organizacioni i ekonomski sistem. Pri tom treba imati u vidu misije, ciljeve, zadatke i razvojne faze Vojske i sistema odbrane, obeležja moderne logistike, trendove u razvoju logistike u svetu, faktore koji utiču na razvoj i funkcionisanje logistike, a takođe treba uvažiti i mogućnosti sistema odbrane (kadrovske, finansijske, materijalne, informacione, energetske i dr.). Opredeljenje je da je logistika Vojske deo logistike odbrane, a time i deo logistike države (nacionalne logistike) koja, pored odbrane i subjekata odbrane, podržava i ostale državne funkcije i subjekte.

Na projektovanje, stvaranje, razvoj i funkcionisanje logističke podrške vojske utiču brojni faktori, a pre svega: fizionomija savremenih bezbednosnih izazova, rizika i pretnji; sistemaska, pravna i doktrinarna dokumenta u sferi odbrane; obim i struktura vojske i način funkcionisanja i upotrebe i dostignuti stepen razvoja vojne opreme, stanje i dostignuti stepen razvoja logističke infrastrukture i dr.

Pri razmatranju pravaca razvoja logističkih službi biće zastupljena izvesna analogija koja se primenjuje i kod ostalih uspešnih, složenih višenivojskih, organizacionih i ekonomskih sistema. Postojanje dugoročnih koncepata razvoja, sa ugrađenim organizacionim aspektom, je nešto što će se sve više, u budućnosti pod uticajem javnosti, tražiti od kompetentnih upravljača i donosioca odluka.

<sup>2</sup> Logističke službe su deo sistema odbrane Republike Srbije koje imaju specifičnu opremu, organizaciju, školovanje, obuku i upotrebu. Predstavljaju stručne službe namenjene da propišu, organizuju i sprovedu logističku podršku Vojske i ostalih podsistema odbrane. Organizovane su na intervidovskoj osnovi sa integrisanim jedinstvenim upravnim organima čija organizaciona struktura prati specifičnosti vida (naročito kod tehničke službe).

Logističke službe se organizuju i dimenzionišu prema strukturi i veličini sistema odbrane, tako da mogu neprekidno, potpuno i pravovremeno sprovesti logističku podršku subjekata odbrane pri izvršavanju zadataka u okviru dodeljenih misija.

<sup>3</sup> Podsistem je logistike odbrane kao jedne od državnih funkcija. Državna (nacionalna) logistika podržava odbranu, ali i ostale državne funkcije.

Kroz ovaj rad će se određeni aspekti i segmenti razvoja logistike obrađivati sa visokim stepenom uopštavanja, osloncem na iskustva autora, istraživanja u kojima su autori učestvovali i osloncem na dostupne izvore znanja. Navedeni pristup omogućava veću generalnost izrečenih stavova, a sa druge strane može dobiti i na snazi (dubini i preciznosti) ukoliko se valjano operacionalizuje na svaku logističku službu, na svaki konkretan element ili slučaj.

## Obrana kao državna funkcija

Neotuđivo je pravo svake države na individualnu i kolektivnu odbranu. Obrana je važna državna funkcija za čiju realizaciju je odgovorna vlast (zakonodavna, izvršna i sudska). Obrana države je opšta potreba, pravo i obaveza svih subjekata odbrane i bezbednosti zemlje. Izvan napore koji su neophodni za uspešnu odbranu ne može ostati niko, pa u skladu sa time svi resursi (bez obzira na vlasništvo) kojima država raspolaze, odnosno koji su na njenoj teritoriji, u određenim uslovima postaju odbrambeni potencijal i dovode se u funkciju odbrane zemlje, saglasno njihovoj prirodi i potrebama zemlje u odbrani.

Subjekti odbrane svoj doprinos u odbrani zemlje daju na zakonski uređen način. Prava i dužnosti građana u odbrani zemlje su: vojna obaveza; učešće u civilnoj odbrani i zaštiti; radna obaveza i materijalna obaveza.<sup>4</sup>

Organizaciju odbrane određuju odnosi u proizvodnji, jer su oni baza za sve ostale odnose (državno vlasništvo, privatno sa domaćim ili stranim kapitalom, mešovito vlasništvo nad sredstvima za proizvodnju, uređenost vlasničkih odnosa, itd.). Obrana zahteva integraciju širokog obima sa jasno određenim odnosima organizacija (podsystema) i pojedinaca u sistemu odbrane, jer svaka izolovanost predstavlja slabljenje odbrambene organizacije, odnosno njene otpornosti. U odbrani države angažuju se svi materijalni, ljudski i ostali resursi, u skladu sa potrebama.

Osnovu sistema odbrane čine sledeći elementi i podsystemi: predsednik republike; Ministarstvo odbrane sa potčinjenim organizacionim celinama; jedinicama i ustanovama i privrednim subjektima; Vojska; Civilna odbrana; Ministarstvo unutrašnjih poslova i građani.

Sistem odbrane je vertikalno ustrojen i organizaciono uvezan i treba da omogućava funkcionisanje odbrane, u svim oblastima, na posredan i neposredan način. Sistem odbrane realizuje zadatke u oblasti vojne i civilne odbrane.

Okruženje sistema odbrane je promenljivo i vrlo kompleksno, a sastoji se iz velikog broja eksternih i internih faktora koji utiču na efikasnost

<sup>4</sup> Zakon o odbrani, član 47.

i efektivnost sistema. Vojska i ostali podsistemi sistema odbrane imaju svoju logističku podršku i izvesnu logističku autonomiju, a za dugotrajnije angažovanje oslanjaće se na resurse države, partnere i saveznike.

Bezbednost i interese države ugrožavaju različiti bezbednosni izazovi, rizici i pretnje, vojne i nevojne prirode. Neretko, u praksi, vojni i nevojni bezbednosni izazovi, rizici i pretnje ispoljavaju se kombinovano.

U zavisnosti od prirode uzroka i subjekata ugrožavanja bezbednosti zemlje, reaguje se primenom oružanih i neoružanih aktivnosti, angažovanjem različitih subjekata odbrane i bezbednosti zemlje. Stepem opasnosti po odbranu i bezbednost zemlje opredeljuje i sastav, jačinu i model angažovanja subjekata odbrane.

Pripremajući se za zaštitu svojih interesa i odbranu država stvara i razvija organizovani sistem odbrane. Da bi sistem odbrane mogao da funkcioniše efikasno i efektivno, delovanje mu se usmerava zakonom, određuju mu se misija koju treba da ispuni (opravda svojim postojanjem i delovanjem), ciljevi koje treba dostići, rezultati koje treba ostvariti, zadaci koje treba izvršiti, načini postupanja u različitim stanjima (stanje neposredne ratne opasnosti, ratno, vanredno) i načela (principi) funkcionisanja, u različitim stanjima i različitim ambijentalnim uslovima.

Da bi se sistem odbrane uspešno prilagođavao okruženju i razvijao, neophodno je da ima adekvatno određenu jasnu viziju.

Najveća opasnost po razaranje i uništenje države jeste agresija (napad oružanim snagama). Može se realizovati dejstvima sa distance ili neposrednim ulaskom stranih oružanih formacija na državnu teritoriju. S obzirom na opasnost koju agresija nosi po državu i na resurse koji se u njoj mogu potencijalno angažovati, treba joj posvetiti i adekvatan značaj, u pripremi za odbranu i u toku izvođenja odbrane.

Odbrana zemlje se ostvaruje: organizovanjem i pripremanjem snaga za izvršavanje zadataka u odbrani zemlje, odnosno za odvratanje protivnika; učešćem građana u oružanoj borbi i drugim oblicima suprotstavljanja protivniku do konačnog otklanjanja ili prestanka opasnosti za zemlju; izvršavanjem drugih poslova i zadataka od interesa za odbranu zemlje, u skladu sa obavezama utvrđenim planovima mobilizacije i upotrebe Vojske; planom organizovanja priprema za odbranu i odlukama državnih organa pripremljenih za slučaj neposredne ratne opasnosti, ratnog stanja, vanrednog stanja ili ugrožavanja mira u regionu i svetu.

Država neprekidno razvija i unapređuje odbrambene mogućnosti sa ciljem sprečavanja narušavanja bezbednosti, razvija i priprema se za suprotstavljanje ugrožavanju bezbednosnih interesa. Efikasno upravljanje Vojskom i ostalim podsistemima odbrane, sa adekvatnom logističkom podrškom, omogućava izvršavanje namenski zadatka svih podsistema odbrane sa ciljem ostvarivanja sopstvene misije.



Država, kao najpozvanija i najodgovorniji nosilac odbrane, mora rešiti suštinska logistička pitanja odbrane. U tom smislu državni i privredni organi (uključujući i privatni sektor), vlasnici imovine i kapitala i ostali subjekti odbrane i bezbednosti zemlje moraju se učiniti nosiocima odgovarajućih obaveza. Ta odgovornost je jednako važna kako u fazi priprema za odbranu, tako i u njenom ostvarivanju angažovanjem snaga odbrane na matičnoj teritoriji i izvan nje – svuda gde su ugroženi, odnosno gde postoje državni interesi.

## Logistika odbrane

Da bi jedna država mogla da realizuje sve državne funkcije, a posebno odbranu, mora posedovati određenu logistiku. Logistiku jedne države, pored osposobljenih kadrova za provođenje logističkih procesa, čini: adekvatna pravna regulativa; odgovarajuća proizvodnja i usluge; uslužna oprema; sirovine; energenti; infrastruktura i ostala neophodna podrška za realizaciju odgovarajućih proizvodno-uslužnih, socijalnih, obrazovnih, kulturnih, odbrambenih i drugih planova i programa koji imaju za cilj da povećaju odbrambenu i ekonomsku moć zemlje i da zadovolje raznovrsne potrebe stanovništva.

Sposobnost države da realizuje funkciju odbrane i vodi rat (njen ratni potencijal) umnogome se meri sposobnošću da mobilize i iskoristi sve svoje ekonomske, privredne, industrijske i vojne rezerve radi podrške oružanih snaga. Ta mobilizacija industrije i privrede predstavlja ogroman logistički proces. Logistički proces, koristeći se glavnim elementima logistike (zahtevima, nabavkom i raspodelom), upotrebom logističkih kategorija (ljudstvo, materijalna sredstva, infrastruktura – postrojenja i službe) i osnovnim aspektima menadžmenta (planiranjem, organizacijom, sprovođenjem i kontrolom) obrazuje sponu između ekonomskog sistema države i zadatka i operacija borbenih snaga (snaga odbrane). Logistički proces je istovremeno i ekonomski element vojnih operacija i vojni element privrede.

Radi uspešnog ostvarenja odbrane države, u toku priprema za odbranu i u toku izvođenja odbrane, sistemski se moraju na nivou države rešavati brojni problemi logistike odbrane koji omogućavaju funkcionisanje subjekata odbrane:

- pripreme za funkcionisanje državnih organa u kriznim situacijama, vanrednom stanju i u ratu;
- privredno-sistemske pripreme zemlje za rat;
- materijalne i zdravstvene pripreme preduzeća i ustanova za odbranu;
- opremanje Vojske i MUP-a naoružanjem i vojnom opremom;
- obezbeđenje ishrane i snabdevanja drugim potrebama civilnog stanovništva;

- obezbeđivanje sirovina i repromaterijala za proizvode bez kojih nije moguć život u ratu i za vreme ekonomskih blokada i sankcija;
- funkcionisanje velikih privrednih i drugih važnih sistema bez kojih nije moguće obezbeđivanje odgovarajućih materijalnih preduslova odbrane;
- funkcionisanje sistema zdravstvene zaštite - uključivši i lečenje i proizvodnju lekova i drugog sanitetskog materijala;
- obezbeđivanje novčanih prinadležnosti zaposlenima;
- obezbeđenje materijala za potrebe poljoprivredne proizvodnje kao i obezbeđivanje radne snage (između ostalih i za porodice čiji su članovi angažovani u Vojsci ili MUP-u);
- održavanje neophodnih komunikacija;
- pomoć oružanim snagama u održavanju objekata;
- održavanje saobraćaja u funkcionalnom stanju;
- obezbeđenje energenata i pogonskog goriva, za potrebe Vojske, MUP-a i građana;
- funkcionisanje informativnog sistema, posebno u funkciji suprotstavljanja propagandi protivnika;
- obezbeđenje državnih organa sistemima veza;
- održavanje ekonomske stabilnosti;
- finansiranje odbrambenih priprema i ratnog stanja države;
- finansiranje učešća naše vojske u međunarodnim misijama i druge obaveze.

Ostvarivanje navedenih logističkih poduhvata u toku rata biće otežano, ali bez zadovoljenja nekih od navedenih zahteva neće biti moguće ni sam otpor [2] odnosno odbrana države. Deo resursa<sup>5</sup> država usmerava i daje na raspolaganje i korišćenje Vojsci kao najvažnijem podsistemu odbrane.

Sa državnim resursima datim Vojsci na korišćenje mora se poslovati racionalno i krajnje odgovorno, a za to je odgovoran nadležni menadžment.

Upotreba državnih resursa mora se optimizovati, ne treba „duplirati resurse“, naročito ako su „pasivni“ i ne donose državi korist, osim u meri koja obezbeđuje zahtevanu operativnu i funkcionalnu sposobnost sistema odbrane.<sup>6</sup> Nivo sposobnosti se menja u zavisnosti od vrste i intenziteta bezbednosnih izazova, rizika i pretnji kojima je država izložena.

Smanjenje „pasivnih“ resursa<sup>7</sup> se organizaciono može smanjivati opredeljenjem sistema odbrane da „masu zameni brzinom reagovanja“ odbrambenog sistema (kvalitetni integrisani informacioni sistemi za praćenje stanja resursa, automatizovani sistemi za podršku odlučivanju, pri-

<sup>5</sup> Resursi podrazumevaju sredstva za proizvodnju, ljudski faktor, tehničko-tehnološko znanje, preduzetništvo i organizacione sposobnosti, prirodno bogatstvo.

<sup>6</sup> Generalno, svi pasivni resursi (naročito zalihe materijalnih sredstava) prouzrokuju troškove a takođe i resursi namenjeni za proizvodnju i usluge ukoliko nisu upošljeni maksimalno. Državni resursi moraju biti (upošljeni) stavljeni u funkciju maksimalno, delom da podmiruju potrebe sistema odbrane a delom da ostvaruju prihode za državu.

<sup>7</sup> Smanjenje ne znači i nepostojanje već stalnu težnju sistema ka optimizaciji.

mena tehničkih sistema nove generacije, inteligentna municija, transportna sredstva nove generacije, primena sredstava integralnog transporta, sistemi za podršku odlučivanju, itd.) [4].

U skladu sa mogućnostima i resursima koje obezbeđuje privredni sistem zemlje (sa privrednim granama i oblastima), nadležni državni organi i preduzeća obezbeđuju logističku podršku jedinica i ustanova Vojske, u svim fazama životnog ciklusa sistema.<sup>8</sup> Logistički organi u Vojsci, u skladu sa resursima i mogućnostima, koje je obezbedila državna logistika sprovode logističku podršku jedinica i ustanova Vojske u miru i ratu.

S obzirom na dodeljene misije, Vojska ima izvesnu „kontrolisanu“ logističku autonomiju, po svim logističkim funkcijama. Logistička podrška se ostvaruje u skladu sa zakonima i principima, uz puno poštovanje vlasništva nad sredstvima za proizvodnju i vlasništva nad resursima koji se koriste u procesu logističke podrške.

## Sistem logističke podrške

Prema opštoj teoriji sistema, svaki sistem sastoji se od skupa delova koji formiraju neku funkcionalnu celinu, od načina povezivanja i intenziteta veza između pojedinih delova i, kao treće, od principa (pravila) na osnovu kojih se ti delovi povezuju u celinu. Kada je reč o logističkom sistemu neophodno je, dakle, otkriti njegove osnovne (sastavne) delove, njihovu međusobnu povezanost i principe na osnovu kojih on funkcioniše. Sa druge strane, logistički sistem, kao relativno samostalna celina, samo je deo sistema odbrane koji, inače, obuhvata još i druge podsisteme.

Sistem logističke podrške čine: kadar koji egzistira u upravnim i izvršnim organima logistike; materijalna sredstva logističkih organa i jedinica; prostor na kome su smešteni (razvijeni) elementi sistema logističke podrške; logistički objekti i instalacije, pravna normativa i vojnostručna literatura i dokumentacija iz oblasti logističke podrške.

Organizacionu osnovu sistema logističke podrške u Vojsci Srbije predstavlja organizacijsko-formacijska struktura logističkih službi, a nosioci zadataka logističke podrške su, komande, štabovi i uprave, jedinica i ustanova Vojske.

Logističke službe su deo sistema odbrane Republike Srbije koje imaju specifičnu opremu, organizaciju, školovanje, obuku i upotrebu. Predstavljaju stručne službe namenjene da propišu, organizuju i sprovedu logističku podršku Vojske i ostalih subjekata odbrane. Organizovane su na intervidovskoj osnovi sa integrisanim jedinstvenim upravnim organima čija organizaciona struktura prati specifičnosti vida (naročito kod tehničke službe).

<sup>8</sup> U skladu sa zakonima i određenim principima

Logističke službe su: tehnička, intendantska, saobraćajna, sanitetska, veterinarska i građevinska. Nazivi, nadležnosti i ustrojstvo logističkih službi su podložni promenama, pratiće suštinske i formalne promene u sistemu odbrane i prilagođavaće se potrebama prakse, zahtevima vremena i savremenim trendovima u logističkoj podršci savremenih vojski i vojnih saveza.

U strukturu jedinica i ustanova instalirani su adekvatni upravni organi logistike kao stručni nosioci definisanih nivoa logističke podrške. Deo stručnih zadataka logistički organi propisuju, organizuju i izvršavaju, a deo zadataka samo propisuju (normativno regulišu) što izvršava nelogistički kadar u svojim organizacionim celinama. Upravni organi su organizovani u sektor, uprave, odeljenja, odseke, referate, a negde je to samo jedno lice u ulozi referenta.

Misija sistema logistike ogleda se u planiranju, stvaranju, razvoju, pokretanju i održanju, odnosno neprekidnoj podršci efikasnih i efektivnih snaga odbrane. Od nje se zahteva da Vojsci obezbedi manevar, precizno dejstvo (vatru), sveobuhvatnu zaštitu i racionalnu i fokusiranu podršku „odozgo prema dole“ onda kad treba, tamo gde treba, u meri u kojoj treba i na zahtevani način, što bliže mestu nastajanja logističkih zahteva.

Objekat interesa logistike jesu čovek, sredstvo, logistički objekti i instalacije, integrisani borbeni sistem (tehnički sistem i čovek sa svom podrškom) i organizacioni sistem (jedinice i ustanove), kao celina.

Ciljevi sistema logističke podrške odbrane mogu biti:

- **objektni** ciljevi, koji podrazumevaju određenu proizvodnju, radove i usluge radi podmirenja pojedinačnih, zajedničkih i opštih potreba sistema odbrane;

- **namenski** ciljevi, koji podrazumevaju stvaranje materijalnih, tehničkih, zdravstvenih, infrastrukturnih i finansijskih uslova za život, rad, borbu i izvršavanje drugih zadataka Vojske, u okviru dodeljenih misija.

Funkcionisanje sistema logističke podrške vrši se u skladu sa zakonima i principima (principi funkcionisanja). Na strategijskom i operativnom nivou dominantniju ulogu imaju zakoni a na taktičkom nivou veći akcenat je na principima koji su u skladu sa zakonima.

Takođe, i projektovanje<sup>9</sup> sistema logističke podrške vrši se u skladu sa određenim principima (principi strukturalne i funkcionalne konstitucije).

Rad u sistemu logističke podrške organizuje se u odnosu na radni učinak i u odnosu na naprezanje ljudstva (principi organizacije rada: individualnog i kolektivnog).

Logističku podršku karakterišu: prostorna, vremenska i organizaciono-tehnološka komponenta, a karakteristični periodi u funkcionisanju sistema logističke podrške i zadaci u tim periodima prikazani su u tabeli 1.

<sup>9</sup> Pri projektovanju sistema logističke podrške projektant se pridržava sledećih principa cilja: princip maksimuma, princip zajedničkog cilja svih podsistema, princip specifičnih ciljeva podsistema.

Tabela 1

Karakteristični periodi i zadaci u funkcionisanju sistema logističke podrške

PERIODI (FAZE) U FUNKCIONISANJU SISTEMA	ZADACI SISTEMA
mir, krizne situacije i vanredno stanje	Podrška funkcionisanja sistema odbrane, obuka vlastitog kadra za izvršavanje zadataka u okviru dodeljenih misija, podrška obuke ostalih subjekata
mobilizacija	Sprovođenje vlastite mobilizacije i podrška mobilizacije ostalih subjekata.
rat	Rad prema dobijenim zadacima, u skladu sa zakonima i principima upotrebe, a u cilju podrške sprovođenja donetih odluka, borbena obuka i podrška obuke ostalih organa.

Sistem logističke podrške Vojske podsistem je sistema odbrane kao hijerarhijski višeg sistema i u sebi sadrži sva njegova obeležja. Kao sistem obrazuje jedinstvo sa svojim okruženjem, zavisi od njega ali i sam doprinosi njegovom razvoju. Teorijski gledano to je HIJERARHIJSKI složeni organizacioni i ekonomski sistem sa jasno prepoznatljivim svim obeležjima ovakvih sistema: konceptijski je i empirijski; prirodan i veštački;<sup>10</sup> socijalni, otvoren; permanentan i privremen; nestacionaran u opštem slučaju i stacionaran u kraćem vremenskom periodu.

Interakcija elemenata unutar sistema i sa okruženjem ostvaruje se kroz realizaciju procesa koji se odvijaju u sistemu.

Pokazatelji uspešnosti funkcionisanja sistema logističke podrške, kao organizacionog i ekonomskog sistema mogu se podeliti na neekonomske i ekonomske.

U neekonomske pokazatelje, načelno se ubrajaju: efektivnost sistema; funkcionalnu sposobnost; kvalitet proizvoda, radova i usluga kao meru dostignutog nivoa tehnologije, dizajna i marketinga (ali i kvaliteta funkcionisanja sistema); zadovoljstvo korisnika usluga (podrazumeva kako kvalitet proizvoda i usluga, tako i prateće sadržaje: dostupnost servisa, ljubaznost – pristojnost ponašanja prema klijentima, podrška kroz čitav životni ciklus, profesionalno nastupanje među konkurentima i u javnosti i dr.); zadovoljstvo zaposlenih (motivacija, ekonomsko zadovoljenje potreba zaposlenih, prateći objekti i sadržaji kojima se podiže standard zaposlenih).

Ekonomske pokazatelje čine: organizovanost sistema, dohodak, troškovi životnog ciklusa, odnosi troškova i obima poslovanja, ukupan radni učinak sistema, produktivnost<sup>11</sup> (produktivnost), ekonomičnost<sup>12</sup> i rentabilnost.<sup>13</sup>

<sup>10</sup> Prirodan je ako se čovek tretira kao deo života na zemlji a veštački ako se tretiraju i druge forme ljudske organizacije...

<sup>11</sup> Produktivnost, kao zahtev da se ostvari određena količina proizvoda i usluga uz minimalno trošenje radne snage (ekonomija rada).

<sup>12</sup> Ekonomičnost, kao zahtev da se ostvari određena vrednost materijalne proizvodnje ili proizvodnje usluga, uz minimalne troškove materijala u toj proizvodnji (ekonomija materijala).

<sup>13</sup> Rentabilnost, kao zahtev da se ostvari maksimalni dohodak (finansijski rezultat rada) uz minimalnu sumu angažovanih finansijskih sredstava (za ostvarenje tog rezultata) (ekonomija finansijskih sredstava).

Pored osnovnih proizvodnih funkcija (proizvodnja, nabavka, prodaja, snabdevanje, održavanje, transport, zdravstvo, opšta logistika i infrastruktura), sistem logističke podrške, kao organizacioni sistem, realizuje, posredno i neposredno, i sledeće funkcije: plansko-analitičku; istraživačko-razvojnu; organizacijsko-mobilizacijsku; funkciju opremanja sa materijalnim sredstvima iz taktičke nadležnosti logističkih službi (taktički nosioci), sa pratećim komercijalnim poslovima; kadrovsku; administrativnu; regulativno-normativnu i izdavačku i finansijsko-računovodstvenu.

U operativnoj logističkoj podršci odbrane uočavaju se tri karakteristična nivoa: organska logistika, logistika u Vojsci i logistika odbrane.

1. ORGANSKA LOGISTIKA – logistika u bataljonu – divizionu koja je duboko integrisana u sve segmente bitisanja i delanja osnovnih jedinica rodova i službi i za koju su funkcionalno odgovorni komandiri i komandanti jedinica. Iznad ovog nivoa postoje organi nadležni za funkcionisanje logistike na funkcionalnoj osnovi.

2. LOGISTIKA U VOJSCI, za koju su u skladu sa nivoima organizovanja Vojske, funkcijski odgovorni određeni, funkcionalno organizovani, logistički organi i jedinice u okviru Vojske (organi i jedinice za snabdevanje, održavanje, transport, zdravstvo, opštu logistiku,<sup>14</sup> infrastrukturu, na čelu sa Upravom za logistiku (J-4) GŠ VS). Podrazumeva logističku podršku bataljona (i jedinica istog ranga), brigada (i jedinica istog ranga) i logističku podršku operativnih sastava Vojske.

3. LOGISTIKA ODBRANE, kao deo nacionalne (državne) logistike<sup>15</sup> za koju je funkcionalno odgovorna Vlada Republike Srbije koja preko resornih ministarstava obezbeđuje podršku Vojske Srbije (logistika Vojske) i ostalih subjekata odbrane, kao i drugih državnih sistema i nacionalne privrede i njenih međunarodnih obaveza, zahteva i nastupa. Da bi Vojska Srbije mogla da izvršava namenske zadatke u domenu odbrane i ispunjava misije odnosno da živi, radi, razvija se i opstaje, neophodno je da postoje sledeći preduslovi: kolektivno intelektualno profilisanje logističke politike odbrane; definisanje logističke uspešnosti; definisanje logističkih kriterijuma ešeloniranja, normativa i logističkih normi; bilansiranje potreba sistema odbrane – planiranje logističkih potreba i utvrđivanje logističkih mogućnosti; opremanje Vojske materijalnim sredstvima iz proizvodnje i putem nabavki na tržištu (domaćem ili inostranom); ešeloniranje i distribucija razvijenih i nabavljenih materijalnih sredstva u skladu sa utvrđenim kriterijumima, normativima i normama pripadanja; održavanje ešeloniranih i distribuiranih količina i upra-

<sup>14</sup> Opšta logistika kao funkcija uključuje ishranu; odevanje; obezbeđenje energentima za zagrevanje prostorija; obezbeđenje električne energije (ugovaranje sa distributerima); obezbeđenje vodom; berberske usluge; opravka nameštaja, odeće i obuće; pranje rublja; hemijsko čišćenje rublja; kupanje i presvlačenje ljudstva i dr.

<sup>15</sup> Podržava i druge državne funkcije, a ne samo odbranu, i druge državne aktivnosti.

vljanje zalihama materijalnih sredstava; obezbeđenje zahteva kvaliteta života, proizvodnje, radova i usluga; obezbeđenje zahteva standardizacije, metrologije, kodifikacije i nomenklature; kontinuirani razvoj logističkog sistema, izrada logističke normative i vojnostručne literature; upravljanje logističkim sistemima u realnom vremenu zasnovano na dobroj informacionoj vidljivosti stanja resursa [1]; adekvatno uređeno otuđenje materijalnih sredstava iz sistema odbrane (prodajom, uništenjem i sl.); ispoljavanje logističkog uticaja na školovanje i usavršavanje logističkog kadra i unapređenje logističkih aspekata obrazovanja menadžmenta u sistemu odbrane; saradnja sa logističkim sistemima u zemlji i inostranstvu; adekvatna zaštita resursa i životne sredine, itd.

Zadatke u okviru navedenih funkcija realizuju logističke službe, a deo zadataka realizuje i kadar koji ne pripada logističkim službama. Jedna logistička služba realizuje zadatke u okviru jedne ili više logističkih funkcija. Realizacija zadataka u okviru navedenih funkcija ima svoju prostornu, vremensku i organizaciono-tehničku dimenziju.

## Globalni trendovi u razvoju i operativnom delovanju logistike u modernim sistemima odbrane

S obzirom na to da je logistika veliki proizvođač, nabavljač i distributer materijalnih sredstava i veliki potrošač finansijskih sredstava, ona mora biti oblast naročite pažnje menadžmenta, civilnog i vojnog, i permanentne kontrole, u fazi planiranja, organizovanja i sprovođenja logističkih aktivnosti. Ta kontrola prvenstveno se odnosi na finansijsko i materijalno poslovanje, kvalitet proizvoda i usluga, logističke prioritete i rešenja. Upravo na području kontrole ima najviše potencijalnih nesuglasica i trvenja. Razumevanje prirode i stepena logističke kontrole (stručnost, sposobnost dobrog rasuđivanja i odmerenost) koju menadžment treba da ostvari bitno je za postizanje očekivane efikasnosti i efektivnosti.

Sistemi logističke podrške, kao ekonomski i organizacioni sistemi, menjaju se ili pod pritiskom okruženja ili samoinicijativno usled uviđanja objektivnih potreba da se prilagođavaju promenama okruženja i idu u susret globalnim promenama, u bližem i daljem okruženju.

Promenama su izloženi svi segmenti sistema: kadar, infrastruktura, pokretne stvari, normativa, organizaciona struktura, kultura i klima, načini izvršavanja zadataka, itd.

Organizaciona modernizacija podrazumeva uzimanje od postojećeg sistema svega onoga što je kvalitetno i drugačije komponovanje

unutar novog sistema, ugradnju novih rešenja koja su već proverena kod drugih (stranih) sistema odbrane i ugradnja novih elemenata za buduće misije i zadatke.

Organizacionom modernizacijom sistema logističke podrške, u savremenim sistemima odbrane, teži se postizanju rešenja koje fleksibilno i u realnom okruženju treba da garantuje odgovarajuću ravnotežu između dve komponente: visokopokretne podrške najisturenijih taktičkih formacija i teritorijalne komponente na kojoj se zasniva funkcionisanje velike logističke infrastrukture (oprema, rezerve, objekti, instalacija i drugi resursi). Zajednička osnova daljeg razvoja obe komponente zasnovana je na adekvatnoj informatičkoj podršci rada i vidljivosti stanja resursa što omogućava skraćivanje vremena odziva logističkog sistema.

Prilagođavanje logistike novim potrebama vrši se „procesom olakšavanja i procesom strukturne i funkcionalne reorganizacije“. Vršiti se centralizacija planiranja zadataka i obezbeđenja ključnih resursa a decentralizacija izvršavanja i razvoj automatizovanih informacionih sistema koji će omogućiti, u realnom vremenu, „bolji uvid u stanje resursa i zahteve za borbenim materijalom i ostalim potrebama“ i „najcelishodnije usmeravanje dotura“ prema mestima najveće potrošnje. Logističke operacije zasnovane su na racionalnom deljenju logističkih resursa.

Orijentacija je da napredak u informacionoj podršci i transportnoj tehnologiji omoguće da borac masu zameni brzinom i bude uveren da će sve dobro funkcionisati.

Teži se projektovanju osnovnog logističkog modula za osnovne i „ad hok“ zadatke. Čine se naponi na unapređenju logističke podrške bataljona – divizionu i na proširivanju spektra logističke podrške.

Zahvati se vrše u području komandovanja, kontroli i distribuciji na mestu nastajanja logističkih zahteva (bojnom polju). Podrazumeva se i razvoj tehnologija za automatsku identifikaciju i veće integrisanje logistike u veće automatizovane informacione sisteme i industriju.

Izuzetno dobra rešenja, zastupljena u modernim vojskama, čine: koncept isturene logističke podrške; racionirana potrošnja i normiranje potreba (utroška) i mogućnosti (norme); znatno zastupljeni normativi pri vršenju radova i usluga i racionalan odnos prema izboru načina dotura materijala (od sebe, ka sebi, kombinovano).

Razvoj logistike je, generalno, pratio razvoj<sup>16</sup> sistema odbrane i Vojске kao njegovog najvećeg dela, utičući na njih i istovremeno poprimajući od njih određena organizaciona i tehnološka obeležja. Glavne razvojne faze logistike prikazane su u tabeli 2.

<sup>16</sup> Mišković, V., Autorizovana predavanja, VA, Katedra logistike, Beograd, 2006.



Tabela 2

## Razvojne faze logistike Vojske

Do sedamdesetih godina dvadesetog veka	Od sedamdesetih do devedesetih godina dvadesetog veka	Posle devedesetih godina dvadesetog veka
1	2	3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Upravljanje po sektorima, nije posebno izraženo;</li> <li>• Logistika se smatra sporednom delatnošću;</li> <li>• Parcijalni razvoj podsistema;</li> <li>• Rascepanost logističkih funkcija;</li> <li>• Slaba informaciona povezanost;</li> <li>• Parcijalna optimizacija;</li> <li>• Nizak nivo tehnologije;</li> <li>• Slaba iskorišćenost resursa, itd.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uspostavljanje upravljačke funkcije;</li> <li>• Razvoj funkcionalnih elemenata u sistemu;</li> <li>• Razvoj po podsistemima sa težnjom razvoja po funkcijama;</li> <li>• Razvoj informacionih sistema po funkcijama u okviru logističkih podsistema;</li> <li>• Optimizacija po funkcijama;</li> <li>• Podizanje nivoa tehnologije;</li> <li>• Povećanje iskorišćenosti resursa, itd.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrisano upravljanje;</li> <li>• Integralni logistički sistem;</li> <li>• Integrisani logistički lanci;</li> <li>• Kooperacija, integracija, i specijalizacija logističkih sistema;</li> <li>• Uspostavljanje razvojne funkcije;</li> <li>• Razvoj logističkog informacionog sistema;</li> <li>• Postepena primena logističkog kontroloringa, itd.</li> </ul>

Moderan koncept logistike odbrane podrazumeva niz sinhronizovanih napora, u različitim oblastima, a pre svega:

- upravljanje materijalnim resursima, zasnovano na naučnim dostignućima, i poznavanje logističkih mogućnosti odnosno šta se može učiniti sa resursima koji su dostupni i koji su resursi potrebni za ostvarenje planiranih zadataka, ostvarenje rezultata, dostizanje ciljeva i opravdanjeodeljenih misija logistike;
- projektovanje logistički održivog sistema odbrane i insistiranje na sagledavanju i poznavanje cene svake upravljačke odluke, u oblasti odbrane;
- eksplicitno izražavanje težišta i prioriteta;
- posmatranje objekata interesa logistike (čovjek, sredstvo, integrisani borbeni sistem, logistički objekti i instalacije, organizacioni sistem, ekonomski sistem) kroz čitav životni ciklus;
- optimizaciju utroška resursa, vojnih i civilnih, za potrebe odbrane i insistiranje na kvalitetu;
- promenu, u svesti ljudi koji se bave odbranom kao važnom državnom funkcijom, odnosa prema logistici i shvatanja mesta i uloge logistike u dostizanju ciljeva odbrane i opravdanju misije sistema odbrane (logistika postepeno preuzima „ulogu prednjeg odreda“ u pripremi i izvođenju operacija odbrane);
- pravilno pozicioniranje, dimenzionisanje i organizaciono ustrojstvo upravljačkog vrha logistike u MO (Vladi) i civilna demokratska kontrola logistike odbrane;

• ofanzivno uključenje u međunarodnu logistiku – podelu rada uz poštovanje međunarodnih zakona i standarda i domaćih zakona i standarda, i stalnu težnju za povećanjem konkurentnosti na međunarodnom nivou.

Potrebni preduslovi za uspešne organizacione promene i razvoj službi logistike prikazani su u tabeli 3, a takođe i posledice neispunjenja nekog od navedenih uslova.

Tabela 3

Preduslovi za uspešne organizacione promene

IMATI VIZIJU I dobru volju NIJE DOVOLJNO ..... za uspeh organizacionih promena					
VIZIJA +	VEŠTINE ISKUSTVO + ZNAJENJE	POBUDA POTICAJ MOTIVACIJA INICIJATIVA +	RESURSI +	AKCIONI PLAN	= PROMENE
	VEŠTINE ISKUSTVO + ZNAJENJE	POBUDA POTICAJ MOTIVACIJA INICIJATIVA +	RESURSI +	AKCIONI PLAN	= KONFUZIJA
VIZIJA +		POBUDA POTICAJ MOTIVACIJA INICIJATIVA +	RESURSI +	AKCIONI PLAN	= ANKSIOZNOST = ZBRINUTOST = UZNEMIRENOST
VIZIJA +	VEŠTINE ISKUSTVO + ZNAJENJE	POBUDA POTICAJ MOTIVACIJA INICIJATIVA +	RESURSI +		= POGREŠAN, VARLJIV, NETAČAN POČETAK
VIZIJA +	VEŠTINE ISKUSTVO + ZNAJENJE	POBUDA POTICAJ MOTIVACIJA INICIJATIVA +		AKCIONI PLAN	= FRUSTRACIJE
VIZIJA +	VEŠTINE ISKUSTVO + ZNAJENJE		RESURSI +	AKCIONI PLAN	= SPORE PROMENE
DA BI ORGANIZACIONE PROMENE USPELE TREBA IMATI:					
STRATEGIJU	ORGANIZACIJU	KADAR koji zna ili koji je spreman da nauči to što je potrebno i druge RESURSE, u potrebnoj meri i pravilno raspoređene			
PARTICIPIRANJE U REFORMAMA LJUDI KOJI ĆE DA SPROVODE ISTE je vrlo značajno					

## Aspekti i elementi koncepta razvoja službi logistike

Pri definisanju koncepta razvoja logističkih službi neophodno je poštovati misiju logističkih službi, kao dela sistema odbrane, ciljeve koje logističke službe trebaju dostići, rezultate koje trebaju ostvariti i zadatke koje trebaju izvršavati. Takođe, treba poštovati misije pojedinih podsistema koje logističke službe podržavaju i njihovo funkcionisanje u miru, kriznim situacijama, mobilizaciji i ratu.

Koncept razvoja službi logistike treba da bude usmeren ka logističkom sistemu i njegovoj unutrašnjosti odnosno elementima sistema, ali treba da poštuje i okruženje<sup>17</sup> sistema i njegovo delovanje na operativne i funkcionalne sposobnosti, postojeće i potrebne, logističkih službi.

Na koncept razvoja logističkih službi, pored trenutnog stanja u službama, utiču brojni činioci iz okruženja, a pre svega:

- fizionomija savremenih bezbednosnih izazova, rizika i pretnji;
- sistemska, pravna i doktrinarna dokumenta u sferi odbrane;
- struktura i veličina Vojske, način organizovanja i način funkcionisanja;
- dostignuti nivo razvoja i usavršavanja sredstava naoružanja i druge vojne opreme, logističke infrastrukture, tehnologije i organizacije realizacije zadataka u okviru logističkih funkcija;
- karakteristike logističkih zahteva;
- politika odbrane.

Važan segment koncepta jeste i kvalitetno definisanje pokazatelja uspešnosti funkcionisanja logističkih službi i što veća kvantifikacija parametara sistema (brojno stanje, površine, zapremine, vremenski resursi, eksploatacioni resursi, radna sposobnost, nosivost, proizvodne mogućnosti, remontne mogućnosti i dr.).

Koncept treba da obuhvati vremenski, prostorni i organizaciono-tehnološki aspekt razvoja, intelektualno promišljanje u domenu rada logističkih službi i operativno delovanje, pri podršci snaga odbrane u ispunjenju definisanih misija.

Vremenski aspekt razvoja zahteva definisanje stanja logističkih službi s obzirom na različite vremenske horizonte (trenutno stanje – sadašnjost, bliža i dalja budućnost). S obzirom na to da je okruženje logističkog sistema dosta turbulentno, neophodno je da identifikovanje i definisanje trenutnog stanja bude vrlo precizno, određenje stanja u bližoj budućnosti manje precizno i opis željenog stanja u daljoj budućnosti bude opštiji i više kvalitativan.

Prostorni aspekt razvoja logističkih službi obuhvata razmeštaj logističkih resursa na državnom prostoru, s obzirom na raspored subjekata koje logistički sistem podržava i stanje logističkih objekata i infrastrukture.

Organizaciono-tehnološki aspekt podrazumeva način organizovanja logističkih službi pri operativnom postupanju i način realizacije zadataka.

U procesu definisanja koncepta, pod sistemom logistike treba podrazumevati, određene elemente od kojih je sistem sastavljen. Takođe i odnose koji postoje između tih elemenata, način povezivanja elemenata, intenzitet veza između pojedinih delova i pravila na osnovu kojih se ti delovi povezuju u celinu. Sistem logističke podrške je konstituisan (strukturalno i funkcionalno) u skladu sa određenim principima, a takođe i funkcioniše u skladu sa određenim principima.

<sup>17</sup> Okruženje sistema čini skup entiteta, odnosno skup objekata čija izmena svojstava utiče na sistem, kao i entiteta čija se svojstva menjaju kao rezultat ponašanja sistema.

Sistem logističke podrške Vojske čine sledeći podsistemi: logistički kadar; materijalna sredstva logističkih organa i jedinica i sredstva iz taktičke nadležnosti logističkih službi (organa); prostor na kome su smešteni (razvijeni) elementi sistema logističke podrške; objekti, postrojenja i instalacije, logistička normativa (pravna, organizaciona, tehnološka, metodska i dr.), logistička vojnostručna literatura i logistička dokumentacija.

Pod logističkim kadrom podrazumeva se kadar logističkih vojnoevidencionih specijalnosti koji je formacijski postavljen u sastavu logističkih organa i jedinica a takođe i kadar drugih vojnoevidencionih specijalnosti koji je postavljen u sastavu logističkih organa i jedinica i koji izvršava logističke zadatke ili zadatke od interesa za logistiku.

Takođe, pod logističkim kadrom podrazumeva se i kadar koji se nalazi u sastavu drugih organa, jedinica i ustanova (koji nisu logistički) i tamo unapređuje logističke aspekte funkcionisanja tih organa, ustanova i jedinica.

Okosnicu sistema logistike odbrane čine logističke službe koje, u zavisnosti od konkretne logističke funkcije, realizuju sve ili deo zadataka u okviru logističkih funkcija. Kadar jedne logističke službe realizuje zadatke u okviru jedne ili više logističkih funkcija.

Radi ostvarenja sinergističkog efekta logistički organi su združenog karaktera, a pored organa koji obavljaju jednu ili više funkcija postoje i logistički organi koji se bave združivanjem napora kadra svih logističkih službi, odnosno organa.<sup>18</sup>

Logističke službe,<sup>19</sup> angažovanjem svog kadra u sastavu upravnih i izvršnih organa, planiraju, organizuju i izvršavaju logističku podršku iz svoje nadležnosti, pri čemu izvršavaju zadatke, ostvaruju rezultati i dostižu zadate (definisane) ciljeve.<sup>20</sup> Većinu zadataka realizuje sopstveni logistički kadar dok manji deo realizuje kadar drugih vojnoevidencionih specijalnosti.

Pristup upravljanju logističkim službama treba biti zasnovan na intervidovskoj osnovi, uz uvažavanje specifičnosti tehnologije rada pojedinih službi u različitim vidovima i specifičnosti realizacije zadataka u okviru jedne logističke funkcije u različitim vidovima Vojske, angažovanjem kadra različitih logističkih službi.<sup>21</sup>

Logističku interoperabilnost sa okruženjem i saveznicima treba shvatiti kao proces. Istu treba dostići u prihvatljivoj meri, u skladu sa obimom i dinamikom integracija i našim stvarnim mogućnostima. Podrazumeva, prvenstveno sposobnost rada po istim procedurama, komuniciranje na istom jeziku i korišćenje kompatibilnih sredstava za komunikaciju, dok su ostali segmenti interoperabilnosti manje važnosti.

<sup>18</sup> Organi za operativnologističke poslove.

<sup>19</sup> Pod logističkim službama se podrazumeva deo Sistema odbrane Republike Srbije namenjen za realizaciju logističke podrške, koji imaju specifičnu opremu, organizaciju, obuku i upotrebu.

<sup>20</sup> Podrazumevaju pozitivna stanja kojima sistem teži i čije dostizanje zahteva utrošak resursa, u vremenu.

<sup>21</sup> Na primer održavanje opreme u KoV i u ViPVO.

Sistem logističke podrške treba da se prilagođava zahtevima sistema koji podržava ali mora neprekidno insistirati i na tome da se sistem koji se podržava projektuje uvažavajući logističke aspekte projektovanja,<sup>22</sup> da se ponaša logistički<sup>23</sup> i da se prilagođava mogućnostima logistike odnosno da zna šta se može realizovati sa raspoloživim resursima i šta je od resursa potrebno za dostizanje željenih ciljeva.

Da bi sistem logističke podrške bio efikasan i efektivan i da bi unapređivao svoje performanse, neophodno je da sa okruženjem razmenjuje informacije, materijal, energiju, znanje i novac.

Objekat interesa sistema logističke podrške jesu živa sila (čovjek, životinja), sredstvo, integrisani borbeni sistem (tehnički sistem i čovek sa svom podrškom), logistički objekti i termoeenergetska postrojenje i organizacioni sistem (jedinice i ustanove), kao celina.

Treba razmatrati oslanjanje Vojske po logističkoj podršci, na privredne subjekte izvan Vojske, u okviru svih privrednih grana i oblasti. Potrebno je kritički sagledati sopstvene mogućnosti i cenu svake varijante angažovanja resursa izvan Vojske, uz prethodnu „kost – benefit“<sup>24</sup> analizu takvih rešenja.

Takođe, potrebno je uzeti u obzir i razmatranje gotovosti, pouzdanosti i kvaliteta pružanja radova i usluga za potrebe Vojske, od strane privrednih subjekata izvan Vojske. Pri oslanjanju po logistici, na subjekte izvan sistema odbrane, treba voditi računa o nedovoljnoj zrelosti naših privrednih subjekata i obliku vlasništva<sup>25</sup> nad sredstvima za proizvodnju kod subjekta koji pružaju usluge logističke podrške jedinica i ustanova Vojske.<sup>26</sup>

Praksa je pokazala da logistika mora biti aktivni subjekat komandovanja i odlučivanja a ne pasivni objekat i mora ispoljiti veći nivo uticaja na sistem koji podržava, kako bi podržavani sistem svoje ciljeve, planove i ambicije usaglasio sa mogućnostima logistike.

Uočena je potreba za optimizacijom angažovanja resursa na intervi-dovskoj osnovi, na prihvatljivo velikom i kompaktnom prostoru, naročito u mirnodopskom periodu, a u ratu u meri u kojoj to dopuštaju konkretni uslovi i taktika upotrebe snaga.

Projektovanje logističkih procesa i dimenzionisanje resursa (kadar, oprema, objekti, postrojenja,..) mora se vršiti za najnepovoljnije stanje podržavanog sistema a upravljačkim odlukama reguliše se stepen popu-

<sup>22</sup> Sistem koji pretenduje da bude kvalitetno logističku projektovan mora u svoju strukturu i način funkcionisanja da „ugradi“ pogodnost za logističku podršku (analogija: kao pogodnost za održavanje kod tehničkih sistema – sredstva).

<sup>23</sup> Podrazumeva da se zna šta se može sa raspoloživim resursima i koji su resursi (obim, vrsta, količina, kvalitet) potrebni za izvršavanje zadataka, ostvarenje rezultata i dostizanje željenih ili zadatih ciljeva.

<sup>24</sup> Analiza koja pokazuje šta se gubi a šta dobije izabranim rešenjem – varijantom.

<sup>25</sup> Na primer, privatno vlasništvo, državno, mešovito, vlasnik sredstava stranac, itd.

<sup>26</sup> Pored ekonomskih kriterijuma pri odlučivanju da se angažuju resursi izvan Vojske treba uvesti i vojno-operativne kriterijume.

ne za konkretno stanje u sistemu (na primer mirnodopsko). Mora se uzeti u obzir i sposobnost sistema za brzi prelazak iz jednog stanja u drugo (na primer iz mirnodopskog u ratno).

Pri projektovanju organa i jedinica logistike i odvijanja logističkih procesa moraju se uvažavati važeći zakoni, principi (konstituisanja i funkcionisanja) i propisana organizacija i tehnologija rada u logistici.

Optimizaciju sistema, funkcije i procese u njemu treba vršiti po nivou organizovanja sistema odbrane i na nivou sistema kao celine, uz odvojeno tretiranje mirnodopske i ratne organizacije logistike.

Izbor optimalnog koncepta razvoja službi logistike treba tretirati kao rešavanje višekriterijumskog problema odlučivanja.

**Elementi koje treba da tretira koncept razvoja službi logistike, a koji utiču na redukciju ili unapređenje postojećih i izgradnju novih sposobnosti, jesu:**

- kadar (ulaz u sistem, upravljanje razvojem kadra, potrebna znanja i sposobnosti, obuka, školovanje i usavršavanje, odlazak iz sistema);
- oprema, materijal i sitan inventar iz taktičke nadležnosti logistike (definisanje obima i kvaliteta potreba i načina njihovog obezbeđenja);
- oprema, materijal i sitan inventar potrebni za rad organa i jedinica logistike (definisanje obima i kvaliteta potreba i načina njihovog obezbeđenja);
- logistička infrastruktura (objekti, postrojenja, instalacije, cevovodi);
- mirnodopska i ratna organizaciona šema logističkih organa i jedinica;
- mirnodopska i ratna, lična i materijalna formacija organa i jedinica logistike;
- nadležnosti i zadaci logističkih organa, po nivoima organizovanja Vojske;
- optimizacija prostornog razmeštaja logističkih resursa i optimizacija mirnodopske i ratne šeme logističke podrške;
- optimizacija provođenja logističkih procesa, informacionih i materijalnih tokova logistike, u sistemu odbrane;
- logistički uticaj na optimizaciju strukture, veličine i prostornog razmeštaja jedinica i ustanova sistema odbrane (logistička održivost);
- logistička normativa (pravna, organizaciona, tehnološka, metodska i dr.), logistička vojnostručna literatura i dokumentacija;
- logističko planiranje odbrane i planiranje logističke podrške;
- principi konstitucije i funkcionisanja logistike;
- tokovi i informacija i materijala pri izvršavanju logističkih zadataka u miru, mobilizaciji i ratu, pri ispunjavanju dodeljenih misija;
- način funkcionisanja organa i jedinica logistike i način izvršavanja logističkih zadataka (tehnologija rada logističkih organa i jedinica);
- logistička podrška logističkih organa i jedinica;
- logistički informacioni sistem [2];

- stepen interne organizovanosti unutar sistema logistike (radi sinergizma) i usklađenost funkcionisanja logističkih organa na različitim hijerarhijskim nivoima;
- stepen gotovosti (raspoloživosti) i pouzdanosti logističkih službi, organa i jedinica za realizaciju zadataka, u svakoj od dodeljenih misija;
- osposobljavanje Vojske za pripremu i izvođenje logističkih operacija;
- logističko planiranje i upravljanje i planiranje logističke podrške;
- rad logistike na podizanju logističke kulture korisnika logističkih usluga;
- resursi potrebni za razvoj logističkih službi (po vrstama, količini i kvalitetu);
- primena koncepta integralne logističke podrške u opremanju Vojske sredstvima naoružanja i vojne opreme [1];
- unapređenje logističkih aspekata obuke, školovanja i usavršavanja nelogističkog kadra;
- modelovanje logističkih snaga za uobičajene (standardne) i „ad hoc“ zadatke;
- optimizacija strukture, lične i materijalne formacije logističkih organa i jedinica u bataljonu;
- modaliteti oslanjanja logistike u Vojsci na logistiku države;
- logistička interoperabilnost;
- kontrola i ocenjivanje dostignutog stanja, uspešnosti i kvaliteta rada organa i jedinica logistike;
- težišta i prioriteti u misaonom i operativnom delovanju logističkog sistema;
- upravljanje razvojem i funkcionisanjem logistike.

Koncept koji se razvije zahteva aktivan rad i energično i koordinirano delovanje svih logističkih subjekata u sistemu odbrane na stvaranju pozitivne organizacione klime koja promovira ulogu i značaj logistike u sistemu odbrane i potrebu sistema odbrane (posebno Vojske) da se logistički ponaša i ulaže resurse i napore u razvoj logistike kao celine.

Pored realnog pristupa, koncept treba da sadrži i optimističko očekivanje (i pored postojanja izvesnih rizika)<sup>27</sup> da će država preko svojih organa stvoriti adekvatan pravni okvir i druge ambijentalne uslove da bi sistem odbrane i njegovi podsistemi mogli da se razvijaju primereno potrebama odbrane.

Ulaganje u kadar, organizacionu i tehnološku modernizaciju, modernizaciju logističke opreme, objekata i postrojenja i upravljanja, ne treba tretirati kao trošak već kao investiciju u bolju budućnost logističkih službi i, šire, sistema odbrane. To zahteva napore i utrošak određenih resursa, ali se višestruko vraća sistemu odbrane u celini i njegovim podsistemima,

<sup>27</sup> Povećani odliv logističkog kadra iz sistema (posle 2010. godine) odbrane, male „proizvodne mogućnosti“ i dugo vreme reagovanja Vojne akademije po pitanju školovanja logističkog kadra, nedovoljna finansijska sredstva, povećani zahtevi za angažovanjem logistike, sporost u promeni zakonske i organizacione normative i dr.

odnosno elementima. Shodno tome, „Koncept razvoja logističkih službi“ kao idejnu, intelektualnu i filozofsko-doktrinarnu zamisao treba da prati detaljniji operativni „Plan razvoja sposobnosti logistike“ koji treba da pruži odgovore na sledeća pitanja razvoja: šta, ko, koliko, do kada, gde, s kim i s čim da realizuje, koliko to košta i ko obezbeđuje resurse.

## Zaključak

Poređenjem trenutnog stanja sistema logističke podrške Vojske, odnosno dostignutih sposobnosti logističkih službi i zahtevanog nivoa potrebnih sposobnosti, u skladu sa misijama i zadacima Vojske Srbije, uočava se da je potrebno izvršiti dogradnju sistema i iznaći odgovarajuća rešenja za razvoj sposobnosti logistike u celini, u skladu sa zahtevima vremena, potrebama prakse i savremenim trendovima.

U okviru organizacijsko-mobilizacijskih promena u sistemu odbrane, realizovanih u prethodnom periodu, izvršen je prelaz sa „pozadinskog“ koncepta materijalne, zdravstvene i infrastrukturne podrške na logistički koncept. Uspostavljene su nove logističke strukture na svim nivoima organizovanja sistema odbrane, hijerarhijski ustrojene i međusobno funkcionalno povezane i dodeljene im nadležnosti i zadaci.

U periodu od formiranja novog sistema do danas iskazale su se prednosti uspostavljene organizacije, ali i nedostaci koji su posledica neuvažavanja naučnih saznanja i mišljenja eksperata, nesistemskog pristupa organizacionim promenama i neuvažavanja zahteva tehnologije na kojoj se zasniva funkcionisanje logistike. Neadekvatna organizaciona i formacijska rešenja, koja su uvedena bez nepotpunog projektovanja logističkih procesa i modula i bez adekvatne prethodne systemske pripreme (pravne i doktrinarno-normativne), i olako napuštanje „starih proverenih rešenja i načina rada“, doveli su do niza problema u radu upravnih i izvršnih organa logistike, pa u određenoj meri i do pada njihovih mogućnosti da adekvatno podrže komande i jedinice Vojske.<sup>28</sup>

Odbrana, kao važna državna funkcija, i njena logistika, kao i savremeni trendovi u koncipiranju i funkcionisanju logistike u modernim vojskama i vojnim savezima nisu uvaženi u potrebnoj meri. Nije u dovoljnoj meri uvažena činjenica da savremena Vojska mora biti visoko logistički održiva.

Iskazana politička i doktrinarna opredeljenja u oblasti razvoja i izgradnje savremene Vojske, opredelile su i osnovne ciljeve razvoja logistike Vojske Srbije. Opšti cilj razvoja sposobnosti je uspostavljanje efikasnog i efektivnog sistema logističke podrške, čije krajnje željeno stanje uvek mora da bude prilagođeno potrebama sistema odbrane.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Podrazumeva da je sistem odbrane (njegov nelogistički deo) logistički održiv odnosno projektovan (dimenzionisan) da ima visoke performanse zasnovane na realnim logističkim mogućnostima.



Da bi se dostigle potrebne operativne sposobnosti i željeno stanje logistike neophodno je ostvariti filozofsko, intelektualno, doktrinarno, tehničko i operativno jedinstvo unutar sistema logistike, a zatim i sa ostalim podsistemima odbrane, u skladu sa potrebama prakse, zahtevima vremena i savremenim trendovima.

Polaznu osnovu za ostvarenje velikog stepena jedinstva unutar logistike Vojske predstavlja definisanje **koncepta razvoja službi logistike**<sup>30</sup> sa ugrađenim organizacionim aspektom, kao jedne intelektualne idejne skice koja sadrži smernice i preporuke pri intelektualnom promišljanju, razvoju i operativnom delovanju i doprinosi postepenom formiranju jedinstvenog logističkog shvatanja u sistemu odbrane.

Prelaz logističkih službi iz jednog (sadašnjeg) stanja u drugo (ciljno) zahteva globalno razmišljanje, lokalno delovanje, izmenu pravne normative, bolje unutrašnje normativno i doktrinarno uređenje logistike, kvalitetnije organizaciono-tehnološko projektovanje logističkih podsistema i procesa, veća finansijska ulaganja u logistiku Vojske i logističke službe, veću brigu države i MO o logistici odbrane, veću integraciju unutar logistike (logistika u VS, logistika u MO, Katedra logistike VA, COLO, CO ViPVO-logistički deo) i bolju internu organizovanost logističkih službi i logistike u celini.

Postoji vrlo izražena potreba i mogućnost<sup>31</sup> da se logistika i delatnost logističkih službi razvijaju integralno na naučnim osnovama, kao veština (praksa) i nauka (teorija), od posebnog značaja za odbranu, u simbiozi sa ostalim naukama i podsistemima obrane. Posebno je izražena potreba da se unaprede logistički aspekti planiranja, kao i planiranje logističke podrške. Vrlo je važno intenzivirati rad na podizanju logističke kulture<sup>32</sup> korisnika logističkih usluga.

U uslovima nedovoljno izvesnog finansiranja, kontinuiranih velikih pritisaka za smanjenjem brojnog stanja ljudstva, uz zahtev za povećanjem operativnih sposobnosti Vojske i većim uključivanjem u integrativne procese, rešenje se može pronaći u raspolaganju kvalitetnim kadrom, kvalitet-

<sup>30</sup> Logističke službe su deo sistema odbrane Republike Srbije koje imaju specifičnu opremu, organizaciju, školovanje, obuku i upotrebu. Predstavljaju stručne službe namenjene da propišu, organizuju i sprovedu logističku podršku Vojske i ostalih podsistema odbrane. Organizovane su na intervidovskoj osnovi sa integrisanim jedinstvenim upravnim organima čija organizaciona struktura prati specifičnosti vida (naravno kod tehničke službe).

Logističke službe se organizuju i dimenzionišu prema strukturi i veličini sistema odbrane, tako da mogu neprekidno, potpuno i pravovremeno sprovoditi logističku podršku subjekata odbrane pri izvršavanju zadataka u okviru dodeljenih misija.

<sup>31</sup> Logistika kao podsistem odbrane sadrži u sebi najveću količinu obrazovanog kadra (pameti – sive mase): lekara, inženjera, ekonomista, sa različitim visokim stručnim zvanjima (specijalisti, komandno-štabni i general-štabni oficiri), akademskim (specijalisti i magistri), naučnim (doktori nauka), nastavnim (docenti, vanredni profesori, redovni profesori) i istraživačkim zvanjima (istraživač, naučni savetnik, viši naučni savetnik itd.).

<sup>32</sup> Puno utiče na smanjenje troškova u sistemu odbrane i unapređenje operativnih sposobnosti Vojske.

nom opremom, kvalitetnim informacionim sistemom i kvalitetnom organizacijom rada zasnovanom na naučnim dostignućima. Međutim, brzo, jeftino i kvalitetno rešenje ne postoji u razvoju i funkcionisanju logistike.<sup>33</sup>

Sve logističke službe neophodno je bolje funkcionalno i strukturno projektovati, unificirati im zadatke, uvesti jedinstvene standarde kvaliteta pri izvršavanju zadataka – naročito u okviru iste funkcije i bolje ih integrisati u jedinstven logistički sistem. Neophodno je stvoriti i osnove za međusobnu zamenjivost logističkih organa.

Energičnim, koordiniranim delovanjem svog logističkog kadra na širokom frontu nastaviti sa stvaranjem pozitivne organizacione klime koja promoviše ulogu i značaj logistike u sistemu odbrane i potrebu sistema odbrane (posebno Vojske) da se logistički ponaša i ulaže resurse i napore u razvoj logistike kao celine.

Takođe, treba neprekidno ulagati napore na ujednačavanju standarda, između različitih logističkih službi i organa, po pitanju uspešnosti funkcionisanja i požrtvovano raditi na formiranju jedinstvenog logističkog učenja i shvatanja u sistemu odbrane.

**Preduslov za efektivno i efikasno funkcionisanje logističkih organa čini normativna uređenost, kadrovska osposobljenost, adekvatna opremljenost i izgrađenost logističke infrastrukture, jasno definisanje svih potreba i obezbeđenje materijalnih i finansijskih resursa za realizaciju misija.**

Intenziviranje cirkulacije znanja, informacija i iskustva u sistemu logistike (većom primenom grupnog rada, održavanjem povremenih logističkih tematskih susreta, konferencija i studijskih putovanja...) jedan je od načina da se unaprede performanse sistema (operativne sposobnosti), bez dodatnog ulaganja resursa (finansijskih i materijalnih). To ukazuje na potrebu da najviši upravni organi logistike ispolje veći uticaj na razvoj i usavršavanje svog (logističkog) kadra. Školovanje, usavršavanje i obuka kadra moraju se intenzivirati i obuhvatiti sve nivoe logističkog kadra.

Logistički kadar treba da se usavršava u celini, uvažavajući specifičnosti pojedinih struktura kadra: oficiri, podoficiri, civilna lica, profesionalni vojnici, vojnici na odsluženju vojnog roka, vojnici po ugovoru, kadar u aktivnoj rezervi.

Postojeći sistem školovanja, usavršavanja i obuke logističkog kadra treba postepeno usaglašavati sa zahtevima funkcionalne organizacije logističke podrške i planiranim međunarodnim integracijama, ne dovodeći u pitanje načelno opredeljenje u reformi vojnog školstva.

Školovanje karijernih oficira za početne dužnosti i njihovo kasnije usavršavanje treba vršiti u Vojnoj akademiji, jer se taj kadar pokazao pouzdanim i kvalitetnim. Međutim, s obzirom na vreme reagovanja Vojne

<sup>33</sup> „Bermudski trougao menadžmenta“ – kvalitetno i jeftino rešenje ne može biti brzo; kvalitetno i brzo rešenje ne može biti jeftino; brzo i jeftino rešenje ne može biti kvalitetno.

akademije po pitanju „proizvodnje kadra“, treba razmotriti i mogućnost povremenog prijema određenog broja kvalitetnih diplomiranih inženjera i ekonomista iz građanstva, a zatim ih kursirati u Vojnoj akademiji kako bi se pripremili za obavljanje početnih dužnosti. Kadar za pojedine logističke službe (SnSI, VtSI, GrSI) treba isključivo pribavljati iz građanstva, a zatim kursirati u organizaciji sistema odbrane.

Specijalističko obučavanje vojnika, podoficira i civilnih lica mora se vratiti pod veću ingerenciju logistike, kako bi sve specifičnosti „proizvodnje kadra“ za potrebe logistike bile uvažene.

Izgradnja logističke infrastrukture i opremanje logističkih jedinica savremenim sredstvima predstavlja značajan finansijski problem i za ekonomski i tehnički najrazvijenije zemlje. Međutim, to ne sme i ne može biti razlog za odustajanje od projektovanih ciljeva, jer su logistički poslovi i zadaci zasnovani na tehnološkim procesima i procedurama koji moraju biti adekvatno tehnički i materijalno podržani.

Pored rada na modernizaciji logistike na svim poljima (tehnička, tehnološka, organizaciona) znatne napore treba uložiti na razvoj i usavršavanje logističkog informacionog sistema, na kvantifikaciju logističkih mogućnosti, a zatim i na kvantifikaciju potreba za logističkom podrškom, kako bi se skratilo vreme reagovanja sistema logističke podrške.

### *Literatura*

- [1] Andrejić, M., Sokolović, V., Integralna logistička podrška sredstava naoružanja i vojne opreme, /Marko Andrejić, Vlada Sokolović/ U: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK – Beograd, Godina 57., broj 1 (2008): strana 32–53. – YU ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359.
- [2] Andrejić, M., Ljubojević, S., Operaciona istraživanja u funkciji podrške odlučivanju u sistemu odbrane /Marko Andrejić, Srđan Ljubojević/ U: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK – Beograd, Godina 57., broj 4 (2009): strana 32–53. – YU ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359.
- [3] Andrejić, M. i dr. Logistički informacioni sistem /Marko Andrejić, Marjan Milenkov, Vlada Sokolović/ U: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK – Beograd, Godina 57., broj 4 (2009): strana 32–53. – YU ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359.
- [4] Stanojević, P., Mišković, V., Siladić, M., Ilić, S., Andrejić, M., Milićević, M., Spasojević, Z., Opis i analiza sistema održavanja u Vojsci Jugoslavije, studija, projekat PRIMENA LOGISTIČKOG PRISTUPA U ORGANIZACIJI VOJSKE JUGOSLAVIJE, SP GŠ VJ, Beograd, 1999. – 651 strana (učešće u izradi projekta).
- [5] Doktrina Vojske (nacrt).
- [6] Doktrina logistike sistema odbrane (nacrt).
- [7] Doktrina logistike Vojske Srbije (nacrt).
- [8] Andrejić, M., Logistika (udžbenik), SLJR – Vojna akademija, Beograd, 2009.
- [9] Andrejić, M., Milenkov, M., Tehnička podrška (udžbenik), SLJR – Vojna akademija, Beograd, 2009.

## CONCEPT DEVELOPMENT OF LOGISTIC SERVICES

*Summary:*

## Introduction

*In order to be efficient and effective, logistic services, as a part of the defence system, has to be designed and organized in a high-quality way. They must have a long-term development concept with built-in organizational aspects, clearly expressed focuses and priorities in the functioning and well-defined indicators of quality performance.*

*In order to reach the required operational capabilities and the desired state of the logistics, it is necessary to achieve a philosophical, intellectual, doctrinal, technical and operational unity within the logistic system and then with the other subsystems of defense, in accordance with the needs of practice, the requirements of modern times and trends.*

*The starting point for achieving a high degree of unity within the Army logistics is the definition of the concept of the development of logistic services with a built-in organizational aspect, as an intellectual conceptual sketch containing the guidelines and recommendations for intellectual thinking, development and operational activities and contributing to the gradual formation of a unified understanding of the logistic system of defense.*

*When considering the directions of the development of logistics services, certain analogy will be applied as in other successful, complex multilevel, organizational and economic systems. The existence of long-term concepts of development, with a built-in organizational aspect, is something that will be asked from competent control and decision-makers.*

*In this paper, certain aspects and segments of the development of the logistics process will be discussed with a high degree of generalization, by relying on authors' experience and research as well as on available sources of knowledge. The aforementioned approach allows for a greater generalisation of the given views; on the other hand, it can get in strength (the depth and accuracy) if validly operationalised in each logistic service, in each particular element or case.*

## Defense as a function of the state

*Each and every state has an undisputable right on individual and collective defense. Defense is an important state function for the realization of which the government (legislative, executive and judicial) is responsible. The defense of the state is the general necessity, right and obligation of all defense and security subjects. No one can be exempt from the efforts necessary for successful defense; therefore, all resources (regardless of property) within the state's territory, under certain conditions, become defensive potential and the defense function of the country, according to their nature and needs of the country's defense.*

## Defense logistics

*Besides the well-trained personnel, the logistic system of a country comprises appropriate legislation, appropriate production and services,*

*equipment, raw materials, energy sources, infrastructure and all other necessary support for the realization of corresponding production, service, social, educational, cultural, defence, etc. programs aiming at the increase of the defence and economic potential of a country.*

#### Logistic support system

*According to the general theory of systems, each system consists of a set of parts that form a functional unit, types of connection and levels of intensity of relationships between parts and the principles (rules) on the basis of which these components are connected into a unity. A logistic support system includes: staff in administrative and executive bodies of logistics, material resources and logistic organs of units; location where components of logistic support are developed, logistic facilities and installations, legal acts and military literature and documentation in the field of logistics support.*

#### Global tendencies in the development and operational logistics in the modern system of defense

*Given that the logistics is a major manufacturer, supplier and distributor of material resources and a large consumer of financial resources, it has to be the area of management attention, both civil and military ones, and of permanent control in the phase of planning, organizing and implementation of logistic activities. This control is primarily related to financial and material operations, quality products and services, logistics solutions and priorities. It is in the area of control that the most of potential disagreement occurs. Understanding the nature and the degree of logistical control systems (skills, good reasoning ability and balanced reasoning) that management should realize is important for achieving the expected efficiency and effectiveness.*

#### Aspects and elements of the concept of the logistic service development

*In defining the concept of the development of logistic services it is necessary to bear in mind the mission of logistic services as a part of the defense system, aims which logistic services should achieve, results to be obtained and tasks to be executed. The missions of individual subsystems supported by logistic services and their functioning in peace, crisis, mobilization and war should be also taken into account.*

*The concept of the development of logistic services should be directed to the logistic system and its interior as well as the elements of the system, but should also respect the environment of the system and its effect on the operational and functional capabilities of logistic services, both existing and considered ones.*

#### Conclusion

*There is a significant necessity and possibility for logistics and logistic services to be developed integrally on the scientific basis both as a skill (practice) and a scientific discipline (theory), in relation with other*

*defence disciplines and subsystems. The necessity to improve logistic aspects of planning and logistic support planning is stressed in particular. It is important to intensify efforts in raising the level of the logistic culture of the users of logistic services.*

*Under the conditions such as insufficient funding, continuous pressures for the reduction of army personnel along with the requests to increase Army operational capability and intensify its involvement in integration processes, it is possible to find a solution in high-quality personnel, equipment, information systems and science-based work organization. However, there are no fast, cheap and efficient solutions in the development and functioning of logistics.*

*A prerequisite for effective and efficient functioning of logistic bodies are normative regulations, staff qualifications, development of adequate infrastructure and logistic infrastructure, a clear definition of needs and procurement of material and financial resources for mission realisation.*

*Logistic staff needs to be improved as a whole, taking into account the specific structure of individual personnel members: officers, NCOs, civilians, professional soldiers, soldiers in military service, soldiers under contract, personnel in active reserves.*

*Career officers should be initially as well as subsequently trained at the Military Academy, because that staff proved to be reliable and of high quality. However, since it takes time, a possibility should be considered to occasionally receive a number of high-quality graduate engineers and economists from outside the military and then train them at the Military Academy. Staff for specific logistic services (SnSI, VtSI, GrSI) should only be obtained from the non-military and then trained within the organized defense system. Specialized training of soldiers, NCOs and civilians has to be again under the stronger jurisdiction of logistics in order to meet all specific logistic requirements. Building logistic infrastructure and equipping logistic units with modern means is an important financial issue for even more economically and technically developed countries. However, this should not and cannot be a reason for abandoning designed goals, as logistic activities and tasks are based on technological processes and procedures that must be adequately supported both financially and technically. In addition to working on the modernization of logistics in all areas (technical, technological, organizational), considerable effort should be put into the development and improvement of logistic information systems, into quantification of logistic capabilities, and then into quantification of needs for logistic support in order to shorten the response time.*

*Key words: defence, logistics, unique approach to logistics, conception, development, logistic services.*

Datum prijema članka: 08. 05. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 07. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 09. 10.2009.

# PRIMENA SATELITSKIH SNIMAKA ZA DOPUNU SADRŽAJA TOPOGRAFSKIH KARATA

Regodić D. *Miodrag*, Vojna akademija, Katedra  
prirodnomatemičkih i tehničkih nauka, Beograd

UDC: 623.644:004.932

## Sažetak:

*Neažurnost sadržaja topografskih karata (TK), uslovljena ponajviše stvarnim ekonomskim teškoćama pri izradi novih i dopuni postojećih izdanja, kao i nedovoljnost i sve teže stanje pri izradi ostalih geotopografskih materijala (GTM), u velikoj meri otežavaju geotopografsko obezbeđenje (GTOB) vojske u miru, kao i u svim periodima pripreme i vođenja ratnih dejstava. Rešenje ovog problema je u iznalaženju adekvatnog načina upotrebe proizvoda svih vrsta daljinskih snimanja, a naročito u obradi kvalitetnih satelitskih snimaka. Kao najbolji pokazatelj velikih mogućnosti daljinske detekcije, korišćenjem satelitskih snimaka, u kartografskoj praksi primenom kvalitetnih softverskih rešenja, u radu je predstavljena dopuna topografske karte nedostajućim topografskim sadržajem.*

*Ključne reči: topografska karta, satelitska snimanja, geografski elementi.*

## Uvod

**M**nogobrojne prirodne i društvene pojave se neprekidno prate, izviđaju, snimaju i analiziraju u svetlu ispoljavanja čovekovog uticaja na njihova odvijanja. Sve su prisutnija i zastupljenija stalna i povremena satelitska praćenja i snimanja koja se obavljaju u različite svrhe. Ona mogu biti namenjena ispitivanju meteoroloških uslova i praćenju njihovih promena, proučavanju velikih vodenih površina, praćenju kretanja ljudi i naoružanja u vojnoobaveštajne svrhe i drugo. Rezultate ovih snimanja moguće je koristiti i pri izradi i dopuni topografskih, tematskih i radnih karata i drugih geotopografskih materijala.

Neažurnost topografskih karata, uslovljena ponajviše stvarnim ekonomskim teškoćama pri izradi novih i dopuni postojećih izdanja, kao i nedovoljnost i sve teže stanje pri izradi ostalih GTM, u velikoj meri otežavaju GTOB vojske u miru, kao i u svim periodima pripreme i vođenja ratnih dejstava.

Rešenje ovog problema je u iznalaženju adekvatnog načina upotrebe proizvoda svih vrsta snimanja i izviđanja, a naročito u obradi sve pri-

sutnijih kvalitetnih satelitskih snimaka. Cilj naučnog istraživanja u ovom radu jeste da se kroz teorijska razmatranja i sprovedeni eksperiment iznađu i provere mogućnosti i metode prikupljanja, obrade i korišćenja podataka o prostoru dobijenih daljinskom detekcijom terena za potrebe dopune topografske karte elementima geografskog sadržaja.

## Obrada i analiza snimaka satelita IKONOS2 za potrebe dopune topografskih karata

Snimci dobijeni sa avio i satelitskih platformi predstavljaju veoma važan izvor podataka za proučavanje i predstavljanje prirodnih i veštačkih pojava na Zemljinoj površini. Razumevanje veza i odnosa između digitalnih vrednosti piksela zabeleženih na senzoru i pojava na terenu omogućava pravilnu interpretaciju i analizu snimka.

Predmet eksperimenta, koji je prikazan u radu, jeste satelitski snimak područja grada Beograda, proizvod kompanije European Space Imaging, satelita IKONOS2. On pripada kategoriji GEO Ortho Kit proizvoda, što znači da je približno georeferenciran i u potpunosti ortorektifikovan. U tabeli 1 dati su detaljniji podaci o snimku.

Tabela 1

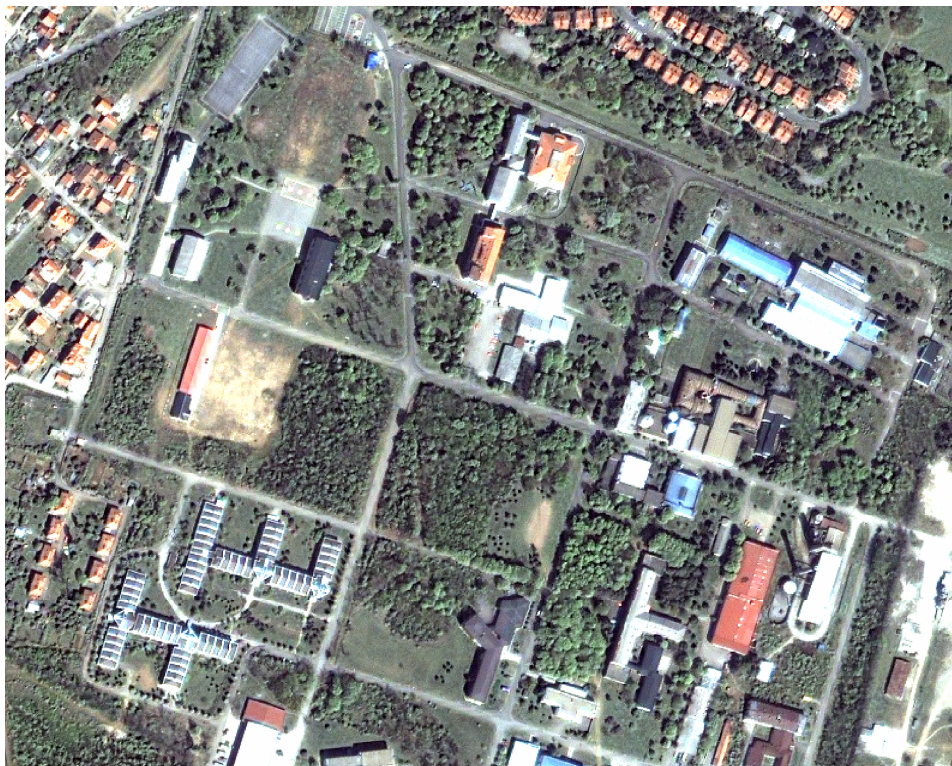
Osnovni parametri snimka [5]

Naziv senzora	IKONOS2
Naziv kompanije	European Space Imaging
Prostorna rezolucija	1 m
Nivo proizvoda	Geo Ortho Kit
Tip snimka	Panhromatski
Bitni zapis	11-bit
Kartografska projekcija	UTM
Elipsoid	WGS84
Visina orbite	450 km
Nagib optičke ose senzora	73,0927°
Vreme snimanja	2003-04-29 09:58 GMT
Pravac skeniranja	Nazad
Azimet skeniranja	254,2177°

Bitan odgovor na pitanje izbora ovog snimka jeste u činjenici da se radi o vrlo kvalitetnom snimku, snimku visoke prostorne rezolucije od 1 m, koji je načinjen 2003. godine. Sa snimka područja grada Beograda, za potrebe eks-



perimenta izdvojen je jedan manji deo (slika 1). Za obradu je izabran satelitski snimak grada Beograda iz dva razloga; jedan je to što je na njemu predstavljeno mnogo objekata koji nisu prikazani na aktuelnim izdanjima topografskih karata, zbog svoje neažurnosti i zastarelosti sadržaja. Sledeći razlog za izbor ovog snimka i područja je Beograd, kao kompleksan geoprostor za analizu svih parametara neophodnih za dopunu topografske osnove karte.

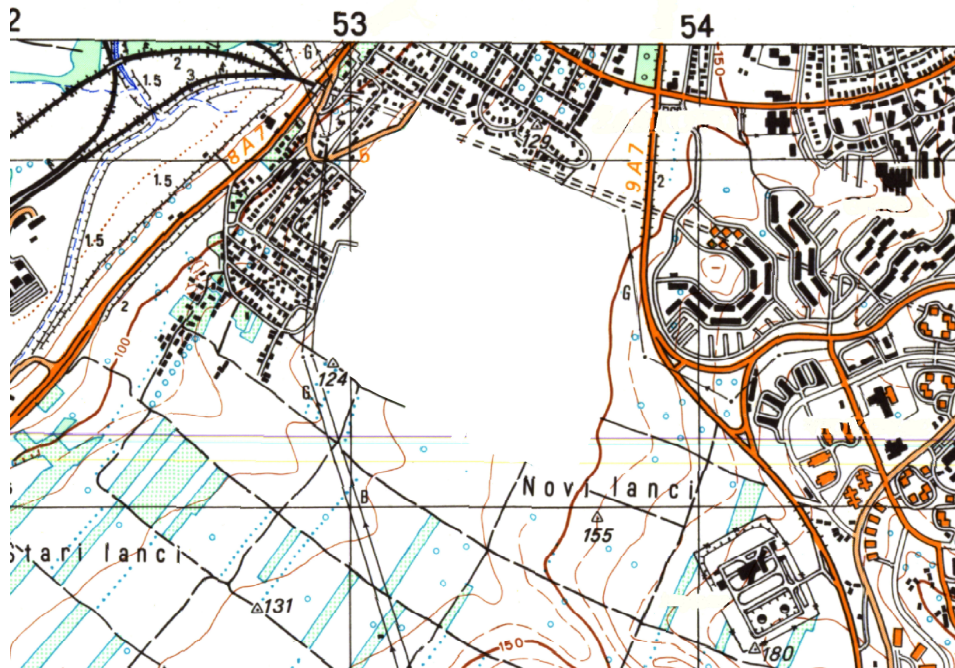


Slika 1 – Deo snimka satelita IKONOS2 [5]

Pored satelitskog snimka, za realizaciju eksperimenta je obezbeđena odgovarajuća topografska karta. Tako je za potrebe dopune karte geografskim elementima sadržaja odabrana topografska karta razmera 1:25 000 (TK25), na kojoj se nalazi teritorija (slika 2) sa do sada nekartiranim delom geografskih elemenata. Jedan od ciljeva istraživanja u okviru ovog rada jeste utvrđivanje mogućnosti i metoda dopune TK25 nedostajućim geografskim elementima njenog sadržaja.

Polazna i obavezna aktivnost koja prethodi sveukupnoj obradi snimaka i ažuriranju karte jeste skeniranje, odnosno prevođenje radnog materijala u digitalni oblik. Pošto je satelitski snimak isporučen u digitalnom obliku, samo je

izvršeno skeniranje topografskih karata. Skeniranje TK, tj. proces transformacije analognih podataka u digitalnu formu, je izvedeno na skeneru SHARP JX 6–10 u rezoluciji 300 dpi, a čije su fizičke mogućnosti 1 200 x 1 200 dpi i 16 miliona boja i interpolacijom 9 600 x 9 600 dpi.



Slika 2 – Topografska karta 1:25 000 [5]

## Georeferenciranje satelitskog snimka IKONOS2

Postupak kojim se snimak uvodi u željeni koordinatni sistem preko orijentacionih tačaka (rektifikacija), pri čemu se snimak prevodi u projekciju što približniju ortogonalnoj naziva se georeferenciranje, a nivo geometrijske transformacije – spoljašnja geometrijska transformacija [5].

Postupkom georeferenciranja uspostavlja se određena matematička zavisnost između tačaka snimka i poznatih tačaka snimljenog terena. Te tačke nazivaju se tačkama za orijentaciju, kontrolnim ili GCP tačkama (*Ground Control Points*). One se definišu terenskim merenjima, pomoću prijemnika globalnog pozicionog sistema (GPS-a), očitavanjem sa topografske karte, korišćenjem digitalnog modela terena (DMT) ili odgovara-

jućeg, prethodno već korigovanog satelitskog snimka iz istog ili drugog spektralnog područja. Kontrolne tačke na snimku se lociraju vizuelno, prepoznavanjem karakterističnih, lako prepoznatljivih tačaka ili objekata na snimku (istaknut oblik, raskrsnica puteva, presek pravaca i sl.) i njihovim pozicioniranjem na referentnoj podlozi. Iz razlika koordinata ovih tačaka i odgovarajućeg izravnjanja dobijaju se parametri transformacija. Dalje se sve tačke snimka interpoluju uz pomoć izabranog modela rekompozicije rastera. Izbor odgovarajućeg modela zavisi od: karaktera deformacija, potrebne tačnosti, mogućnosti računara, i dr.

Proces georeferenciranja predviđa faze:

- određivanje GCP tačaka, ravnomerno raspoređenih na celoj površini snimka,
- merenje GCP tačaka na snimku i
- transformaciju piksela ulaznog snimka odgovarajućim matematičkim modelom.

Prevođenjem snimaka u referentni državni koordinatni sistem postiže se relativno pozicioniranje, što omogućava određivanje geo-matematičkih parametara kao što su daljina, oblik i površina. Postupak georeferenciranja je veoma važan, jer omogućuje da se podaci dobijeni na različite načine koriste zajedno. Takođe, omogućuje da se podatak iskoristi za kvalitativne analize.

## Postupci u toku obrade digitalnih snimaka

Satelitski snimci se, danas, gotovo uvek isporučuju u digitalnom obliku, već pripremljeni za dalju obradu. Pošto je i snimak koji je predviđen za analizu i interpretaciju u okviru sprovedenog eksperimenta takođe preuzet u digitalnom obliku, dalja obrada je sprovedena kroz četiri međusobno uslovljene faze, kojima je snimak doveden u oblik pogodan za dalje korišćenje. Faze obrade snimaka su:

- prethodna obrada,
- poboljšanje kvaliteta snimka,
- transformacija snimka, i
- klasifikacija i analiza snimka.

### Prethodna obrada snimka

Najveći nedostatak satelitskih snimaka, koji se u digitalnom obliku mogu koristiti pri izradi i vođenju radne karte, predstavlja niz grešaka (deformacija) geometrijskog preslikavanja.

Deformacije u principu mogu biti radiometrijske, geometrijske i atmosfere. Radiometrijske deformacije se, uglavnom, javljaju kod satelitskih

snimaka. Nastaju usled položaja i orijentacije platforme satelita, kalibracije i normalizacije detektora, i drugo. Njihovo otklanjanje predstavlja najniži nivo korekcije. Ono, međutim, čini osnovu za otklanjanje geometrijskih deformacija. Greške se na snimku mogu javiti i usled uticaja različitih atmosferskih fenomena. One se manifestuju prisustvom oblaka i zamagljenim izgledom snimka. Atmosferski uticaj uglavnom uslovljava čitljivost snimaka, njegov kontrast, delimična zatamnjenja, jača osvetljenja i slično.

Uzroci nastanka deformacija značajno se razlikuju kod aero i satelitskih snimaka. Kod aerosnimaka deformacije nastaju kao rezultat projekcije u kojoj je snimak načinjen, visine vazduhoplova nad površinom terena, žižne daljine i nagiba optičke ose kamere. Značajna iskrivljenja mogu nastati i prilikom skeniranja, tj. pri prevođenju aerosnimaka u digitalni format. Satelitski snimak u digitalnom obliku je opterećen deformacijama koje su posledica nesavršenosti platformi i sistema za snimanje, uticaja sredine kroz koju su prošli elektromagnetni zraci, neravnosti terena, zakrivljenosti Zemljine površine, kao i nesavršenosti skenera kojima se vrši snimanje. Te deformacije, koje je neophodno otkloniti pre dalje obrade, ogledaju se u:

- promeni intenziteta sivog tona piksela koje su prouzrokovane osobinama terena, objekta ili fenomena koji je snimljen, i
- pogrešnoj relativnoj poziciji piksela u rasterskoj matrici snimka.

Sve korekcije koje je neophodno izvršiti na snimcima mogu se podeliti na:

- radiometrijske,
- atmosferske, i
- geometrijske.

Radiometrijske korekcije su sprovedene nad satelitskim snimkom radi otklanjanja deformacija nastalih usled povećanog uticaja sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa. Na osnovu provere, u okviru korišćenog programskog paketa PCI Geomatica, potvrđeno je da je kompanija *European Space Imaging* u velikoj meri otklonila ovu vrstu deformacija.

Deformacije snimaka koje se manifestuju u vidu promena intenziteta sivog tona ili umanjena položajna tačnosti piksela proizvod su uticaja sredine kroz koju prolaze EM zraci. Ove korekcije se posebno izdvajaju i zovu se atmosferske. Savremeni pristup, kada je reč o atmosferskim korekcijama, zasniva se na modelovanju atmosfere na osnovu parametara koji su izmereni u toku snimanja, kao što su: atmosferski pritisak, vlažnost vazduha, temperatura, procenat ozona, vrste aerosoli, procenat prašine, zenitni ugao sunca, ugao snimanja i drugo. Uobičajno je da kvalitetniji programski paketi za obradu snimaka imaju razrađene module za atmosferske korekcije nad SPOT, Landsat, IKONOS i drugim kosmičkim snimcima. Korišćeni program raspolaže kompletnim rešenjima za sprovođenje ovih korekcija. Njihovom primenom snimak je u potpunosti doveden u stanje koje obezbeđuje uspešan dalji tok obrade.

## Poboljšanje kvaliteta snimka

Posle otklanjanja deformacija i uvođenja snimka u željeni koordinatni sistem u daljoj obradi pristupilo se poboljšanju njegovog kvaliteta i isticanju podataka koje treba prikupiti. Pošto ljudsko oko razlikuje 20 do 30 jasno izdvojenih nivoa osvetljenja, bilo je potrebno da se uradi izoštravanje (enhancement), odnosno poboljšanje kvaliteta snimka, kako bi se olakšalo razlikovanje vrednosti osvetljenja piksela, a samim time i bolje isticanje objekata i pojava na terenu. Proces poboljšanja snimka (*image enhancement*) vrši se isticanjem finih, teško uočljivih elemenata snimka.

Poboljšanje kvaliteta snimka može biti:

- radiometrijsko (radiometric enhancement):
  - poboljšanje kontrasta (*contrast enhancement*),
  - razvlačenje i ujednačavanje histograma (*histogram stretching and equalization*),
  - optimizacija osvetljenosti (*brightness enhancement*);
- prostorno (spatial enhancement):
  - izoštravanje (*sharpening*),
  - osrednjavanje (*averaging*),
  - isticanje linijskih elemenata i ivica (*edge enhancement*);
- spektralno:
  - analiza glavnih komponenti (*principal components analysis*).

## Transformacija snimka

Raznim transformacijama se od neobrađenog stvara „novi“ snimak, čime se bolje ističu određene pojave ili svojstva. Transformacija snimka je važan postupak u digitalnoj obradi, ali za potrebe geodezije, odnosno kartiranja ova faza nije od suštinskog značaja.

Nad snimkom su u ovom eksperimentu sprovedene osnovne transformacije u vidu prostih matematičkih operacija, kao što su oduzimanje ili deljenje. Oduzimanjem je poboljšana količina osvetljenosti snimka dok je deljenjem poboljšan spektralni odgovor. Transformacija kojom se redukuje broj kanala sa originalnog snimka postignuta je u okviru korišćenog programskog paketa, analizom glavnih komponenti (Principal Components Analysis).

## Geometrijska korekcija snimka

Prethodna obrada snimaka daljinske detekcije zasniva se na analiziranju radiometrijskih i geometrijskih karakteristika. Razumevanjem ovih osobina snimka moguće je korigovati deformaciju snimka,

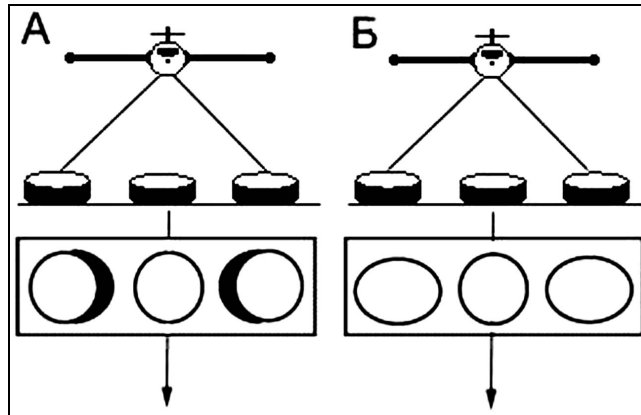
dokazati kvalitet i čitljivost. Obrađene su geometrijske deformacije i načini njihovog eliminisanja u okviru ovog eksperimenta. Veliki je broj faktora koji utiču na pojavu geometrijskih deformacija, a neki od njih su:

- kvalitet optike senzora,
- kretanje skenera,
- kretanje i nestabilnost platforme,
- visina, položaj i brzina platforme,
- oblik reljefa na površini Zemlje,
- zakrivljenost i rotacija Zemlje,
- ugao nagiba platforme,
- stanje atmosfere,
- deformacija optičkog sočiva kamere,
- ugao skeniranja, i
- kartografska projekcija.

Svaki snimak koji je nastao registracijom senzora, koji je pričvršćen na satelit, avion ili bilo koju drugu platformu, nosi u sebi razne geometrijske deformacije. Ovaj problem je dominantan u daljinskoj detekciji zbog nastojanja da se što vernije prikaže trodimenzionalna, zakrivljena površina Zemlje na dvodimenzionalnom snimku. Takođe, da bi se na snimku vršila bilo kakva precizna merenja potrebno je da snimak bude geometrijski korigovan.

Sistemi za snimanje, kao što su kamere u aerofotogrametriji, rade na principu ortogonalnog snimanja. Glavna greška koja se tom prilikom javlja jeste izmeštanje objekta. Objekti koji se nalaze u tački nadira neće biti pod uticajem ove greške. Međutim, objekti koji se nalaze van ove tačke biće pod uticajem ove greške i to u skladu sa udaljenošću od tačke nadira. Što je objekat veći i udaljeniji od nadira to je uticaj ove greške veći.

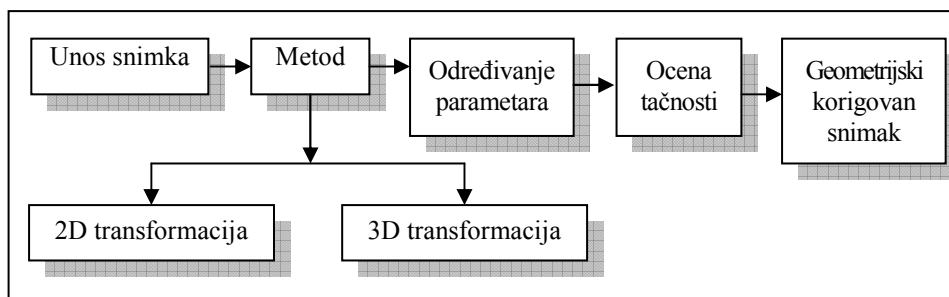
Obrađivani snimak je registrovan poprečnim skenerima i imao je sličnu deformaciju u geometriji kao i u slučaju kamere koje se koriste u aerofotogrametriji. Razlika je što se kod poprečnih skenera javljaju dve vrste grešaka u geometriji, što je prikazano na slici 3. Oni, takođe, izmeštaju objekat (slika 3 A), ali samo u jednom pravcu i to paralelnom pravcu skeniranja. Kao i u aerofotogrametriji, u tački nadira nema izmeštanja objekta, a izmeštanje se povećava što je objekat dalji od centra zahvata. Druga greška u geometriji (slika 3 B) javlja se zbog toga što senzor snima veći deo površi pri kraju zahvata nego u tački nadira. Daljina od senzora do površi Zemlje se povećava kako senzor ide dalje od tačke nadira, pa je i greška koja se javlja veća.



Slika 3 – Geometrijska deformacija snimaka registrovanih poprečnim skenerima [6]

Geometrijske karakteristike objekta takođe zavise od osobina geodetskog koordinatnog sistema, kao što su projekcija karte i geodetski datum. Različiti satelitski sistemi usvajaju različite referentne kartografske projekcije i stvaraju snimak na osnovu njih. Rezultat ovih nesavršenosti doprinosi ukupnom geometrijskom izobličenju snimka.

Pošto se u ovom radu koristi IKONOS-ov satelitski snimak koji pripada HRSI generaciji, tj. visokorezolucijskim satelitskim snimcima, ovde će biti obrađene metode otklanjanja geometrijskih deformacija kod ovog i sličnih snimka. Da bi se lakše sagledao proces geometrijske korekcije snimaka visoke prostorne rezolucije, ceo postupak se može predstaviti slikom 4. Geometrijska transformacija koordinata snimka, odnosno celog snimka može se vršiti u dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom sistemu. Kod 2D transformacije koordinate se transformišu mnogobrojnim matematičkim modelima. Da bi se snimak transformisao u 3D sistemu neophodno je raspolagati i digitalnim modelom terena (*DTM – Digital Terrain Model*).



Slika 4 – Koraci u geometrijskoj korekciji snimaka [5]

Za geometrijsku korekciju satelitskih snimaka visoke prostorne rezolucije koriste se dva različita načina:

- parametarska transformacija (rigorozni, strogi model), i
- neparametarska transformacija (generalizovani model).

Godine 2004. Toutin je dokazao da je strogi (rigorozni) model baziran na kolinearnoj jednakosti zasnovanoj na senzorskoj tehnici, koja se koristi u svim satelitima visoke rezolucije. Kod ovog modela transformacije određuju se parametri satelita, odnosno interpretira se model svemirske letelice, telemetrija sirovog snimka i kontrolne tačke na Zemlji. Geometrijska tačnost konačnog snimka u potpunosti zavisi od određivanja ovih parametara. U ovom slučaju orijentacija parametara je modelovana u vremenski zavisnim polinomima višeg reda od prvog, dok ocena nepoznatih zahteva aproksimaciju početnih vrednosti koje su uzete iz osnovnih podataka koji su obično dobijeni uz snimak.

Neparametarska transformacija se primenjuje na čitav izvorni snimak ili na samo neki njegov deo. Ovaj postupak je jednostavniji od prethodnog. Međutim, kompanije koje distribuiraju snimke nisu uvek voljne da korisnike snabdevaju detaljnim tehničkim informacijama o platformi koja je korišćena ili o karakteristikama senzora koje su neophodne da bi se primenio rigorozni model.

Zbog navedenih razloga u ovom eksperimentu je upotrebljen neparametarski model ili, pravilnije, generalizovani model, i to model koji je baziran na 3D racionalnim polinomima, u literaturi poznatiji kao model racionalnih funkcija – RFM (Rational Function Model). Analizirani model karakterišu parametri:

- racionalni polinomski koeficijent (Rational Polynomial Coefficients),
- racionalna polinomska kamera (Rational Polynomial Camera),
- racionalni funkcionalni koeficijent (Rational Function Coefficients),
- model geometrije snimka (Image Geometry Model).

## Analiza i interpretacija digitalnih snimaka

Veoma značajna faza obrade satelitskih snimaka je analiza i interpretacija snimaka. Analiza i interpretacija snimaka mogu biti: *vizuelna* i *instrumentalna* (računarska). Za obe analize veoma su važne rezolucija snimaka ili mogućnost raspoznavanja sadržaja na snimcima. Gotovo podjednako su značajne ove poznate vrste rezolucije snimaka:

- prostorna rezolucija (udaljenost na terenu),
- spektralna rezolucija (vrste i količina spektralnih kanala),
- radiometrijska rezolucija (odnosi se na jačinu signala; ukoliko je jači signal – lakša je automatska klasifikacija),
- vremenska rezolucija (koliko često satelit snima).



Analiza snimka je postupak utvrđivanja razlika u svojstvima i izdvajanje objekata ili područja terena po pojedinim svojstvima. Ta svojstva mogu biti npr. karakteristike reljefa (gustina drenaže, dubina usecanja, nagib padina i sl.), razlike u razvoju vegetacije, intenzitet tona na crnobelim snimcima, odnosno različite boje na kolor, falš kolor snimcima i kolor kompozitima, i sl. Da bi se objekat ili neka pojava u daljinskoj detekciji mogli analizirati i interpretirati oni moraju imati karakteristike da:

- cilj snimanja može biti tačka, linija ili površ, i
- cilj mora biti jasno prepoznatljiv, odnosno mora biti u kontrastu sa ostalim pojavama na snimku.

Analiza snimka se u principu može obaviti na dva suštinski različita načina. Tako razlikujemo vizuelnu ili logičku i instrumentalnu ili formalnu analizu. Kod prvog oblika analizu vrši čovek uočavanjem razlika i izdvajanjem područja koja se po pojedinim svojstvima razlikuju od okoline. Nedostatak ovog vida analize jeste ograničena sposobnost ljudskog oka da uoči veći broj nijansi razlika jednog svojstva i subjektivnost čoveka pri oceni tog svojstva.

Drugi oblik analize obično se naziva i digitalna analiza, jer se vrši na digitalnim snimcima korišćenjem računara. Tim putem je donekle olakšana analiza, jer se računaru mogu zadati algoritmi veličina talasnih dužina i registrovane elektromagnetne energije, ranije pomenut spektralni odgovor, po kojima će računar „prepoznavati“ određene oblike koji se javljaju na snimku. U obradi snimaka u okviru sprovedenog eksperimenta kombinovana su oba načina analize snimaka. Presudan uticaj na identifikaciju objekata na snimku imao je postupak instrumentalne ili digitalne analize.

I vizuelna i digitalna analiza imaju svoje prednosti i ograničenja. Jedna od prednosti vizuelne analize jeste što pored snimka ne iziskuje posebna druga sredstva, dok digitalna analiza zahteva specijalizovanu, često veoma skupu opremu. Najbolji rezultati dobijaju se kombinovanjem navedenih postupaka.

Pojam interpretacije u daljinskoj detekciji podrazumeva tumačenje ili, u ovom slučaju, davanje značenja područjima različitih svojstava, izdvojenim u analitičkom postupku. Interpretacija se obavlja isključivo logičkim putem. Iza postupka interpretacije mora stajati čovek sa svojim znanjem i sposobnošću selekcije podataka.

Savremeni razvoj računarske tehnike omogućio je da se identifikacija pojedinih područja izdvojenih na snimcima i njihovo označavanje odgovarajućim simbolima može obavljati pomoću računara. Međutim, ovakav postupak se ne može smatrati instrumentalnom interpretacijom, jer klasifikaciju i tumačenje objekata u računar mora uneti čovek. Računar samo dalje obavlja identifikaciju, upoređivanje i izjednačavanje područja i objekata istih svojstava, odnosno vrši postupak instrumentalne analize.

Analiza i interpretacija predstavljaju jasno odvojene postupke i faze rada u postupku daljinske detekcije samo u slučajevima kada se obavlja formalna ili instrumentalna analiza.

## Vizuelna analiza i interpretacija snimaka

Vizuelna analiza i interpretacija snimaka podrazumevaju registrovanje i prepoznavanje različitih korisnih podataka putem čula vida. Računarski podržana analiza i fotointerpretacija vršene su na digitalnom snimku, koji je smešten u određene programe za obradu. Ovde se misli na konverziju podataka, geometrijsku i radiometrijsku korekciju snimaka.

Izvorni satelitski podaci bili su opterećeni greškama (uzroci su senzori, rotacija Zemlje i sl.). Kada su otklonjene greške prešlo se na konverziju podataka. Prvo je izvršeno uzorkovanje, koje predstavlja postupak opisivanja funkcija slike skupom diskretnih brojeva. Nakon uzorkovanja prešlo se na postupak kvantifikacije, tj. svaki uzorak je dobio određenu vrednost pozitivnog broja. Interpretacija multispektralnih satelitskih snimaka je najsloženiji, ali i najvažniji zadatak u daljinskoj detekciji i njoj je u ovom radu posvećena potrebna pažnja.

### *Elementi vizuelne analize i interpretacije*

Vizuelna ili logička analiza obavljena je posmatranjem snimaka, uočavanjem razlika i izdvajanjem vojnih objekata, koji se po svojim karakteristikama jako razlikuju od okoline. Veliku pomoć pri ovoj analizi predstavljali su demaskirajući znaci. Demaskirajući znak je karakterističan znak, pojava, svojstvo ili aktivnost pomoću kojeg se izviđanjem sa zemlje (mora) i iz vazdušnog prostora (kosmosa) može otkriti prisutnost ili prepoznati neki predmet, tehnički objekat, pojedinac, grupa vojnika ili jedinica na položaju, u pokretu i sl. Takvih znakova, koji demaskiraju vojnu tehniku u odnosu na urbanu sredinu u kojoj se nalaze, bilo je mnogo na analiziranom snimku.

Prepoznavanje objekta bilo je ključno kod interpretacije i korišćenja informacija pri obradi snimka. Uočavanje razlika između objekta i njegove pozadine postignuto je upoređivanjem na osnovu sledećih vizuelnih elemenata, kao što su: ton, oblik, veličina, stil, tekstura, senka i asocijacija.

**Ton** se odnosi na količinu osvetljenosti ili boje objekta na snimku (slika 5) i predstavlja osnovni element za razlikovanje različitih objekata. Boja ima danas, u uslovima sve masovnije primene fotografije i nekih optoelektronskih sredstava za izviđanje i snimanje (IC uređaji i spektralna televizija), odlučujući uticaj na otkrivanje maskiranih objekata i sredstava. I u toku interpretacije u okviru sprovedene obrade snimaka boja je imala veliki značaj pri otkrivanju vojne tehnike.



Slika 5 – Ton kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

**Oblik** ukazuje na strukturu ili konturu pojedinačnog objekta (slika 6). On ima ogroman doprinos u interpretaciji snimaka. Neobrađeno zemljište karakterišu raznovrsni nepravilni oblici, dok obrađeno zemljište i veštački objekti (bunker, uređeni sistem rovova i saobraćajnica i sl.), kao i otkrivena vojna borbena sredstva, imaju geometrijski pravilne oblike, koji privlače pažnju stručnog lica koje dešifruje snimke. Uz pomoć ovog vizuelnog elementa ostvareno je izdvajanje tenkova od ostale tehnike u neposrednom okruženju (kamiona, putničkih i manjih terenskih vozila).



Slika 6 – Oblik kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

**Veličina** nekog objekta na snimku je u funkciji razmere i omogućava da se dva bliska objekta istog oblika međusobno razlikuju (slika 7). Na primer, ako interpretator vrši analizu upotrebe zemljišta i ako je identifikovao jedan deo zemljišta brojem zgrada na njemu, velike zgrade kao što su fabrike ili hangari će sugerisati komercijalnu upotrebu, dok male zgrade ukazuju na stambenu upotrebu. Bitno je što je odmah uočena veličina posmatranih objekata u poređenju sa drugim pojavama na snimku, pa je interpretacija dalje tekla lakše i brže.



Slika 7 – Veličina kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

**Stil** (šablon) odnosi se na prostornu uređenost primetno vidljivih objekata (slika 8). Tipična i česta ponavljanja tonova i oblika utiču na to da se neki objekti, poput voćnjaka sa ravnomerno raspoređenim drvećem, ili gradske ulice sa pravilno postavljenim kućama, veoma lako uočavaju i predstavljaju dobre primere stila. Ovaj element može dosta da pomogne pri otkrivanju rasporeda vojnih jedinica i njihovih borbenih sredstava, pošto je taj raspored, uglavnom, unapred definisan i izučavan.



Slika 8 – Stil (šablon) sportskog igrališta kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

**Tekstura** se odnosi na raspored učestalosti tonских varijacija na pojednim delovima snimka (slika 9). Gruba tekstura sastoji se od išaranih tonova, gde se sivi tonovi menjaju na malim površinama, dok se kod fine teksture sivi tonovi menjaju u malim tonским vrednostima. Fina tekstura je najčešće rezultat jednoobraznih površina, kao što su asfaltni put ili travnati tereni. Tekstura je jedan od najvažnijih elemenata raspoznavanja pojava na radarskom snimku, dok kod interpretacije sadržaja ovde obrađivanih snimaka nije imala veći uticaj.



Slika 9 – Tekstura kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

**Senka**, kao demaskirajući znak, redovni je pratilac svakog objekta (tehničkog sredstva ili čoveka). Pojavljuje se uvek kada je objekat osvetljen sunčevom ili veštačkom svetlošću. Zbog oštih kontura, naročito pri sunčanom vremenu, senka je veoma uočljiv demaskirajući znak, po kome je lako otkriti i prepoznati posmatrani objekat. Prema poreklu i načinu manifestacije razlikuju se *vlastita* i *bačena* senka. Senka je koristan podatak u interpretaciji, ukoliko je moguće predvideti predstavu profila i relativne visine objekta ili objekata tako da se identifikacija učini lakšom (slika 10). Isto tako, ona zaklanja objekte, tako da je objekte u senci teško ili gotovo nemoguće uočiti. Senka je dosta pomogla pri interpretaciji sadržaja snimka u ovom eksperimentu, jer su unapred poznati profil, oblik i veličina borbenih sredstava kojima vojska raspolaže. Ovaj vizuelni element imao je veliki uticaj pri izdvajanju tenkova od ostalih vozila u neposrednoj blizini.



Slika 10 – Senka kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

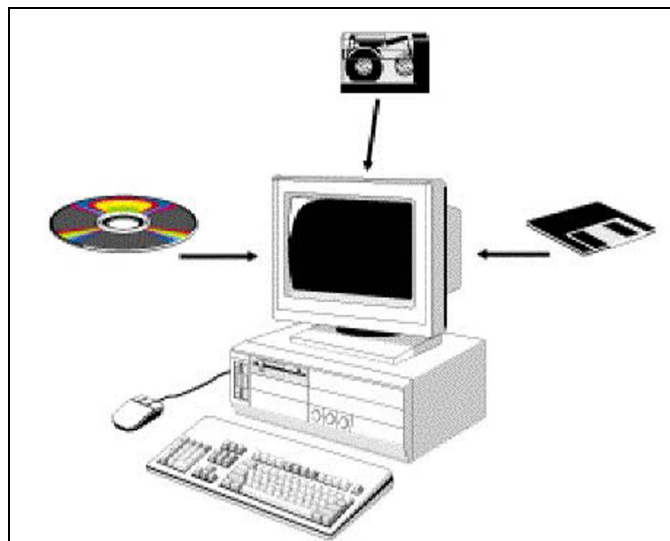
**Asocijacija** uzima u obzir odnos između neke određene prepoznatljive pojave i zastupljenosti pojave koja se ispituje (slika 11). Na primer, industrijski deo grada je u asocijaciji sa zastupljenošću komunikacija.



Slika 11 – Asocijacija kao vizuelni element analize i interpretacije snimka [5]

## Digitalna analiza snimaka

Digitalni snimci mogu se uskladištiti u memoriji računara u vidu datoteke podataka na neki od medija (disk ili magnetna traka), a mogu se prikazati i kao crnobeli ili kolor snimci na monitoru, ili kao izlazni podatak u obliku filma ili papirne kopije (slika 12). Takođe, mogu se prikazati i kao niz brojeva za potrebe numeričke analize. Prednost digitalnih snimaka nad analognim ogleda se u mogućnosti obrađivanja, umnožavanja i slanja na velike razdaljine u kratkom roku bez promene ili gubitka informacija.



Slika 12 – Digitalna analiza snimka [1]

Digitalna (formalna) analiza obavlja se instrumentalnim putem. Pri tome se najčešće koriste snimci u digitalizovanom obliku, pa je i ceo postupak poznat pod imenom digitalna analiza. Suštinsku prednost formalne analize nad logičkom čine daleko širi spektar razlika u svojstvima koje se mogu registrovati, kao i veća objektivnost postupka. Merenjem količine svetlosti odbijene od snimka (ili propuštene kroz snimak u slučaju dijapozitiva) može se uočiti i izdvojiti neuporedivo veći broj tonskih razlika nego vizuelnim osmatranjem. U ovom slučaju razlike u intenzitetu tona sive boje iskazane su kvantitativno, što omogućuje potpuno objektivno razgraničenje po zahtevanim kategorijama i pozdano izjednačavanje objekata i područja istih svojstava. Pored toga, instrumentalni analitički postupak je znatno brži i efikasniji od vizuelnog posmatranja.

Digitalna analiza obuhvata brojne postupke, uključujući oblikovanje i otklanjanje deformacija, digitalno poboljšanje snimka, kako bi se poboljšala njegova interpretacija. Uspeh ove vrste analize obezbeđuju relativno jeftini, multifunkcionalni i sve zastupljeniji personalni računari. Ono što danas predstavlja poteškoću u finansijskom smislu su dosta skupi softveri koji su potrebni za rad na računaru.

Veliko ograničenje digitalne ili instrumentalne analize predstavlja nemogućnost selekcije podataka. Instrumentalno merenje tako će dati anomalnu vrednost, kako na zatamnjenju snimka nastalom usled promene litološkog sastava, tako i na zatamnjenju nastalom kao posledica senke na kanjonskoj strani. Zato je razumljivo da instrumentalno izdvojena anomalna područja, pri tumačenju njihovog značenja, zahtevaju mnogo veću pažnju i oprez nego što je to slučaj kod logičke analize. Pri analiziranju sadržaja obrađivanog snimka u okviru sprovedenog eksperimenta uopšte nije ispoljena nemogućnost selekcije podataka, jer konfiguracija zahvaćenog terena, kao i veličina istraživanih objekata, nisu mogli prouzrokovati nikakva zatamnjenja na snimku. Pošto su prethodno uspešno otklonjene sve deformacije, izvršena prethodna obrada i sprovedeno digitalno poboljšanje visokokvalitetnog snimka, sama realizacija postupaka vizuelne i digitalne analize u velikoj meri bila je olakšana.

## Informacija

Podatak je predstava nekog objekta, pojave ili procesa u realnom vremenu, dok se samo obrađeni podatak koji je spreman za upotrebu naziva *informacija*.

Informacije za upotrebu, dobijene daljinskom detekcijom su specifične u odnosu na druga istraživanja životne sredine. Na osnovu proizvoda daljinske detekcije može se izvoditi sinteza određenih prostornih podataka, kao i proučavati znatno veća površina prostora nego što je to slučaj sa terenskim istraživanjima. Proizvodi daljinske detekcije su znatno jeftiniji i mnogo racionalniji od samog terenskog rada.

Krajnji rezultat i cilj analize i interpretacije snimaka ili celokupnog procesa daljinske detekcije, predstavlja korisna informacija o objektu na

terenu. Informacija dobijena primenom daljinske detekcije terena, kvalitativno i kvantitativno se razlikuje od rezultata drugih vrsta istraživanja.

Novi kvalitet podacima daljinske detekcije daju i snimanja u nevidljivim delovima spektra elektromagnetne energije. Njeni senzori se projektuju tako da registruju određeni opseg EM zračenja, a kombinacijom više senzora na različitim kanalima (opsezima) registracije može se unaprediti analiza i interpretacija snimljenog sadržaja.

Terenska merenja nikada ne pokrivaju celu površinu istraživanog područja. Primenom postupaka daljinske detekcije, logičke ili instrumentalne analize i interpretacije, merenja na snimku se obavljaju na celoj površini snimka. Prohodnost terena, spoljni klimatski uslovi, doba dana i drugi ograničavajući faktori terenskih merenja, nisu od uticaja na merenja na snimku u domenu daljinske detekcije.

Kvantitativna i kvalitativna vrednost dobijenih informacija daljinske detekcije, kao nove i drugačije kategorije podataka, nije u suprotnosti i ne isključuje rezultate klasičnih metoda merenja, već se međusobno dopunjuju, što ih čini objektivnijim i pouzdanijim. Primenom daljinske detekcije ceo proces geodetskih radova se usmerava i postaje efikasniji, ekonomičniji i racionalniji.

*Prilog 1*

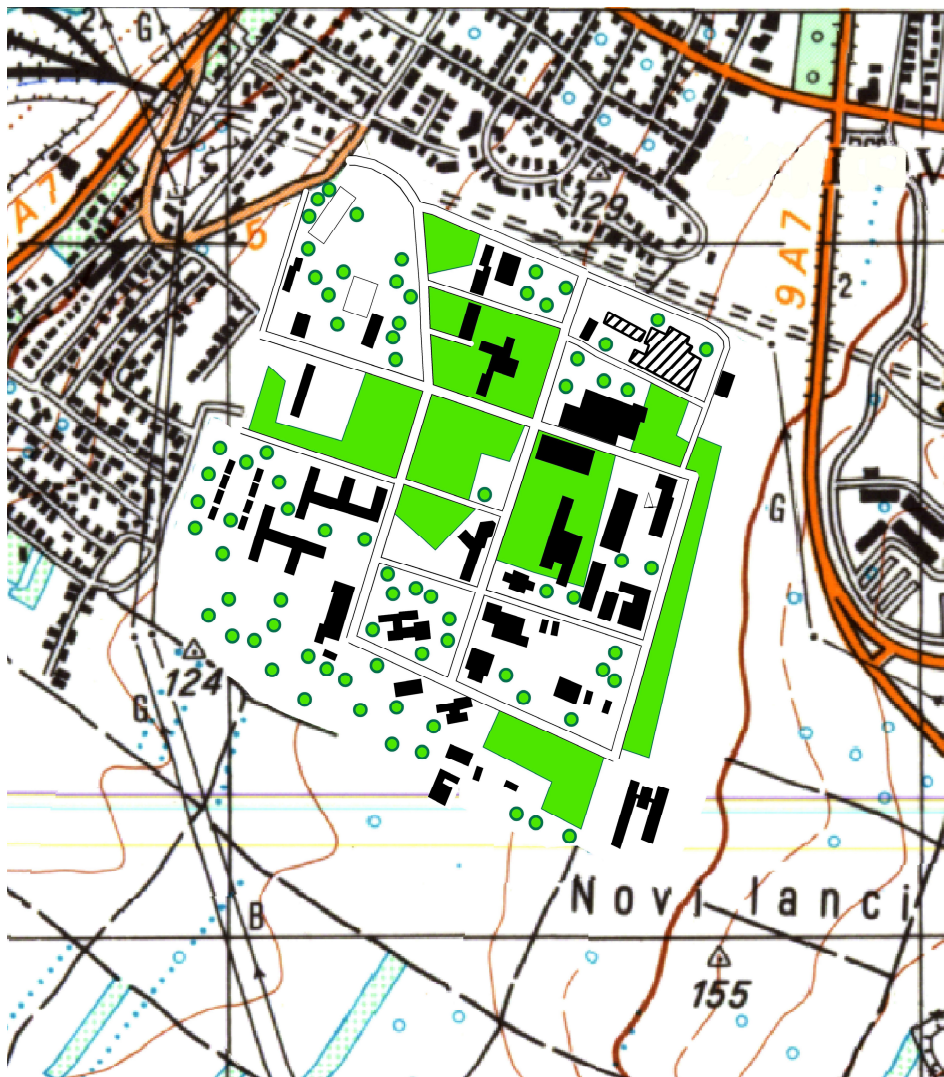


Nedostajući geografski sadržaj – kartiran u vektorskom obliku



Kao najbolji pokazatelj velikih mogućnosti u korišćenju satelitskih snimaka u kartografskoj praksi, primenom kvalitetnih softverskih rešenja, u okviru eksperimenta je izvršena dopuna topografske karte nedostajućim topografskim sadržajem. Na osnovu satelitskih snimaka visoke prostorne rezolucije uspešno je, u vektorskom obliku kartiran nedostajući geografski sadržaj – prilog 1, a zatim je isti sadržaj u potpunosti prenet na topografsku kartu krupnog razmera 1:25 000 i time je izvršena dopuna topografske karte – prilog 2.

*Prilog 2.*



Ažuriranje topografske karte nedostajućim geografskim elementima

Na osnovu teorijskih postavki i rezultata sprovedenog eksperimenta, pokazala se realnom mogućnost dopune topografskog sadržaja karte podacima sa satelitskih snimaka. Pošto je uspešno izvršena dopuna karte krupnog razmera, sigurno se rezultati ovog rada mogu primenjivati pri izradi i dopuni raznih tematskih kartografskih proizvoda najšireg kruga korisnika.

## Zaključak

Komercijalni satelitski sistemi proizvode sve kvalitetnije snimke čija prostorna rezolucija postiže vrednosti ispod jednog metra. Institucije koje kontrolišu satelitske sisteme i vrše prodaju i distribuciju kosmičkih snimaka obavljaju sve veći stepen njihove obrade i na tržištu se pojavljuju ne samo sa snimcima već i sa gotovim podacima u nekom od javnih formata i u nekom od širokorasprostranjenih koordinatnih sistema.

Dostignuti nivo razvoja računarske opreme može da obezbedi uspeh pri otkrivanju, prepoznavanju, tehničkoj analizi i prezentovanju geografskih elemenata sadržaja snimaka u procesu dopune topografske karte.

Ažuriranje topografske karte geografskim elementima topografske podloge moguće je izvršiti sa potrebnom tačnošću (sa tačnošću izrade karte koja se obrađuje) na osnovu daljinske detekcije terena, tj. moguće je računarskom obradom i interpretacijom snimaka različitog porekla (u prvom redu satelitskih snimaka) prikupiti podatke o geografskim elementima i predstaviti ih na karti i tako izvršiti njenu dopunu.

Sa porastom prostorne rezolucije kosmičkih snimaka i padom njihove cene aviosnimanja se sve češće izvode samo za potrebe izrade krupnorazmernih geodetskih podloga i razne specifične namene.

## Literatura

- [1] Canada centre for remote sensing: *Fundamentals of Remote Sensing*, Natural Resources Canada, 2002.
- [2] Karsten, J.: Orthoimages and DEMs by QuickBird and IKONOS, EARSeL Symposium Prague, 2002.
- [3] Oluić, M.: Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, sateliti-senzori-primjena, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 2001.
- [4] Pavlović, R., Čupković, T., Marković, M.: *Daljiinska detekcija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2001.
- [5] Regodić, M.: Ažuriranje radne karte daljinskom detekcijom terena, doktorska *disertacija*, Vojna akademija Beograd, 2007.
- [6] <http://images.google.com/images>, novembar 2008.
- [7] <http://www.nrsc.co.uk>, novembar 2008.

## AN APPLICATION OF SATELLITE IMAGES FOR IMPROVING THE CONTENT OF TOPOGRAPHIC MAPS

### Summary:

*Lack of updated content of topographic maps (TMs), mainly due to economic issues regarding the publishing of existing or revised TMs, substantially affects geo-topographic supply (GTS) of the Army both in peace and warfare time, as well as shortage of other geo-topographic materials (GTMs). The solution to this problem is in finding an appropriate method of using products of all types of remote sensing, high-quality satellite images in particular. Having shown the best possibilities of remote sensing while using satellite images in mapping through the quality software solutions, the author presents an addition to topographic maps based on missing topographic data.*

### Introduction

*Numerous natural and social phenomena are constantly observed, surveyed, registered and analyzed. Permanent or periodical satellite surveillance and recording for different purposes are growing in importance. The purposes can range from meteorological issues, through study of large water surfaces to military intelligence, etc. These recording can be used in making topographic, thematic and working maps as well as other geo-topographic material.*

### Processing and analysing of ikonos2 satellite images for complementing the content of topographic maps

*Images taken from aircraft and satellite platforms are very important sources of data for studying and presenting natural and artificial phenomena on the Earth. Understanding the links and relations between digital values of pixels recorded on sensors and the phenomena on a terrain enables a proper interpretation and analysis of an image.*

*The subject of the experiment presented in this article is a satellite image of the Belgrade city area, made by the IKONOS 2 satellite of the European Space Imaging Company. It belongs to the GEO Ortho Kit products category, which means that it is approximately georeferenced and completely orthorectified.*

### Georeferencing of an ikonos2 satellite image

*A procedure in which an image is taken into a desired coordinate system through orientation points (rectification), where the image is conveyed into a projection close to the orthogonal one, is called georeferencing (process of conveying an image into a reference coordinate system), while the level of geometric transformation is external geometrical transformation [5]. By georeferencing we establish certain mathematical dependence between the points on the image and the known points of the surveyed terrain. These points are called orientation points, control or GCP points (Ground Control Points).*

#### Procedures of digital image processing image pre-processing

*The biggest deficiency of satellite images that could be used in a digital form for making and maintaining working maps is a series of mistakes (deformations) of geometric mapping.*

*These deformations that should be removed before further processing are viewed as:*

- A change of intensity of pixel grey tone caused by the characteristics of the surveyed terrain, object or phenomenon, and*
- A wrong relative position of a pixel in the image raster matrix.*

#### Image quality enhancement

*After removing deformations and taking image into a desired coordinate system, in further image processing, it is necessary to improve its quality and emphasize the data to be collected. The enhancement of image quality can be:*

- radiometric (radiometric enhancement)*
- contrast enhancement*
- histogram stretching and equalization*
- brightness optimization (brightness enhancement),*
- spatial enhancement*
- sharpening*
- averagening*
- pointing out line elements and edges (edge enhancement)*
- spectral enhancement*
- principal components analysis*

#### Image conveying

*By various image transformations (conveying), we get a “new” image from a raw one, which results in emphasizing certain phenomena and attributes. Image transformation is an important step in digital processing, but for the geodesy purposes, i.e. mapping, this phase is not of essential importance.*

#### Geometric image correction

*Previous image processing of remote sensing is based on the analysis of radiometric and geometric characteristics. By understanding these image attributes, it is possible to correct image deformations, prove the quality and readability. Within this experiment, geometric deformations and a way of eliminating them were processed.*

#### Digital image analysis and interpretation

*A very important phase of satellite images processing is image analysis and interpretation. The analysis and interpretation can be visual and instrumental (by computer). The image resolution and possibility of*

*recognizing image content are important for both of them. The analysis is a procedure of determining differences in characteristics and extraction of objects or terrain area based on their individual attributes.*

#### Visual image analysis and interpretation

*A visual image analysis and interpretation include registration and recognition of various useful data by eyesight. Computer added analysis and photo-interpretation- data conversion, geometric and radiometric image correction.-were done on a digital image.*

#### Elements of visual image analysis and interpretation

*A visual or logical analysis was done by observing images, notifying the differences and extracting military objects, which, due to their characteristics, differ very much from the surroundings. The recognition of objects was essential during data interpretation and application while processing the image. Finding differences between the object and the background was accomplished by a comparison based on the following visual elements: tone, shape, size, style, texture, shadow and associations.*

#### Digital image analysis

*Digital images can be stored in computer memory as data files, on the one of media (disc or magnetic tape), and can also be shown as black-white or colour images on a monitor, or as a data output as a film or a hard copy. A digital (formal) analysis is taken instrumentally. In that case images in a digital form are most often used, so the total procedure is known as digital analysis. The digital analysis contains numerous procedures, including forming and removing deformations and digital image enhancement, in order to enhance its interpretation.*

#### Information

*A datum is a real-time representation of an object, phenomenon or process, while only a processed datum, ready to be used, is called information. The final result and aim of the image analysis and interpretation or of the whole remote sensing process is useful information about an object on the terrain. The information gained by remote sensing of the terrain qualitatively and quantitatively differs from other types of research results.*

*Key words: topographic map, satellite surveys, geographic elements.*

Datum prijema članka: 23. 01. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 06. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 08. 10. 2009.

## STRUČNI ČLANCI

IMPLEMENTACIJA METODE  
AUTOMATIZOVANIH NEZAVISNIH  
PONAVLJANJA U SIMULACIJI SISTEMA  
MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

Nikolić V. *Nebojša*, Ministarstvo odbrane Republike Srbije,  
Sektor za politiku odbrane, Institut za strategijska  
istraživanja, Beograd

UDC: 355.01:519.872 ; 519.872:519.245

**Sažetak:**

*U radu je opisana osnovna ideja metode pod nazivom „Automatizovano ponavljanje nezavisnih simulacionih eksperimenata sa prikupljanjem statistike slučajnih procesa“. Data je matematička osnova metode i prikazane su preporuke za implementaciju metode u formu algoritma za računarski program. Pregledno su istaknuta potrebna ekspert-ska znanja za uspešan razvoj konceptualnih i simulacionih modela. Metoda je testirana u istraživanju sistema masovnog opsluživanja.*

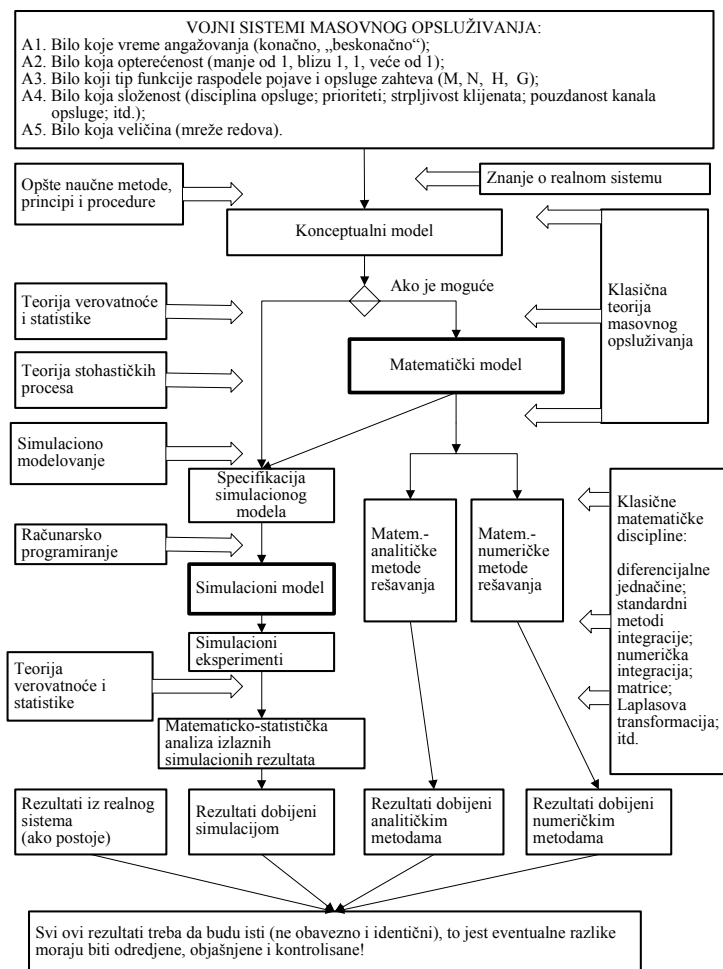
*Ključne reči: metoda Monte Karlo, nezavisna ponavljanja simulacije, kontrola tačnosti, sistemi masovnog opsluživanja.*

**Multidisciplinarnost simulacionog modelovanja**

Uspešno simulaciono modelovanje sistema i procesa u vojnoj oblasti podrazumeva multidisciplinarni pristup. To nije posledica slobodnog izbora, već potreba koje nastaju u procesu istraživanja i koje zahtevaju sinhronizovanu primenu znanja iz različitih oblasti i naučnih disciplina. U slučaju proučavanja sistema masovnog opsluživanja (SMO) logično je primenjivati istoimenu teoriju. Klasična teorija masovnog opsluživanja (TMO), pored svoje složenosti, ima i značajna ograničenja mogućnosti primene na složene sisteme i realne uslove rada. Zbog toga su u proučavanju složenih sistema masovnog

opsluživanja uveliko koriste simulacione metode tipa Monte Karlo, što je opšteprihvaćeni naziv za simulacije slučajnih procesa.

Kada je reč o slučajnim procesima, nezaobilazne su teorija verovatnoće i matematička statistika. Njihova primena u simulacionom modelovanju Monte Karlo proizvodi posebne zahteve u procesu razvoja konceptualnog modela i računarskog programa kao implementacije simulacionog modela. Inicijalno razmatrani realni problem koji se želi modelovati i proučiti (na primer: rad ekipa za tehničko održavanje u vojnoj jedinici u toku borbenih dejstava; mogućnosti sistema vatre jedinice ili posebnog borbenog sistema; itd.), svakako pripada sasvim drugoj oblasti u odnosu na navedene, odnosno oblasti vojnih i vojnotehničkih nauka. Multidisciplinarni aspekt simulacionog modelovanja sistema masovnog opsluživanja prikazan je na slici 1, [1].



Slika 1 – Multidisciplinarnost u simulacionom modelovanju SMO

Radi opisivanja i kvantifikovane analize ponašanja sistema masovnog opsluživanja moguće je koristiti sledeće opšte metode: analitičke, numeričke i simulacione.

Za proučavanje jednostavnijih SMO moguća je i kombinovana primena svih nabrojanih metoda, što je posebno preporučljivo pri proveri simulacionog modela. Sve ove metode imaju više različitih podvarijanti. Svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke. Analitičke metode podrazumevaju matematički opis problema, analitički postupak rešavanja i rešenje u formi matematičkog izraza. Ove metode su, razume se, najtačnije, ali i najsloženije za primenu (složena rešenja ili složen postupak rešavanja, ili čak teškoće na samom početku u definisanju problema u egzaktnom obliku). Numeričke metode daju rezultate visoke tačnosti – vrlo bliske tačnim analitičkim rešenjima, ali u slučaju složenijih problema (na primer, SMO sa velikim brojem stanja, a time i velikim brojem diferencijalnih jednačina stanja) mogu postati nedovoljno pogodno u praktičnim istraživanjima.

Zajednički preduslov za primenu analitičkih i numeričkih metoda jeste postojanje egzaktnog matematičko-analitičkog opisa problema. U slučaju SMO taj preduslov je postojanje sistema diferencijalnih jednačina stanja u kojima se dati SMO može naći. Ova potreba, međutim, ne postoji kada su u pitanju simulacione metode – filozofija primene simulacionih metoda Monte Karlo je sasvim drugačija. To je, istovremeno, i osnovna prednost simulacionih metoda – izbegavanje složenih matematičkih postupaka i proračuna. Na drugoj strani, glavni problem simulacionih metoda je problem obezbeđenja i kontrole tačnosti izlaznih rezultata. Način rešavanja problema tačnosti simulacionih rezultata je upravo izložen u radu kroz opis metode automatizovanog ponavljanja simulacionih eksperimenata („Automated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes“ – AIRGSSP), [2].

## Specifičnosti modelovanja realnih SMO

Konzistentnost, verodostojnost ili saglasnost modela sa proučavanim realnim sistemom jedna je od najvažnijih karakteristika modela. Podrazumeva se da se odnosi samo na karakteristike realnog sistema koje su relevantne za projektovane ciljeve istraživanja. Mada ovoj osobini modela treba posvetiti pažnju u svim fazama simulacione studije, osnovno mesto gde se ona razmatra jeste faza razvoja konceptualnog modela, kao jedan od prvih koraka simulacione studije. To znači da konceptualnim modelom treba prikazati realnost onakvu kakva zaista jeste.

Konkretno razmatranje saglasnosti modela sa realnim sistemom masovnog opsluživanja podrazumeva analizu svakog pojedinačnog atributa SMO. Na primer: ako realni sistem funkcioniše konačno vreme, onda to treba da bude implementirano u konceptualni model (nezavisno od toga



da li klasična teorija masovnog opsluživanja to može ili ne može da reši); ako je u realnom sistemu moguć slučaj preopterećenosti, onda i model treba da podrži tu mogućnost; ako funkcije raspodele vremena dolaska klijenata i njihovog opsluživanja nisu eksponencijalnog tipa, onda tako treba da bude i u modelu, itd.

Nakon izrade konceptualnog modela, sledi njegova računarska implementacija, odnosno pisanje odgovarajućeg računarskog programa. Ovaj korak je izuzetno osetljiv sa nekoliko aspekata. Konceptualni model obično radi jedna grupa ljudi (eksperti za realni sistem i analitičar sistema), a programe obično pišu programeri. Međutim, kako je reč o simulacionim modelima, sledi da je potrebno poznavanje i treće oblasti znanja: teorije verovatnoće, matematičke statistike i pojedinih poddisciplina, u ovom slučaju to je teorija masovnog opsluživanja. Da li će se ova oblast pokriti znanjima prve dve grupe ljudi ili će se angažovati i eksperti za navedene oblasti, stvar je izbora ili mogućnosti.

## Matematička osnova metode AIRGSSP

U kontekstu odgovarajućih termina u oblasti simulacionog modelovanja, jednoznačno imenovanje ove metode jeste: „**višestruka nezavisna automatizovana ponavljanja simulacionih eksperimenata, sa mogućnošću generisanja statistike slučajnog procesa**“, ili: „**Automated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes**“, AIRGSSP, [2].

U osnovi metode AIRGSSP nalaze se najjednostavniji, ali istovremeno i najvažniji zakoni teorije verovatnoće i matematičke statistike. Statistička priroda simulacione metode ogleda se u sledećem: „radni materijal“ za primenu metoda matematičke statistike predstavljaju statistički uzorci; statističke uzorke čine elementi, a te elemente predstavljaju snimljene vrednosti koje prima posmatrana slučajna veličina tokom simulacionih eksperimenata. Konkretna matematička osnova metode AIRGSSP čine sledeća tri stava:

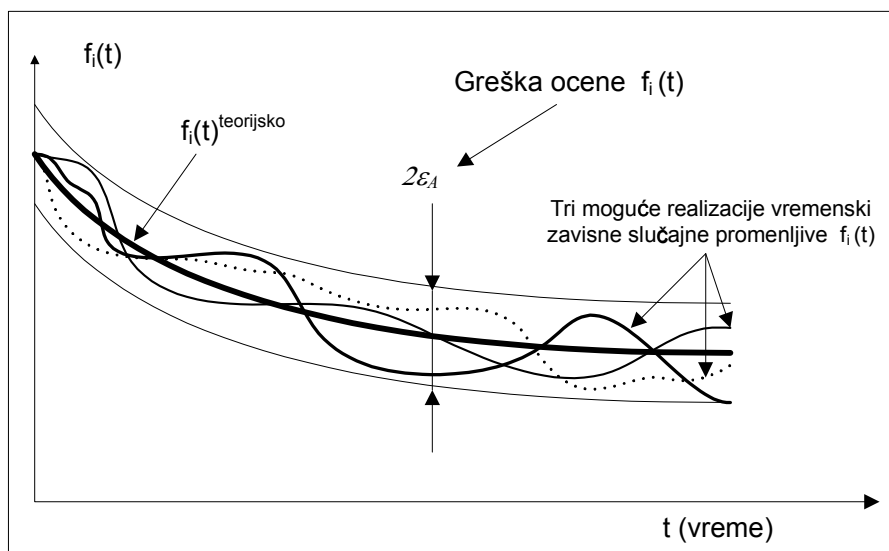
A) U osnovi metode je zakon velikih brojeva J. Bernulija ili, kako je još poznat, prva granična teorema. Ovde važi sledeći stav: relativna frekvencija posmatranog događaja, u mnogo puta ponovljenom eksperimentu, teži verovatnoći tog događaja.

B) Po načinu realizacije osnovne ideje metoda AIRGSSP podržava statistiku slučajnih procesa. Važi sledeći stav: statistika za posmatrani slučajni proces koji protiče u vremenu dobija se tako što se realizuje željeni broj međusobno nezavisnih eksperimenata sa istim početnim uslovima, pri čemu se u svakom eksperimentu, u izabranim trenucima vremena, snima statistika za posmatranu slučajnu veličinu ili više njih (poznato i kao metoda preseka stohastičkog procesa).

C) Za postizanje tačnosti simulacionih rezultata, metoda AIRGSSP polazi od poznatih osnovnih stavova matematičke statistike o intervalnoj proceni verovatnoće pojave posmatranog događaja. Ovi rezultati potiču od primene grupe teorema teorije verovatnoće, poznatih kao centralne granične teoreme. Pre svega, to su teorema Čebiševa i teorema Ljapunova. Odnosno, važi sledeći stav: u mnogo puta ponovljenom eksperimentu realizacija posmatrane veličine imaće odstupanja koja odgovaraju normalnom zakonu raspodele, pri čemu se može uspostaviti zakonitost između: veličine odstupanja slučajne promenljive i verovatnoće tih odstupanja pri zadanom broju ponavljanja eksperimenta.

Jedan od najvažnijih faktora u modelovanju sistema masovnog opsluživanja (ali i drugih sistema i procesa u kojima postoje entiteti slučajnog karaktera), jeste prepoznavanje procesa funkcionisanja SMO kao jedne vrste slučajnog procesa. Posledica ove spoznaje jeste orijentacija na modelovanje procesa rada SMO kao slučajnog procesa. Za potrebe ove metode dovoljna je primena samo pojedinih oblasti teorije slučajnih procesa: pre svega statistike slučajnih procesa. Potpuno objašnjenje i za istraživanje dovoljni obuhvat ove oblasti pruža literatura, [3].

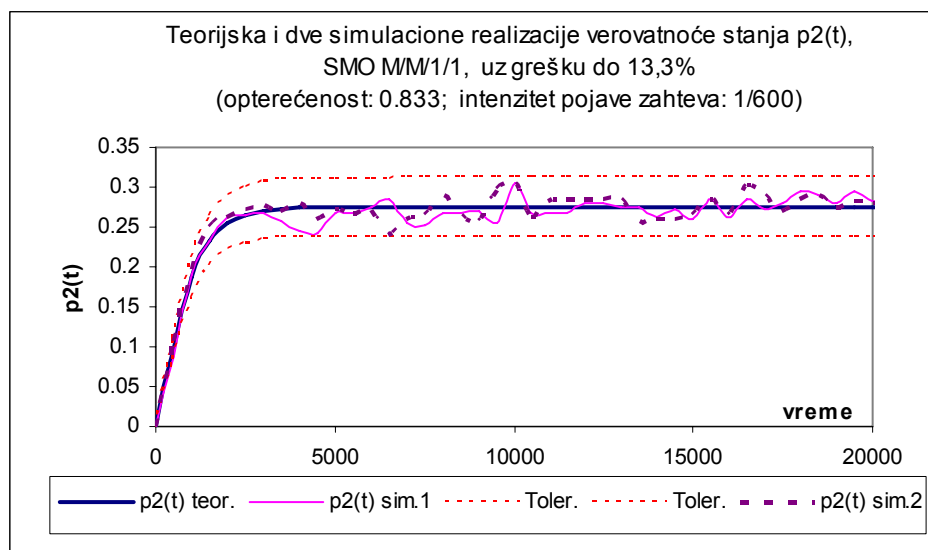
Za slikoviti prikaz slučajne funkcije, odnosno familije mogućih realizacija slučajne funkcije, od pomoći je grafički prikaz njene očekivane vrednosti i, sa druge strane, nekoliko njenih mogućih realizacija, slika 2. Sličan prikaz može se naći i u poznatoj knjizi Ventcelj E., 1969, na početku poglavlja o slučajnim funkcijama, [4].



Slika 2 – Vremenski promenljiva slučajna funkcija – idejni prikaz

Sa slike 2 bitno je uočiti sledeće: pri zadanom nivou greške ( $\pm \varepsilon_A$ ) u oceni prave vrednosti teorijske funkcije ( $f_i(t)^{\text{teorijsko}}$ ), bilo koja od tri prikazane realizacije ( $f_i(t)$ ) slučajne funkcije je legitimna. Metoda AIRGSSP obezbeđuje upravo neku (bilo koju) od tih realizacija slučajne funkcije. Pri tome treba znati da simulacija ne daje matematički izraz (formulu), već samo numeričke rezultate (tabela i grafik).

Ili, konkretno, na grafu 1, (iz [1]), na primeru SMO M/M/1/1, za verovatnoću  $p_2(t)$  u „ulozi“  $f_i(t)^{\text{teorijsko}}$  daju se dve realizacije dobijene simulacijom (po 1000 ponavljanja), uz teorijsku krivu i zadati opseg maksimalne greške.



Graf 1 – Teorijska i dve simulacione realizacije jedne verovatnoće stanja SMO

Slika 2 daje idejni, a graf 1 konkretni prikaz jedne vremenski zavisne slučajne funkcije generisane simulacionom metodom AIRGSSP. Pri tome postoji izvesno odstupanje, ili greška, ali takvo da je u definisanim granicama, u odnosu na teorijsku funkciju, i to u svim tačkama intervala definisanosti nezavisnog argumenta (vreme, po apscisnoj osi).

## Opis implementacije metode AIRGSSP

Problematika metodologije simulacionog modelovanja je aktuelna u stručnoj literaturi, sa nekoliko još uvek otvorenih pitanja, odnosno problema, [5]. U nastavku sledi detaljan opis konkretnih aktivnosti koje treba izvršiti u primeni AIRGSSP metode:

1. Izraditi konceptualni model – opisati proučavani realni sistem kao SMO:  
 – prepoznati elemente realnog sistema kao kanale opsluživanja. Odrediti broj kanala opsluge. Odrediti srednji intenzitet i tip funkcije raspodele vremena opsluživanja u kanalima. Definisati broj faza opsluživanja;

– prepoznati elemente realnog sistema kao klijente. Definisati veličinu populacije klijenata. Odrediti srednji intenzitet i tip funkcije raspodele vremena između dolazaka klijenata. Definisati strpljivost klijenata u redu čekanja i na opsluzi;

– odrediti disciplinu pristupa klijenata kanalima opsluživanja. Moguće discipline su: prvi prispeo, prvi opslužen; prvi prispeo, poslednji opslužen, po prioritetnosti klijenata;

– odrediti vreme rada SMO;

– NAPOMENA: verodostojno opisati sistem onakav kakav jeste i za onakve uslove u kojima radi, a ne ograničavati pojedine attribute (vreme rada; i odnos intenziteta ulaznog i izlaznog toka klijenata) samo na one domene koje pokriva klasična teorija masovnog opsluživanja.

2. Definisati mere performanse proučavanog SMO:

– osnovne mere performanse su: verovatnoće stanja SMO kao funkcije vremena (sva stanja posebno; grupisana stanja; ili pojedina stanja);

– sintetičke mere performanse SMO su: srednje vreme čekanja na opslugu; srednje vreme opsluživanja; srednje vreme klijenata u SMO; srednja dužina reda čekanja; srednji broj klijenata u sistemu; srednja zauzetost kanala opsluživanja.

3. Razviti osnovnu strukturu simulacionog modela:

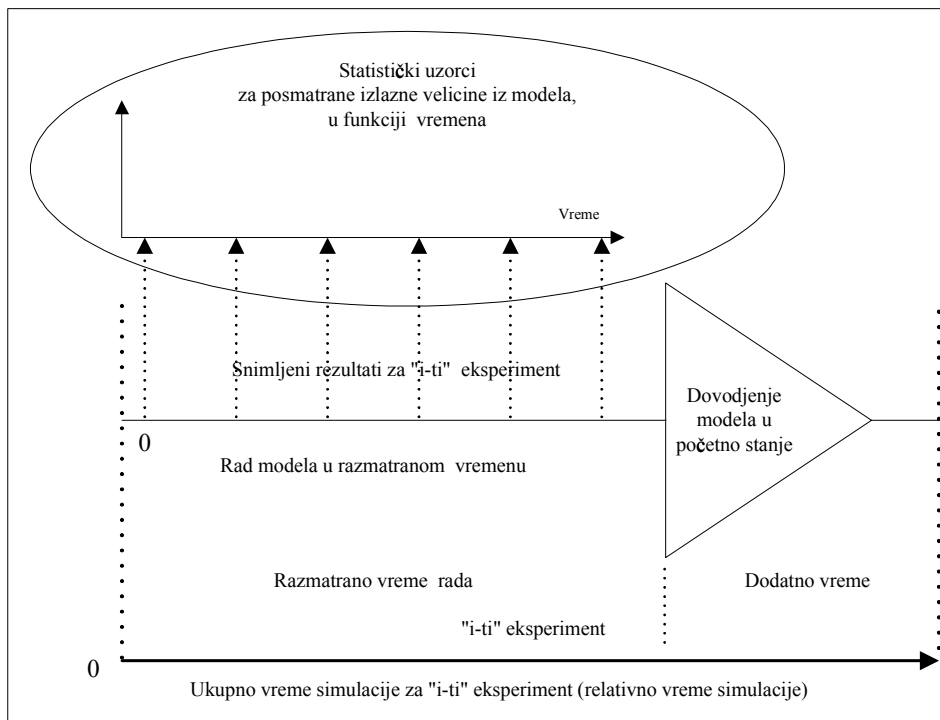
– na osnovu prethodnog izraditi osnovni algoritamski prikaz modela, koristeći formalne grafičke simbole izabranog računarskog jezika;

– NAPOMENA: pri izradi osnovne strukture simulacionog modela u formi algoritamskog prikaza, u potpunosti slediti standardizovana uputstva u oblasti simulacionog modelovanja.

4. Primeniti koncept statistike slučajnih procesa.

U utvrđenu osnovnu strukturu simulacionog modela implementirati koncept generisanja statistike slučajnih procesa (metodu preseka; „stroboskopsko uzorkovanje modela“), po ideji izloženoj na slici 3.

Na slici 3 (iz [1]) prikazan je šematski koncept generisanja statistike vremenski zavisnih slučajnih veličina. Logika prikazanog koncepta generisanja statistike vremenski zavisnih veličina poznata je u literaturi kao statistika slučajnih procesa, ali i pod nazivom „stroboskopsko uzorkovanje sistema“, [6], a realizuje se metodom preseka stohastičkog procesa, [1].



Slika 3 – Koncept generisanja statistike vremenski zavisnih veličina

Pod ovim terminom podrazumeva se koncept generisanja statistike slučajnih procesa, odnosno snimanje vrednosti posmatranih veličina – mera performansi sistema, u određenim vremenskim intervalima i sve to ponovljeno više puta – u više realizacija posmatranog stohastičkog procesa. Radi bolje preglednosti, na slici 3 prikazan je ovaj koncept za samo jednu – „i-tu“ realizaciju posmatranog slučajnog procesa.

Sledi podsetnik o pojmu „statistika slučajnih procesa“. Cilj primene ovog koncepta jeste obezbeđenje načina praćenja slučajnih veličina koje se mogu menjati u vremenu. Sledi podsetnik o realizaciji koncepta statistike slučajnih procesa.

Neka je  $X(t)$  vremenski promenljiva veličina slučajnog karaktera, koja prikazuje neki aspekt ponašanja, odnosno neku meru performanse proučavanog sistema masovnog opsluživanja (SMO). Na primer: to mogu biti osnovne mere performanse (verovatnoće stanja) ili neka sintetička mera performanse (vreme čekanja u redu, broj klijenata u redu, itd.). Matematičko očekivanje ove promenljive, označeno kao  $M[X(t)]$  (ili  $E[X(t)]$ ), jeste u opštem slučaju nepoznata, osim za slučajeve najjednostavnijih modela SMO i to samo za stacionarni period rada.

Pretpostavimo da postoji  $n$  nezavisnih realizacija slučajne veličine  $X(t)$ :  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_i(t), \dots, x_n(t)$ , u nekom intervalu  $[0, T]$ .

Izaberimo neki momenat  $t_j$  iz tog intervala. Realizacije ordinata ( $t_j, x_i(t_j)$ ) u tom momentu  $t_j$ , mogu se tretirati kao  $n$  realizacija slučajne promenljive  $X(t_j)$ .

Tako, za ocenu očekivane vrednosti slučajne promenljive  $X(t_j)$ , (u oznaci:  $M[X(t_j)]$ ), uzimamo aritmetičku sredinu svih  $n$  realizacija te slučajne promenljive:

$x_1(t_j), x_2(t_j), x_3(t_j), \dots, x_i(t_j), \dots, x_n(t_j)$ , odnosno:

– aritmetička sredina  $n$  realizacija slučajne promenljive  $X(t)$  u preseku  $t_j$ , tj.  $X(t_j)$  je:

$$\bar{X}(t_j) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(t_j)}{n} \quad (1)$$

– i očekivana vrednost slučajne promenljive  $X(t_j)$  u preseku  $t_j$ , odnosno  $M[X(t_j)]$  je:

$$M[X(t_j)] = \bar{X}(t_j) \quad (2)$$

– odnosno, u opštem slučaju, važi za bilo koji presek  $t$ :

$$M[X(t)] = \bar{X}(t) \quad (3)$$

Jasno je da što ima više ovih realizacija (veće  $n$ ), to je bolja ocena vrednosti posmatrane slučajne promenljive. Drugim rečima, u mnogo puta ponovljenom eksperimentu aritmetička sredina posmatrane slučajne promenljive težiće njenoj stvarnoj teorijskoj vrednosti. Jedno od ključnih pitanja može se postaviti na ovom mestu: kako odrediti potreban broj realizacija slučajne promenljive, da bi se dobila vrednost aritmetičke sredine tih realizacija merljivo i dovoljno bliska stvarnoj vrednosti slučajne promenljive u zatom, tj. bilo kom preseku. Odgovor na ovo pitanje kvantifikacije odstupanja aritmetičke sredine slučajne promenljive od njene očekivane vrednosti vodi preko zakona velikih brojeva i grupe centralnih graničnih teorema.

Teoretski, ovaj postupak bi trebalo ponoviti za sve tačke iz intervala  $[0, T]$ . Praktično, dovoljno je obuhvatiti samo određeni, konačni broj tih tačaka. Izloženi postupak u potpunosti objašnjava koncept statistike slučajnih procesa primenjen u metodi AIRGSSP. Primenom ovog koncepta metoda AIRGSSP je osposobljena da generiše vremenski zavisne slučajne veličine. Na ovaj način mogu se odrediti i osnovne (verovatnoće stanja) i sintetičke (vreme čekanja, dužina reda, zauzetost kanala opsluživanja) mere performanse SMO.

Ovaj postupak poznat je i pod nazivom metoda preseka [8]0. Takođe, izloženi koncept može se jednostavno prikazati i prema šemi u tabeli 1 (isto kao u [8]). Iskazano slobodnije, opisani postupak predstavlja tzv. „stroboskopsko uzorkovanje sistema“ [6].

Tabela 1

Metoda preseka slučajnog procesa  $X(t)$

		Preseci					
		$t_1$	$t_2$	...	$t_j$	...	$t_m$
Realizacije	$X_1(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_j)$	...	$x_1(t_m)$
	$X_2(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_j)$	...	$x_1(t_m)$
	...	...	...	...	...	...	...
	$X_i(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_j)$	...	$x_1(t_m)$
	...	...	...	...	...	...	...
	$X_n(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_j)$	...	$x_1(t_m)$

Primenjeni koncept statistike slučajnih procesa nije nov, potpuno je logičan, saglasan je sa teorijskim postavkama matematičke statistike, odnosno statistike slučajnih procesa I, konačno, daje rezultate. Verovatni razlozi njegove slabe primene jesu problemi i mogućnosti njegove praktične implementacije, kao i dominantna percepcija prirode problema. Jednostavnije rečeno, za uspešnu implementaciju, odnosno kreiranje simulacionog modela u formi računarskog programa, potrebna je, pored poznavanja izloženog koncepta, i velika pažnja i odgovarajuća programerska znanja.

Ovaj koncept sada treba implementirati u obliku odgovarajućih programskih modula – potprograma i definisati sledeće: tabele za svaku meru performanse koja se izračunava i diskretni vremenski korak u simulacionom procesu.

#### 5. Automatizacija ponavljanja simulacionog eksperimenta.

U osnovnu strukturu simulacionog modela ugraditi proceduru automatizovanog ponavljanja nezavisnih simulacionih eksperimenata, po grafičkom prikazu na slici 4.

Dva bitna momenta karakterišu ovaj korak: prvo, obezbeđenje brojnosti elemenata u statističkom uzorku I, drugo, obezbeđenje međusobne „jednakopravnosti“ svih elemenata koji mogu da uđu u statistički uzorak. Ove dve činjenice obezbeđuju REPREZENTATIVNOST statističkog uzorka.

Problem brojnosti elemenata u statističkom uzorku (ili veličina statističkog uzorka) dobro je poznat u literaturi o simulacionom modelovanju [9]. Ovaj problem može se raščlaniti na dva jednako važna potproblema: prvo, određivanje brojnosti uzorka i, drugo, realizacija. Za određenje brojnosti uzorka za ocenu verovatnoća stanja SMO treba koristiti sledeći izraz:

$$n = \frac{q}{p} \left( \frac{100}{\varepsilon} \right)^2 z_c^2 \quad (4)$$

Oznake u izrazu (4) imaju sledeće značenje:

$n$  – veličina uzorka, tj. broj ponavljanja simulacionog eksperimenta,  
 $p$  – verovatnoća stanja sistema koja se posmatra,  
 $q$  – komplement posmatrane verovatnoće stanja ( $q=1-p$ ),  
 $\varepsilon$  – maksimalno odstupanje posmatrane verovatnoće, izraženo u procentima,  
 $z_c$  – koeficijent poverenja za normalnu raspodelu,

Za realizaciju – formiranje uzoraka, brojnosti određene prema navedenom izrazu, nužno je izvršiti upravo toliko nezavisnih simulacionih eksperimenata. Broj ovih eksperimenata po pravilu je veoma veliki (više stotina, više hiljada, itd., što zavisi od željene tačnosti), pa je neophodno obezbediti automatizovano ponavljanje nezavisnih simulacionih eksperimenata. Prostim računom, uz primenu izraza (4), dobija se potvrda prethodnih navoda. U tom smislu, automatizacija ponavljanja simulacionih eksperimenata, iako je relativno proceduralna stvar u računarskom programiranju, ima svoju suštinsku važnost sa aspekta primene.

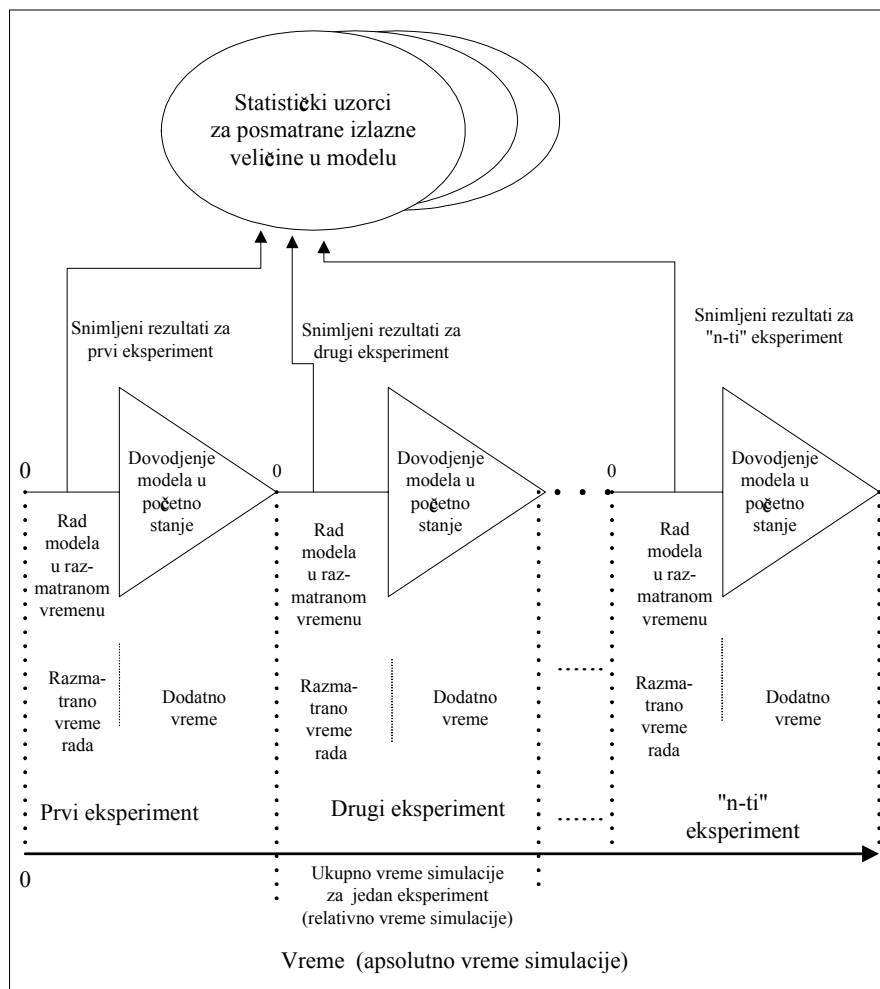
Za drugi momenat (jednakopravnost elemenata uzorka) treba istaći da se postiže realizacijom sledeća dva zahteva:

- prvo, obezbeđenje slučajnosti u izboru elemenata statističkog uzorka: postiže se samom primenom metode Monte Karlo, i
- drugo, obezbeđenje međusobne nezavisnosti elemenata statističkog uzorka: postiže se realizacijom međusobno nezavisnih simulacionih eksperimenata.

U procesu obezbeđenja statistike slučajnih procesa primenom simulacionog modelovanja veoma je bitno da se analizira i definiše entitet koji predstavlja elemente statističkog uzorka. Na slici 4. šematski je prikazana ideja ovog koncepta. Radi preglednosti, na slici nije istaknut jedan vrlo važan momenat, a to je činjenica da po završetku svakog pojedinačnog eksperimenta treba promeniti vrednosti generatora slučajnih brojeva.

Ideja koncepta prikazanog na slici 4. od suštinske je važnosti u postupku konkretne računarske implementacije modela. Upravo po izloženoj šemi treba razviti računarski program. Ideja koncepta je dovoljno opšta (nije ograničena samo na jedan programski jezik) da se može primeniti pri korišćenju praktično bilo kog računarskog jezika.





Slika 4 – Simulacioni koncept obezbeđenja reprezentativnosti statističkih uzoraka

U kontekstu poznatih metoda simulacionog modelovanja treba istaći da je osnovna ideja izloženog koncepta slična pristupima poznatim pod nazivima: nezavisna ponavljanja (independent replications); paralelna ponavljanja (parallel replications); višestruka ponavljanja paralelnom simulacijom (multiple replications in parallel); paralelna simulacija (parallel simulations), itd.

U kontekstu svoje suštine i poznatih termina u oblasti simulacionog modelovanja, posebno SMO, izloženi koncept bi se mogao imenovati kao: „kvaziparalelna simulacija“. Po svojoj suštini, koncept zaslužuje epitet „paralelna simulacija“, ali po načinu realizacije nije paralelan, jer se može realizovati na samo jednom računaru.

Uz korišćenje poznatih pojmova koncept bi se mogao imenovati kao: „višestruka nezavisna automatizovana ponavljanja simulacionih eksperimenata, sa mogućnošću generisanja statistike slučajnog procesa“. Otuda i naziv predložene metode dat na početku.

Ovu proceduru treba implementirati u obliku odgovarajućeg programskog modula – potprograma, tako da on:

- prvo, automatski registruje kraj svakog pojedinačnog simulacionog eksperimenta;
- drugo, automatski dovodi model u početno stanje, po završetku svakog pojedinačnog eksperimenta;
- treće, za svaki sledeći eksperiment automatski koristi novi niz slučajnih brojeva;
- četvrto, vrši automatizovano ponavljanje nezavisnih simulacionih eksperimenata, sve dok se ne realizuje zadati broj simulacija.

6. Proračun broja ponavljanja simulacionog eksperimenta vrši se primenom izraza za određivanje veličine uzorka (izraz 4), na sledeći način:

- zadati procentualnu vrednost maksimalne statističke greške ( $\varepsilon$ ) za verovatnoće stanja SMO;
- zadati nivo poverenja preko koeficijenta poverenja za normalnu raspodelu ( $z_c$ );
- definisati najmanju vrednost verovatnoće stanja ( $p$ ). NAPOMENA 1: ako su raspoloživi rezultati klasične teorije masovnog opsluživanja za stacionarni režim rada SMO, onda ih treba iskoristiti i izračunati vrednost najmanje verovatnoće stanja. NAPOMENA 2: ako prethodni slučaj nije moguć, treba arbitrarno zadati vrednost reda veličine verovatnoće stanja (0,1; 0,01; ili 0,001);
- prema prethodnim elementima i uz korišćenje izraza (4) proračunati potreban broj ponavljanja simulacionog eksperimenta.

7. Napisati programski kod simulacionog modela i implementirati program.

Izložene aktivnosti u realizaciji AIRGSSP metode prikazane su logičkim redosledom. Međutim, treba istaći da te aktivnosti nisu međusobno potpuno izolovane, već se pojedine aktivnosti mogu istovremeno izvršavati. Takođe, moguć je i iterativni postupak u realizaciji pojedinih aktivnosti, naročito kada treba sprovesti postupke verifikacije programskog koda, ali i validacije čitavog modela. U tom smislu opšti postupak neposredne primene AIRGSSP metode ima poznate karakteristike tipičnih simulacionih studija. Primeri konkretne primene ove metode mogu se videti u radovima [1], [2] i [10].

## Zaključak

U prikazanim sadržajima opisana je suština simulacione metode nazvane „Automatizovana nezavisna ponavljanja simulacionih eksperimenata, sa prikupljanjem statistike slučajnih procesa“ ili, u originalu: „Auto-

mated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes“, skraćeno AIRGSSP. Objašnjena je njena matematička zasnovanost i prikazana sistematizovana procedura za razvoj simulacionog modela, sa preporukama za aktivnosti praktične implementacije metode pri razvoju algoritma simulacionog modela.

Mogućnosti metode AIRGSSP posebno dolaze do izražaja u modelovanju i simulaciji složenijih sistema masovnog opsluživanja koji su visokoopretereni i preopterećeni, za sisteme sa velikim brojem mogućih stanja, kao i za sisteme koji funkcionišu u ograničenom – konačnom vremenu. To su upravo slučajevi kada primena ostalih metoda, kako simulacionih, tako i analitičkih i numeričkih, ne daje zadovoljavajuće rezultate ili ih je teško primeniti.

### Literatura

- [1] Nikolić, N., *Monte Carlo Modeling of Military Queueing Systems – Challenge of the Initial Transience*, monografija, Zadužbina Andrejević i Institut za strategijska istraživanja, Beograd, 2008. ([www.zandrejevic.rs](http://www.zandrejevic.rs))
- [2] Nikolić, N., *Statistical integration of Erlang's equations*, European Journal of Operational Research\*, Vol. 187, Issue 3, 16 June 2008, pp. 1487–1493. ([www.sciencedirect.com/science/journal/03772217](http://www.sciencedirect.com/science/journal/03772217))
- [3] Mališić, J., *Slučajni procesi – teorija i primene*, Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
- [4] Ventcelj, E. S., *Teoria verovatnostei*, Nauka, Moskva, 1969. (na ruskom).
- [5] Androttir, S. and others, panel, *Analysis methodology: are we done?*, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, December 2005, pp. 790–796
- [6] Belić, M., *Deterministički haos*, Sveske fizičkih nauka, SFIN, Beograd, 1990.
- [7] Zečević, T., *Operaciona istraživanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1974.
- [8] Zečević, T., *Neki aspekti statističkog modeliranja*, Ekonomski anali, br.130, izdanje Ekonomskog fakulteta u Beogradu, oktobar-decembar 1996, str. 51–56.
- [9] Robinson, S., *Automated analysis of simulation output data*, Proceedings, Winter Simulation Conference, Decembar 2005, str. 763–770
- [10] Nikolić, N., *Praktični aspekti prelaznog režima rada sistema masovnog opsluživanja*, Vojnotehnički glasnik, br.4, oktobar-decembar 2007, str. 429–440.

#### IMPLEMENTATION OF AUTOMATED INDEPENDENT REPLICATIONS IN THE SIMULATION OF QUEUEING SYSTEMS

##### Summary:

*This paper presents a basic idea of the method entitled „Automated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes“. The mathematical foundation of the method is offered, as well as some recommendations for practical implementation of the met-*

*hod in the form of a computer program algorithm. A set of different expert knowledge needed for a successful development of conceptual and simulation models is pointed out in a separate review. The method has been tested in the modeling and simulation of queueing systems.*

#### Multidisciplinary character of simulation modeling

*This paper presents a basic idea of the method entitled „Automated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes“. A clear review of expert knowledge needed for successful development of a conceptual model as well as a simulation one is offered. Simulation modeling of systems and processes in any military branch assumes a multidisciplinary approach. This is not a consequence of a free choice, but of needs and problems which arise in a research process and which require synchronized use of knowledge from different areas and scientific disciplines. In studies of queueing systems, these disciplines are: queueing theory, probability theory, mathematical statistics, stochastic processes, mathematical analyses, Monte Carlo simulation modeling, computer programming, knowledge about a real system under study, etc.*

#### Specific features of real queueing systems

*Consistency, fidelity or agreement of the model with the real system under study is one of the most important characteristics of the model. This means that a conceptual model should present reality as it really is. In the context of queueing system modeling, this means the following: if a real system works for some finite time, then the same should be applied for a model as well; if there can be any traffic intensity including overloading, then a model should be conceived accordingly, etc.*

#### Mathematical basis of the AIRGSSP method

*The mathematical basis of the method is offered, as well as some recommendations for practical implementation of the method in a form of a computer program algorithm. Explicitely, the mathematical foundations of the AIRGSSP method are three statements; the first one, the Bernoulli law of large numbers, or the first limit theorem: the frequency of one random event in a many times repeated experiment tends to the probability of that event; the second one, the perception of the behavior of a queueing system as a kind of a stochastic process, and the support for the statistics of stochastic processes; and the third one, the use of an interval estimation of proportion for establishing the control of the simulation result accuracy.*

#### Description of the implementation of the AIRGSSP method

*The application of the AIRGSSP method includes the following: development of a conceptual model; definition of performance measures; development of the basic structure of the simulation model; imple-*

*mentation of a module for the stochastic process statistics; implementation of a module for automatization of independent replications of the simulation experiment; calculation of a number of replications of the simulation experiment; and translation of the model into the computer code.*

#### Conclusion

*A detailed description for the practical implementation of the method „Automated Independent Replications with Gathering Statistics of Stochastic Processes“ is given. The capacity and advantages of the AIRGSSP method are particularly clear in the cases of modeling and simulation of: heavy-loaded and overloaded systems, complex systems with a large number of possible system states as well as systems engaged for some finite time. These are exactly the systems and working conditions where other methods usually fail.*

*Key words: Monte Carlo, Independent Replications, accuracy control, queueing systems.*

Datum prijema članka: 30. 03. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 18. 09. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 21. 09. 2009.

## MONITORING STANJA KROZ TESTOVE ANALIZE ULJA

Perić R. Sreten, Vojna akademija, Katedra vojnih mašinskih sistema, Beograd

UDC: 621.892.097

### Sažetak:

*U radu su prikazani testovi analize ulja koji se koriste za procenu njegovog stanja. Predočeni su zahtevi koje testovi moraju da zadovolje, a odnose se na stanja tehničkih sredstava, stanja nečistoća i stanja maziva. Pokazano je da posebnu pažnju treba obratiti na pojavu i trend promene broja metalnih čestica u ulju. Takođe, razmatrani su znaci koji upućuju na promenu viskoznosti, povećanje oksidacije i trošenje aditiva. Razmatrano je stanje nečistoća u ulju, gde je posebna pažnja posvećena brojnosti čestica, sadržaju vode i metalnih nečistoća.*

*Pokazano je da je neophodno koristiti program za analizu motornih ulja, koji osigurava nekoliko prednosti: smanjenje neplaniranog vremena otkaza vozila, poboljšanje pouzdanosti vozila, što je korisno pri organizovanju efikasnog plana održavanja, zatim produženje radnog veka motora, optimiziranje intervala zamene ulja i smanjenje troškova održavanja vozila.*

*Prikazani su i rezultati eksperimentalnih istraživanja fizičko-hemijskih karakteristika uzorkovanih ulja iz motora vozila Mercedes OM 345 koja su bila u eksploataciji. Realizovanim ispitivanjima konstatovano je da dolazi do promena fizičko-hemijskih karakteristika ulja za podmazivanje u motoru vozila, koje su u direktnoj zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema motora, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika.*

*Ključne reči: monitoring, održavanje, analiza ulja, podmazivanje.*

### Uvod

I majući u vidu da je osnovna uloga maziva da smanji negativne efekte triboloških procesa u pogledu trenja, habanja i rasta temperature u tribomehaničkim sistemima, svi vidovi održavanja uključuju podmazivanje kao veoma značajan deo ukupne procedure.

Analiza ulja je široko zastupljen i efikasan alat u programu monitoringa stanja tehničkih sistema. Razvijen je veliki broj uređaja i testova za analizu ulja, a njihovo usavršavanje se i dalje nastavlja, kako bi se omogućio što kvalitetniji monitoring i dijagnosticiranje problema nastalih u procesu podmazivanja [1].

Razvoj novih maziva za vozila mora da zadovolji oštre kriterijume sa aspekta ekonomičnosti potrošnje goriva, kao i smanjenja emisije, što je veoma značajno za zaštitu životne sredine.

Zahtev koji se postavlja pred savremena vozila jeste da emituju znatno manje štetnih gasova u poređenju sa starijim tipovima automobila i kamiona. Posledica toga je povećana ponuda motornih ulja, koja omogućava uštedu goriva, što se postiže smanjenjem viskoznosti i dodatkom modifikatora trenja.

Smanjenje emisije izduvnih i štetnih gasova postignuto je smanjenjem količine fosfora (% P) u motornim uljima, jer je ustanovljeno da fosfor ima štetan uticaj na katalizatore u katalitičkim konverterima.

Posebno treba naglasiti značaj monitoringa ulja za podmazivanje sklopova tribomehaničkih sistema motora SUS, koji omogućava da se u ranoj fazi funkcionisanja sistema identifikuju eventualni uzročnici i pojave koji vode ka oštećenju i otkazu.

Savremeni programi za analizu ulja su jednostavni za realizaciju, čemu posebno doprinosi razvoj računara i savremene merne opreme. Poslednjih godina mnogo se radi na razvoju novih tehnika za analizu podmazivanja i povećanju sposobnosti određivanja stanja tehničkog sistema, maziva i nečistoća u ulju.

## Fizičko-hemijske karakteristike mazivih ulja

Osnovne fizičko-hemijske osobine na osnovu kojih se određuje kvalitet ulja su [2]:

**a) fizičke osobine:** viskoznost, gustina, tačka paljenja, tačka zamucenja, tačka tečenja, isparljivost, emulzivnost, deemulzivnost, penušanje, deaeracija, indeks viskoznosti i dr.;

**b) hemijske osobine:** neutralizacioni broj (TAN), ukupan bazni broj (TBN), oksidaciona stabilnost, hemijska i termička stabilnost, korozivnost, sadržaj pepela i sadržaj koksa, sadržaj vode, kompaktilnost, toksičnost i dr.

– *Viskoznost* predstavlja meru unutrašnjeg trenja, koja se ispoljava kao otpor kretanju delića fluida usled dejstva naprezanja na smicanje. Njen nastanak je rezultat delovanja međumolekularnih sila u fluidu i, što su te sile jače, to je i viskoznost veća. Viskoznost direktno utiče na formiranu debljinu sloja maziva, gubitke usled trenja i zagrevanja. Od veličine viskoznosti kod motora SUS zavisi mogućnost zaptivanja uljem, potrošnja ulja, mogućnost pokretanja motora pri niskim temperaturama, itd. Kao posledica više razloga dolazi do promene viskoznosti ulja u toku upotrebe, do porasta ili opadanja. Porast veličine viskoznosti ukazuje na proces oksidacije ulja ili kontaminaciju ulja vodom i nečistoćama, te produktima habanja. Pad viskoznosti ulja može biti posledica mešanja sa uljem niže

viskoznosti ili zbog smicanja poboljšivača viskoznosti. Takođe, pad viskoznosti je u korelaciji sa padom temperature paljenja. Uzroci mogu biti visoka temperatura, opterećenje, nekontrolisano dug interval upotrebe, nedovoljna količina ulja u uljnom sistemu, neefikasno hlađenje sistema.

– *Indeks viskoznosti* predstavlja tendenciju promene viskoznosti sa promenom temperature i iskazuje se empirijskim, bezdimenzionalnim brojem. Za vreme eksploatacije poželjno je da promena viskoznosti sa promenom temperature bude što manja. Ukoliko su za vreme rada temperaturni režimi promenljivi i izazivaju velike promene viskoznosti, mogu izazvati poremećaje u funkcionisanju sistema, čija manifestacija je povećano trenje, habanje i oštećenje.

– *Gustina* predstavlja odnos mase i zapremine na određenoj temperaturi. Porast gustine mineralnih ulja je u funkciji povećanja molekulske mase, u zavisnosti od preovlađujućeg sadržaja određene vrste ugljovodonika.

– *Tačka paljenja* mazivog ulja predstavlja onu temperaturu do koje treba zagrejati fluid kako bi se, pod tačno definisanim uslovima ispitivanja, u prisustvu plamena javilo prvo paljenje smeše uljne pare i vazduha, a da nakon toga nema daljeg gorenja. U uslovima analize ulja tačka paljenja je kontrolna veličina i može se koristiti kao mera oksidacije (degradacije) ulja. Proces oksidacije ulja dovodi do rasta tačke paljenja. U zavisnosti od rasta tačke paljenja zavisi i stepen degradacije ulja. Kod motornih ulja analizom tačke paljenja utvrđuje se prisustvo goriva u ulju, koje je posledica lošeg rada motora (loš rad karburatora ili brizgaljki). Snižavanje tačke paljenja ukazuje na prodor goriva.

– *Tačka zamućenja* je jedan od pokazatelja ponašanja ulja na niskim temperaturama. Ona predstavlja onu temperaturu (u °C) na kojoj se pri hlađenju ulja, pod određenim uslovima ispitivanja, javljaju prvi kristali parafina.

– *Tačka tečenja* je temperatura (u °C) na kojoj se pri hlađenju fluida, pod određenim uslovima ispitivanja, još uvek može uočiti tečenje.

– *Tačka stinjanja* je temperatura na kojoj se, u datom kratkom intervalu više ne uočava tečenje.

– *Isparljivost* predstavlja količinu fluida koja ispari u propisanom vremenu i na propisanoj temperaturi.

– *Emulzivnost* je sklonost fluida da se meša sa vodom i da gradi stabilnu emulziju. Određuje se potrebnim vremenom za potpuno mešanje ulja i vode.

– *Deemulzivnost* predstavlja sposobnost fluida da se oslobodi vode i da ne gradi sa njom emulziju. Veoma je važna osobina za ulja i masti. Iskazuje se brojem sekundi potrebnim za potpuno razdvajanje vode od ulja.

– *Penušanje* se definiše kao sklonost fluida da rastvara vazduh i da gradi penu. Pojava pene u ulju ubrzava oksidacione procese i stimuliše aeraciju, što ima za posledicu intenzivnu kavitaciju, slabo podmazivanje i smanjenje veka upotrebe samog ulja.



– *Deaeracija*, ili sposobnost izdvajanja vazduha, predstavlja vreme potrebno da se količina dispergovanog vazduha iz ulja smanji na vrednost od 0,2 zapremine. Veliko prisustvo vazduha u uljima može izazvati promene kompresibilnosti ulja, zbog čega mogu nastati kavitacioni i drugi poremećaji u radu sistema.

– *Neutralizacioni broj (TAN – Total Acid Number)* jeste mera ukupne kiselosti (sadržaj jakih i slabih kiselina). On predstavlja brojnu vrednost količine kalijum hidroksida (KOH) koja je potrebna za neutralizaciju svih prisutnih kiselina u 1 g ulja. Izražava se u mgKOH/g ulja. Sveža ulja imaju kiseli karakter, a vrednost TAN-a zavisi od karakteristika aditiva i njihovog procentualnog učešća u masi.

– *Ukupni bazni broj (TBN)* predstavlja meru alkalnosti od svih materija u ulju koje pokazuju bazne reakcije i obuhvata sve alkalne komponente koje se sastoje od jakih i slabih baza, pri čemu se pod pojmom podrazumevaju one čija je pH vrednost veća od 10 ( $\text{pH} > 10$ ). Sagorevanjem goriva u motoru i kondenzacijom formiraju se sumporasta ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) i sumporna ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) kiselina koje deluju agresivno na metalne površine povećavajući stepen korozivnog dejstva ulja. Radi njihove eliminacije motornom ulju se, za vreme procesa proizvodnje, dodaju aditivi koji mu daju bazna svojstva, Bazna svojstva ulja vremenom slabe, pa se zato određuje ukupni bazni broj kao mera istrošenosti aditiva. TBN pruža mogućnost ocenjivanja stepena istrošenosti aditiva, koji se obavlja na osnovu razlike alkalnosti korišćenog i svežeg ulja. Izražava se u količini kalijum hidroksida (KOH) koja je ekvivalentna neutralizacionoj moći alkalnih jedinjenja sadržanih u 1 gramu ulja. TBN se najčešće koristi kod motornih maziva, a njegova niska vrednost ukazuje na skori kraj radnog veka ulja. Produženje intervala upotrebe motornog ulja bez kontrole stanja je vrlo rizično i može imati sledeće posledice: slepljivanje klipnih prstenova, izgorele i lakom prekrivene klipove, brzo trošenje ležajeva, izgorele ventile i konačno zaribavanje motora.

– *Oksidaciona stabilnost* podrazumeva otpornost ulja na čitav niz složenih hemijskih procesa izazvanih delovanjem kiseonika iz vazduha. Ubrzavanje procesa termooksidacione razgradnje molekula ulja nastaje povećanjem temperature, a posledica toga su produkti oksidacije koji mogu biti u tečnom, polutečnom ili čvrstom stanju, pri čemu najčešće imaju kiselina svojstva. Osim ove temperature, brzina oksidacije zavisi i od prisustva vode, metala kao katalizatora i kiselih jedinjenja.

– *Termička stabilnost* predstavlja meru ukupne postojanosti ulja na termičko razlaganje, koje nastaje kada se ono izloži visokim temperaturama. Iskazuje se temperaturom na kojoj počinje razlaganje. Cilj određivanja termičke stabilnosti jeste utvrđivanje tendencije ka hemijskom razlaganju pod uticajem temperature, pri čemu kiseonik može, a i ne mora, da bude prisutan.

– *Sadržaj pepela* je mera sadržaja jedinjenja metala i drugih neorganskih komponenata. Ako se vrši samo sagorevanje uzorka i određivanje količine pepela tada je to oksidni pepeo. Kada se on tretira sumpornom kiselinom dobija se sulfatni pepeo. Sulfatni pepeo obično ukazuje na sadržaj aditiva (na bazi metala Ca, Mg, Zn, Ba i dr.) u ulju.

– *Korozivnost* se definiše kao mera agresivnog dejstva nekih komponenti i/ili ulja u celini na elemente mehaničkog sistema. Mineralna ulja imaju sklonost ka formiranju hidrofobne prevlake na metalnim površinama i time pokazuju prirodno antikorozivno delovanje. Ovo delovanje ulja se, putem sprečavanja difuzije korozivno delujućih materija ( $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2S$ , Cl) poboljšava porastom njihove viskoznosti. Međutim, ako imaju visok sadržaj aditiva i sadrže produkte oksidacije mineralna ulja pokazuju korozivno dejstvo. U tom slučaju prisutan je mehanizam elektrohemijskog korozivnog dejstva.

– *Sadržaj vode* određuje se kod korišćenih ulja, dok kod svežih ulja voda ne bi smela biti prisutna. Sadržaj vode u korišćenom ulju može izazvati brojne negativne posledice: pojavu korozije na komponentama sistema, pojavu penjenja ulja i uljnog mulja, istrošenost aditiva, starenje i oksidaciju ulja, smanjenje debljine uljnog filma, slabljenje izdržljivosti i razaranje uljnog filma između kontaktnih površina, pojavu kiselih produkata starenja ulja, stvaranje neželjenih emulzija, pojavu mržnjenja slobodne vode, itd.

– *Sadržaj asfaltena* primenjuje se za dijagnostiku stanja ulja i vremena zamene. Asfalten predstavlja smolastu materiju visokih molekulskih masa i obično je proizvod starenja.

– *Sadržaj goriva* u ulju odnosi se prvenstveno na motore SUS. Gorivo smanjuje veličinu viskoznosti i temperaturu paljenja ulja. Zbog mogućnosti da se ugroze uslovi podmazivanja ograničava se dozvoljena razređenost ulja gorivom.

– *Sadržaj glikola* se prvenstveno utvrđuje kod motornih ulja, ali i kod drugih familija maziva gde se antifriz primenjuje kao rashladno sredstvo.

## Dijagnostika tribomehaničkog sistema motora SUS

Sušтина dijagnostike zasnovana je na prognoziranju (prepoznavanju) oštećenja i/ili otkaza posredstvom karakterističnih dijagnostičkih parametara, što omogućava sprečavanje pojave zastoja, odnosno povećanje pouzdanosti, ekonomičnosti i veka eksploatacije sistema. Dijagnostika tribomehaničkog sistema može omogućiti proveru ispravnosti, radne sposobnosti i funkcionalnosti sistema, te ukaza-

ti na mesto, oblik i uzrok otkaza [3]. Postaviti dijagnozu sistema moguće je otkrivanjem simptoma posredstvom određivanja vrednosti karakterističnih parametara i njihovim upoređivanjem sa dozvoljenim vrednostima.

Ako se sklopovi motora sagledavaju sa aspekta tribomehaničkog sistema (npr. sklop klip-klipni prsten-cilindar; breg-podizač; ležaj-rukavac) definisanog tribološkim procesima, proizilazi da određivanje sadržaja produkata habanja, sadržaja kontaminata, stanja maziva i uslova podmazivanja ima značajan uticaj na realizaciju održavanja pomenutih sistema.

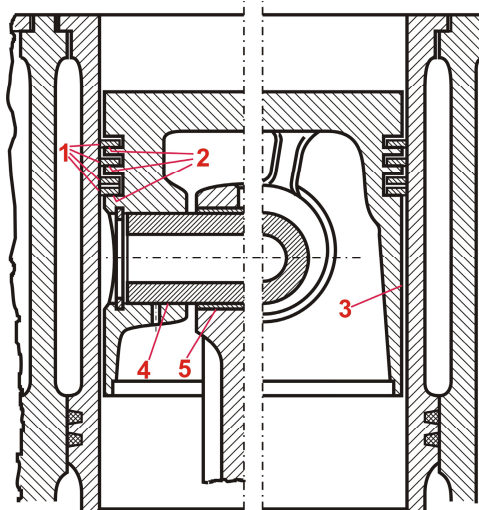
Posebno treba naglasiti značaj monitoringa ulja za podmazivanje sklopova tribomehaničkih sistema motora SUS, koji omogućava da se u ranoj fazi funkcionisanja sistema identifikuju eventualni uzročnici i pojave koji vode ka oštećenju i otkazu. Prognoziranje, odnosno otkrivanje potencijalnih i/ili trenutnih oštećenja i kvarova u sistemima, kao i provera funkcionalnosti ulja i određivanje veka ulja su glavni faktori realizacije monitoringa ulja.

Imajući u vidu da se pokretne komponente tribomehaničkih sistema motora SUS neminovno habaju i da se kontaminati i produkti habanja sakupljaju u ulju za podmazivanje, te potrebe praćenja promena svojstava fluida tokom eksploatacije, sledi zaključak da je od svih tehnika monitoringa upravo monitoring maziva ključan za održavanje po stanju i postizanje određenih tehno-ekonomskih efekata.

Analiza sadržaja različitih metala prisutnih u mazivu je veoma značajna. Čestice metala su abrazivne, a ponašaju se i kao katalizatori oksidacije ulja. U motornim uljima poreklo elemenata može biti iz aditiva, od habanja, iz goriva, iz vazduha i tečnosti za hlađenje. Metali iz aditiva mogu biti Zn, Ca, Ba, ili Mg i ukazuju na potrošenost aditiva. Metali koji potiču od habanja su: Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag, Sn i ukazuju na povećano habanje u tim sklopovima. Elementi koji potiču iz rashladne tečnosti su Na i B, a povećani sadržaj ukazuje na prodor rashladne tečnosti u mazivo. Povećan sadržaj Si ili Ca, koji potiču iz vazduha, ukazuje na neispravnost filtera za vazduh.

Habanje delova je glavni uzročnik neispravnosti u procesu eksploatacije mehaničkih sklopova vozila. Za habanje je karakteristična promena oblika i dimenzija delova radnih površina. Zbog trenja dolazi do trošenja dodirnih površina, što se odražava kroz povećanje zazora pokretnih spojenih delova i promenu međusobnih odnosa, a to ima za posledicu narušavanje propisanih međusobnih odnosa, kako sklopova, tako i vozila u celini.

Trošenje dodirnih tarućih površina sklopa cilindar-klip prikazano je na slici 1.



Slika 1 – Dodirne – habajuće površine sklopa klip-cilindar:  
 1 – klipni prsten–cilindar, 2 – klipni prsten–klip, 3 – cilindar–klip,  
 4 – osovinica–klip i 5 – osovinica–klipnjača

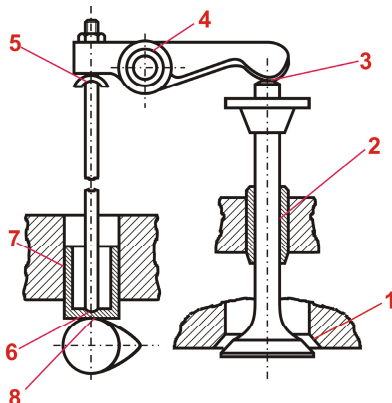
Sa povećanjem trošenja dodirnih površina narušava se hermetičnost radnog prostora motora, što ima za posledicu opadanje vrednosti efektivnih parametara motora (snage i obrtnog momenta motora).

Intenzivnije od klipa i cilindra troše se klipni prstenovi, jer su uslovi njihovog rada izuzetno nepovoljni. Oni su izloženi toplotnom delovanju i delovanju korozije čiji uzrok su produkti sagorevanja i delovanje visokih pritisaka uz istovremeno nedovoljno podmazivanje dodirnih površina. Posledice trošenja su povećanje zazora između prstenova i bočne površine žleba klipa, kao i smanjenje njihove elastičnosti. To uzrokuje prodor ulja u radni prostor motora, a isto tako prodor sagorelih gasova u karter motora.

Usled prodora produkata sagorevanja u karter motora dolazi do ispiranja ulja sa zidova cilindra, povećanja temperature ulja, ubrzanja procesa degradacije i starenja ulja, povećanja temperature motora i bržeg trošenja zidova cilindara.

Povećanje zazora između klipa i cilindra ima za posledicu intenziviranje trošenja delova cilindra i klipne grupe, ležajeva i rukavaca kolena-stog vratila, zupčanika bregastog vratila, bregova bregastog vratila i drugo.

Trošenje delova razvodnog mehanizma (slika 2) utiče negativno na proces izmene radne materije. Narušava se kinematika razvodnog mehanizma, što uzrokuje udare u razvodnom mehanizmu i smanjenje snage motora.



Slika 2 – Spojevi razvodnog mehanizma koji su izloženi habanju:  
 1 – sedište ventila, 2 – vođica ventila, 3 – klackalica–telo ventila, 4 – osovina klackalice,  
 5 – sedište–šipka podizača, 6 – podizač–šipka podizača, 7 – podizač–vođica, 8 – podizač–breg.

Površine koje su posebno izložene habanju pri ostvarivanju kontakta prikazane na slici 2. Trošenje ležajeva i rukavca kolenastog vratila utiče na pogoršanje režima njihovog podmazivanja, pojavu udara u ležajevima i vibracije motora.

Trošenje preciznih delova pumpe i brizgaljke kod dizel motora manifestuju se kao:

- povećani gubici pri ubrizgavanju goriva,
- pogoršano raspršivanje goriva, i
- neravnomerni dovod goriva u cilindre motora.

Povećano dimljenje motora nastaje zbog:

- povećane zagrejanosti delova usled otežanog odvođenja toplote, što uzrokuje stvaranje naslaga u radnom prostoru;
- smanjenja snage motora i ujedno povećanja specifične potrošnje goriva usled neravnomernog punjenja cilindra gorivom, što je posledica hidrodinamičkih otpora, izazvanih smanjenjem preseka usisne cevi zbog smolastih ostataka koji se talože na površinama cevi.

Povećano dimljenje motora zbog veće potrošnje ulja, lupanje (udari) ležajeva, trošenje sklopa cilindar–klipna grupa i razvodnog mehanizma osnovni su razlozi za upućivanje motora na remont.

Dijagnostika tribomehaničkih sistema kod motornih vozila predstavlja deo ukupnog procesa upravljanja poslovima održavanja. Ona pruža mogućnost korisniku da predvidi oštećenja i/ili otkaze, te time spreči zastoj u radu i produži vek eksploatacije motornog vozila.

Zavisnost stanja pokretnih delova od procesa trenja i habanja ukazuje na to da je određivanje izgleda, oblika i veličine čestica produkata habanja, stanja maziva i uslova podmazivanja od vitalnog značaja u procesu održavanja.

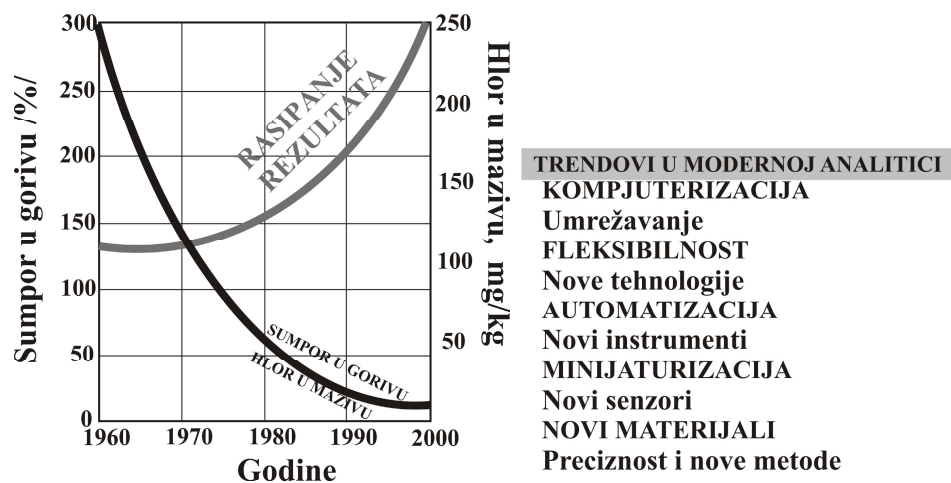
Upravo monitoring ulja za podmazivanje tokom eksploatacije je jedan od najznačajnijih postupaka koji uključuje dijagnostika stanja tribo-

mehaničkog sistema, s obzirom na funkcije i značaj koji treba da zadovolji u pomenutom sistemu [4]. Prednost pomenutog postupka ogleda se u činjenici da se informacije o funkcionalnosti komponenata sistema dobijaju bez potrebe zaustavljanja i demontaže vozila.

Savremeni trendovi dijagnostike poslednjih godina idu u pravcu afirmacije monitoringa ulja, što ima za posledicu porast interesovanja i proizvođača i korisnika ulja. Razlozi, pre svega, leže u povećanju pouzdanosti, efektivnosti, ekonomičnosti i, u novije vreme, zaštiti životne sredine.

Napredak u tehnologiji uređaja i merne tehnike ogleda se u sve većoj preciznosti, stalnom skraćivanju procedura i povećanju pouzdanosti dobijenih rezultata (slika 3). Sve više *automatizacija* uzima udela u okviru analitike. U narednom periodu posebno se očekuje napredak u pogledu robotizacije uzimanja uzorka i pripreme uzorka maziva. Telekomunikaciono koordinirane laboratorija koje primenjuju različite postupke i tehnike analize treba da ubrza specijalističke zaključke o svim spornim podacima. Minijaturizacija ukazuje na to da u budućnosti treba očekivati primenu lakših i manjih aparata koji imaju svoje mobilne varijante. Logistička podrška počiva na zahtevu da se na licu mesta obezbedi baždarenje i održavanje. Smernice za ovu vrstu aktivnosti treba da budu iskustva iz Formule 1 gde su mobilne minilaboratorije već preuzele ulogu fleksibilnih servisnih sistema.

Razvoj novih vozila podrazumeva upotrebu i novih materijala. Shodno tome, u analitici treba blagovremeno da se izvrše pripreme za nove adekvatne metode. Istaknimo samo kompozite, čvrsta maziva i keramiku.



Slika 3 – Razvoj analitike i merne tehnike

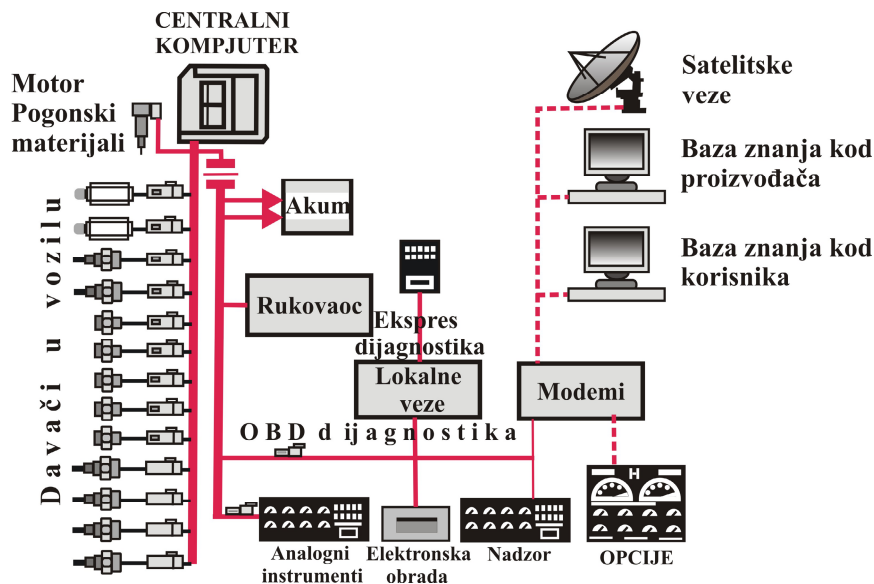
Na slici 3 prikazani su učinci ekoloških zahteva na trendove eliminacije sumpora iz goriva (leva ordinata) i hlora iz maziva (desna ordinata). Kako se njihove količine vremenom drastično smanjuju tako rastu teško-

će u mernoj tehnici (ilustracija toga na dijagramu jeste rast rezultata rasipanja). Za pouzdanost rezultata moraju biti ispunjena oba kriterijuma:

- a) ponovljivost na istim aparatima sa istim ispitivačem, i
- b) uporedljivost rezultata i ocena istog proizvoda u različitim laboratorijama.

Pošto su ovo objektivni uslovi za kvalifikaciju merne tehnike, u EU važi propis o kompatibilnosti laboratorija i stručnjaka na ovim poslovima.

Primenom savremenih komunikacionih veza i kompleksne merne tehnike omogućeno je jednovremeno i kontinualno praćenje radnih režima i stanja pogonskih materijala. Na taj način je obrazovana prva generacija fleksibilnih servisnih sistema (FSS) za vozila (slika 4).



Slika 4 – Prva generacija fleksibilnih servisnih sistema vozila

Američkim OBD i evropskim EOBD normama za vozila zahteva se obavezna ugradnja opreme za stalnu i brzu dijagnostiku (*OBD – On Board Diagnose*) vozila. Njen zadatak je kontinualno registrovanje svih režima rada i trenutna dojava pojava bilo kakve neispravnosti. Na temelju tih podataka funkcionišu fleksibilni servisni sistemi (*FSS – Flexible Service System*). Ta logika se koristi na svim složenim objektima: inženjerske i građevinske mašine, lokomotive, čamci, brodovi, industrijske i stacionarne primene motora.

Ako se pomenutim sistemima dodaju uređaji za kontrolu potrošnje ulja i njegovu dijagnostiku, tada se stiču svi uslovi za pouzdanu ocenu veka u *fleksibilnim servisnim sistemima*. Na osnovu takvih detaljnih baza podataka aktivira se baza znanja: u samom objektu, u servisu ili pri testu i odlučivanje o zameni ulja i svim drugim servisnim intervencijama.

## Procedura dijagnostike stanja maziva

Procedura dijagnostika stanja maziva temelji se na nizu faza, oslonjenih jednim delom na dosadašnja stečena iskustva pri analizi i monitoringu ulja i najnovijim trendovima u pogledu analize ulja, sa precizno definisanim aktivnostima tokom njegove implementacije.

Radi se o sledećim fazama [5, 6, 7, 8]:

**1) Izbor vrste vozila, kao i sklopova vozila iz kojih će biti vršeno uzorkovanje ulja.** Prilikom izbora neophodno je steći uvid u stanje funkcionalnosti sklopova, zahteve proizvođača vozila u pogledu ispunjenja specifikacija ulja, te kvalitet ulja sa aspekta njegove formulacije i predviđene specifikacije u skladu sa poznatim svetskim standardima.

**2) Sagledavanje režima rada sistema (sklopa vozila), sistema podmazivanja, uslova eksploatacije i njegove namene, te pregled osnovnih tehničkih karakteristika, koji su veoma bitni za proces analize ulja.**

Ekonomska vrednost sklopova vozila, te njegove ukupne vrednosti značajni su za procenu opravdanosti analize, s obzirom na stanje i troškove održavanja.

**3) Analiza triboloških procesa u sklopovima motornih vozila**

Za svaki tribomehanički sistem potrebno je definisati potencijalne mehanizme habanja i režim podmazivanja. Potrebno je, dalje, označiti najdominantnije metale u legurama kontaktnih površina i posledice koje mogu nastati u slučaju eventualnih nefunkcionalnosti u sistemu. Ilustracije radi, u tabeli 1 prikazan je pregled triboloških procesa u tribomehaničkom sistemu (TMS) motora SUS.

Tabela 1

Tribološki procesi u tribomehaničkom sistemu (TMS) motora SUS

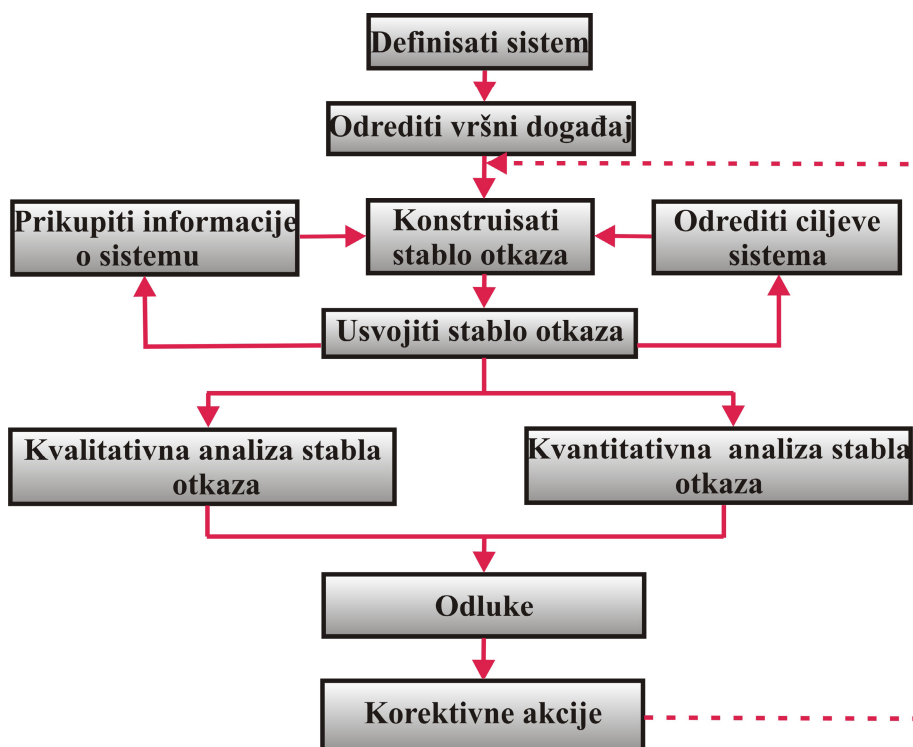
Naziv TMS	Metali u legurama kontrolisanih površina	Mehanizam habanja	Režim podmazivanja
Klip-klipni prstenovi-cilindar	Gvožđe, aluminijum, hrom, molidben, nikal	Adhezija, abrazija, korozija, zamor materijala, freting	Granično i hidrodinamičko podmazivanje
Ležaj-rukavac	Olovo, kalaj, gvožđe, hrom, aluminijum, antimon, bakar	Adhezija, abrazija, korozija, zamor materijala, kavitacija, erozija	Granično i hidrodinamičko podmazivanje
Breg-podizač	Gvožđe	Zamor materijala, adhezija	Granično i elasto-hidrodinamičko podmazivanje
Ventil-vođica, sedište	Gvožđe	Adhezija, abrazija, erozija, korozija pri visokim temperaturama, freting korozija	Granično i hidrodinamičko podmazivanje



#### 4) Analiza funkcionalnih otkaza sklopova vozila (kao tribomehaničkih sistema) sa aspekta identifikacije njegovih uzročnika.

Pri analizi je neophodno za svaku komponentu sklopa vozila kao tribomehaničkog sistema (TMS) formulisati stablo otkaza. Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza je analiza stabla otkaza (FTA–Fault Tree Analysis). To je deduktivna metoda koja se često primenjuje u dijagnostici s obzirom na to da omogućuje predviđanje najverovatnijih uzroka otkaza sistema. Neželjeni efekti (vršni događaji) određuju se induktivnim metodama. Cilj konstruisanja stabla otkaza je modeliranje uslova koji rezultuju pojavu vršnog, neželjenog otkaza. To znači da se ova procedura koristi za analizu potencijalnih defekata i njihovih uzročnika.

Stablo otkaza predstavlja algoritam kojim se analiziraju uzroci otkaza i pouzdanost sklopova, a zasniva se na logičnom sistemu ukazivanja na događaje i pojave koji vode ka otkazu, odnosno na analizu potencijalnih defekata i njihovih uzročnika. Analiza počinje kvalitativnim definisanjem neželjenog događaja, a zatim se dedukcijom, prolazeći kroz konfiguraciju sistema, pronalaze otkazi elemenata sistema i proceduralne greške koje mogu dovesti do neželjenog događaja.



Slika 5 – Metodologija analize stabla otkaza

Algoritam analize stabla otkaza obuhvata (slika 5):

- a) određivanje vršnog događaja,
- b) upoznavanje načina rada sistema koji se analizira,
- c) konstrukciju stabla otkaza,
- d) usvajanje stabla otkaza,
- e) ocenu stabla otkaza, i
- f) obezbeđenje preporuka i alternativa za donošenje odluka.

a) *Određivanje vršnog događaja.* Kada se analiza otkaza vrši sa ciljem određivanja kritičnosti delova sistema, za vršni događaj se bira otkaz sistema, pri čemu se on mora u potpunosti definisati, kako bi se događaji koji dovode do vršnog stanja mogli jasno prepoznati.

b) *Upoznavanje načina rada sistema koji se analizira.* Logička i kompletna analiza, kojom se povezuju svi potrebni i dovoljni uslovi za realizaciju vršnog događaja može se izvršiti samo ukoliko se upozna način rada sistema, elemenata sistema, kao i međusobnih odnosa i veza. Osnovne informacije se mogu dobiti iz: tehničkih crteža, šema, dijagrama, priručnika za rukovanje, održavanje i podmazivanje. Pored toga, kao podaci iz procesa, koriste se izveštaji o podmazivanju i karte otkaza tehnoloških sistema.





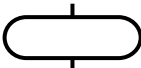



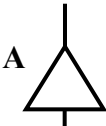
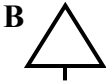
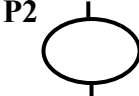
c) *Konstrukcija stabla otkaza* vrši se pomoću standardizovanih simbola događaja i prenosa, prikazanih u tabeli 2.

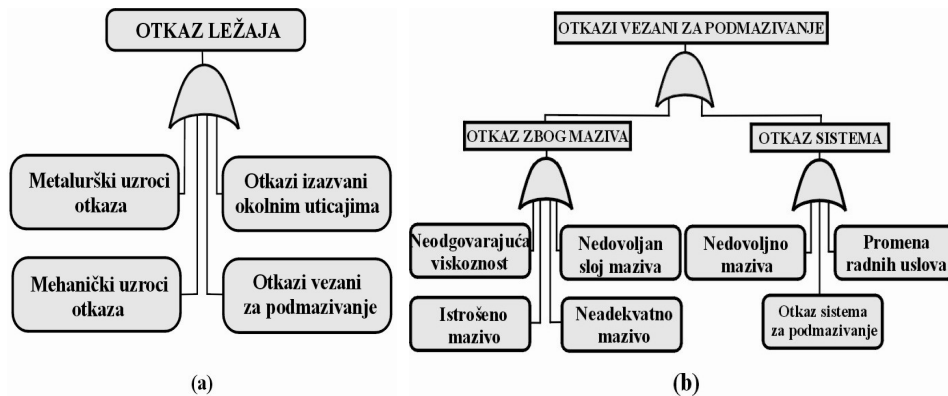
d) *Usvajanje stabla otkaza.* Nakon završetka konstrukcije stabla otkaza pristupa se proveru tačnosti i kompletnosti stabla, radi utvrđivanja propusta i/ili eventualnih grešaka s obzirom na to da mora biti zadovoljena: namena stabla, funkcionalna uslovljenost i logika realizacije vršnog događaja, što pretpostavlja da događaji na ulazu u logičke kapije moraju biti potrebni i dovoljni.

e) *Ocena stabla otkaza.* Posle usvajanja vrši se kvalitativna i kvantitativna analiza stabla otkaza. Kvalitativna ocena predstavlja određivanje minimalnog preseka skupa događaja, koji uslovljava pojavu vršnog događaja. Kvantitativnoj oceni stabala otkaza prethodi određivanje ili procena srednjeg vremena do pojave otkaza i srednjeg vremena trajanja otkaza, a nakon ove procene simuliraju se otkazi, odgovarajućim statističkim postupkom, radi određivanja verovatnoće pojave neželjenog događaja, obuhvatajući pri tome sve moguće puteve u stablu otkaza.

Tabela 2

## Standardni simboli FTA metode

NAZIV	SIMBOL	OPIS
Događaj na izlazu iz kapije ili opšti događaj		Događaj koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih događaja koji deluju kroz logičku kapiju
Bazični događaj		Događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. To je nezavistan događaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju.
Nerazvijeni događaj		Događaj koji nije razvijen do sopstvenog uzroka. Razvoj je prekinut zbog nepostojanja raspoloživih informacija ili sredstava, ili zbog niskog rizika.
Normalno očekivani događaj		Događaj čije se pojavljivanje prirodno očekuje tokom normalnog funkcionisanja sistema
Zadovoljavajući događaj		Događaj na izlazu iz logičke kapije koji u sistemu jednostavno postoji, a koristi se da pokaže upotpunjenost logičke analize
I kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz samo ukoliko se dese svi ulazni događaji. Sadrži identifikacionu reč „I“.
ILI kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz ukoliko se desi jedan ili više ulaznih događaja. Sadrži identifikacionu reč „ILI“.
Uslovna kapija		Uslovni događaj koji neke uslove ili ograničenja primenjuje na bazičnu logičku kapiju ili izlazni događaj. Uslov koji se nameće upisuje se u elipsu, npr. definisanje redosleda pojavljivanja ulaznih događaja
Osnovni prenos		Koristi se za prenošenje podstrukture iz neke druge grane ili druge stranice. Posедуje identifikaciono veliko slovo. Za prenose unutar iste grane koriste se mala slova.
Prenos sa druge stranice		Vertikalna strelica usmerena prema bazi simbola označava prenos iz grane koja se nalazi na naznačenoj stranici
Prenos pretpostavljenog rizika		Koristi se za prenos pretpostavljenog rizika sa bilo kog mesta na stablu na događaj pretpostavljenog rizika. Broj pretpostavljenog rizika upisuje se u simbol.



Slika 6 – Stablo otkaza kliznog ležaja motora SUS

Na slici 6a prikazano je stablo otkaza kliznog ležaja motora SUS, dok je na slici 6b prikazan uticaj podmazivanja na oštećenje kliznog ležaja.

Osim formulisanja stabla otkaza, za identifikaciju otkaza koji su od najvećeg uticaja na performanse sistema predviđa se analitička, sistemska i kvalitativna analiza sistema primenom FMEA (analiza uticaja i posledica grešaka) tehnike.

Primena FMEA procesa predstavlja neophodnost da se sklopovi sistema (vozila) razlože na njegove podsisteme i elemente, zatim formirane funkcionalne strukture sistema, te razvijanje načina otkaza i koncepta za procenu kritičnosti.

Analize otkaza najčešće se vrše sa ciljem utvrđivanja i izolovanja uzročnika otkaza, kao i za definisanje preventivnih i naknadnih intervencija.

Pojam analiza otkaza podrazumeva i analizu troškova podmazivanja, uticaj ljudskog faktora na otkaz sistema i slično. Pod pojmom analiza otkaza podrazumeva se postupak koji ima za cilj utvrđivanje sledećih karakteristika:

- otkaza nastalih usled degradacije maziva,
- otkaza usled nepravilnog podmazivanja,
- otkaza zbog neodgovarajućeg kvaliteta maziva,
- mehanizam nastajanja otkaza,
- otkaza zbog greške u konstrukciji,
- uzroka, oblika i posledice otkaza.

Postupak podmazivanja je dinamički proces kontrole i analize stanja maziva i sistema za podmazivanje, sa merama koje treba preduzeti pre nego što se javi katastrofalno oštećenje ili otkaz. To znači da savremena strategija podmazivanja uključuje upravljanje procesom kao dinamičkim sistemom, što je posebno značajno za tribomehaničke sisteme.

**5) Informacije o stanju sklopa vozila i ulja tokom analize i monitoringa bitne za kontinuiran uvid u stanje funkcionalnosti kroz uobičajene dijagnostičke parametre:**

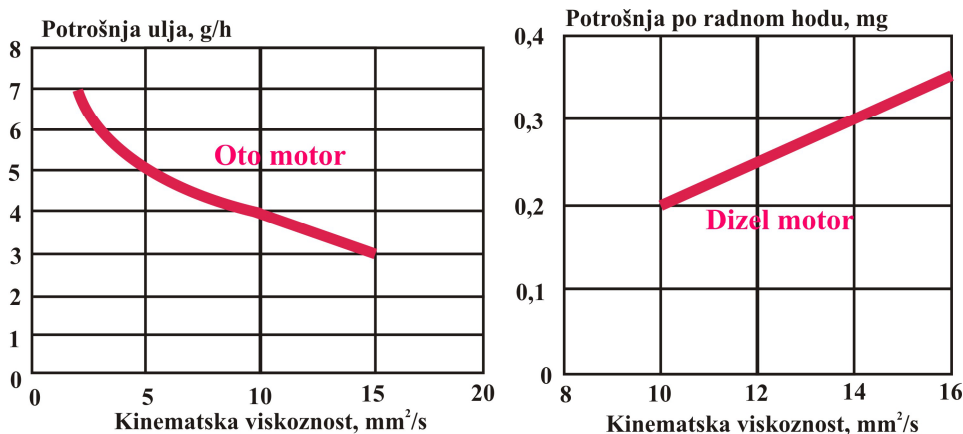
- pritisak i temperatura ulja,

- temperatura rashladne tečnosti, i
- nivo ulja u sistemu.

Stanje sklopova vozila u toku eksploatacije sa aspekta tehničke ispravnosti, signalizovane od strane rukovaoca – vozača vozila, servisne službe, itd., takođe predstavljaju značajne informacije za uspešnost procedure dijagnostike ulja.

*Potrošnju ulja* je, takođe, potrebno precizno registrovati kao važan dijagnostički parametar.

Kod dobrih tehnologija izrade cilindarskih košuljica usvaja se da je uljni film  $1,5 \mu\text{m}$  i da pri svakom radnom hodu klipa sagori 3 promila ili od 0,3 do 0,4 mg maziva. Na taj način se dolazi do izraza za teorijsku minimalnu potrošnju u miligramima po radnom hodu u motorima. Međutim, stvarne vrednosti su nešto veće.



Slika 7 – Potrošnja ulja u motoru: a) oto motor; b) dizel motor

Na slici 7a je prikazana izmerena potrošnja ulja na oto motoru sa uljima različite viskoznosti. Visoka potrošnja lako tečljivih ulja se tumači negativnim učinkom visokih depresija na povećanu potrošnju pored usisnih ventila i kroz ventilaciju kartera.

Kod dizel motora (slika 7b) depresije imaju mali uticaj, pa postoji linearna saglasnost između viskoznosti i potrošnje ulja. Motorna ulja dobre viskoznosti (i dobre tečljivosti) prati manja potrošnja.

Najznačajnije konstruktivne veličine vezane za potrošnju ulja su:

- geometrija klipa i cilindra (materijal, struktura i njihova postojanost) i
- klipni prstenovi i, pre svih, uljni (geometrija, radijalni napon, postojanost).

Posebno treba istaći i radne uslove: *broj obrtaja* (sa porastom raste potrošnja); *opterećenje* (sa porastom raste potrošnja, a isto tako kočenje motorom podiže potrošnju); *pritisak natpunjenja* (prvo opada, a onda ra-

ste); *temperatura ulja i zidova* (potrošnja opada sa zagrevanjem pri izlasku na nominalni režim).

Prosečna potrošnja motornog ulja dobija se na osnovu sledećeg izraza [2]:

$$P_u = \sum P_{ui} / L_u, \text{ ml/1000km ili ml/100 m}\check{c}$$

gde je:

$P_u$  – prosečna potrošnja ulja,

$P_{ui}$  – potrošnja ulja nakon određenog broja pređenih kilometara, odnosno izrađenih motočasova,

$L_u$  – ukupan broj pređenih kilometara ili izrađenih motočasova sa istim uljem.

## Rezultati ispitivanja i promene karakteristika motornog ulja tokom eksploatacije

U okviru ovog dela rada prikazani su rezultati dela eksperimentalnih ispitivanja motornih ulja u Laboratoriji za pogonska sredstva VTI Beograd. Ispitivane su fizičko-hemijske karakteristike ulja u skladu sa standardnim metodama koje su prikazane u tabeli 3. Analiza je vršena na svežim (novim) uljima i uljima koja su korišćena u sklopovima motora motornih vozila. Ispitivanja korišćenih uzoraka vršena su u skladu sa zajednički definisanim kriterijumima kvaliteta za korišćena ulja.

Tabela 3

Primenjeni testovi i metode za ispitivanje fizičko-hemijskih karakteristika ulja

Karakteristika	Metoda ispitivanja
Gustina, g/cm <sup>3</sup>	JUS B. H8.015
Kinematska viskoznost, mm <sup>2</sup> /s	JUS B. H8.022
Indeks viskoznosti	JUS B. H8.024
Tačka paljenja (°C)	ISO 2592, ASTM D 92
Tačka tečenja (°C)	ISO 3016
Penušanje, ml/ml: 24°C; 94°C; 24°C	ASTM D892
Sadržaj vode, mas. %	ASTM D 95
TAN, mgKOH/g	ASTM D 664
TBN, mgKOH/g	ASTM D 2896
Nerastvorne materije u n-pentanu, %	ASTM D 893
Nerastvorne materije u benzenu, %	ASTM D 4055
Sadržaj Fe, %	ASS
Sadržaj Cu, %	ASS

Granice dozvoljenih odstupanja vrednosti pojedinih karakteristika ulja uslovljene su vrstom ulja, radnim uslovima i internim preporukama proizvođača maziva i korisnika. Limitirane vrednosti karakteristika ulja koje uslovljavaju izmenu uljnog punjenja iz motora date su u tabeli 4. One predstavljaju kriterijume za izmenu uljnog punjenja. Odstupanje samo jedne karakteristike uslovljava izmenu uljnog punjenja, bez obzira na to o kojoj karakteristici se radi.

Tabela 4

Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja

Fizičko-hemijske karakteristike ulja i produkti habanja	Maks. dozv. odstupanja od početnih vrednosti
Viskoznost na 40°C i 100°C, [mm <sup>2</sup> /s]	20%
Indeks viskoznosti IV, [%]	± 5 %
TAN, [mgKOH/gr]	–
TBN, [mg KOH/gr]	pad do 50%
Tačka paljenja, K	20 %
Nerastvorni talog u toluenu, [%]	–
Sadržaj vode, [%]	0,2 %
Nerastvorne materije u n-pentanu, [%]	3,5
Nerastvorne materije u benzenu, [%]	2,5
Produkti habanja – sadržaj Fe, [ppm(μg/g)]	100 ppm
Produkti habanja – sadržaj Cu, [ppm(μg/g)]	50 ppm

Tabela 5

Poreklo pojedinih elemenata u motornom ulju

Elementi	Poreklo
Fe	Cilindri, klipovi, ležajevi, zupčanici, podizači ventila, bregasta osovina, kolenasto vratilo, osovine
Al	Klipovi, Al-Sn ležajevi, turbokompresor
Ag	Posrebreni delovi, ležajevi, osovinice
Cr	Hromirani delovi, klipovi, cilindri, podizači ventila, izduvni ventili, klipnjača
Cu	Cu-Pb ležajevi, čaure, hladnjak ulja, bregasta osovina, razvodni mehanizam (ventili sa sistemom za otvaranje i zatvaranje), brizgaljka, regulator
Pb	Cu-Pb ležajevi, benzin, aditivi
Sn	Delovi od bronzne, ležajevi, klipovi
B	Antifriz
Na	Antifriz
Ca	Iz atmosfere
Si	Prašina iz atmosfere
Zn, Mg, Mo	Iz aditiva

Poreklo pojedinih elemenata u korišćenom motornom ulju (tabela 5) može da bude iz aditiva (Zn, Ca, Ba i Mg), od produkata habanja (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag i Sn) i kontaminata koji potiču iz goriva, vazduha i tečnosti za hlađenje (Na, B, Si i Ca).

Tabela 6

Tehnički podaci motora marke Mercedes-Benz, tipa OM 447HLA

<b>Motor marke Mercedes-Benz, tipa OM 447HLA</b>	
Način rada	Cetvorotakti, turbo dizel (EURO 2)
Broj i raspored cilindara	6, u liniji
Prečnik cilindra, mm	128
Radna zapremina motora, litri	11,97
Stepen kompresije	18 : 1
Nazivna snaga pri 2200 min <sup>-1</sup> , kW	220
Maksimalni obrtni moment, pri 1100 min <sup>-1</sup> , Nm	1100
Minimalni broj obrtaja praznog hoda, min <sup>-1</sup>	600
Nominalni broj obrtaja, min <sup>-1</sup>	2500
Maksimalna dozvoljena temperatura sredst. hlađenja, °C	105
Pritisak motornog ulja (nominalni broj obrtaja), bar	2,5
Pritisak ulja na praznom hodu motora, bar	0,5
Količina ulja sa prečistačem, litri	25

Ispitivanje je izvršeno na tri vozila (autobusa MERCEDES O 345) na kojima je ugrađen motor marke „Mercedes-Benz“ i tipa OM 447HLA. To je četvorotakti motor, sa šest cilindara raspoređenih u liniji, turbo dizel, tečnošću hlađen i sa kombinovanim podmazivanjem, koji ispunjava EURO 2 norme vezane za emisiju izduvnih gasova. Tehnički podaci motora dati su u tabeli 6.

Karakteristike nultih uzoraka motornih ulja VALVOLINE, SAE klasifikacije SAE 10W-40 i API klasifikacije CF i ACEA E4 prikazane su u tabeli 7, a u tabeli 8 rezultati korišćenih uzoraka ulja.

Tabela 7

Rezultati ispitivanja nultih uzoraka ulja iz motora

<i>Motorno ulje VALVOLINE, SAE klasifikacije: SAE 10W-40; API klasifikacije: CF ACEA E4</i>						
Viskoznost na 100°C (cSt)	Viskoznost na 40°C (cSt)	Indeks viskoznosti	Tačka tečenja (°C)	Tačka paljenja (°C)	TBN	Penjenje
14,37	94,96	136	-36	210	10,7	prolaz

Ispitivanje je realizovano periodičnim uzimanjem uzoraka ulja iz motora navedenih vozila. Osim svežeg ulja („nulti“ uzorak), uzeti su uzorci nakon pređenih 10.000 km, 20.000 km i 30.000 km. Nakon pređenih 30.000 km izvršena je zamena uljnog punjenja u motorima sva tri vozila.

Za vreme uzimanja uzoraka ulja vodilo se računa o izboru mesta uzorkovanja, što je omogućilo da svaki uzeti uzorak bude reprezentativan. Svaki uzorak je izvučen iz žive zone, tj. zone što bliže elementima u kontaktu. Na taj način izbegnuto je uzorkovanje ulja sa dna kućišta motora (ispusta za pražnjenje), pošto je na dnu najveća koncentracija kontaminata. To je ostvareno jednostavnom modifikacijom ispusta za ulje, njegovim produženjem prema aktivnoj zoni ulja unutar kućišta pomoću cevčice odgovarajuće dužine. Primenjen je sklop koji čine ventil sa kuglicom i cevčica.

Takođe, posebna pažnja posvećena je očuvanju uzoraka od kontaminacije, kako u fazi izdvajanja uzorka, tako i fazi manipulacije, što je u potpunosti ispoštovano primenom propisane procedure. U skladu s time obezbe-



đen je veoma visok nivo čistoće svih elemenata u lancu sistema za uzimanje uzorka, kao i izdvajanje uzoraka na način koji nije narušio celovitost podataka koje on nosi o stanju sklopova vozila iz kojih je vršeno uzorkovanje.

Tabela 8

Rezultati ispitivanja korišćenih uzoraka ulja iz motora razmatranih m/v

Karakterist.	Br. uzorka	Motor O 345 – m/v 1	Motor O 345 – m/v 2	Motor O 345 – m/v 3
Boja	0	3,0	3,0	3,0
	1	crna	crna	crna
	2	crna	crna	crna
	3	crna	crna	crna
Viskoznost 40°C, mm <sup>2</sup> /s	0	94,96	94,96	94,96
	1	85,87	83,61	84,81
	2	84,16	83,59	82,35
	3	84	83,04	81,76
Viskoznost 100°C, mm <sup>2</sup> /s	0	14,37	14,37	14,37
	1	12,67	13,15	12,78
	2	12,64	12,99	12,64
	3	12,61	12,55	12,38
Tačka paljenja, °C	0	210	210	210
	1	206	204	205
	2	202	201	202
	3	200	199	201
TBN, mg KOH/g	0	10,7	10,7	10,7
	1	10,1	10,3	10
	2	9,42	9,65	9,87
	3	8,6	8,7	7,1
Nerastvoreno u pentanu, %	1	0,09	0,08	0,05
	2	0,22	0,18	0,15
	3	0,31	0,27	0,25
Nerastvoreno u benzenu, %	1	0,13	0,11	0,10
	2	0,19	0,16	0,15
	3	0,37	0,32	0,30
Sadržaj Fe, (ppm)	1	13,5	11,8	9,6
	2	13,7	13,6	12,5
	3	37,4	19,8	14,8
Sadržaj Cu (ppm)	1	1,3	1,3	1,3
	2	1,5	2,3	3,3
	3	1,9	2,5	3,9

U motorima je korišćeno motorno ulje VALVOLINE, kvaliteta API CF i ACEA E4, gradacije SAE 10W-40. Za vreme ispitivanja autobusi su eksploatisani u uslovima gradske vožnje. Zadatak je bio provera intervala zamene motornog ulja na 30.000 km. Analizom je ustanovljeno da su promene karakteristika motornog ulja očekivane i da se kreću u okviru dozvoljenih granica.

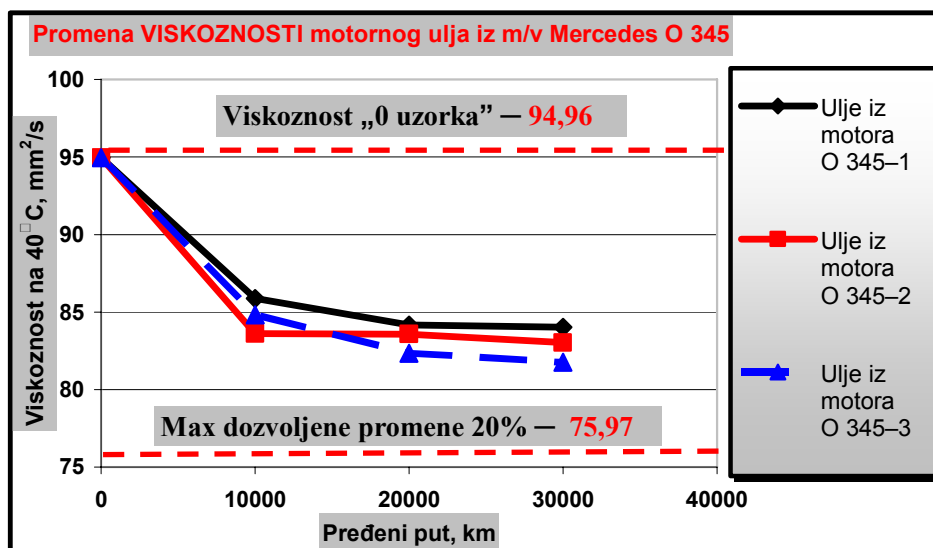
Kao što je rečeno, viskoznost je rezultat delovanja međumolekularnih sila u fluidu, a što su te sile jače to je i viskoznost veća.

U toku eksploatacije očekuje se porast viskoznosti maziva. Smanjenje viskoznosti smatra se opasnijim od njenog povećanja.

Razlozi za *povećanje viskoznosti* maziva su sledeći: oksidacija maziva, kavitacija usled penušanja maziva, rastvaranje maziva s vodom, dolivanje i punjenje sistema mazivom veće viskoznosti od preporučene i zaprljanje (kontaminaciju) maziva čvrstim česticama i produktima habanja.

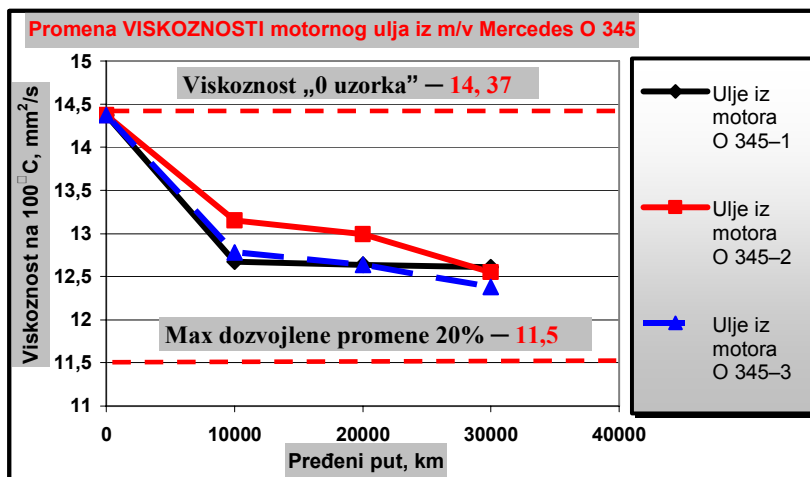
S druge strane, razlozi za  *smanjenje viskoznosti* maziva su: zaprljanje maziva gorivom (kod motornih ulja), smicanje poboljšivača viskoznosti, pad tačke paljenja, usitnjavanje molekula, zaprljanje maziva bez njegovog rastvaranja s vodom, dolivanje i punjenje sistema mazivom manje viskoznosti od preporučene i uticaj sredstva za hlađenje. Takođe, uzroci mogu biti visoka temperatura, opterećenje, nekontrolisano dug interval upotrebe, nedovoljna količina ulja u uljnom sistemu, neefikasno hlađenje sistema i sl.

Na slici 8. prikazana je promena viskoznosti na 40°C uzorkovanih motornih ulja u toku eksploatacije. Vidljiv je pad viskoznosti tokom pređenih prvih 10.000 km za ulja iz sva tri motora, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene uljnog punjenja. Pad viskoznosti za celokupan period eksploatacije ulja je 11,54% za prvo vozilo, 12,55% za drugo i 13,9% za treće vozilo. To je mnogo ispod dozvoljene granice od 20% (tabela 4).



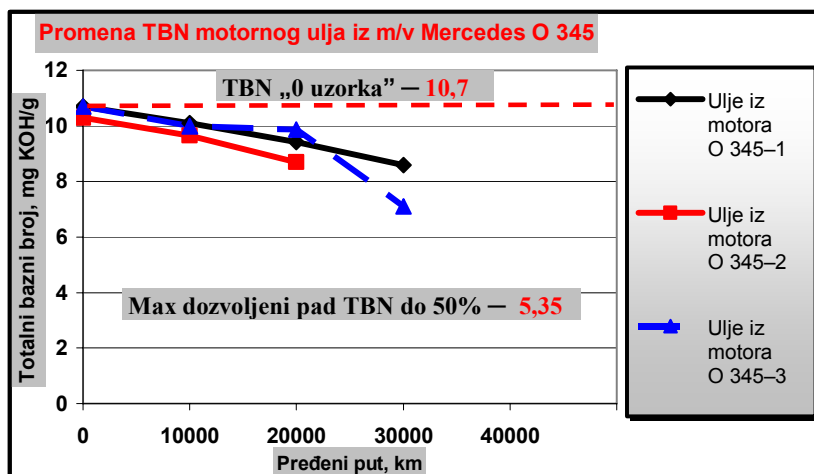
Slika 8 – Promena viskoznosti na 40°C motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

Na slici 9 prikazana je promena viskoznosti na 100°C uzorkovanih motornih ulja. Pad viskoznosti za celokupan period eksploatacije ulja je 12,24% za prvo vozilo, 12,66% za drugo i 13,84% za treće vozilo, što je takođe ispod dozvoljene granice od 20% (tabela 4).



Slika 9 – Promena viskoznosti na 100°C motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

Na slici 10 prikazana je promena totalnog baznog broja (*Total Base Number* – TBN). Vrednost TBN-a je najveća kod novog nekorisćenog ulja, a smanjuje se sa vremenom provedenim u radu. Niska vrednost TBN ukazuje na skori kraj radnog veka ulja. TBN se najčešće koristi kod motornih maziva, a nagli pad ukazuje na loš kvalitet goriva (visok sadržaj sumpora). Značaj TBN ogleda se u mogućnosti ocenjivanja stepena istrošenosti aditiva, koji se obavlja na osnovu razlike alkalnosti korišćenog i svežeg ulja. Do pređenih 30.000 km vrednost TBN-a nije prekoračila dozvoljene granice. Pad TBN za celokupan period eksploatacije ulja je 19,61% za prvo vozilo, 18,69% za drugo i 33,64% za treće vozilo, što je ispod dozvoljene granice od 50% (tabela 4).

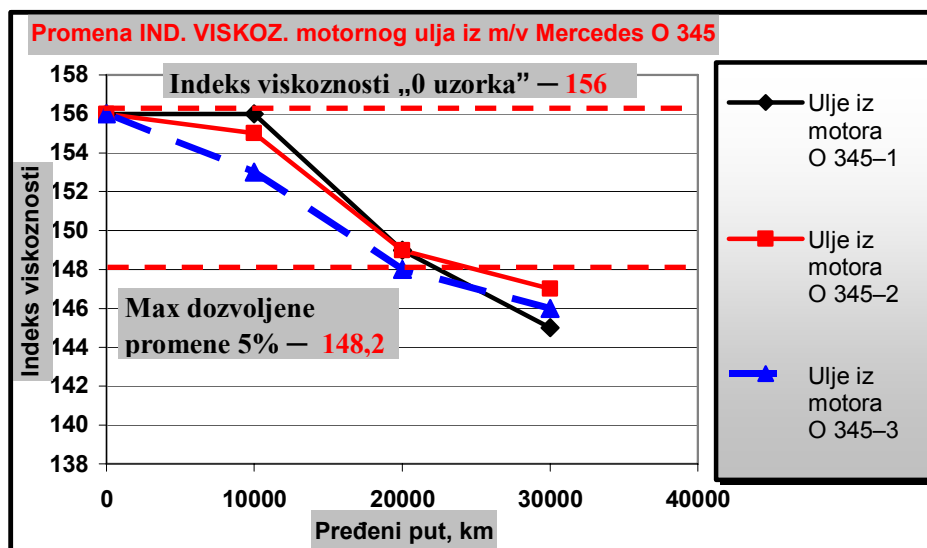


Slika 10 – Promena TBN motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

*Indeks viskoznosti*, kao što je rečeno, predstavlja tendenciju promene viskoznosti sa promenom temperature i iskazuje se empirijskim, bez-dimenzionalnim brojem.

Za vreme eksploatacije poželjno je da promena viskoznosti sa promenom temperature bude što manja. Ukoliko su za vreme rada temperaturski režimi promenljivi i izazivaju velike promene viskoznosti, mogu izazvati poremećaje u funkcionisanju sistema, čija manifestacija je povećano trenje, habanje i oštećenje.

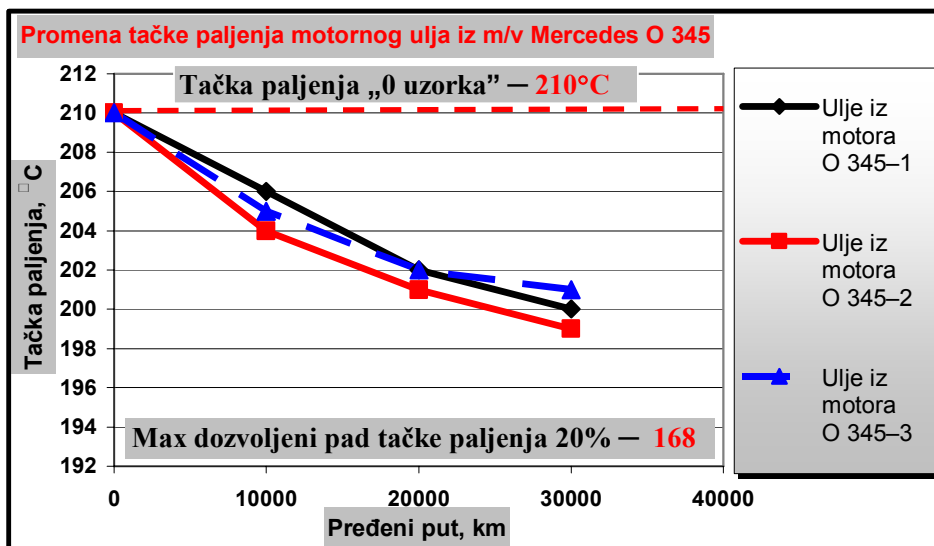
Promena indeksa viskoznosti motornih ulja iz autobusa Mercedes O 345 prikazana je na slici 11. Evidentan je pad indeksa viskoznosti ulja: za prvo vozilo 7,5%, za drugo vozilo 5,76% i za treće vozilo 6,41%, što prelazi dozvoljenu granicu od 5% (tabela 4).



Slika 11 – Promena indeksa viskoznosti motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

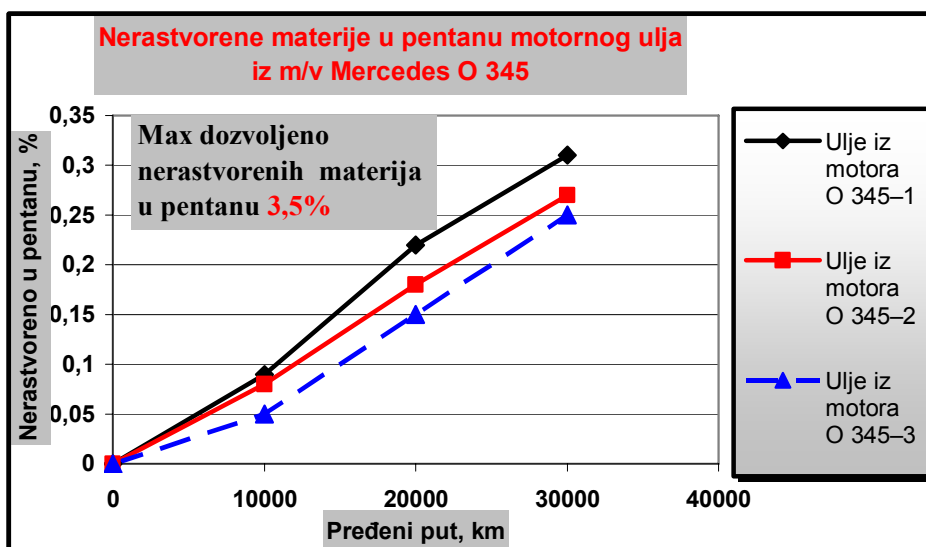
*Tačka paljenja* je podatak koji pokazuje kod koje temperature dolazi do paljenja otvorenim plamenom pare koja se stvara zagrevanjem ulja. Kod motornih ulja analizom tačke paljenja utvrđuje se prisustvo goriva u ulju, koje je posledica lošeg rada motora (loš rad brizgaljki). Snižavanje tačke paljenja ukazuje na prodor goriva.

Na slici 12 prikazana je promena tačke paljenja motornih ulja iz autobusa Mercedes O 345. Uočljiv je pad tačke paljenja, koji do kraja eksploatacionog ispitivanja nije prekoračio dozvoljene granice (20%, tabela 4) ni kod jednog od tri vozila. Pad tačke paljenja iznosi: za prvo vozilo 4,76%, za drugo vozilo 5,23% i za treće vozilo 4,28%.

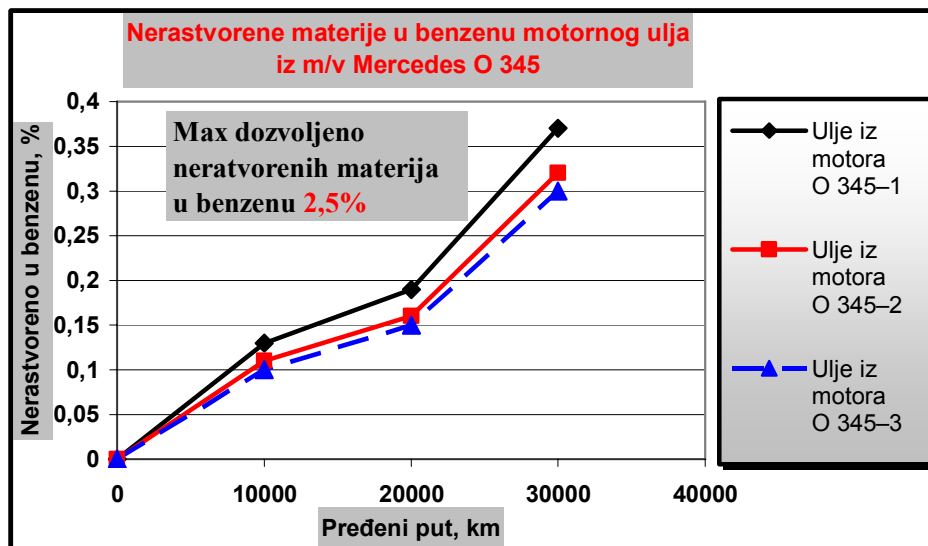


Slika 12 – Promena tačke paljenja motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

To ukazuje da nije došlo do značajnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje motora navedenih vozila.



Slika 13 – Promena vrednosti nerastvorenih materija u pentanu motornog ulja iz m/v Mercedes O 345



Slika 14 – Promena vrednosti nerastvorenih materija u benzenu motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

Nerastvorni ostaci nastali nakon tretmana sa pentanom su oksidacioni produkti i mehaničke nečistoće, dok su nerastvorni ostaci nastali nakon tretiranja benzenom nerastvorne materije, kao što su koks, kamenac, prašina, čađ, čestice habanja kontaktnih površina tribomehaničkih sistema motora SUS i druge mehaničke nečistoće.

Grafički prikaz promene vrednosti nerastvornih materija u pentanu i benzenu dat je na slikama 13 i 14. Sadržaj nerastvorenih materija u ulju je zanemarljiv u odnosu na dozvoljene vrednosti odstupanja (maksimalno nerastvorno u pentanu 0,31%, a dozvoljeno je do 3,5%; maksimalno nerastvorno u benzenu 0,37%, a dozvoljeno je do 2,5%).

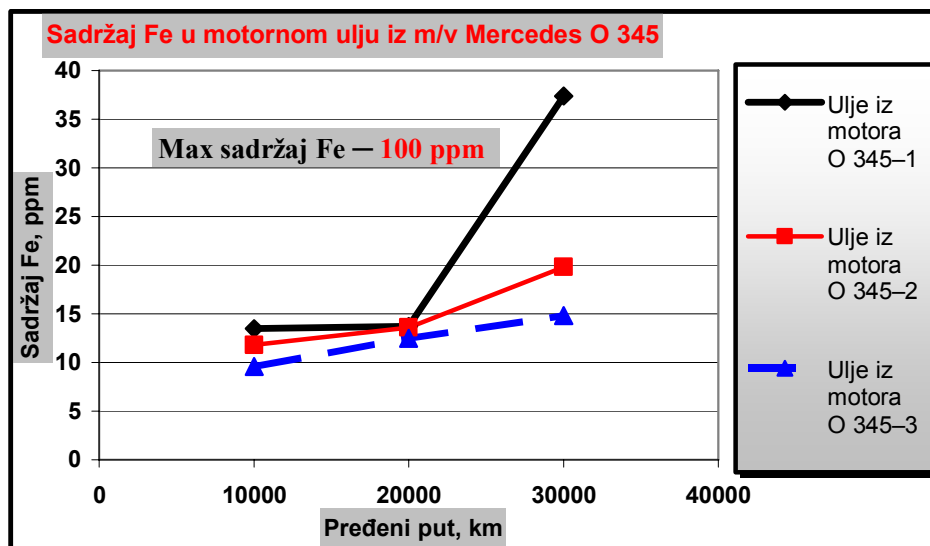
Da bi se ocenio stepen habanja elemenata tribomehaničkih sistema motora SUS, kao i menjačkih prenosnika iz kojih je vršeno uzorkovanje ulja primenjena je atomska apsorpciona spektrofotometrija (AAS). Ovom metodom određena je vrsta i koncentracija metala (Fe i Cu) u uljnom punjenju.

Atomska apsorpciona spektrofotometrija predstavlja vrlo osetljivu, jednostavnu, brzu i reproduktivnu metodu, koja se primenjuje za detekciju većine elemenata, sem onih čije se spektralne linije nalaze u kratkotalasnoj UV oblasti. Bazira se na merenju apsorpcije svetlosti od strane atoma koji se nalaze u osnovnom stanju. Kada se kroz dobijeni atomski gas u atomizeru propusti svetlost one talasne dužine koja odgovara rezonantnoj liniji ispitivanog elementa, intenzitet propuštene svetlosti se sma-

njuje. Smanjenje intenziteta propuštene svetlosti srazmerno raste sa porastom broja atoma koji su u osnovnom stanju.

Apsorpcija zračenja određuje se merenjem promene intenziteta pre i posle propuštanja svetlosti kroz atomski gas i ona je srazmerna koncentraciji elementa koji se određuje. Ako su koncentracije elemenata male, apsorpcija svetlosti je linearno zavisna od koncentracije.

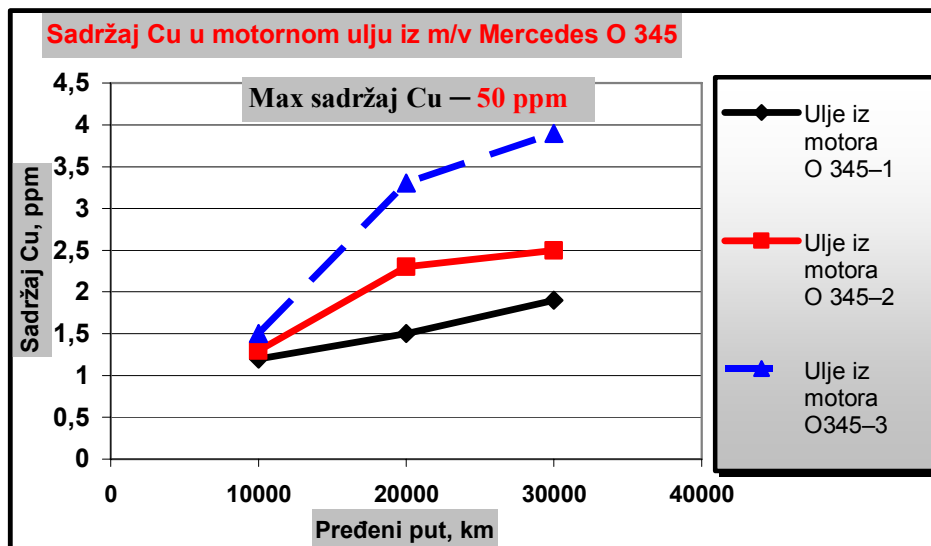
Metali gvožđe (Fe) i bakar (Cu) odabrani su za identifikaciju s obzirom na to da su, kao karakteristični, sadržani u elementima razmatranih motora SUS. Na osnovu promene njihove koncentracije u uljnom punjenju može se utvrditi od kog elementa potiču i koliki je stepen habanja.



Slika 15 – Promena produkta habanja – Fe motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

Sadržaj gvožđa (slika 15), kao produkta habanja, u uljnom punjenju do kraja eksploatacionog ispitivanja je imao rastući trend i na poslednjem uzorkovanju, nakon pređenih 30.000 km, iznosio je 37,4 ppm (37,4%) od maksimalno dozvoljene vrednosti za prvo vozilo; 19,8 ppm (19,8%) za drugo vozilo i 14,8 ppm (14,8%) za treće vozilo. Eksploatacioni kriterijumi za zamenu motornog uljnog punjenja do kraja eksploatacionog ispitivanja za gvožđe u znatnoj meri su ispod dozvoljene granice za sva tri vozila. Sadržaj gvožđa ukazuje da se habanje u tribomehaničkim sklopovima motora sva tri vozila nalazi u okviru dozvoljenih granica.

Ustanovljeni sadržaj gvožđa (slika 15) ukazuje da se habanje u tribomehaničkim sklopovima motora iz kojih je vršeno uzorkovanje ulja nalazi u okviru dozvoljenih granica.



Slika 16 – Promena produkta habanja – Cu motornog ulja iz m/v Mercedes O 345

Sadržaj bakra (slika 16), kao produkta habanja, u uljnom punjenju do kraja eksploatacionog ispitivanja imao je rastući trend i na posljednjem uzorkovanju, nakon pređenih 30.000 km, iznosio je 1,9 ppm (3,8%) od maksimalno dozvoljene vrednosti za prvo vozilo; 2,5 ppm (5%) za drugo vozilo i 3,9 ppm (7,8%) za treće vozilo. Može se zaključiti da je sadržaj bakra daleko ispod dozvoljene granice od 50 ppm.

## Zaključak

Tokom eksploatacije analizirano motorno ulje VALVOLINE, kvaliteta API CF i ACEA E4, gradacije SAE 10W-40, ostvaruje svoju osnovnu funkciju i zadovoljava predviđeni interval zamene od 30.000 km u motorima EURO 2 kategorije, što je ustanovljeno analizom karakterističnih fizičko-hemijskih osobina ulja i produkata habanja (Fe i Cu) tokom eksploatacije.

Pad viskoznosti evidentan je tokom pređenih prvih 10.000 km, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene uljnog punjenja. Maksimalni pad viskoznosti tokom eksploatacije ulja iz sva tri motora znatno je ispod dozvoljene granice od 20%. Nakon pređenih 30.000 km vrednost TBN-a nije prekoračila dozvoljene granice za uzorke ulja iz sva tri motora.

Sadržaj nerastvorenih materija u ulju je zanemarljiv u odnosu na dozvoljene vrednosti, jer nema značajnije prisutnosti oksidacionih produkata i mehaničkih nečistoća, nerastvornih materija, kao što su koks, kame-



nac, prašina, čađ, čestice habanja kontaktnih površina tribomehaničkih sistema motora SUS i drugih mehaničkih nečistoća.

Mali pad vrednosti tačke paljenja pokazuje da nije došlo do znatnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje, dok je sadržaj gvožđa i bakra u znatnoj meri ispod dozvoljene granice za sva tri vozila. U uzorcima nije bilo vode.

Posle pređenih 30.000 km ulje je zamenjeno, isključivo po preporuci proizvođača o izmeni uljnog punjenja.

Težište eksperimentalnog istraživanja prikazanog u ovom radu jeste na mazivu, kao nosiocu informacija o stanju sistema u celini. Ispitivanja sprovedena na motorima vozila, koji su identifikovani kao tribomehanički sistemi, pokazala su da se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti elemenata i kompletnog sistema iskazuje kroz promene osobina maziva. To potvrđuje da se promena fizičko-hemijskih karakteristika uljnog punjenja može usvojiti za ocenu stanja sistema.

Produženje intervala upotrebe motornog ulja bez kontrole stanja vrlo je rizično i može imati sledeće posledice: slepljivanje klipnih prstenova, izgorele i lakom prekrivene klipove, brzo trošenje ležajeva, izgorele ventile i konačno zaribavanje motora.

Realizacija u toku eksploatacije monitoringa ulja za podmazivanje izuzetno je značajna u procesu održavanja tehničkih sistema, a time i motora SUS.

Metalne čestice, fizičko-hemijski procesi i kontaminati, detektovani posredstvom analiza laboratorijskim i „in-situ“ metodama, predstavljaju pogodnu bazu za identifikaciju mogućih nefunkcionalnosti u tribomehaničkim sistemima, kao i određivanja veka ulja i njegove funkcionalnosti u uljnim sistemima.

Utvrđivanje osnovnih uzročnika otkaza i njihova eliminacija, potpunom kontrolom određenih pojava, definiše proaktivno održavanje, kao novu metodu koja smanjuje troškove održavanja i produžava vek trajanja sredstva.

### *Literatura*

[1] Taylor, R. I. and Coy, R. C., „Improved fuel efficiency by lubricant design“, 2001.

[2] Veinović, S., Pešić, R., Petković, S. M., „Pogonski materijali motornih vozila“, Kragujevac 2001.

[3] Troyer, D., Fitch, J., „Oil Analysis Basics“, Noria Corporation, 1999.

[4] Babić, M., „Monitoring ulja za podmazivanje“, Kragujevac, 2004. god.

[5] Perić, S. „Uticaj načina eksploatacije menjačkog prenosnika guseničnog vozila na fizičko-hemijske karakteristike sredstva za podmazivanje“, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2006.

[6] Perić, S., Vuruna, M., Pešić, Z., Nedić, B., „Contribution to diagnostics of technical condition tribology assemblies transmitters of vehicles“, 6<sup>th</sup> International conference on tribology BALKANTRIB '08, 12–14 June 2008, Sozopol, Bulgaria.

[7] Perić, S., Pešić, Z., Rakić S., Grkić, A., „Changes physically-chemical characteristics of transmission oil as parameter identification state and diagnostics of vehicle transmission gear“, 11<sup>th</sup> International Automotive Conference SCIENCE AND MOTOR VEHICLES, 23–25 April, Belgrade 2007.

[8] Perić, S., Savremene metode analize ulja u tehničkim sistemima, Vojnotehnički glasnik br. 1/2010, str. 83–112, Beograd, ISSN: 0042–8469.

## CONDITION MONITORING THROUGH OIL ANALYSIS TESTS

### Summary:

*The paper presents the tests in the oil analysis, used for the assessment of oil condition, as well as the requirements to be fulfilled by the tests, regarding the state of technical equipment, impurities and lubricants. Special attention should be paid to the occurrence of metal particles in oil and the tendency in the change of their number. The signs that point to changes in viscosity, oxidation increase and additive wear are also considered. The state of impurities in oil was discussed, with a particular focus on the number of particles, water content and metal impurities.*

*It is inevitable to use an oil analysis programme in the case of motor oils, which provides several advantages: reduction of unscheduled vehicle downtime, improvement of vehicle reliability, help in organizing effectiveness of maintenance schedules, extension of engine life, optimization of oil change intervals and reduction of cost of vehicle maintenance.*

*The paper also gives the results of the experimental research of physical-chemical characteristics of the motor oils sampled from the engines of Mercedes OM 345 vehicles in operational use. It was shown that there is a change in physical-chemical properties of lubrication oils. These changes are in a direct correlation with the state of all the elements of the tribomechanical motor system, i. e. with their functional characteristics. The conclusion based on the realized testing comes at the end of the paper.*

### Introduction

*As a contact element of the tribomechanical system, lubricant is a carrier of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological as well as other ageing processes. Therefore, an analysis of oils, based on a properly defined program, represents a very effective method for monitoring the state of technical systems, which ensures early warning signals of potential problems that could lead to failure and break down of technical systems.*

*Using Oil Analysis programs for engine oils has several benefits: reduction of unscheduled vehicle downtime, improvement of vehicle reliability, help in organizing effectiveness of maintenance schedules, extension of engine life, optimization of oil change intervals and reduction of vehicle maintenance costs.*

## Physico-chemical characteristics of lubricating oils

*Basic physico-chemical characteristics which determine the quality of oil are:*

**a) physical characteristics:** *viscosity, density, flash point, cloud Point, pour point, volatility, emulsibility, deemulsibility, foaming, air release, viscosity index, etc.*

**b) chemical characteristics:** *neutralization number (TAN- total acid number), total base number (TBN), oxidation stability, chemical and thermal stability, corrosibility, ash content and carbon residue, water content, compatibility, toxicity, etc.*

## Diagnostics of the tribomechanical system of an internal combustion engine

*The diagnostics is based on the prediction (recognition) of damage and/or failure through characteristic diagnostic parameters. This allows prevention of delays and increases reliability, cost-effectiveness, and usage life. The diagnostics of the tribomechanical system can provide verification of the system condition, working capacity and functionality, and can point out the place, form and cause of a failure. The diagnostics is carried out through the detection of symptoms, determining the value of the characteristic parameters and their comparison with the limit values.*

*If the engine assemblies are considered from the aspect of tribomechanical systems (e. g. piston-piston ring-cylinder, cam-valve lifter, bearing-journal bearing) defined by tribological processes, it can be shown that the determination of the content of wear products, content of contaminants, state of lubricants and lubrication conditions have a significant influence on the implementation of maintenance of these systems.*

*We should emphasize the importance of monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies, which provides identification of potential causes and phenomena leading to damage and failure in the early stages of the functioning of the system. Prediction, i. e. detection of potential and/or current damage and failures in the system, checking the functionality of oil and determination of usage life are the main factors of the implementation of oil monitoring.*

*Since mobile components of tribomechanical system engines are necessarily exposed to wear and contaminants and wear products deposit in the lubrication oil, it is necessary to monitor changes in fluid properties during exploitation, because the monitoring of lubricants is the key monitoring technique for maintenance as well as for achieving certain techno-economic effects.*

*The analysis of the contents of different metals in lubricants is very important. Metal particles are abrasive and act as catalysts in the oxidation of oils. In motor oils, the origin of the particles may be from additives, wear, fuel, air and cooling liquid. Metals from additives can be Zn, Ca, Ba, or Mg and that indicates the change in additives. Metals originating from wear are: Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag, Sn, and they point to increased wear in these systems. Elements originating from cooling liquids are Na and B, and their increased content indicates the penetration of the cooling liquid into the lubricant. The increased content of Si or Ca, originating from the air, points to the air filter malfunctioning.*

*Wear of the parts is the main cause of malfunctioning in the process of exploitation of mechanical components of vehicles. Wear is characterized by the change in shapes and dimensions of working parts. Friction leads to surface wear which causes the increase of clearance between moving joined parts and the change in their mutual relations, thus resulting further in deviations from required specifications of assemblies and vehicles in general.*

#### Diagnostic procedure for the condition of lubricants

- 1) *Selection of a type of vehicles and vehicle parts from which oil samples will be taken.*
- 2) *Consideration of the mode of the system (vehicle assembly) operation, lubrication systems, exploitation conditions and its purpose, and an overview of the basic technical characteristics.*
- 3) *Analysis of the tribological processes in components of motor vehicles.*
- 4) *Analysis of the failure of functional components of vehicles (as tribo-mechanical systems)*
- 5) *Information about the condition of a vehicle assembly and oil during the analysis and monitoring*

#### Results of motor oil investigation during exploitation

*In this part of the paper, the results of the experimental testing of motor oils in the Laboratory for fuels and lubricants, VTI Belgrade, are presented. The physico-chemical characteristics of oils were examined in accordance with standard methods, shown in Table 3. The analysis was done on fresh (new) oils and oils used in vehicle engine assemblies. Testing of used samples was carried out in accordance with common criteria defined by the quality of used oil.*

*The values of allowable deviation limits of individual characteristics of oil depend on the type of oil, working conditions and internal recommendations of the manufacturer of lubricants and users. The limited values of oil characteristics which condition the change of the oil charge from the engine are given in Table 4. They represent the criteria for the oil charge change. Deviation of only one characteristic results in the change of the oil charge, regardless of the characteristic itself.*

*The research was carried out on three vehicles (MERCEDES O 345 buses) with the Mercedes-Benz engine, OM 447HLA type. This is a four-stroke engine with six in-line cylinders, turbo Diesel, liquid cooled and with combined lubrication, which meets Euro 2 emission standards related to exhaust gases.*

*The research was conducted through periodic sampling of oil from the engines of the vehicles listed above. Apart from fresh oil („zero“ sample), samples were taken after 10.000 km, 20.000 km and 30.000 km. After 30.000 km oil charges were replaced in all three engines.*

*During the oil sampling, the sampling sites were carefully chosen, taking care of actual oil usage, which enabled each sample to be a representative one. Each sample was taken from the living zone, i. e. zo-*

ne closer to the elements in contact. The sampling of oil from the bottom of the motor housing (discharge outlet) was thus avoided, as the highest concentration of contaminants occurs there. This is achieved by simply modifying the outlet for oil, by extending it towards the active zone of oil within the housing with a tube of appropriate length.

Special attention was also paid to the preservation of samples from contamination, both in the phase of sample taking and in the phase of manipulation, which is fully met by applying the prescribed procedures. A very high level of purity of all elements in the chain of the sampling systems was thus provided as well as the separation of samples in a way that does not perturb the integrity of their data on the state of the vehicle components from which the sampling was done.

### Conclusion

On the basis of all the mentioned above, the following conclusions can be drawn:

- motor oil VALVOLINE, API CF and ACEA E4, of SAE 10W-40 gradation, analyzed during exploitation, achieves its primary function and meets the prescribed replacement interval of 30.000 km in the EURO 2 engine category, which was found by the analysis of characteristic physico-chemical properties of oil and wear products (Fe and Cu) during exploitation;

- the fall of viscosity is evident during the first 10.000 km, and after this period, viscosity remains approximately constant until the end of the interval changes of the oil charge. Maximum viscosity fall during the exploitation of the oil from all three engines is significantly below the allowed limit of 20 %;

- after 30.000 km the TBN value has not exceeded the allowable limit for oil samples from all three engines;

- the content of insoluble substances in the oil is negligible in comparison with the limit value, because there is no significant presence of oxidation products and mechanical impurities or insoluble substances such as coke, scale, dust, soot, particles originated from wear contact area of the engine tribomechanical systems and other mechanical impurities;

- small decrease of the flash point values shows that there was no significant penetration of fuel into the system for lubrication;

- content of iron and copper is significantly below the allowable limits for all three vehicles;

- the appearance of water in the samples is not found,

- after 30.000 km, oil is replaced, following exactly the manufacturer's recommendation about the oil charge change.

Key words: monitoring, maintenance, oil analysis, lubrication.

Datum prijema članka: 20. 02. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 08. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 10. 10. 2010.

## ALGORITMI SELEKTIVNOG ŠIFROVANJA – PREGLED SA OCENOM PERFORMANSI

Jovanović Ž. Boriša, Generalštab Vojske Srbije, Uprava za telekomunikacije i informatiku (J-6), Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, Beograd

UDC: 621.391.037.37 ; 681.188

### Sažetak:

*Digitalni multimedijalni sadržaj postaje zastupljeniji i sve više se razmenjuje putem računarskih mreža i javnih kanala (satelitske komunikacije, bežične mreže, internet, itd.) koji predstavljaju nebezbedne medijume za prenos informacija osetljive sadržine. Sve više na značaju dobijaju mehanizmi kriptološke zaštite slika i video sadržaja. Tradicionalni sistemi kriptografske obrade u sistemima za prenos ovih vrsta informacija garantuju visok stepen sigurnosti, ali i imaju svoje nedostatke – visoku cenu implementacije i znatno kašnjenje u prenosu podataka. Pomenuti nedostaci se prevazilaze primenom algoritama selektivnog šifrovanja.*

*Ključne reči: selektivno šifrovanje, algoritam kompresije, multimedijalni sadržaj, računarske mreže.*

### Uvod

U tradicionalnim sistemima za prenos slike i video sadržaja celokupni sadržaj koji se prenosi najpre se kompresuje primenom nekog od algoritama kompresije. Zatim se tako dobijeni niz podataka u celosti kriptološki zaštititi primenom nekog od standardnih kriptografskih algoritama (DES – *Data Encryption Algorithm*, IDEA – *International Data Encryption Algorithm*, AES – *Advanced Encryption Algorithm*). Specifične karakteristike podataka ovog tipa, velika bitska brzina prenosa podatka i ograničena dozvoljena širina propusnog opsega, čine standardne kriptografske algoritme neadekvatnim za primenu u ove svrhe. Drugo ograničenje tradicionalnih sistema za prenos podataka ovog tipa jeste što se primenom tradicionalnih tehnika zaštite menja struktura i sintaksa samog toka podataka, čime se onemogućavaju određene funkcionalnosti koodera koji generišu taj tok podataka kao i dekoodera koji, na prijemnoj strani, interpretiraju primljene podatke. Novi trend u oblasti kriptografske zaštite slika i video sadržaja jeste primena mehanizama selektivnog šifrovanja. Kako samo ime kaže, ovi mehanizmi se sastoje od kriptološke obrade samo određenog podskupa podataka. Cilj primene mehanizama selektivnog šifrovanja jeste da se smanji količina podataka koju treba kriptološki obraditi a da istovremeno

bude očuvan dovoljan nivo bezbednosti. Ovakav način očuvanja procesorske snage je veoma poželjan u komunikacionim sistemima sa ograničenim resursima (mrežne aplikacije koje rade u realnom vremenu, razmena slika i video sadržaja visokog kvaliteta i rezolucije, mobilni sistemi sa uređajima koji imaju ograničenu procesorsku snagu i ograničen vek baterije, itd.). Uopšteno gledano, postupak selektivnog šifrovanja svodi se na to da se sadržaj koji se prenosi putem komunikacionog sistema deli na dva dela. Prvi deo je javni deo, deo podataka koji se ne šifrjuje i ostaje dostupan svim korisnicima u sistemu prenosa podataka. Drugi deo je zaštićeni deo i na njega se primenjuju odgovarajuće kriptološke tehnike. Na taj način se postiže da samo autorizovani korisnici imaju pristup zaštićenom delu podataka. Na osnovu ove podele otkriva se jedna veoma bitna karakteristika ovakvih sistema – nastojanje da se zaštićeni deo, deo koji treba kriptološki obraditi, učini što je moguće manjim.

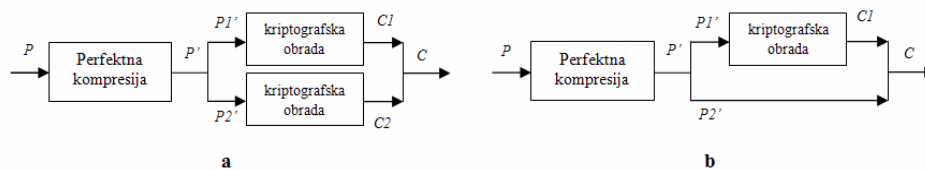
Način na koji se vrši definisanje javnog i zaštićenog dela isključivo zavisi od oblasti u kojoj se ovakvi mehanizmi primenjuju. U komercijalnim primenama (televizijski sistemi i prenos video sadržaja) uloga sistema selektivnog šifrovanja je da potencijalnom korisniku daju samo onoliko informacija koliko je potrebno da donese odluku da kupi pravo na prijem celokupnog sadržaja. U ovakvim sistemima postiže se samo nizak nivo vizuelne degradacije video sadržaja, tako da potencijalni napadač još uvek ima mogućnosti da delimično protumači sadržaj, ali ipak donosi odluku da plati i dobije pristup nešifrovanom video sadržaju u njegovom punom kvalitetu. U složenijim sistemima koji prenose video sadržaje od velikog značaja primenjuju se tehnike koje pružaju veoma visok nivo vizuelne degradacije kojima se postiže da se video sadržaj u potpunosti učini nedostupnim neautorizovanim korisnicima.

U ovom radu predočen je kratak pregled algoritama selektivnog šifrovanja sa mogućim oblastima primene. Na samom početku date su teorijske osnove selektivnog šifrovanja, izvršena je klasifikacija algoritama selektivnog šifrovanja i definisani su osnovni kriterijumi na osnovu kojih se vrši ocenjivanje kvaliteta nekog algoritma iz ove grupe algoritama. U glavnom delu rada dat je opis i ocena najpoznatijih algoritama selektivnog šifrovanja i ukazano na njihove dobre i loše osobine, kao i na moguće oblasti njihove primene. Na samom kraju, u zaključku, prikazan je osvrt na glavne izazove i probleme u primeni različitih algoritama iz ove familije, kao i na perspektivu primene sistema selektivnog šifrovanja u komunikacionim sistemima.

## Teorijske osnove selektivnog šifrovanja

Prve indirektno teorijske osnove selektivnog šifrovanja dao je Klod Šenon još 1949. godine, u svom radu o teoriji prenosa informacija u sistemima za očuvanje tajnosti. Poznato je da se statistički podaci vezani za slike i video sadržaje u mnogo čemu razlikuju od klasičnih tekstualnih podataka. I zaista, slike i video sadržaji su uzajamno čvrsto povezani i u

svom digitalnom zapisu imaju mnogobrojna vremenska i prostorna ponavljanja. Osim toga, za razliku od podataka koji se razmenjuju u bankarskom sektoru ili drugih vidova veoma osetljivih informacija, slike i video sadržaji imaju veliku brzinu prenosa informacija koje su sa bezbedonosne tačke gledišta na nešto nižem nivou. Šenon u svom radu [1] ističe usku vezu između statističkih karakteristika izvora podataka i bezbednosti kriptološki zaštićenog sadržaja. Pouzdane kriptološke tehnike bi trebale da odstrane sva ponavljanja iz originalnih informacija tako da se u kriptološki zaštićenim informacijama ne mogu uočiti nikakve korisne korelacije. Na osnovu ovoga se može izvući zaključak da bi kriptološki zaštićeni sadržaj bio što sigurniji neophodno je da izvor sadržaja ima što manje ponavljanja. Šenon u svom radu pridaje veliki značaj tradicionalnim sistemima u kojima se najpre primeni algoritam „savršene“ kompresije koji ima zadatak da ukloni sva ponavljanja iz originalnog sadržaja. Zatim se tako dobijeni podaci u celosti kriptološki obrade. Šenon dalje govori da bi algoritam kompresije trebao da bude savršen, tj. da ako je  $P$  originalna poruka, onda je  $P'$  „savršeno“ kompresovana poruka. Tako dobijenu poruku  $P'$  možemo podeliti na dva dela,  $P1'$  i  $P2'$  (slika 1a) gde su  $C1$  i  $C2$  kriptološki obrađeni sadržaj poruka  $P1'$  i  $P2'$  respektivno.



Slika 1 – (a) Tradicionalni sistem i (b) sistem selektivnog šifrovanja

Savršena kompresija podrazumeva da ako nam je poznat sadržaj poruke  $P1'$  onda se sadržaj poruke  $P2'$  ne može predvideti. Ovakva konstatacija može se potvrditi dokazivanjem putem kontradiktornosti. Ako je prethodni izraz netačan, onda je potrebno postojanje jednog dodatnog bloka koji je rezultat dodatne kompresije poruke  $P2'$  koja je zasnovana na poruci  $P1'$ . Ovakav scenario je nemoguć jer smo kao polaznu pretpostavku imali da je primenjen algoritam „perfektna“ kompresije[2]. Ovakav rezultat je veoma interesantan. Pretpostavimo sledeći scenario: neka je samo određenom podskupu toka kompresovanih podataka potrebna kriptološka obrada (na primer blok  $P1'$ ), onda možemo da ovaj algoritmom kompresije obrađeni blok podataka zamenimo blokom podataka koji je selektivno šifrovan. Na taj način samo određeni podskup podataka se kriptološki obrađuje (slika 1b), dok je sigurnost cele poruke obezbeđena prethodno diskutovanim i dokazanim postupcima, uz pretpostavku da su sva ponavljanja iz izvora poruka uklonjena. Poruka  $P1'$  je zaštićena i njen sadržaj se ne može predvideti na osnovu  $P2'$  jer se koristi perfektan algoritam kompresije.



Na osnovu ovoga se može zaključiti da je dobra kompresija neophodan preduslov efikasnog algoritma selektivnog šifrovanja. Jedino pitanje koje preostaje je kako izabrati i koji deo toka podataka selektivno šifrovati kako bi time postigli željeni nivo vizuelne degradacije. U Šenonovoj teoriji, snaga „perfektno“ kompresovanog otvorenog sadržaja je u ravnomernoj distribuciji, pa prema tome kriptografska obrada delova kompresovane originalne poruke bi trebalo da proizvede isto izobličenje u kriptografski obrađenom toku podataka. Međutim, mnogi standardni algoritmi kompresije nisu „perfektni“ i koncentrišu informacije neravnomerno u okviru toka otvorene poruke. Na primer, kod JPEG (JPEG – *Joint Photographic Experts Group*) algoritma kompresije biti kojima se kodiraju DC koeficijenti imaju veći uticaj na kvalitet rekonstrukcije od bita kojima se kodiraju AC koeficijenti (DC and AC coefficient – *normalizovani koeficijenti diskretne kosinusne transformacije*). Jedna prednost ovakvih algoritama kompresije koji koncentrišu informacije neravnomerno je to što oni na taj način istovremeno i pomažu pri izboru koji deo toka podataka treba kriptološki obraditi. Mnogi algoritmi selektivnog šifrovanja se upravo zasnivaju na ovim karakteristikama algoritama kompresije.

Ova praznina između teorijski opisanog selektivnog šifrovanja koje se bazira na postupcima perfektne kompresije i postojećih algoritama selektivnog šifrovanja predstavlja glavni problem pri ocenjivanju bezbednosnih aspekata i kvaliteta određenog algoritma selektivnog šifrovanja. U mnogim slučajevima se pri ocenjivanju bezbednosti kao jedini parametar koristi nivo vizuelne degradacije sa pretpostavkom da ukoliko je snažnije vizuelno izobličenje to je i veća sigurnost primenjene tehnike.

### *Kriterijumi za ocenu performansi algoritama selektivnog šifrovanja*

Za potrebe vrednovanja kvaliteta pojedinih algoritama selektivnog šifrovanja, kao i za njihovo međusobno poređenje, definisan je čitav skup kriterijuma:

#### – Podesivost

Mnogi od predloženih algoritama selektivnog šifrovanja koriste statičko definisanje dela koji se kriptološki obrađuje kao i statičke definicije kriptoloških parametara. Ovakvo svojstvo ograničava upotrebljivost takve vrste algoritama na ograničeni skup aplikacija. Veoma je poželjno da korisnik ima mogućnost da dinamički definiše deo koji će se kriptografski obrađivati kao i kriptološke parametre koji će se pri tome koristiti i sve to u zavisnosti od oblasti primene i zahteva koje primena nameće.

#### – Vizuelna degradacija

Ovaj kriterijum predstavlja meru perceptualnog izobličenja šifrovane video poruke (ili slike) u odnosu na originalnu video poruku (ili sliku). On

podrazumeva da se kriptografski obrađena video poruka (ili slika) može dekodovati i pregledati bez potreba da se dešifruje. Ova pretpostavka nije zadovoljena za sve postojeće algoritme selektivnog šifrovanja. U nekim primenama, može biti poželjno da nivo vizuelne degradacije bude takav da potencijalni napadač još uvek razume sadržaj ali ipak donosi odluku da plati i na taj način dobije pristup originalnom sadržaju. Međutim, u sistemima za prenos veoma osetljivih video poruka često se javlja zahtev da nivo vizuelne degradacije bude na zadovoljavajuće visokom stepenu tako da se sadržaj poruke u potpunosti sakriva i nije dostupan neovlašćenim korisnicima. Shodno ovome zahtevu, veliki značaj ima svojstvo podesivosti jer se njime postižu različiti nivoi vizuelne degradacije kriptološki obrađenog sadržaja i u potpunosti zavisi od zahteva i oblasti primene algoritma selektivnog šifrovanja. Kao mera vizuelne degradacije u literaturi se najčešće koristi odnos signal šum. Na osnovu toga se može reći da je vizuelna degradacija subjektivni kriterijum, pa je zbog toga veoma teško definisati nivo vizuelnog izobličenja prihvatljivog za određenu primenu.

– Kriptografska bezbednost

Mnogi istraživački radovi ocenu kvaliteta algoritma selektivnog šifrovanja baziraju samo na stepenu vizuelne degradacije. Kako je gore navedeno, vizuelna degradacija je subjektivni kriterijum tako da nije moguće samo njega koristiti pri oceni kriptološke snage određenog algoritma selektivnog šifrovanja. Kriptografska bezbednost algoritama selektivnog šifrovanja zasniva se na dva elementa: na izvoru ključa i na nepredvidivosti izbora dela podataka koji se kriptološki obrađuje.

– Kriptografski koeficijent

Ovaj kriterijum prikazuje odnos između veličina kriptološki obrađenog dela poruke i ukupne veličine originalne poruke. Cilj algoritama selektivnog šifrovanja jeste da se postigne što je moguće manji kriptografski koeficijent.

– Uticaj na kompresiju podataka

Neki algoritmi selektivnog šifrovanja mogu da utiču na mogućnost kvalitetne kompresije podataka ili, pak, da uvode dodatne podatke koji su neophodni u procesu kriptološke obrade podataka na prijemnoj strani. Poželjno je da ovaj uticaj bude ograničen, odnosno da sam algoritam selektivnog šifrovanja ne dodaje nikakve podatke i narušava sam algoritam kompresije.

– Usklađenost formata

Kriptografski obrađeni tok podataka trebalo bi da bude usaglašen sa formatom koji je kompatibilan sa primenjenim algoritmom kompresije. Bilo koji standardni dekodirer trebalo bi da može da dekodira kriptološki obrađeni tok podataka bez prethodnog dešifrovanja. Ovaj kriterijum je veoma važan, jer omogućava očuvanje određenih osobina primenjenog algoritma kompresije (omogućava očuvanje skalabilnosti).

– Otpornost na greške

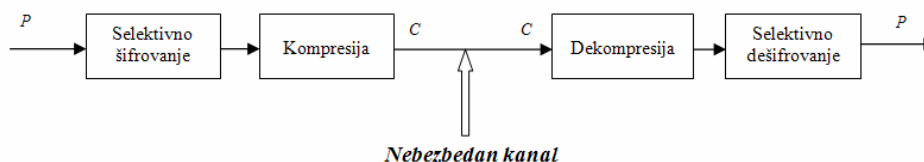
Ovaj kriterijum je veoma značajan, posebno u mrežama koje nisu otporne na greške. Standardni kriptografski algoritmi u svom radu postižu veoma izražen efekat lavine, tako da ukoliko dođe do greške u samo jednom bitu podataka, ta greška će se propagirati na veći broj uzastopnih bita. Ovakva pojava prouzrokuje grešku u procesu dekodiranja ili značajna izobličenja podataka na prijemnoj strani. Cilj postojećih istraživačkih radova jeste da se dizajnira siguran algoritam selektivnog šifrovanja koji istovremeno održava dovoljno dobar efekat lavine, ali ima zadovoljavajuću otpornost na greške.

### Podela algoritama selektivnog šifrovanja

Jedna moguća podela algoritama selektivnog šifrovanja izvršena je na osnovu trenutka izvršavanja kriptografske obrade toka podataka u odnosu na kompresiju podataka. Ovakav način klasifikacije je veoma interesantan, jer sam redosled primene kriptografske obrade toka podataka i algoritma kompresije ima veliki značaj na ponašanje kompletnog algoritma selektivnog šifrovanja. Analizom određenog kriterijuma podele utvrđena su tri tipa algoritama selektivnog šifrovanja:

– Prekompresioni

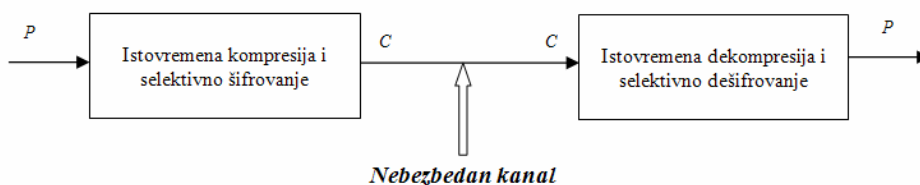
Algoritmi selektivnog šifrovanja iz ove grupe algoritama na predajnoj strani najpre primenjuju kriptološku obradu podatka pa onda primene algoritam kompresije, dok je na prijemnoj strani taj redosled obrnut (slika 2). Na osnovu samog opisa ponašanja može se zaključiti da algoritmi iz ove grupe sigurno zadovoljavaju kriterijum održivosti formata ali isto tako nisu primenljivi u sistemima gde algoritam kompresije utiče na slabljenje kvaliteta podataka ili na gubitak određenog dela podataka (kao u sistemima za prenos video sadržaja gde algoritam kompresije oslabi kvalitet originalnog sadržaja). Ova klasa algoritama ima nepovoljan uticaj na samu kompresiju podatka jer sama primena kriptografske obrade podataka pre kompresije utiče na povećanje širine propusnog opsega i istovremeno utiče na slabljenje kvaliteta primenjenog algoritma kompresije.



Slika 2 – Šematski prikaz prekompresionih algoritama selektivnog šifrovanja

### – Algoritmi istovremene kompresije i kriptografske obrade

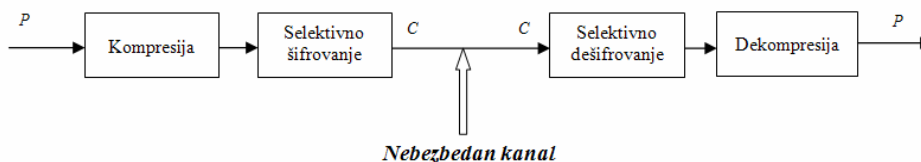
Kod ove klase algoritama selektivnog šifrovanja kriptografska obrada podataka je objedinjena, integrisana, zajedno sa algoritmom kompresije (slika 3). Algoritmi iz ove klase podrazumevaju određene modifikacije i na koderu i na dekoderu tako da se ne može reći da se njima postiže održivost formata i mali uticaj na kompresiju podataka



Slika 3 – Šematski prikaz algoritama istovremene kompresije i kriptografske obrade

### – Postkompresioni

Algoritmi selektivnog šifrovanja iz ove grupe algoritama najpre primene algoritam kompresije pa onda primenjuju kriptološku obradu podataka na predajnoj strani dok je na prijemnoj strani taj redosled obrnut (slika 4). Ova klasa algoritama ima mali uticaj na kompresiju podataka dok kriptološka obrada podataka na prijemnoj i na predajnoj strani ne zahteva nikakve modifikacije na koderu odnosno dekoderu. Generalno, na osnovu slike se može zaključiti da algoritmi iz ove klase ne zadržavaju format sadržaja koji se prenosi.



Slika 4 – Šematski prikaz postkompresionih algoritama selektivnog šifrovanja

## Pregled algoritama selektivnog šifrovanja

Prema prethodno definisanoj podeli algoritama selektivnog šifrovanja izvršeno je i njihovo međusobno poređenje sa kratkim opisom, isticanjem dobrih i loših osobina i ocenom kvaliteta. Pregled ponuđenih algoritama realizovan je obrađivanjem prethodno definisanih kriterijuma.

### Prekompresioni algoritmi

1. Osnovna ideja prekompresionog algoritma, definisanog u [3], zasniva se na kriptološkoj obradi I frejmova (I frame – deo slike koji je kodiran bez referenciranja drugih delova iste slike) u okviru samog MPEG

(MPEG – *Motion Picture Experts Group*) toka podataka kada je u pitanju selektivno šifrovanje video sadržaja. U slučaju kriptološke obrade slika I frejma algoritam se svodi na primenu DES blokovskog kriptografskog algoritma u CBC (engl. CBC – *Cipher Block Chaining*) modu na DC koeficijentima dok se na AC koeficijente primeni slučajna permutacija koja se razlikuje od standardno primenjene cik-cak permutacije. Ocena kvaliteta pomenutog algoritma selektivnog šifrovanja prema prethodno definisanim kriterijumima bi izgledala ovako:

- a. Podesivost – algoritam ne spada u grupu podesivih algoritama jer su parametri kriptografskog algoritma ali i parametri selektivno odabranih podataka statički.
- b. Vizuelna degradacija – kako se P i B frejmovi (P and B frame – delovi slike koji se kodiraju zavisno od sadržaja I frejmova) MPEG toka podataka izračunavaju na osnovu sadržaja I frejmova onda se može reći da se kriptološkom obradom samo I frejmova postiže visok stepen vizuelne degradacije.
- c. Kriptografska bezbednost – cik-cak, tj. unakrsno, raspoređivanje AC koeficijenata u okviru I frejmova zamenjuje se nekom pseudo-slučajnom permutacijom. Na taj način statističke karakteristike AC koeficijenata su sačvane. Bez obzira na očuvanje statističkih karakteristika postoji mogućnost da se klasičnim tehnikama kriptoa-nalize (raspoloživi šifrovni sadržaj ili napad putem poznatog otvorenog teksta) rekonstruiše stvarni, ispravni raspored AC koeficijenata. Zaključak koji se izvlači jeste da visok stepen vizuelnog izobličenja ne mora da podrazumeva i visok nivo kriptografske bezbednosti.
- d. Kriptografski koeficijent – u pomenutom radu nije razmatran odnos kriptološki obrađenog dela poruke i veličine cele poruke tako da ovaj parametar ocene nije razmatran.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – neoptimalno skeniranje DCT (DCT – *Discrete Cosine Transform*) koeficijenata značajno utiče na efikasnost algoritma kompresije. Ovakvi oblici skeniranja DCT koeficijenata su direktno suprotni Huffmanovom kodovanju koje je sastavni deo algoritma kompresije.
- f. Usklađenost formata – ponuđena šema selektivnog šifrovanja je u potpunosti kompatibilna sa JPEG i MPEG standardima.
- g. Otpornost na greške – ponuđeni algoritam selektivnog šifrovanja nije otporan na greške koje se dešavaju na DC koeficijentima. Efekat lavine koji izazivaju simetrični kriptografski algoritmi u ovom slučaju može da izazove značajnu propagaciju greške.

2. U [4] opisan je jedan novi pristup u realizaciji algoritma selektivnog šifrovanja. Autori definišu svoj algoritam (VEA – *Video Encryption Algorithm*) kod koga se uz pomoć tajnog ključa na slučajan način vrši pro-

mena znaka svakog DCT koeficijenta u MPEG toku podataka. U [5] je dat nešto unapređeni osnovni algoritam koji smanjuje složenost izračunavanja i na taj način poboljšava performanse. On se sastoji od kriptološke obrade bita koji određuje znak različitih DC koeficijenata u okviru I frejmova kao i bita koji određuje znak različitih vrednosti vektora pokreta u okviru P i B frejmova. Isti autori u [6] opisuju algoritam čije su performanse unapređene tako da se može koristiti u sistemima za rad u realnom vremenu (RVEA – *RealTime Video Encryption Algorithm*). U ovom algoritmu se kriptološki obrađuju samo odabrani biti znaka DC koeficijenata i/ili biti znaka vektora pokreta u preostalim frejmovima. 64 bita znaka po frejmu podataka se kriptološki obradi.

- a. Podesivost – algoritam spada u grupu nepodesivih algoritama selektivnog šifrovanja jer su svi parametri algoritma statički definisani.
- b. Vizuelna degradacija – uzevši u obzir da se kriptološki obrađuju i DCT koeficijenti, ali i biti znaka vektora pokreta, ovakvim algoritmom se postiže veoma visok nivo vizuelne degradacije.
- c. Kriptografska bezbednost – algoritmi ponuđeni u [4] i [5] imaju dobru kriptografsku bezbednost, ali samo u slučaju kada se ključ koristi samo jednom. U svakom drugom slučaju kriptografska bezbednost je nedovoljna, jer je lako moguće primenom napada putem odabranog teksta izvršiti kriptoanalizu kriptološki obrađenih podataka. Kada je u pitanju [6], kod njega se kriptološki obrađuje samo prvih 64 bita znaka, može se reći da to nije dovoljno sa bezbedonosne tačke gledišta. Ako posmatramo video sadržaje sa velikim rezolucijama i visokom bitskim brzinama, prvih 64 bita stvarno predstavlja veoma mali deo podataka.
- d. Kriptografski koeficijent – dok kod [4] i [5] kriptografski koeficijent nije određen u [6], gde se kriptografski obrađuju samo 64 bita po frejmu video podataka, ovaj koeficijent isključivo zavisi od bitske brzine samog toka video podataka.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – u samim radovima nije jasno preciziran uticaj na algoritam kompresije.
- f. Usklađenost formata – ovako kriptološki obrađen MPEG tok podataka je usklađen po formatu sa MPEG standardom.
- g. Otpornost na greške – uzevši u obzir da ponuđeni algoritmi selektivnog šifrovanja imaju uticaja i na vektore pokreta u frejmovima MPEG podataka može se reći da imaju malu otpornost na greške i da samo jedna mala greška može imati izrazito nepovoljan uticaj.

3. U algoritmu selektivnog šifrovanja o kome se govori u [7] predložen je postupak selektivnog šifrovanja odabranog polja bita i prikazani su eksperimentalni rezultati na slikama kod kojih se nivo osvetljenosti, odnosno skaliranje sive boje, predstavlja osmobitnim podacima. Ideja koja je primenjena u ovom algoritmu je da se kriptološki obradi samo podskup uređenih polja bita

i to tako da se počne najpre sa poljima bita koja sadrže samo bite najveće težine, tj. MSB bite (MSB – *Most Significant Bit*). Kriptološka obrada podskupa podataka u kome su samo polja bita koja sadrže samo MSB bite ne daje valjane kriptografske rezultate i nije otporna na poznate napade. Dobri bezbedonosni rezultati se postižu kada se pored MSB bita kriptografske tehnike primene i na bar još jedno polje bita, dok se kriptološka obrada tri polja bita pokazala kao veoma dobra i dala značajnu vizuelnu degradaciju. Pomenuti algoritam je namenjen za kriptografsku obradu slika i može se, shodno unapred definisanim kriterijumima, oceniti na sledeći način:

- a. Podesivost – ovaj algoritam nije iz grupe podesivih algoritama jer je potrebno kriptografski obraditi tačno definisan broj bita kako bi se postigli željeni efekti.
- b. Vizuelna degradacija – za nekompresovanu sliku kod koje se elementi slike (pikseli) predstavljaju osmobicnim podacima, visok nivo vizuelne degradacija se postiže kriptološkom obradom prva tri bita najveće težine.
- c. Kriptografska bezbednost – iako se koriste pouzdane kriptografske tehnike pomenuti algoritam nije otporan na napad zamenom sadržaja ukoliko se kriptološki obrađuje samo MSB bit. Sa povećanjem broja bita koji se kriptografski obradi povećava se i sama kriptografska bezbednost. Dobra kriptografska bezbednost se postiže tek u slučajevima kada se kriptografski obrade četiri polja bita, odnosno 50% cele slike.
- d. Kriptografski koeficijent – kako je potrebno najmanje tri polja bita, od mogućih osam, kriptografski obraditi da bi se postigla željena vizuelna degradacija i zadovoljavajuća kriptografska bezbednost, to nam govori da je kriptografski koeficijent veći od 0,375.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – kako je algoritam namenjen za nekompresovane slike a sastoji se u kriptografskoj obradi  $n$  MSB bita onda značajno utiče na proširenje širine propusnog opsega i ima uticaj na kompresiju podataka.
- f. Usklađenost formata – kao potpuno prekompresioni algoritam u potpunosti je usklađen sa različitim formatima.
- g. Otpornost na greške – efekat lavine koji je izražen kod blokovskih kriptografskih algoritama (kao što je AES koji se koristi u ovom radu) ima negativan uticaj na otpornost na greške ovako definisanih algoritama.

## Algoritmi istovremene kompresije i kriptografske obrade

1. U [8] opisan je algoritam selektivnog šifrovanja nazvan SEC-MPEG koji je namenjen selektivnom šifrovanju MPEG toka podataka. U svom radu algoritam može da koristi asimetrični RSA (RSA – *Rivest*,

*Shamir, and Adleman*) ili simetrični DES algoritam u CBC modu. Autori su kroz opis algoritma definisali četiri nivoa bezbednosti:

- i. Kriptografska obrada svih zaglavlja toka podataka
- ii. Kriptografska obrada svih zaglavlja toka podataka i svih DC i nižih AC koeficijenata uzajamno kodiranih blokova
- iii. Kriptografska obrada svih I-frejмова i svih I-blokova u P i B frejmovima
- iv. Kriptografska obrada celokupnog toka podataka

Ovako opisani algoritam može se, prema definisanim kriterijumima, oceniti na sledeći način:

- a. Podesivost – ovaj algoritam se na određeni način može smatrati podesivim algoritmom. Naime, radi se o algoritmu kod koga je definisan veći broj nivoa bezbednosti, koji proizilaze od podskupa podataka koji se bira za kriptografsku obradu, te se može smatrati podesivim.
- b. Vizuelna degradacija – kriptografski sadržaj nije kompatibilan sa MPEG formatom pa odatle sledi da se i sadržaj ne može pregledati bez dešifrovanja i ne može se ništa govoriti o stepenu vizuelne degradacije koji je ostvaren.
- c. Kriptografska bezbednost – pomenutim algoritmom se postiže veći broj različitih bezbedonosnih nivoa. Ukoliko se vrši kriptografska obrada celog toka podataka postiže se najviša kriptografska bezbednost ali se sa druge strane gube sve prednosti selektivnog šifrovanja. Algoritam koji postiže kriptografsku obradu samo zaglavlja toka podataka imaju veoma nisku kriptografsku bezbednost uzevši u obzir da se vrši kriptografska obrada zaglavlja toka podataka čiji se sadržaj može lako predvideti.
- d. Kriptografski koeficijent – broj I blokova u P i B frejmovima može biti jednak broju I blokova u I frejmu što govori da kriptografski koeficijent ovog algoritma može biti veoma blizak vrednosti 1 što značajno umanjuje efikasnost ponuđenog algoritma selektivnog šifrovanja.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – nema značajnijih uticaja na algoritam kompresije podataka.
- f. Usklađenost formata – ponuđeni algoritam nije kompatibilan sa MPEG tokom podataka jer zahteva značajne dodatke i izmene u samom standardu. Da bi pročitali ovako obrađeni tok podataka potreban nam je poseban dekođer.
- g. Otpornost na greške – algoritam ima malu otpornost na greške a to je posledica značajnog efekta lavine koji se sreće kod kriptografskih algoritama koji su upotrebljeni.

2. U [9] opisan je generalizovani algoritam selektivnog šifrovanja koji se oslanja na kodove promenljive i fiksne dužine kodne reči. Suština je u



tome da se tok podataka deli na dva dela, prvi deo koji nosi značajne informacije i drugi deo koji nosi informacije koje su od manjeg značaja i koje bez poznavanja prvog dela nemaju nikakvog smisla. Za svako polje iz prve grupe (grupa značajnih informacija) izabiraju se odgovarajuće kodne reči fiksne ili promenljive dužine. Onda se svakoj kodnoj reči, bilo da se radi o rečima fiksne ili promenljive dužine, dodeljuje indeks fiksne dužine. Ukoliko se želi kriptografski obraditi sekvenca određenih kodnih reči dovoljno je samo kriptografski obraditi niz indeksa. Nakon kriptografske obrade indeksi se inverznom funkcijom mapiraju nazad u kodne reči promenljive dužine. Na ovaj način se postiže potpuna kompatibilnost i usaglašenost sa formatom sa malim nedostatkom koji se ogleda u dodatnim informacijama.

- a. Podesivost – ovaj algoritam nije podesiv, jer se unapred definiše skup informacija koji ima određeni značaj i nije ga moguće menjati.
- b. Vizuelna degradacija – ovim algoritmom se postiže veoma visok stepen vizuelne degradacije, što se može i videti u samom radu koji opisuje ovaj algoritam.
- c. Kriptografska bezbednost – postiže se veoma dobar nivo kriptografske bezbednosti koja se zasniva na tajnosti Huffmanovih tabela (tabela koja se koristi pri kodovanju).
- d. Kriptografski koeficijent – ovim algoritmom se postiže značajno smanjenje količine podataka koju je potrebno kriptografski obraditi. Procenjeno je da se ovim algoritmom obrađuje manje od 15% celokupnog toka podataka, pa je sam koeficijent manji od 0,15.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – mana ovog algoritma je ispoljeni uticaj na kompresiju podataka. Naime, reč je o tome da se kodne reči promenljive dužine menjaju indeksima koji mogu da budu i veće dužine od same reči koju zamenjuju, što može značajno da utiče na algoritam kompresije i u suprotnosti je sa samom idejom kompresije podataka.
- f. Usklađenost formata – pomenuti algoritam koristi jedan uopšteni pristup selektivnoj kriptografskoj obradi podataka čime se postiže potpuna kompatibilnost sa različitim vrstama kompresionih algoritama.
- g. Otpornost na greške – algoritam ima malu otpornost na greške, jer se jedna greška koja se desi na kodnoj reči promenljive dužine može preneti i na ostale kodne reči iz skupa.

3. U [10] dat je opis algoritma koji je namenjen za selektivnu kriptografsku obradu toka video podataka prema H.264/AVC standardu. Kriptografska obrada podskupa podataka uvrštena je u sam enkoder. Da bi se postigla sintaksna kompatibilnost izabrane kodne reči se na slučajan način permutuju sa ostalim kodnim rečima. Pravilo prema kome se vrši permutacija, tj. pomeraj kojim se definiše premeštanje kodnih reči odre-

đuje se na osnovu podataka koje daje kriptografski algoritam AES u brojačkom modu rada.

- a. Podesivost – ovaj algoritam nije podesiv, unapred je definisan skup kodnih reči koje su obuhvaćene procesom permutacije.
- b. Vizuelna degradacija – ovim algoritmom se postiže odnos signal šum čija se vrednost kreće od 25 do 30 dB. Ovakva vrednost vizuelne degradacije je zadovoljavajuća za primenu u nekim aplikacijama.
- c. Kriptografska bezbednost – glavni nedostatak ovako definisanog algoritma je nedostatak kriptografske bezbednosti. Naime, kriptografska bezbednost ovog algoritma ne zavisi od kriptografske snage samog kriptografskog algoritma AES. Njegova kriptografska bezbednost zavisi od veličine izabranih kodnih reči. Veličina izabranih kodnih reči direktno utiče na veličinu prostora podataka iz koga se uzimaju nešifrovani sadržaji što značajno umanjuje snagu primenjenog kriptografskog algoritma.
- d. Kriptografski koeficijent – u samom radu nije direktno definisana vrednost kriptografskog koeficijenta ali se, na osnovu analize, može reći da se vrednost kriptografskog koeficijenta kreće od 0,3–0,6 što predstavlja veliku vrednost.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – primenjena šema ima mali uticaj na kompresiju podataka jer se dodaje mala količina dodatnih informacija koje čine oko 0.1%.
- f. Usklađenost formata – tok podataka se može dekodovati primenom bilo kog standardnog dekodera i to bez dešifrovanja podataka. Da bi se dobio kompletan uvid u sadržaj video podataka neophodan je dekodner koji u sebi ima ugrađen mehanizam potreban za dešifrovanje.
- g. Otpornost na greške – algoritam ima malu otpornost na greške a ona je posledica slučajnih permutacija i određenom skupu kodnih reči.

### *Postkompresioni algoritmi*

1. Algoritam opisan u [11] predstavlja postkompresioni algoritam selektivnog šifrovanja i sastoji se od kriptografske obrade prefiksa svih I frejmova, svih zaglavlja toka video podataka (informacije koje su vezane za dekodiranje podataka – veličina frejma, bitska brzina, itd.) kao i 32 bita koji predstavljaju kod završetka MPEG toka podataka prema ISO (ISO – *International Standards Organization*) standardu. Eksperimentalni rezultati u ovom radu potvrđuju značaj primene mehanizama selektivnog šifrovanja u sistemima prenosa koji zahtevaju velike bitske brzine prenosa i postižu prihvatljivo kašnjenje „sa kraja na kraj“ u prenosu video podataka. Pomenuti postkompresioni algoritam se može oceniti na sledeći način:

- a. Podesivost – nije dozvoljeno podešavanje nikakvih parametara.
- b. Vizuelna degradacija – kriptografski obrađeni sadržaj nije usklađen sa MPEG formatom tako da sadržaj nije moguće pregledati bez dešifrovanja. Na osnovu ovoga nije moguće govoriti o vizuelnoj degradaciji.
- c. Kriptografska bezbednost – kriptografska bezbednost ovako definisanog algoritma je veoma mala jer kriptografska obrada samo I frejmova nije nedovoljna ako se uzme u obzir da su P i B blokovi u međusobnoj vezi sa I frejmovima. Slaboj kriptografskoj bezbednosti ponuđenog algoritma doprinosi i kriptografska obrada zaglavljia toka podataka koje se karakteriše šablonskim podacima koji su lako predvidivi čime ovaj algoritam čine veoma neotpornim na poznate napade.
- d. Kriptografski koeficijent – kako I frejmovi čine od 30 do 60% toka video podataka može se reći da se ovim mehanizmom ne postiže značajno dobar kriptografski koeficijent. U samom radu je ponuđen mehanizam da se smanji učestalost I frejmova i na taj način poveća efikasnost ponuđenog algoritma. Međutim, smanjenje frekvencije I frejmova značajno utiče na kompresiju podataka što dalje utiče na kvalitet video sadržaja.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – kako se kriptografska obrada vrši nakon kompresije nema značajnog uticaja na sam algoritam kompresije.
- f. Usklađenost formata – tok podataka koji se dobija nakon kriptografske obrade nije usklađen sa MPEG formatom jer kriptografska obrada koda koji označava kraj MPEG toka podataka prikriva tip samog sadržaja.
- g. Otpornost na greške – ima malu otpornost na greške jer je veoma izražen efekat lavine primenjenog kriptografskog algoritma.

2. JPSEC (JPSEC – *JPEG2000 Security*) deo je JPEG2000 standarda koji je namenjen da obezbedi standardizovano okruženje za implementaciju bezbedonosnih mehanizama i servisa kao što su selektivno šifrovanje, autentikacija, integritet, itd. U [12] definisan je predlog koji ima za cilj da pruži podršku mehanizmima selektivnog šifrovanja u JPSEC-u. Koriste se dva pokazivačka segmenta, *opis bezbedonosnih komponenta* čija je svrha da signaliziraju prisustvo delova u toku podataka koji su kriptografski obrađeni i *objedinjeni kriptografski parametri i bezbedonosne informacije toka podataka* čija je namena da označe bezbedonosne parametre svakog pojedinačnog kriptografski obrađenog dela (metoda koja je primenjena, podatke koji su vezani za očuvanje integriteta, digitalno potpisivanje itd). Prema definisanim kriterijumima analiza ponuđenog mehanizma izgleda ovako:

- a. Podesivost – algoritam spada u grupu veoma fleksibilnih i podesivih algoritama. Informacije koje su smeštene u pokazivačkim segmentima određuju na koji način kriptografski zaštititi određene delove toka podataka. Ovakav koncept daje veliku prednost ovom algoritmu, jer sama fleksibilnost (podesivost) omogućava dinamičko određivanje vrednosti ostalih kriterijuma.
- b. Vizuelna degradacija – podesivost ponuđenog algoritma utiče na to da i nivo vizuelne degradacije bude u potpunosti podesiv i da zavisi od izabranih parametara.
- c. Kriptografska bezbednost – uzevši u obzir da je ovo uopšteni pristup selektivnog šifrovanja kriptografska bezbednost je u potpunosti određena primenjenim kriptografskim elementima.
- d. Kriptografski koeficijent – zavisi od primenjenih kriptografskih parametara a kako su oni promenljivi sledi da je i kriptografski koeficijent promenljiv.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – kako pokazivački parametri sadrže dodatne informacije ponuđeni algoritam unosi dodatne podatke čija je veličina 104 bajta te se može reći da ima blago nepovoljan uticaj na kompresiju podataka. U samom radu dat je veći broj različitih testova sa rezultatima. Pri merenju veličine dodatnih informacija treba imati u vidu i veličinu slike, ali i kriptografske parametre i to da oni mogu biti promenljivi.
- f. Usklađenost formata – u potpunosti je u skladu sa JPEG2000 i JPSEC formatima.
- g. Otpornost na greške – zavisi od primenjenih kriptografskih parametara, a svakako je mala ako se uzme u obzir primena blokovskih kriptografskih algoritama u nekom od modova rada (npr. CBC mod).

3. JPEG2000 standard uređen je kao kompaktan niz bita. I pored toga, najznačajniji podaci se šalju na samom početku toka podataka. Na osnovu ovakve analize i zaključaka autori su u [13] opisali algoritam selektivne kriptografske obrade JPEG2000 toka podataka koji primenom AES algoritma šifruje odabrane podatke. Ovaj algoritam koristi dva opciona markera, i to: 0xFF91 kojim se označava početak paketa (SOP – *Start Of Packet*) i 0xFF92 kojim se označava završetak paketa (EOP – *End Of Packet*). Kada su markeri postavljeni tako dobijeni paket se kriptografski obradi primenom AES algoritma u CFB (CFB – *Cipher Feedback*) modu rada. Ovaj mod je izabran jer se radi o kriptološkoj obradi paketa različite dužine. U samom radu se navodi da je kriterijum za ocenu kvaliteta primenjenog algoritma stepen vizuelne degradacije koji se postiže napravljenim izborom podatka koje treba obraditi. Detaljnija ocena kvaliteta ovog algoritma prema navedenim kriterijumima izgleda ovako:

- a. Podesivost – zahvaljujući fiksnim parametrima ovaj algoritam spada u grupu nepodesivih algoritama.

- b. Vizuelna degradacija – napravljenim izborom podatka koje treba kriptografski obraditi dolazi se do veličine oko 20%. Na osnovu ovoga može se reći da se zavisno od količine podatka koji se kriptografski obrađuju postiže izuzetno visok stepen vizuelne degradacije.
- c. Kriptografska bezbednost – visok stepen vizuelne degradacije ne mora nužno da znači i visoku kriptografsku bezbednost. U ponuđenom algoritmu kriptografska bezbednost zavisi isključivo od kriptografskog algoritma i njegovih parametara.
- d. Kriptografski koeficijent – zadovoljavajući novo vizuelne degradacije postignut je kriptografskom obradom jedne petine informacija pa se može reći da je kriptografski koeficijent veoma dobar i iznosi 0,2.
- e. Uticaj na kompresiju podataka – nema dodavanja nikakvih podataka tako da ovaj algoritam ne ispoljava uticaj na kompresiju podataka.
- f. Usklađenost formata – ponuđeni algoritam nije u skladu sa JPEG 2000 formatom jer sama primena AES algoritma u CFB modu zahteva dodavanje zabranjenih kodnih reči [0xFF91 i 0xFF92].
- g. Otpornost na greške – primena AES algoritma u CFB modu ima izraženo negativan uticaj na otpornost na greške ponuđenog algoritma.

## Oblasti primene

Mehanizmi selektivnog šifrovanja sve više dobijaju na značaju i primenjuju se u različitim oblastima. Neke od mogućih oblasti primene ovih mehanizama su sledeće:

- nadgledanje kriptografski obrađenog sadržaja – pretpostavimo situaciju u kojoj možemo sam kriptografski obrađeni sadržaj da koristimo za nadgledanje. Na primer, u sistemima video nadzora u kojima se primenjuju mehanizmi selektivne kriptografske obrade, moguće je analizirati pojedine delove video sadržaja bez prethodnog dešifrovanja;

- PDA (PDA – *Personal Digital Assistant*) uređaji, mobilni telefoni i drugi prenosivi uređaji, koji se sve češće koriste za prenos i razmenu multimedijalnih sadržaja. Mnogi od tih multimedijalnih sadržaja zahtevaju zaštitu autorskih prava i kontrolu pristupa. Njihova ograničena rezolucija, ograničena procesorska snaga i ograničeni životni vek baterije nameću upotrebu mehanizama koji omogućavaju smanjenje složenosti kriptografske obrade podatka. Na taj način produžavaju životni vek baterije i doprinose većem kvalitetu i nižim cenama ovakvih uređaja;

- višestruka kriptografska obrada sa ciljem da se sačuva propusni opseg – primena u sistemima prenosa putem kablovskih i digitalnih TV kanala, gde provajder usluga želi da razdvoji korisnike i druge provajdere, a da istovremeno uštedi na propusnom opsegu. Za svakog novog provajdera primenjuje se novi mehanizam selektivne kriptografske obrade parcijalno odabra-

nih informacija, dok se zajedničke nešifrovane informacije prenose javnim kanalom koji je dostupan svim korisnicima. Na ovaj način se postiže ušteda propusnog opsega koja je direktno srazmerna broju korisnika a obrnuto srazmerna kriptografskom koeficijentu primenjenog selektivnog šifrovanja;

– transkodabilnost<sup>1</sup> i skalabilnost kriptografski obrađenog sadržaja – za neke kompresione algoritme koji nemaju ugrađene ove mehanizme potrebno je u ruterima na prenosnom putu, na malim bitskim brzinama, izvršiti dekompresiju i rekompresiju. U sistemima sa kriptografskom obradom celokupnog toka podataka da bi se ostvario proces kriptografske obrade, kompresije i dekompresije podataka potrebno je da sam ruter (mrežni čvor) na prenosnom putu ima ovakve sposobnosti. Ovo može prouzrokovati dodatno kašnjenje u prenosu toka podataka i da sa sobom nosi još jedan bezbedonosni nedostatak, a to je da se kriptografski parametri nalaze na mrežnom čvoru. Ovaj problem se može na elegantan način rešiti primenom algoritama selektivnog šifrovanja. Kriptografski se obrađuje mali deo informacija dok se ostali podaci šalju u originalnom obliku što omogućava zadovoljavanje uslova za transkodabilnost i skalabilnost bez pristupa bezbedonosnim parametrima. Osnovni deo, koji je potreban svima šalje se u originalnom obliku dok se manji, kriptografski obrađeni deo šalje samo autorizovanim korisnicima.

## Zaključak

Na osnovu prethodnih analiza može se reći da su podesivost, kriptografska bezbednost i otpornost na greške kriterijumi koji, kod opisanih algoritama, uglavnom nisu zadovoljeni.

Algoritmi selektivnog šifrovanja koji su zasnovani na statičkim parametrima ne mogu da budu podesivi. Podesivost je veoma značajna karakteristika posebno u sistemima koji su namenjeni za kriptografsku zaštitu podataka koji se distribuiraju na različite načine, skladište na različite medijume i prenose različitim prenosnim kanalima. Prema tome veoma je značajno definisati algoritam selektivnog šifrovanja sa dinamičkim određivanjem kriptografskih parametara.

Kriptografska bezbednost se kod mnogih algoritama selektivnog šifrovanja ne posmatra na dovoljno značajnom nivou. Za mnoge autore bitnija je vizuelna degradacija (vizuelno izobličenje) koja predstavlja karakteristiku koja je subjektivnog karaktera. Kriptografska bezbednost ovih algoritama zavisi od izvora ključa ali i od nepredvidivosti izabranog dela koji će se kriptografski obrađivati [14]. Na osnovu iznetih činjenica i analiza postkompresionih algoritama može se zaključiti da su postkompresioni algoritmi najbolji sa aspekta kriptografske bezbednosti.

<sup>1</sup> Transkodabilnost je osobina podataka da se lako mogu transformisati iz jednog formata u drugi.

Najveći problem koji se javlja pri konstruisanju algoritma selektivnog šifrovanja je konstruisati algoritam koji će biti otporan na greške. Standardni kriptografski algoritmi imaju veoma izražen efekat lavine, koji direktno utiče na malu otpornost na greške algoritama selektivnog šifrovanja. Odista, u mrežama koje nisu otporne na greške, greška na jednom bitu kriptografski obrađene poruke može usloviti grešku na većem broju bajta poruke dobijene dešifrovanjem. Odatle se može zaključiti da se otpornost na greške i visok stepen kriptografske bezbednosti nalaze u direktnoj suprotnosti. Ovaj problem se može rešiti primenom blokovskih kriptografskih algoritama u brojačkom modu (CTR – *Counter mode*).

Iako je do sada predložen i definisan veliki broj različitih algoritama selektivnog šifrovanja ova oblast predstavlja tek otvoreno istraživačko polje sa velikim brojem pitanja koja čekaju svoje odgovore. Neka od tih pitanja su sledeća:

- Da li je moguće definisati opšti skup načela prema kojima bi trebalo dizajnirati algoritme selektivnog šifrovanja? Prethodnom analizom pokazalo se da nedostatak ovakvih načela prouzrokuje veliki broj različitih algoritama sa manjim ili većim nedostacima. Na primer, neki od algoritama imaju zadovoljavajući stepen vizuelne degradacije ali je kriptografska bezbednost minimalna.

- Da li je moguće definisati algoritam selektivnog šifrovanja za svaki algoritam kompresije koji postoji? Svakako, neki algoritmi kompresije su pogodniji za definisanje algoritama selektivnog šifrovanja a neki pak ne. Na osnovu prethodne analize, može se zaključiti da je JPEG2000 algoritam kompresije jedan od najpogodnijih kandidata za dizajniranje algoritama selektivnog šifrovanja. Ovo je posledica njegove fleksibilnosti i dizajna algoritma kompresije.

- Da li je moguće dizajnirati algoritam selektivnog šifrovanja koji neće zavisiti od oblasti primene? Da li je moguće osmisliti takav algoritam, koji će se podjednako lako primenjivati u mobilnim uređajima, u zaštiti toka video podatka pri prenosu kroz računarsku mrežu, u zaštiti digitalnih multimedijalnih podataka na Internetu i dr.

### *Literatura*

[1] Shannon, C. E., *Communication theory of secrecy systems*, Bell System Technical Journal vol.28(4), page 656–715, 1949.

[2] Lookabaugh, T., *Selective encryption, information theory, and compression*, in Proceedings of the 38th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, vol.1, page 373–376, Calif, USA, 2004.

[3] Tang, L., *Methods for encrypting and decrypting MPEG video data efficiently*, in Proceedings of the 4th ACM International Multimedia Conference and Exhibition, page 219–229, Boston, Mass, USA, 1996.

- [4] Shi, C., Bhargava, B., *A fast MPEG video encryption algorithm*, in Proceedings of the 6th ACM International Conference on Multimedia, page 81–88, Bristol, UK, 1998.
- [5] Shi, C., Bhargava, B., *An efficient MPEG video encryption algorithm*, in Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS '98), page. 381–386, West Lafayette, USA, 1998.
- [6] Shi, C., Wang, S. Y., Bhargava B., *MPEG video encryption in real-time using secret key cryptography*, in Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA '99), page. 191– 201, Las Vegas, USA, 1999.
- [7] Podesser, M., Schmidt, H. P., Uh, I A., *Selective bitplane encryption for secure transmission of image data in mobile environments*, in Proceedings of the 5th Nordic Signal Processing Symposium (NORSIG '02), Tromsø, Norway, 2002.
- [8] Meyer, J., Gadgetast, F., *Security mechanisms for multimedia data with the example MPEG-1 video*, Project Description of SEC MPEG, Technical University of Berlin, Germany, 1995.
- [9] Wen, J., Severa, M., Zeng, W., Luttrell, M. H., Jin, W., *A format-compliant configurable encryption framework for access control of video*, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 12, No. 6, page 545–557, 2002.
- [10] Bergeronand, C., Lamy-Bergot, C., *Compliantselective encryption for H.264/AVC video streams*, in Proceedings of the 7th IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP '05), page 1–4, Shanghai, China, 2005.
- [11] Spanos, G. A., Maples, T. B., *Performance study of a selective encryption scheme for the security of networked, realtime video*, in Proceedings of the 4th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN '95),page 2–10, Las Vegas, USA, 1995.
- [12] Sadourny, Y., Conan, V., *A proposal for supporting selective encryption in JPSEC*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 49, No. 4, page 846–849, 2003.
- [13] Norcen, R., Uhl, A., *Selective encryption of the JPEG2000 bitstream*, in Communications and Multimedia Security, vol. 2828 of Lecture Notes in Computer Science, page 194–204, Springer, Berlin, Germany, 2003.
- [14] Lundin, R., Lindskog, S., Brunstrom, A., Fischer-Hubner, S., *Measuring confidentiality of selectively encrypted messages using guesswork*, in Proceedings of the 3rd Swedish National Computer Networking Workshop (SNCNW '05), page 99–102, Halmstad, Sweden, 2005.

#### SELECTIVE ENCRYPTION ALGORITHMS – OVERVIEW WITH PERFORMANCE EVALUATION

##### Summary:

*Digital multimedia content is becoming widely used and increasingly exchanged over computer network and public channels (satellite, wireless networks, Internet, etc.) which is unsecured transmission media for ex-*



*changing that kind of information. Mechanisms made to encrypt image and video data are becoming more and more significant. Traditional cryptographic techniques can guarantee a high level of security but at the cost of expensive implementation and important transmission delays. These shortcomings can be exceeded using selective encryption algorithms.*

#### Introduction

*In traditional image and video content protection schemes, called fully layered, the whole content is first compressed. Then, the compressed bitstream is entirely encrypted using a standard cipher (DES – Data Encryption Algorithm, IDEA – International Data Encryption Algorithm, AES – Advanced Encryption Algorithm etc.). The specific characteristics of this kind of data, high-transmission rate with limited bandwidth, make standard encryption algorithms inadequate. Another limitation of traditional systems consists of altering the whole bitstream syntax which may disable some codec functionalities on the delivery site coder and decoder on the receiving site. Selective encryption is a new trend in image and video content protection. As its name says, it consists of encrypting only a subset of the data. The aim of selective encryption is to reduce the amount of data to encrypt while preserving a sufficient level of security.*

#### Theoretical foundation of selective encryption

*The first theoretical foundation of selective encryption was given indirectly by Claude Elwood Shannon in his work about communication theory of secrecy systems. It is well known that statistics for image and video data differ much from classical text data. Indeed, image and video data are strongly correlated and have strong spatial/temporal redundancy.*

#### Evaluation criteria for selective encryption algorithm performance evaluation

*We need to define a set of evaluation criteria that will help evaluating and comparing selective encryption algorithms.*

- Tunability*
- Visual degradation*
- Cryptographic security*
- Encryption ratio*
- Compression friendliness*
- Format compliance*
- Error tolerance*

#### Classification of selective encryption algorithms

*One possible classification of selective encryption algorithms is relative to when encryption is performed with respect to compression. This classification is adequate since it has intrinsic consequences on selective encryption algorithms behavior. We consider three classes of algorithms as follows:*

- Precompression*

- Incompression
- Postcompression

#### Overview of selective encryption algorithms

*In accordance with their precedently defined classification, selective encryption algorithms were compared, briefly described with advantages and disadvantages and their quality was assessed.*

#### Applications

*Selective encryption mechanisms became more and more important and can be applied in many different areas. Some potential application areas of this mechanism are:*

- Monitoring encrypted content
- PDAs (PDA – Personal Digital Assistant), mobile phones, and other mobile terminals
- Multiple encryptions
- Transcodability/scalability of encrypted content

#### Conclusion

*As we can see through foregoing analysis, we can notice that tunability, cryptographic security and error tolerance are the main unsatisfied criteria.*

*Selective encryption algorithms based on static encryption parameters do not allow tunability. Tunability is a desirable property especially for content protection systems targeting different applications with different requirements in terms of security or visual degradation and different devices with different capabilities in terms of memory, computational power, or display capabilities. It is therefore appreciated to design a tunable selective encryption algorithm with dynamic encryption parameters.*

*Key words: selective encryption, compression algorithm, multimedia data, computer network*

Datum prijema članka: 30. 07. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 28. 12. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 29. 12. 2009.

# PROTIVOKLOPNI VOĐENI PROJEKTILI ZAPADNE EVROPE, IZRAELA I INDIJE

Lazić M. *Goran*, Vojna Akademija, Centar za obuku  
studentata KoV, Beograd,  
Šiljak D. *Zdenko*, Vojna Akademija, 1. studentski puk,  
Beograd,  
Jovandić B. *Stevo*

UDC: 623.462.122(4-15+569.4+540)

## Sažetak:

*Protivoklopni vođeni projektili namenjeni su za uništavanje teško-oklopljenih tenkova, kao i drugih oklopnih vozila. Ovaj rad nudi istorijsko-tehnički pregled (razvoj projektila kroz generacije i osnovni podaci vezani za borbenu-operativno dejstvo ovih projektila) ovog tipa naoružanja koje poseduju zemlje zapadne Evrope, Izraela i Indije. Pored osnovnih podataka navode se i cene nekih projektila ponaosob, kao i tendencije razvoja u ovoj grani naoružanja.*

*Ključne reči: oklop, projektil, vođenje, MCLOS, SACLOS, generacije protivoklopnih vođenih projektila, taktičko-tehnički podaci.*

## Uvod

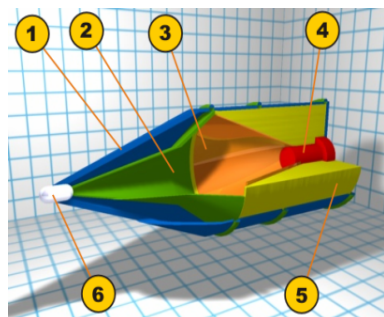
Posle Drugog svetskog rata, sa napretkom tehnologije, a radi popune iscrpljenih posleratnih resursa, pojavljuje se sve veći broj oklopljenih vozila sa vrtoglavom tendencijom porasta u periodu koji je dolazio. Rakeete koje su pešadijske jedinice do tada koristile na terenu, polako su počele da gube svoju svrhu, jer su nova oklopna vozila bila znatno pokretljivija sa mnogo debljim oklopom, pa je samim tim u znatnoj meri bilo otežano njihovo uništavanje ili bar onesposobljavanje. Jasno je da se javlja očigledna potreba za tipom projektila koji neće gađati već „juriti“ svoj cilj. Pedesetih godina počinje značajna ekspanzija na ovom polju, pa se do danas pojavilo tri generacije protivoklopnih vođenih projektila.

Protivoklopni vođeni projektil prevashodno je dizajniran za uništavanje teškooklopljenih tenkova, kao i drugih oklopnih vozila. Protivoklopni vođeni sistemi variraju, po veličini, od oružja (sistemi koji se lansiraju sa ramena i opslužuje ih jedan vojnik) do oruđa (sistemi koje opslužuju posade vojnika, sistemi koji se koriste kao dodatak na brzopokretnim vozilima, sistemi koji se koriste kao dodatak letelicama). Sa napretkom tehnologije, kao i tende-

ncije da se ovakvi raketni sistemi svedu na upotrebu „single man“, moderno ratište opremilo je vojnika pešadije takvim tipom oružja koje je u stanju da eliminiše teškooklopljena vozila sa znatno veće (i bezbednije) udaljenosti i to iz prvog pokušaja! Povećanjem penetracione moći bojne glave ovog projektila sva prethodna sredstva korišćena u pešadijskoj protivoklopnj borbi (tipa anti-tenkovske puške – Boys Anti-Tank Rifle (Stanchion) V. Britanija 1934. god.; antitenkovske rakete tipa „M1 Bazooka“ SAD 1942. god.; magnetske antitenkovske mine) polako gube smisao, kako zbog slabe penetracione moći, tako i zbog činjenice da se izvršilac mora znatno približiti oklopnom vozilu da bi izvršio gađanje [1].

## Prva generacija protivoklopnih vođenih projektila Zapadne Evrope, Izraela i Indije

*Prva generacija protivoklopnih vođenih projektila* je ručno vođeni „MCLOS (Manual Command to Line of Sight – ručna komanda na vidnoj liniji)“, projektil koji zahteva od operatora da džojstikom upravlja i navodi projektil u metu. Veza između projektila i operatora uspostavlja se tankim mikrokablom različite dužine koji se odmotava sa letom projektila, omogućavajući na taj način njegovo precizno navođenje [2].



Slika 1 – HEAT tj. shaped charge bojna glava

**Vickers Vigilant** je ručno vođeni projektil armije Velike Britanije. Proizveden je 1956. godine. U sastavu britanskih oružanih snaga zamenjen je sistemom Swingfire. Operator vizuelno prati metu, a zatim lansira projektil. Po lansiranju on upravlja projektilom preko džojstika, vodeći ga ka meti. Autopilot projektila koristi žiroskop za promenu pravca i visine kretanja. Ovaj projektil poseduje visokoeksplozivnu antitenkovsku bojnu glavu „HEAT“ (slika 1), mase 6 kg. Ukupna masa projektila je 14 kg. Maksimalan domet joj je 1375 m, koji dostiže za 12,5 s, a brzina kretanja 155,5 m/s. Penetrira oklop debljine 600 mm.

**Bantam (Bofors ANti-TAnk Missile)** ili **Robot 53 (Rb 53)** jeste ručno vođeni projektil švedske armije. Proizveden je 1963. godine i bio je u operativnoj upotrebi švedske i švajcarske armije. Odlikovala je „shaped charge“ bojna glava mase 7 kg, brzina kretanja 85 m/s, a domet 2000 m.

**Cobra** [3] (slika 2) jeste nemačko-švajcarski proizvod, prva protivoklopna vođena raketa nastala kao rezultat saradnje dve zemlje. Kao i njeni savremenici Cobra sistem je ručno vođeni projektil kojim operator upravlja pomoću džojstika. Bojna glava HEAT bila je mase 2,5 kg,

a maksimalan domet rakete oko 1600 m. Proizvedena je 1956. godine, a u upotrebi nemačke armije bila je do 1968. godine, kada je zamenjena sistemima **Cobra 2000** i **Mamaba**, koje su, takođe, ručno vođeni projektili, ali sa poboljšanim navođenjem i elektronikom u odnosu na sistem Cobra. Ovaj sistem se pokazao veoma nepouzdanim u borbenim dejstvima u kojima je učestvovao (šestodnevni rat i Indo-pakistanski rat). Borbena upotreba je pokazala da je projektil neefikasan i težak za upravljanje.

**Entac (ENgin Téléguidé Anti-Char)** ili **MGM-32A** [4] (slika 3) jeste francuski ručno vođeni protivoklopni projektil, a zbog stepena svoje rasprostranjenosti i činjenice da se i dan-danas nalazi u operativnoj upotrebi brojnih zemalja, uključujući i Francusku, smatra se jednim od najboljih projektila MCLOS generacije. U upotrebi francuske armije nalazi se od 1963. godine, a njena serijska proizvodnja prestala je 1974. godine do kada je proizvedeno preko 150 000 projektila.

Naime, radi se o projektilu „man portable“, koji se lansira iz metalne kutije, koja je povezana sa operatorom (slika 4). Sistem omogućava operatoru da kontroliše 10 lansirnih kutija. Sistem upravljanja i veze operator – raketa čini tanki mikrokabl – MCLOS. Masa projektila je 12,5 kg, dimenzije 840x152 mm sa bojnou glavom mase 4 kg i penetracionom moći od 650 mm. Domet projektila je 2 km, a brzina kretanja 100 m/s. Ovaj projektil nalazi se u upotrebi u: Francuskoj, SAD, Libanu, Norveškoj, Južnoj Africi i Kanadi.

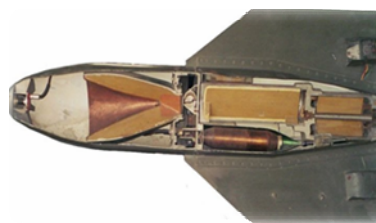
**Projektil SS.10** [5] (**S**urface to **S**urface) (slika 5) jeste preteča sistema Entac. Potiče iz Francuske, a u operativnoj upotrebi je od 1950. godine. Sa bojnou glavom mase 5 kg i dometom od 1600 m ovaj projektil probija oklop deo 750 mm. Brzina joj je oko 80 m/s, a lansira je pojed-



Slika 2 – Cobra model projektila



Slika 3 – Entac projektil u lanseru (metalna kutija)



Slika 4 – Poprečni presek Entac projektila

nac, bilo sa zemlje ili, uz određene modifikacije, sa vozila. Iako se pokazao kao dobar u borbenim dejstvima, zbog napretka tehnologije, ali i novih zahteva koje je postavljalo tržište, zamenjen je sistemima Entac.



Slika 5 – SS.10 projektil



Slika 6 – SS.11 projektil montiran na helikopter

Projektil **SS.11** [6] (slika 6) predstavlja modifikaciju SS.10 sistema sa osnovnom razlikom što se ovaj projektil lansira sa helikoptera. Kuriozitet ovog projektila jeste što je bio prvi protivoklopni vođeni projektil u svetu koji je lansiran sa helikoptera. Masa mu je 30 kg, brzina 190 m/s, a domet 3 000 m. Sistem navođenja je MCLOS, a autopilot projektila radi na principu žiroskopa.

## Druga generacija protivoklopnih vođenih projektila Zapadne Evrope, Izraela i Indije

*Druga generacija protivoklopnih vođenih projektila* označava se skraćenicom „SACLOS“ (**Semi-Automatic Command to Line Of Sight**) [7] i predstavlja poluautomatsko vođenje projektila na liniji vidnog polja. Za razliku od prve generacije, ovde operator kontinualno usmerava projektil na cilj, preko uređaja za osmatranje. Posle toga dalje vođenje preuzima elektronika na uređaju za osmatranje i na projektilu. Generalno gledano, postoje dva principa na kojima funkcioniše SACLOS:

- **žično i radio-vođen SACLOS (wire and radio guided SACLOS)** – uređaj za osmatranje računa ugaonu razliku između pravca kretanja projektila i pozicije mete, emitujući zatim elektronski signal projektilu, što za posledicu ima korekturu pravca leta projektila. Signal može biti emitovan u vidu radio-talasa ili preko mikrokabla. Nedostatak prenosa signala radio-talasila jeste što se može ometati, dok je nedostatak mikrokabla njegova dužina i mogućnost kidanja;

- **zrakom vođen SACLOS (beam – riding SACLOS)** – kod ovog tipa vođenja uređaj za osmatranje emituje usmeravajuće signale koji „osvetljavaju“ metu. Detektor na projektilu, koji se može nalaziti ili u nosu

ili u repu projektila „traži“ signal i na taj način vrši korekturu kretanja projektila održavajući ga na centru zraka (jahanje na zraku – beam riding). Radarska emisija zraka je najuobičajnija forma kod ove generacije projektila, mada je tokom osavremenjavanja i prelaska sa druge na treću generaciju uvedeno i lasersko osvetljavanje mete.

Kod ove generacije projektila znatno je smanjen uticaj ljudskog faktora. Takođe, stepen uvežbanosti operatora je mnogo manje važan nego kod MCLOS, ali je i dalje bilo neophodno stacionirano prisustvo operatora, što ga je činilo ranjivim.

**ERYX** [7, 8] (slika 7) jeste kratkodomni portabl SACLOS, projektil proizveden u kooperaciji Francuske i Kanade. Uređaj za osmatranje kod ovog tipa projektila ostvaruje komunikaciju mikrokablom (princip 1 SACLOS). Ovaj projektil koristi takozvano „meko lansiranje“, što omogućava njegovu upotrebu u urbanim sredinama. Ima malu brzinu pri lansiranju (18 m/s), što mu je omogućeno potisnim vektorima ugrađenim u raketu. Tokom leta razvija brzinu od 245 m/s. Krajnji dolet ovog projektila je 600 m. Bojna glava ovog projektila je sa tzv. tandemskim punjenjem (bojna glava sa dva ili više stadijuma detonacije i koristi se za probijanje „reaktivnih“ oklopa – oklop koji je dizajniran da odreaguje i amortizuje bojeve glave tipa HEAT). Masa projektila je 10,2 kg, a sa lanserom iznosi 14 kg. Penetraciona moć je velika, a sa tandemskom bojnog glavom ovaj „mališa“ probija reaktivni oklop debljine 900 mm. U operativnoj upotrebi se nalazi od 1994. godine u okviru francuskih, kanadskih i norveških snaga.



Slika 7 – ERYX

**HOT** [7, 8] (slika 8) koji postoji u tri varijante (HOT 1, HOT 2, HOT 3) jedan je od najboljih projektila ove generacije, nastao kao proizvod kooperacije Nemačke i Francuske. Lansira se iz cevi, vodi uređajem za osmatranje, a komande se prenose preko mikrokabla. Jednom rečju – SACLOS. Prva verzija ovog projektila bila je predviđena da se montira na vozilo, da bi se kasnijim modifikacijama prevela na helikopter tipa Tiger. Sama činjenica da se ovaj projektil nalazi u upotrebi u 20 armija širom sveta dovoljno govori o njegovom kvalitetu i efikasnosti. Još je



Slika 8 – HOT 3 projektil

dan kuriozitet koji prati ovaj projektil jeste veoma niska cena 6,195 \$ (HOT 3) i 2,450 \$ za projektil. Projektil ima masu od 24 kg i domet od 4000 m.



Slika 9 – MILAN projektil

**MILAN** [10, 11, 12, 13, 14] (**Missile d'Infanterie Léger ANtichar**) jeste evropska protivoklopna vođena raketa. Sistem za vođenje je SACLOS, a transmisija signala odvija se preko kabla. U operativnoj upotrebi je od 1972. godine od kada je sve do danas doživela brojne izmene i prošla nekoliko stadijuma u svom razvoju, a napredak se prevažno odnosio na izmene na bojnoj glavi. Glavni razlog zašto se ovaj projektil

našao u ovom radu je MIRA termal sight, koji omogućava ovom projektilu uspešno dejstvo čak i noću!



Slika 10a – Francuski vojnik lansira MILAN projektil

MILAN projektil je proizveden u pet varijanti označenih kao MILAN (Single, Shaped Charge), MILAN 2 (Single, Shaped Charge), MILAN 2T (Tandem, Shaped Charge), MILAN 3 (Tandem, Shaped Charge), MILAN ER (povećan domet). Masa ovog projektila je 7,1 kg, domet 2000 m, a brzina 200 m/s. Sistem njegovog upravljanja je na principu potisnih vektora. Takođe, lansirna rampa može biti montirana na vozilo, iako je



osnovni model namenjen za individualnu upotrebu (slika 10a i 10b). Zemlje koje poseduju projektil MILAN (34 zemlje) jesu: Alžir, Austrija, Brazil, Bosna i Hercegovina, Belgija, Čad, Kipar, Estonija, Egipat, Francuska, Nemačka, Gruzija, Grčka, Sirija, Indija, Irska, Iran, Irak, Italija, Kenija, Liban, Libija, Meksiko, Maroko, Pakistan, Portugal, Kina, Singapur, Južna Afrika, Španija, Turska, Velika Britanija i Urugvaj. Sama činjenica da 34 zemlje imaju ovaj projektil u upotrebi dovoljno govori o njegovoj efikasnosti i operativnom dejstvu. Slobodno se može reći da je projektil MILAN najbolji protivoklopni vođeni projektil u svojoj generaciji.



Slika 10b – projektil MILAN na postolju

**RBS 56 BILL 1** [7, 15] (Bofors, Infantry, Light and Lethal) jeste protivoklopni vođeni projektil švedske armije. U operativnu upotrebu ušao je 1985. godine. Radi se o SACLOS sistemu upravljanja sa laserskim navođenjem projektila koji je, pored optičkog uređaja za dnevno gađanje, opremljen i optičkim uređajem za noćno gađanje. Bojna glava ovog projektila pognuta je za 30° i aktivira se proksimalnim upaljačem, kada projektil prolazi iznad mete. Ovakav oblik bojne glave omogućava ovom sistemu da udari u tanji deo oklopa. Kada se lansira njena brzina je 72 m/s, koja je posledica gasova u zadnjem delu lansirne cevi. Kada napusti lansirnu cev potisni motor ubrzava raketu do 250 m/s. Kada se projektil udalji 400 m od lansirne cevi, potisni motor se odvaja i projektil nastavlja slobodan let.

**BILL 2** [16] naslednik je sistema BILL 1. Masa projektila BILL 2 je 10,8 kg, sa optičkim sistemom koji poseduje dnevno uveličavanje 7x, kao i noćnu optiku termal imaging. BILL 2 koristi OTA (Overfly Tank Attack), što znači da se projektil kreće standardnom horizontalnom trajektorijom, ali umesto da direktno pogodi metu, on je preleće metu i detonira bojnu glavu na gornjem delu oklopa koji je na tom mestu znatno tanji. Sistem vođenja je SACLOS, a signal se prenosi kablom.

Možda najimpresivniji arsenal protivoklopnih vođenih raketa poseduje Izrael. Sa svoja tri projektila iz druge generacije LAHAT, MAPATS i Nimrod, Izrael definitivno postaje najkonkurentnija zemlja na polju savremenih protivoklopnih projektilskih sistema.

**LAHAT** [17, 18, 19, 20] (**L**aser **H**oming **A**ttack or **L**aser **H**oming **A**nti-**T**ank) (slike 11 i 12) jeste poluaktivan laserski vođeni projektil male težine, razvijen 1992. godine. Može biti lansiran sa gotovo svih vozila (primarno dizajniran da se lansira sa tenkova Merkava 105 i 120 mm), kao i sa zemlje. Domet rakete je 6 do 8 km ako se lansira sa zemlje i do

13 km ako se lansira sa uzvišenja. Ovaj projektil ima preciznost od 0,7 m i pod uglom većim od 30° omogućava penetraciju oklopa debljine 800 mm. Ovaj projektil, takođe, na sebi nosi i aktivan protekcionni sistem koji ima mogućnost zaštite projektila. Njegova cena je 20 000 \$, masa je 13,5 kg, a razvija brzinu 275–300 m/s.



Slika 11 – LAHAT lansirni sistem



Slika 12 – LAHAT



Slika 13 – MAPATS projektil

**MAPATS** [21] (**MA**n **P**ortable **A**nti-Tank **S**ystem) (slika 13) jeste protivoklopni vođeni projektil sa „beam-riding SACLOS“ metodom vođenja. Kao zrak za „jahanje“ koristi laserski zrak kojim operater „gađa“ cilj. Lansirna rampa ima mogućnost podizanja do 30 stepeni, pa se može koristiti i kao protivhelikopterski projektil. Efektivni domet ovog projektila je 5 000 m, dok mu je masa 18 kg.

**Nimrod** [22, 23] (slika 14 i 15) jeste protivoklopni vođeni projektil dugog dometa koji je nastao kao projekat „Israel Aerospace Industries“. Pored mogućnosti da dejstvuje na oklopna vozila, može da dejstvuje na brodove i bunkere. Ovaj projektil ima poluaktivni laserski sistem vođenja, sposoban za dnevne i noćne operacije. Radi se o univerzalnom projektilu koji može biti montiran na borbena vozila, helikoptere i avione sa fiksnim krilima. Primarno lansirno vozilo koje koristi izraelska armija je helikopter CH-53. Pakovanje sa-



Slika 14 – Nimrod dometa 20 km

drži 4 projektila koji se mogu lansirati istovremeno. Postoje dve verzije Nimroda. Postoji standardna verzija dometa 26 km koje se lansiraju sa zemlje i varijanta od 20 km koja se lansiraju sa letelice. Efektivan domet projektila je 300 do 26 000 m. Dužina mu je 265 cm, a masa 96 kg. Brzina projektila je preko 2000 km/h, dok je bojna glava HEAT, Fragmentation-HE, termobarična.



Slika 15 – Nimrod dometa 26 km

## Treća generacija protivoklopnih vođenih projektila Zapadne Evrope, Izraela i Indije

Najnaprednija i poslednja generacija protivoklopnih vođenih projektila je treća generacija. Radi se o trenutno najmodernijim, kako tehnološki, tako i operaciono, projektilima dostupnim na svetskom tržištu. Vođenje kod ove generacije u potpunosti se oslanja na lasere, elektro-optičke imidžere ili W band radarske tragače, koji su ugrađeni u nos projektila. Kada se cilj zahvati, projektilu nije potrebno dalje vođenje tokom leta (fire and forget), tako da je operator slobodan da se povuče. Sistemi vođenja kod treće generacije ovih projektila su u fazi razvoja, te će o njima biti manje reči u odnosu na one iz prethodne generacije.

Kao glavna mana ovih projektila navodi se mogućnost elektronskog ometanja tokom leta, što je u znatno manjoj meri izraženo kod dve prethodne generacije, pogotovo kod onih kod kojih se transmisija signala obavlja preko kabla.

Jedini projektil treće generacije u Zapadnoj Evropi o kojem postoje određene informacije je **PARS 3 LR**, dok Švedska razvija projektil **MBT LAW**. Velika Britanija u operativnoj upotrebi ima projektil **Brimstone** koji se lansiraju sa letelice.

Izraelski projektil treće generacije koji je namenjen isključivo za pešadijsku upotrebu je **Spike**.

Priča o protivoklopnim projektilima treće generacije ne bi bila potpuna ako se ne bi pomenuo indijski **Nag**.

**MBTLAW** [24, 25, 26, 27] jeste treća generacija protivoklopnih vođenih raketa koju razvijaju Švedska i Velika Britanija. Bojna glava i delimično vođenje projektila bazirani su na projektilu druge generacije BILL 2. Ovo je „fire and forget“ projektil, sa takozvanim „soft lunch“ postoljem, što mu omogućava korišćenje u urbanim sredinama. Radi se o projektilu kalibra 115/150 mm, mase 12,4 kg. Početna brzina projektila je 40 m/s sa subsoničnim ubrzanjem. Domet projektila je od 20 do 600 m, dok je si-

stem vođenja „Predicted Line Of Sight (PLOS)“. Planiran je da uđe u upotrebu krajem 2009. godine.



Slika 16 – PARS 3 LR projektil

**PARS 3 LR** [28, 29] (slika 16), a poznat i kao **TRIGAT-LR**, protivoklopni je vođeni projektil dugog dometa. Zemlja porekla je Nemačka. Ovaj projektil se još nalazi na razvojnoj traci. Osmišljen je kao dalekometni projektil sposoban da uništava sve tipove oklopnih vozila, uz minimalnu mogućnost ugrožavanja vozila sa kojeg se lansira. Takođe, predviđeno je da se helikopteri nemačke armije opreme ovim projektilima.

Nemačka vlada je naručila 680 projektila po ceni od 380 miliona evra, a isporuka se očekuje do kraja 2010. godine. Masa projektila je 49 kg, a dužina 1,5 m. Domet mu je oko 6000–8000 m, a brzina 2000 km/h. Sistem vođenja ovog projektila koristi pasivne IC i televizijske CCD senzore.

**Brimestone** projektil [30, 31, 32, 33, 34, 35] (slika 17) dizajniran je po zahtevu RAF-a, a kao ideja o konstrukciji protivoklopne vođene rakete dugog dometa koja će dozvoliti jurišnim avionima napad na oklopna vozila. Glavni razlog za dizajn ovog projektila bio je operativno dejstvo britanske armije u Golskom ratu. Radi se o „fire and forget“ programabilnom projektilu treće generacije. Projektil je u stanju da sam traži metu i, ukoliko je ne nađe, da se samouništi. Bojna glava ovog projektila je Tandem Shaped Charge. Sistem vođenja uključuje tehnološki najnaprednije senzore millimetric wave radar (MMW), koji omogućavaju projektilu da nađe metu i odredi najpogodnije mesto za pogodak. Ova osobina mu omogućava visoku efikasnost u uklanjanju protivnika. Britanska armija instalirala je ovaj projektil na tri letelice: Tornado GR4, Eurofighter Typhoon Harrier i GR9. Projektil se, takođe, može montirati i na vozila. Dužina projektila je 1,8 m, a masa 48,5 kg. Domet mu je preko 20 km, a brzina je supersonična. Bojna glava je tipa HEAT tandem. Britanska armija razvija Brimestone 2, projektil koji će, pored millimetric wave radar (MMW) (radar na principu milimetrijskih talasa) vođenja, posedovati i semi-active laser (SAL) (poluaktivno lasersko vođenje), a izmene će postojati i na bojnoj glavi, gde se planira shaped charge (obikovanjeno punjenje) bojne glave sa blast fragmentation (raspad pri udaru) bojnom glavom.



Slika 17 – Brimestone projektil

**Spike** [36, 37, 38] predstavlja projektil „fire and forget“. Pre lansiranja se zahvati metu, a po ispaljivanju projektil ima automatsko samovođenje. Nos projektila je opremljen IC imidžerskim tragačem. Postoje tri verzije ovog projektila koje se razlikuju po dometu i označene su kao projektili, dugog, produženog i srednjeg dometa. Spike, takođe, ima tri operativna moda: Fire, Observe i Update koje ostvaruje preko optičkog kabla. Ovi modovi omogućavaju operatoru da:

- zahvati metu koja mu nije u liniji vidnog polja,
- menja ciljeve,
- kompenzuje kretanje mete ukoliko projektil iz nekog razloga ne sledi metu.

Sam projektil ima sposobnost „soft launch“ lansiranja, što je od izuzetnog značaja na modernim ratištima, naročito u urbanim sredinama.

Spike je podeljen u dva odvojena operativna dela: lansirno postolje i sam projektil (slika 18). Zajedno ukupna masa sistema je 26 kg. Spike se može koristiti i montiran na mnoga vozila koja uobičajeno nemaju protivtenkovsku aktivnost, što znatno doprinosi mobilnosti ovog sistema. Spike se proizvodi u četiri verzije:

- **Spike SR** – projektil kratkog dometa 200–800 m, namenjen je za isključivo pešadijsku upotrebu;

- **Spike MR** – još poznat kao Gil projektil je srednjeg dometa 200–2500 m, predviđen za pešadijsku upotrebu, kao i za upotrebu u specijalnim jedinicama. Projektil je težak 13 kg, kao i lansirna rampa sa baterijom mase 1 kg;

- **Spike LR** – verzija projektila dugog dometa; ima maksimalan domet od 4000 m i namenjen je za pešadijsku upotrebu, kao i za upotrebu na borbenim vozilima (slika 19);

- **Spike ER** – produžena ili ekstradugog dometa verzija projektila 8 000 m. Veći je u prečniku i znatno teži od prethodnih modela i obično je zakačen na vozilo.



Slika 18 – Spike sistem sa lansirnim postoljem



Slika 19 – Spike LR projektil lansiran sa postolja

Osnovne karakteristike projektila

Tabela 1

<b>Zemlja porekla</b>	Izrael	
<b>Masa</b>	projektil u kanisteru: 34 kg	
	lanser: 55 kg	
	baterija: 2 kg	
<b>Dužina</b>	167 cm	
<b>Brzina paljbe</b>	spreman za lansiranje za 30 s, a ponovno punjenje za 15 s	
<b>Domet</b>	800–8000 m, zavisno od verzije	
<b>Optika</b>	10x optički nišan	
<b>Bojna glava</b>	tandem charged HEAT	
<b>Detonacioni mehanizam</b>	udar	
<b>Sistem vođenja</b>	Infrared homing - Electro Optical (CCD, IR or Dual CCD/IIR), Passive CCD or dual CCD/IIR seeker	

Iako ne spada ni u zapadnoevropske ni u izraelske protivoklopne vođene projektile, ovaj projektil ubraja se u najmodernije protivoklopne vođene projektile današnjice.

Reč je o projektilu Nag.

Nag [39, 40, 41, 42] smatra se najsavremenijim protivoklopnim sistemom današnjice. Radi se o trećoj generaciji „fire and forget“ sistema. Sistem može da dejstvuje u svim vremenskim uslovima sa dometom od 4 do 7 km. Projektil koristi bojnu glavu tipa tandem HEAT, tešku 8 kg. Vođenje je infracrveno, kako sa dnevnom tako i noćnom mogućnošću dejstva. Projektil je ceo od fiberglasa i težak je 42 kg. Razvijene su dve verzije ovog projektila:

- NAMICA – za upotrebu u kopnenim snagama,
- Air Force – za upotrebu u vazduhoplovnim snagama.

Sistem NAMICA je prevashodno namenjen za upotrebu u kopnenim snagama. Opremljen je termalnim imidžerom za lociranje mete. Montira se na vozilo koje je pod punom borbenom gotovošću, teško 14,5 tona i kreće se brzinom od 7 km/h! (slika 20). Nosač je u stanju da nosi 12 projektila, od kojih je 8 u tzv. modu „ready to fire (spreman za dejstvo)“.



Slika 20 – NAMICA

## Zaključak

Prva generacija protivoklopnih vođenih projektila MCLOS imala je brojne nedostatke. Pored činjenice da su projektili bili, uglavnom, malog dometa, bilo je neophodno da operater provede sate i sate na trenažeru, kako bi bio u stanju da u borbenim uslovima vodi projektil ka cilju. Sam podatak da za lansiranje Maljutke (ruska protivoklopna vođena raketa prve generacije, koja se nalazi u upotrebi u Vojsci Srbije) operater mora da ima 2000 lansiranja na trenažeru dovoljno govori. Projektil u potpunosti zavisi od operatera, od momenta lansiranja do momenata pogotka mete, tako da je jasno da ovaj projektil ne može voditi neuvežban operater. Drugi bitan nedostatak je način prenošenja signala, odnosno kabl. Postoji verovatnoća da u toku leta dođe do prekidanja kabla, a samim tim gubi se i veza između operatera i projektila, čime taj projektil postaje neupotrebljiv. Treća mana jeste činjenica da operater mora da ima stalni vizuelni kontakt sa metom na relativno bliskom odstojanju, što ga u znatnoj meri izlaže opasnosti i riziku da sam postane meta oklopnog vozila po

kojem djeluje. Naravno, ova generacija projektila ima i svoje prednosti u odnosu na preteče, pa čak i u odnosu na neke savremenije sisteme. Kao glavna prednost ove generacije može se navesti činjenica da, pošto se upravljački signal do rakete dovodi kablom, mogućnost ometanja ovog sistema je gotovo nikakva.

Druga generacija protivoklopnih vođenih projektila SACLOS znatno je unapređena u odnosu na prvu generaciju. Povećan je domet i penetraciona moć projektila, poboljšan je sistem vođenja i smanjen ljudski faktor. Optički uređaj preko kojeg operater prati metu računa ugao između mete i projektila, vršeći korekciju pravca, a samim tim i preuzima vođenje projektila. Prenos signala je i dalje zadržan na kablom, pa nedostaci kablovskog prenosa signala ostaju i u drugoj generaciji. Napredak je postignut uvođenjem radio-talasne emisije signala, kao i „jahanja“ na laserskom zraku. Nedostatak ovih sistema prenosa signala jeste mogućnost protivnika da ga ometa. Iako je u znatnoj mjeri smanjen ljudski faktor, tj. operater ne vodi projektil preko džojstika, i dalje je bilo neophodno njegovo prisustvo, jer je optički uređaj koji vodi projektil morao imati vizuelni kontakt sa metom, koji je omogućavao upravo operater. Jasno je da je i ovde operater u neposrednoj opasnosti zbog blizine mete, jer ako operater ostvaruje vizuelni kontakt sa metom bez mogućnosti napuštanja pozicije, jasno je da i meta ima vizuelni kontakt sa operaterom.

Treća generacija protivoklopnih vođenih projektila je najnovija generacija, kojoj je povećan domet, penetraciona moć, mobilnost, u potpunosti je isključen ljudski faktor, a sistem vođenja zasnovan je na IC, satelitskom i laserskom vođenju. Sama oznaka treće generacije „fire and forget“ dovoljno govori o principu na kome je bazirana izgradnja projektila treće generacije. U „glavi“ projektila nalaze se kamere, termalni tragači, IC zraci, laserski zraci i brojni prijemnici i emiteri signala koji omogućavaju neverovatno precizno samovođenje rakete, gde je ljudski faktor u potpunosti isključen. Operater može biti svaki vojnik pešadije (govorimo o izraelskom Spikeu) koji po ispaljivanju rakete napušta mesto dejstva i sklanja se na bezbednu udaljenost, dok raketa, zahvaljujući svojoj glavi, počinje da „juri“ cilj. Sa druge strane, indijski Nag, koji se smatra trenutno najsavremenijim protivoklopnim vođenim projektilom, nije „single man use“, već projektil koji se montira na vozilo, a ceo spoj označen je kao NAMICA. Radi se o veoma mobilnom vozilu, sposobnom da djeluje na više ciljeva istovremeno, a koji je sam po sebi oklopno vozilo. Pored toga što je projektil znatno poboljšan u odnosu na svoje prethodnike, što je u potpunosti isključen ljudski faktor, kao glavni nedostatak ovog projektila ostaje sistem vođenja koji je podložan ometanju i „hakovanju“. Takođe, zbog sofisticirane tehnologije koju koristi, projektil je znatno podložniji kvarovima, što ga ipak ne čini savršenim.

Može se zaključiti da savršen protivoklopni projektil ne postoji, kao što ne postoji ni savršen oklop. Sve dok rastu tendencije u razvoju oklopa, rašće i tendencije u razvoju protivoklopnih projektila i obrnuto.



## Literatura

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-tank\\_guided\\_missile](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-tank_guided_missile)
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/MCLOS>
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Cobra>
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Entac>
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/SS.10>
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/SS.11>
- [7] Jane's Infantry Weapons, 2005–2006.
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/ERYX>
- [9] <http://www.india-defence.com/reports-4183>
- [10] <http://britains-smallwars.com/Falklands/b-weapons.htm#milan>
- [11] [http://www.mbdba-systems.com/mbdba/site/FO/scripts/siteFO\\_contenu.php](http://www.mbdba-systems.com/mbdba/site/FO/scripts/siteFO_contenu.php)
- [12] <http://www.armedforces.co.uk/army/listings/I0040.html>
- [13] <http://www.army-technology.com/projects/milan/>
- [14] <http://www.globalsecurity.org/military/world/europe/milan.htm>
- [15] [http://en.wikipedia.org/wiki/BILL\\_1\\_Anti-tank\\_guided\\_weapon](http://en.wikipedia.org/wiki/BILL_1_Anti-tank_guided_weapon)
- [16] <http://www.army-technology.com/projects/bofors/>
- [17] [http://www.afcea.org/signal/articles/templates/SIGNAL\\_Article\\_Template](http://www.afcea.org/signal/articles/templates/SIGNAL_Article_Template)
- [18] [http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile\\_systems/anti-armor/lahat/LAHAT.html](http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile_systems/anti-armor/lahat/LAHAT.html)
- [19] <http://www.defense-update.com/directory/lahat.htm>
- [20] <http://www.iai.co.il/Default.aspx?docID=16163&FolderID=34281&lang=en>
- [21] [http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile\\_systems/anti-armor/mapats/MAPATS.html](http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile_systems/anti-armor/mapats/MAPATS.html)
- [22] [http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile\\_systems/air\\_missiles/nimrod/Nimrod.html](http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile_systems/air_missiles/nimrod/Nimrod.html)
- [23] [http://www.pmulcahy.com/atgm/israeli\\_atgm.htm](http://www.pmulcahy.com/atgm/israeli_atgm.htm)
- [24] [http://www.army-technology.com/projects/mbt\\_law/](http://www.army-technology.com/projects/mbt_law/)
- [25] <http://www.mil.fi/laitokset/tiedotteet/3635.dsp>
- [26] <http://www.defenseindustrydaily.com/2005/12/sek-500m-order-from-sweden-for-rb-57-nlaw/index.php>
- [27] [http://www.publications.parliament.uk/cgi-bin/newhtml\\_hl?DB=semukparl&URL=/pa/cm200304/cmhansrd/vo040708/text/40708w16.htm#40708w16.html\\_spnew3](http://www.publications.parliament.uk/cgi-bin/newhtml_hl?DB=semukparl&URL=/pa/cm200304/cmhansrd/vo040708/text/40708w16.htm#40708w16.html_spnew3)
- [28] <http://www.diehl-bgt.de/index.php?id=563&L=1>
- [29] [http://www.army-technology.com/projects/lr\\_trigat](http://www.army-technology.com/projects/lr_trigat)
- [30] Eklund, Dylan (2006). „Fire and Brimstone: The RAF's 21st Century Missiles”. *RAF Magazine*: pp. 19–25.
- [31] [http://www.mbdba.net/site/FO/scripts/siteFO\\_contenu.php?lang=EN&noeu\\_id=97](http://www.mbdba.net/site/FO/scripts/siteFO_contenu.php?lang=EN&noeu_id=97)
- [32] <http://www.army-technology.com/projects/brimstone/>

- [33] <http://www.boeing.com/defense-space/missiles/brimstone/flash.html>  
 [34] <http://www.mod.uk/dpa/projects/Brimstone.htm>  
 [35] <http://www.raf.mod.uk/equipment/brimstone.cfm>  
 [36] [http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile\\_systems/anti\\_armor/gill\\_spike/GillSpike.html](http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile_systems/anti_armor/gill_spike/GillSpike.html)  
 [37] <http://defense-update.com/directory/spike.htm>  
 [38] <http://www.army-technology.com/projects/gill/>  
 [39] <http://www.bharat-rakshak.com/MISSILES/Nag.html>  
 [40] <http://www.youtube.com/watch?v=7rWJPi7K1Fc>  
 [41] <http://www.hindu.com/2008/12/31/stories/2008123155171100.htm>  
 [42] <http://www.hindu.com/2008/12/26/stories/2008122655801200.htm>

#### ANTI-TANK GUIDED MISSILES OF WESTERN EUROPE, ISRAEL AND INDIA

##### *Summary:*

*Anti-tank guided missiles are designed to hit and destroy heavily-armored tanks and other armored fighting vehicles. This review offers a historical and technical overview (development of missiles throughout generations and basic data about combat and operational actions) of this type of weapons in Western Europe, Israel and India. The review also offers prices of some missiles and tendencies of development in this branch.*

*Anti-tank guided missiles are primarily designed to destroy armoured tanks as well as other armoured vehicles. Anti-tank guided systems differ in size, from small ones (shoulder-launched missile weapons carried by a single person) to complex weapon systems (crew-served, vehicle-mounted and airborne systems).*

*The first generation of anti-tank guided missiles is a manually guided MCLOS (Manual Command to Line of Sight) projectile requiring an operator to guide and steer it to a target by a joystick.*

***Vickers vigilant** is a British anti-tank wire-guided missile, produced in 1956. **The Bantam** (Bofors Anti-Tank Missile) or **Robot 53** (RB 53) is a Swedish anti-tank wire-guided missile, produced in 1963. **Cobra** is a German - Swiss product which entered the operational use in 1956. It was replaced by **Cobra 2000** and **Mamaba systems**, which are anti-tank guided missiles of the first generation, but with improved guidance and electronics. **ENTAC** (Engin téléguidé anti-char) or **MGM Petronor-32A** is a French anti-tank wire-guided missile, widely spread and still in the operational use in many countries, France included. It is one of the best missiles of its generation. **SS.10** preceded the **ENTAC** system. Its country of origin is the same (France), and it has been in the operational use since 1950. The **SS.11** is a modification of the SS.10 system, used for launching from helicopters.*

*The second generation of anti-tank guided missiles is designated by the abbreviation SACLOS (Semi-Automatic Command to Line of Sight) and represents a semiautomatic guidance of missiles in line. Generally, there are two SACLOS operating principles:*

- *Wire and Radio guided SACLOS*
- *Beam-Riding SACLOS*

***ERYX** is a short-range portable SACLOS produced by France and Canada. **HOT**, existing in three variations (HOT1, HOT 2, HOT 3), is one of the best projectiles of this generation, created as a product of cooperation of Germany and France. **Milan** (Missile d'Infanterie Léger Antichar) is a European leader escadrille SACLOS missile system. **PBS 56 BILL 1** (Bofors, Infantry, Light and Lethal) is an anti-tank guided missile of the Swedish Army. **BILL 2** is the heir of the **BILL 1** system. **LAHAT** (Laser Homing Attack or Laser Homing Anti-Tank) is an anti-tank guided missile of low gravity, developed in 1992. Its country of origin is Israel. **MAPTS** (Man Portable Anti-Tank System) is an anti-tank guided missile with Beam-Riding SACLOS guidance. The country of origin is also Israel. **NIMROD** is a long-range anti-tank guided missile, created as a project of the Israel Aerospace Industries.*

*Most technologically advanced and the last generation of anti-tank guided missiles is the third generation. These are the best technological and operational missiles currently available on the world market. This generation fully relies on lasers, electro-optical imagers or W-band radar seekers in the nose of the missile.*

***MTBLAW** is the third generation of anti-tank guided missiles developed by Sweden and Great Britain. The warhead and a part of the missile guidance system are based on **BILL 2**. **PARS 3 LR**, known also as **TRIGAT-LR**, is along-range anti-tank guided missile from Germany, still under development. British **BRIMSTONE** is designed according to a RAF request for a long-range anti-tank guided missile which allows strike aircraft to attack armoured vehicles. **Spike**, a „fire and forget“ missile, is intended for infantry use and is vehicle-mountable. Its country of origin is Israel. **Nag** is considered to be a cutting-edge anti-tank guided missile. It is the third generation of fire and forget systems. The system can operate in all weather conditions with a range from 4 to 7 km. The country of origin is India.*

*Key words: armor, missile, guidance, MCLOS, SACLOS, generations of anti-tank guided missiles, technical and tactical data.*

Datum prijema članka: 09. 09. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 12. 11. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 14. 11. 2009.

## MATEMATIKA U VOJNOTEHNIČKIM DOSTIGNUĆIMA

Jelenković B. Natalija, Dvanaesta beogradska gimnazija,  
Beograd

UDC: 623:51

### Sažetak:

*Matematika se definiše kao vrsta filozofije ili pogleda na svet, sredstvo za razvijanje apstraktnog mišljenja, a služi i za pojednostavljenje prirodnih nauka. Prilično je specijalna – izučava količinu i poredak; uopšteno, to je nauka o formalnim strukturama. Ona je i kombinacija slobode kreativne misli i strogih logičkih pravila, ali i deduktivna nauka koja daje pravila i zakone pomoću kojih baratamo brojevima i prostorom. Kao takva, matematika je i savremeni alat za vojnotehnička dostignuća modernog doba, kao što su: sve vrste radio i radio-relejni veza, radarska sredstva, sredstva za upravljanje, navigaciju, televizijska, optoelektronska, hidro-akustična sredstva, sredstva za protiv-elektronsku borbu, kao i mnoga elektronska tehnička sredstva, naoružanje i vojna oprema Kopnene vojske, Vazduhoplovstva i protiv-vazduhoplovne odbrane, Ratne mornarice.*

*Prethodno istaknute definicije matematike su korišćene kao osnova za uopšteno sistematizovano izlaganje metodom uporednog opisivanja, nabrojanjem činjenica, definisanjem pojmova.*

*Cilj članka je da se na osnovu nabrojanja postojećih primena matematike i proširivanjem znanja može dalje napredovati u istraživanju mnogih vojnih oblasti. Pored toga, članak ima i pedagoški cilj, a to je da kroz opise i karakteristike sredstava ratne tehnike zainteresuje i afirmiše značaj i lepotu vojnog poziva. Rezultati razvoja informacionih tehnologija su, pored ostalog, i savršenija vojnotehnička dostignuća, a predstavljaju i inspiraciju za mnoge inovacije i uspehe.*

*Ključne reči: primena matematike, vojna kibernetika, fraktali, matematičko modeliranje, linearno programiranje, kompjuterska forenzika, veštačka inteligencija, kiber prostor, informacione tehnologije.*

### Uvod

**N**a samom početku matematičkih primena u vojne svrhe mogu se uočiti brojni izrazi, osnovni proračuni zasnovani na jednostavnim linearnim jednačinama, srazmere i osnove sistema proporcija, proračuni

u dijagramima zavisnosti, osnovne geometrijske konstrukcije primenljive u fortifikaciji, triangulaciji, vojnoj psihologiji, ratnom vazduhoplovstvu. Osnovni elementi analitičke geometrije, planimetrije, stereometrije, trigonometrije su, takođe, masovno korišćeni kao osnova i matematički aparat u prvim vojnim primenama. Matematičke discipline koje se koriste u složenijim vojnotehničkim dostignućima su: teorija diferencijalnih i integralnih jednačina, varijacioni račun, zatim funkcionalna analiza, teorija verovatnoće, statistika, matematička logika, teorija igara, numerička matematika. Matematika je, tako, za vojne svrhe osposobljavala za merenje raznih fizičkih veličina, za merenja u prirodi, za različita grafička prikazivanja, za tehniku računanja, za logičko razmišljanje, zaključivanje i povezivanje pojava u prirodi i društvu, prepoznavanje i prikazivanje oblika, za jasno i precizno izražavanje, toliko bitno u vojnom komandovanju [1].

Sa pojavom računara bitno se povećao broj matematičkih modela koji su se mogli istraživati, analizirati i definisati, prvo uz pomoć konvencionalnog programiranja, a kasnije i pomoću veštačke inteligencije. Sve to je dovelo do mogućnosti postavljanja računarskih eksperimenata i simulacija, realnih procesa koji dozvoljavaju složenije proračune, planiranja i predviđanja, ali i korišćenje ekspertnih sistema kao jedne od grupa inteligentnih sistema.

## Primena matematike

Na osnovu već postojećih matematičkih objekata, uz mnogostruka apstraktovanje, idealizacije i generalizacije, razvijaju se dalje matematički pojmovi i teorije. U procesu primene matematike u različitim naukama – matematizaciji, ostvaruje se prelaženje od apstraktnog ka konkretnom, kao i prenošenje metoda pri sistematizaciji i formalizaciji. Matematizacija nauka svodi se na prelaz od nedefinisanog ka definisanom, od manje definisanog ka više definisanom, pri čemu se pojavljuju pojmovi relativne i apsolutne istine.

Ispitivanjem i izučavanjem neke materijalne strukture nalazi se odgovarajuća matematička struktura koja se koristi za analizu objekta proučavanja i tako se mogu prikazati nove ideje, pretpostavke, prirodno-naučni pojmovi. Tako, na primer, problemi aerodinamike, hidrodinamike i meteorologije, primenjeni u vojne svrhe, opisuju se parcijalnim diferencijalnim jednačinama, a teorija igara je bitna za odabir bolje vojne strategije uz pomoć modela za proučavanje međusobnog uticaja oružanih snaga, kao i u kompjuterskim vojnim naukama gde se koristi kao interaktivni model iznalaženja rešenja. Linearna funkcija i teorija grupa imaju široku primenu u kriptografiji. To je nauka koja se bavi metodama očuvanja tajnosti informacija. Osnovna svojstva mehanizma šifrovanja su: zaštita tajnosti, integritet i autentičnost informacija. Jedan od prvih velikih vojskovođa koji je koristio šifrovane poruke bio je Julije Cezar. Inače, matematičar

Mihailo Petrović Alas je 1898. počeo je da radi sistem šifrovanja „Tri kartona“ i uspešno ga završio 5 decembra 1919. Taj novi sistem kriptografije ostao je u diplomatskoj i vojnoj upotrebi Srbije sve do 1941. godine.

Stvaranjem odgovarajućeg matematičkog modela, matematizacijom, razvijaju se neke specijalne nauke, kao npr. vojnotehničke i vojnoinformatičke nauke. One se dalje klasifikuju u sistemu vojnih nauka i mogu se istraživati samo s aspekta više nauka i naučnih disciplina koje su u funkcionalnoj vezi. Za vojnotehničke nauke to su, pored ostalih: balistika – nauka o kretanju projektila pod dejstvom pogonskog punjenja, raketna tehnika, konstrukcija oružja, a za vojnu informatiku vojna dokumentacija i vojna kibernetika.

Sve se više usavršava naoružanje na osnovama raketne tehnike i elektronike. Nagli razvoj ratne tehnike najrazličitijih vrsta i ubojne moći omogućio je i razvoj strategije, operatike i taktike. U sistemu rukovođenja i komandovanja koriste se automatizovani sistemi uz pomoć vojne kibernetike i teorije automatizacije upravljanja jedinicama. Američki naučnik Viner Norbert<sup>1</sup>(1894–1964) pod kibernetikom je podrazumevao celu oblast teorije upravljanja i komunikacija, kako kod mašina, tako i kod živih bića. Pojam kibernetike (reč se dobija od grčke reči koja u prevodu znači „kormilar“) proširuje se i dovodi u vezu sa matematikom, logikom, psihologijom, fizikom, elektrotehnikom i filozofijom. Kibernetika se definiše i kao teoretsko proučavanje komunikacionih i kontrolnih procesa u biološkim, mehaničkim, vojnim i električnim sistemima, sa težištem na poređenju ovih procesa u biološkim i veštačkim sistemima. Vojna kibernetika, kao nauka, osim sistema upravljanja jedinicama izučava i funkcionalne veze i uzajamnu zavisnost njegovih sastavnih elemenata. Računari kao osnovno sredstvo vojne kibernetike i automatizacije kroz matematičke i logičke formule sastavljaju pravila za izvršenje mnogih vojnih zadataka i poslova i tako olakšavaju rad, rukovođenje i komandovanje jedinicama.

Ako želimo savršenu mašinu, npr. raketu koja tačno pogađa cilj, ili bezbednu letilicu koja sigurno leti vazdušnim prostorom i precizno lansira svoje projekte, razvoj plovni borbenih sistema za odbranu mora i morskobala, stvorimo uslove za efikasno funkcionisanje čoveka i ratne tehnike, i to uz stvaranje i korišćenje mnogih elektronskih tehničkih sredstava, naoružanja i vojne opreme Kopnene vojske, Vazduhoplovstva i protiv-vazduhoplovne odbrane, Ratne mornarice. Elektronska sredstva su sredstva svih vrsta radio i radio-relejni veza, radarska sredstva, sredstva za upravljanje, navigaciju, televizijska, optoelektronska i hidro-akustična sredstva. Za suprotstavljanje ovakvim sredstvima razvila su se i sredstva za protiv-elektronsku borbu, i to: sredstva za elektronsko izviđanje, za aktivna i pasivna elektronska ometanja, lažni ciljevi, mamci i bespilotne letilice.

<sup>1</sup> Doktor filozofije iz oblasti mat. logike, otac savremene kibernetike.

Tek razvojem računara fraktali kao umetnička oblast matematike mogla je da dođe do izražaja. Primer primene fraktala u računarskoj grafici predstavlja stvaranje terena, posebno planina. Iteracijom delova funkcija u tri dimenzije moguće je kreirati grmove, drveće, busene trave i druge prirodne oblike. Ako sve prethodno izradimo trodimenzionalno, te na kraj svake „grančice“ dodamo list, rezultati su slični stvarnim oblicima u prirodi. Sve to je interesantno za stvaranje nekog novog virtuelnog prostora primenljivog u vojne svrhe. Inače, fraktali su geometrijski oblici, koji mogu biti podeljeni u delove, od kojih je svaki minijaturna kopija celine – to su svetovi unutar svetova. Oni su vizuelne projekcije matematičkih formula.

Fraktali se koriste i u kompresiji sažimanju podataka, seizmologiji za predviđanje nekih stohastičkih procesa, za analiziranje seizmičkih šema, modeliranje erozije tla, opisivanje organskih materija, a dalja primena je slaganje snopova optičkih vlakana, oponašanje rada neuronskih mreža.<sup>2</sup> Zbog mogućnosti dobre kamuflaže proizvodi se kamuflažna vojna odeća sa oblicima fraktalne strukture koja se u prirodi teže zapaža, jer nema matematičke pravilnosti. Posebno interesantnu primenu u vojnoj industriji, fraktalne strukture imaju pri izradi minijaturnih antena širokog spektra frekvencija, koje se zbog svojih geometrijskih karakteristika mogu koristiti za proizvodnju mobilnih telefona. Praktično sve prednosti fraktala dolaze do izražaja zbog znatno manjih dimenzija, manjih gubitaka, većeg stepena iskorišćenosti i ogromne prilagodljivosti u prirodnoj sredini. Zbog svega toga fraktali su budućnost u razvoju modernih tehnologija koje su, pored ostalog, bazirane na matematičkom modeliranju i linearnom programiranju.

Matematičko modeliranje u našim oružanim snagama nastalo je sredinom 20. veka, stvaranjem modela:

- ocene stepena uništenja i ciljeva,
- ispitivanja efikasnosti gađanja stvaranjem matematičkog aparata modeliranja i analize konfliktnih situacija,
- pri rešavanju borbene upotrebe i ocene efikasnosti pojedinih vrsta naoružanja borbenog i materijalnog obezbeđenja.

Za obuku i povećanje spremnosti vojnog kadra matematičko modeliranje ima posebnu važnost na osnovu modela i korišćenjem matematičkog i logičkog aparata. Tako su nastala efikasna tehnička sredstva za obučavanje – trenažeri ili simulatori raznih vrsta, kao što su: automatski piloti, simulacija pogodaka u oklopnim jedinicama, obuka i rukovođenje sa protivtenkovskim i drugim raketama. Ovde su korišćeni složeni matematički modeli u koje se unosi ponašanje čoveka u sistemu ili se njegovo ponašanje simulira prenošenjem matematičkog modela na računar [2].

<sup>2</sup> Računanje u neuronskoj mreži je, uglavnom, paralelno, tako da brzina obrade simulirane neuronske mreže može biti znatno uvećana korišćenjem paralelnih procesora. Memoriji se pristupa uz pomoć sadržaja, a ne adrese i radi istovremeno sa više informacija; memorisanje i obrada predstavljaju jednu kompaktnu celinu, a ima sposobnost da menja svoju strukturu i funkciju.

Kasnije se matematičko modeliranje koristilo i u:

- vojnoj ekonomiji, koja koristi i statistički metod, eksperimentalni i aksiomatski, ali i metode istraživanja,
- u lingvistici i obradi jezika, gde savremene informacione tehnologije danas sve više nalaze primenu. Razvojem interdisciplinarnih naučnih disciplina koje kombinuju saznanja i tehnike informatike, matematike i lingvistike stvorene su računaska lingvistika i obrada prirodnih jezika. Napredak informacionih tehnologija u velikoj meri je povezan sa razvojem programskih jezika visokog nivoa koji oponašaju ljudski jezik i liče na njega. Tako je omogućena lakša, brža i intuitivnija izrada računarskih programa čiji je način rada zasnovan na matematici i logičkom razmišljanju,
- sastavljanju matematičkog modela odgovarajućeg procesa za automatsko upravljanje borbenim sistemima, što zahteva strogo matematičko treniranje u primenu najvišeg matematičkog aparata,
- programiranju simulacionog modela sa ciljem da simulira borbeni zadatak, ali sa neophodnim većim brojem simulacionih eksperimenata i potrebnim poznavanjem više metoda i programskih alata. Primena simulacionih modela u vojsci je još uvek u početnoj fazi razvoja, pa je neophodna dalja kreativnost i usavršavanje.

Prema svemu napred izloženom matematičko modeliranje je veza matematike sa drugim naukama, dok je samo modeliranje proces kojim se uspostavlja veza između realnog sistema i modela. Matematičko modeliranje koristi i numeričku analizu u projektovanju sistema i procesa, ali i linearno programiranje kao matematičku metodologiju za rešavanje linearnih problema, kod kojih su i ciljna funkcija i ograničenja linearni.

Linearno programiranje se u vojnotehničke svrhe primenjuje u rešavanju tehničkih i operativno-taktičkih problema, kao što su:

- nalaženje optimalnih rešenja pri izboru i razmeštanju naoružanja i opreme na borbenim sredstvima;
- optimalna rešenja pri projektovanju i gradnji brodova ratne mornarice;
- optimizacije vojnotransportnih zadataka u angažovanju minimalnog broja transportnih sredstava za najkraće vreme ili najmanjih troškova raspodele utroška municije po ciljevima, tako da matematičko ocenjivanje broja uništenih ciljeva bude maksimalno;
- utvrđivanje sistema naoružanja PVO radi maksimalne efikasnosti s obzirom na troškove izgradnje, održavanja, eksploatacije, itd.

Tako dolazimo do izazova 20. veka, do kompjuterske forenzike, koja ima za cilj prikupljanje, identifikaciju, isporuku i dokumentovanje kompjuterskih dokaza za potrebe države, vojnih agencija, obaveštajnih službi. Razvojem informaciono-komunikacione tehnologije i mreža, kompjuterska forenzika postaje tesna za nove oblike kriminala, tj. za cyber kriminal. Istraga tada dobija nove zahteve, dokazi nove oblike, a



istraživači se susreću sa novim potrebama. Kriminal se proširuje na nove sfere i istrage se sve više vode u privatnom sektoru. Postepeno nastaje cyber forenzika, kao usavršena, kompleksnija, novija disciplina kompjuterske forenzike. Ona ima multidisciplinarni predmet, bavi se otkrivanjem, analizom i rekonstrukcijom dokaza dobijenih iz kompjuterskih mreža, sistema, medija, perifernih uređaja, korišćenjem multidisciplinarnih znanja, kojima se omogućava rešavanje krivičnih slučajeva. Dokazi koji se prikupljaju su u realnom vremenu, na mreži, za razliku od klasičnih kompjuterskih dokaza koji su se prikupljali *post festum* i *of line*, pa se zbog svega analiziraju razne zloupotrebe, upadi, maliciozna ponašanja u i na mrežama. Veliki značaj i primenu u kompjuterskoj forenzici i njenim disciplinama imaju diskretna matematika<sup>3</sup> kojoj pripadaju teorija grafova, matematička logika, teorija brojeva, kombinatorika, kao i pojedini delovi kontinualne matematike – analiza, geometrija i topologija.

## Informaciona tehnologija – osnovni pojmovi

Informaciona tehnologija unela je promene pretvarajući digitalni univerzum u vitalni resurs koji omogućava korisnicima nove načine komuniciranja, informisanja, obrazovanja, rada i zabave. U ovom modernom dobu porast i globalizacija računarskih mreža, s mnoštvom različitih ljudi, računara, veza, sadržaja i mogućnosti, stvara veću zavisnost društva i vojnih snaga od informacione tehnologije, ali i mnoge probleme i sukobe. Brojni računari, međusobno povezani računarskim mrežama sa višestrukim vezama, ogromnim brojem pristupnih tačaka, predstavljaju za kiber napadača pravo bogatstvo izbora mesta, načina i vremena napada. Ciljevi mogu obuhvatati vojne jedinice, ali i infrastrukturu za njihovu podršku. Globalni informacioni prostor, koji čine izmešane civilne i vojne informacione mreže i tehnologije, sa elektronskim putanjama koje povezuju pojedince, grupe, organizacije i nacije širom sveta i kojima se razmenjuje enormna količina najraznovrsnijih podataka i informacija, formira jedan novi virtuelni svet – kiber prostor.

Većina država zasniva odbrambene sisteme, sisteme državne uprave, kompleksne upravljačke sisteme i sisteme iz drugih informacionozavisnih oblasti na informacionim tehnologijama koje su nastale, prvo korišćenjem konvencionalnih programa i programiranja, a zatim uz pomoć veštačke inteligencije i ekspertnih sistema. Dalje su istaknute njihova svojstva iz kojih proizilaze uočene i prikazane mane i prednosti.

<sup>3</sup> Diskretna i kontinualna matematika su dve grane savremene matematike – matematike mogućih promenljivih odnosa i međusobnih veza između veličina.

**Konvencionalno programiranje**

- Pretežno numerička obrada
- Algoritmi
- Informacije i upravljanje integrisani su zajedno
- Teško modifikovanje
- Neophodni su tačni odgovori

**Konvencionalni programi**

- Heuristike
- Predstavljanje i korišćenje znanja
- Procesi zaključivanja
- Odvojen model rešavanja (baza znanja) od dela koji upravlja bazom znanja (mehanizam zaključivanja)
- Znanje organizovano kao: baza podataka, baza znanja i upravljačka struktura
- Novo znanje dodaje se bez reprogramiranja

**Veštačka inteligencija**

- Pretežno simbolička obrada
- Heurističko pretraživanje
- Upravljačke strukture najčešće su izdvojene od znanja
- Jednostavno modifikovanje, ažuriranje i proširivanje
- Tolerišu se pogrešni odgovori

**Ekspertni sistemi**

- Algoritmi
- Predstavljanje i korišćenje podataka
- Ciklički procesi
- Znanje i metode znanja su pomešani
- Znanje organizovano kao podaci i programi
- Novo znanje zahteva reprogramiranje

## Zaključak

Pripremanje za obavljanje ratnih zadataka treba posvetiti neprekidnu i potpunu pažnju uz mnoga sagledavanja, procene i predviđanja strategijskih situacija, što je ostvarivo i primenom matematike i savremenih informacionih tehnologija u vojnotehničkim dostignućima.

Sadržaj i karakteristike vojnog poziva su u velikoj meri određeni vrstama i karakteristikama sredstava savremene ratne tehnike. Zbog svega toga uloga vojske u vojno-tehničkim dostignućima je i u spoznaji, razmatranju, analiziranju najnovijih dostignuća svetske nauke na području vojnotehničkih i vojnoinformatičkih nauka, kao i osnivanje naučnih timova radi daljeg istraživanja i razvoja.

Članak je teorijski i stručni doprinos razvoju vojnog obrazovanja nastao pod uticajem niza praktičnih i naučnih saznanja. Preko vojnog obrazovanja i isticanjem njegovog istorijskog razvoja u Srbiji na poseban način je dat prikaz vojske kao institucije.

### Literatura

[1] Mikić, S., Članak: Naučni zakoni rata, *Vojno delo br. 2*, mart-april 1998., Beograd,

[2] Prelević, M. i drugi, *Vojni poziv – vojno školstvo*, Beograd, 1985.

## MATHEMATICS IN MILITARY-TECHNICAL ACHIEVEMENTS

### Summary:

*In this article, mathematics is dealt with as a science necessary for the design, development and implementation of certain military-technical achievements such as many electronic devices, smart missiles, miniature antennas, camouflage military clothing and other military equipment. Some areas of applied, discrete and continuous mathematics are underlined in particular.*

### Application of mathematics

*The importance of mathematics for military-technical achievements is reflected in the fact that mathematics allowed the existence and development of military disciplines such as: fortifications, military statistics, military economics, cryptography, military psychology, air force, military-technical and military information science. There are also many applications using mathematical models and linear programming. Mathematics is thus necessary and indispensable as a tool, a way of expression and communication, as well as the basic creation of further progress. This article reveals the connection of mathematics and certain military areas that are important for the development of the armed forces and war materiel. The application of mathematics in military-technical achievements is entailed in the connection of mathematics with military disciplines.*

### Information technology – Basic concepts

*Some identified problems occurring in military purposes are mentioned through some basic concepts and benefits related to information technology. Comparative description and listing of characteristic traits resulting in the noticed and given advantages and disadvantages highlighted the creation of information technologies, first by using conventional programs and programming and then by using artificial intelligence and expert systems.*

*Key words: application of mathematics, military cybernetics, fractals, mathematical modelling, linear programming, computer forensics, artificial intelligence, cyber space, information technologies*

Datum prijema članka: 20. 07. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 20. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 22. 10. 2009.

## TEHNIKA ZA PROIZVODNJU HRANE U TERENSKIM USLOVIMA

Tešanović M. *Branko*, Vojna akademija, Katedra opšte  
logistike, Beograd,

Novaković Ž. *Srđan*, Ministarstvo odbrane Republike  
Srbije, Uprava za opštu logistiku, Beograd

UDC: 355.65 ; 355.351.5

### Sažetak:

*U terenskim uslovima osnovna sredstva za pripremanje hrane su pokretne kuhinje. One se koriste u miru za vreme izvođenja vežbi, logorovanja, za obuku vojnika kuvara i u vojnim školama za obuku studenata i učenika intendantske službe. Izuzetno, mogu se koristiti za kuvanje jela kada se vojni restorani adaptiraju ili se zbog drugih razloga hrana ne može pripremati u njima. U Vojsci Srbije danas su u upotrebi sledeće vrste pokretnih kuhinja: kuhinja autoprikolica od 250, 200, 300 i 400 l i kuhinja tovarna od 25 l. Za pripremu hrane u terenskim uslovima OS NATO koriste veoma raznovrstan park poljskih tehničkih sredstava.*

Ključne reči: *tehnika, proizvodnja hrane, kuhinja, kontejner.*

## Kuvarska tehnika

**U** kuvarsku tehniku za pripremu hrane u terenskim uslovima spadaju: kuhinja autoprikolica od 200, 300 i 400 litara.

### *Kuhinja autoprikolica od 200 litara*

Kuhinja autoprikolica od 200 litara tip M-85 (sl. 1) namenjena je za pripremu jela u ratnim i mirnodopskim uslovima, na manevrima, vežbama i logorovanjima. Koristi čvrsto (drvo i ugalj) i tekuće gorivo ( $D_1$  i  $D_2$ ). U ovoj pokretnoj kuhinji spremaju se jela kuvanjem i dinstanjem.

Kuvanje jela u kazanima moguće je u mestu i u pokretu. Kuhinja se može upotrebljavati u pokretu kao priključno vozilo ili u mestu kao stacionarna jedinica. Može se koristiti bez podvoska, da radi kao pre-

nosna kuhinja, pa se može smestiti u vozilo, vagon, brod ili neko drugo transportno sredstvo. Odvajanjem od podvoska može da služi kao stacionarna jedinica za spremanje hrane u objektu. Za razvijanje, rad i opsluživanje kuhinje autoprikolice potrebna su tri vojnika kuvarske specijalnosti, jedan vojnik ložač i komandir odeljenja kuvarske specijalnosti.



Slika 1– Kuhinja autoprikolica od 200 litara

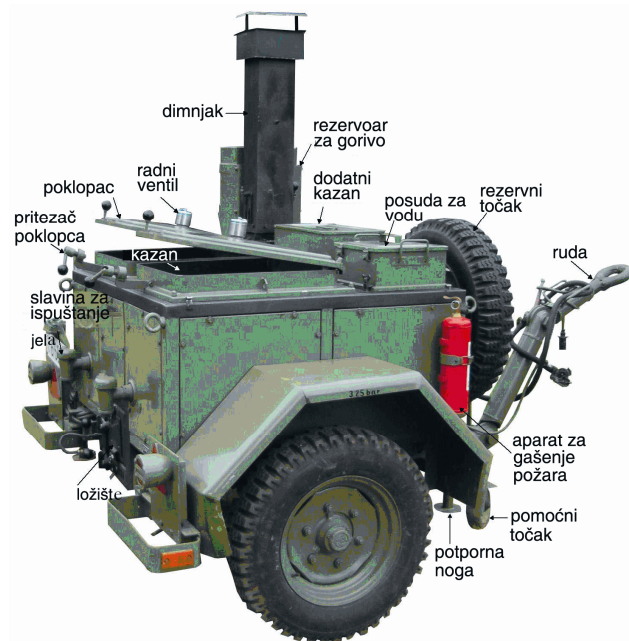
### Tehničke karakteristike i opis

Kuhinja je izvedena na jednoosovinskom podvosku i može da se priključi na motorno vozilo kao poluprikolica. Osnovne tehničke karakteristike kuhinje su:

- |   |                 |
|---|-----------------|
| • kapacitet kuhinje                     | 200 l           |
| • masa prazne kuhinje                   | 800 kg          |
| • masa napunjene kuhinje                | 1050 kg         |
| • potrošnja goriva:                     |                 |
| - tečno dizel D <sub>2</sub>            | 2,5 l/h         |
| - čvrsto – drvo                         | 10 kg/h         |
| • vreme prokuvavanja jela               | 60 do 70 min    |
| • posuđe za kuvanje jela:               |                 |
| - kazan od 100 litara                   | 2 kom.          |
| - posuda za vodu od 30 litara           | 1 kom.          |
| dužina sa rudom u transportnom položaju | 2690 do 3022 mm |
| • širina                                | 1900 mm         |
| • klirens                               | 300 mm          |
| • visina:                               |                 |
| - pri podignutom dimnjaku               | 2900 mm         |
| - pri spuštenom dimnjaku                | 2210 mm         |
| • vreme potrebno za:                    |                 |
| - razvijanje kuhinje za rad             | 30 min.         |
| - svijanje kuhinje i pripremu za marš   | 45 min.         |

Sastoji se od dve osnovne konstrukcijsko-funkcionalne sredine, i to:

- kuhinje
- jednoosovinskog podvoska.



Slika 2 – Kuhinja autoprikolica od 200 litara

Kuhinja je izrađena kao samonoseća konstrukcija i, postavljanjem na potporne noge, može se koristiti kao prenosna kuhinja. Kada se koristi u sklopu sa jednoosovinskim podvoskom, dobija se pokretna kuhinja, prikolica. Kuhinja se sastoji od: tela kuhinje, kazana, ispusnih slavina, posude za vodu, ploče, dimnjaka, potpornih nogu, pokrova i sistema za razvod goriva.

Glavni deo kuhinje je telo kuhinje sa dimnim kanalima, ložištem, termoizolacijom i spoljnom oplatom. Na telo kuhinje učvršćeni su ostali sklopovi kuhinje. Sa donje strane otpozadi, u sredini, nalazi se ložište. U ložište su ugrađene rešetka i zaštita ložišta. Ložište je zatvoreno vratima u kojima je otvor za postavljanje gorionika za tečno gorivo. Ispod ložišta nalazi se pepeljara s vratima na kojima se nalazi otvor za ulazak spoljnog vazduha pri radu kuhinje sa čvrstim gorivom.

Iznad ložišta ugrađena su dva obična kazana sa slavinama za ispuštanje tekućeg sadržaja. Odozgo, spređa levo, ugrađen je dimnjak, spređa u sredini je ploča, a desno od ploče nalazi se posuda za vodu. Levo od dimnjaka, sa strane kuhinje, na posebnom nosaču, učvršćen je rezervoar za gorivo. Od rezervoara preko cevi razvoda goriva provodi se gorivo do gorionika koji se postavlja u vrata ložišta.

Odozgo, u uglovima kuhinje, ugrađene su četiri potporne noge na koje se postavlja kuhinja kada se upotrebljava kao samostojeća. Potporne noge su namenjene i za stabilizovanje pokretne kuhinje pri radu u mestu. Gornja površina kuhinje pokrivena je pokrovom.

Kazan obični je hermetički zatvorena posuda, izrađena od nerđajućeg čeličnog lima. Na prednjoj i zadnjoj strani, sa unutrašnje strane kazana, nalazi se oznaka koja označava korisnu zapreminu kazana od 100 litara, jer se u tom slučaju smanjuje prostor za paru, pa prilikom kuvanja dolazi do izlaska tekućeg sadržaja kroz radni ventil.

Pri dnu kazana nalazi se otvor za priključak ispusne slavine. Kazan se hermetički zatvara poklopcem koji je učvršćen na kazan preko ušica i osovine sa oprugama, tako da se može postaviti u bilo koji položaj od zatvorenog do potpuno otvorenog. Na poklopac kazana ugrađen je radni ventil, a spreda na prirubnici nalazi se pritezač poklopca. Pritezač služi za fiksiranje poklopca u zatvorenom položaju.

Ruda podvoska je izvedena kao zglobna cevna konstrukcija koja na prednjem kraju završava sa vučnim okom, a na zadnjem kraju su čeljusti zglobne spojnice, preko koje je ruda spojena na cev rude. Visina vučnog oka rude može se podešavati po visini u granicama od 375 do 900 mm. Pre upotrebe pokretne kuhinje treba podešiti visinu vučnog oka rude prema visini kuke na formacijskom vozilu, na oko 820 mm.

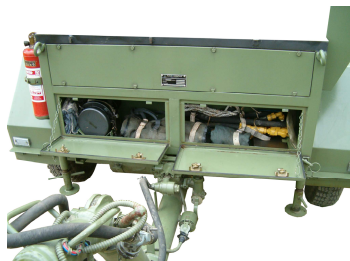
Podvozak pokretne kuhinje ima putnu i parkirnu kočnicu. Putna kočnica je izvedena kao kombinovani pneumatsko-hidraulički kočioni sistem, a parkirna kao mehanička kočnica. Pneumatsko-hidraulički kočioni sistem se pomoću spojničke glave priključuje na pneumatsku instalaciju vučnog vozila. Spojnička glava je montirana na gumeno crevo koje služi kao fleksibilna veza za povezivanje vučnog vozila i podvoska. Gumeno crevo je na svom drugom kraju spojeno sa dvosmernim prigušnim ventilom, a ovaj je spojen na kočioni ventil prikolice. Kočioni ventil prikolice služi za dovođenje vazduha iz rezervoara vučnog vozila do rezervoara podvoska u režimu napajanja, za sprovođenje vazduha iz rezervoara u pneumatski kočioni cilindar u režimu kočenja, te za ispuštanje vazduha iz pneumatskog kočionog cilindra u okolinu po prestanku kočenja.

Ručica regulatora sile kočenja kojom se podešava pritisak u pneumatskom kočionom cilindru postavlja se nakon svakog priključenja pokretne kuhinje na vučno vozilo u položaj „prazno“, a nakon svakog odspajanja od vučnog vozila u položaj „otkočeno“.

Mehanička kočnica služi za kočenje pokretne kuhinje u mestu, kada je odvojena od vučnog vozila. Ona, dakle, služi kao parkirna kočnica, a deluje kao pneumatsko i hidraulički sistem na oba točka. Okretanjem ručnog točka u smeru kretanja kazaljke na satu, vrši se kočenje točkova, a okretanjem točka u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu vrši se otkočivanje točkova.

Pokretna kuhinja je opremljena priborom, alatom i rezervnim delovima za rukovanje i osnovno održavanje.

Za rad u nepogodnim vremenskim uslovima kuhinja je opremljena šatorom M-70, sa otvorom za dimnjak, a za protivpožarnu zaštitu služi joj protivpožarni aparat. Pribor, alat i rezervni delovi za rukovanje i osnovno održavanje smešteni su u sanduku na prednjem delu kuhinje.



Slika 3 – Sanduk za pribor, alat i rezervne delove

Za smeštaj kuhinje koristi se šator M-70 sa jednim člankom. Šator se sastoji od: skeleta, spoljnog pokrivača, prozora, pribora i alata za podizanje i svijanje šatora, pribora za održavanje, rezervnih delova, ambalaže za pakovanje i zaštitnih limova.

Šator M-70 sa otvorom za dimnjak namenjen je za zaštitu kuhinje i ljudstva od vremenskih uticaja (kiša, sneg, vetar) pri radu na terenu. Na krovnom delu šatora izrađen je otvor kroz koji prolazi gornji deo dimnjaka kada kuhinja radi pod šatorom. Oko otvora se nalazi platneni okvir u koji se uvlače zaštitni limovi radi zatvaranja slobodnog otvora oko dimnjaka. Iznad otvora je šiven platneni poklopac kojim se zatvara otvor u šatoru kada je dimnjak spušten. Kada je dimnjak izvučen, platneni poklopac je smotan u rolnu i učvršćen. Šator sa konstrukcijom prevozi se na karoseriji vučnog vozila.

### *Kuhinja autoprikolica od 300 litara*

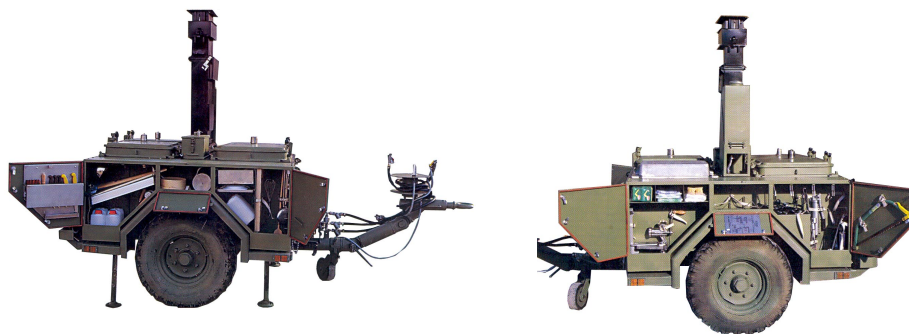
Kuhinja autoprikolica od 300 litara (sl. 4 i 5) namenjena je za pripremanje hrane u ratnim i mirnodopskim uslovima na vežbama i logorovanjima, pod raznim klimatskim i terenskim uslovima i to kuvanjem, dinstanjem, prženjem i pečenjem.



Slika 4 – Kuhinja autoprikolica od 300 l



Priprema hrane može se vršiti na jednom mestu (stacionarno) i u pokretu (kamionskom vučom, vozom ili prenosom helikopterom).



Slika 5 – Kuhinja autoprikolica od 300 litara

Ukupna korisna zapremina kazana je 300 litara, od toga su dva hermetična kazana sa duplikatorom od po 100 litara i jedan hermetični kazan obični od 100 litara.

Kuhinja je predviđena za loženje tečnim gorivom (ekstra lako ulje za loženje, dizel gorivo D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>) ili čvrstim gorivom (drvo, ugalj).

### *Tehničke karakteristike i opis*

Za razvijanje, rad i opsluživanje kuhinje potrebna su četiri vojnika kuvara, jedan vojnik ložač i komandir odeljenja kuvarske specijalnosti. Osnovne taktičko-tehničke karakteristike kuhinje su:

#### **a) Vreme potrebno za:**

razvijanje	30 min
zagrevanje do prokuvavanja u duplikatorima	80–90 min
zagrevanje do prokuvavanja u običnom kazanu	50–60 min
zagrevanje pećnice na 250 do 300°C	35–45 min
zagrevanje grejne ploče na 250 do 300°C	45 min

#### **b) Brzina kretanja:**

na putevima I i II kategorije, danju	70 km/h
na putevima II kategorije, danju	30 km/h
po obeleženim putevima i standardnim svetlima, noću	50 km/h
van puteva i sa zamračenim svetlima	20 km/h

**v) Gabaritne mere:**

dužina s rudom u vučnom položaju	3300 mm
širina	1866 mm
visina sa podignutim dimnjakom	2650 mm
visina sa spuštenim dimnjakom	2045 mm
raspon točkova (kolotrag)	1552 mm
klirens	300 mm

**g) Masa kuhinje:**

funkcionalna masa kuhinje (masa spunim kazanima, priborom i opremom)	1870 kg
masa prazne kuhinje sa priborom i opremom	1510 kg
masa prazne kuhinje bez pribora i opreme	1350 kg

**d) Kapacitet raspoloživog prostora:**

kapacitet kuhinje	300 /
kapacitet kazana duplikatora (2 od 100 l)	200 /
kapacitet kazana običnog	100 /
kapacitet posude za vodu	30 /
kapacitet posude za zapršku	20 /
površina grejne ploče	26 dm <sup>3</sup>
zapremina pećnice	44 dm <sup>3</sup>

**e) Potrošnja energenata**

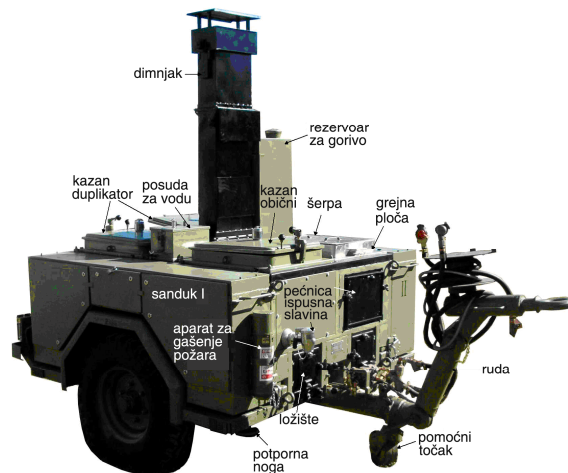
čvrsta goriva (drvo, ugalj)	25 kg/h
tekuća goriva (D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , ulje za loženje ekstra lako)	4 l/h

Kuhinju autoprikolicu od 300 litara čine sledeći delovi: kuhinja, podvozak jednoosovinski, sanduci s priborom, opremom, alatom i rezervnim delovima.

Kuhinja je konstruisana tako da se može koristiti kao samostojeća i na jednoosovinskom podvosku. Čine je sledeći delovi: telo kuhinje; kazan duplikator; kazan obični; ispusna slavina; posuda za vodu; dimnjak; grejna ploča; pećnica; sklop rezervoara; razvod goriva; gorionik; potporna noga; poklopci kuhinje.

Osnovni deo kuhinje je telo kuhinje s dimnim kanalima, ložištima, termoizolacijom i spoljašnjom oplatom.

S donje strane nalaze se tri ložišta – dva napred i jedno pozadi. U ložišta su ugrađeni rešetka i zaštita ložišta. Ložište se zatvara vratima od livenog gvožđa, u kojima je otvor za postavljanje gorionika za tečno gorivo. Ispod ložišta nalazi se pepeljara koja ima otvor za izbacivanje pepela i prolaz primarnog vazduha kod loženja čvrstim gorivom.



Slika 6 – Osnovni delovi kuhinje autoprikolice od 300 litara

### *Kuhinja autoprikolica od 400 litara*

Kuhinja autoprikolica od 400 litara (sl. 7) namenjena je za pripravo hrane (kuvanjem i dinstanjem) u ratnim i mirnodopskim uslovima na manevrima, vežbama i logorovanjima, pod raznim klimatskim i terenskim uslovima, na mestu i u pokretu.



Slika 7 – Kuhinja autoprikolica od 400 litara

Ukupna korisna zapremina kazana je 400 litara, od toga su dva hermetička kazana sa duplikatorom (sa zadnje strane) od po 100 litara i dva kazana obična od 100 litara. Kuhinja je predviđena za loženje tečnim gorivom (ekstra lako ulje za loženje, dizel gorivo D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>) ili čvrstim gorivom (drvo, uglj).

### *Tehničke karakteristike i opis*

Razvijanje, rad i opsluživanje obavljaju četiri vojnika kuvara, jedan vojnik ložač i komandir odeljenja kuvarske specijalnosti.

#### **a) Vreme potrebno za:**

razvijanje	30 min
zagrevanje do prokuvavanja u duplikatorima	80–90 min
zagrevanje do prokuvavanja u običnom kazanu	50–60 min
svijanje	45 min

#### **b) Brzina kretanja:**

na putevima I i II kategorije, danju	70 km/h
na putevima II kategorije, danju	30 km/h
po obeleženim putevima i standardnim svetlima, noću	50 km/h
van puteva i sa zamračenim svetlima	20 km/h

#### **v) Gabaritne mere:**

dužina s rudom u vučnom položaju	3300–3450 mm
širina	1866 mm
visina sa podignutim dimnjakom	2650 mm
visina sa spuštenim dimnjakom	2045 mm
raspon točkova (kolotrag)	1552 mm
klirens	300 mm

#### **g) Masa kuhinje:**

masa s punim kazanima, priborom i opremom	1945 kg
masa prazne kuhinje s priborom i opremom	1485 kg
masa prazne kuhinje bez pribora i opreme	1325 kg

#### **d) Kapacitet raspoloživog prostora:**

kapacitet kuhinje	400 l
kapacitet kazana duplikatora (2 od 100 l)	200 l
kapacitet kazana običnog (2 od 100 l)	200 l
kapacitet posude za vodu	30 l

#### **e) Potrošnja energenata**

čvrsta goriva (drvo, uglj)	25 kg/h
tekuća goriva (D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , ulje za loženje ekstra lako)	4 l/h

Kuhinja autoprikolica od 400 litara, za razliku od kuhinje autoprikolice od 300 litara, nema pećnicu i grejnu ploču, umesto kojih je ugrađen kazan obični, dok su ostali delovi kuhinje identični.

## Pekarska tehnika

Pekarska tehnika za proizvodnju hleba u terenskim uslovima je: mesionica pokretna mehanizovana sa pećima za pečenje hleba autoprikolicama.

### *Mesionica pokretna mehanizovana – komplet*

Mesionica pokretna mehanizovana – komplet je namenjena za polumehanizovanu proizvodnju hlebnog testa i testanih hlebova u obliku vekni po direktnoj metodi, pri radu na mestu, u poljskim i svim klimatskim uslovima.

Mesionica komplet sastoji se od:

- a) mesionice pokretne mehanizovane M-63, sa ugrađenim mašinama, uređajima, aparatima i instrumentima;
- b) šatora mesionice pokretne mehanizovane sa priborom;
- c) pekarskog alata, pribora i opreme;
- d) alata i rezervnih delova za održavanje mesionice.

Za pečenje hleba mesionici komplet se dodaju dve peći autoprikolice, za obezbeđenje vodom jedna autocisterna, a kao izvor energije elektroagregat. Električna energija se može koristiti i iz stalne električne mreže uz obavezno posredstvo električnog agregata radi regulisanja i kontrole napona.

Taktičko-tehničke karakteristike kompleta su:

- veličina čistog prostora za razvijanje, najmanja 20 x 10 m;
- razvijanje i svijanje obavlja 12 vojnika;
- za rad u jednoj smeni potrebno je šest vojnika pekara i komandir odeljenja pekarske specijalnosti;

Vreme potrebno za:

- |  |           |
|--|-----------|
| – razvijanje (bez izviđanja rejona)              | 60 min    |
| – izbacivanje prvog peciva od početka razvijanja | 210 min   |
| – prekid rada na proizvodnji do početka svijanja | 210 min   |
| – svijanje                                       | 30-60 min |

Brzina kretanja:

- |         |          |
|---------|----------|
| – danju | 20–30 km |
| – noću  | 15–20 km |

Kapacitet mesionice komplet, sa dve peći za pečenje hleba autoprikolice, hleba od 600 g iznosi:

a) pri pečenju jednog peciva koje traje 50 minuta:	
– hleb bez dodira	154 kg
– hleb sa dva dodira	172 kg
– hleb sa četiri dodira	192 kg
b) pri neprekidnom radu na mestu za 24 časa:	
– broj peciva	26
– hleb bez dodira	4004 kg
– hleb sa dva dodira	4472 kg
– hleb sa četiri dodira	4992 kg

### *Mesionica pokretna mehanizovana*

Mesionica pokretna mehanizovana namenjena je za polumehanizovanu proizvodnju hlebnog testa, testanih hlebova i za obezbeđenje klimatskih, radnih i higijenskih uslova u tehnološkom procesu proizvodnje hleba.

Osnovne tehničke karakteristike mesionice:

• dužina sa rudom	5810 mm
• dužina bez rude	4300 mm
• širina karoserije	2300 mm
• visina od zemlje do najviše tačke na krovu	3040 mm
• klirens	320 mm
• masa	5200 kg

Za vuču mesionice koristi se vozilo koje obavezno mora da ima vučnu kuku, priključak za vazdušni sistem kočnja i sedmopolni utikač za signalna svetla.

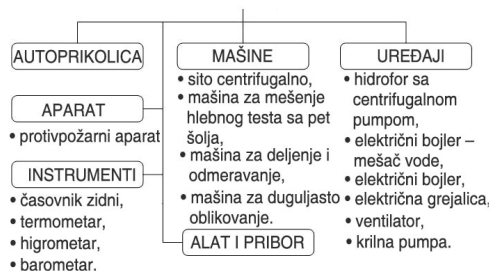
Autoprikolica dvoosovinska sa specijalnom karoserijom sastoji se od sledećih osnovnih delova: donjeg postroja, gornjeg postroja - karoserije, kočionog sistema, električne instalacije jake i slabe struje, vodovodne instalacije, arnjeva sa šatorskim platnom za produžni deo.

Donji postroj sastoji se od: prednje i zadnje osovine, gibnjeva, nosača okretnice sa okretnicom, rama, rude i potpornih stopa.

Na prednjem kraju produžnih nosača okretnice ugrađene su ušice za postavljanje rude za motornu vuču. Levo i desno od ušica ugrađene su kuke za postavljanje sigurnosnih lanaca. Na prednjem kraju, levo i desno od produžnih nosača, ispod patosa, ugrađeno je po jedno ležište za postavljanje potpornih stopa. Sa leve i desne strane, ispod glavnih nosača i zadnjih

točkova, ugrađene su po jedna potporna stopa i ušice za utvrđivanje stopa kada je mesionica u svijenom položaju. Potporne stope su namenjene za postavljanje mesionice i produžnog dela u horizontalan položaj pri radu.

Osnovni delovi mesionice prikazani su na sl. 8.



Slika 8 – Osnovni delovi mesionice

Gornji postroj – karoserija sastoji se od: vertikalnih i horizontalnih, bočnih i krovnih profila, spoljne limene i unutrašnje oplata od šperploče, termoizolacije (stiropor), poda, ulaznih i kalkanskih vrata, prozora i otvora za prirodnu i veštačku ventilaciju. Sa leve strane karoserije, ispred zadnjeg točka, ugrađen je sanduk sa vratima za pakovanje pribora mesionice, a sa desne, priključna kutija sa vratima.

Kalkanska vrata čine prednji zid karoserije, a po razvijanju mesionice za rad predstavljaju produžni deo poda mesionice za 1955 mm. U toku rada na njima se nalaze dve do tri šolje za testo i transporter mašine za oblikovanje testa.



Slika 9 – Mesionica sa otvorenim kalkanskim vratima

Kočioni sistem mesionice je vazdušni na sva četiri točka i mehanički (ručni) na zadnja dva točka. Regulator sile kočenja prilagođava pritisak kočenja trenutnom stanju opterećenja prikolice. Regulator sile kočenja se, u zavisnosti od opterećenja, može postaviti u položaj „puna“, „prazna“ i „otkačena“. Kada je prikolica pod punim opterećenjem, ručica je postavljena na dole u položaj „puna“, a kada je prikolica neopterećena, ručica je postavljena na desno u položaj „prazna“. Položaj „otkočeno“ služi za uzastopno otkočivanje i kočenje otkočene prikolice od vučnog vozila. Pre vožnje autoprikolice, ručica za regulisanje sile kočenja postavlja se u položaj „puna“, a pri otkočivanju od vozila u položaj „otkočeno“.

Mehanička kočnica služi za kočenje prikolice na mestu, kada je otkočena od vučnog vozila, i ima dejstvo samo na zadnje točkove.

Električna instalacija ugrađena u autoprikolicu je slabe struje 12 V (za signalna svetla), jake struje 220/380 V (za pogon mašina i napajanje električnih uređaja) i slabe struje 24 V (za osvetljenje).

### *Peć autoprikolica za pečenje hleba*

Peć za pečenje hleba autoprikolica (sl. 10) namenjena je za pečenje hleba u poljskim uslovima, na raznim zemljištima i pod raznim atmosferskim uslovima. Koristi se za pečenje hleba u ratu, kao i za vreme izvođenja vežbi, logorovanja i manevara. Po potrebi može da se koristi i za pečenje hleba u miru, kao i za obuku ljudstva u nastavnim jedinicama, dopunsku obuku pekarskih jedinica, na kursovima i u školama.



Slika 10 – Peć autoprikolica za pečenje hleba



## Tehničke karakteristike i opis peći

Osnovne tehničke karakteristike peći su sledeće:

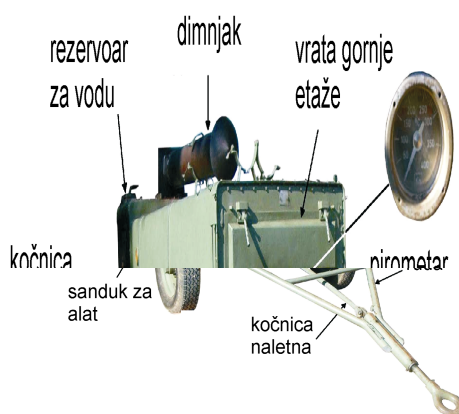
- dužina peći bez rude 3550 mm
- dužina peći sa rudom za motornu vuču 5200 mm
- dužina peći sa rudom za tandem vuču 6950 mm
- širina peći sa blatobranom 1800 mm
- visina peći kada je dimnjak spušten 2030 mm
- klirens 200 mm
- dimenzija etaže:
  - dužina 2600 mm
  - širina 900 mm
  - površina 2,34 m<sup>2</sup>
- peć raspolaže sa dve etaže za pečenje hleba.

Peć se sastoji od: šasije sa dvoosovinskim podvoskom, ugrađenom naletnom i ručnom kočnicom; dvoetažne pećnice; ložišta za čvrsto gorivo; pribora, alata i rezervnih delova.

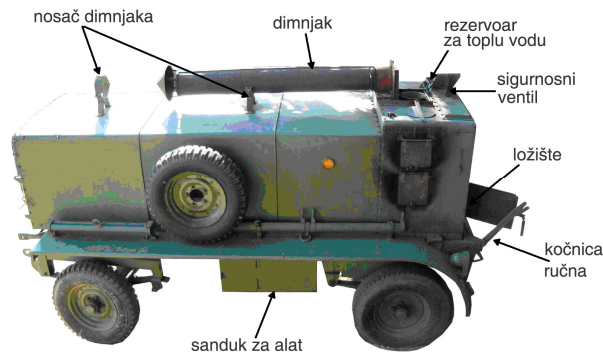
Šasija se sastoji od rama sa blatobranom, okretnice i trčućeg trapa. Za kočenje peći upotrebljavaju se automatska, naletna kočnica za motornu vuču i ručna kočnica.

Dvoetažna pećnica je podeljena pregradnim limom u dve etaže koje poseduju po jednu izvlačivu tablu na kojima se peče hleb. Iznad i ispod tabli smešten je po jedan red perkinscevi koje služe za zagrevanje pećnog prostora.

Svaka etaža ima po dva otvora spojena dimnjakom za odvod pare koja nastaje pri pečenju hleba. Ovi otvori se otvaraju i zatvaraju ručicom na prednjoj spoljašnjoj strani peći. Na prednjoj strani peći, između vrata pećnica, nalazi se pirometar (termometar) za očitavanje temperature u pećnici.



Slika 11 – Peć autoprikolica za pečenje hleba



Slika 12 – Peć autoprikolica za pečenje hleba

Peć se zagreva čvrstim gorivom (drvima ili ugljem lignitom). Produkti sagorevanja izlaze iz ložišta kroz teleskopsko-razvlačivi dimnjak. Dimnjak se u vožnji može položiti na spoljašnju oblogu pećnice i učvrstiti u za to predviđeno ležište, a pri loženju se može postaviti u vertikalni položaj.

Rezervoar za toplu vodu nalazi se na zadnjem delu peći, zapremine je 100 l, hermetički je zatvoren poklopcem sa ugrađenim sigurnosnim ventilom i slavinom.

Uz peć pripadaju alat, pribor i rezervni delovi potrebni da bi peć normalno radila i da bi je održavali. Alat i pribor se nose u sanduku za smeštaj i nošenje alata i pribora.

## Tehnika za proizvodnju hrane u zemljama NATO

Za pripremu hrane u terenskim uslovima OS NATO koriste veoma raznovrstan park poljskih tehničkih sredstava, čije su klasifikacija i tehničke karakteristike prikazane u nastavku.

A) *KARCHER-MOBILE CATERING SYSTEMS FOR THE ARMED FORCES* je mobilni sistem za obezbeđenje hrane za potrebe vojske, civilne odbrane i humanitarnih organizacija. On obuhvata poljske kuhinje modularnog tipa.

B) *KARCHER TFK 250* je taktička poljska kuhinja projektovana za primenu u uslovima „Bitka vazduh–zemlja 2000“, montirana na prikolici sa jednom osovinom. Ova poljska kuhinja garantuje brzu i kompletnu pripremu obroka za 250 osoba u roku od dva sata. *TFK* je modularna poljska kuhinja sa isparavajućim ložištem pod pritiskom. Kada se razvuče do kraja njena dužina je 4.400 mm.



Slika 13 – TFK – 250 Kontejnerska kuhinja

Performanse kontejnerske kuhinje:

- priprema se za operaciju kuvanja za petnaest minuta,
- ima dva kazana s duplim zidovima i dva pleha za prženje pod pritiskom,
- raspolože integralnim rezervoarom za vodu, koji se u zadnjem delu može podgrevati,
- u kompletu sadrži gasni ili dizel gorionik kapaciteta rezervoara za osam sati rada,
- čvrste je konstrukcije i pogodna za transport železnicom, vazdušnim putem ili motornim vozilom,
- teška je 2.500 kg.

C) *THE MODULAR FIELD KITCHEN* su modularne poljske kuhinje *KARCHER MFK 2/96* koje predstavljaju prilagodljive za sistem kuhinje. Projektovana za pripremu 250 obroka za dva sata i spremna za rad u kratkom vremenu. Ovi moduli mogu biti postavljeni na prikolicu ili se koristiti kao odvojene jedinice za kuvanje.

Performanse modularne konstrukcije su:

- prilagodljivost različitim opcijama (fleksibilne) i pogodne za brzi rad,
- raspoložu kazanom od 125 l, s jednim ili duplim zidom,
- sadrže modul za pečenje i prženje 10/78 l,
- pleh za pečenje modularni 70l,
- ima dva univerzalna ložišta.

D) *PMK* (poljska kuhinjska jedinica) ima zaštitu od spoljnih klimatskih uticaja. Četiri otvora za vrata prekrivena su sa četiri platna. Svi prozori za dnevno svetlo imaju kamuflažne pokrivke. Plafon se spušta za vreme transporta. Moguć je transport po teškom vremenu zahvaljujući maloj visini.

*PKL* grupa isporučuje linije za proizvodnju obroka i pekare za britansku, američku vojsku i UN u Bosni, američko vazduhoplovstvo u Avijanu, RAF u Sudijskoj Arabiji. *PKL* grupa je razvila ove jedinice kontejnerskog tipa. One su ekstremno robusne, pogodne za transport, do devet kontejnera se može slagati jedan na drugi. *PKL* grupa svake godine osavremenjava ugrađenu opremu (najsavremenijim tehnološkim rešenjima). Sva oprema je pogodna za *civilnu i vojnu primenu*, laka je za transport svim vidovima. Posebna pažnja je posvećena da se sve jedinice (kontejneri) mogu lako povezivati za funkcionisanje sa minimiziranim vremenom za instalaciju po dolasku na lokaciju.

### *Portabl kuhinje*

Grupa *PKL* je 1985. razvila portabl kuhinju i izradila preko 300 kuhinja, frižidera, linija za pranje sudova u restoranskim jedinicama, kao i sušionice. Jedinice su raspoložive kao samostalne ili povezane u kompleks za pripremu obroka i mogu biti iznajmljene ili kupljene. Ove kuhinje zadovoljavaju sve higijenske i zdravstvene propise i opremljene su u skladu sa najsavremenijim zahtevima. Standardne jedinice raspoložive su 24 časa dnevno, 365 dana godišnje.

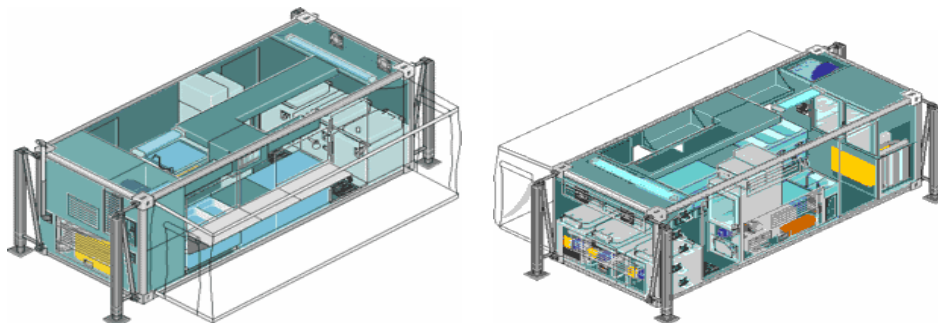
*E) THE FIELD COOKING UNIT* razvijena je za primenu u pokretu, a obuhvata, između ostalog, električno pokretanje, gorionik za sprej, nerđajući čelik i kapacitet kuvanja za 25 porcija za tri obroka.

#### F) MOBILE CAMP KITCHENS

Njene performanse:

- visokomobilna, transportuje se bez problema: kamionom, brodom, avionom i vozom,
- relativno brza priprema za rad: sistem je spreman za rad za jedan dan,
- potpuno samostalna zahvaljujući integrisanom snabdevanju električnom energijom (agregat),
- dokazan rad u svim klimatskim zonama ( -32°C do +49°C),
- pouzdana: permanentno u upotrebi za IFOR / SFOR već nekoliko godina,
- kompaktna: svi delovi neophodni za proizvodni rad su smešteni u kontejner,

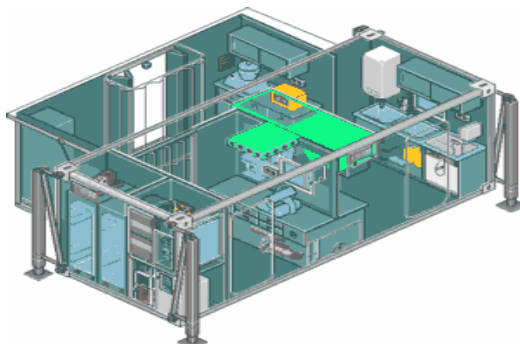
*G)HMCK* Nova generacija kontejnerskih kuhinja razvijena je u saradnji sa štabovima Nemačke i US vojske. Od 1996. nezamenljiva za IFOR / SFOR trupe u republikama bivše Jugoslavije.



Slika 14 – Kontejnerska kuhinja

#### H) VORCON CONTAINERIZED KITCHEN

Nova generacija razvijena u saradnji sa nemačkim Crvenim krstom, štabom nemačke vojske, policije i US vojske.



Slika 15 – VORCON – Kontejnerska kuhinja

Nova generacija kontejnerskih kuhinja VORCON kontejnerska kuhinja za IFOR/ SFOR koristi se već nekoliko godina.

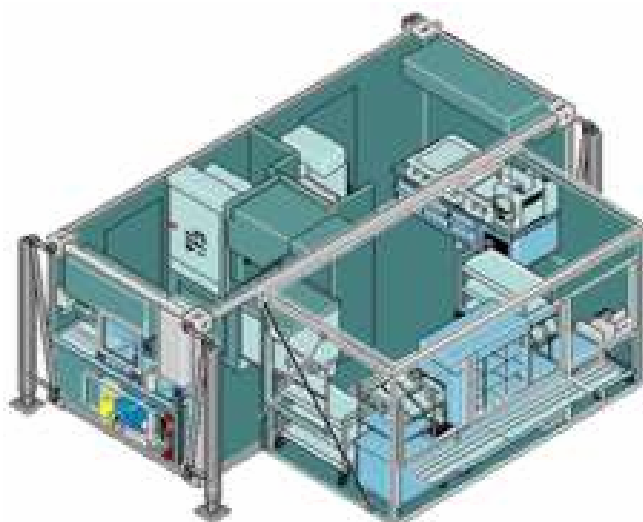
Tehnički podaci:

- (1) kontejner 6 x 2,4 x 2,4 m mase oko 3.500 kg,
- (3) frižider prostorija 600 l,
- (6) do (26) gornji elementi,
- (10) deo koji se izvlači,
- (13) pleh koji se izvlači pod pritiskom (1 x 70l),
- (15) tehnologija obrnutog gorionika,
- (16) kazan za kuvanje pod pritiskom (2 x 150l),
- (18) plinski šporet,
- (19) dupli bazen za prženje s plakarom ispod,
- (22) bojler za toplu vodu,
- (30) radni sto sa plakarom ispod.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> www.Alfred Karcher Gmb&co/ps.com

I) CANTEEN KITCHEN

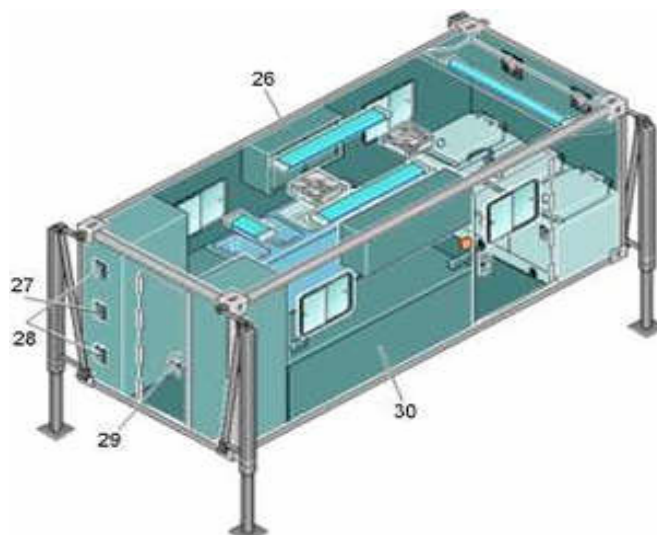
Element „Društvene oblasti“ u logoru. Razvijena sa Nemcima, a upotrebljavane su u Makedoniji.



Slika 16 – CANTEEN KITCHEN – Kombinovana kuhinja-kantina

J) CFK 250

Razvijena sa Nemcima za tropske i arktičke uslove.



Slika 17 – CFK 250 – Kontejnerska kuhinja

Jedinice uključuju:

– **kontejnersku kuhinju:** smeštena u robustne, međusobno povezive ISO kontejnere. Jedinice mogu biti povezane međusobno da čine veliki kompleks za spravljanje obroka koji uključuje kuhinju za pripremu i proizvodnju hrane, frižidere, perionice sudova i prostor za obedovanje;

– **prenosne (portabl) kuhinje:** kao dodatni kapaciteti, za ishranu avio posada za vreme katastrofa. Kuhinje su potpuno opremljene i spremne za trenutnu funkciju;

– **kontejnerski operacioni prostor:** fleksibilne konfiguracije, potpuno klimatizovan i međusobno povezan.

### *Kontejnerske kuhinje*

Kuhinjski kapaciteti su raspoloživi za 25, 100, 250 i 500 ljudi. Opremljeni su zonama za pripremu i proizvodnju hrane, frižiderima, linijama za pranje sudova, suvim ostavama i kancelarijskim prostorom. Potpuno su opremljeni standardnom komercijalnom električnom opremom, tako da kuhinje mogu da funkcionišu napolju zahvaljujući prenosnim generatorima. Kuhinjski prostori mogu biti lako povezani za restoranske jedinice ili šatorske strukture. Smeštene u robustne čvrste čelične ISO kontejnere ove jedinice su posebno pogodne za brze reakcije i smeštaj na nove udaljene lokacije.

Na tehnički nivo poljskih kuhinja bitno utiče vrsta izvora energije koja se primenjuje za njihov rad i načini zagrevanja. Kao izvor energije za poljske kuhinje, stručnjaci OS SAD ispitali su i razmatrali: dizel gorivo, električnu energiju, benzin, tečni metan i vodonik, i došli do zaključka da je u terenskim uslovima najefikasnije gorivo i izvor energije dizel gorivo, jer se pokazalo kao pouzdano i bezbedno u toku eksploatacije, dostupno i relativno jeftino.

### **Zaključak**

U terenskim uslovima osnovna sredstva za pripremanje hrane su pokretne kuhinje i mesionica komplet. U Vojsci Srbije danas su u upotrebi: kuhinja autoprikolica od 250, 200, 300 i 400 l i kuhinja tovarna od 25 l. Osnovna karakteristika je veoma skroman kapacitet i skromni uslovi za rad, jer se koriste u kompletu sa šatorom. Za razliku od sredstava koje koristi Vojska Srbije zemlje u NATO-u koriste tehniku od koje formiraju kuhinjske prostore, koje je moguće lako povezati za restoranske jedinice. Smeštene u robustne čvrste čelične ISO kontejnere, ove jedinice su posebno pogodne za brze reakcije i smeštaj na nove udaljene lokacije.

## Literatura

[1] Tešanović, B. i Novaković, S.: *Tehnika, tehnologija i organizacija proizvodnje hrane*, Vojna akademija, Beograd, 2005.

[2] Tešanović, B. i Mitrović, S: *Ishrana u vanrednim okolnostima*, NG Studio, Beograd, 2005.

[3] [www.Alfred Karcher Gmb &co/ps. com](http://www.AlfredKarcherGmb&co/ps.com)

### TECHNOLOGY FOR FOOD PREPARATION IN FIELD CONDITIONS

#### *Summary:*

*In field conditions, the basic means for food preparation are mobile kitchens. Mobile kitchens are used in peace time during exercise and camping as well as for training military chefs and students of logistic support in military schools. Exceptionally, they can be used for cooking meals when repairing or adapting military restaurants or for some other valid reasons. In the Army of Serbia today, there are the following types of mobile kitchens: mobile kitchen 250, 200, 300 and 400 l and a kitchen pack of 25 l. For the preparation of food in field conditions, NATO forces use a very versatile choice of field technical resources.*

*Key words: technology, food preparation, kitchen, container.*

Datum prijema članka: 21. 09. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 21. 10. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 23. 10. 2009.



## 54. KONFERENCIJA ETRAN 2010

Gaćeša N. *Nebojša*, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Uprava za odnose sa javnošću, Medija centar „Obrana“, Beograd

U Donjem Milanovcu je od 7. do 11. juna 2010. godine održana 54. konferencija ETRAN 2010, pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke Republike Srbije, u organizaciji Društva za ETRAN i Instituta IMTEL.

ETRAN je stručno društvo za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku. To je dobrovoljna, vanstranačka, nevladina, neprofitna i društvena organizacija stručnjaka koji rade u oblasti elektrotehnike i drugim oblastima u kojima se koriste metode i tehnike iz područja delatnosti elektrotehnike. Predsednik predsedništva društva za ETRAN je prof. dr Srđan Stanković sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, potpredsednik je prof. dr Bratislav Milovanović sa Elektronskog fakulteta u Nišu, a sekretar je prof. dr Dušan Petrovački sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

Konferencija ETRAN je najstarija i najuglednija naučno-stručna konferencija u zemlji, sa preko pola veka tradicije i desetinama hiljada publikovanih radova. ETRAN ima uspostavljeno partnerstvo s najvećom i najjačom stručnom organizacijom elektroinženjera na svetu, udruženjem IEEE.

Delatnost ETRAN-a odvija se u okviru sledećih stručnih sekcija: Elektronika, Telekomunikacije, Računarstvo, Automatika, Nuklearna tehnika, Akustika, Antene i prostiranje, Bio-medicinska tehnika, Veštačka inteligencija, Elektroenergetika, Električna kola, električni sistemi i obrada signala, Metrologija, Mikroelektronika i optoelektronika, Mikrotalasna i submilimetarska tehnika, Novi materijali i Robotika i fleksibilna automatizacija.

Ove godine je za izlaganje na konferenciji, u okviru ovih 16 stručnih sekcija, prihvaćeno 315 radova.

Zapaženo učešće na ETRAN-u 2010 imali su i ove godine pripadnici Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Donosimo pregled njihovih radova:

*Sekcija za akustiku*

Miodrag S. Vračar, Vojnotehnički institut, Beograd:  
Primena Beamforming metode u rečnim uslovima

*Sekcija za električna kola i sisteme i procesiranje signala*

Nikola Fejsov, Ivan Tubin, Miloš Krstić, Vojna akademija, Beograd:  
Obrada zvučnih signala upotrebom TMS320C6416 DSK

Slobodan Simić, Vojna akademija, Beograd,  
Aleksa Zejak, Peripolis elektronika, Beograd:

Platforma za digitalnu sintezu i obradu radarskih signala zasnovana na DDS i FPGA tehnologiji

Milenko Andrić, Dimitrije Bujaković, Vojna akademija, Beograd:  
Entropija u analizi radarskih signala

Dimitrije Bujaković, Milenko Andrić, Vojna akademija, Beograd:  
Jedan pristup spektralnoj analizi zvučnih signala

*Sekcija za metrologiju*

Miroslav Jovanović, Zoran Ilić, Zoran Filipović, Tehnički opitni centar, Beograd:

Metodologija i postupak ispitivanja instalacije goriva u letu vazduhoplovnih klipnih motora

Radoslav Stojić, Fakultet informacionih tehnologija,  
Zoran Filipović, Miroslav Jovanović, Tehnički opitni centar, Beograd:  
Metodologija testiranja i sertifikacije simulatora leta za obuku pilota

Ivica Milanović, Mladen Banović, Predrag Rakonjac, Tehnički opitni centar, Beograd:

Automatizovano merenje dugotrajne stabilnosti oscilatora korišćenjem cezijumskog etalona frekvencije

Aleksandar Kovačević, Vladimir Jokić, Dragoljub Brkić, Tehnički opitni centar, Beograd:

Određivanje funkcije gustine raspodele prilikom generisanja zahtevane jačine električnog polja smetnji

Milana Nikolić, Tehnički opitni centar, Beograd:

Analiza dugotrajne stabilnosti etalon otpornika Guildline 9330

Mirjana Mladenović, Tehnički opitni centar, Beograd:

Analiza merne nesigurnosti etaloniranja peći za visoku temperaturu

Mladen Banović, Ivica Milanović, Predrag Rakonjac, Tehnički opitni centar, Beograd:

Merna nesigurnost merenja amplitude pomoću analizatora frekventijskog spektra

Slavko Vukanić, Zoran Knežević, Tehnički opitni centar, Beograd,  
Zoran Šofranac, Direkcija za mere i dragocene metale, Beograd:  
Analiza mjerne nesigurnosti i mjerenja električne induktivnosti u odnosu na primarni etalon Vojske Srbije

Vitomir Mrvaljević, Jasminka Jelisavac, Tehnički opitni centar, Beograd:  
Komparacija klipnih manometara Desgranges 5304–1 S CP i Desgranges 5300 S na pritiscima 25 bar i 30 bar

Želimir Nedović, Vitomir Mrvaljević, Tehnički opitni centar, Beograd:  
Etaloniranje preciznog visinomera

Zoran Knežević, Slavko Vukanić, Tehnički opitni centar, Beograd:  
Interkomparacija AC/DC naponskih transfer etalona na visokim frekvencijama od 1 MHz do 50 MHz

#### *Sekcija za mikroelektroniku i optoelektroniku*

Ljubiša Tomić, Tehnički opitni centar, Beograd,  
Jovan Elazar, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,  
Bojan Milanović, Vojna akademija, Beograd:  
Numerička simulacija temperaturskog polja u impulsnoj radiometrijskoj defektoskopiji

#### *Sekcija za računarsku tehniku i informatiku*

Vladimir Petošević, Vojna akademija, Beograd:  
Instrument za evaluaciju online učenja  
Zoran Denda, Dragan Polimac, Mladen Manjak, Vojska Srbije, CKISIP:  
Softver za simulaciju pogađanja klaster balona i proračun optimalnih karakteristika istog  
Ivan Tubin, Nikola Fejsov, Miloš Krstić, Vojna akademija, Beograd:  
Steganografska obrada slike metodom modifikovane 2-bitne LSB supstitucije

#### *Sekcija za telekomunikacije*

Saša Devetak, Miroslav Terzić, Vojna akademija, Beograd:  
Primena Erlanovog modela u analizi efektivnosti modularnog taktičkog komutacionog sistema  
Boban Pavlović, Vojna akademija, Beograd:  
Analiza karakteristika algoritama rutiranja u MANET mreži pretpostavljene topologije

Dušan Mihailović, Vojska Srbije,  
Valentina Radojičić, Saobraćajni fakultet, Beograd,  
Goran Marković, Saobraćajni fakultet, Beograd:

Modeli za proširenje kapaciteta mreže u zavisnosti od funkcija tražnje

Igor Miladinović, Jovan Bajčetić, Vojna akademija, Beograd:

Komparativna analiza performansi taktičke IP mreže i simulacionog scenarija u GNS3 simulatoru

Jovan Bajčetić, Boban Pavlović, Mišo Planojević, Vojna akademija, Beograd:

Procena stepena ometanja digitalnog radio-relejnog prenosa upotrebom dva različita tipa modulacije ometačkog signala

Datum prijema članka: 09. 08. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 10. 08. 2010.

## SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

### NC3A počinje testiranje interoperabilnosti ISAF\*

Koalicione zemlje pripremaju se da testiraju interoperabilnost svojih nacionalnih sistema za združeno obaveštavanje, osmatranje i izviđanje (*joint intelligence, surveillance and reconnaissance – JISR*) sa NATO pre razmeštanja svojih efektivna u Avganistanu.

Mihal Olejarnik, predstavnik za štampu Agencije NATO za konsultacije, komandovanje i kontrolu (*NATO Consultation, Command and Control Agency – NC3A*), 16. aprila 2010. godine saopštio je medijima: „Želimo da izbegnemo situaciju da nacionalne snage neke zemlje dođu u Avganistan i 'upadnu u *JISR* rupu' zbog nekompatibilnosti svog sistema sa *ISAF* (*International Security Assistance Force – ISAF*). NATO konačno objedinjuje svoje delovanje u domenu *ISR* i, na taj način, rešava do sada uočene probleme funkcionalnog uključivanja na bojištu“.

U procesu testiranja koristiće se poverljivi sistem zasnovan na internetu koji je razvio *NC3A*, poznatiji kao distribuirane umrežene borbene laboratorije. Za potrebe testiranja sistem povezuje korisnike iz vojnog, vladinog, istraživačkog i industrijskog domena. Francuska će biti prva zemlja koja će testirati usklađenost svojih komponenta *JISR* sa onima koje koristi *ISAF* u Avganistanu. U svom štabu za tehniku, koji se nalazi u Hagu, *NC3A* ima kičmu *ISAF*-ovog sistema *JISR*. Francuska želi da testira relevantne delove svog sistema *JISR* u odnosu na najnoviju tehnologiju, koja se uvodi u *ISAF*-ove operative štabove širom Avganistana, kojom se *ISAF* osposobljava za potpuni video nadzor svih kretanja. Tu sposobnost razradio je *NC3A* u saradnji sa komandantima i tehničkim osobljem u Avganistanu, kreiranjem zajedničke IT platforme putem koje članice *ISAF*-a dobijaju od vazduhoplovne komponente jedinstveni video prikaz situacije u realnom ili skoro realnom vremenu.

I druge zemlje takođe se pripremaju da selektivno testiraju usklađenost funkcija svog sistema *JISR* sa *ISAF*-ovim. Očekuje se da će Francusku da sledi Nemačka, a nakon nje će testiranju pristupiti i Švedska. Sve zemlje koje učestvuju u operaciji *ISAF* u Avganistanu mogu uputiti zahtev

\* Izvor: *Janes's International Defence Review*, volume 43, jun 2010.

za testiranje svojih sistema *JISR* bez obzira na to da li su članice NATO ili ne. Svaka država će prema sopstvenim prioritetima koristiti sistem borbene laboratorije. Tako će, na primer, Švedska i Norveška, svaka zasebno, razvijati opcije za svoju sposobnost praćenja prijateljskih snaga kao i za elemente svog *ISR*.

Dostavljanje funkcionalnog *JISR* sistema *ISAF* koaliciji *NC3A* je podelio na tri faze. U prvoj fazi potrebno je da se izvrši više zadataka, među kojima je i testiranje interoperabilnosti nacionalnih sistema *JISR* sa *ISAF*-ovim. Sledeći zadatak je da se osmisli i testira alat za upravljanje svim podacima prikupljenim putem osmatračkih i izviđačkih aktivnosti. Njime će se izbeći konflikti između zahteva za obaveštajnim aktivnostima i planiranja, određivanja i nadziranja prikupljačkih aktivnosti sistema *JISR*, čime će se izvršiti optimizacija svih uređaja koji se koriste. U svakom trenutku znaće se čiji je osmatrački uređaj sa kamerama u upotrebi, tako da će se izbeći dosadašnji slučajevi da komandant jednog nacionalnog kontingenta uputi svoju bespilotnu letelicu tamo gde već patrolira bespilotna letelica nekog drugog nacionalnog kontingenta. Jedan od zadataka prve faze jeste i potpuna obaveštajna integracija dobavljača i korisnika u nacionalnim prestonicama. Time će se u jednu celinu uvezati zaštićene mreže NATO, *ISAF*-ove i nacionalne mreže, čime se omogućuju video konsultacije koje se već primenjuju u štabovima NATO.

U drugoj fazi koju je planirala *NC3A* jeste spiralni razvoj sposobnosti *ISAF*-ovog sistema *JISR* kojim će se obuhvatiti više zemalja i više senzora, dok bi u trećoj fazi sistem *JISR* prerastao u jedinstvenu arhitekturu u funkciji sposobnosti koja je u potpunosti zasnovana na mreži.

### *Isprobavanje sistema TopOwl u ekstremnim uslovima\**

Kompanija *Thales* objavila je da je nedavno u „ekstremnim uslovima“ izvršena serija testova sistema protiv zatamnivanja (zamagljivanja) *TopOwl*, odnosno sistema za prezentovanje podataka koji je montiran na kacigi pilota helikoptera.

Za testiranje sistema, koji obuhvata i modularnu laku kacigu dizajniranu za letenje na veoma malim visinama iznad zemlje, u dnevnim, noćnim i lošim vremenskim uslovima, displej koji je montiran na kacigi integrisan je sa senzorima najnovije tehnologije u nekoliko helikoptera nove generacije, uključujući i ograničenu evaluaciju koju sprovodi Uprava za primenjenu avionsku tehnologiju na Boingovom helikopteru *AH-64D Apache*.

\* Izvor: *Janes's International Defence Review*, volume 43, jun 2010.



*Sistem TopOwl na viziru kacige pilota projektuje sve kritične parametre leta i podatke sa senzora*

Sistem *TopOwl* već se nalazi u operativnoj upotrebi na helikopterima međunarodnih snaga u Avganistanu i omogućava pilotu da leti u uslovima nulte optičke vidljivosti sa glavom u uspravnom položaju, jer se svi kritični simboli za bezbednost leta, koji se u normalnoj situaciji prikazuju na displej-panelu instrument table, projektuju na unutrašnju stranu vizira pilotske kacige. To ima naročitu primenu u uslovima ekstremnog smanjenja vidljivosti zbog prašine koja se podiže pri poletanju i sletanju. Sistem je isproban i potpuno je operativan na helikopterima: *Eurocopter Tiger*, *NHIndustries NH90*, *Bell AH-1Z Viper (Cobra)* i *UH-1Y Venom*, i *Denel Rooivalk*, a isproban je i na *Sikorsky UH-60 Black Hawk*. Serijska proizvodnja je u potpunosti uspostavljena i već je dostavljeno 700 kaciga, a u narednih deset godina planira se da u operativnoj upotrebi bude više od 1.500 jedinica ovog sistema u 15 zemalja.

Najnovije probe sistema usledile su nakon saopštenja turskog Podsekretarijata za odbrambenu industriju da će *Aselsan*, turska korporacija za proizvodnju taktičke vojne elektronske opreme, zajedno sa *Thalesom* raditi na razvoju i proizvodnji sistema za praćenje, koji će biti u potpunosti integrisan na kacigi (*helmet integrated cueing system – HICS*), zasnovan na tehnologiji *TopOwl* i instaliran na turski izviđačko-jurišni helikopter T129. *Aselsan* će u potpunosti biti odgovoran za razvoj *HICS* i neophodnih dodatnih elektronskih elemenata i softvera koji će integrisati pokrete glave sa sistemom za generisanje simbola. Prema saopštenju *Thalesa* sistem *HICS* mogao bi biti instaliran i na druge turske transportne i borbene helikoptere, kao i na izvoznu verziju T129.

## *Slovačka dobija mobilni sistem za kontrolu leta helikoptera\**

Slovačke oružane snage zvanično su, aprila 2010. godine, prihvatile novi, taktički mobilni sistem za aerodromsku kontrolu leta helikoptera (*Taktický Mobilný Pristavací System – TMPS*). Sistem omogućava kontrolu helikopterskih operacija i njihovih aktivnosti unutar isturenih kopnenih zona pogodnih za sletanje, brzo uspostavljanje kontrole vazdušnog saobraćaja (*air traffic control – ATC*), zajedno sa svim pratećim uređajima za komunikaciju, navigaciju i sletanje, koji su usaglašeni sa pravilima instrumentalnog letenja.

Sistem je potpuno autonoman i poseduje sopstvena pripadajuća vozila i ISO kontejnere, koji omogućavaju da se transportuje drumskim, železničkim, vazdušnim ili vodenim putem. Elementi sistema su: taktički kontrolni toranj, poznatiji kao TMV; prateći kontejner (TNK); energetski blok sa sopstvenim generatorom (SEN); radio-veze (RKS) i moduli za navigaciju (RNS). Za transport navedenih segmenata namenjene su dve oklopne verzije srednjepokretnih platformi *Tatra T-815 VPR- 28 265 8x81R*. Vozilo *TMPS1* nosi TNK i generator, dok drugo vozilo, *TMPS2*, ima ugrađeni hidraulični kran PM 40022 SP koji služi za postavljanje TNK, na koji se zatim postavlja TMV, pa zajedno čine toranj za vazдушnu kontrolu saobraćaja. Klimatizovani TNK modul služi kao prostor za skladištenje i kao radionica za održavanje celokupnog sistema.



*Sistem se transportuje sa dva vozila: TMPS1 (levo) i TMPS2 (desno) sa ugrađenim kranom.*

Toranj za vazдушnu kontrolu saobraćaja ima sopstveni izvor električne energije, komunikacioni i računarski sistem i dve automatizovane radne stanice za kontrolore leta.

\* Izvor: *Janes's International Defence Review*, volume 43, jun 2010.





*Na prateći kontejner (TNK) postavlja se taktički kontrolni toranj (TMV) i zajedno čine toranj za vazдушnu kontrolu saobraćaja*

Elektronski kontrolisani zastori štite armirane prozore od bleštavila, dok sistem vazдушnih duvaljki sprečava njihovo zamaglivanje i zaledivanje. Modul za kontrolora takođe je usklađen sa zajedničkim sistemom klimatizacije i prečišćavanje vazduha i svaka radna stanica ima kontrolu komunikacija putem ekrana osetljivog na dodir i udaljene displeje za nadzor situacije u vazдушnom prostoru, kao i meteorološki informacioni sistem.

TMPS-ov radio-komunikacioni podsistem predstavljaju dve glavne radio-instalacije i jedna rezervna. One imaju antene, portabl HF i VHF/UHF radio-uređaje, satelitski komunikacioni modul, prijemnik za čitav elektromagnetni spektar sa mogućnošću ručnog pretraživanja, prijemnik od 121.5/243 MHz za nadzor frekvencije za opasnost i radio-sistem za kontrolu vazdušnog saobraćaja. Njih podržavaju: inteligentno čvorište za glasovnu komunikaciju, dupli digitalni rikorder za snimanje glasa i jedan multiplekser glasa i podatka za povezivanje na mrežu linijske komunikacije.

Ovaj sistem, takođe, vrši kontrolu i STS podsistema za osvetljavanje – koji obezbeđuje obeležavanje puta i iluminaciju površine za sletanje danju, noću i u svim uslovima vidljivosti za četiri helikoptera u skladu sa NATO specifikacijama – i jedan neusmereni taktički radio-navigacioni sistem tipa radio-fara, koji se obično postavlja na 1 km udaljenosti od kontrolnog tornja radi povećanja mogućnosti preživljavanja sistema.

Priredio *Milan Babić*

## 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* je 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 NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Vojnotehnički glasnik je, na osnovu analize Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauci – CEON (<http://ceon.rs/>) i odluke Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, svrstan u kategoriju naučni časopisi (M53). Usvojene liste domaćih časopisa mogu se videti na:

[http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com\\_content&task=view&id=930&Itemid=43](http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=930&Itemid=43)

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 omogućen je samo sa računara koji su priključeni na internet preko Akademske računarske mreže.

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](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 (jednim) bodom. 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.

Članci se dostavljaju Redakciji elektronskom poštom na adresu [vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs](mailto:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs) (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, pored 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 sa adrese [http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni\\_casopisi/vojnotehnicki\\_glasnik.html](http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni_casopisi/vojnotehnicki_glasnik.html)

**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.odbrana.mod.gov.rs/vojni\\_casopisi/vojnotehnicki\\_glasnik.html](http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni_casopisi/vojnotehnicki_glasnik.html).

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.

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 članka. 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 jeziku poželjno je da se, pored sažetka na srpskom, 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 na srpskom jeziku). Početak ovog rezimea može biti prevedeni sažetak na srpskom jeziku (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, 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 jezicima na kojima postoje sažeci. U članku se pišu neposredno nakon sažetaka, odnosno 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* (preštamptati), 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 knjige, 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](mailto:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs).

Odgovorni urednik  
Nebojša Gaćeša  
[nebojsa.gacesa@mod.gov.rs](mailto:nebojsa.gacesa@mod.gov.rs)  
tel.: 011/3349-497

## MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

- Braće Jugovića 16, 11000 Beograd •
- Telefon: (011) 3201-995, vojni 23-995 •
  - Telefaks: (011) 3241-009 •
- Tekući račun: 840-49849-58 • PIB: 102116082 •
- Broj potvrde o evidentiranju za PDV: 135328814 •

### POZIV NA PRETPLATU ZA 2010. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

	br. primeraka
<b>1. „Vojnotehnički glasnik“</b>	
Godišnja pretplata 896,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 54	.....
<b>2. „Novi glasnik“</b>	
Godišnja pretplata 1.600,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 53	.....
<b>3. „Vojno delo“</b>	
Godišnja pretplata 1.184,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 51	.....

Pretplatne cene važe do 31. 12. 2010. 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. ....

Likovno-grafički urednik  
mr *Nebojša* Kujundžić  
e-mail: [nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs](mailto:nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs)

Tehničko uređenje  
*Zvezda* Jovanović

Lektor i korektor  
*Dobriła* Miletić, profesor  
e-mail: [dobriła.miletic@mod.gov.rs](mailto:dobriła.miletic@mod.gov.rs)

Prevod na engleski  
*Jasna* Višnjić, profesor  
e-mail: [visnjicjasna@yahoo.com](mailto:visnjicjasna@yahoo.com)

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

623+355 / 359

VOJNOTEHNIČKI glasnik : naučni časopis Ministarstva odbrane  
Republike Srbije = Military technical courier : scientific periodical of the  
Ministry of Defence of the Republic of Serbia / odgovorni urednik  
*Nebojša* Gaćeša. - God. 1, br. 1 (1953) - Beograd (Braće Jugovića 19) :  
Ministarstvo odbrane Republike Srbije, 1953- (Beograd : Vojna  
štamparija. - 24 cm

Dostupno i na:  
<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>  
Dostupno i na:  
[http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni\\_casopisi/vojnotehnicki\\_glasnik.html](http://www.odbrana.mod.gov.rs/vojni_casopisi/vojnotehnicki_glasnik.html) -  
Tromesečno  
ISSN 0042-8469 = Vojnotehnički glasnik  
COBISS.SR-ID 4423938

Cena: 280,00 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