

## SADRŽAJ

|  |  |     |
|--|--|-----|
| <b>Mr Vladimir Šepec,</b><br><b>mr Saša Devetak</b><br>major   | EFIKASNOST SISTEMA PVO U USLOVIMA ELEKTRON-<br>SKIH DEJSTAVA .....                         | 5   |
| <b>Profesor dr Miroslav Demić,</b><br>dipl. inž.   | MERENJE PARAMETARA KRETANJA VOZILA BEZ ŽI-<br>ROSKOPSKI STABILISANIH PLATFORMI .....       | 11  |
| <b>Mr Aleksandar Bukvić,</b><br>potpukovnik, dipl. inž.  | SMANJENJE EMISIJE IZDUVNIH GASOVA UPOTREBOM<br>ALTERNATIVNIH GORIVA .....                  | 19  |
| <b>Profesor dr Miloško Jevtović,</b><br>dipl. inž.<br><b>mr Boban Pavlović,</b><br>kapetan, dipl. inž. | KONCEPCIJA I KARAKTERISTIKE BUDUĆE GENERACIJE<br>TELEKOMUNIKACIONIH MREŽA .....            | 30  |
| <b>Mr Dejan Ivković,</b><br>kapetan I klase, dipl. inž.  | KONCEPT SOFTVERSKOG RADARA .....   | 40  |
| <b>Mr Slobodan Simić,</b><br>kapetan, dipl. inž.   | DETEKCIJA I PROCENA PARAMETARA NEPOZNATIH<br>RADARSKIH SIGNALA S PROŠIRENIM SPEKTROM ..... | 50  |
| <b>Mr Boban Bondžulić,</b><br>kapetan, dipl. inž.  | ANALIZA REZULTATA DETEKCIJE POKRETA NA SLI-<br>CI .....                                    | 65  |
| <b>Đuro Alfirević,</b><br>potporučnik, dipl. inž.  | ZAŠTIĆENA KOMUNIKACIJA PUTEM INFRASTRUKTU-<br>RE SA JAVNIM KLJUČEVIMA .....                | 80  |
| <b>Predrag Stamenković,</b><br>kapetan I klase, dipl. inž.   | PRIMENA PALETIZACIJE U SISTEMU INTEGRALNOG<br>TRANSPORTA U VOJSCI SRBIJE .....             | 89  |
| <b>Dr Slavko Pokorni,</b><br>pukovnik, dipl. inž.  | SIMPOZIJUM O OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA<br>SYMOPIS 2006 – prikaz naučnog skupa – .....     | 101 |

---

**SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA**

---

|   |     |
|---|-----|
| Modernizacija sistema za borbeno upravljanje – M. K. ....           | 105 |
| Sistem za aktivnu oklopnu zaštitu Iron Fist – M. K. ....            | 107 |
| Sistem za detekciju snajpera SLD 500 – M. K. ....                   | 108 |
| Ručni sistem za akviziciju cilja Moskito – M. K. ....               | 109 |
| Zemaljski borbeni sistem Phalanx – M. K. ....                       | 109 |
| Minijaturni sistemi za kontrolu leta GuideStar – M. K. ....         | 110 |
| Modernizovani osmatrački radari Sentinel – M. K. ....               | 110 |
| Softverski definisani radio FlexNet – M. K. ....                    | 111 |
| Modernizacija bobene opreme vojnika – M. K. ....                    | 111 |
| Streljačka municija povećane probojnosti – M. K. ....               | 112 |
| Municija 105 mm koja izaziva malu kolateralnu štetu – M. K. ....    | 113 |
| Nevođene rakete kompanije Splav – M. K. ....                        | 114 |
| Ruski tenkovi sa topovima prilagođenim municiji sa zapada – M. K. . | 115 |
| BTR-90 – oklopni transporter XXI veka – M. K. ....                  | 117 |
| Modernizacija ruskih oklopnih borbenih vozila – M. K. ....          | 118 |
| Gumene gusenice za borbena vozila – M. K. ....                      | 120 |
| Radar za merenje početnih brzina zrna – M. K. ....                  | 121 |
| Zaštićeni ručni UHF radio-uređaj – M. K. ....                       | 122 |
| Promotivni let helikoptera EH101 Merlin – M. K. ....                | 123 |
| Modernizacija ruskih borbenih vozila – M. K. ....                   | 124 |

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Pukovnik  
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

UREĐIVAČKI ODBOR

Pukovnik  
mr DANKO JOVANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)

Profesor  
dr BRANKO KOVAČEVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr SLOBODAN JARAMAZ, dipl. inž.

Profesor  
dr LAZAR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
profesor dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILJKO ERIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)

Pukovnik  
vanredni profesor dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
LJUBOMIR SAMARDŽIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr BRANISLAV JAKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr JUGOSLAV RADULOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr ZORAN FILIPOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

\* \* \*

Odgovorni urednik

Pukovnik  
**sc Stevan Josifović, dipl. inž.**  
(tel. 300-60-23)

Sekretar redakcije

**Zora Pavličević**  
(tel. 2641-795, vojni 23-497)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

E-mail: vtg@viz.vj.yu

Pretplata tel.-fax: 3612-506, tekući račun:  
840-19540845

Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna  
štampanija – Beograd, Resavska 40b

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K



Vojnotehnički glasnik je,  
povodom 50 godina rada,  
odlikovan Ordenom VJ  
trećeg stepena

# 1

**GODINA LV • JANUAR–MART 2007.**



**Mr Vladimir Šepec,**  
**mr Saša Devetak,**  
major,  
Vojna akademija,  
Beograd

## **EFIKASNOST SISTEMA PVO U USLOVIMA ELEKTRONSKIH DEJSTAVA**

UDC: 623.762 : 623.623  
623.623 : 623.79

*Rezime:*

*U radu je primenjena teorija masovnog opsluživanja u analizi efikasnosti sistema protivvazduhoplovne odbrane (sistema PVO) u uslovima elektronskih dejstava protivnika. Prikazan je model za ocenu efikasnosti sistema PVO i predstavljeni su izrazi za procenu efikasnosti sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava.*

*Ključne reči: teorija masovnog opsluživanja, efikasnost, sistem PVO, elektronska dejstva.*

---

### **EFFICIENCY OF ANTI-AIRCRAFT SYSTEM IN ELECTRONIC WARFARE**

*Summary:*

*In this article the theory of mass servicing is used in the analysis of efficiency of anti-aircraft system in the conditions of electronic warfare. The model for analysis of the anti-aircraft system efficiency has been shown and formulas for qualitative analysis of anti-aircraft system efficiency have been presented in the conditions of electronic warfare.*

*Key words: the theory of mass servicing, efficiency, anti-aircraft defence, electronic warfare.*

---

#### **Uvod**

Poznato je da je glavni zadatak sistema PVO vođenje neprekidne borbe sa protivnikovim sredstvima za napad iz vazdušnog prostora i obezbeđenje maksimalne odbrane branjenih objekata i njihovog normalnog funkcionisanja. Sigurna odbrana objekata zavisi od efikasnosti sistema PVO koji brane određeni objekat. Efikasnost sistema PVO karakteriše se, kako efikasnošću gađanja (sposobnošću uništenja ciljeva u vazdušnom prostoru), tako i sposobnošću izvršavanja zadataka gađanja ciljeva u svim uslovima i u bilo kom momentu. Na taj način, pod efikasnošću sistema PVO podrazumeva se njegova sposobnost da izvršava zadatke u bilo kom momentu i u različitim

uslovima borbenog korišćenja, a naročito u uslovima elektronskih dejstava.

Stepen izvršavanja zadataka koji su postavljeni pred sistem PVO moguće je okarakterisati kao verovatnoću odbrane branjenih objekata. Međutim, taj kriterijum se retko primenjuje zbog složenosti proračuna. S druge strane, stepen odbrane objekata određuje se na osnovu gubitaka koji su nanoseni sredstvima za napad iz vazdušnog prostora protivnika, tako da će upravo to biti kriterijum za ocenu efikasnosti koji će u radu biti prezentovan.

#### **Analitički model za ocenu efikasnosti sistema PVO**

U stručnoj literaturi [1], kao kriterijum ocene borbene efikasnosti grupacije

raketnih sistema PVO, primenjuje se matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva u toku odbijanja naleta [1]:

$$N_c = N \cdot W \quad (1)$$

gde je:

$N_c$  – broj oborenih ciljeva,

$N$  – broj ciljeva koji učestvuju u pojasu naleta i po kojima je moguće vatreno dejstvo grupacije PVO,

$W$  – srednja verovatnoća uništenja pojedinačnog cilja u pojasu naleta sa grupacijom PVO.

Za određivanje veličine  $W$  neophodno je znati gustinu naleta  $\lambda$  (broj aviona u jedinici vremena).

Srednja verovatnoća uništenja pojedinačnog cilja može se odrediti prema formuli [1]:

$$W = p_g \cdot E_m \cdot k_{ot} \quad (2)$$

gde je:

$p_g$  – verovatnoća gađanja,

$E_m$  – verovatnoća uništenja cilja sa  $m$  raketa u uslovima kada je cilj gađan jednim raketnim sistemom PVO iz sastava grupacije,

$k_{ot}$  – verovatnoća otkrivanja cilja do granice koja obezbeđuje gađanje cilja.

Veličinu  $E_m$  moguće je odrediti na osnovu formule:

$$E_m = 1 - (1 - E_1)^m \quad (3)$$

gde je:

$E_1$  – verovatnoća uništenja cilja jednom raketom sa uračunatim celokupnim procesom funkcionisanja borbenog sredstva PVO.

Veličina  $k_{ot}$  određuje se na osnovu obrade statističkih podataka za otkrivanje ciljeva u vazдушnom prostoru u različitim uslovima (odsustvo ili postojanje elektronskih smetnji).

Kada se grupacija PVO sastoji od  $n$  raketnih sistema PVO i malom zonom uništenja,<sup>1</sup> verovatnoća gađanja cilja  $P_g$  u naletu može se odrediti prema Erlangovoj formuli [1]:

$$p_g = 1 - p_{ng} = 1 - \frac{\alpha^n}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} \quad (4)$$

gde je:

$p_{ng}$  – verovatnoća da cilj neće biti gađan u toku odbijanja naleta,

$\alpha$  – parametar,  $\alpha = \lambda \cdot t_g$ ,

$\lambda$  – gustina ciljeva u naletu,

$t_g$  – srednje vreme neophodno za gađanje jednog cilja.

Ovakva procena efikasnosti sistema PVO može da zadovolji uslove kada protivnik ne raspolaže sredstvima za ometanje i obmanjivanje, pre svega radarskih sredstava, sistema PVO, a ni ubojnim sredstvima za dejstvo po sistemima PVO. Način procene uticaja protivnika na efikasnost sistema PVO, kada on raspolaže ovim sredstvima, biće opisan u narednom tekstu.

Posmatrajmo problem na jednom primeru. Na objekte, branjene sistemima PVO, vrši se nalet sa srednjom gustinom  $\lambda = 4$  aviona/minutu. U pojasu naleta objekte brani 5 sistema PVO ( $n = 5$ ) sa srednjim vremenom gađanja  $t_g = 0,5$  mi-

<sup>1</sup> U slučaju kada je zona uništenja velika određivanje verovatnoće gađanja je mnogo složenije (vidi [1], strana 88).

nuta. U naletu učestvuje 20 aviona ( $N = 20$ ). Neophodno je oceniti efikasnost sistema PVO objekata, kada je  $E_m = 0,7$  i  $k_{ot} = 0,9$ .<sup>2</sup> Pri rešavanju polazimo od pretpostavke da nalet ciljeva na objekte predstavlja Poasonov tok. Rešenje je sledeće:

– odredimo veličinu  $\alpha = \lambda \cdot t_g = 4 \cdot 0,5 = 2$  aviona,

– na osnovu veličina  $\alpha = 2$  i  $n = 5$  dobija se da je  $p_g = 0,96$  (na osnovu tablica [1, 2]),

– u ovakvim uslovima verovatnoća uništenja cilja je  $W = 0,96 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,60$ .

Na taj način, matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva iznosi:  $N_c = N \cdot W = 20 \cdot 0,60 = 12$  aviona.

Ostali avioni iz grupe u naletu probili bi se do branjenog objekta.

U literaturi [2] sistem veza se tretira kao sistem masovnog opsluživanja<sup>3</sup> sa otkazom, tj. kao osnovni matematički model koristi se, takođe, formula Erlanga, a tok informacija koji sistem veza opslužuje posmatra se kao Poasonov tok. Međutim, za razliku od prethodne analize ovde je suština u analizi uticaja protivnika na sistem veza. Naredna elaboracija ovog pitanja treba da potvrdi da opisana tehnologija procene uticaja protivnika na efikasnost sistema veza može da se primeni i na procenu efikasnost sistema PVO.

<sup>2</sup> Ovo je statistička procena, a može se izračunati i putem teorije masovnog opsluživanja. Za 4 aviona/min  $\alpha = 0,25$ , jer avioni doleću svakih 15 sekundi, a to je četvrtina minute. Otkrivanje cilja obavlja se jednim radarom ( $n = 1$ ),  $k_s = 1$ , pa je

$$k_{ot} = 0,8 \left( k_{ot} = 1 - \frac{\frac{\alpha}{k_s}}{1 + \frac{\alpha}{k_s}} = 1 - \frac{0,25}{1 + 0,25} = 1 - 0,2 = 0,8 \right) \quad (5)$$

<sup>3</sup> Ova teorija poznata je i kao teorija repova.

Da bi mogao da se prati uticaj protivnika na sistem PVO, u formulu za izračunavanje verovatnoće gađanja cilja biće uveden novi parametar – operativna raspoloživost (spremnost) sistema PVO, koji se izražava preko koeficijenta spremnosti ( $k_s$ ). Prema tome, sada će izraz glasiti:

$$p_g = 1 - p_{ng} = 1 - \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \cdot \frac{1}{k_s^n}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} \cdot \frac{1}{k_s^k}} \quad (6)$$

Međutim, potrebno je definisati koeficijent spremnosti  $k_s$ . On predstavlja pokazatelj da će sistem biti u funkciji (bez otkaza) za vreme od akvizicije cilja do usmeravanja rakete za lansiranje, ili detaljnije: otkrivanje cilja, identifikaciju, „osvetljavanje“ i praćenje cilja i proračun parametara za lansiranje raketa. U širem smislu, može se podrazumevati i vreme vođenja rakete do susreta sa ciljem.

Ako razmatramo samo otkaze sistema usled elektronskih dejstava protivnika, koeficijent spremnosti može se definisati kao [2]:

$$k_s = (1 - p_o) \cdot (1 - p_u) \quad (7)$$

gde je:

$p_o$  – verovatnoća ometanja sistema PVO (prevashodno radara u PVO),

$p_u$  – verovatnoća uništenja sistema PVO ubojnim sredstvima (avijacijom, vodenim protivradarskim raketama i dr.).

Poznato je da su radarska sredstva u sistemima PVO najosetljivija na elektronska dejstva protivnika. Sagledavanjem broja elektronskih sredstava protiv-

nika i daljine sa kojih može da izviđa, ometa, odnosno dejstvuje ubojnim sredstvima, primenom teorije masovnog opsluživanja, može se odrediti verovatnoća otkrivanja (izviđanja), ometanja i uništenja radarskih uređaja.

Verovatnoća otkrivanja (izviđanja) radara  $p_i$  može se predstaviti izrazom [2]:

$$p_i = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n}{n! \sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!}} \quad (8)$$

gde je:

$p_n$  – verovatnoća da radar neće biti otkriven,

$n$  – ukupan broj izviđačkih uređaja,

$m$  – broj aktivnih izviđačkih uređaja,

$\rho$  – intenzitet rada radara,  $\rho = t_p / t_s$ ,

$t_p$  – srednje vreme kada radar nije u radu,

$t_s$  – srednje vreme rada radara.

Izraz za verovatnoću ometanja radara  $p_o$  glasi [2]:

$$p_o = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n \cdot \frac{1}{p_i^n}}{n! \sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!} \cdot \frac{1}{p_i^m}} \quad (9)$$

gde je:

$p_n$  – verovatnoća da radar neće biti ometan,

$n$  – ukupan broj ometača,

$m$  – broj aktivnih ometača,

$\rho$  – intenzitet rada radara,

$p_i$  – verovatnoća otkrivanja (izviđanja).

Za određivanje verovatnoće uništenja radarskih uređaja  $p_u$  može se primeniti izraz [2]:

$$p_u = 1 - p_n = 1 - \frac{\frac{\delta^n}{n!} \cdot \frac{1}{p_{otk}^n}}{\sum_{m=0}^n \frac{\delta^m}{m!} \cdot \frac{1}{p_{otk}^m}} \quad (10)$$

gde je:

$p_n$  – verovatnoća da radar neće biti uništen,

$n$  – ukupan broj ubojnih sredstava koja dejstvuju po elementima sistema PVO,

$m$  – broj aktivnih ubojnih sredstava,

$\delta$  – intenzitet pokretljivosti sistema PVO,

$\delta = t_p / t_s$ ,

$t_p$  – srednje vreme kada sistem PVO nije u radu,

$t_s$  – srednje vreme rada sistema PVO,

$p_{otk}$  – verovatnoća otkrivanja sistema PVO (razlikuje se od  $p_i$ , jer se sistem PVO može otkriti i drugim sredstvima izviđanja).

Predstavljeni teorijski model daje osnovne relacije za kvantitativnu analizu (procenu) efikasnosti sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava protivnika.

Određivanje daljine izviđanja (otkrivanja rada radara), ometanja i obmanjivanja<sup>4</sup> (aktivnim i pasivnim sredstvima) i dejstva ubojnim sredstvima su poznata [3, 4, 5]. Da bi procena bila kompletna, ostaje još jedan parametar koji treba proceniti ili proračunati, a to je srednji broj radarskih sredstava koji će biti otkriveni, ometani ili uništeni. Kao primer poslužiće obrazac (matematički model) za izračunavanje srednjeg broja radara koji će biti izviđani (otkriveni) [2]:

$$N_i = N \cdot \left[ 1 - \left( 1 - e^{-\frac{M_i}{n}} \cdot p_i \cdot p_i \right)^{\frac{n}{N+L}} \right] \quad (11)$$

<sup>4</sup> Ometanjem se može postići lažna daljina do cilja, lažni pravac (azimut) ili lažni broj ciljeva i dr.



gde je:

$N_i$  – srednji broj radara koji će biti otkriveni (izviđani),

$N$  – ukupan broj radara koje treba otkriti sa  $n$  uređaja,

$n$  – broj izviđačkih uređaja,

$M_i$  – srednji broj izviđačkih uređaja koji neće moći da izviđaju (biće uništeni ili se premeštaju),

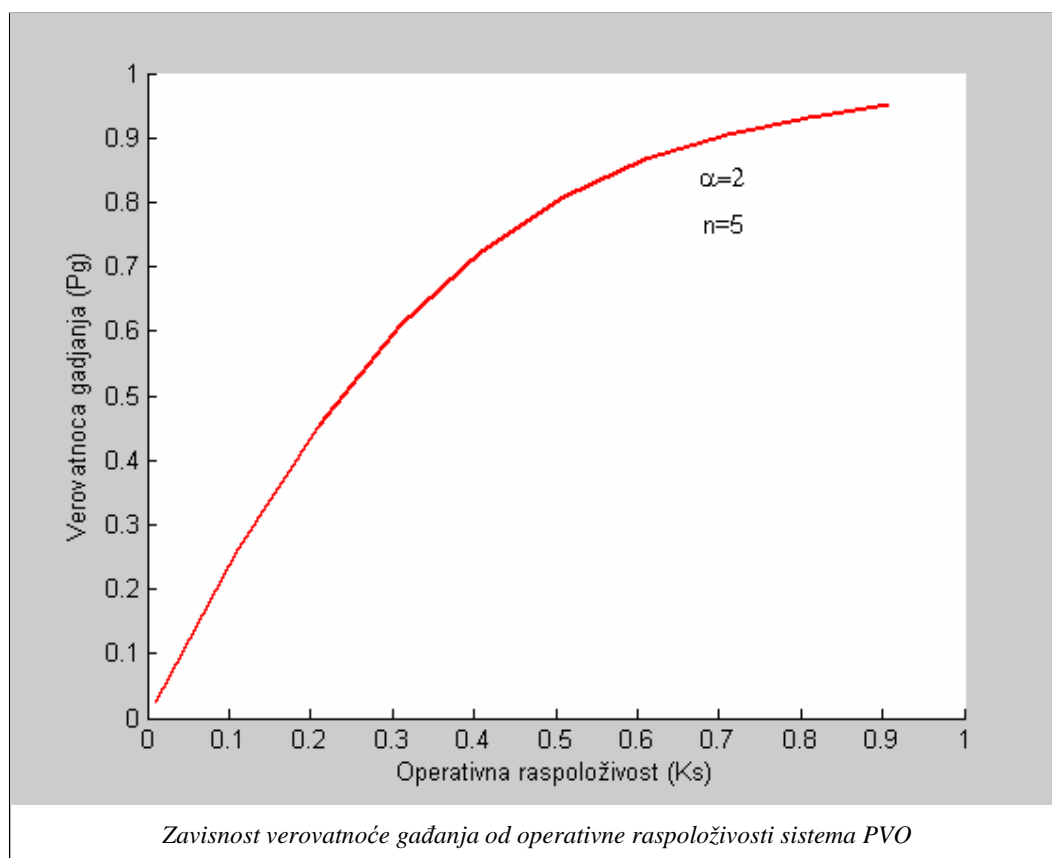
$p_t$  – verovatnoća tehnički ispravnog funkcionisanja izviđačkih uređaja (pouzdanost),

$p_i$  – verovatnoća izviđanja (otkrivanja),

$L$  – broj ostalih (radnih i lažnih) radara na prostoru gde se nalazi  $N$  radara koje treba otkriti.

Prethodni primer sada će biti razmotren u novim uslovima. Ako se pretpostavi da će vreme rada sistema PVO biti jednako pauzama (vremenu kada radarski sistemi PVO namerno „ćute“ ili se sistem PVO premešta),  $\rho = 1$ . U slučaju kada protivnik izviđa i ometa sa po jednim uređajem ( $n = 1$ ), verovatnoća otkrivanja (izviđanja) radara biće  $p_i = 0,5$ , a za iste uslove verovatnoća ometanja je  $p_o = 0,333$ . Sada može da se izračuna i kolika će biti operativna raspoloživost, pa je  $k_s = 1 - 0,333 = 0,667$ , a na osnovu ovog podatka može da se odredi verovatnoća gađanja.

U prvom slučaju za  $\alpha = 2$  i  $n = 5$ , a za  $k_s = 1$ , jer je operativna raspoloživost bila potpuna  $p_g = 0,96$ , ali sada operativna



raspoloživost zbog ometanja protivnika više nije potpuna ( $k_s = 0,667$ ), pa je i verovatnoća gađanja manja, tj.  $p_g = 0,88$ . Na slici se može videti zavisnost verovatnoće gađanja  $p_g$  od operativne raspoloživosti  $k_s$  za poznat parametar  $\alpha$  i broj sistema PVO. Za grafik zavisnosti urađen je program u programskom paketu Matlab 6.5.

Još jedna veličina biće umanjena zbog ometanja, a to je verovatnoća otkrivanja cilja, koja je za  $\alpha = 0,25$ ,  $n = 1$  i  $k_s = 0,66$ , jednako  $k_{ot} = 0,72$  (primena teorije masovnog opsluživanja).<sup>5</sup> Prema tome, srednja verovatnoća uništenja ciljeva je:

$$W = p_g \cdot E_m \cdot k_{ot} = 0,88 \cdot 0,7 \cdot 0,72 = 0,44$$

pa će broj oborenih ciljeva biti:

$$N_C = N \cdot W = 20 \cdot 0,44 = 8,8 \approx 9 \text{ aviona.}$$

U ovom primeru nije razmotren slučaj kada bi deo sistema PVO bio i uništen dejstvom protivnika, ali je zaključak evidentan. Ometanje radarskih sredstava PVO umanjilo je efikasnost sistema PVO, u našem slučaju za tri aviona. Dalja primena opisane tehnike procene pokazala bi u potpunosti njenu upotrebnu vrednost.

## Zaključak

U radu je predstavljen model za procenu efikasnosti sistema PVO. Kao osnovni kriterijum ocene efikasnosti pri-

menjeno je matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva u vazдушnom prostoru u toku odbijanja naleta. Implementacija teorije masovnog opsluživanja omogućuje određivanje verovatnoće gađanja, a izradom programskih paketa u Matlabu moguće je simulirati zavisnosti verovatnoće gađanja od parametara koji opisuju sistem. Primenom teorije masovnog opsluživanja mogu se, takođe, odrediti verovatnoće izviđanja, ometanja i uništenja radarskih uređaja sistema PVO, odnosno proceniti efikasnost sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava. Može se zaključiti da je osetljivost radarskih uređaja u sistemima PVO primorala savremene sisteme PVO da zasnivaju svoj rad i na drugim senzorskim uređajima, kao što su: televizija, televizija niskog nivoa osvetljenosti i termovizija. Model je primenljiv u proceni situacije i odlučivanju o upotrebi snaga u borbenim dejstvima.

### Literatura:

- [1] Petruhov, S. I., Stepanov, A. N.: Efikasnost raketnih sredstava PVO (prevod sa ruskog), VIZ, Beograd, 1979.
- [2] Šepec, V. V.: Procena efikasnosti sistema veza u borbi, lično izdanje, Beograd, 2004.
- [3] Palij, I. A.: Radio-elektronska borba (prevod sa ruskog), VIZ, Beograd, 1982.
- [4] Razingar, A.: Protivelektronska dejstva (drugo prošireno izdanje), VIZ, Beograd, 1982.
- [5] Šlezinger, R.: Principi protivelektronske borbe (prevod sa engleskog), SSNO, Beograd, 1985.

<sup>5</sup> Ovi primeri koji su se izračunavali prema teoriji masovnog opsluživanja, mogu se proveriti u tablicama – prilog broj 13 [2].

**Profesor dr Miroslav  
Demić,**  
dipl. inž.  
Mašinski fakultet,  
Kragujevac

## **MERENJE PARAMETARA KRETANJA VOZILA BEZ ŽIROSKOPSKI STABILISANIH PLATFORMI**

UDC: 629.3.017.3 : 623.437.4  
929.33 : 531.383

*Rezime:*

*Prostorni položaj težišta vozila i rotacije karoserije značajni su za analizu dinamike, ponašanje na putu, oscilatornu udobnost vozila, bezbedno odvijanje saobraćaja i sl. Pomenuti parametri se u fazi projektovanja vozila određuju metodama dinamičke simulacije, a kod izvedenih vozila merenjima u stvarnim eksploatacionim uslovima. Problem koji je u ovom radu razmotren odnosi se na praktična merenja parametara kretanja vozila. Naime, translatorne koordinate težišta vozila se, uobičajeno, utvrđuju na osnovu registrovanih linearnih ubrzanja težišta vozila (koja se kasnije, jednom ili dva puta, integrale radi izračunavanja brzine ili pomeranja), a uglovi rotacije karoserije se, najčešće, mere žiroskopski stabilisanim platformama. Problem koji se pri tome javlja je cena pomenutih platformi (do sto hiljada evra), pa je retko koja institucija njima opremljena. U ovom radu nastojano je da se utvrde parametri kretanja vozila na osnovu šest registrovanih linearnih ubrzanja karakterističnih tačaka vozila.*

*Ključne reči: motorno vozilo, parametri kretanja vozila, položaj težišta vozila, merenje parametara kretanja vozila.*

---

## **MEASUREMENT OF VEHICLE PARAMETERS OF MOTION WITHOUT GYRO-STABILIZED PLATFORMS**

*Summary:*

*Spatial position of vehicle C.G. as well as angular parameters of body rotation are of major importance for analysis of vehicle dynamics, handling, vibrational comfort, safe service in traffic etc. The mentioned parameters are determined by use of methods of dynamic simulation in phase of development, and by means of test measurement for vehicles in real service conditions. The problem that is to be taken into consideration here is related to practical measurement of vehicle motion parameters. Translational coordinates of vehicle C.G. are usually measured on the basis of registered linear accelerations of vehicle C.G. (once or twice integrated later, for calculation of displacement or velocity) and body angles are usually measured on gyroscope-stabilized platforms. The problem which occurs in these cases is the platform price (up to 100.000 EUR), not easily affordable for researchers. This paper attempts to determine vehicle motion parameters on the ground of six registered linear accelerations of specific body spots.*

*Key words: vehicle, vehicle motion parameters, position of vehicle C.G., measurement of vehicle motion parameters.*

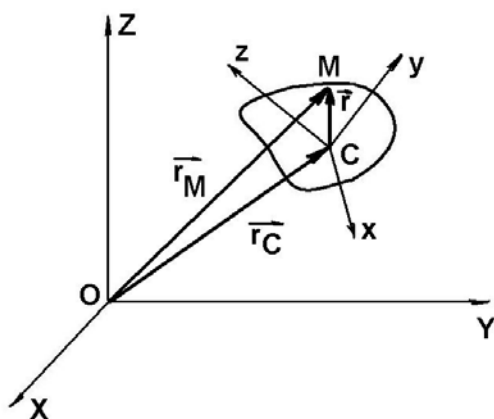
---

### **Uvod**

Tokom kretanja vozilo menja prostorni položaj u odnosu na proizvoljno odabrani nepokretni koordinatni sistem

(često nazvan: inercijalni, globalni) [23, 24]. Za analizu parametara kretanja vozila neophodno je poznavati veličine pomeranja, brzine ili ubrzanja njegovih karakterističnih tačaka [5, 6, 9–17, 21, 22, 26]. Ra-

di uprošćenja, vozilo se, najčešće, posmatra kao kruto telo koje vrši opšti slučaj prostornog kretanja. Za opisivanje takve vrste kretanja neophodno je poznavati 6 generalisanih koordinata: tri translacije i tri rotacije [24], što je uprošćeno prikazano na slici 1. Pri tome je najjednostavnije da se posmatraju translatorna kretanja centra mase (tačka C na slici) koja su definisana koordinatama  $X_C$ ,  $Y_C$  i  $Z_C$  u odnosu na nepokretni koordinatni sistem CXYZ i tri rotacije oko osa pokretnog koordinatnog sistema (čvrsto vezanog za vozilo Cxyz) [24]. Kod vozila su pomenuti uglovi poznati pod nazivima: valjanje (oko podužne), galopiranje (oko poprečne) i vijuganje (oko vertikalne ose).



Sl. 1 – Koordinatni sistemi za definisanje prostornog položaja krutog tela

Prostorni položaj težišta vozila i rotacije karoserije značajni su za analizu dinamike, ponašanje na putu, oscilatornu udobnost vozila, bezbedno odvijanje saobraćaja i sl., a parametri kretanja se u fazi projektovanja vozila izračunavaju metodama dinamičke simulacije, a kod izvedenih vozila merenjima u stvarnim eksploatacionim uslovima.

U ovom radu biće reči o mogućnostima za merenje parametara kretanja vozila. Translatorska kretanja težišta vozila u praksi se utvrđuju na osnovu registrovanih ubrzanja koja se dva puta integrale, dok se ugaona pomeranja registruju uređajima koji koriste žiroskope. Treba naglasiti da je osnovni nedostatak žiroskopskih uređaja njihova izuzetno visoka cena, koja dostiže i 100 000 evra [25], pa i najbogatije ustanove retko njima raspolažu. Zbog toga je bilo opravdano razviti postupak merenja parametara kretanja vozila bez korišćenja žiroskopa.

### Prikaz metode

Radi lakšeg opisa razvijene metode merenja, u najkraćim crtama biće dat osvrt na najosnovnije pojmove iz kinematike opšteg kretanja krutog tela [24].

Prema slici 1, vektor položaja proizvoljno izabrane tačke M na krutom telu koje obavlja opšti slučaj prostornog kretanja dat je izrazom:

$$\vec{r}_M = \vec{r}_C + \vec{r} \quad (1)$$

pri čemu je rastojanje tačke M od tačke C konstantno.

Brzine i ubrzanja tačke M mogu se izračunati jednostrukim ili dvostrukim diferenciranjem vektorske jednačine (1) po vremenu, ali kako je ova teorija poznata iz [24], o tome neće biti reči.

Parametri kretanja krutog tela, prikazanog na slici 1, mogu se izračunati i primenom matičnog računa [24]. U tom slučaju moraju se poznavati matrice transformacija između koordinatnih sistema OXYZ i Cxyz. Kako je i ova teorija poznata, a imajući u vidu činjenicu da transformacija ko-

ordinata predstavlja komplikovan posao, koji se se može lako rešiti primenom programskog paketa Mathematica [27], u ovom radu je ocenjeno celishodnim da se za izračunavanje parametara kretanja u opštim brojevima koristi programski paket NEW-EUL [23], koji je namenjen za analizu dinamike sistema krutih tela.

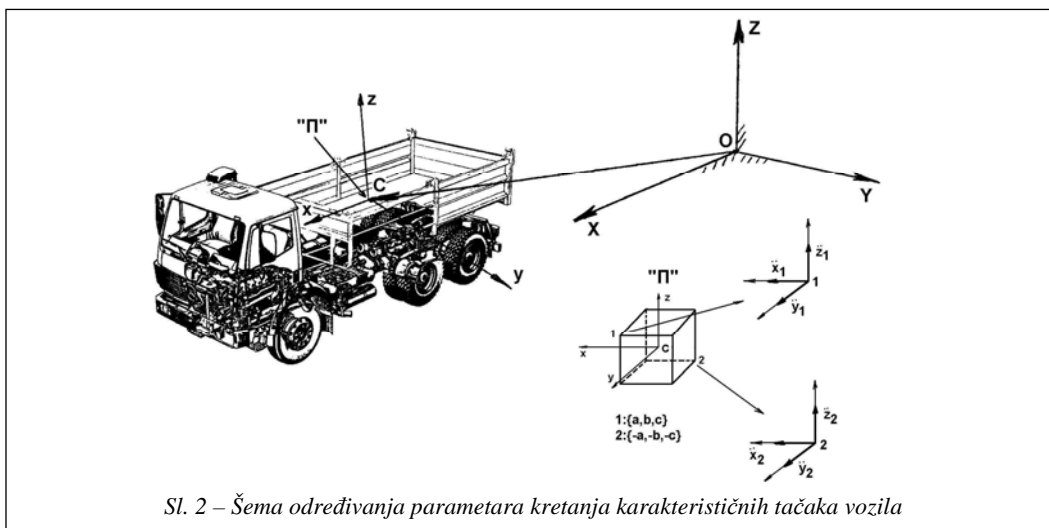
U daljem tekstu će biti više reči o razvijenom postupku za merenje parametara kretanja vozila bez korišćenja žiroskopskih uređaja, čija je ideja prikazana na slici 2. Imajući u vidu pravila NEW-EUL-a, za opisivanje kretanja proizvoljno izabrane tačke uvedena su četiri koordinatna sistema (globalni-inercijalni, koji je istovremeno i referentni koordinatni sistem OXYZ, pokretni koordinatni sistem koji je čvrsto vezan za telo vozila Cxyz i koordinatni sistem sa početkom u posmatranoj tački, a čije su ose paralelne osama pokretnog koordinatnog sistema, jer su čvrsto vezane za telo vozila).

Parametri kretanja posmatrane tačke izračunavaju se u odnosu na globalni koordinatni sistem OXYZ, ali se mogu, automatski, primenom pomenutog programa,

projektovati na bilo koji, pa i pokretni koordinatni sistem Cxyz. Ova činjenica je od velikog značaja za razvoj metode, o čemu će u daljem tekstu biti više reči.

Kao što je napomenuto, cilj rada je da se utvrđivanje parametara kretanja vozila vrši bez korišćenja žiroskopski stabilisanih platformi. Kako prostorni položaj potpuno opisuju šest generalisanih koordinata, očigledno je da se njihove vrednosti mogu izračunati na osnovu šest poznatih pomeranja, brzina ili ubrzanja bilo kojih tačaka krutog tela, a u praksi je najjednostavnije izmeriti šest projekcija ubrzanja tih tačaka.

Izbor broja i položaja mernih tačaka može biti proizvoljan, ali je najjednostavnije da se izaberu dve karakteristične tačke na specijalno urađenoj krutoj ramnoj konstrukciji, koje ćemo označiti sa 1 i 2. Ubrzanja tih tačaka mere se u tri pravca (slika 2), sa koordinatama u odnosu na pokretni koordinatni sistem Cxyz  $\{a_1, b_1, c_1\}$ , odnosno  $\{-a_2, -b_2, -c_2\}$ . Radi lakše analize, poželjno je da su tačke simetrične u odnosu na tačku C (pogled „П“ na slici 2). Pri tome, veličine a, b i c se mogu proizvoljno izabrati,



ali je povoljnije da budu što veće. Komponente registrovanih ubrzanja prikazane su na istoj slici.

Ubrzanja se registruju induktivnim ili piezoelektričnim davačima ubrzanja, koji imaju svoje prednosti i nedostatke, a detaljno su opisani u [18, 20]. Ističemo da induktivni davači imaju jednostavnu mogućnost kalibracije. Njihova donja učestanost jednaka je nuli, ali je nedostatak što su osetljivi i na ubrzanja koja im se ne saopštavaju samo u pravcu ose merenja i što imaju relativno nisku gornju graničnu učestanost. Piezoelektrični davači su manje osetljivi na uticaj drugih komponenata ubrzanja, komplikovanija je kalibracija, donja učestanost im nije jednaka nuli, ali su manje osetljivi na udare, i posebno su pogodni za korišćenje kao troosni [18, 20]. Kako su davači ubrzanja postavljeni na kruti okvir koji je čvrsto vezan za telo vozila, oni registruju ubrzanja u pravcu osa pokretnog koordinatnog sistema, što je značajno za dalju analizu. U praksi se pomeranja posmatranih tačaka dobijaju dvostrukim integraljenjem registrovanih ubrzanja.

Primenom NEWEUL-a, dobijene su komponente pomeranja tačaka 1 i 2 u pravcu osa pokretnog koordinatnog sistema:

$$\begin{aligned}
 x_{1,2} &= X_C \cos\psi \cos\theta + Y_C \sin\theta \sin\varphi \cos\psi + \\
 &Y_C \sin\psi \cos\varphi - Z_C \sin\theta \cos\varphi \cos\psi + \\
 &+ Z_C \sin\psi \sin\varphi \pm a_{1,2} \\
 y_{1,2} &= -X_C \sin\psi \cos\theta - Y_C \sin\psi \sin\theta \sin\varphi + \\
 &+ Y_C \cos\psi \cos\varphi + Z_C \sin\psi \sin\theta \cos\varphi + \\
 &+ Z_C \sin\varphi \cos\psi \pm b_{1,2} \\
 z_{1,2} &= X_C \sin\theta - Y_C \sin\varphi \cos\theta + \\
 &+ Z_C \cos\theta \cos\varphi \pm c_{1,2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

gde su:

$X_C, Y_C, Z_C$  – nepoznate vrednosti koordinata težišta vozila u odnosu na nepokretni koordinatni sistem,

– nepoznate vrednosti uglova valjanja, galopiranja i vijuganja vozila u odnosu na pokretni koordinatni sistem,

$a_{1,2}, b_{1,2}, c_{1,2}$  – koordinate mernih tačaka 1 i 2 u odnosu na pokretni koordinatni sistem, a

$x_{1,2}, y_{1,2}, z_{1,2}$  – poznate veličine pomeranja tačaka 1 i 2 u pravcu osa pokretnog koordinatnog sistema, dobijene dvostrukim integraljenjem registrovanih ubrzanja.

Kao što je rečeno, komponente ubrzanja posmatranih tačaka u pravcu pojedinih osa registruju se odgovarajućim davačima, čije su izlazne veličine električni naponi. Pri tome, između tih veličina, u preporučenoj oblasti učestanosti primene davača ubrzanja, postoje relacije:

$$a_{x,y,z} = k_{x,y,z} u_{x,y,z} \tag{3}$$

gde su:

$a_{x,y,z}$  – komponente ubrzanja u pravcu osa  $x, y, z$ ,

$u_{x,y,z}$  – registrovani naponi srazmerni komponentama ubrzanja u pravcu osa  $x, y, z$  (kako su izlazni naponi obično mali, neophodno ih je pojačati odgovarajućim pojačavačima, pa se naponi mere na izlazu tih uređaja [18]), a

$k_{x,y,z}$  – koeficijenti srazmere, za ceo meri lanac, od davača do sistema za memorisanje podataka.

Kao što je rečeno, pomeranja tačaka 1 i 2 mogu se izračunati dvostrukim integraljenjem ubrzanja, tj.:

$$\begin{aligned}
 x_{1,2} &= k_x \iint a_x dt \\
 y_{1,2} &= k_y \iint a_y dt \\
 z_{1,2} &= k_z \iint a_z dt
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

Analizom izraza (2) može se utvrditi da on sadrži šest jednačina sa šest nepoznatih ( $X_C, Y_C, Z_C, \varphi, \theta, \psi$ ) i šest poznatih veličina pomeranja u pravcu osa pokretnog koordinatnog sistema ( $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ ). Koordinate tačaka 1 i 2  $a_{1,2}, b_{1,2}$  i  $c_{1,2}$  su poznate, pa je moguće izračunati parametre kretanja vozila na osnovu poznatih komponenti kretanja tačaka 1 i 2 mernog sistema.

Jednačine (2) su transcendentne, spregnute i nelinearne. Mogu se uprostiti linearizacijom u slučaju malih uglova rotacija, ali imajući u vidu da ugao vijuganja vozila nije u eksploataciji mali, taj prilaz se ne može primeniti. Zbog toga sistem jednačina mora biti rešen numerički. U te svrhe je u početnom stadijumu istraživanja korišćena metoda linearnih iteracija, ali, zbog loše konvergencije rešenja, nije dala zadovoljavajuće rezultate, pa je usvojen postupak zasnovan na optimizaciji, uz korišćenje metode Hooke-Jeevesa [4–6, 9–13]. Pri tome je minimiziran kvadrat grešaka između izračunatih vrednosti pomeranja tačaka 1 i 2 datih izrazom (2) i izmerenih veličina pomeranja datih izrazom (4). Preciznije rečeno, funkcija cilja bila je oblika:

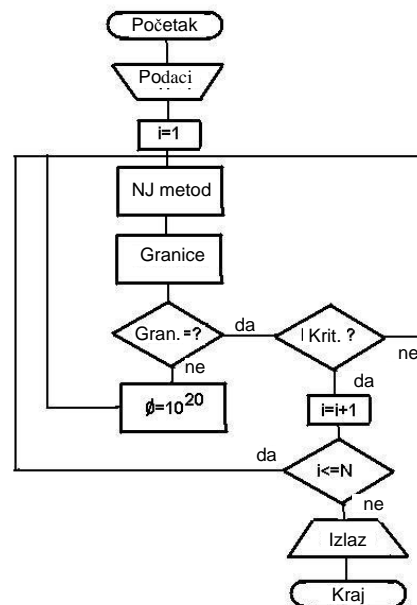
$$\begin{aligned}
 \Phi &= (x_{1r} - x_{1izm})^2 + (x_{2r} - x_{2izm})^2 + \\
 &+ (y_{1r} - y_{1izm})^2 + (y_{2r} - y_{2izm})^2 + \\
 &+ (z_{1r} - z_{1izm})^2 + (z_{2r} - z_{2izm})^2
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

gde indeksi r i izm pokazuju da se radi o računskim i izmerenim vrednostima odgovarajućih komponenti pomeranja. Mi-

nimizacija vrednosti izraza (5) vršena je za svaku diskretnu vrednost izračunatih komponenti pomeranja (1-N), uz ograničenja datih izrazom:

$$\begin{aligned}
 -\pi/2 &\leq \varphi \leq \pi/2 \\
 -\pi/2 &\leq \theta \leq \pi/2 \\
 -\pi &\leq \psi \leq \pi
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

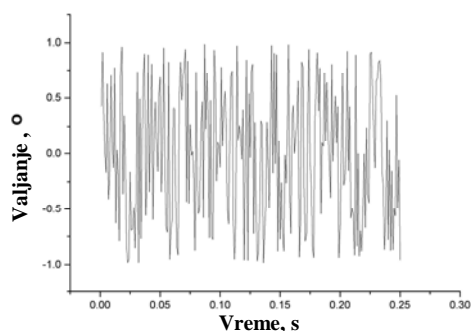
Blok-dijagram postupka zasnovanog na metodi optimizacije prikazan je na slici 3, na kojoj je očigledno da se u svakoj tački za koju su poznati podaci o šest izmerenih pomeranja vrši izračunavanje šest nepoznatih parametara kretanja vozila. Završetak iterativnog procesa, za svaku tačku, realizovan je kada je razlika dve susedne vrednosti funkcije cilja bila manja od  $10^{-20}$ . U fazi optimizacije korišćen je metod spoljašnjih kaznenih funkcija, koji je detaljno opisan u [4–6, 9–13], pa o tome neće biti reči. Sva izračunavanja vršena su uz pomoć specijalno razvijenog programskog paketa u paskalu.



Sl. 3 – Blok-dijagram razvijenog postupka za izračunavanje parametara kretanja vozila

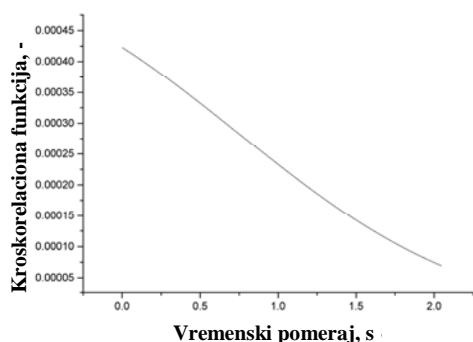
## Testiranje metode

U nedostatku eksperimentalnih podataka, za testiranje razvijene metode korišćene su vremenske serije zasnovane na slučajnim brojevima ravnomerno raspoređenim u oblasti  $\{0,1\}$ . Korišćene vremenske serije imale su 4096 tačaka i korak od 0,001 s, čime je obezbeđena pouzdanost u oblasti učestanosti 0,25–500 Hz [1] (ilustrativni primer za valjanje prikazuje slika 4).



Sl. 4 – Ilustracija vremenske serije valjanja karoserije

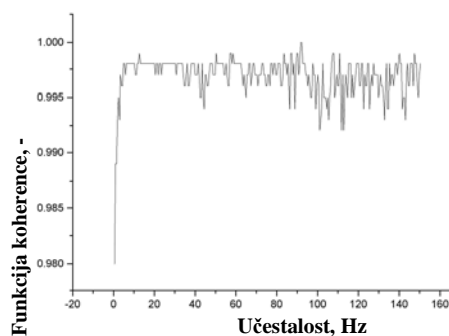
Sa slike je očigledno da je test veoma rigorozan, jer je promena simuliranih eksperimentalnih podataka veoma oštra, pa je za ocenu razvijenog postupka neophodno koristiti statističke metode. Treba naglasiti da su i analize sa većim brojem tačaka (i nižom donjom pouzdanom učestanošću) pokazale



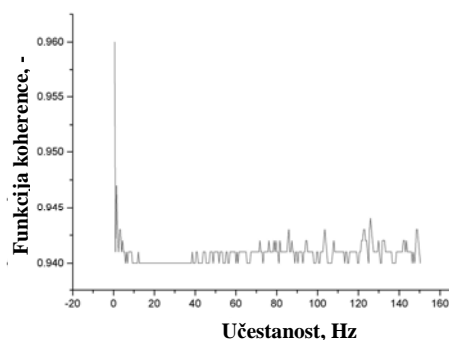
Sl. 5 – Funkcija kroskorelacije test i izračunatog valjanja vozila

isti trend ponašanja metode, što je značajno za njeno korišćenje u eksploataciji vozila, kada su i niske učestanosti veoma značajne.

U prvoj fazi testiranja, izračunate su funkcije kroskorelacije [1–4], uz korišćenje programa ANALSIGDEM [7], a ilustrativni primer prikazan je na slici 5.



Sl. 6 – Funkcija koherenci translatornog kretanja vozila (x pravac)



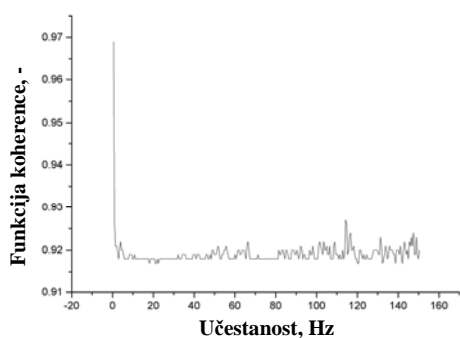
Sl. 7 – Funkcija koherenci translatornog kretanja vozila (y pravac)

Analizom kroskorelacionih funkcija izmerenih i izračunatih veličina utvrđeno je da postoji trend njihovog opadanja sa porastom vremena, što pokazuje da se zavisnost posmatranog para veličina može smatrati stacionarnim, tj. ne postoji porast njihovih razlika sa porastom vremena.

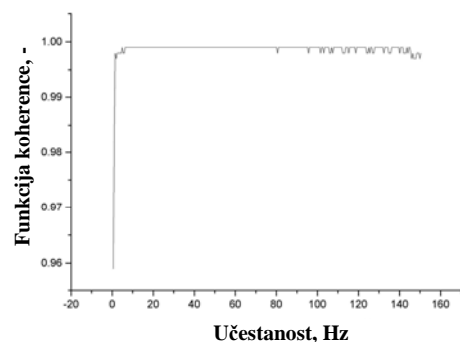
Imajući u vidu karakter usvojenih test vremenskih realizacija, ocenjuje se celishodnim da se izračunaju i funkcije kohe-



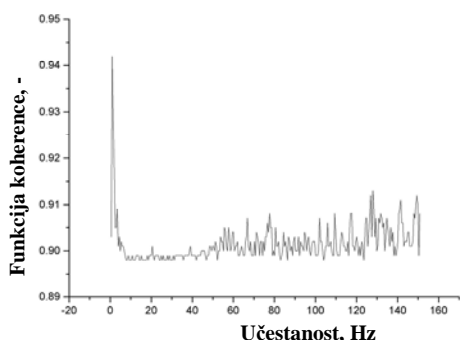
reni izmerenih i izračunatih veličina, uz korišćenje programa „DEMPARKOH“ [8], a koje su prikazane na slikama 6–11.



Sl. 8 – Funkcija koherenci translatornog kretanja vozila (z pravac)

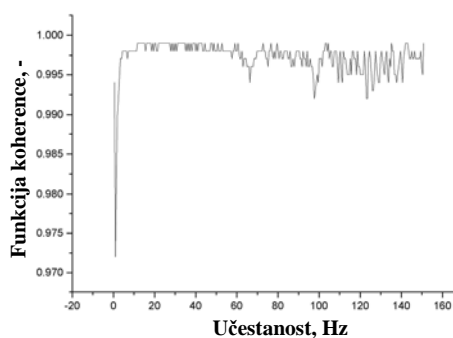


Sl. 9 – Funkcija koherenci rotacionog kretanja vozila (valjanje)



Sl. 10 – Funkcija koherenci rotacionog kretanja vozila (galopiranje)

Analizom podataka sa slika 6–11 može se utvrditi da funkcije koherenci, izračunate sa 1024 usrednjavanja, imaju veoma visoku vrednost (iznad 0,9), što pokazuje da izmerene i izračunate vrednosti pomeranja tačaka 1 i 2 imaju veoma sličan frekventni sadržaj. Ovaj stav potvrđuje visoku pouzdanost razvijene metode za određivanje parametara kretanja vozila.



Sl. 11 – Funkcija koherenci rotacionog kretanja vozila (vijuganje)

## Zaključak

Razvijena metoda omogućava posredno izračunavanje šest parametara kretanja vozila (tri translacije i tri rotacije). Testovi zasnovani na dinamičkoj simulaciji, uz korišćenje vremenskih serija slučajnog karaktera, pokazali su veliku pouzdanost izračunatih vrednosti parametara kretanja vozila, pa se razvijeni postupak može koristiti za eksperimentalna utvrđivanja parametara kretanja vozila bez žiroskopski stabilisanih platformi.

### Literatura:

- [1] Bendat, J. S., Piersol A. G.: Random Data Analysis and Measurement Procedures, John Wiley and Sons, London, 2000.
- [2] Bendat, J. S.: Nonlinear Systems-Techniques and Applications, John Wiley and Sons, London, 1998.

- [3] Bendat, J. S., Piersol, A. G.: Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis, John Wiley and Sons, London, 1980.
- [4] Bunday, P.: Basic Optimization Methods, Spottiswoode Ballantyne, Colchester and London, 1984.
- [5] Demić, M.: Identification of Vibration parameters for Motor Vehicles, Vehicle System Dynamics, Vol. 27, 1997, pp. 65–88.
- [6] Demić, M.: Optimization of Characteristics of Elasto-Damping Elements from Aspect of Oscillatory Comfort and Vehicle Handling, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 17, № 1, 1996, pp. 76–91.
- [7] Demić, M.: ANALSIGDEM – Software for signal analysis, [www.ptt.yu/korisnici/i/m/imizm034/](http://www.ptt.yu/korisnici/i/m/imizm034/), 2003.
- [8] Demić, M.: DEMPARCOH: Software for partial coherence function calculation, [www.ptt.yu/korisnici/i/m/imizm034/](http://www.ptt.yu/korisnici/i/m/imizm034/), 2003.
- [9] Demic, M.: Optimization of Vehicles Elasto-Damping Elements Characteristics From the Aspect of Ride Comfort, Vehicle System Dynamics, Vol. 23 (1994).
- [10] Demić, M.: A contribution to optimization of vehicle seats, Int. J. of Vehicle Design, 5/6, 1991, 10 pp. 618–629.
- [11] Demić, M.: A contribution to the optimization of the characteristics of elasto-damping elements of passenger cars, Vehicle System Dynamics, Vol. 19, 1990, pp. 3–18.
- [12] Demić, M.: Analysis of Influence of Design Parameters on Steered Wheels Shimmy oh Heavy Vehicles, Vehicle System Dynamics, Vol. 26, 1996, pp. 343–379.
- [13] Demić, M.: Optimizacija oscilatornih parametara motornih vozila, Monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1997.
- [14] Ellis, J. R.: Vehicle Handling Dynamics, Mechanical engineering Publications Limited, London, 1994.
- [15] Gillespie, T.: Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, Warrendale, 1992.
- [16] Genta, A.: Motor Vehicle Dynamics, Politecnica di Torino, 2003.
- [17] Georg, R.: Vehicle Dynamics, Lecture Notes, Fachhochschule Regensburg, 2004.
- [18] Hottinger Balldwin Messtechnik, Elektrisches messen mechanischer groessen, 1980.
- [19] Hačaturov, A. A. i dr.: Dinamika sistemi: doroga-šina-avtomobilj-voditelj, Mašinstrojenje, Moskva, 1976.
- [20] Jovanović, S., Pijevčević, D.: Poređenje odziva piezoelektričnih i induktivnih davača ubrzanja na mehaničke udare i postprocesno dobijanje pomeranja, Vojnotehnički glasnik, 1/2006, str. 97–101.
- [21] Miliken, W. F. Miliken, D. L.: Race Car Vehicle Dynamics, SAE, Warrendale, 1995.
- [22] Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, Springer Verlag, 1972.
- [23] NEWEUL: Software package for the dynamic analysis of mechanical systems, University of Stuttgart.
- [24] Pars, L.: A Treatise on Analytic Dynamics, Heinemann, London, 1971.
- [25] Regelungen und Messtechnik – Dynamik Test Systems, Hamburg, Germany, 2006.
- [26] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [27] Wolfram Research: Mathematica 5.2.

**Mr Aleksandar Bukvić,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnoizdavački zavod,  
Beograd

## **SMANJENJE EMISIJE IZDUVNIH GASOVA UPOTREBOM ALTERNATIVNIH GORIVA**

UDC: 662.756 : 502.17

### *Rezime:*

*Ekološki problemi izazvani saobraćajem pripadaju „prvoj vrsti“ zagađenja u urbanim sredinama. Emisije aerozagađenja štetnim materijama, poreklom iz motora SUS, visoke su, bez obzira na mogućnost smanjivanja. Prognoze o rezervama nafte uvek su nametale potrebu i intenzivirale istraživanja supstitucije mineralnih goriva. U svetu je sve aktuelniji trend istraživanja obnovljivih izvora energije. Zaštita životne sredine i smanjenje potrošnje energije glavni su pravci budućeg razvoja motora i vozila. Sa tog aspekta analizirane su emisije prirodnog gasa i biodizela RME u poređenju sa klasičnim gorivom.*

*Ključne reči: saobraćaj, motori SUS, životna sredina, zagađenje, zaštita, alternativno gorivo, prirodni gas, biodizel RME.*

---

## **DECREASE EMISSIONS „GREEN HOUSE“ GASES USING ALTERNATIVE FUELS**

### *Summary:*

*Ecology problems of transport appertain „first class“ pollution in urban environment. The forecast about the reserves of crude petroleum have always imposed the need for intensified researches on substitution of conventional mineral fuels. The trend of research of renewable sources is more and more actual in the world. Environmental preservation and the reduction of energy consumption are the main directions for future engine and vehicle developments. From that aspect, emissions produced by certain fuels have been analyzed and compared with natural gas and biodiesel RME.*

*Key words: traffic, engine IC, human environment, pollution, protection, alternative fuel, natural gas, biodiesel RME.*

---

### **Uvod**

Motori SUS dostigli su zavidan nivo usavršenosti, kako u pogledu teorijske obrade njihovih procesa, tako i u pogledu konstrukcije. Pri postavljanju ove činjenice ne mogu se zanemariti sve oštriji zahtevi koji se postavljaju pred motore vezani za zagađenje čovekove sredine. Upotrebom naftnih derivata izduvni gasovi motora sadrže, u manjoj ili većoj meri, opasne toksične komponente, neprijatan miris i

čad. Na normalne uslove životnog ambijenta utiču, takođe, i vibracije i buka koju stvaraju motori SUS.

Želja za čistijom i zdravijom prirodnom sredinom, visokim životnim standardom, ali i konačnost klasičnih energetskih izvora, navela je svetsku zajednicu da propisima natera proizvođače i potrošače na drugačiji i sve stroži odnos prema životnoj okolini. Iz tabele 1 vidi se kako se zakonski propisi menjaju tokom devedesetih godina u Evropi.

U 1999. godini u odnosu na 1992. za 72% smanjen je procenat čestica, sadržaj CO za 82% i sadržaj HC+NO<sub>x</sub> za 48% [1].

*Tabela 1  
Zakonski propisi koji se odnose na izduvne emisije  
za vozila*

|                             | EURO I<br>(1992) |      | EURO II<br>(1996) |     | EURO III<br>(1999) |
|-----------------------------|------------------|------|-------------------|-----|--------------------|
|                             | IDU              | DU   | IDU               | DU  | IDU & DU           |
| HC + NO <sub>x</sub> (g/km) | 0,97             | 1,36 | 0,7               | 0,9 | 0,5                |
| CO (g/km)                   | 2,72             | 2,72 | 1,0               | 1,0 | 0,5                |
| Čestice (g/km)              | 0,14             | 0,2  | 0,08              | 0,1 | 0,04               |

Zahtev svetske zajednice bio je da proizvođači do 2005. godine smanje potrošnju goriva za 15% u odnosu na 1995. godinu, a za 20% do 2015. godine. Već su stupile na snagu regulative kojima se znatno smanjuju granice dozvoljenih štetnih emisija, kao i niskosumpornog goriva. Može se reći da ovaj faktor zakonskog ograničenja usmerava pravac razvoja motora i komponenata, ali i postavlja pitanje kom alternativnom energentu treba dati prednost u XXI veku, kao gorivu motora sa unutrašnjim sagorevanjem. U serijsku proizvodnju su ušli motori SUS, koji ispunjavaju standarde EURO IV i V.

Sve izraženiji ekološki problemi izazvani saobraćajem, pripadaju danas „prvoj vrsti“ zagađenja u urbanim sredinama. Tako, u suštini drastično narušavanje životne sredine, uslovljeno je stvarnim stanjem saobraćajnih sistema kao posledicom određenih promena. U stvarnom dometu štetnosti, posebno su značajni uticaji prouzrokovani eksploatacionim odlikama vozila u saobraćaju i (ne)kvalitetom goriva.

Emisije izduvnih gasova (ugljenmonoksid, azot, sumporni oksidi, ugljovodonici, olovo, formaldehidi i dr.) koji potiču iz motora SUS putničkog i teretnog saobraćaja uvek su visoke, bez obzira na mogućnost smanjivanja nekih zaga-

đivača. U Srbiji je stanje još nepovoljnije zbog lošeg tehničkog održavanja i dugog veka korišćenja motornih vozila. Prema nekim analizama, automobili u Srbiji su u proseku stari 12 godina, a ima ih oko milion. Konfuziju o stvarnom stanju unosi podatak o skoro 250 000 uvezenih vozila koja, bez obzira na očuvanost karoserije, najvećim delom predstavljaju tehnički „otpad“ Evrope. Motori takvih vozila emituju gasove koji su po količini i sastavu štetnih sastojaka izvan postojećih ekoloških i tehničkih standarda. Zaštita životne sredine i smanjenje potrošnje energije glavni su pravci budućeg razvoja motora i vozila. Sa tog aspekta potrebna je ozbiljna naučnoistraživačka analiza emisije alternativnih izvora energije, pre svega prirodnog gasa i biodizela RME u poređenju sa klasičnim gorivom.

Rafinerije u Srbiji, prvenstveno zbog NATO bombardovanja i nemogućnosti ulaganja u nove postupke prerade, mogle bi se ubrzo naći u ekološkom embargu Evrope. Količina sumpora u gorivu za dizel motore veća je nego u zapadnoj Evropi, a odnedavno je smanjen i procenat olova u benzinu (sa 0,6 na 0,4). U razvijenim zemljama olovo skoro da je izbačeno iz goriva upotrebom bezolovnog benzina. Na ovaj povećan sadržaj ove dve, po zdravlje i okolinu izuzetno opasne materije nadovezuju se i emisije čvrstih čestica karakterističnih za nepotpuno sagorevanje goriva u istrošenim motorima.

Emisija izduvnih gasova i saobraćajne buke prvenstveno zavisi od tipa motora koje koristi motorno vozilo. Struktura aerozagađenja u izduvnim gasovima zavisi od režima rada motora. Buka izazvana radom dizel motora veća je za oko 10 dB od buke koju stvara rad benzinskog motora.

Sve navedene činjenice ukazuju na to da Vojska Srbije, kao veliki potrošač goriva, mora pratiti razvoj motora i goriva za motore SUS. Direktiva Evropske unije ukazuje na neophodnost supstitucije fosilnog dizel goriva sa 0,75% biogoriva godišnje. U ukupnoj potrošnji transportnih goriva biogorivo do 2010. godine treba da učestvuje sa 5,75%, a sa 20% do 2020. godine. Što se tiče prirodnog gasa sve je više motornih vozila na ulicama koja pokreću motori koji su prilagođeni da koriste prirodni gas (auto gas).

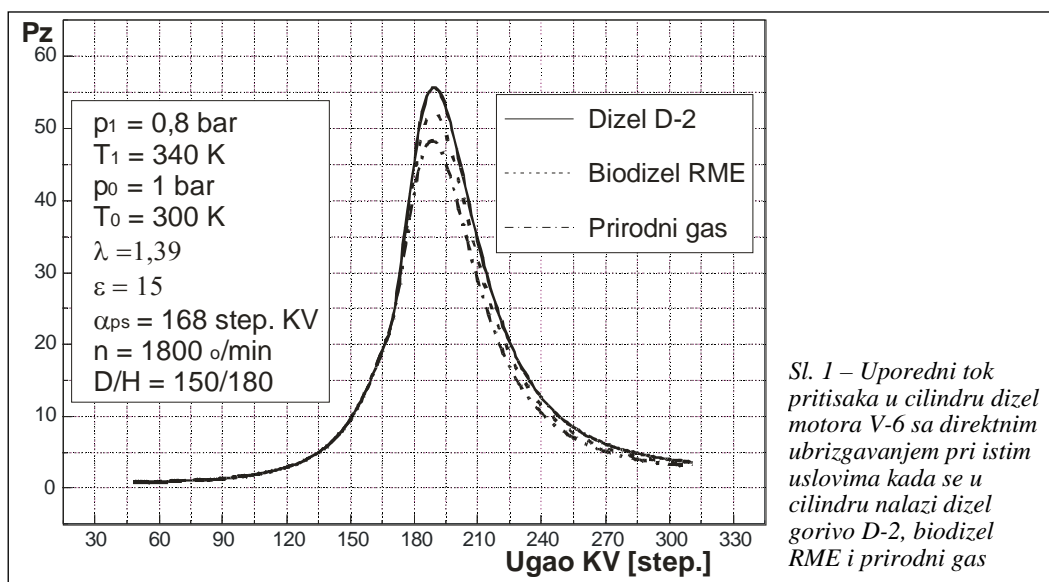
#### Modelirani rezultati primene dizel goriva D-2, biodizela i prirodnog gasa kod dizel motora V-6 sa direktnim ubrizgavanjem

Da bi neko gorivo zadovoljilo uslove primene mora se razmatrati sa više aspekata. Pored fizičko-hemijskih karakteristika primenjeno gorivo mora dati zadovoljavajuće indikatorske pokazatelje rada

motora. Primenjene su tri vrste goriva: dizel D-2, biodizel RME i prirodni gas.

Kao rezultat matematičkog modeliranja visokopritisnog dela ciklusa u cilindru dizel motora V-6 slika 1 prikazuje neke od rezultata koji su dobijeni u toku modeliranja. U cilindru motora nalazio se realan gas sa disocijacijom, što je usložilo modeliranje procesa i dalo približno realne rezultate.

Na slici 1 prikazana je zavisnost toka pritisaka od ugla kolena kolenastog vratila za različite vrste goriva, pri prvom prolazu proračuna radnog ciklusa modeliranog motora. Osnovni podaci za modelirani motor uzeti su iz tehničkog uputstva TU-1 za PT-76, kako je dato za dizel motor V-6 [6], dok su ostali usvojeni. Pritisak na početku kompresije je pretpostavljen  $p_1 = 0,8$  bar. Takt kompresije počinje od trenutka kada je usisni ventil zatvoren, a u ovom slučaju to je  $\alpha_2 = 48^\circ$  KV posle UMT. Sabija se čist vazduh, pa u periodu sabijanja na dijagramu postoji jedna linija.



Sl. 1 – Uporedni tok pritisaka u cilindru dizel motora V-6 sa direktnim ubrizgavanjem pri istim uslovima kada se u cilindru nalazi dizel gorivo D-2, biodizel RME i prirodni gas

Prva razlika u dijagramu odnosi se na ubrizgavanje različitih vrsta goriva, što je prikazano u tabeli 2. Ta razlika počinje od početka sagorevanja goriva,  $\alpha_{PS} = 168^\circ$  KV posle UMT (ili  $\alpha_{PS} = 12^\circ$  KV pre SMT). Primećuje se da se najveći pritisak ( $p_z = 55,62$  bar, kod  $\alpha = 189^\circ$  KV posle UMT) ostvaruje kada se u cilindru nalazi dizel gorivo D-2, nešto niži je pritisak za biodizel RME ( $p_z = 52,21$  bar kod  $\alpha = 189^\circ$  KV posle UMT), a najniži pritisak ostvaruje se kada se u cilindru nalazi prirodni gas ( $p_z = 48,24$  bar kod  $\alpha = 189^\circ$  KV posle UMT). Najveći uzrok takve razlike u veličini ostvarenog pritiska je u toplotnoj moći različitih goriva. Najveću toplotnu moć ima dizel gorivo D-2 (42 700 kJ/kg) [7], nešto nižu toplotnu moć goriva ima biodizel RME (36 800 kJ/kg prema standardu ÖNORM, mada neki autori daju veće vrednosti donje toplotne moći za biodizel RME), dok najnižu toplotnu moć goriva poseduje prirodni gas (33 232 kJ/m<sup>3</sup>) (prema izveštaju sa čvorišta u Batajnici).

mineralnih primesa (u gasovitim gorivima ne postoje mineralne primese):

$$C + H + S + O + N + W + A = 100\%$$

Elementarni procentualni sastav dizel goriva D-2 sačinjava ugljenik sa oko 85,63% i vodonik sa oko 14,37% [8]. Nešto manji procenat ugljenika poseduje biodizel RME, 77,6%, dok vodonika ima 12,1%. Prirodni gas u svom sastavu ima oko 75% ugljenika, a vodonika oko 25%. Iz izloženog se vidi da procenat ugljenika pada od dizel goriva D-2 preko biodizela RME do prirodnog gasa, a da procenat vodonika raste kod prirodnog gasa.

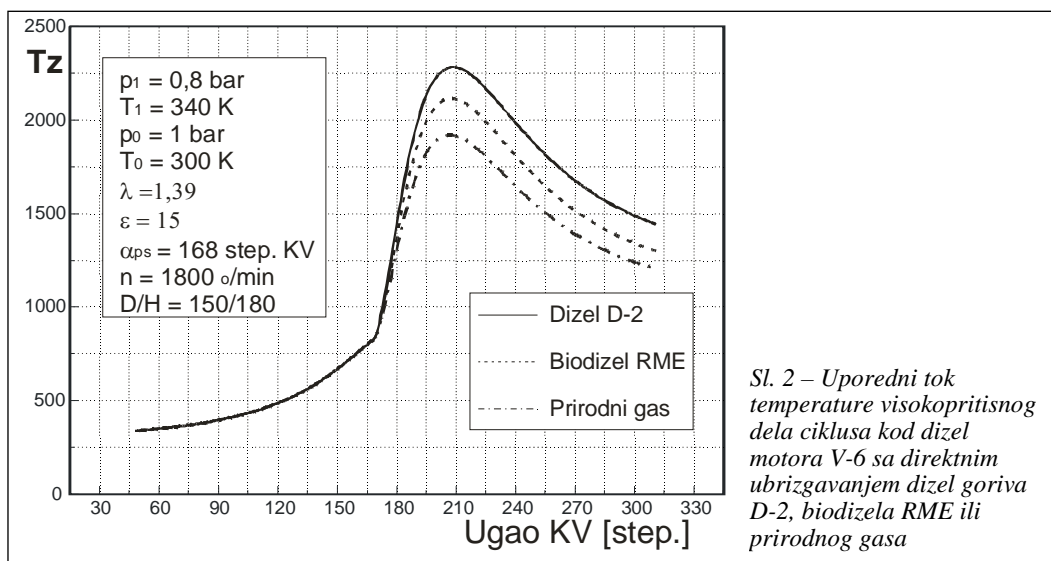
Sa slike 1 može se videti da je takt ekspanzije kod ove tri vrste goriva skoro „paralelan“. Stvaran oblik indikatorskog dijagrama najpribližniji je kod dizela D-2 i biodizela RME, što se ne može reći i za prirodni gas. Verovatno bi se politropska linija ekspanzije promenljivog eksponenta produkata sagorevanja prirodnog gasa mnogo razlikovala od dobijene, jer bi se ovaj gas morao paliti nekom određenom količinom „pilot“ goriva (verovatno dizel gorivom D-2) ili bi se motor morao prepraviti u dizel (gasni) motor koji radi po otoprincipu (upaljenje mase gasa u cilindru svećicom, što se u ovom radu nije razmatralo), tako da bi rezultat bio različit od prikazanog. To će potvrditi i procentualni elementarni sastav prirodnog gasa. Vidi se da je procenat vodonika u ovom gorivu najveći i uzrokovao bi drugačiji tok ekspanzije.

*Tabela 2*  
Uporedna tabela pritisaka i temperatura dobijenih matematičkim modeliranjem

| Vrsta goriva | Maks. pritisak dobijen modeliranjem (bar) | Srednji indikator. pritisak dobijen modeliranjem (bar) | Maks. temp. dobijena modeliranjem (°K) | Srednja temp. dobijena modeliranjem (°K) |
|--------------|---|--|--|--|
| Dizel D-2    | 55,6                                      | 6,7  | 2282,5                                 | 1202,5                                   |
| Biodizel RME | 52,2                                      | 6,0  | 2115,0                                 | 1123,6                                   |
| Prirodni gas | 48,2                                      | 5,27   | 1920,0                                 | 1049,7                                   |

Do razlike u sagorevanju dovodi i elementarni sastav različitih goriva. U opštu formulu za procentualno učešće pojedinih hemijskih elemenata u gorivima dodato je procentualno učešće vlage i

Utica j prelaza toplote, na osnovu dobijenog dijagrama, različit je kod sve tri vrste goriva. Najveća količina toplote odaje se kada je u cilindru dizel gorivo D-2, nešto manja količina pri ubrizga-



Sl. 2 – Uporedni tok temperature visokopritisnog dela ciklusa kod dizel motora V-6 sa direktnim ubrizgavanjem dizel goriva D-2, biodizela RME ili prirodnog gasa

nom biodizel gorivu RME, a najmanja količina toplote odaje se kada je u cilindru prirodni gas. Ova konstatacija proističe iz procentualnog elementarnog sastava pojedinih goriva, koja je već navedena. Pri proračunu je korišćena formula Eichelberga za koeficijent prelaza toplote kod sve tri vrste goriva.

Sa slike 2 može se videti da tok temperature ima istu liniju do početka sagorevanja. Od tog trenutka ( $168^\circ \text{ KV}$  posle UMT) u cilindru sagorevaju tri različite vrste goriva sa različitim hemijskim sastavom i vrednostima donje toplotne moći. Različit hemijski sastav utiče na vrednosti koeficijenata linearizovanih izraza za veoma brza izračunavanja termodinamičkih svojstava gasa u cilindru, kao i na maksimalnu temperaturu koja se ostvaruje u cilindru. Tako je pri upotrebi dizel goriva u cilindru ostvarena najveća temperatura ( $T_{Z, \max} = 2282,491^\circ \text{ K}$  pri  $\alpha = 208^\circ \text{ KV}$  posle UMT), nešto niža pri upotrebi biodizela ( $T_{Z, \max} = 2115,048^\circ \text{ K}$  pri  $\alpha = 208^\circ \text{ KV}$  posle UMT), a najniža

pri upotrebi prirodnog gasa ( $T_{Z, \max} = 1920,046^\circ \text{ K}$  pri  $\alpha = 207^\circ \text{ KV}$  posle UMT). S tim u vezi najopterećeniji su elementi motora koji koristi dizel gorivo D-2, nešto manje kod motora koji koristi biodizel gorivo RME, a najmanje su opterećeni elementi motora koji koristi prirodni gas. Treba naglasiti da stvarna vrednost temperature pri upotrebi prirodnog gasa mora biti različita od dobijene iz već pomenutih razloga (načina paljenja goriva).

### Emisija izduvnih gasova primenom prirodnog gasa

Brzi razvoj svetske privrede baziran je, uglavnom, na eksponencijalnom rastu potrošnje energenata i sirovina. Pod „gasovima staklene bašte“ podrazumevaju se ugljen-dioksid, metan, azotni oksidi, ugljen-monoksid i nemetanske isparljive komponente. Kada se uzme u obzir da na saobraćaj otpada 31,5% ukupne potrošnje energije u svetu, a samo na drumski

saobraćaj 75,6%, može se zaključiti da ova istraživanja sve više zahvataju oblast motora i mogu se očekivati stroži zakonski propisi koji će naterati proizvođače motora da svoj proizvod prilagode ovim uslovima. Drugi pravac razvoja motora SUS daje mogućnost uvođenja alternativnih goriva čije su rezerve znatno veće u odnosu na naftu, podrazumevajući pod tim i uvođenje novih pogonskih sistema, zasnovanih na drugim vidovima energije. Mada postoje različite procene i predviđanja, najveće šanse ima prirodni gas kao gorivo motora SUS za neki konačan period. Najbolje uslove za kvalitetno gorivo ispunjava vodonik, ali tehnološki razvoj još uvek ne dozvoljava njegovu primenu. Postoje uspeli eksperimenti vozila, čije motore pokreće vodonik. Relativno velike zalihe ovog goriva omogućavaju rešenje pogona motora na dug period.

Prirodni gas ima nižu cenu u odnosu na konvencionalna goriva, a i emisija izduvnih gasova je niža od emisije goriva na bazi naftnih derivata. To sve čini ovo gorivo atraktivnim za upotrebu u gradskim uslovima. Procenjuje se da u SAD, Kanadi, Japanu, Novom Zelandu, Italiji i Holandiji ima oko četiri miliona vozila koja koriste prirodni gas kao gorivo [1]. Na primer, u Gethenburgu (Švedska) ve-

liki broj gradskih autobusa koriste prirodni gas kao gorivo. U Srbiji se, za sada, prirodni gas primenjuje za pokretanje samo kod benzinskih motora, uglavnom u privatnom vlasništvu.

Najveći problem kod ovog goriva je skladištenje. Međutim, jedna od najvećih njegovih prednosti je postizanje nisko-toksične emisije izduvnih gasova. To potvrđuju i primeri gde je emisija CO niža zbog nepostojanja lokalne nehomogenosti smeše u komori motora. Emisija HC je niža zbog manje debljine zone gašenja plamena iz koje potiču nesagoreli HC. Emisija NO<sub>x</sub> može biti niža zbog mogućnosti rada sa siromašnijim smešama, u kojima je temperatura sagorevanja niža, i sa kasnijim prepaljenjem. Emisija čestica (čadi) niža je zbog nepostojanja nukleusa goriva bez dodira sa vazduhom, koji mogu biti izvor izdvojenog ugljenika koji bi stvorio toksične čestice.

Korišćenje prirodnog gasa kod teških vozila omogućuje smanjenje izduvne emisije naročito vidljivog dima, a time i smanjenja zagađenja životne sredine. Najveći problem je smanjenje emisije NO<sub>x</sub> koja se kreće od 3 do 5 g/kWh. Niže vrednosti postižu se korišćenjem trostepenih katalizatora. U tabeli 3 prikazane su emisije nekih gasnih motora [1].

Tabela 3

Emisija izduvnih gasova pri upotrebi prirodnog gasa

| Motor, gorivo               | V <sub>z</sub><br>dm <sup>3</sup> | P <sub>z</sub><br>kW | CO<br>g/kWh | HC<br>g/kWh | NO <sub>x</sub><br>g/kWh | Čestice<br>g/kWh | Metoda<br>ispitiv. |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------------------|------------------|--------------------|
| MAN 2866, TWC, LPG          | 12,0                              | 177                  | 1,0         | 0,3         | 4,0                      | < 0,05           | ECE R49            |
| VALMET 612, TWC, LPG        | 7,4                               | 130                  | 2,1         | 0,7         | 1,1                      | –                | ECE R49            |
| GMC 454, TWC, NG, TC        | 7,4                               | 170                  | 14,2        | 1,6         | 1,9                      | 0,02             | US HDT             |
| SCANIA/RICARDO, TWC, NG, TC | 11,0                              | 180                  | 1,4         | 1,5         | 2,5                      | 0,02             | US HDT             |
| DAF 1160, LB, NG            | 11,6                              | 122                  | 0,15        | 2,5         | 3,4                      | < 0,05           | ECE R49            |
| CUMMINS, LB, NG, TC         | 10,0                              | 180                  | 3,0         | 3,8         | 4,6                      | –                | 13 Mode            |
| VOLVO/MARINTEK, LB, LPG, TC | 9,6                               | 180                  | 0,1         | 0,4         | 3,7                      | –                | ECE R49            |



Upoređenjem dobijenih podataka sa propisima koji su dati za emisiju dizel motora može se konstatovati da većina ovih motora ispunjava propise EURO 2.

Gasna goriva oslobađaju manje količine CO<sub>2</sub> (0,20 kg CO<sub>2</sub>/kWh) nego dizel goriva (0,26 kg CO<sub>2</sub>/kWh). Uputstva koja se daju za granice emisije u 2000 (smanjenje za 50–60%) nameću pravac razvoja motora koji ih moraju zadovoljiti. Radi toga je Mercedes-Benz razvio gasne motore za laka i srednje teška vozila i autobuse čije su emisije manje za 50% od onih koje propisuje EURO-2. To se može videti iz tabele 4.

Tabela 4  
Emisija gasnih motora u odnosu na EURO propise

| Vrsta propisa, motora | CO g/kWh | HC g/kWh | NO <sub>x</sub> g/kWh | Čestice g/kWh |
|-----------------------|----------|----------|-----------------------|---------------|
| EURO 1                | 4,5      | 1,1      | 8                     | 0,36          |
| EURO 2                | 4,0      | 1,1      | 7                     | 0,15          |
| GASNI MOTOR           | 2,0      | 0,5      | 3,5                   | 0,05          |

Znatno smanjenje emisija kod gasnih motora postignuto je uz korišćenje Lambda sonde i trostepenog Oxy-katalizatora. Baza za razvoj gasnih motora M366 LAG (6-cilindrični, vodom hladeni, od 170 kW) i M447 (6-cilindrični, vodom hladeni, od 175 kW) bili su dizel motori OM366 i OM447 za laka i srednje teška vozila.

Sličan primer gasnog motora ostvaren je u mađarskoj firmi RABA, gde su izgrađena tri (jedan je još u fazi ispitivanja) gasna motora. Kakve su rezultate stručnjaci ove firme postigli u izgradnji gasnih motora G 10 DE-190, G 10 TE-165 i G 10 TE-190 (ovaj poslednji je još u fazi ispitivanja) može se videti iz tabele 5.

Tabela 5  
Emisija izduvnih gasova RABA-gasnih motora

| Vrsta motora | HC g/kNjH | CO g/kNjH | NO <sub>x</sub> g/kNjH | Katalizator |
|--------------|-----------|-----------|------------------------|-------------|
| G 10 DE-190  | 0,2       | 0,29      | 2,07                   | da          |
| G 10 TE-165  | 0,36      | 1,0       | 3,8                    | da          |
| G 10 TE-190  | < 0,6     | < 2,0     | < 5,0                  | ne          |

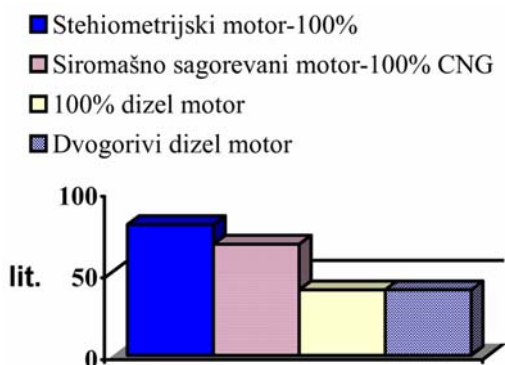
Kada se ovi podaci uporede sa propisima EURO 2 može se konstatovati da gasni motori proizvedeni u fabrikama RABA u potpunosti zadovoljavaju propise. Čak se može konstatovati da su smanjili količinu štetnih izduvnih gasova u odnosu na gasne motore koji su proizvedeni u Mercedes-Benzu. Snižavanje emisije NO<sub>x</sub> izvršeno je na prva dva modela primenom katalizatora.

To su do sada bili gasni motori sa paljenjem smeše električnom varnicom, stvoreni na konstrukciji serijskih dizel motora koji pokreću mnoga vozila širom sveta.

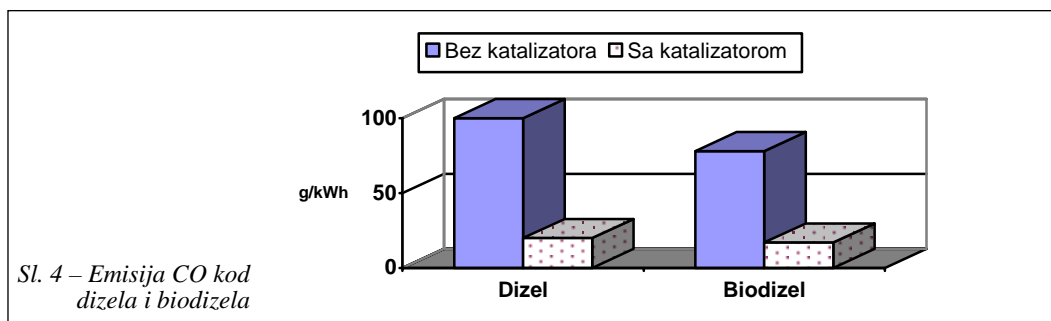
Programe multipoint dvogorivih dizel motora održavaju mnogi proizvođači. Takvi motori pokreću autobuse i kamione u mnogim zemljama od kojih su neke: Brazil, Kanada, Mađarska, Iran, Japan, Koreja, Rusija, Velika Britanija, USA i dr. [3]. Primer jednog takvog motora je dizel motor RABA 2156 koji je ugrađen u autobuse moskovskog gradskog saobraćaja. On radi i zimi i leti, po 12 časova na dan. Procenat prirodnog gasa u gorivu koje pokreće ovaj motor je 83%. Emisija izduvnih gasova je niža nego kod klasičnih dizel motora, ali emisija NO<sub>x</sub> je visoka u početnom periodu rada motora. Što je veća upotreba prirodnog gasa na uštrb smanjenja pilot goriva (za oko 3–4% manje pilot goriva), to će se i ova emisija smanjiti za oko 1 g/kWh.

Slično iskustvo može se preneti i iz Japana [3], gde je korišćen multipoint dvogorivi dizel motor za pokretanje kamiona. On je izrađen na osnovu motora Isuzu Elf, gde je, takođe, primenjen katalizator i recirkulacija izduvnih gasova. Rezultat takve primene je motor koji u potpunosti zadovoljava stroge japanske propise zaštite čovekove okoline. Taj test nalazi se u Japanskom automobilskom istraživačkom institutu (JARI).

U istraživanju [4] koje je izvedeno u Calgaryu (Kanada) došlo je do zanimljivih rezultata u vezi sa emisijom izduvnih gasova. Upoređivani su motori snage preko 100 kW: klasičan dizel motor, stehiometrijski motor, motor sa siromašnim sagorevanjem (100% CNG) i multipoint dvogorivi dizel motor.



Sl. 3 – Poređenje potrošnje različitih motora



Sl. 4 – Emisija CO kod dizela i biodizela

Može se videti da je potrošnja stehiometrijskog motora i motora sa siromašnim sagorevanjem (100% CNG) veća od dvogorivog dizel motora i klasičnog dizel motora za oko 30–40%.

Ako se uporedi npr. emisija izduvnih gasova kod ovakvih motora [4] dobijaju se rezultati kao što su u tabeli 6.

Tabela 6  
Uporedna zagađenja različitih goriva

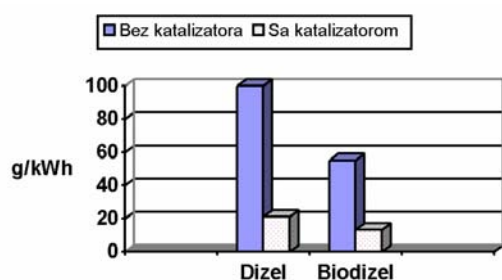
| Izduvni gas | Jed.     | Oto motor   | Dizel motori |            |
|-------------|----------|-------------|--------------|------------|
|             |          | kombinovani | dvogorivi    | 100% dizel |
| CO          | g/100 km | 262         | 13           | 524        |
| NOX         | g/100 km | 459         | 302          | 708        |
| HC          | g/100 km | 918         | 354          | 131        |
| Čestice     | g/100 km | 7           | 7            | 13         |

Vidi se da su u toku ovog ispitivanja dvogorivi dizel motori imali manje toksičnu emisiju izduvnih gasova u odnosu na kombinovani oto motor. Emisija izduvnih gasova multipoint dvogorivog dizel motora u odnosu na klasičan dizel je neuporedivo niža, što opravdava njegovu upotrebu.

### Smanjenje zagađivanja biodizel gorivom

Danas se velika pažnja u svetu (kod nas od 1994. do 1995. godine) poklanja istraživanju biodizela kao alternativnog goriva dobijenog iz biljnih ulja. Korišćenjem biodizela za pokretanje poljoprivrednih mašina zatvorio bi se ciklus proizvodnje.

Do sada se kod dizel motora najboljim pokazalo u upotrebi biljno esterifikovano ulje od uljane repice [1] ili repičin metil-estar. Potrošnja metil-estra repičinog ulja u odnosu na dizel gorivo D-2 za oko 10% je veća, jer je donja toplotna moć ovog goriva 86% od one koju ima dizel gorivo D-2.



Sl. 5 – Emisija HC kod dizela i biodizela

Proizvođači biodizela, uglavnom zagovaraju njegovu upotrebu upravo iz ekoloških razloga. Međutim, ispitivanja koja su vršena u Nemačkoj 1995. godine ne pružaju veliku nadu da će se ovo gorivo koristiti kao ekološko. Ispitivanja su izvršena na motorima 200 kW-NFZ i Deutz-Diter. Pokazalo se da je emisija CO, slika 4, kod biodizela za oko 20% manja od one koja je izmerena kod dizel goriva D-2. Isto se pokazalo i u stacionarnim i u nestacionarnim uslovima, dok je upotrebom Oxy-katalizatora emisija smanjena za oko 30%. Razlike u emisiji HC su znatno veće, što prikazuje slika 5.

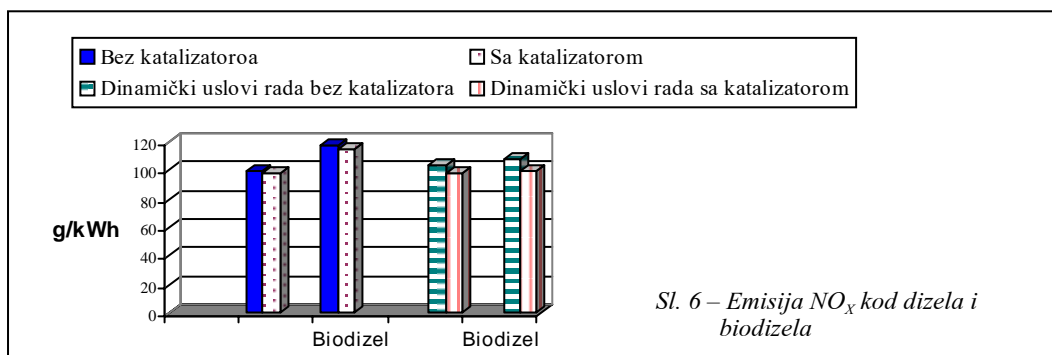
Sa slike 5 se vidi da je emisija HC oko 20–50% niža kod biodizela od one kod dizel goriva, i u stacionarnim i u nestacionarnim uslovima rada motora. Znatno manja emisija HC kod biodizela objašnjava se njegovom višom tačkom ključanja, tj. isparavanja.

Emisije NO<sub>x</sub> su oko 15% veće kod biodizela nego kod dizela i u stacionarnim i u nestacionarnim uslovima.

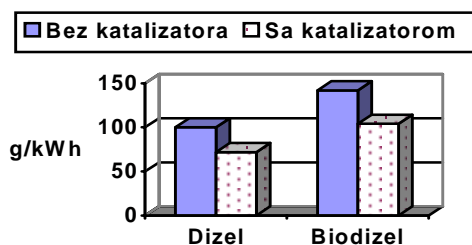
Što se tiče emisije čestica one su u stacionarnim uslovima kod biodizela oko 20% veće nego kod dizela, dok je ta razlika za nestacionarne uslove nešto manja. Kada se upotrebi katalizator situacija je obrnuta.

Možda je emisija aldehida, pored negativnog uticaja na zaptivke i boje, najveći nedostatak biodizela, pošto je ova materija kancerogena. Emisija aldehida je znatno veća i u stacionarnim i u dinamičkim uslovima rada motora kod biodizela u odnosu na dizel gorivo D-2. Naročito je veći sadržaj formaldehida [1], što potvrđuje slika 7, gde su prikazani svi aldehidi zajedno.

Drugi izvor [5] govori o upotrebi biodizela u Evropi, kao goriva koje ima veliku perspektivu. Primer je uzet iz nemačke firme Mercedes-Benz, gde je vršeno ispitivanje metil-estra repičinog ulja, po standardu za biodizel DIN V 51606, što prikazuje slika 8.



Sl. 6 – Emisija NO<sub>x</sub> kod dizela i biodizela



Sl. 7 – Emisija aldehida u stacionarnim uslovima rada

Zaključci se mogu svesti na sledeće [9]:

- konvencionalni dizel motori mogu raditi na biodizel RME bez velike modifikacije;

- biodizel RME može biti upotrebljen čist ili pomešan sa konvencionalnim dizel gorivom D-2;

- metil-ester goriva su netoksična za ljude, sigurna u rukovanju i biodegradivna. Osim toga, preporučuje se njihovo čuvanje u rezervoarima sa vodom;

- takođe, komponente nisu isparljive ispod tačke ključanja;

- izduvni gasovi oslobođeni su komponenti olova, SO<sub>2</sub> i halogena;

- čađ je ovde znatno smanjena, što pokazuje i slika 4.8. Smanjeni su i nesa-goreli ugljovodonici i ugljenmonoksid, kada se koristi oksidacioni katalizator;

- emisija NO<sub>x</sub> je u znatnom porastu, ukoliko nisu izvršene promene na motoru;
- dobre performanse u samopaljenju daju esterski rezultati pri lakom pokretanju motora;

- potrošnja goriva slična je potrošnji pri korišćenju konvencionalnog dizel goriva D-2.

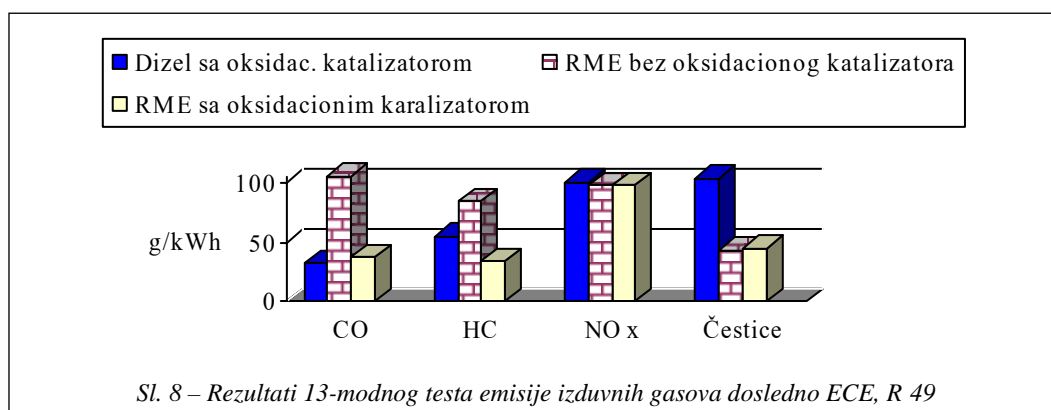
Na slici 8 prikazani su rezultati višegodišnjeg ispitivanja nakon čega se u Mercedes-Benzu 1994. daje odobrenje za korišćenje biodizela RME u serijskim automobilskim i kamionskim dizel motorima. Samo godinu dana kasnije, 1995, u Volkswagenu daju isto takvo odobrenje.

Slične standarde proteklih godina su usvojile Austrija, Italija i još neke druge evropske zemlje.

### Zaključak

Saobraćaj uzrokuje 40–50% zagađenja, koja ugrožavaju kvalitet vazduha u gradovima. Nivo azotnih oksida je u trećini gradova u svetu iznad propisanih granica, a više od polovine ima prekomerne nivoe.

Primenom novih motora i kvalitetnijih goriva, kontrolom emisija stanje u svetu postaće bolje u narednih 10 godina,



Sl. 8 – Rezultati 13-modnog testa emisije izduvnih gasova dosledno ECE, R 49

ali će znatnim povećanjem broja motornih vozila globalno zagađivanje vazduha ponovo početi da raste.

Uloga ulične mreže u gradu mnogo je značajnija od samog zadovoljenja kretanja i parkiranja vozila. Ona mora da se gradi i rekonstruiše tako da, pored zadovoljenja funkcionalnih zahteva saobraćaja, obezbedi očuvanje životne sredine.

Pored tehničkih inovacija na motorima, primene kvalitetnijih izvora energije, stroge kontrole emisija, strožih standarda kvaliteta vazduha, neophodno je preduzeti mere za ograničavanje upotrebe automobila i korišćenje masovnog prevoza putnika. Kvalitet organizacije javnog putničkog prevoza u gradu i nivoi usluge najviše utiču na masovnije korišćenje javnog prevoza, a time i na kvalitet životne sredine.

Konvencionalni dizel motori mogu koristiti biodizel RME bez velike modifikacije [9]. Metil-ester goriva su netoksična za ljude, sigurna pri rukovanju i biodegradivna. Izduvni gasovi su oslobođeni komponenti olova, SO<sub>2</sub> i halogena, a čađ je znatno smanjena. Smanjeni su i nesago-

reli ugljovodonici i ugljen-monoksid, kada se koristi oksidacioni katalizator. Emisija NO<sub>x</sub> je u znatnom porastu, ukoliko nisu izvršene promene na motoru. Dobre performanse u samopaljenju daju rezultat pri lakom pokretanju motora, a potrošnja goriva je slična potrošnji pri korišćenju konvencionalnog dizel goriva D-2.

#### Literatura:

- [1] Radojević, N. i dr.: Razvoj dizel motora sa aspekta ekonomičnosti i zaštite životne sredine i mogućnosti primene alternativnih goriva, Savetovanje „Racionalno gazdovanje energijom u širokoj potrošnji“, Beograd, 1997.
- [2] Kuburović, M. i dr.: Emisija „gasova staklene bašte“ pri korišćenju goriva u širokoj potrošnji, Savetovanje „Racionalno gazdovanje energijom u širokoj potrošnji“, Beograd, 1997.
- [3] Beck, J. i dr.: The diesel dual fuel engine-practical experience and future trends, Internal paper, Toronto, Ontario, Canada, 1995.
- [4] Badakhshan, A. i dr.: The multipoint diesel dual fuel transport engine its merits in fuel efficiency, economics and green house gas emission, Internal paper, The University of Calgary, 1996.
- [5] Varese, R., Varese, M.: Methyl ester biodiesel: opportunity or necessity?, Padova, Italy, 1994.
- [6] BTR-50, TU-I, opis, rukovanje i tehničko održavanje, SSNO Beograd, 1981.
- [7] Živković, M.: Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [8] Bukvić, A.: Aspekti primene alternativnih goriva, specijalistički rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.

Profesor dr Miloško Jevtović,  
dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet,  
Banja Luka  
mr Boban Pavlović,  
kapetan, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## KONCEPCIJA I KARAKTERISTIKE BUDUĆE GENERACIJE TELEKOMUNIKACIONIH MREŽA

UDC: 621.39/397

*Rezime:*

*U radu je izložena koncepcija i dat pregled očekivanih i mogućih performansi buduće generacije telekomunikacionih mreža. Opisane su osnovne karakteristike njenih elemenata i navedeni najvažniji protokoli. Takođe, predstavljene su karakteristike multimedijalnih mreža sa stanovišta kvaliteta usluga i analizirani osnovni elementi zaštite mreža, kao i moguće pretnje i odgovarajuće zaštitne protivmere.*

*Ključne reči: buduća generacija telekomunikacionih mreža – NGN, mrežne arhitekture, kvalitet usluga, multiservisni pristup, multimedijalne komunikacije, zaštita informacija.*

---

### CONCEPT AND CHARACTERISTICS OF THE NEXT GENERATION OF TELECOMMUNICATION NETWORKS

*Summary:*

*In this paper the concept is presented and expected summary and feasible performance of Next Generation Networks are given. Main characteristics of the components of next generation networks and specified most important protocols are described. Also, characteristics of Quality of Service (QoS) in multimedia telecommunication networks are presented and major characteristics of network protection are analyzed as well as possible threats and corresponding countermeasures.*

*Key words: Next Generation Networks, NGN, network architectures, Quality of Service, multi-service access, multimedia communications, information security.*

---

#### Uvod

Na početku novog milenijuma, u razvoju telekomunikacija poseban značaj ima sledeća (buduća) generacija telekomunikacionih mreža (u daljem tekstu NGN, od engleskog naziva Next Generation Networks) od koje se očekuje sledeća velika revolucija u telekomunikacijama [1]. Ova mreža se najčešće definiše kao skup principa i konceptijskih tehničkih rešenja koja se očekuju od budućih telekomunikacionih mreža. Može se reći da NGN predstavlja konceptijski kišobran pod kojim se nalazi skup inovacija i

promena na putu ka novoj generaciji mreža [1].

Mreže sledeće generacije, zapravo, predstavljaju konvergentne mreže koje obezbeđuju istovremeni prenos podataka i govora, a u kasnijoj fazi i multimedije.

Jedno od najvećih dostignuća predstavlja IP (Internet Protocol) telefonija. Ovom tehnologijom se ostvaruje prenos govora preko mreže koja je prvobitno bila namenjena za prenos podataka. Ova mreža obezbeđuje direktno povezivanje prenosa podataka i govora, pri čemu detekcija tišine i kompresija omogućavaju bolje iskorišćenje propusnog opsega.

Pred NGN se postavljaju različiti zahtevi (video prenos, prenos saobraćaja u realnom vremenu, podaci visokog prioriteta i dr.) i nove tehnologije (komutacije, optičke mreže, bežični prenos, satelitski prenos, mreže treće generacije, ...). Nasledeni problemi iz prethodnog perioda odnose se na javne telefonske mreže, koje su bile projektovane za prenos govornog saobraćaja, ali su danas opterećene velikom količinom podataka koje prenose. Pored toga, postojeće mreže za paketski prenos prvobitno su izgrađene za prenos podataka između računara i bile su neosetljive na kašnjenje. Međutim, danas se od njih zahteva da podrže uslugu prenosa u realnom vremenu, jer podaci se javljaju kao dominantni oblik saobraćaja, i prenos govora u stalnom porastu.

Mreže za prenos podataka još uvek ne pružaju isti nivo QoS i prednosti koje obezbeđuju PSTN (Public Switched Telephone Networks). Ono što je trenutno svojstveno internetu je isti pristup svim korisnicima i podacima, bez obzira na važnost date aplikacije.

Osnovni zahtevi koje NGN mreža mora da ostvari su:

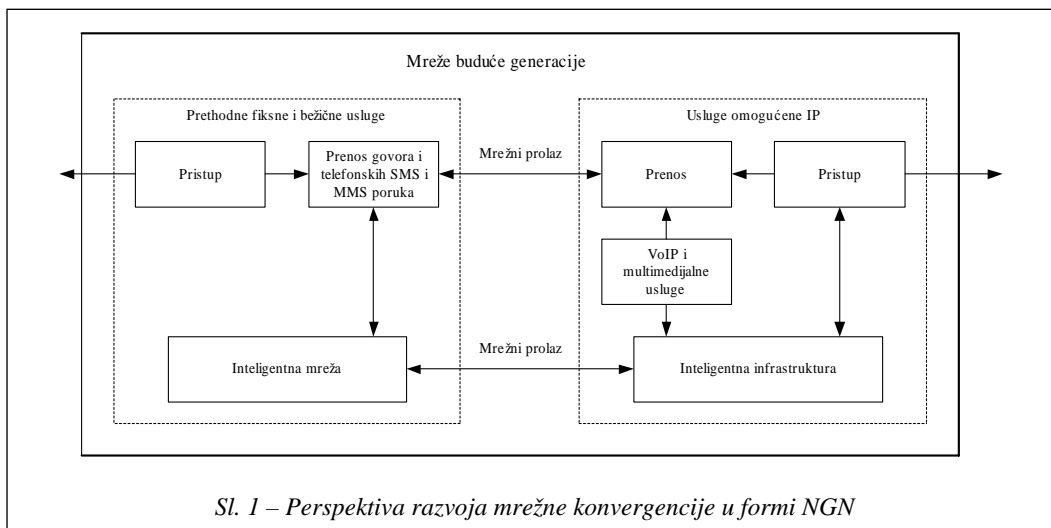
- mogućnost prenosa podataka, govora i video slike preko zajedničke infrastrukture;
- usluge prenosa govora uporedive sa PSTN (po pitanju QoS);
- fleksibilni mehanizmi upravljanja za podršku govornoj komunikaciji i pridruženim servisima podataka, i
- dodeljivanje određenog QoS korisnicima.

### **Neka tehnička rešenja buduće generacije mreža**

Telekomunikacione mreže u narednih nekoliko godina treba da budu restrukturira-

ne tako da bi mogle da zadovolje sve veće zahteve za novim uslugama, pre svega za prenos podataka i komunikaciju negovornim porukama. Pri tome se očekuje smanjenje troškova eksploatacije i cene usluga, uz nova investiciona ulaganja. Cilj je realizacija NGN, zasnovanih na paketskom prenosu i komutaciji, uz koje će i dalje egzistirati tradicionalne telefonske mreže bazirane na komutaciji kanala. Drugim rečima, NGN treba da omoguće konvergenciju klasičnih telefonskih, PSTN i paketskih računarskih mreža (internet). Prva je bazirana na komutaciji kola i zasniva se na konstantnoj širini opsega i malim kašnjenjem u prenosu. Internet se zasniva na paketskoj mreži na bazi IP protokola uz pružanje usluge za prenos podataka i govora i formiranje virtuelnih privatnih mreža – VPN. Međutim, danas ova mreža ne obezbeđuje konstantni propusni opseg, konstantno kašnjenje i zahtevani QoS. Perspektiva razvoja mrežne konvergencije u formi NGN prikazana je na slici 1.

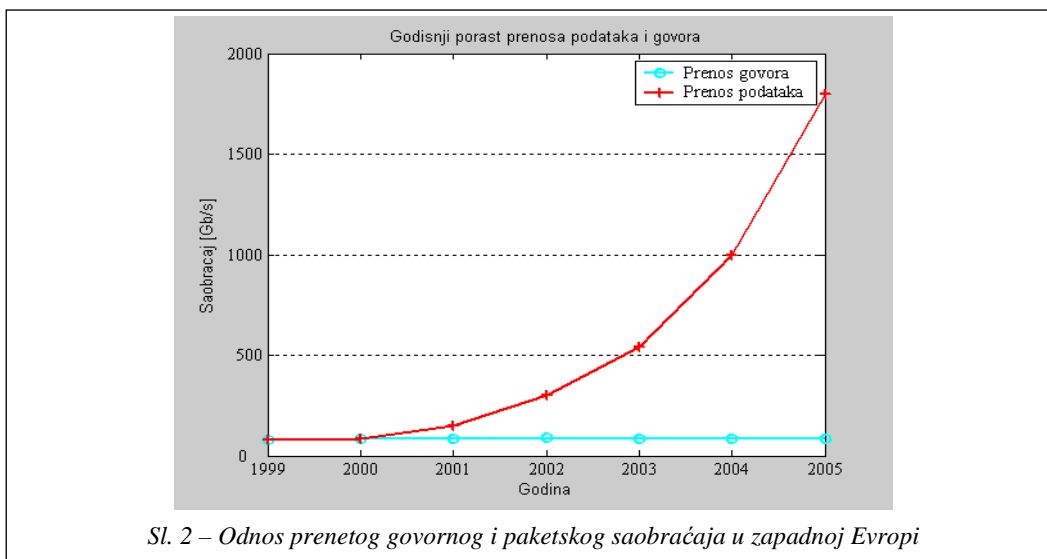
Povezivanje NGN sa postojećim klasičnim mrežama je izvedeno preko medijskih i signalizacionih mrežnih prolaza (media gateway and signaling gateway). Medijski mrežni prolazi obavljaju pretvaranje govornih kanala u pakete podataka i obrnuto, dok je uloga signalizacionih mrežnih prolaza da vrše pretvaranje signalizacije govornih kanala u pakete podataka i obrnuto. Najčešće se vrši pretvaranje signalizacije broj 7 (u daljem tekstu SS7) u jednu od dve vrste signalizacije pri prenosu podataka: H.323 ili MGCP (Media Gateway Control Protocol). Funkciju upravljanja pozivima ima kontrolor medijskih mrežnih prolaza – MGC. Ukoliko u mreži ne postoje MGC kontroleri, potrebno je povezati telefonske centrale koje se nalaze na krajevima paketske mreže enkapsuliranom signalizacijom SS7.



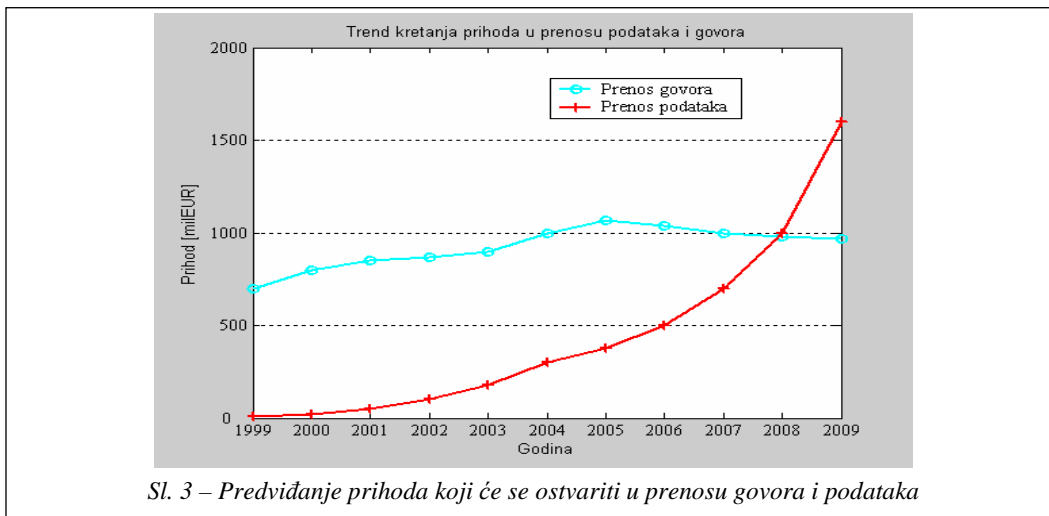
Medijski mrežni prolazi ne služe samo za povezivanje dve telekomunikacione mreže najvišeg nivoa, već i za povezivanje lokalnih IP mreža sa javnom telekomunikacionom mrežom. Na ovaj način lokalnim korisnicima omogućava se korišćenje IP telefonije, pri čemu se kao jezgro i dalje može zadržati postojeća PSTN tehnologija. U lokalnim IP mrežama najčešće egzistiraju protokoli H.323 i SIP (Session Initiation Protocol). Slično to-

me, postojeći širokopojasni priključci mogu se dograditi IP tehnologijom. S druge strane, ovi priključci već omogućavaju pristup podacima krajnjeg korisnika, što omogućava povezivanje IP terminalne otpreme i pristup klasičnoj telefonskoj centrali preko IP mreže.

Kontrolor NGN ima zadatak da omogući upravljanje pozivima, uslugama, tarifiranje, jednom rečju, sve funkcije koje obavlja klasična telefonska centrala.







Sl. 3 – Predviđanje prihoda koji će se ostvariti u prenosu govora i podataka

Istraživanja [2] koja se sprovode od 1999. godine govore u prilog tome da godišnji porast prenosa podataka, uslovljen naglim razvojem paketske IP mreže, iznosi 40% u odnosu na rast u prenosu govornog saobraćaja od svega 5% (slika 2).

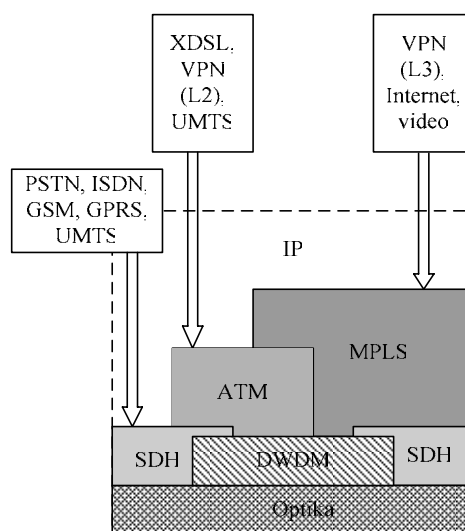
Međutim, govorni saobraćaj će i dalje predstavljati znatan udeo u ukupnom prihodu telekomunikacionih operatera i zahtevati manje investicije u dalji razvoj [3], kako je prikazano na slici 3.

Prethodne tvrdnje ukazuju na to da je potrebno razvijati jedinstvenu mrežu koja će omogućiti istovremeni prenos govora i podataka. Najvažnija tehnologija koja se koristi za ovu svrhu je tehnologija za prenos govora preko interneta – VoIP (Voice over IP). Radi povezivanja klasičnih PSTN sa paketskim mrežama primenjuju se sledeći standardi: skup protokola H.323, protokol SIP (Session Initiation Protocol), MGCP (Media Gateway Control Protocol) i protokol H.248 ili MEGACO.

### Arhitektura NGN

Nove telekomunikacione tehnologije nalaziće sve veću primenu u izgradnji

NGN. Današnju transportnu tehnologiju IP preko ATM (Asynchronous Transport Mode), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) i optike, u budućnosti će u potpunosti zameniti hijerarhijski IP direktno preko DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Takođe, zbog dobrih karakteristika u izgradnji i upravljanju mrežama sve češće će se koristiti MPLS (prikaz na slici 4).

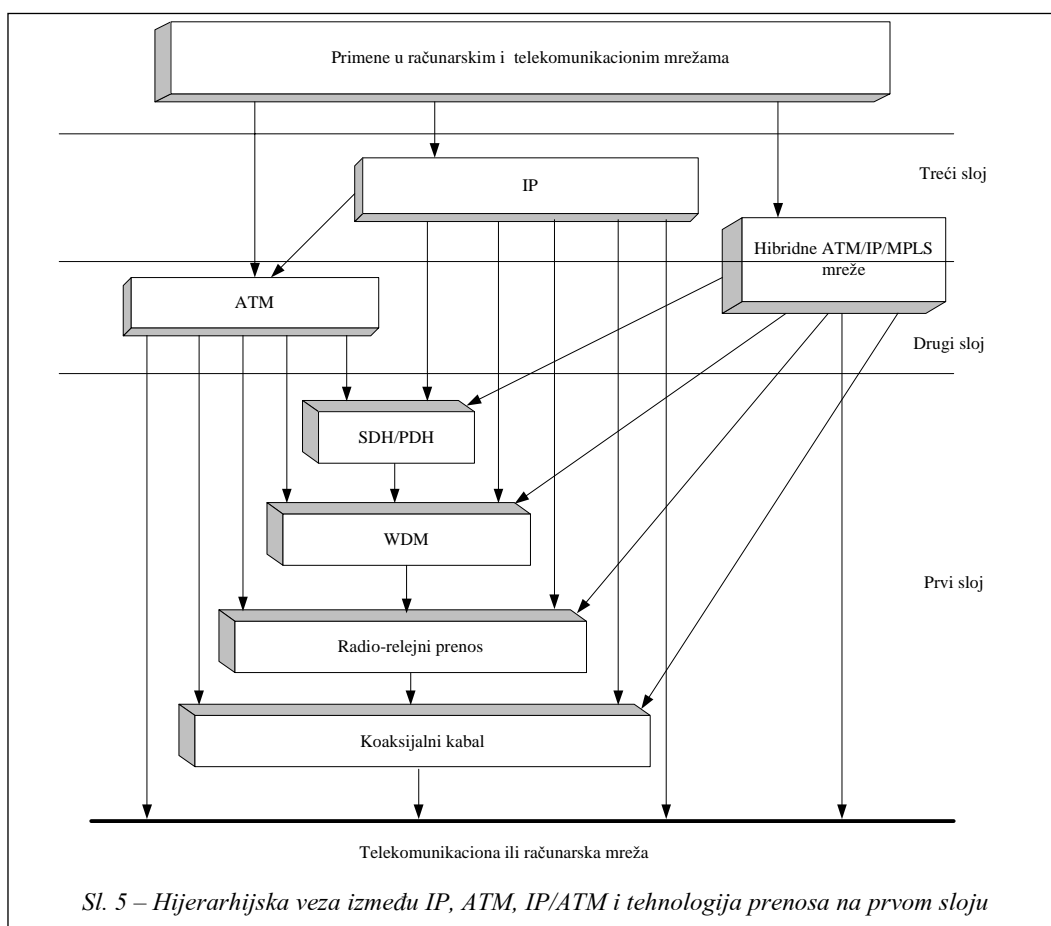


Sl. 4 – Hijerarhijski postavljeni slojevi u prenosnoj mreži

Buduća generacija telekomunikacionih mreža baziraće se na mreži za prenos IP protokolom. Niži slojevi obuhvataju ATM i sinhronu optičku mrežu – SDH. Podaci se prenose preko SDH mreže, korišćenjem tehnologija WDM ili DWDM. U budućnosti, ATM i SDH neće biti potrebni, već će se IP direktno prenositi preko optike (DWDM).

Prvo će se formirati konvergentne mreže bazirane na principu IP/MPLS, koja bi obuhvatala najbolje karakteristike ATM mreže (po pitanju obezbeđenja zahtevanog nivoa QoS) i MPLS mreže (obezbeđenje funkcionisanja u različitim

uslovima ometanja). Takva mreža mogla bi da predstavlja osnov za mreže buduće generacije, koje bi uz manja ulaganja mogle da obezbede sadašnje zahteve u servisu za prenos govora i podataka, uz istovremeni prenos multimedijalnih sadržaja. Konvergentna mreža ima cilj da smanji broj potrebnih mrežnih elemenata za upravljanje i održavanje, a samim tim da smanji i kompleksnost sistema za podršku mreže. Na taj način smanjili bi se i ukupni troškovi u smislu kapitalnih i operativnih troškova. MPLS ima sve veću ulogu u obezbeđenju IP QoS. Iako je MPLS originalno namenjen da pojedno-



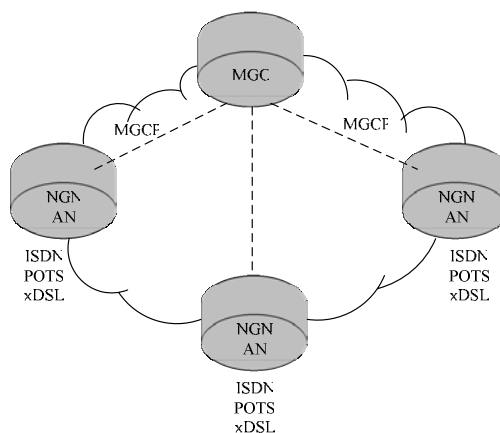
Sl. 5 – Hijerarhijska veza između IP, ATM, IP/ATM i tehnologija prenosa na prvom sloju

stavi usmeravanje saobraćaja na ruterima, neke osobine MPLS mogu da podržavaju QoS, što dovodi u pitanje neke od osnovnih atributa tradicionalnih tehnologija, kao što su ATM i Frame Relay. Međutim, postojeće usluge drugog nivoa (ATM, TDM) i dalje su veoma profitabilne telekomunikacione službe. Zbog toga će MPLS prvobitno evoluirati u transportnu mrežu najvišeg nivoa, zajedno sa ATM, da bi posle toga postao primarna tehnologija za omogućavanje multiservisa u pristupnim mrežama i mrežama sa ograničenim propusnim opsegom.

Trenutno, jedino ATM obezbeđuje potreban kvalitet usluga. Međutim, ekonomski je opravdanije rešenje za prenos IP saobraćaja direktno preko SDH, jer se ne javljaju troškovi u vezi sa ATM. Dalji razvoj kičmene mreže predstavljaće upotrebu MPLS.

Hijerarhija između ATM, IP/MPLS i hibridnog pristupa ATM/IP/MPLS prikazana je na slici 5.

Na slici 6 prikazana je osnovna ideja realizacije mreže buduće generacije. Oblak predstavlja paketsku mrežu. Korisnici usluga mogu se priključiti direktno,

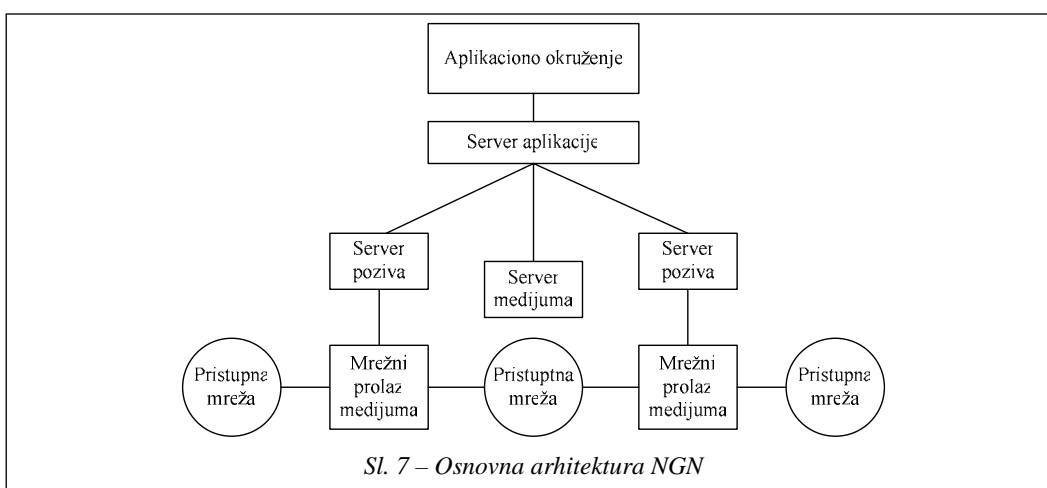


Sl. 6 – Primer osnovne realizacije NGN

ili preko pristupnih čvorišta NGN mreža, AN (Access Network). NGN AN ima ulogu da razdvoji govorni saobraćaj od paketskog i da ga pravilno usmeri. AN nadgleda kontrolor mrežnih prolaza MGC (Media Gateway Controller). Za kontrolu poziva, u NGN se koriste navedeni protokoli MGCP, H.323 i SIP.

Na slici 7 prikazana je osnovna arhitektura NGN, a zatim su opisani osnovni elementi mreže buduće generacije [4].

Mrežni prolaz medijuma (Media gateway) služi za prevođenje formata medi-



Sl. 7 – Osnovna arhitektura NGN

juma sa pristupne mreže u NGN paket-sku mrežu. Osnovna uloga mrežnog pre-laza jeste:

- prikupljanje podataka za naplatu i korisničke sisteme održavanja (evidenci-ja poziva, statistička obrada);

- upozoravanje o abnormalnim do-gađajima (zagušenje saobraćaja, prekid u vezi);

- unutrašnja komutacija (preslikava-nje toka dolaznih paketa podataka u ko-mutaciju kola);

- nadgledanje toka prenosa paketa podataka (kontrola saobraćajnih ugovora – PCR (Peak Cell Rate) u ATM mreži, odnosno definisanih klasa QoS za diffserv i RSVP (Resource reSerVation Protocol) u IP;

- podrška glavnim protokolima ruti-ranja OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway Protocol) i glav-nim procedurama O&M (Operation & Maintenance);

- mogućnost integracije signalizaci-onih funkcija mrežnih prolaza.

Server poziva (Call Server) vrši upravljanje mrežnim prolazom medijuma u skladu sa primenjenom signalizacijom. Izvršava sledeće funkcije:

- podržava standardne protokole prema mrežnom prolazu, aplikacionom serveru i registraciju terminala (uključuju-ći i AAA, Authentication, Authoriza-tion and Accounting);

- podržava rutiranje poziva u skladu sa planom numeracije (TRIP protokol) i procesima signalizacije poziva (SIP – Session Initiation Protocol H323, ISUP);

- obezbeđuje interfejs prema dru-gim serverima poziva (BICC – Bearier

Independent Call Control, SIP-T), prema prolazima medijuma (SIP, MGCP) i sa serverima medijuma;

- podržava signalizaciju SS7, uklju-čujući ISUP i TCAP protokole za među-sobni rad sa postojećim mrežama (PSTN).

Server medijuma (Media server) omogućava međusobnu komunikaciju korisnika i aplikacije preko telefonskog aparata (odgovor na poziv, izveštavanje i dr.). Njegove glavne funkcije su:

- funkcije resursa medijuma (prenos govora i snimanje, generisanje zvuka i detekcija, kompresija i kodovanje, prepo-znavanje glasa);

- upravljačke funkcije koje obezbe-đuju upravljanje resursima medijuma prema aplikacijama, bez obzira na upo-trebljenu tehnologiju;

- interfejsi prema glavnim protokoli-ma u NGN (Megaco, H.323, SIP, INAP).

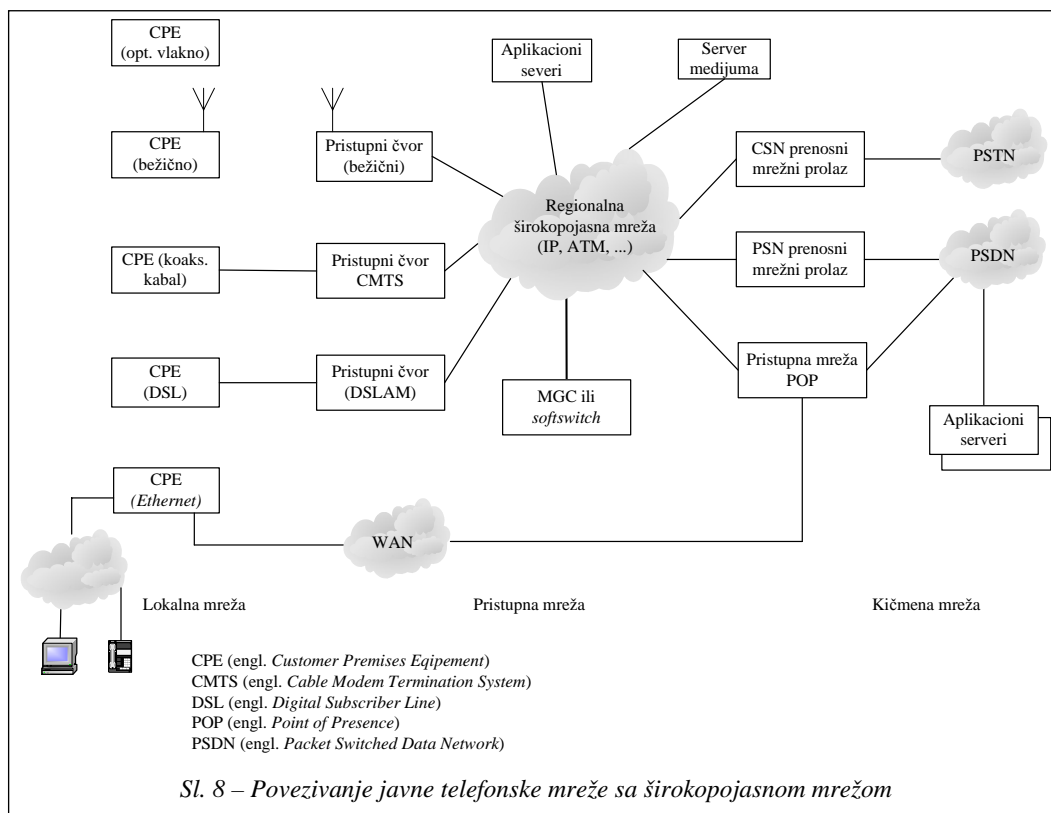
Server aplikacije (Application server) obezbeđuje izvršenje usluge upravljanja serverom poziva. Osnovne funkcije su:

- interoperabilnost sa serverom po-ziva i upravljanje resursima preko stan-dardnih protokola ili otvorenog API (Ap-plication Programming Interface) za po-dršku uslugama (rutiranje poziva i obra-čunavanje, snimanje poziva, nadgledanje autentičnosti, autorizacija, zatvorene ko-risničke grupe);

- obezbeđenje mehanizama podrške registracije (SIP registar, H.323 registra-cioni zahtevi);

- obezbeđenje usluge bezbednosti: ši-frovanje, autentičnost, autorizacija, obez-beđenje sigurnog pristupa servisima i dr.

Na slici 8 predstavljen je način po-vezivanja javne telefonske mreže sa širo-kopojasnom mrežom.



### Protokoli NGN

Pred NGN se postavljaju strogi zahtevi za definisanje novih protokola koji bi podržali ovakve konvergentne mreže, odnosno moraju podržati uzajamni rad PSTN – internet mreža.

Osnovna klasifikacija protokola:

1. protokoli na relaciji server poziva ↔ MG (H.248/Megaco, MGCP);
2. protokoli u istoj ravni peer-to-peer (SIP), i
3. protokoli između SS7 ↔ NGN (SIGTRAN).

Da bi se obezbedio interoperabilan rad NGN na međunarodnom nivou potrebno je obezbediti odgovarajuću arhitekturu i protokole, QoS s kraja na kraj

veze, upravljanje mrežom, definisati zakonsku regulativu i obezbediti zaštitu, odnosno bezbednost.

U NGN se nalaze sledeći protokoli:

- RTP (Real Time Protocol) – obezbeđuje prenos VoIP (Voice over IP) i koristi ga H.323, SIP, Megaco/H.248 i dr.;
- SDP (Session Description Protocol) – ostvaruje multimedijalni pristup i ima veliku rasprostranjenost;
- SIP (Session Initiation Protocol) – najčešće se koristi kao VoIP signalizacioni protokol i povezan je sa MMUSIC, SIPPING, SIMPLE WGs;
- ENUM (E.164 Number Mapping) – koristi se za preslikavanje E.164 telefonskih brojeva u URL adrese, kao i za SIP, HTTP, SMTP;

- SIP-T (međusobni rad SIP&ISUP) – definiše enkapsulaciju ISUP i SIP i vrši preslikavanje između SIP i ISUP polja;
- MGC (Media Gateway Protocol) – obuhvata protokole Megaco i MGCP i obezbeđuje prenos VoIP.

### **Kvalitet usluga u mrežama za multimedijalnu komunikaciju**

Arhitekture buduće generacije mreža treba da omoguće kvalitet usluga (Quality of Service – QoS) koji je potreban za nove službe i mrežne aplikacije, a posebno za multimedijalnu komunikaciju preko mreža koje koriste internet protokol (IP). Današnji internet, globalna računarska mreža, nastoji da posluži sav ponudeni saobraćaj, što je moguće brže, sa ograničenjima koja su posledica tehničkih mogućnosti mreže. Pri tome ne postoje nikakve garancije koje bi se odnosile na propusni opseg, kašnjenje, varijaciju kašnjenja (džiter) i gubitak paketa.

Nivo performansi kvaliteta usluga (QoS) koji pruža internet spada u kategoriju „najboljeg mogućeg“ (best effort). Razlog dugog funkcionisanja ove mreže sa ovakvim nivoom kvaliteta jeste u tome što najveći broj usluga i aplikacija koje se prenose internet protokolom (IP protokol) ima nizak prioritet, uzani propusni opseg za prenos podataka (telefonski kanal sa propusnim opsegom širine od 300 do 3400 Hz) i velikom tolerancijom na kašnjenje i varijaciju kašnjenja. Danas ovakve performanse IP mreže ne zadovoljavaju potrebe.

Multimedijalna komunikacija u realnom vremenu (telefonija, video, grafika, podaci) u mnogim internet aplikacija-

ma i virtuelne privatne mreže, VPN (Virtual Private Network) zahtevaju garantovanu širinu propusnog opsega i stroge karakteristike za vremenske parametre (kašnjenje, džiter). Međutim, zbog eksponencijalnog porasta broja korisnika interneta dolazi do porasta verovatnoće „gomilanja“, što utiče na povećanje kašnjenja kroz mrežu i gubitaka paketa.

ITU-T preporuka Y.2001 (decembar 2004) definiše NGN kao paketski baziranu mrežu, koja omogućava različite telekomunikacione usluge i širokopojasni pristup nezavisan od primenjene tehnologije. NGN obezbeđuje nesmetan pristup korisnika mreži, koji se ogleda u pružanju usluga na bilo kom mestu (generalizovana mobilnost u radu).

Prenos multimedijalnog sadržaja obuhvata saobraćajne karakteristike sa različitih izvora (mirna i pokretna slika, prenos govora, tekstualnih podataka, datoteka i video prenos). Da bi se ostvario multimedijalni prenos moraju se definisati određeni zahtevi, kako bi se obezbedio zahtevani QoS: propusni opseg; dozvoljena varijacija kašnjenja (džiter); sinhronizacija i uspostavljanje prioriteta između aplikacija.

VPN omogućava korišćenje iste infrastrukture preko različitih mreža, tako što formira virtuelni tunel i koristi protokole zaštite i autentičnosti u prenosu kojima garantuje bezbednost, poverljivost i integritet podataka. Na ovaj način obezbeđuje se zahtevani QoS.

U ATM mrežama QoS je obezbeđen preko VC i VP. Združivanjem IP rutiranja i ATM komutatora omogućava se komunikacija velikog kapaciteta uz postizanje zahtevanog QoS.

Ukoliko se pri prenosu ne zahteva eksplicitno QoS, prenos je moguć preko mreže na bazi IP, direktno preko optičkog vlakna, bez SDH ili nekog komutacionog protokola kakav je ATM. Međutim, u mrežama sa strogo zahtevanim QoS tehnologija ATM se mora upotrebiti.

### Zaštita informacija u NGN

U mrežama nove generacije posebna pažnja posvećuje se analizi i definisanju sistema zaštite infrastrukture i informacija. Jedan celoviti sistem zaštite mogao bi se predstaviti u interakciji sledećih elemenata:

1) Preventivni – proučavanje i smanjenje osetljivosti: projektovanje; propisivanje zaštite.

2) Izvršenje zaštite – reagovanje na otkaze i ometanje: monitorisanje (nadgledanje); analiza; odziv na slučajaj događaj.

3) Definisanje postupka zaštite – evidencija radi zakonskog sprovođenja: procedure; pristupa; raspodela; postupka.

### Zaključak

U radu su prikazane osnovne karakteristike i način realizacije arhitekture mreža buduće generacije. Opisane su mogućnosti projektovanja mreža koje bi objedinjavale istovremeni prenos govornog signala (uski propusni opseg, veoma ose-



Sl. 9 – Interakcija između elemenata u sistemu zaštite mreža nove generacije

tljiv na kašnjenje, nije mnogo osetljiv na bitske greške i prenosi se kontinualno), video podataka (širi propusni opseg, srednje osetljivi na kašnjenje i greške, prenos se obavlja kontinualno) i prenos podataka (promenljivi propusni opseg, osetljivost na kašnjenje je varijabilna, dok je osetljivost na greške velika). Analizirana je postojeća infrastruktura kao platforma za izgradnju mreža buduće generacije, definisani su osnovni elementi mreže i opisane funkcije najvažnijih protokola.

#### Literatura:

- [1] Glen, H. Ests: NGN: Preparing for Tomorrow's Services, Alcatel Telecommunications Review, 2-nd Quarter 2001, pp. 82–84.
- [2] Stevenson, I., Pugh, E.: The Internet Telephony Report, Ovum, 1999.
- [3] Communications International, 2000.
- [4] Tzounakis, P.: Next Generation Networks, Network Operation Center, Aristotle University of Thessaloniki, 2002.
- [5] Jevtović, M.: Multimedijalne telekomunikacije, Grafo-žig, Beograd, 2004.

**Mr Dejan Ivković,**  
kapetan prve klase, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## KONCEPT SOFTVERSKOG RADARA

UDC: 621.396.96 : 004.4

*Rezime:*

*U ovom radu analiziran je koncept softverskog radara. Zbog velike fleksibilnosti softverski radar ima mnoge prednosti u odnosu na konvencionalne radare. Takođe, održavanje softverskog radarskog sistema je mnogo jeftinije. Predstavljena je teorijska i tehnološka osnovica softverskog radara i opisana njegova arhitektura, kao i način organizacije njegove mreže. Ploča DSP (Digital Signal Processing) predstavlja centralni deo softverskog radara, pa je detaljno predstavljena njena uloga. Opisana je platforma quatro 6x i akviziciona kartica PCI-9812/10. Rezultat sprovedene tehnološko-ekonomske analize pokazuje da je za stvarnu implementaciju projektovanih softverskih modula radarskog prijemnika u konkretni konvencionalni radar potrebno izdvojiti oko 20 000 USD, što je mnogo manje od cene modernih radarskih sistema.*

*Ključne reči: softverski radar, konvencionalni radar, DSP ploča, radarska mreža, akvizicija podataka.*

---

### SOFTWARE RADAR CONCEPT

*Summary:*

*Software radar concept is described in this paper. Because of high level of flexibility software radar has many advantages in aspect to conventional radar. Also, service of the software radar system is much cheaper. Theoretical and technical basis of software radar is presented and its architecture is proposed. Organization method of the software radar network is specified. DSP (Digital, signal Processing) board is central part of the software radar and its role is described in details. Quatro 6x platform and PCI-9812/10 acquisition card are described. Result of the given techno-economical analysis approves that it is necessary to invest around 20 000\$ and that is much less than the price of modern radar systems.*

*Key words: software radar, conventional radar, DSP board, radar network, data acquisition.*

---

### Uvod

S napretkom tehnike digitalne obrade signala i signal-procesorskih tehnologija, teorijski i praktično je razrađen koncept softverskog radija. Termin softverski radio prvi put je pomenut početkom poslednje decenije prošlog veka da bi se definisao radio čija je funkcionalnost obezbeđena preko softverskih i hardverskih komponenata. U takvoj realizaciji radija udeo softverskih komponenata je

oko 80%, a hardverskih oko 20%. U stvari, realizacija softverskog radija sastoji se u tome da se deo hardvera klasičnog radija zameni signal-procesorskom platformom, na kojoj se softverski implementira deo funkcija radija. Mnoge aspekte dizajna i implementacije softverskih radio-sistema predstavio je Rid (Reed) 2002. godine [1]. Koncept softverskog radara predstavlja specifičnu primenu softverskog radija. Softverski radar prvi put se pominje krajem poslednje de-



cenije dvadesetog veka, kao radarski uređaj čije su funkcije softverski definisane.

Softverski radar mora biti fleksibilan, reprogramabilan, da omogućava upravljanje različitim komunikacionim protokolima i rad na različitim frekvencijama, a da pri tome koristi istu hardversku platformu koja je pod softverskom kontrolom [2]. Prema tome, puko postojanje DSP ploče (Digital Signal Processor) u sastavu radara ne znači da je taj radar softverski.

Glavna karakteristika softverskog radara je njegova fleksibilnost. Jednostavnom izmenom, dopunom ili zamenom softvera, mogu se potpuno promeniti i unaprediti funkcije i karakteristike radara. Na ovaj način radarski uređaj je lako modernizovati, jer se primena najmodernijih tehnika obrade radarskih signala može veoma brzo implementirati bez velikih hardverskih promena.

Funkcije digitalnog radarskog sistema, koje su najčešće implementirane softverski, jesu obrada signala, generisanje talasnog oblika predajnog signala, kontrola rada antenskog sistema i sinhronizacija svih funkcionalnih celina sistema. Takođe, mora se obezbediti rad u realnom vremenu. Pošto se pri obradi signala obavljaju komplikovani matematički proračuni, neophodna je obrada na brzim digitalnim signal-procesorskim pločama.

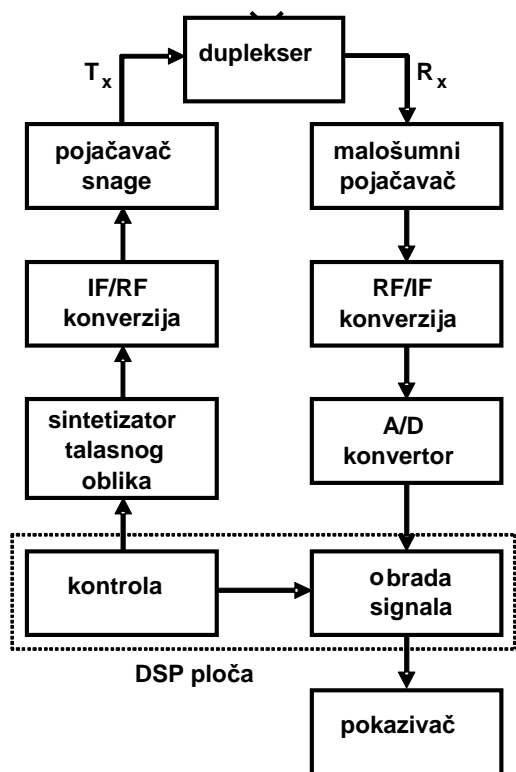
Softverski radar pruža mnogo bolje mogućnosti prikazivanja podataka dobijenih na osnovu obrađenih signala i detekcije ciljeva. Kod konvencionalnih radara pokazivač je relativno skromnih mogućnosti i na njemu se, uglavnom, mogu prikazivati ciljevi u obliku osvetljenih tačaka, a daljina i uglovni položaj cilja mogu se samo grubo proceniti. Kod pokazivača softverskog radara praktično

ne postoje granice. Svaki podatak do kojeg se došlo pri obradi radarskog signala može se veoma precizno prikazati na monitoru računara koji je u sastavu softverskog radara. To podrazumeva ispisivanje preciznih koordinata ciljeva koje može biti u obliku odgovarajućih tabela ili se pored svakog cilja ispisuju njegove osnovne koordinate. Moguća je selekcija i obeležavanje pripadnosti cilja, što je posebno bitno za radare koji se koriste u vojne svrhe, koji moraju da razlikuju sopstvene letilice od civilnih ili neprijateljskih letilica. Mnogo je lakše izvodljivo crtanje trajektorija selektovanih ciljeva i pridruživanje različitih simbola za različite klase ciljeva.

### **Teorijska i tehnološka osnovica softverskog radara**

Opšta šema jednog softverskog radara prikazana je na slici 1. Svaki blok čine modularne komponente koje su izabrane u skladu s namenom sistema [3].

Blok nazvan sintetizator talasnog oblika generiše odgovarajući predajni signal impulsne ili kontinualne prirode koji će modulirati hiperfrekventni nosilac. Ovaj blok softverskog radara je fleksibilan, što znači da se oblik predajnog signala može menjati tokom rada. Kod radara koji rade sa signalima u proširenom spektru, sintetizator talasnog oblika generiše predajni signal koji je kodiran po frekvenciji ili fazi, što doprinosi poboljšanju rezolucije po daljini. Dakle, ovakav sintetizator mora da obezbedi veliku širinu propusnog opsega (reda GHz) i visok stepen agilnosti frekvencije (kratak vremenski interval „skakanja“ s jedne na drugu predajnu frekvenciju, oko 100 ns).



Sl. 1 – Softverski radarski sistem

Blok za IF/RF konverziju treba da translira spektar generisanog signala u područje hiperfrekvencija reda gigaherca, što se najčešće realizuje preko višestepenog umnožavanja frekvencije signala kvarcnog oscilatora.

Visokofrekventni pojačavač snage treba da ima što veće pojačanje, ali i veoma mali faktor šuma, kako bi izobličenje predajnog talasnog oblika bilo manje. Kao visokofrekventni pojačavači mogu se koristiti klistroni, parametarski pojačavači, a najčešće cev sa putujućim talasom (Traveling Wave Tube – TWT) koja obezbeđuje pojačanja snage preko 50 dB sa faktorom šuma manjim od 2.

Blok-duplekser ustvari je antenska skretnica koja kod impulsnog radara

usmerava elektromagnetnu energiju ka anteni, u intervalima predaje radarskog signala. U intervalima kada nema predaje radarskog signala, duplekser sve signale koji se nalaze na ulazu antenskog sistema propušta prema prijemnom kanalu.

Kao i kod konvencionalnog radara i ovde je prvi blok u prijemnoj grani malošumni pojačavač. Njegov naziv govori da je to pojačavač sa malim faktorom šuma, a poželjno je da ima što veće pojačanje.

Blok za RF/IF konverziju ima suprotnu funkciju od bloka za IF/RF konverziju. Naime, spektar prijemnog signala se iz područja hiperfrekvencija translira u tzv. međufrekventni opseg, koji je obično reda nekoliko desetina megaherca radi lakše digitalne obrade signala. U okviru ovog bloka nalazi se sklop nazvan IQ-demodulator. U literaturi se sreće pod nazivom sinhroni detektor. Funkcija IQ-demodulatora je da razdvoji realnu i imaginarnu komponentu kompleksnog prijemnog radarskog signala i da na svom izlazu da informaciju o njegovoj fazi i amplitudi, koja će se iskoristiti za potiskivanje interferencije prisutnog klatera.

Analogno-digitalni (A/D) konvertor ima brojne primene u savremenim radarima, a naročito kod softverskih radara. Na primer, kod MTI radara (Moving-Target Indication), koji selektuju pokretne ciljeve, potreban je A/D konvertor sa frekvencijama odabiranja reda nekoliko megaherca, pa i većim. Ovde se signali na izlazu iz sinhronog detektora odabiraju brzinom koja ne sme da bude manja od širine propusnog opsega prijemnika, a za smeštanje digitalizovanih podataka potrebna je memorija sa kapacitetom reda gigabajta. Brzi A/D konvertori potrebni su i kod radara za automatsko praćenje

ciljeva, a i kod višesnopovskih radara koji do koordinata cilja dolaze preko aritmetičke interpolacije.

Kod softverskog radara, izlaz A/D konvertora je direktno spregnut s blokom za obradu signala koji zajedno sa blokom za kontrolu čini centralni deo softverskog radara, tj. DSP ploču (Digital Signal Processing), koja predstavlja centralnu kontrolnu jedinicu čitavog sistema. Što je najvažnije, obezbeđuje digitalnu obradu signala u realnom vremenu. Pored obrade signala DSP, ploča obavlja još jednu bitnu funkciju – obradu podataka.

Obradene podatke treba konvertovati u pogodan oblik da bi se prikazali korisniku radarskog uređaja na odgovarajućem pokazivaču. Pokazivač softverskog radara najčešće je monitor računara, što govori o mnogo boljim mogućnostima prikazivanja dobijenih informacija o ciljevima i većoj preglednosti koja omogućuje lakše rukovanje sistemom. Na pokazivačima konvencionalnih radara postoje mnogo skromnije mogućnosti obeležavanja i markiranja ciljeva nego kod softverskog radara. Dakle, softverski radari imaju bolji kvalitet i kvantitet podataka koji se prikazuju na pokazivaču.

### **Arhitektura softverskog radara**

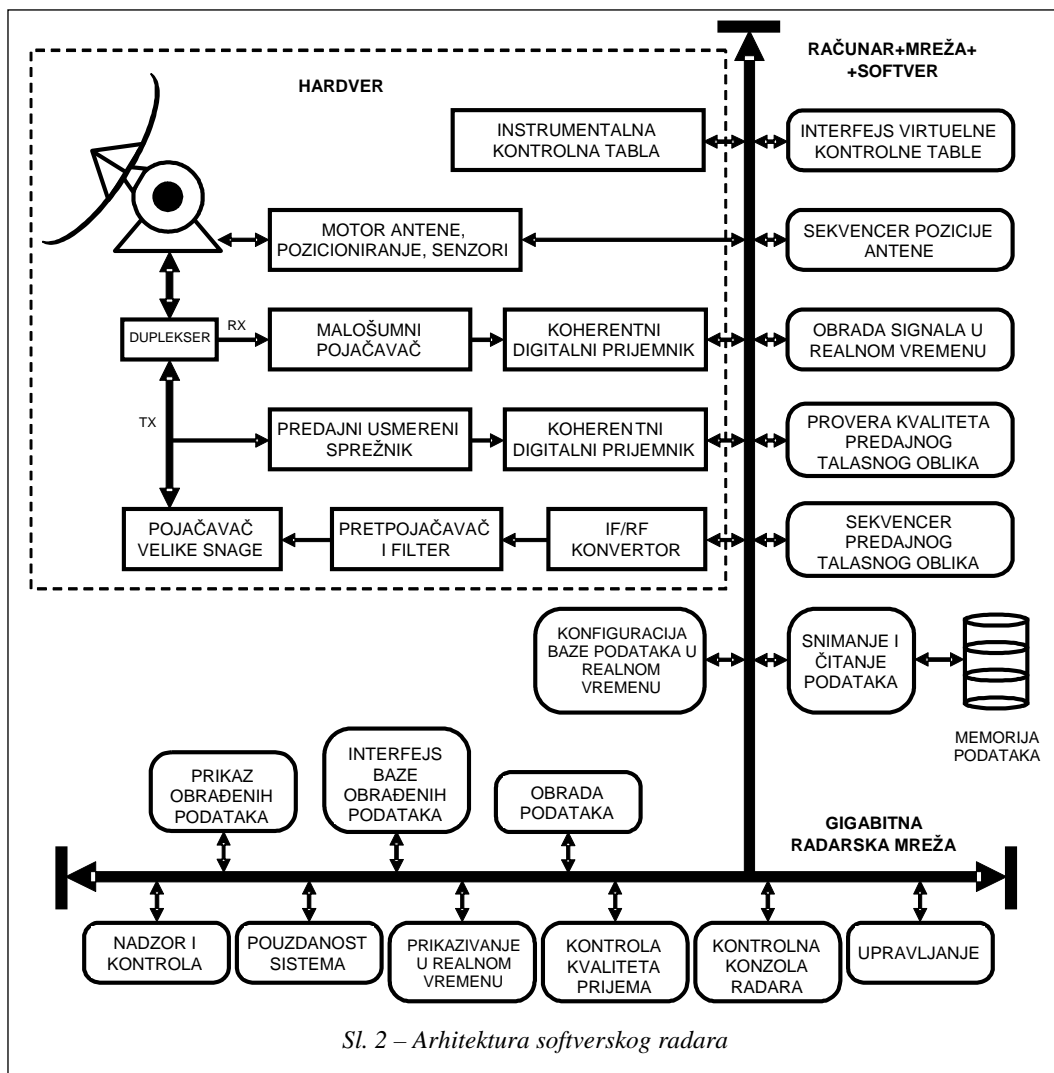
Na slici 2 detaljnije je prikazana arhitektura softverskog radara [4], u kojoj se jasno uočavaju dve vrste komponente: hardverske i softverske komponente.

Hardverske komponente na slici 2 uokvirene su isprekidanom linijom. One se ne razlikuju od odgovarajućih blokova kod konvencionalnih radara. U njih spadaju IF/RF konvertor, pojačavači, svi mikro-talasnici elementi, antenski sistem sa ele-

mentima za pozicioniranje antene, predajni usmereni sprežnik i koherentni digitalni prijemnik, koji u svom sastavu ima A/D konvertor i IQ-demodulator. Predajni usmereni sprežnik, zajedno sa koherentnim digitalnim prijemnikom čini posebnu prijemnu granu za proveru i podešavanje parametara radarskog prijemnika. Softverske komponente preuzele su funkcije digitalnih hardverskih komponenta u konvencionalnim radarima koje su obezbeđivale obradu signala, generisanje talasnog oblika predajnog signala, kontrolu rada antenskog sistema i memorisanje podataka. Da bi se sve pomenute funkcije odvijale u realnom vremenu, neophodna je veoma brza interna mreža kojom bi se uspostavila međusobna komunikacija između elemenata hardvera, računara sa DSP procesorom i elemenata za nadzor i kontrolu rada celokupnog sistema. U sistemu je potrebna dobra sinhronizacija rada svih njegovih elemenata. Pored standardnih načina sinhronizacije, ona se može obezbediti i preko DSP ploče.

Sekvencer predajnog talasnog oblika ima istu funkciju kao sintetizator talasnog oblika sa slike 1. Merenjem osnovnih parametara predajnog signala u jednom bloku softverskog radara, kao što su frekvencija nosioca, trajanje predajnog impulsa i frekvencija ponavljanja impulsa, kontinualno se proverava kvalitet predajnog talasnog oblika.

Rad antenskog sistema kontroliše blok pod nazivom sekvencer pozicije antene. Ovaj blok kontroliše rad antenskog sistema, tako što meri frekvenciju obrtnja antene i, ako nije u dozvoljenim granicama odstupanja, automatski je podešava preko upravljačkih signala. Sekven-



cer pozicije antene ima još jednu bitnu funkciju – generisanje uglovnih pozicija antene na početku svake periode predajnog signala. Kada je uglovna pozicija antene po azimutu  $0^\circ$ , antena je napravila jedan pun obrtaj, a svaki takav trenutak se precizno meri da bi se izbegla desinhronizacija pri konfiguraciji baze podataka u realnom vremenu. Baza podataka ima matricni oblik. U njoj vektori kolone odgovaraju rednom broju predajnog im-

pulsa, a vektori vrste rednom broju ćelije daljine. Memorija podataka puni se i prazni preko bloka za snimanje i čitanje podataka.

U bloku za obradu signala na slici 2, koji je realizovan pomoću DSP ploče, primenom odgovarajućih algoritama vrši se digitalna obrada u realnom vremenu. Koherentni digitalni prijemnik pretvara analogni prijemni signal RX u digitalni oblik tako da faza signala bude stabilna.

Digitalizovani prijemni signal RX sadrži povratnu informaciju o posmatranom radarskom cilju. U bloku za obradu signala izdvajaju se informacije o cilju po daljini, Doplerovoj frekvenciji i vremenu. Prijemni signali koji potiču od jednog predajnog impulsa moraju biti obrađeni u realnom vremenu, odnosno u toku jedne periode ponavljanja impulsa.

Na DSP ploči realizovan je i blok za obradu podataka. U njemu se određuju koordinate detektovanih ciljeva, a to su kod dvodimenzionalnih radara najčešće daljina i azimut. Trodimenzionalni radari određuju i elevaciju cilja. Bitan podatak je brzina cilja, pa se u bloku za obradu podataka detektovanim ciljevima pridružuje informacija o njihovoj brzini. Na osnovu obrađenih podataka formira se njihova baza, koja se preko odgovarajućeg interfejsa prenosi do bloka za prikazivanje obrađenih podataka na pokazivaču softverskog radara. Podaci se moraju prikazati u realnom vremenu, što važi i za obradu signala. Kod softverskog radara postoji memorija podataka, pa se, u zavisnosti od njene veličine, na pokazivaču mogu reprodukovati kraće ili duže ponovljene sekvence radarske slike.

Sistem kontrole i upravljanja softverskog radara čine sledeći elementi: kontrolna konzola radara, virtuelna kontrolna tabla, kola za nadzor i kontrolu, kola za merenje pouzdanosti sistema, blok za kontrolu kvaliteta prijema i blok za upravljanje.

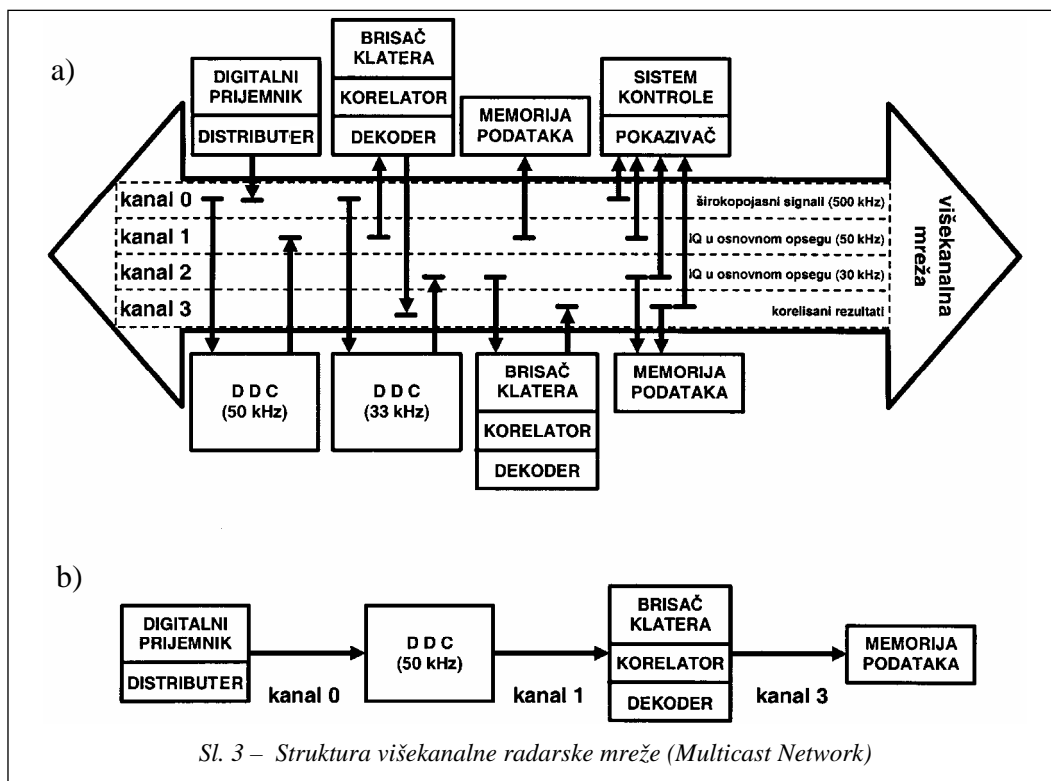
Kontrolna konzola objedinjuje sve ostale elemente sistema za kontrolu i upravljanje, a upravlja se preko komandi koje su na njoj instalirane. Na virtuelnoj

kontrolnoj tabli instalirani su pokazivači stanja pojedinih funkcionalnih blokova softverskog radara, koja predstavljaju izlazne signale kola za nadzor i kontrolu. Najčešći parametri koji podležu kontroli jesu: snaga predajnog signala, frekvencija nosioca predajnog signala, pravilnost rada bloka za obradu signala, pravilnost rada bloka za obradu podataka, frekvencija obrtanja antene, nivelacija antene, vrednost svih potrebnih napona napajanja potrebnih za rad hardverskih komponenata i odnos signal – šum na ulazu u prijemnik radara koji određuje blok za kontrolu kvaliteta prijema. Blok za upravljanje generiše upravljačke signale za koje postoji zahtev sa kontrolne konzole i preko interne mreže ih prosleđuje ka bloku softverskog radara na kojem treba izvršiti zahtevanu akciju.

### **Radarska mreža**

Ako se softverski radar (slika 2) poveže u mrežu sa drugim radarima, onda interna mreža prerasta u tzv. gigabitnu radarsku mrežu, čija je struktura prikazana na slici 3. Da bi se uspostavio visok stepen paralelizma procesa, kao što su obrada signala, obrada podataka i nadzor radarskog sistema, neophodno je da radarska mreža bude višekanalna (Multicast Network).

Tipičan skup kanala kod softverskog radarskog sistema čine kanal kontrole, kanal podataka, kanal stanja i kanal preko kojeg se vrše izmene postojećih programa i unošenje novih. Kanali mogu biti trajni ili privremeni, što zavisi od zahteva koji se postavljaju pred softverski radarski sistem.



Sl. 3 – Struktura višekanalne radarske mreže (Multicast Network)

Na slici 3a) prikazan je primer organizacije kanala u mreži softverskih radara [4]. U ovom primeru, na kanalu podataka nalaze se prijemni podaci (kanal 0). Podaci sa ovog kanala su istovremeno dostupni različitim blokovima softverskog radarskog sistema koji mere temperaturu šuma sistema, transliraju spektar signala, filtriraju podatke i prikazuju dobijene rezultate. Signali na izlazu koherentnog digitalnog prijemnika formatiraju se u bloku pod nazivom distributor. Formatirani signali se preko kanala 0 prenose do bloka sa oznakom DDC (Digital Downconverter) koji translira spektar signala oko određene centralne frekvencije. U ovom primeru postoje dva takva konvertora sa centralnim frekvencijama 33 i 50 kHz. Signal na izlazu

DDC-a sa centralnom frekvencijom 50 kHz prenosi se u kanal 1, a na izlazu iz DDC-a sa centralnom frekvencijom 33 kHz u kanal 2.

Podaci iz kanala 1 i kanala 2 memorišu se odvojeno u dve različite memorije podataka i dalje se obrađuju u različitim blokovima. Obradeni podaci prenose se u kanal 3, odakle mogu biti prosledeni u blok za memorisanje ili se direktno prenose do bloka za prikazivanje rezultata obrade. Jedan lanac blokova za obradu signala prikazan je na slici 3b). Konfiguracija ovog lanca može biti promenljiva, pa se vrlo brzo može modifikovati kao odgovor na promenjene zahteve u obradi signala.

Računari koji funkcionišu u sklopu softverskog radarskog sistema imaju ograničene kapacitete. Međutim, kada se

povežu preko radarske višekanalne mreže postaju mnogo efikasniji i u najsloženijim radarskim aplikacijama. Svi elementi povezani u mrežu mogu da komuniciraju jedni s drugima.

Upotrebom višekanalne radarske mreže podstiče se velika modularnost blokova za obradu podataka, što ostvaruje glavni cilj – visoki nivo paralelizma različitih procesa koji se odvijaju u softverskom radarskom sistemu.

### Uloga DSP ploče

Pred DSP ploču postavlja se zahtev da obezbedi obradu signala u realnom vremenu. U digitalnoj obradi signala najčešće operacije biće Furieova transformacija (FFT), konvolucija (korelacija) i sinteza FIR filtera. U sva tri slučaja, funkcija koju treba da obavi digitalno kolo ima oblik:

$$y = \sum_{i=1}^n x_i \cdot c_i \quad (1)$$

Po svojoj arhitekturi, digitalni procesori signala (DSP) specijalizovani su za izračunavanje sume proizvoda, kao u jednačini (1). Takođe, omogućen je simultani pristup odvojenim blokovima memorije radi bržeg pristupa podacima. Izvršavanje instrukcija pažljivo je planirano i vrši se po principu pipelininga, čime je rad procesora znatno ubrzan. Najvažniji zadaci koje DSP obavlja u radarskom prijemniku jesu procena Doplerove frekvencije i CFAR procesiranje. Prema [5] broj instrukcija za implementaciju FIR filtera, koji obavlja Doplerovu obradu,  $N_i$ , jednak je broju reflektovanih im-

pulsa od cilja u toku jednog prebrisavanja antene,  $N$ , koji zavisi od frekvencije obrtanja antene,  $f_s$ , frekvencije ponavljanja impulsa,  $f_r$ , i širine dijagrama zračenja antene,  $\theta_{3dB}$ , prema jednačini [6]:

$$N_i = N = \frac{f_r q_{3dB}}{2pf_s} \quad (2)$$

Tome treba dodati još desetak pomoćnih naredbi. Realizacija CFAR procesora zahteva dve instrukcije po svakoj ćeliji  $i$ , kao u prethodnom slučaju, još desetak pomoćnih naredbi. Prema tome, zahtevana brzina procesora može se izračunati na osnovu sledeće jednačine [5]:

$$R_i = \frac{N + 10 + 2 \cdot 2n + 10}{\tau} = \frac{N + 4n + 20}{\tau} \quad (3)$$

[broj instrukcija/s]

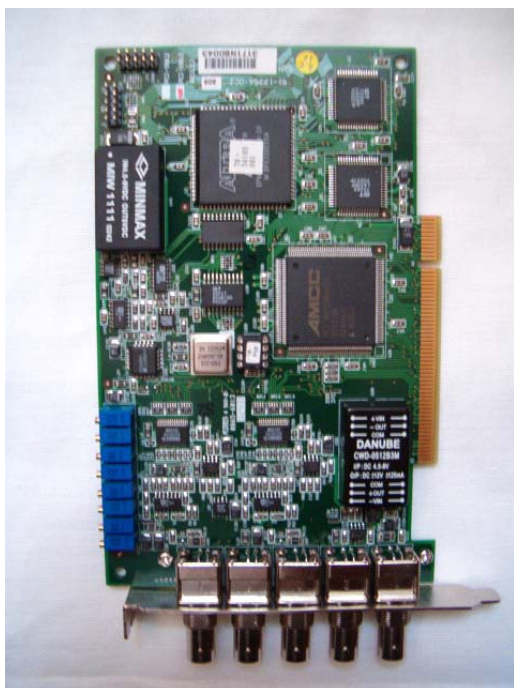
gde je  $2n$  broj ćelija CFAR procesora, a  $\tau$  trajanje predajnog impulsa. Na primer, kod radara ŽIRAFa broj reflektovanih impulsa od cilja u toku jednog prebrisavanja maksimalno iznosi  $N = 20$ , a broj ćelija CFAR procesora je  $2n = 8$ . Kada se proračuna zahtevana brzina procesora po jednačini (3) dobija se vrednost oko 10 MIPS (Mega Instructions Per Second). Za postojeće digitalne procesore signala ova brzina procesiranja ne predstavlja problem.

Prelazak sa analogne na digitalnu obradu signala može se izvršiti na više mesta u toku procesiranja prijemnog signala. Signal se, najčešće, digitalizuje na izlazu iz IQ-demodulatora. Specifičnost i zahtevnost obrade signala u radarskoj tehnici iziskuju vrlo pažljiv izbor hardverskih platformi za realizaciju funkcionalnih blokova softverskog radarskog prijemnika.

Za realizaciju projektovanih softverskih modula neophodne su sledeće hardverske komponente: akviziciona kartica, DSP platforma, host računar i laptop.

Akviziciona kartica koja bi zadovoljila potrebne zahteve za primenu u softverskom radaru je PCI-9812/10 (slika 4), koju proizvodi firma ADLINK Technology Inc. Kartica se bazira na 32-bitnoj PCI BUS arhitekturi i poseduje četiri 12-bitna A/D konvertora sa maksimalnom frekvencijom odabiranja od 20 MHz po kanalu. Najčešće se primenjuje u radu sa DSP pločama i u aplikacijama u kojima se izvodi brza Furieova transformacija, digitalno filtriranje ili obrada slike. Na kartici postoji 64KB FIFO memorije. Opseg ulaznih napona može biti od  $-5$  do  $+5$  V, ili  $-1$  do  $+1$  V.

Platforma DSP koja bi mogla da odgovori na sve zahteve obrade signala u realnom vremenu je Quatro 6x, koju proiz-



Sl. 4 – Kartica PCI-9812/10

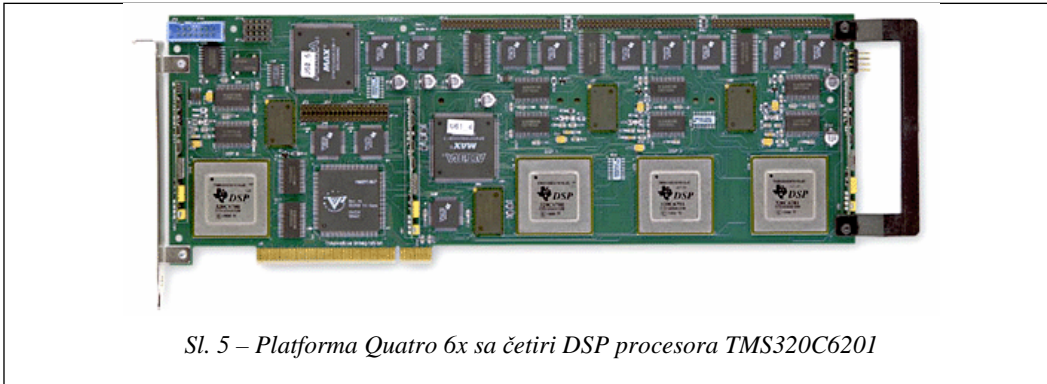
vodi firma Innovative Integration. Na njoj su integrisana četiri TMS320C6201 DSP procesora na 200 MHz (slika 5). Ova platforma je idealna za upotrebu kod velikog broja računski zahtevnih aplikacija. Brzina izvođenja operacija je 1,3 GFLOPS-a.

Svaki procesor ima veliki broj periferija na čipu, uključujući dva 32-bitna brojača, 64 KB internog PROGRAM RAM-a (IPRAM), 64 KB internog RAM-a podataka (IDRAM), 16 MB eksternog RAM-a (SDRAM) i četiri DMA kanala. Sva četiri procesora su međusobno povezana pomoću brzih FIFO linkova, koji su kompatibilni sa procesorskim DMA kontrolerima, što obezbeđuje potreban kvalitet razmene podataka između procesora. Tri DSP procesora mogu da komuniciraju sa eksternim hardverom pomoću zasebnih 16-bitnih FIFOPort interfejsa. Serijski portovi svakog DSP procesora platforme Quatro 6x izvedeni su na konektore za povezivanje sa eksternim hardverom. Akviziciona kartica i platforma Quatro 6x bile bi smeštene u kućište jednog tzv. host računara. Minimalna RAM memorija je 512 MB, a brzina procesora oko 2 GHz.

Ako se želi da posada, zbog povećanja mera bezbednosti, upravlja radom radara van njegove kabine, biće potreban laptop računar, koji će biti u mreži sa host računarom. Komunikacija između njih može se ostvariti žičnim ili radio-putem.

Kada se saberu cene navedenih hardverskih komponenti, dobije se ukupan iznos od oko 20 000 \$. Imajući u vidu da najnoviji radarski sistemi koštaju od nekoliko miliona do nekoliko desetina miliona američkih dolara, modifikacija konvencionalnih vojnih i civilnih radara starije generacije, na bazi softverski definisanog radara, bila bi veoma isplativa.





Sl. 5 – Platforma Quatro 6x sa četiri DSP procesora TMS320C6201

### Zaključak

Softverski radar je fleksibilan i re-programabilan uređaj čije su funkcije softverski definisane. Projektovanjem softverskog modela nekog konvencionalnog radara dobija se sistem čije je održavanje mnogo ekonomičnije. Uvođenje samo softverskog radarskog prijemnika omogućava rešenje problema s nabavkom većeg broja rezervnih delova prijemnika konvencionalnog radara, jer oni više nisu potrebni. Uz to, komponente softverski definisanog radara mnogo su jeftinije od onih u postojećim sistemima, pa bi održavanje softverskog radarskog prijemnika bilo neuporedivo jeftinije od održavanja postojećih sistema konvencionalnih radara. Rešenja koja proističu iz ove analize primene koncepta softverskog radara mogla bi da se iskoriste za modifikaciju konvencionalnih radara, kako u vojnoj, tako i u civilnoj upotrebi. Primenom koncepta softverskog radara mogu se unaprediti karakteristike i povećati fleksibilnost konvencionalnih radara, kao i implementirati potpuno nove funkcije koje znatno unapređuju njegove performanse. Osim toga, ovaj koncept otežava rad sistemima ELINT (Electronic Intelligence), što se

ogleda u činjenici da softverski radar ima mogućnost jednostavne promene talasnog oblika predajnog signala, kao i njegovih ostalih parametara.

Za stvarnu implementaciju projektovanih softverskih modula radarskog prijemnika u konkretni konvencionalni radar potrebno je izdvojiti oko 20 000 \$. U ovu sumu uključene su samo cene potrebnih hardverskih komponentata, dok cena intelektualnog rada nije. Imajući u vidu da najnoviji radarski sistemi koštaju od nekoliko miliona do nekoliko desetina miliona američkih dolara, modifikacija konvencionalnih vojnih i civilnih radara starije generacije, na bazi softverski definisanog radara, bila bi veoma isplativa.

### Literatura:

- [1] Reed, J. H.: Software Radio, Communications Engineering and Emerging Technologies, Prentice-Hall PTR, 2002.
- [2] Grydeland, T.: Interferometric and high time-resolution observations of Naturally Enhanced Ion-Acoustic Echoes at the EISAT Svalbard Radar: Software radar and Incoherent Scattering, Doctor Scientiarum Dissertation, Faculty of Science Department of Physics, University of Tromsø, 2003.
- [3] Derham, T.: Low Cos Open Architecture Radar System, University College, London, England, 2000.
- [4] Grydeland, T.: Software radar signal processing, Annales Geophysicales, 2004.
- [5] Popović, M.: Digitalna obrada signala, Nauka, Beograd, 1996.
- [6] Schleher, D. C.: MTI and Pulsed Doppler Radar, Artech House, USA Norwood, 1991.

Mr Slobodan Simić,  
kapetan, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## DETEKCIJA I PROCENA PARAMETARA NEPOZNATIH RADARSKIH SIGNALA S PROŠIRENIM SPEKTROM

UDC: 621.396.96/.97

### Rezime:

*U ovom radu je presretanje radarskih signala s proširenim spektrom upoređeno sa presretanjem konvencionalnih impulsnih radarskih signala. Prema literaturi [1–3] i izloženi primera može se zaključiti da novi presretački prijemnici moraju imati poboljšanu osetljivost za 10–30 dB, kako bi uspešno konkurisali novim radarskim sistemima s malom verovatnoćom presretanja. Jedan od načina na koji se to može postići jeste upotreba vrlo usmerenih antena, s visokim dobitkom. Digitalna obrada signala je drugi način poboljšanja osetljivosti. U radu je prikazan pregled postojećih algoritama za detekciju i procenu parametara nepoznatih radarskih signala sa proširenim spektrom. Dve najznačajnije grupe algoritama su: koherentne metode (pre-detection processing) i kroskorelacione metode (interferometrijske).*

*Ključne reči: LPI radar, osetljivost prijemnika, procesno pojačanje, TB proizvod.*

---

### DETECTION AND PARAMETER ESTIMATION OF SPREAD SPECTRUM RADAR SIGNALS IN NON-COOPERATIVE CONTEXT

#### Summary:

*In this paper the specialties in interception of spread spectrum radar signals are exposed in regard interception of conventional pulsed radar signals. According to [1–3] and exposed examples it follow that future intercept receivers need 10–30 db selectivity enhancement to cope with modern LPI radar systems. One way is to use narrow beam, high gain antennas. Another way is through signal processing. There is a review of existing algorithms in detection and parameter estimation of spread spectrum radar signals in non-cooperative context. Coherent methods and cross-correlation methods are put in the focus.*

*Key words: LPI radar, receiver sensitivity, processing gain, TB product.*

---

### Uvod

Većina konvencionalnih radara radi na impulsnom principu, koristeći kratkotrajne impulse, sa relativno visokom vršnom snagom, da bi se dobio jasan odziv na signal reflektovan od cilja u klateru. Za vojne primene neophodno je povećati robustnost i otpornost radara u složenom elektromagnetnom okruženju koje karakteriše postojanje namernih i nenamernih smetnji koje smanjuju projektovane mogućnosti radara.

Projektanti radara razmatraju nove tehnike sinteze talasnih oblika koje pružaju iste mogućnosti u pogledu detekcije ciljeva, ali ih je teže presresti. U literaturi se ovakvi radari nazivaju LPI (Low Probability of Intercept). Oni pokušavaju da detektuju ciljeve na većem rastojanju nego što presretački prijemnik može da detektuje radar. Smanjenje detektabilnosti znači da LPI tehnike zahtevaju širokopojasne modulacije. Širenje spektra radarskog signala ostvaruje se: frekvencijskim

skakanjem, kontinualnom promenom frekvencije (čip), modulacijom direktnom sekvencom i kombinacijom prethodna tri načina. S tačke gledišta presretača, sadašnja i buduća upotreba LPI tehnologije zahtevaju nove pristupe detekciji i presretanju ovih tipova radarskih signala.

Sofisticirani digitalni prijemnici koriste prostorno-vremensko-frekvencijske i korelacione tehnike, organizuju prikupljene podatke radi analize i generisanja ometačkog signala. Projektovanje novih ometačkih tehnika i procena karakteristika protivničkog radarskog sistema zahtevaju nove teorijske pristupe i brojne simulacije i modelovanja. Dakle, LPI radari koriste tehnike proširenog spektra koje im obezbeđuju dovoljno procesno pojačanje za upotrebu talasnih oblika otpornih na presretanje.

Za razliku od konvencionalnih radara koji rade s visokim odnosom signal/šum na ulazu u detektor, nivo LPI radarskog signala na ulazu u radarski detektor znatno je ispod nivoa šuma ( $SNR_R \leq -40$  dB) [1]. Procesno pojačanje LPI radarskog prijemnika jednako je TB proizvodu upotrebljenog talasnog oblika. Ono omogućuje LPI radaru da neutrališe „ $R^2$  prednost“ koju presretački prijemnik ima u sukobu sa konvencionalnim impulsnim radarom. Prema tome, konvencionalni presretački prijemnik može registrovati LPI radar samo na vrlo kratkim rastojanjima. Da bi presretački prijemnik mogao detektovati LPI radar na istom rastojanju kao što može detektovati konvencionalni impulsni radar, on mora obezbediti procesno pojačanje jednako procesnom pojačanju radarskog prijemnika. To se jedino može ostvariti ukoliko

se izoluje LPI talasni oblik i procene njegovi parametri, kako bi se presretački prijemnik „prilagodio“ posmatranom signalu. Međutim, LPI radarski signal je teško potpuno izolovati kako bi se izdvojila njegova obeležja. Ovaj proces dodatno komplikuje činjenica da je LPI radarski signal pomešan sa impulsima konvencionalnih radara, čije su impulsne snage mnogo veće (do 60 dB iznad nivoa snage LPI radarskog signala).

Pored niskog nivoa snage, neodređenost oblika signala takođe doprinosi smanjenju verovatnoće njegovog presretanja. Teorijski, LPI radari koriste signale slične šumu, kako bi postigli „igličastu“ funkciju neodređenosti. Međutim, takvi talasni oblici generalno nisu povoljni za primene u radarima. Posebno nisu pogodni za detektovanje ciljeva s klatrom u pozadini, jer je teško postići kompatibilnost sa sistemom za selekciju pokretnih ciljeva (SPC). U praksi, LPI radari koriste prilično određene talasne oblike koji su, pored pogodnosti za radarske primene, pogodniji i za presretanje. Kontinualni signal sa linearnom frekvencijskom modulacijom ustalio se kao jedan od najpopularnijih LPI talasnih oblika. Faznokodirani talasni oblik je odnedavno u centru pažnje, zbog širokog frekvencijskog opsega i niskih bočnih lobova autokorelacione funkcije. Za LPI radare, kao i za konvencionalne radare, vrlo je važno da autokorelaciona funkcija primenjenog talasnog oblika ima niske nivoje bočnih lobova, kako bi se izbeglo maskiranje glavnih pikova malih ciljeva bočnim lobovima velikih ciljeva. Širina spektra, obrnuto srazmerna trajanju podimpulsa, određuje rezoluciju po daljini.

U radu su prikazani postojeći algoritmi za detekciju i procenu parametara radarskih signala sa proširenim spektrom. Značaj algoritama iz ove grupe u procesu presretanja i ometanja LPI radara je dvojak. Prvo, presretački prijemnik, pridružen ometaču, mora detektovati LPI radar. Ako LPI radar detektuje platformu na kojoj se nalazi ometač pre nego što presretački prijemnik s te platforme detektuje LPI radar, onda će efikasnost ometačkog sistema biti znatno umanjena. U suprotnom, ako ometački sistem započne ometanje pre nego što radar detektuje platformu na kojoj je smešten, onda će ometač moći da neutrališe LPI radar. Drugi problem u vezi s ometanjem LPI radara odnosi se na efikasnost primenjenog ometačkog talasnog oblika. Pošto LPI radar emituje signal u vrlo širokom frekvencijskom opsegu, koristeći talasne oblike slične šumu, nekorelisani ometački signal biće neefikasan, makar zauzima isti frekvencijski opseg kao radarski signal. Uzrok je prilagođeni filter na strani radarskog prijemnika koji će samo u slučaju pojave korelisnog signala na svom ulazu, na izlazu proizvesti uzak impuls, znatno veće vršne snage od snage signala na ulazu u filter. Može se zaključiti da ometač koji koristi kvazibeli ili impulsni šum neće imati uspeha pri ometanju LPI radara. Prema tome, ometač mora obezbediti određeni stepen korelisanosti sa LPI talasnim oblikom kako bi ometanje bilo uspešno.

### **Karakteristike LPI radarskog predajnika**

Konvencionalni radari koriste koherentni niz nemodulisanih impulsa koji

ima nezavisnu kontrolu rezolucije po daljini i po Dopleru. Pored toga, prozor daljine, dobijen pomoću ovog talasnog oblika, nema bočne lobove. Osnovni nedostatak primene koherentnog niza impulsa je visok odnos vršne snage prema srednjoj snazi signala emitovanog iz predajnika. Srednja snaga određuje detekcionu sposobnost radara. Pri visokoj srednjoj snazi i kratkim impulsima (dobra rezolucija po daljini) predajnik mora obezbediti visoku vršnu snagu, što zahteva primenu vakuumskih cevi i visokih napona. S druge strane, konvencionalni presretački prijemnik može lako detektovati emisiju s visokom vršnom snagom. Za impulsne predajnike definiše se faktor popunjenosti (duty cycle),  $d_c$ , kao odnos srednje snage,  $P_s$ , prema vršnoj snazi,  $P_v$ :

$$d_c = \frac{P_s}{P_v} \quad (1)$$

Faktor popunjenosti se takođe može izračunati kao:

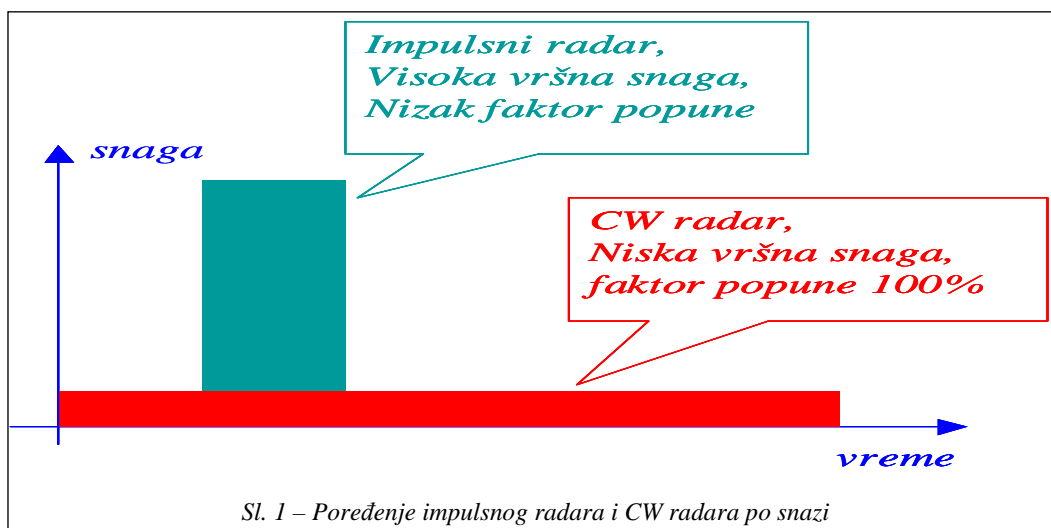
$$d_c = \frac{T}{T_i} \quad (2)$$

gde je  $T_i$  period ponavljanja impulsa (vreme između dva uzastopna impulsa), a  $T$  širina predajnog impulsa, odnosno njegovo trajanje. Tipična vrednost faktora popunjenosti za osmatračke i navigacione radare je  $d_c = 0,01$  (srednja snaga je 1% od vršne snage). S druge strane, kod modulisanih CW signala (Continuous Wave) količnik srednje i vršne snage jednak je jedinici, što odgovara faktoru popunjenosti od 100%. Ova činjenica omogućuje predajniku da radi sa znatno nižom vršnom snagom, uz jednaka detekci-

ona svojstva kao radari s koherentnim nizom impulsa. Da bi se očuvala rezoluciona svojstva, ovi signali s visokim faktorom popune moraju biti modulirani unutar impulsa pomoću neke od poznatih tehnika.

Na slici 1 ilustrovano je poređenje po snazi impulsnog i CW radara. CW radari rade s niskom snagom, kontinualno raspoređenom, a impulsni radari s visokim vršnim snagama. Oba radara imaju ista detekciona svojstva, jer im je ukupna izračena energija jednaka (srednja snaga im je jednaka). Ovakve CW signale teže je presretati od jasno uočljivih pikova. Zbog toga LPI radari rade s visokim faktorima popune i niskim vršnim snagama. Ključ očuvanja rezolucioni svojstva je kompresija impulsa. Pojmu kompresija impulsa (Pulse Compression) u radarima ekvivalentan je pojam širenja spektra (SS – Spread Spectrum) u komunikacijama. Jedno vreme su se razvijali nezavisno, a danas čine jedinstvenu teorijsku oblast s različitim aspektima primene u konkretnim komunikacionim i radarskim sistemima.

U radarskoj teoriji je poznat protivrečan zahtev da signal istovremeno ima što širi spektar (radi postizanja što bolje rezolucije) i da što duže traje (da bismo postigli što veću energiju za datu vršnu snagu, tj. da bismo povećali domet). Kompromis između ovih zahteva može se ostvariti uvođenjem kompresije radarskog impulsa, odnosno širenjem spektra radarskog signala. U osnovi kompresije impulsa jeste postupak unutarimpulsne modulacije signala nosioca. Termin kompresija impulsa potiče od načina rada prijemnika, koji modulirani niz podimpulsa ukupne dužine  $T$  na svom ulazu pretvara u uski impuls trajanja  $T_c$  na svom izlazu, uz očuvanje ukupne energije. Vršna snaga ulaznog impulsa mnogo je manja od vršne snage izlaznog impulsa, ali im je ukupna energija jednaka. U skladu s tim, LPI radarski signali mogu se dobiti sledećim najčešće korišćenim postupcima [1]: linearna FM (čirp), nelinearna FM (nelinearni čirp), kontinualni signal sa FM (FMCW), frekvencijsko skakanje – Kostasovi nizovi, digitalna fazna modu-



lacija (bifazno i polifazno kodiranje), kombinovano fazno-frekvencijsko kodiranje (PSK-FSK), pseudoslučajno kodiranje, polarizaciona modulacija.

### Scenario sukoba LPI radar – presretač – ometač

Protekli period karakteriše razvoj velikog broja impulsnih radara, samonavedenih projektila, navigacionih i ostalih borbenih sistema u mikrotalasnom području. Odnedavno su razvijeni noviji sistemi koji koriste talasne oblike s visokim faktorom popune (HDC – High Duty Cycle) ili, pak, kontinualne talasne oblike – CW. Teži se korišćenju dugih signala, male vršne snage koji nove borbene sisteme čine manje ranjivim. Redukcija impulsne snage, do nivoa reda veličine srednje snage, čini težim (ne i nemogućim) presretanje ovakvih sistema. Domet radara nije degradiran zahvaljujući činjenici da ga određuje izračena energija na cilju, a ne vršna snaga. CW radari imaju vršnu snagu 30 db nižu od vršne snage impulsnih radara sa  $d_c = 0,001$ . Na primer, uz trajanje impulsa 1 mikrosekunda i period ponavljanja impulsa 1 milisekunda, faktor popunjenosti iznosiće  $d_c = 0,001$ . Niža vršna snaga daje prednost radaru u sukobu radar – presretač.

LPI radari koriste dugotrajne talasne oblike i kompresiju impulsa. Međutim, stariji sistemi će se još uvek koristiti. Prema tome, EW sistemi moraju operisati u prisustvu obe vrste signala, kratkotrajnih, s visokom vršnom snagom, i dugotrajnih, s niskom vršnom snagom. Postojeći EW prijemnici su optimizirani za prethodno elektromagnetsko okruženje,

dok se od sledeće generacije EW opreme zahteva da bude osposobljena za borbu protiv novih sistema. Presretanje, odnosno detekcija prisustva ovakvih talasnih oblika i procena njihovih parametara mora se obaviti na kvalitativno drugačiji način od presretanja kratkotrajnih impulsa, s visokom vršnom snagom.

Uspešnost delovanja presretačkog prijemnika protiv LPI radara najčešće se meri faktorom uspešnosti  $\alpha$ , koji se definiše kao odnos maksimalne daljine s koje presretački prijemnik može detektovati LPI radar i maksimalne daljine na kojoj radar može detektovati platformu s presretačkim prijemnikom. Faktor uspešnosti veći od jedinice ( $\alpha > 1$ ) znači da je presretač u prednosti, dok je pri vrednosti ovog faktora manjoj od jedinice ( $\alpha < 1$ ) prednost na strani radara. Da bi se analizirao faktor uspešnosti, odnosno utvrdili parametri radarskog i presretačkog sistema od kojih taj faktor zavisi, treba poći od radarske jednačine.

Snaga signala reflektovanog od cilja na ulazu u radarski prijemnik obrnuto je srazmerna 4. stepenu rastojanja do cilja,  $R_R$ .

$$S_R = \frac{P_i G_T G_R \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_R^4 L_R} \quad (3)$$

gde je:

$P_i$  – impulsna snaga emitovanog signala;  
 $G_T$  i  $G_R$  – dobici predajne i prijemne radarske antene, u pravcu glavnog snopa;  
 $\lambda$  – talasna dužina na kojoj radi radar;  
 $\sigma$  – radarska refleksna površina cilja;  
 $L_R$  – ukupni gubici snage signala u radarskom sistemu.

Snaga signala koji emituje radar, na ulazu u presretački prijemnik, iznosi:

$$S_E = \frac{P_i G_{TE} G_E \lambda^2}{(4\pi)^2 R_E^2 L_E} \quad (4)$$

gde je:

$G_{TE}$  – dobitak radarske antene u pravcu presretača;

$G_E$  – dobitak antene presretačkog prijemnika;

$L_E$  – ukupni gubici snage signala u presretačkom prijemniku.

Iz izraza (4) vidi se da je snaga signala koji emituje radar, na ulazu u presretački prijemnik, obrnuto srazmerna 2. stepenu rastojanja do presretačkog prijemnika  $R_E$ . U sukobu radar – presretač, ova činjenica omogućuje prednost presretaču. U literaturi se sreće i pod nazivom „ $R^2$  prednost“, a izraženija je pri presretanju radara većeg dometa.

Osetljivost prijemnika određuje minimalni nivo snage signala na ulazu u prijemnik, pri kojoj on ispravno radi. Količnik osetljivosti presretačkog prijemnika i osetljivosti radarskog prijemnika, izražen preko minimalnog potrebnog odnosa signal/šum na ulazima presretačkog i radarskog prijemnika,  $SNR_{Ein}$  i  $SNR_{Rin}$  biće:

$$\delta = \frac{S_{Emin}}{S_{Rmin}} = \frac{kT_0 B_E F_E}{kT_0 B_R F_R} \cdot \left( \frac{SNR_{Ein}}{SNR_{Rin}} \right) \quad (5)$$

gde je:

$k$  – Bolcmanova konstanta ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K),

$T_0$  – standardna temperatura ( $T_0 = 290$  K).

Sa  $B_R$  je označena širina propusnog opsega radarskog prijemnika, i prilagođena je širini frekvencijskog opsega koji zauzima korišćeni talasni oblik.  $B_E$  označava širinu propusnog opsega presretač-

kog prijemnika, koja je, načelno, mnogo veća od širine propusnog opsega radarskog prijemnika,  $B_E \gg B_R$ . Faktori šuma presretačkog i radarskog prijemnika označeni su sa  $F_E$  i  $F_R$ .

Količnik osetljivosti presretačkog prijemnika i osetljivosti radarskog prijemnika može se izraziti i preko odnosa signal/šum na izlazima iz detektora u presretačkom prijemniku i detektora u radarskom prijemniku,  $SNR_{Eout}$  i  $SNR_{Rout}$ :

$$\delta = \frac{F_E B_E}{F_R B_R} \cdot \left( \frac{SNR_{Eout}}{SNR_{Rout}} \right) \cdot \left( \frac{PG_R}{PG_E} \right) \quad (6)$$

gde su  $PG_E$  i  $PG_R$  procesna pojačanja presretačkog prijemnika i radarskog prijemnika, pri čemu je:

$$PG_E = \frac{SNR_{Eout}}{SNR_{Ein}}, \quad PG_R = \frac{SNR_{Rout}}{SNR_{Rin}} \quad (7)$$

Izražena u decibelima, u situaciji kada nema procesnog pojačanja, minimalna potrebna snaga signala na ulazu u prijemnik predstavlja zbir snage šuma na ulazu u prijemnik, faktora šuma, zahtevanog odnosa signal/šum na izlazu iz prijemnika. Ukoliko prijemnik ostvari određeno procesno pojačanje, koje obezbeđuje primenjivanje tehnike proširenog spektra na strani radarskog predajnika, smanjuje se nivo minimalne potrebne snage na ulazu u prijemnik, odnosno osetljivost prijemnika poboljša se za iznos ostvarenog procesnog pojačanja. Na osnovu izraza (5), ukoliko se zamene vrednosti konstanti, izrazi za osetljivost presretačkog prijemnika i osetljivost radarskog prijemnika mogu se pisati u decibelskom obliku kao:

$$S_{Emin[dB]} = [-114 \text{ dBm} + 10 \cdot \log(B_E [\text{MHz}])] + F_{E[dB]} + SNR_{Eout} - PG_{E[dB]} \quad (8)$$

$$S_{Rmin[dB]} = [-114 \text{ dBm} + 10 \cdot \log(B_R [\text{MHz}])] + F_{R[dB]} + SNR_{Rout} - PG_{R[dB]} \quad (9)$$

To je ilustrovano na slici 2.

Treba primetiti da je procesno pojačanje presretačkog prijemnika, po pravilu, manje od procesnog pojačanja radarskog prijemnika. U idealnom slučaju, kada presretački prijemnik potpuno poznaje talasni oblik LPI radara, on može ostvariti procesno pojačanje jednako procesnom pojačanju radarskog prijemnika.

Maksimalna daljina presretanja postiže se pri nivou snage signala na ulazu jednakom osetljivosti presretačkog prijemnika, a maksimalni domet radara kada je nivo snage signala na ulazu jednak osetljivosti radarskog prijemnika.

$$R_{Emax} = \sqrt{\frac{P_i G_{TE} G_E \lambda^2}{(4\pi)^2 S_{Emin} L_E}},$$

$$R_{Rmax} = \sqrt[4]{\frac{P_i G_T G_R \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{Rmin} L_R}} \quad (10)$$

Ukoliko se zamene vrednosti konstanti, izraz (10) može se pisati u decibelskom obliku kao:

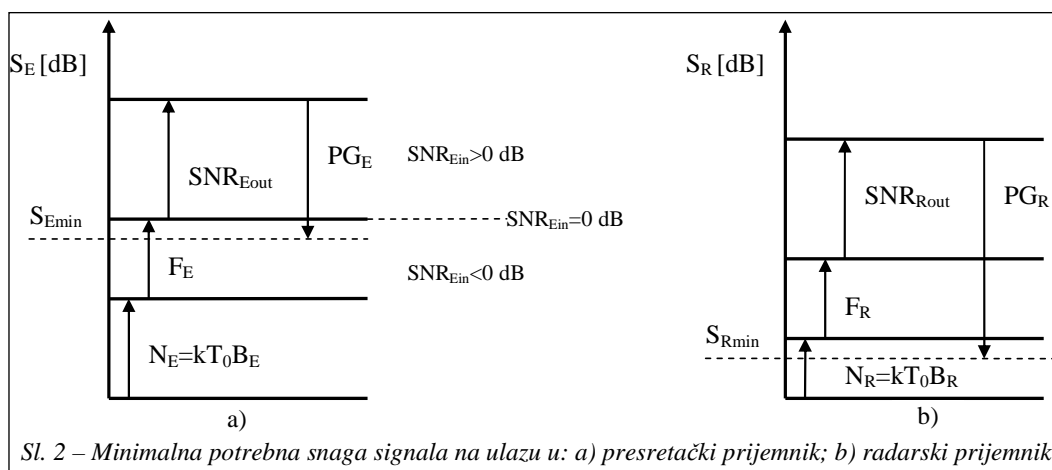
$$2 R_{Emax[dB]} = p_i + g_{te} + g_e + 2\lambda_{dB} - 22 \text{ dB} - S_{Emin[dB]} - L_{E[dB]} \quad (11)$$

$$4 R_{Rmax[dB]} = p_i + g_t + g_r + 2\lambda_{dB} + \sigma_{dB} - 33 \text{ dB} - S_{Rmin[dB]} - L_{R[dB]} \quad (12)$$

Faktor uspešnosti presretačkog prijemnika definiše se kao odnos maksimalne daljine presretanja i maksimalnog dometa radara i iznosi:

$$\alpha = \frac{R_{Emax}}{R_{Rmax}} = R_{Rmax} \left( \frac{1}{\delta} \cdot \frac{4\pi}{\sigma} \cdot \frac{G_{TE} G_E}{G_T G_R} \cdot \frac{L_E}{L_R} \right)^{1/2} \quad (13)$$

Odnos osetljivosti radarskog prijemnika i osetljivosti presretačkog prijemnika  $\delta$  nalazi se u imeniocu. To znači da u slučaju lošije osetljivosti presretačkog prijemnika u odnosu na osetljivost radarskog prijemnika odnos  $\delta$  raste, pa se smanjuje faktor uspešnosti. S druge strane, faktor uspešnosti direktno je srazmeran dometu radara  $R_{Rmax}$ , što znači da su



Sl. 2 – Minimalna potrebna snaga signala na ulazu u: a) presretački prijemnik; b) radarski prijemnik



radari velikog dometa pogodni za presretanje i ne mogu se svrstati u LPI radare bez obzira na talasni oblik koji koriste.

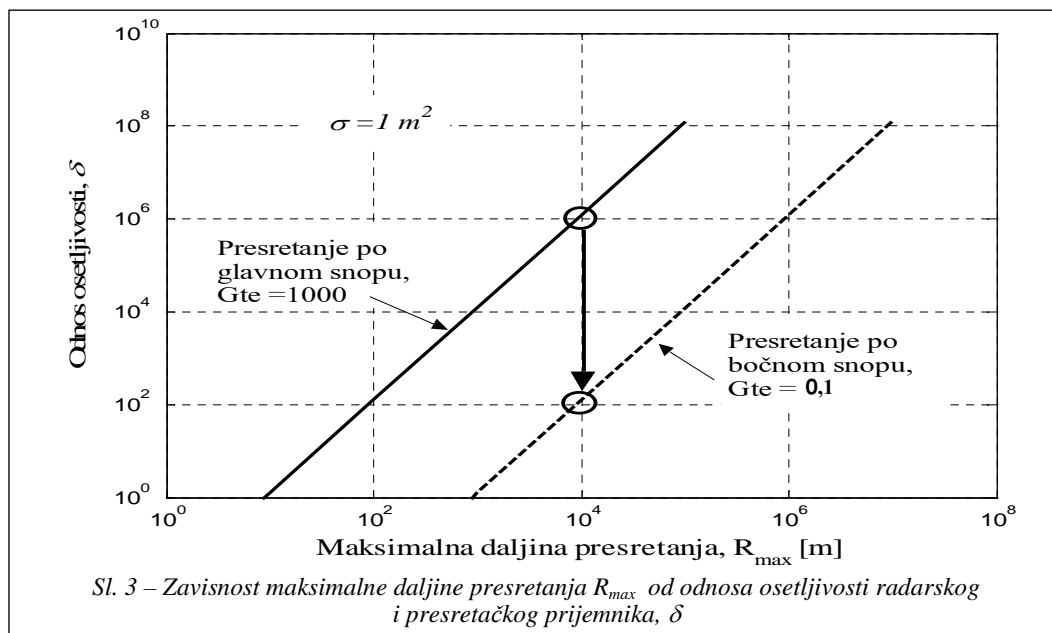
Ako je  $\alpha < 1$ , onda se takav radar smatra tihim radarom (quiet radar). U prethodnom, kao i u graničnom slučaju  $\alpha = 1$ , radar ne može biti otkriven s većeg rastojanja nego što je njegov maksimalni domet. Ako je  $\alpha = 1$ , iz (13) sledi:

$$R_{Rmax} = \left( d \cdot \frac{s}{4p} \cdot \frac{G_T G_R}{G_{TE} G_E} \cdot \frac{L_R}{L_E} \right)^{1/2} \quad (14)$$

Izrazom (19) definisan je maksimalan domet LPI radara, pri kojem još uvek nije moguće presretanje njegovog signala (samozaštitna daljina). To je ujedno i maksimalna daljina presretanja,  $R_{max} = R_{Emax} = R_{Rmax}$ . Radi ilustracije (14) razmotrimo presretanje jednog LPI radara po glavnom snopu ( $G_T = G_{TE} = 1000$  odnosno  $g_t = g_{te} = 30$  dB) i po bočnom sno-

pu ( $G_{TE} = 0,1$  odnosno  $g_{te} = -40$  dB). Ako se zanemare gubici snage signala u radarskom prijemniku i gubici snage signala u presretačkom prijemniku ( $L_R = L_E = 1$ ), ako se uzme u obzir presretački prijemnik sa izotropnom antenom ( $G_E = 1$ ) i pretpostavi da radarska refleksna površina cilja iznosi  $\sigma = 1$  m<sup>2</sup>, dobija se zavisnost maksimalne daljine presretanja od odnosa  $\delta$ , prikazana na slici 3.

Na slici se vidi velika razlika u potrebnom odnosu osetljivosti  $\delta$ , neophodna da bi maksimalna daljina presretanja ostala nepromenjena u oba slučaja presretanja, po glavnom snopu i po bočnom snopu. Na primer, zahtevani odnos osetljivosti  $\delta$  iznosi 60 dB za  $R_{max} = 10$  km u slučaju presretanja po glavnom snopu. Ako presretanje po glavnom snopu nije moguće, pa se pred presretački prijemnik postavi zahtev da presretne ovaj radar na istom rastojanju, ali po bočnom snopu (to je neophodno u situaciji kada su i radar i



presretački prijemnik na zemlji), presretački prijemnik mora smanjiti odnos osetljivosti  $\delta$  sa 60 dB na 20 dB, odnosno poboljšati svoju osetljivost za 40 dB. Jedan od načina na koji se to može postići jeste povećanje procesnog pojačanja presretačkog prijemnika  $PG_E$  iz (7) i (8), što je, uglavnom, teško moguće ostvariti bez sofisticiranih tehnika obrade signala.

U slučaju, na primer, presretanja po glavnom snopu ( $g_t = 30$  dB) i presretanja po bočnom snopu (pretpostavimo da radar ima antenu sa niskim bočnim lobovima reda  $-40$  dB, pa je  $g_{te} = -10$  dB) konvencionalnog impulsnog radara koji koristi nemodulisane impulse trajanja  $T = 1$   $\mu$ s i ne obezbeđuje prijemniku procesno pojačanje  $-PG_{R[dB]} = PG_{E[dB]} = 0$  dB. Vrednosti ostalih parametara radara i presretačkog prijemnika su:  $\lambda = 5$  cm  $\Rightarrow \lambda_{dB} = -13$  dB,  $SNR_{Rout} = SNR_{Eout} = 12$  dB,  $F_R = 6$  dB,  $F_E = 6$  dB,  $P_i = 10$  kW  $\Rightarrow p_i = 70$  dBm,  $B_R = 1$  MHz,  $B_E = 20$  MHz (200 MHz, 2GHz),  $L_E = L_R = 0$  dB,  $\sigma = 3$  m<sup>2</sup>,  $\sigma_{dB} = 4,77$  dB,  $g_t = g_r = 30$  dB,  $g_e = 0$  dB

Osetljivost presretačkog prijemnika je važna karakteristika koja se uzima u obzir pri projektovanju EW sistema. Prijemnik za presretanje radarskih signala generalno se odlikuje širokim RF opsegom, mnogo puta većim od frekvencijskog opsega koji zauzima radarski signal koji treba presresti. To je neophodno kako bi se prevazišao problem zbog nepoznavanja frekvencije signala nosioca iz radarskog predajnika koji treba detektovati. S druge strane, presretačkom prijemniku se omogućuje istovremena borba protiv više različitih tipova radarskih predajnika. Sužavanjem propusnog opsega presretačkog prijemnika do minimalne vrednosti omogućuje mu se maksi-

malna osetljivost, ali se, istovremeno, povećava broj kanala ako je frekvencijski opseg koji treba pokriti ostao nepromenjen. Na primer, frekvencijski opseg od 16 GHz može se pokriti sa 8 podopsega od po 2 GHz, zatim se svaki od ovih podopsega pokriva sa po 10 novih od po 200 MHz i, na kraju, svaki od njih pokriven je sa po 10 novih od po 20 MHz. Ovim postupkom dati frekvencijski opseg pokriva se sa  $8 \times 10 \times 10 = 800$  kanala (channelized receiver [2]). Shodno (8) i (9) osetljivosti presretačkog i radarskog prijemnika iznosiće:

$$S_{Emin} = [-114 + 13] \text{ dBm} + 6 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = -83 \text{ dBm}$$

$$S_{Rmin} = [-114 + 0] \text{ dBm} + 6 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = -96 \text{ dBm}$$

Ukoliko se ostane na 80 kanala po 200 MHz, osetljivost presretačkog prijemnika iznosiće:

$$S_{Emin} = [-114 + 23] \text{ dBm} + 6 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = -73 \text{ dBm}$$

U slučaju 8 kanala sa po 2 GHz osetljivost presretačkog prijemnika se dalje smanjuje i iznosi:

$$S_{Emin} = [-114 + 33] \text{ dBm} + 6 \text{ dB} + 12 \text{ dB} = -63 \text{ dBm}$$

Ukoliko se u (11) i (12) zamene vrednosti, dobijaju se odgovarajuće daljnje prikazane u tabeli 1.

Razmotrimo sada modifikaciju prethodnog radara koja podrazumeva smanjenje impulsne snage predajnog signala  $N$  puta, a produženje njegovog trajanja  $N$  puta, zatim uvođenje kompre-

sije impulsa, na primer, primenom faznog kodiranja signala na predaji, uz trajanje podimpulsa jednako trajanju impulsa originalnog radara. U tom slučaju rezoluciona svojstva radara se neće promeniti, jer se širina zauzetog frekvencijskog opsega nije promenila. Međutim, radarski prijemnik sada može da ostvari procesno pojačanje, dok presretnički prijemnik nema tu mogućnost, ukoliko se primljeni signal dodatno ne obradi ili se, pak, ne upotrebi znatno usmerenija antena. Na primer, primena polifazne Frankove sekvence, dužine  $N = 256$  na predaji, omogućuje radarskom prijemniku da ostvari procesno pojačanje u iznosu  $PG_{R[dB]} = 10 \cdot \log 10(256) = 24$  dB, koje nemodifikovani presretnički prijemnik ne može ostvariti, pa ostaje  $PG_{E[dB]} = 0$  dB. Impulsna snaga radara sada iznosi  $p_i = 46$  dBm, osetljivost radarskog prijemnika je poboljšana za iznos procesnog pojačanja i iznosi  $S_{Rmin[dB]} = -122$  dBm, dok se osetljivost presretničkog prijemnika nije promenila. Imajući to u vidu, u (11) i (12) zamenjene su vrednosti parametara, pa su izračunate odgovarajuće daljine prikazane u tabeli 1.

Ovim postupkom ne menjaju se ni domet radara niti njegova rezoluciona svojstva, a maksimalna daljina presretničja se znatno smanjuje.

Radi realnijeg modela primljenog signala potrebno je izračunati odnos signal/šum na ulazu u detektor presretničkog prijemnika (na izlazu iz linearnog dela prijemnika). Pošto prijemnik nema problema sa detektovanjem radarskog signala po glavnom snopu u ovom slučaju, razmotrićemo odnos signal/šum u slučaju detekcije po bočnom snopu i to pri srednjoj osetljivosti od  $-73$  dB (prijemni kanal širine 200 MHz). Snaga signala na ulazu u presretnički prijemnik  $S_E$  računa se na osnovu izraza (4), pa je traženi odnos signal šum  $\rho = S_E / kT_0 B_E F_E$ . Ako u ovaj izraz zamenimo vrednosti parametara, za daljine radar – presretnič  $R_E = 100$  km i 200 km dobijaju se vrednosti odnosa signal/šum prikazane u tabeli 2.

U tabeli je razmatrana i impulsna snaga radara od 1W, što je tipično za LPI radare koji koriste talasne oblike sa TB proizvodima reda 10 000 [1]. Prijemnik tog radara ostvaruje procesno pojačanje reda 40 dB, pa je moguće postići isti do-

Tabela 1  
Domet radara i maksimalne daljine presretničja konvencionalnog radara i LPI radara

| Impulsna snaga radara          | Domet radara [km]         |                          | Maksimalna daljina presretničja [km] |         |                              |         |                              |         |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|
|                                | $\sigma = 40 \text{ m}^2$ | $\sigma = 4 \text{ m}^2$ | $S_{Emin} = -63 \text{ dBm}$         |         | $S_{Emin} = -73 \text{ dBm}$ |         | $S_{Emin} = -83 \text{ dBm}$ |         |
|                                |                           |                          | gl. snop                             | b. snop | gl. snop                     | b. snop | gl. snop                     | b. snop |
| 39 W (N = 256)<br>$d_c = 0,25$ | 42,2                      | 23,7                     | 35                                   | 0,35    | 112                          | 11,2    | 350                          | 3,5     |
| 19 W (N = 512)<br>$d_c = 0,5$  |                           |                          | 24                                   | 0,24    | 78                           | 0,78    | 248                          | 2,48    |
| 9 W (N = 1024)<br>$d_c = 1$    |                           |                          | 17                                   | 0,17    | 55                           | 0,55    | 175                          | 1,75    |
| 10 kW<br>$d_c = 0,001$         | 42,2                      | 23,7                     | 560                                  | 5,6     | 1780                         | 17,8    | 5620                         | 56,2    |

Tabela 2

Vrednosti odnosa signal/šum na ulazima u detektore presretačkog prijemnika i radarskog prijemnika za različite daljine radar – presretač i različite impulsne snage radara

|  |                         | Impulsna snaga radara |        |        |         |        |
|--|-------------------------|-----------------------|--------|--------|---------|--------|
|  |                         | 10 kW                 | 39 W   | 19 W   | 9 W     | 1 W    |
| SNR <sub>Ein</sub><br>[dB]                             | R <sub>E</sub> = 25 km  | 39 dB                 | 15 dB  | 12 dB  | 8,5 dB  | -1 dB  |
|  | R <sub>E</sub> = 100 km | 27 dB                 | 3 dB   | 0 dB   | -3,5 dB | -13 dB |
|  | R <sub>E</sub> = 200 km | 21 dB                 | -3 dB  | -6 dB  | -10 dB  | -19 dB |
| SNR <sub>Rin</sub><br>[dB]<br>$\sigma = 4 \text{ m}^2$ | R <sub>R</sub> = 25 km  | 9 dB                  | -15 dB | -18 dB | -21 dB  | -31 dB |

met kao sa prethodno pomenutim verzijama, koji iznosi oko 25 km za cilj efektivne radarske površine  $\sigma = 4 \text{ m}^2$ . Međutim, u ovakvim radarima treba izvršiti veoma složenu obradu signala, pa su oni u praksi još uvek malobrojni.

#### Metode detekcije i procene parametara LPI radarskih signala

Iz izloženih primera može se zaključiti da novi EW prijemnici moraju imati poboljšanu osetljivost za 10–30 dB, kako bi se uspešno nosili s novim LPI sistemima. Jedan način kojim se to može postići je upotreba vrlo usmerenih antena, s visokim dobitkom. Tom prilikom javlja se problem zbog toga što su neophodni brojni prijemni kanali kako bi se pokrio dati uglovni sektor. Broj prijemnika i antena jednak je dobitku antena, što znači 10–1000. Digitalna obrada signala je drugi način poboljšanja osetljivosti. Načelno, postoje dve strategije EW prijemnika. Prva od njih je detektovanje LPI radarskih talasnih oblika, pri kojem se koristi samo energija primljenog signala. Prednost ove strategije je činjenica da performanse detektora uglavnom ne zavise od talasnog oblika. Druga strategija

je detektovanje bazirano na specifičnostima radarskog signala, čime se postiže veća efikasnost. Međutim, uvođenje agilnih parametara na strani predajnika može smanjiti efikasnost ove strategije. U skladu sa definisanim strategijama, metode digitalne obrade signala, razvijene u ovu svrhu, dele se na tri osnovne grupe:

- nekoherentne metode (radiometar), koje koriste srednju snagu primljenog signala, dobijenu usrednjavanjem na intervalu reda trajanja integracije u radarskom prijemniku (reda milisekundi). Ovim metodama signal se ne obrađuje pre detektora ovojnice, već nakon njega (post-detection processing). Na taj način moguće je ostvariti procesno pojačanje 10–15 dB;

- koherentne metode, koje koriste „skoro prilagodene“ filtere. Primer je Wigner-Houghova transformacija za LFM signale [6]. Termin „koherentan“ govori da se signal obrađuje pre detektora ovojnice (pre-detection processing). Metode iz ove klase obezbeđuju procesno pojačanje 10–25 dB;

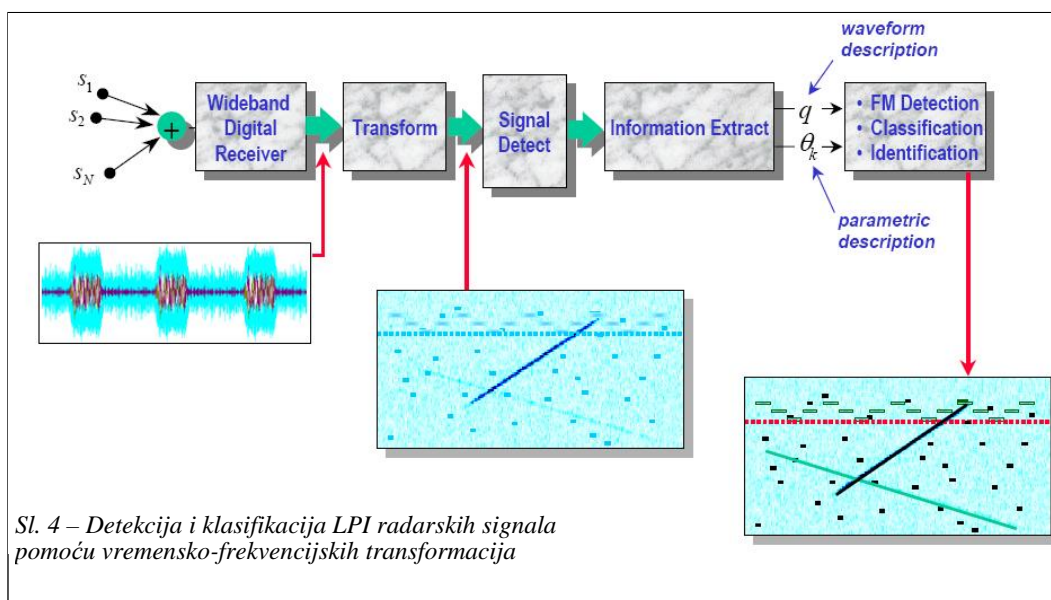
- kroskorelacione metode (interferometar), kao poseban oblik koherentnih metoda, koje zahtevaju dva kanala sa dve antene (antenski niz).

### Metode koherentne detekcije

Otkako se koriste novi širokopojasni talasni oblici, LPI radari pokušavaju da onemoguće proces detekcije i demodulacije u EW prijemnicima, od kojih se, s druge strane, zahteva veliko procesno pojačanje da bi se detektovala LPI emisija i procenili parametri signala. Procena parametara je neophodna radi kasnije klasifikacije radara. Pri klasifikaciji se zahteva sortiranje signala u grupe sa sličnim parametrima (klasterizacija). Frekvencija signala nosioca, širina frekvencijskog opsega, period ponavljanja impulsa, tip modulacije, trenuci nailaska signala, samo su neki od parametara po kojima se jedan signal razlikuje od drugog. Kada se obavi korelacija procenjenih parametara s parametrima signala iz baze podataka (identifikacija), može da se pređe u režim praćenja signala, a zatim da se definiše i sprovodi optimalna strategija ometanja otkrivenog LPI radara.

Kao osnovna alatka za procenu parametara predajnika, na početku je korišćena Furijeova analiza zasnovana na FFT-u. Iz ove osnovne alatke izvedene su druge, kompleksnije tehnike obrade signala, kao što su STFT (Short-Time Fourier Transform), čiji je cilj praćenje parametara signala tokom vremena. Sa povećanjem računskih mogućnosti digitalnih procesora u prijemnicima, razvijene su sofisticiranije tehnike, vremensko-frekvencijske i bifrekvencijske distribucije, koje omogućuju prepoznavanje raznovrsnih modulacionih tehnika koje koriste LPI radari. Ove tehnike uključuju Wignerovu distribuciju i njene izravnate verzije [4, 6, 12], statistike višeg reda [8], QMF banke [9] i ciklostacionarnu analizu [10].

Na slici 4 prikazana je opšta šema ES prijemnika koji detektuje i klasifikuje LPI radarske signale pomoću vremensko-frekvencijskih transformacija (VFT). Signal se preslikava iz vremenskog domena (jed-



Sl. 4 – Detekcija i klasifikacija LPI radarskih signala pomoću vremensko-frekvencijskih transformacija

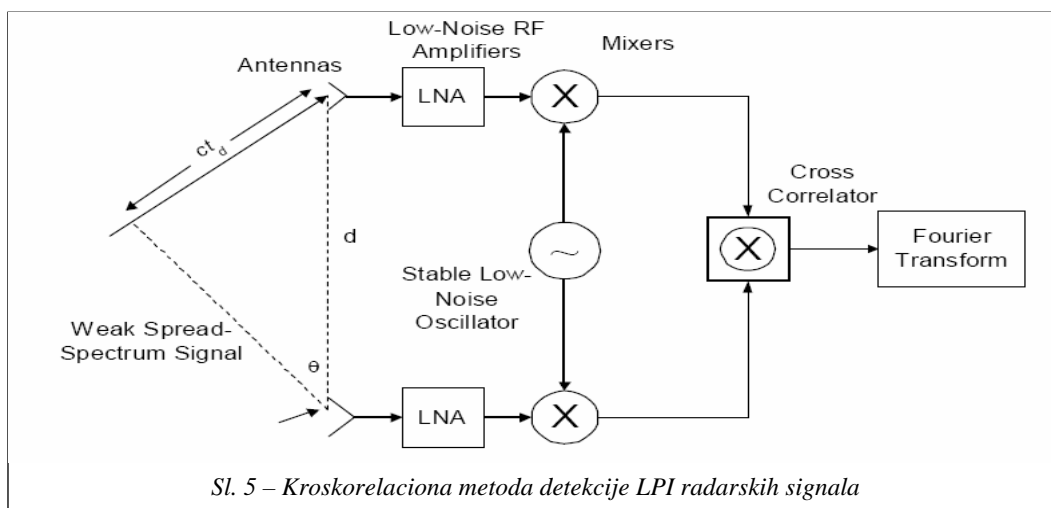
nodimenzionalni) u vremensko-frekvencijski domen (dvodimenzionalni). Na taj način šum se „razliva“ u vremensko-frekvencijsku ravan, dok se signal koncentriše oko tačkaka koje predstavljaju vremensku lokalizaciju njegovih spektralnih komponenata. Ove tačke biće istaknute u odnosu na tačke koje potiču od šuma i pri niskim odnosima signal/šum (reda  $-10$  dB), pa je za detekciju i estimaciju parametara signala moguće efikasno primeniti neki od algoritama iz oblasti digitalne obrade slike. Ukoliko se radi o FM signalu, tačke koncentracije signala grupišu se u linije, pa algoritmi za detekciju pravih linija u slici, Houghova ili Radonova transformacija, daju dobre rezultate pri detektovanju ovakvih signala i procene njihovih parametara [6, 7].

Rekonstrukcija signala nakon detekcije i procene njegovih parametara, odnosno projektovanje prilagođenog filtera, poznato je u literaturi kao „deramping“. U radu [4] opisan je ovaj postupak za linearni FM signal, dok je opštiji metod predložen u [5]. Da bi sintetički signal mogao da se upotrebi za ometanje LPI radara, on mora biti dobro korelisan sa

originalnim talasnim oblikom. To znači da parametri signala treba da budu precizno procenjeni. U algoritmima zasnovanim na vremensko-frekvencijskim transformacijama tačnost procene parametara signala određuju rezolucija (po vremenu i frekvenciji) i interferencija. Linearne VFT (spektrogram, skalogram) jednostavno se izračunavaju, ne sadrže kroskomponente, ali imaju lošiju rezoluciju od kvadratnih VFT čije izračunavanje je složenije. S druge strane, kvadratne VFT sadrže kroskomponente kojih nema u originalnom signalu. Ravnanjem (smoothing) Wignerove distribucije dobijaju se brojne druge kvadratne VFT sa manje izraženom interferencijom, ali i lošijom rezolucijom od WD.

#### Kroskorelacione metode

Na slici 5 prikazana je uopštena blok-šema kroskorelacionih (interferometarskih) metoda. Dakle, zahtevaju se dva prijemna kanala s dve antene, a metode se zasnivaju na činjenici da su šumovi iz dva različita prijemna kanala međusobno ne-



Sl. 5 – Kroskorelaciona metoda detekcije LPI radarskih signala

korelisani. Efikasnost ovih algoritama ne zavisi od tipa modulacije [3, 11]. Podjednako su efikasni i za fazno kodirane i za frekvencijski modulisane radarske signale. Ove metode obezbeđuju procenu ugla dolaska radarskog zračenja, učestanosti signala nosioca i širine frekvencijskog opsega. Što je veći TB proizvod analiziranog signala, to je algoritam uspješniji, jer je izraženiji pik u kroskorelaciji, ali je u tom slučaju izračunavanje algoritma složenije. Nedostatak predstavlja nemogućnost prepoznavanja tipa modulacije i zahtevna obrada signala. Pri velikim TB proizvodima, sa trenutno raspoloživim hardverom nije moguće izračunati kroskorelaciju (širokopojasna kroskorelacija) u realnom vremenu [3].

### Zaključak

U sukobu konvencionalnog impulsnog radara i presretačkog sistema, presretački prijemnik nema problem pri detektovanju radara s velikih udaljenosti po glavnom snopu, a često i po bočnim snopovima radarske antene. Razlog je činjenica da radar mora emitovati signale dovoljno velike impulsne snage da bi se oni mogli detektovati i nakon refleksije od cilja. To znači da elektromagnetski talas razdaljinu između radara i cilja prelazi dvaput, dok se propagacija između radara i presretačkog prijemnika obavlja samo jednom. Faktor uspešnosti presretača  $\alpha$  definiše se kao količnik maksimalne daljine presretanja i maksimalnog dometa radara,  $\alpha = R_{E_{max}}/R_{R_{max}}$ . Ovaj faktor je direktno srazmeran maksimalnom dometu radara, a obrnuto srazmeran odnosu osetljivosti presretačkog i radarskog prijemnika. Zaštićenom zonom naziva se

deo prostora iz kojeg presretački prijemnik može detektovati radar, dok radar ne može detektovati platformu na kojoj je smešten presretački sistem. Granicu zaštićene zone određuje jedinični faktor uspešnosti presretača,  $\alpha = 1$ .

LPI radari pokušavaju da smanje faktor uspešnosti presretača, do vrednosti što niže ispod jedinice. U tom slučaju radar je u prednosti, jer može detektovati platformu s presretačkim prijemnikom na većem rastojanju nego što presretač može detektovati radar (to see and not be seen). To je moguće postići ukoliko se upotrebe talasni oblici s velikim vrednostima TB proizvoda, koji radarskom prijemniku omogućuju ostvarivanje velikih vrednosti procesnog pojačanja (40 dB), jer se tako povećava osetljivost radarskog prijemnika. S druge strane, to dopušta radarskom predajniku da radi s niskim vršnim snagama, a da se ne degradiraju performanse radara. Ukoliko presretački prijemnik ne ostvari dovoljno procesno pojačanje, maksimalna daljina presretanja biće znatno smanjena. Dakle, da bi se presretački prijemnik uspešno nosio sa ovakvom vrstom radara, on mora ostvariti određeno procesno pojačanje.

Istraživanja se, načelno, kreću u dva pravca. Prvi podrazumeva upotrebu vrlo usmerenih antena, sa visokim dobitkom. Problem koji se tom prilikom javlja jeste potreba za velikim brojem prijemnih kanala, kako bi se pokrio dati uglovni sektor. Broj prijemnika i antena jednak je dobitku antena, što znači 10–1000. Drugi način poboljšanja osetljivosti postiže se kroz digitalnu obradu signala.

Načelno, postoje dve strategije EW prijemnika. Prva od njih podrazumeva detekciju LPI radarskih talasnih oblika, kada

se koristi samo energija primljenog signala. Prednost ove strategije je činjenica da performanse detektora uglavnom ne zavise od talasnog oblika. Druga strategija podrazumeva detekciju baziranu na specifičnostima radarskog signala, čime se postiže veća efikasnost. Međutim, uvođenje agilnih parametara na strani predajnika može smanjiti efikasnost ove strategije.

U skladu sa definisanim strategijama, metode digitalne obrade signala, razvijene u ovu svrhu, dele se na tri osnovne grupe: nekoherentne metode (radiometarske), koherentne metode (pre-detection processing) i kroskorelacione metode (interferometarske).

Izvršena je uporedna analiza karakteristika dve najvažnije grupe algoritama: grupe koherentnih metoda i grupe kroskorelacionih metoda. Na osnovu izvršene analize zaključeno je da koherentne metode omogućuju procenu šireg skupa parametara u odnosu na kroskorelacione metode. Međutim, primenom kroskorelacionih metoda na LPI radarske signale ostvaruje se veće procesno pojačanje pri detekciji u odnosu na primenu koherent-

nih metoda. Ono je utoliko veće što je TB proizvod analiziranog signala veći.

#### *Literatura:*

- [1] Pace, P. E.: Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar, Artech House, Norwood, M. A, USA, 2004.
- [2] Schleher, D. C.: Electronic Warfare in the Information Age, Artech House, Norwood, MA, USA, 1999.
- [3] Wiley, R. G.: The Future of EW and Modern Radar Signals, Proc. of IEEE AESS, November, 2004.
- [4] Ong, P. G., Teng, H. K.: LPI Radar Detector, M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey USA, March, 2001.
- [5] Cornu, C., Ioana, C., Quinquis, A.: Characterization of LPI Waveforms using Polynomial Phase Signal Modeling, International Conference on Radar Systems, RADAR 2004.
- [6] Moriatakis, M. P. F.: Feature Extraction of Intra-Pulse Modulated Signals using Time-Frequency Analysis, Proc. of IEEE.
- [7] Jennison, B. K.: Detection of Polyphase Pulse Compression Waveforms using the Radon-Ambiguity Transform, Proc. of IEEE AESS, Vol. 39, No 1, January, 2003.
- [8] Taboada, F. L.: Detection and Classification Of Low Probability Of Intercept Radar Signals Using Parallel Filter Arrays and Higher Order Statistics, M. S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey USA, September, 2002.
- [9] Farrell, T. and Prescott, G.: A Nine-Tile Algorithm for LPI Signal Detection Using QMF Filter Bank Trees, Proc. of IEEE MILCOM, 1996.
- [10] Lima, A. F., Jr.: Analysis of low probability of intercept radar signals using cyclostationary processing, M. S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey USA, September, 2002.
- [11] Houghton, A. W., Reeve, C. D.: Spread Spectrum Signal Detection using a Cross Correlation Receiver, VI International Conference of Radio Receivers and Associated Systems, September 1995, Bath, UK.
- [12] Simić, S., Zrnčić, B.: Primena Vignerove distribucije u digitalnoj obradi radarskih signala, Naučnotehnički pregled, vol. LII, br. 2, 2002.



**Mr Boban Bondžulić,**  
kapetan, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## **ANALIZA REZULTATA DETEKCIJE POKRETA NA SLICI**

UDC: 004.4'275

*Rezime:*

*U radu je izvršeno poređenje pet metoda za određivanje praga detekcije pokreta na slici scene. Metodi su testirani na sintetičkim i realnim slikama, a rezultati detekcije pokreta izraženi su kvantitativno ili su dati vizuelno. Kvantitativna analiza izvršena je na nivou piksela, a zasnovana je na procentu ispravno klasifikovanih piksela, Jaccardovom i Yuleovom koeficijentu. Kroz analizu sprovedenu u četiri eksperimenta zaključeno je da su najbolji rezultati detekcije postignuti ukoliko se koristi Kapurov metod određivanja praga.*

*Ključne reči: detekcija pokreta, oduzimanje sukcesivnih frejmova, oduzimanje slike pozadine, metodi za određivanje praga detekcije pokreta, analiza rezultata detekcije pokreta.*

---

### **PERFORMANCE EVALUATION OF CHANGE DETECTION**

*Summary:*

*This paper studies five different methods proposed for change detection thresholding. Methods were tested on synthetic and real pictures and results are quantitatively and qualitatively presented. Quantitative analysis is performed at pixel level and the following measures were used: the percentage of correct classification, the Jaccard coefficient and the Yule coefficient. We test the performance of the thresholding methods in four experiments and Kapur was the best performing method both quantitatively and qualitatively.*

*Key words: change detection, successive frames subtraction, background subtraction, methods for change detection thresholding, performance evaluation of change detection.*

---

#### **Uvod**

Za detekciju pokreta (promena) na slikama scene može se koristiti obrada slike razlike, koja se dobija oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma ili oduzimanjem sukcesivnih frejmova. Ova detekcija praćena je uvođenjem praga da bi se dobila binarna slika u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase (pozadina i pokretni objekat).

Jedan metod određivanja praga detekcije pokreta neće biti dobar za sve primene. Takođe, različiti metodi nisu podjednako korisni za konkretnu primenu.

Zbog toga je procena rezultata detekcije bitna, kako za odabir odgovarajuće metode, tako i za optimalan izbor parametara koji su potrebni za pojedine metode određivanja praga detekcije. Odabir metrike procene je veoma težak zadatak i ne postoji standardna metrika za objektivnu procenu rezultata detekcije.

U ovom radu izvršeno je poređenje pet metoda za određivanje praga detekcije pokreta na slici scene. Jedan od metoda predložio je autor, a ostala četiri preuzeta su iz literature. Metodi su ispitani na sintetičkim slikama i na slikama realne scene. Slike scene formirane su nepo-

kretnom televizijskom i termovizijskom kamerom.

### Detekcija pokreta oduzimanjem sukcesivnih frejmova

Ako je  $I^n(x, y)$  vrednost nivoa sivog piksela frejma (slike) na poziciji  $(x, y)$  u trenutku  $t = t_n$ , mera sličnosti dva frejma, uzeta u trenutku  $t = t_n$  i  $t = t_{n-1}$ , može se izraziti kao:

$$D^n(x, y) = |I^n(x, y) - I^{n-1}(x, y)|, \\ \forall(x, y) \in [1, N] \times [1, M] \quad (1)$$

gde je  $N \times M$  dimenzija frejma u pikselima i gde intenzitet piksela frejma može uzeti bilo koju vrednost iz skupa  $[0, 1, 2, \dots, 255]$ . Na taj način dobija se slika razlike  $D^n$ .

### Detekcija pokreta oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma

Sa  $B^n(x, y)$  označen je intenzitet piksela slike pozadine na poziciji  $(x, y)$ , u trenutku  $t = t_n$ . Uz pretpostavku da je slika pozadine poznata, detekcija pokreta može se izvršiti na osnovu razlike tekućeg frejma i slike pozadine:

$$D^n(x, y) = |I^n(x, y) - B^n(x, y)|, \\ \forall(x, y) \in [1, N] \times [1, M] \quad (2)$$

Da bi se eliminisao uticaj šuma i donela odluka o tome kod kojih piksela je došlo do promene nivoa sivog zbog prisustva pokretnih objekata, potrebno je na sliku razlike  $D^n(x, y)$  primeniti prag  $T$

( $T \in [0, 255]$ ). Na taj način dobija se binarna slika  $I_b^n(x, y)$ , u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase (pozadina i pokretni piksel), tj:

$$I_b^n(x, y) = \begin{cases} 0, D^n(x, y) \leq T \\ 255, D^n(x, y) > T \end{cases} \quad (3)$$

### Metodi za određivanje praga detekcije pokreta

U radu su analizirani Otsuov, Tsaijev, Kapurov, Rosinov metod i metod koji je predložio autor.

Otsu je u radu [1] predložio metod za analitičko određivanje vrednosti praga koji je zasnovan na diskriminantnoj analizi. Ovaj metod obezbeđuje maksimalnu separabilnost regiona, koji predstavljaju objekat i pozadinu, a za određivanje praga koristi histogram slike.

Određivanje praga pomoću očuvanja momenata predložio je Tsai [2]. Pre određivanja praga računaju se momenti nivoa sivog ulazne slike. Prag se, zatim, određuje tako da momenti izlazne slike, koja se dobija primenom praga na ulaznu sliku, budu isti kao momenti ulazne slike.

Kapur [3] je koristio Shannonovu definiciju entropije. Međutim, umesto da posmatra jednu gustinu verovatnoće nivoa sivog čitave slike, on je posmatrao dve gustine verovatnoće, jednu za pozadinu i drugu za objekat.

Rosin je za određivanje praga detekcije pokreta koristio Eulerov broj [4], koji predstavlja meru topologije binarne slike.

Predloženi način određivanja praga detekcije pokreta autora zasnovan je na blokovskoj podeli slike razlike i verovat-

(2)

noći lažnog alarma [5]. Prag detekcije je u [5] izveden za Gausovu i Laplasovu raspodelu nivoa sivog na slici razlike. Osnovni problem koji se javlja pri određivanju praga detekcije pokreta je estimacija standardne devijacije šuma u slici. Problem je rešen podelom slike razlike na blokove  $8 \times 8$  piksela i usrednjavanjem određenog broja najmanjih standardnih devijacija blokova.

### Mere detekcije pokreta

Standardna metrika za procenu rezultata detekcije ne postoji jer se u obradi slike koristi kvalitativna definicija dobre segmentacije (klasifikacije) [6] po kojoj regioni dobijeni postupkom segmentacije treba da budu uniformni i homogeni u odnosu na neke karakteristike, kao što su nivo sivog ili tekstura. Unutrašnjost regiona treba da bude jednostavna i bez malih rupa, a granice regiona jednostavne, glatke i prostorno tačne. Susjedni regioni treba da budu dovoljno različiti po onom atributu po kojem su uniformni. Detekcija promena predstavlja jednu vrstu segmentacije.

Uobičajena praksa za procenu rezultata detekcije pokreta bazira se na proceni rezultata određenog broja posmatrača (subjektivna procena). Da bi se dobili statistički relevantni rezultati potreban je znatan broj posmatrača (reprezentativan uzorak), čineći subjektivnu procenu vremenski dugom i veoma skupom [7].

Da bi se izbegla subjektivna procena, potrebna je procedura za automatsku procenu rezultata detekcije. Procedura automatske procene naziva se objektivna procena. Metrika za objektivnu procenu

može se primeniti na metod određivanja praga detekcije (analitički metodi) ili na rezultate detekcije (empirijski metodi).

Analitički metodi procenjuju postupak određivanja praga na osnovu principa određivanja praga, specifičnosti metoda, njegove kompleksnosti i sl. Prednost ovih metoda jeste što se procena vrši bez implementacije samog algoritma. Međutim, kako teorija detekcije pokreta nije u potpunosti razvijena, kao i zbog toga što algoritam detekcije pokreta može biti kompleksan, sastavljen od nekoliko celina, algoritam detekcije se veoma teško može proceniti na ovakav način [7].

Kod empirijskih metoda za izbor postupka određivanja praga, prag se primenjuje na skup test slika koje su relevantne za konkretnu primenu. Algoritam koji daje najbolje rezultate zatim se koristi u konkretnoj aplikaciji. Empirijski metodi često se nazivaju i metodi neslaganja, jer se rezultati detekcije porede sa referentnom detekcijom. Referentna ili idealna detekcija može se dobiti ručno ili pomoću pouzdane procedure.

Procena je zasnovana na parametrima neslaganja, koji mogu biti zasnovani na prostornom i vremenskom odstupanju. Na primer, pikseli koji su pogrešno klasifikovani dele se u dve grupe – na one koji pripadaju rezultatu detekcije ali ne i idealnoj detekciji–klasifikaciji (false positive) i one koji pripadaju idealnoj detekciji ali ne i rezultatu detekcije (false negative) [7, 8]. Osim toga, vremenska nepromenljivost (stabilnost) detektovanih objekata može se razmatrati. Parametri neslaganja prostorne procene mogu biti vernost oblika, geometrijska sličnost, ivice, sličnost statistika i sl. Vremenska

stabilnost i prostorna procena mogu se kombinovati i zajedno posmatrati.

U primenama gde se kao krajnji korisnik javlja čovek bitno je da se uzme u obzir i vizuelni sistem čoveka za procenu kvaliteta detekcije. Metodi procene uglavnom ne uzimaju ovaj aspekt i razmatraju samo objektivne kriterijume, kao što je odstupanje u odnosu na idealnu detekciju.

Test slike za procenu metoda određivanja praga mogu biti sintetičke, pseudosintetičke ili slike realnih scena.

### Metodologija procene rezultata detekcije

Performanse metoda određivanja praga detekcije pokreta biće izražene kvantitativno, poredeći rezultat detekcije metoda i rezultat idealne detekcije, a u situacijama kada se ne raspolaže rezultatima idealne detekcije rezultati će biti prikazani vizuelno.

Kako je cilj procene poređenje na velikom broju test-slika, rezultat idealne detekcije generiše se automatski, jer je bilo koji drugi način spor i naporan. Zbog toga su rezultati nekih realnih test-slika prikazani vizuelno. Test-slike koje se koriste su sintetičke i realne, a njihov nedostatak jeste što se svi procesi koji se javljaju na sceni ne mogu modelovati: uticaj senke, promene vremenskih uslova, itd.

Nakon generisanja sintetičkih test-slika moguće je dobiti sekundarni skup slika, na primer, dodavanjem šuma, promenom kontrasta, simulacijom susreta objekata i sl. Takođe, stvarni objekat može se izdvojiti iz realne sekvence i veštački ubaciti u novu video sekvencu. Iako slike dobijene na ovakav način nisu potpuno realne, one se mogu koristiti za testiranje metoda.

Postoji više načina za analizu performansi metoda određivanja praga, počev od analize na najnižem nivou – analize na nivou piksela, pa do analize na višim nivoima. Analiza na višim nivoima uzima u obzir mogućnost primene metoda u konkretnoj aplikaciji. Performanse metoda određivanja praga biće posmatrane na nivou piksela.

Rezultat analize na najnižem nivou, koji je zasnovan na poređenju rezultata detekcije i idealne detekcije, zasniva se na sledećim veličinama:

– broj piksela promena koji su ispravno klasifikovani – true positives (TP);

– broj nepokretnih piksela (piksela pozadine) koji su nepravilno klasifikovani – false positives (FP);

– broj nepokretnih piksela koji su pravilno klasifikovani – true negatives (TN);

– broj piksela promena koji su nepravilno klasifikovani – false negatives (FN).

Od ove četiri veličine formirane su sledeće mere sličnosti [9]:

– procenat ispravno klasifikovanih piksela (percentage correct classification):

$$PCC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

– Jaccardov koeficijent:

$$\frac{TP}{TP + FP + FN}$$

– Yuleov koeficijent:

$$\left| \frac{TP}{TP + FP} + \frac{TN}{TN + FN} - 1 \right|$$

Za procenu rezultata detekcije najčešće se koristi mera PCC. Međutim, ova mera može dati pogrešnu procenu kada je broj pokretnih piksela mali u odnosu na broj piksela čitave slike. Tako, ako je broj piksela promena npr. 4%, veliki koeficijent PCC (96%) dobija se ako se kompletna slika proglaši pozadinom. Yuleov i Jaccardov koeficijent prevazilaze ovaj problem na taj način što minimiziraju uticaj velikog broja TN. Treba primetiti i da se Yuleov koeficijent ne može koristiti u situacijama kada je jedan od imenilaca jednak nuli.

### Opis i analiza rezultata prvog eksperimenta

U prvom eksperimentu analizirana je situacija kada na sceni nije bilo pokretnih objekata. Koristile su se sintetičke slike i slike realne scene. Za procenu rezultata koristio se samo koeficijent PCC, jer na sceni nema pokretnih objekata.

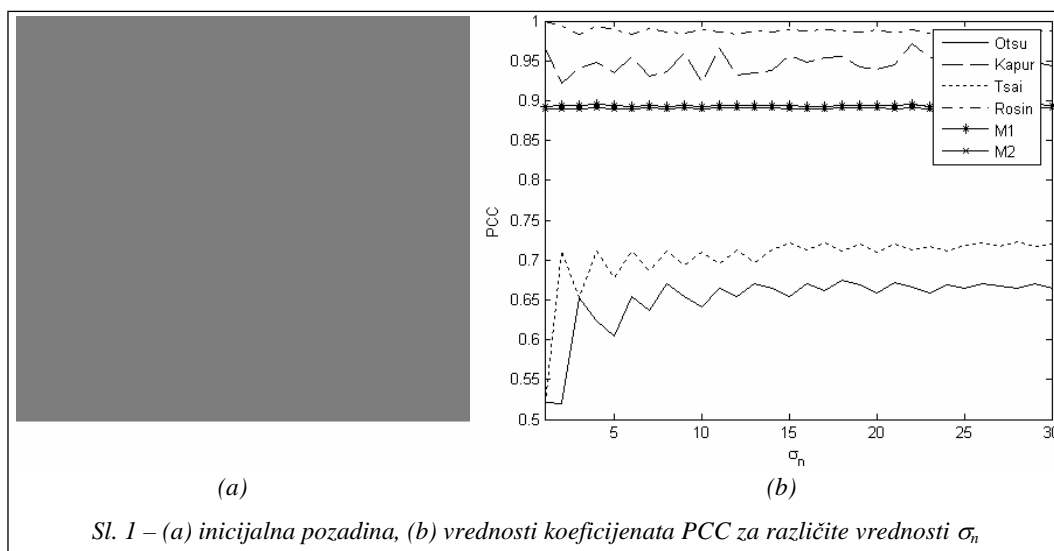
Sintetičke slike su dimenzija  $512 \times 12$  piksela. Inicijalna pozadina je uni-

formna, a njen nivo sivog je 127 (srednji nivo na skali od 0 do 255 nivoa sivog). Zatim je inicijalnoj pozadini dodavan Gausov šum nulte srednje vrednosti, a standardne devijacije  $\sigma_n$ , čija je vrednost menjana od 1 do 30 nivoa sivog. Slike razlike dobijene su oduzimanjem sukcesivnih frejmova.

Usvojena verovatnoća lažnog alarma za metod autora, za Gausovu (M1 u daljoj analizi) i Laplasovu (M2 u daljoj analizi) raspodelu, iznosi  $P_{fa} = 10^{-1}$ .

Na sl. 1 prikazane su inicijalna slika pozadine (sl. 1a) i vrednosti koeficijenata PCC za pet analiziranih metoda (sl. 1b). Vrednost koeficijenta PCC data je u funkciji standardne devijacije šuma (sl. 1a).

Sa sl. 1b vidi se da najbolje rezultate detekcije daju pragovi koji se određuju Rosinovim i Kapurovim metodom. Lošiji rezultati dobijaju se ukoliko se koriste pragovi koji se određuju Tsaijevim i Otsuovim metodom. Rezultati metoda autora nalaze se između rezultata koje daju navedeni metodi. Takođe, vidi se da se u slučaju predloženog metoda vrednost koefi-



Sl. 1 – (a) inicijalna pozadina, (b) vrednosti koeficijenata PCC za različite vrednosti  $\sigma_n$

Tabela 1

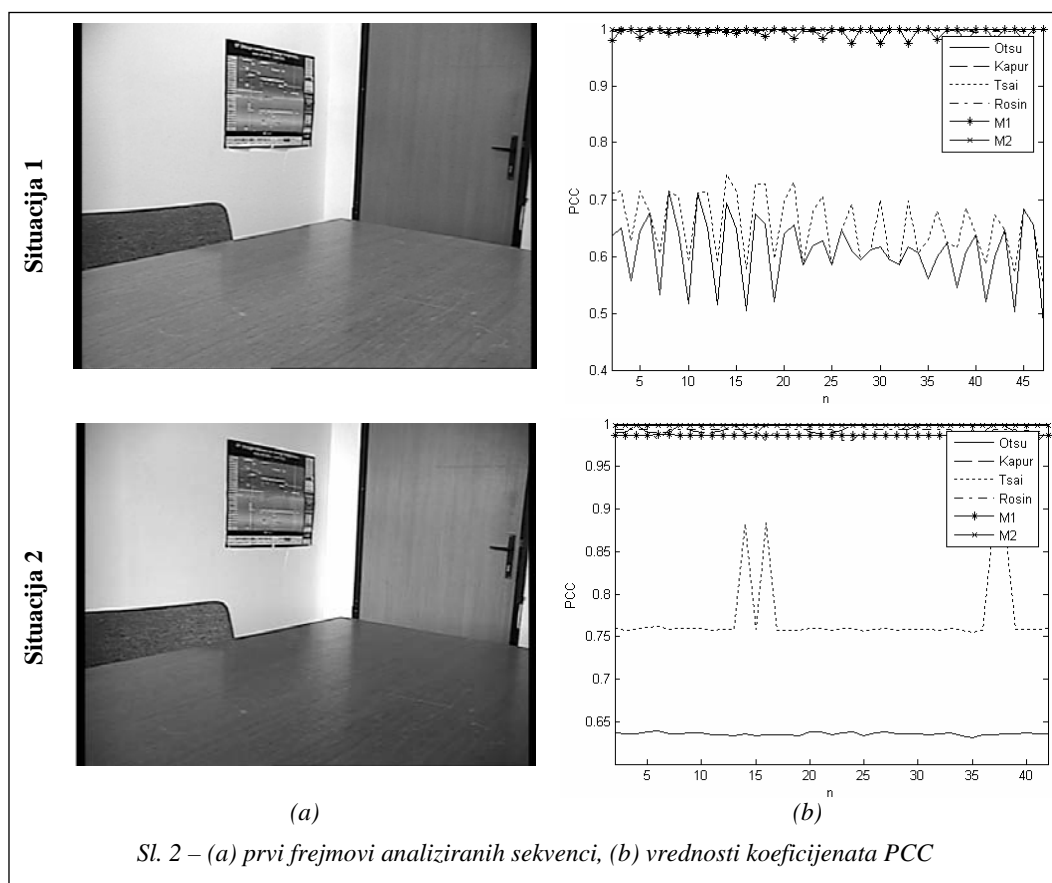
Opis situacija i broj korišćenih frejmova

|             | OPIS SITUACIJE                              | BROJ FREJMOVA |
|-------------|---|---------------|
| Situacija 1 | U prostoriji upaljeno svetlo                | 48            |
| Situacija 2 | U prostoriji prisutna dnevna svetlost       | 43            |
| Situacija 3 | Postavljen zastor na jedan od prozora       | 33            |
| Situacija 4 | Postavljen zastor na oba prozora            | 48            |
| Situacija 5 | Postavljen dupli zastor na jedan od prozora | 33            |
| Situacija 6 | Postavljen dupli zastor na oba prozora      | 39            |

cijenta PCC kreće oko vrednosti 0,89, što govori o tome da je algoritam dobro implementiran (verovatnoća lažnog alarma je  $Pl_a = 10^{-1}$ , a nema pokreta na sceni).

Za analizu realnih scena sproveden je eksperiment u toku kojeg je snimana ista scena šest puta, uz promenu osvetljenosti scene. Eksperiment je sproveden u

zatvorenoj prostoriji dana 26. 12. 2004. godine, od 10.54 do 11.29 h. U tabeli 1 opisane su situacije u kojima je scena snimana i broj frejmova koji se koristio u analizi. Slike scene dobijene su pomoću televizijske kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra ( $0,4-0,7$ )  $\mu\text{m}$ .



Sl. 2 – (a) prvi frejmovi analiziranih sekvenci, (b) vrednosti koeficijenta PCC

Na sl. 2 prikazani su prvi frejmovi sekvenci koji odgovaraju situacijama 1 i 2 (sl. 2a) i vrednosti koeficijenta PCC koji se dobijaju u navedenim situacijama (sl. 2b).

Sa sl. 2b vidi se, da se i u slučaju realne scene, lošiji rezultati dobijaju ukoliko se koriste pragovi dobijeni Tsai-jevim i Otsuovim metodom. Rezultati metoda autora su u skladu sa rezultatima koji se dobijaju kada se koriste pragovi dobijeni Rosinovima i Kapurovim metodom. Bolji rezultati metoda autora u odnosu na slučaj kada su se koristile sintetičke slike dobijeni su, jer je verovatnoća lažnog alarma  $P_{la} = 10^{-4}$ . Slični rezultati dobijaju se kada se analiziraju sekvence slika koje odgovaraju ostalim situacijama.

### **Opis i analiza rezultata drugog eksperimenta**

U drugom eksperimentu analizirana je situacija kada je na sceni postojao jedan pokretni objekat, a u eksperimentu su korišćene slike realne scene. Slike scene dobijene su pomoću televizijske kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra (0,4–0,7)  $\mu\text{m}$ , a slike su snimljene u uslovima koji su opisani u tabeli 1. Kao pokretni objekti korišćene su knjige: prva (označena kao K1), čiji se nivoi sivog razlikuju od pozadine, i druga (označena kao K2), čiji nivoi sivog su slični pozadini.

Kako je u slučaju korišćenja realnih slika scene veoma teško odrediti rezultat idealne detekcije, u ovom slučaju biće prikazane binarne slike koje se dobijaju primenom pragova različitih metoda na

slike razlike. Slike razlike formirane su oduzimanjem slike pozadine i oduzimanjem sukcesivnih frejmova.

Za metod autora usvojena verovatnoća lažnog alarma za Gausovu i Laplasovu raspodelu je  $P_{la} = 10^{-4}$ .

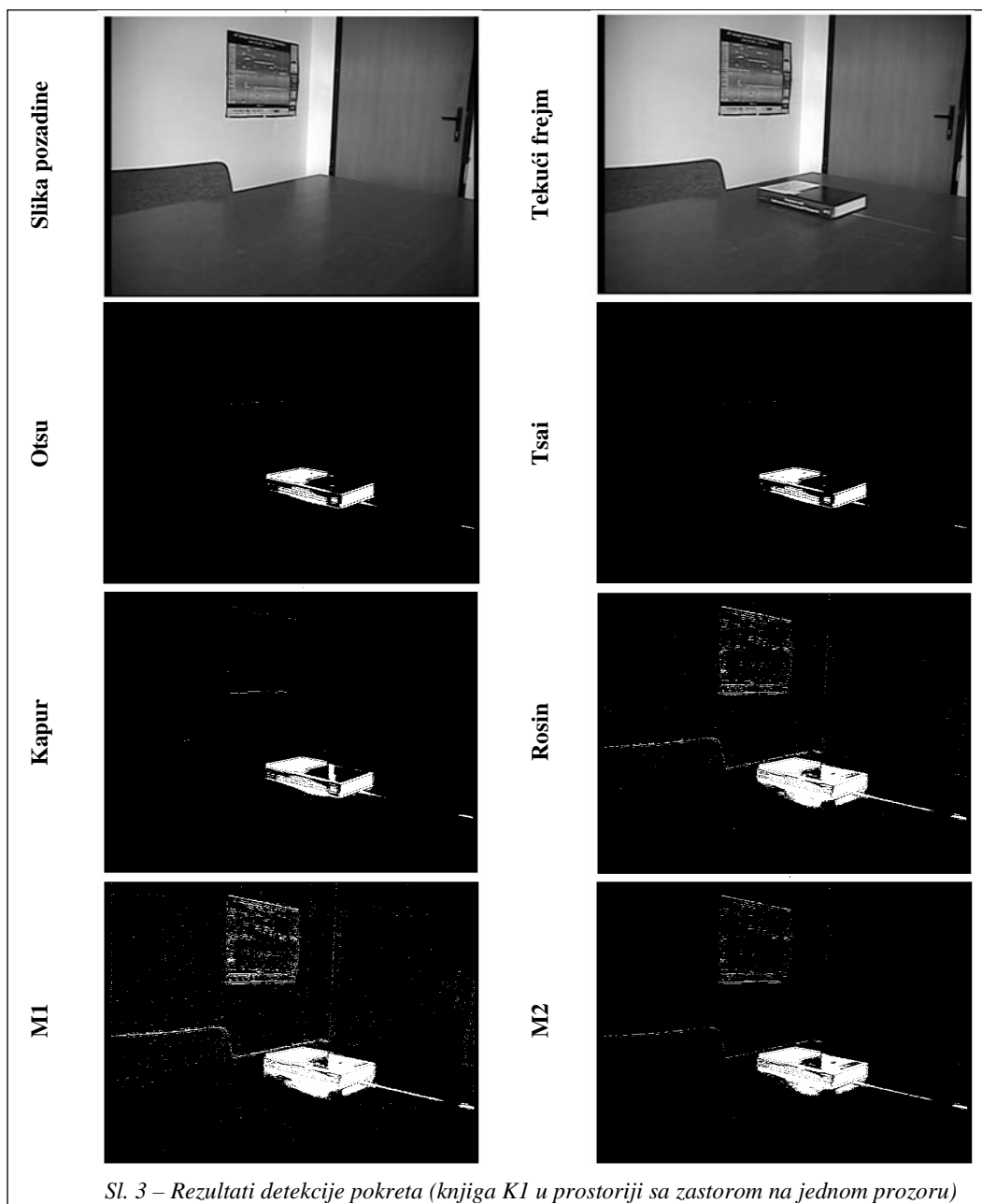
Analiza je sprovedena za oba pokretna objekta i za svih šest situacija, a u radu su dati rezultati dobijeni za pokretne objekte u prostori sa zastorom na jednom prozoru (situacija 3).

Na sl. 3 i 4 prikazane su slika pozadine, slučajno odabrani frejmovi analiziranih sekvenci koje odgovaraju situaciji 3 i rezultati detekcije pokreta. Slike razlike formirane su oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma.

Ista analiza sprovedena je i za oduzimanje sukcesivnih frejmova. Kroz kompletnu analizu utvrđeno je da su pokretni objekti detektovani u velikom opsegu promene osvetljenosti (situacije 1–5), nezavisno od izbora metoda određivanja praga detekcije.

Kroz šest analiziranih situacija zaključeno je da je najbolje rezultate detekcije dao Kapurov metod određivanja praga detekcije (vizuelna procena posmatrača). Ovaj način određivanja praga pokazao se kao najotporniji na uticaj šuma i na uticaj senke.

U tabelama 2 i 3 prikazane su vrednosti pragova koje odgovaraju analiziranim situacijama. U tabeli 2 to su vrednosti pragova dobijene u slučaju oduzimanja slike pozadine od tekućeg frejma, a u tabeli 3 vrednosti pragova dobijene u slučaju oduzimanja sukcesivnih frejmova. Maksimalne i minimalne vrednosti pragova u tabelama 2 i 3 obeležene su tamnosivom i svetlosivom bojom.

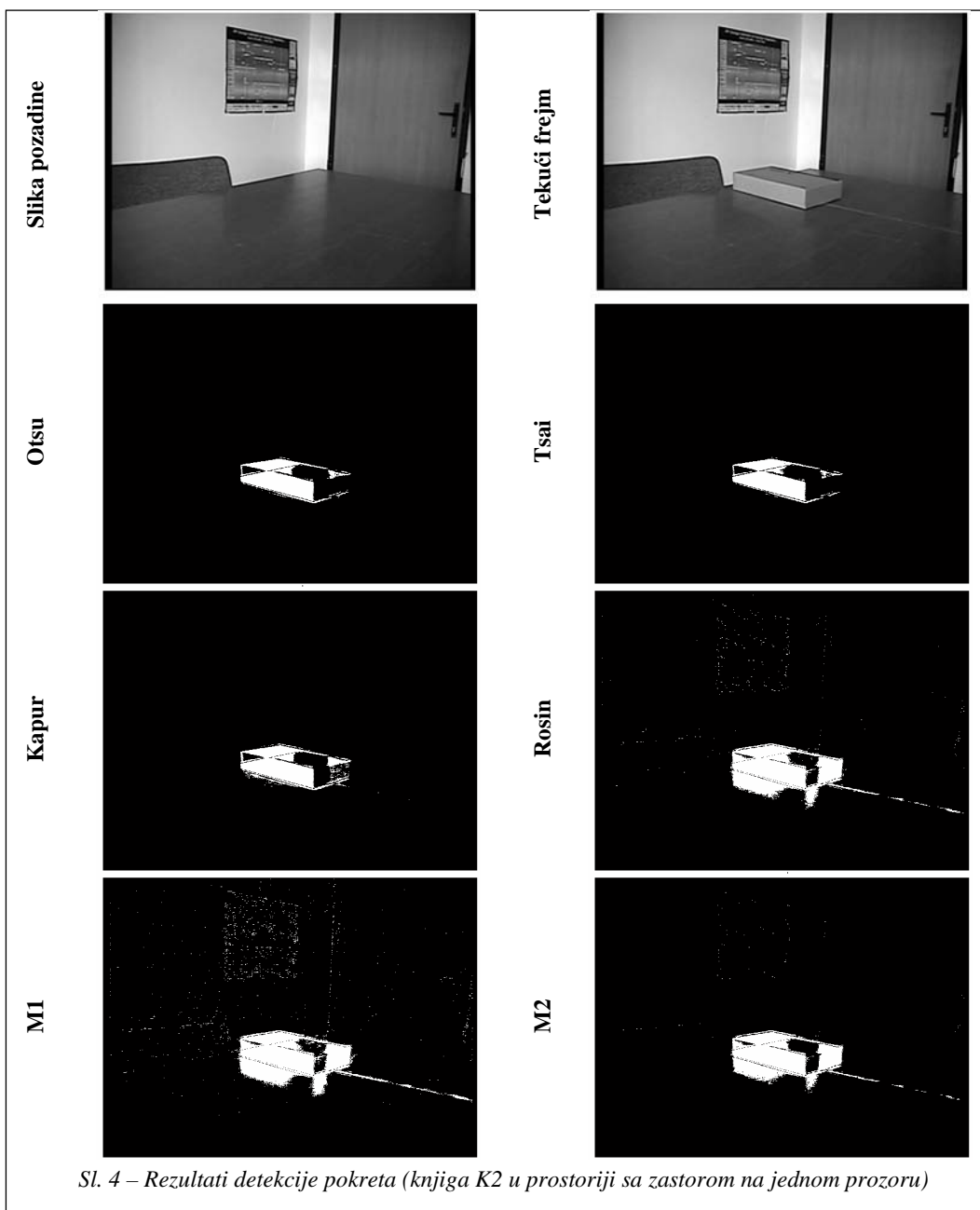


Sl. 3 – Rezultati detekcije pokreta (knjiga K1 u prostoriji sa zastorom na jednom prozoru)

Iz tabela 2 i 3 vidi se da za sve metode određivanja praga, vrednost praga zavisi od osvetljenosti scene. Za metode koji su preuzeti iz literature (Otsu, Tsai, Kapur i Rosin) vrednosti praga zavise i od pokretnog objekta, o kojem se radi

(K1 odnosno K2). Ako se za ove metode uporede vrednosti praga dobijene u slučaju oduzimanja slike pozadine i oduzimanja sukcesivnih frejmova, može se zaključiti da vrednosti praga zavise i od broja pokretnih piksela.





Ukoliko se koristi metod određivanja praga autora, vrednost praga skoro da i ne zavisi od broja pokretnih piksela, kao ni od toga o kom pokretnom objektu se radi. Izuzetak su situacije 1 (K2) i 2 (K1) zbog

malog pokreta kamere u toku snimanja. To se moglo i očekivati polazeći od toga da vrednost praga ovog metoda zavisi od željene verovatnoće lažnog alarma i standardne devijacije šuma slike razlike.

Tabela 2  
Vrednosti pragova analiziranih metoda u slučaju oduzimanja slike pozadine od tekućeg frejma

|       | SITUACIJA 1 |           | SITUACIJA 2 |           | SITUACIJA 3 |           | SITUACIJA 4 |           | SITUACIJA 5 |           | SITUACIJA 6 |           |
|-------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|       | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        |
| Otsu  | 69          | 69        | 64          | <b>58</b> | 46          | 40        | <b>30</b>   | 25        | <b>9</b>    | <b>7</b>  | <b>5</b>    | <b>5</b>  |
| Tsai  | <b>83</b>   | 82        | <b>82</b>   | 48        | <b>49</b>   | <b>43</b> | 27          | <b>15</b> | 13          | 9         | 6           | 6         |
| Kapur | 71          | <b>93</b> | 52          | 23        | 30          | 30        | 19          | 19        | 35          | 19        | 24          | 15        |
| Rosin | 33          | 33        | 20          | 15        | 13          | 13        | 18          | <b>15</b> | 28          | 20        | 15          | 15        |
| M1    | <b>28</b>   | <b>18</b> | <b>14</b>   | <b>10</b> | <b>9</b>    | <b>9</b>  | <b>17</b>   | 17        | 23          | 23        | 17          | 17        |
| M2    | 47          | 31        | 23          | 17        | 16          | 15        | 29          | <b>29</b> | <b>38</b>   | <b>38</b> | <b>29</b>   | <b>30</b> |

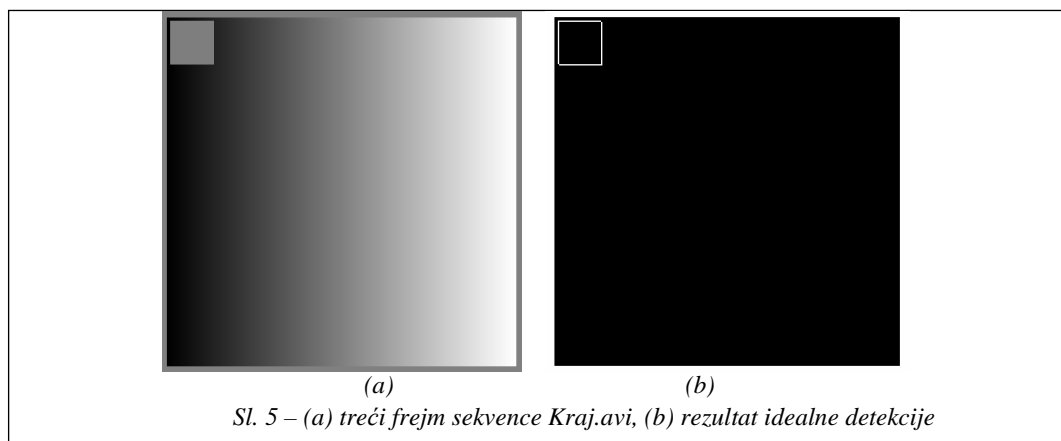
Tabela 3  
Vrednosti pragova analiziranih metoda u slučaju oduzimanja sukcesivnih frejmova

|       | SITUACIJA 1 |           | SITUACIJA 2 |           | SITUACIJA 3 |           | SITUACIJA 4 |           | SITUACIJA 5 |           | SITUACIJA 6 |           |
|-------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|       | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        | K1          | K2        |
| Otsu  | <b>68</b>   | 37        | 61          | <b>54</b> | 62          | 32        | <b>43</b>   | 26        | <b>7</b>    | <b>6</b>  | <b>5</b>    | <b>5</b>  |
| Tsai  | 45          | 29        | <b>73</b>   | 43        | <b>64</b>   | 39        | 37          | 16        | 13          | 9         | 6           | 6         |
| Kapur | 34          | <b>54</b> | 26          | 43        | 29          | <b>83</b> | 23          | 20        | 25          | 21        | 25          | 15        |
| Rosin | <b>25</b>   | 20        | 15          | 12        | 12          | 12        | <b>17</b>   | <b>15</b> | 20          | 20        | 15          | 15        |
| M1    | 30          | <b>13</b> | <b>10</b>   | <b>9</b>  | <b>9</b>    | <b>9</b>  | <b>17</b>   | 16        | 22          | 22        | 17          | 17        |
| M2    | 51          | 22        | 16          | 16        | 15          | 15        | 28          | <b>28</b> | <b>38</b>   | <b>37</b> | <b>29</b>   | <b>29</b> |

### Opis i analiza rezultata trećeg eksperimenta

U trećem eksperimentu analizirana je situacija kada je na sceni postojao jedan pokretni objekat, a u eksperimentu su korišćene sintetičke slike. Za potrebe sprovođenja eksperimenta formirana je sekvenca Kraj.avi od 450 frejmova. Dimenzije frejmova u sekvenci su  $512 \times 512$  piksela. Po-

zadina sekvence formirana je tako što se nivo sivog menjao sleva udesno, od minimalnog do maksimalnog. Nivo sivog piksela jedne kolone je isti. Zatim je pozadini dodat objekat koji ima nivo sivog 127 (srednji nivo na skali od 0 do 255). Dimenzije objekta su  $64 \times 64$  piksela, a njegova početna pozicija je u gornjem levom uglu. Ovaj objekat zatim je pomeran dijagonalno, ka donjem desnom uglu.



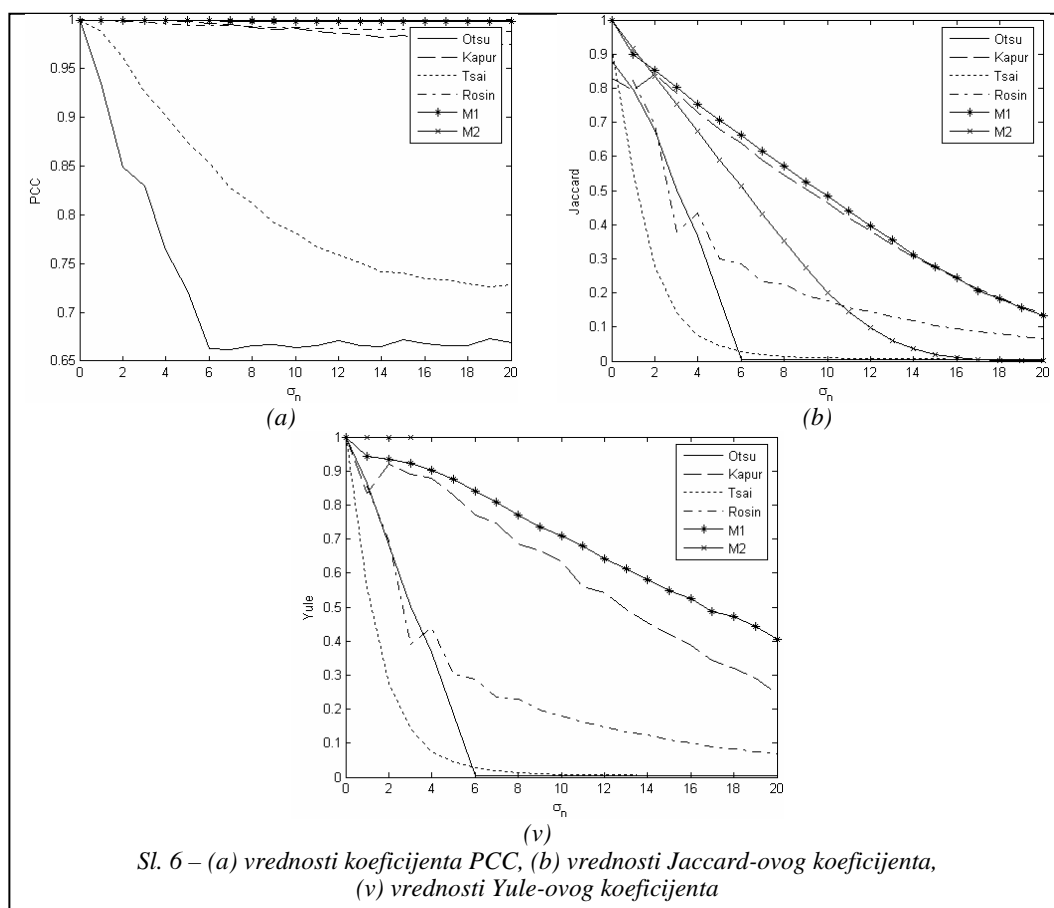
Za potrebe analize, frejmovima sekvence dodavan je Gausov šum nulte srednje vrednosti, a standardne devijacije  $\sigma_n$  čija je vrednost menjana od 1 do 20 nivoa sivog. Slike razlike formirane su oduzimanjem sukcesivnih frejmova. Kako se u ovom slučaju raspolaže sa rezultatima idealne detekcije, određene su vrednosti koeficijenta PCC, Yuleovog i Jaccardovog koeficijenta. Za metod autora usvojena verovatnoća lažnog alarma za Gausovu i Laplasovu raspodelu je  $P_{fa} = 10^{-4}$ .

Na sl. 5 prikazani su treći frejm sekvence Kraj.avi i rezultat idealne detekcije.

Na sl. 6 prikazane su vrednosti analiziranih koeficijenata za različite vred-

nosti  $\sigma_n$ . Vrednosti koeficijenata dobijene su usrednjavanjem, tj. za istu vrednost  $\sigma_n$  koeficijenti su određeni za sve pomeraje objekta, a zatim usrednjeni.

Sa sl. 6a vidi se da najbolje rezultate daju pragovi određeni Kapurovim, Rosinovima i pragovi po metodu autora (M1 i M2). U pogledu Jaccardovog i Yuleovog koeficijenta izdvajaju se pragovi određeni Kapurovim metodom i predloženim metodom uz pretpostavku o Gausovoj (M1) raspodeli šuma na slici razlike. Veće vrednosti Jaccardovog i Yuleovog koeficijenta govore o boljim performansama metoda. U sva tri slučaja najlošiji rezultati postižu se primenom pragova dobijenih po metodima koji su



Sl. 6 – (a) vrednosti koeficijenta PCC, (b) vrednosti Jaccard-ovog koeficijenta, (v) vrednosti Yule-ovog koeficijenta

predložili Otsu i Tsai. Sa sl. 6v može se primetiti da ukoliko se koristi predloženi metod i pretpostavka o Laplasovoj raspodeli nivoa sivog šuma, vrednosti Yuleovog koeficijenta postoje, samo za vrednosti  $\sigma_n$  od jedan do tri. Za veće vrednosti standardne devijacije  $\sigma_n$ , vrednosti ovog koeficijenta ne postoje, jer je jedan od imenilaca u izrazu za vrednost Yuleovog koeficijenta jednak nuli.

### Opis i analiza rezultata četvrtog eksperimenta

U četvrtom eksperimentu analizirana je situacija kada su na sceni postojali pokretni objekti. U eksperimentu su korišćene termovizijske i televizijske slike iste scene. Slike scene dobijene su pomoću televizijske kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra (0,4–0,7)  $\mu\text{m}$  i termovizijske kamere firme ATIS (Advanced Thermal Imaging System), u dalekom infracrvenom delu spektra (8–12)  $\mu\text{m}$ . Formirane su baze od po jedanaest sekvenci televizijskih i termovizijskih slika dve scene, bliske scene na daljini oko 70 m i daleke scene na daljini oko 4 km. Baza slika formirana je fiksnim kamerama postavljenim na platformu zgrade u VTI-ju, 19. 11. 2004. od 10.30 do 11.50 h.

Na sl. 7 prikazani su frejmovi termovizijske i televizijske sekvence bliske scene. Vidljivi su detalji na obe slike, iako je termovizijska slika formirana sa širokim vidnim poljem. Pri formiranju baze slika vidno polje televizijske kamere podešavano je prema vidnom polju termovizijske kamere. Na termovizijskim slikama objekti sa većom emisijom (topli delovi objekata) prikazani su u svetlijoj nijansi sivog.

Kako je u slučaju korišćenja realnih slika scene veoma teško odrediti rezultat idealne detekcije, u ovom slučaju biće prikazane binarne slike koje se dobijaju primenom pragova različitih metoda na slike razlike dobijene oduzimanjem sukcesivnih frejmova.

Binarne slike koje se dobijaju primenom pragova različitih metoda na slike razlike koje odgovaraju slikama na sl. 7, prikazane su na sl. 8.

Na slikama bliske scene mogu se videti konture putničkog automobila i čoveka u pokretu. Na sl. 8a, koja odgovara rezultatu koji se dobija po metodu autora (M1 i M2), detektovane su linije piksela koje potiču od toplog traga automobila u pokretu. Za metod autora usvojena je verovatnoća lažnog alarma  $Pl_a = 10^{-4}$ .



(a) termovizijska slika bliske scene



(b) televizijska slika bliske scene

Sl. 7 – Termovizijska i televizijska slika bliske scene

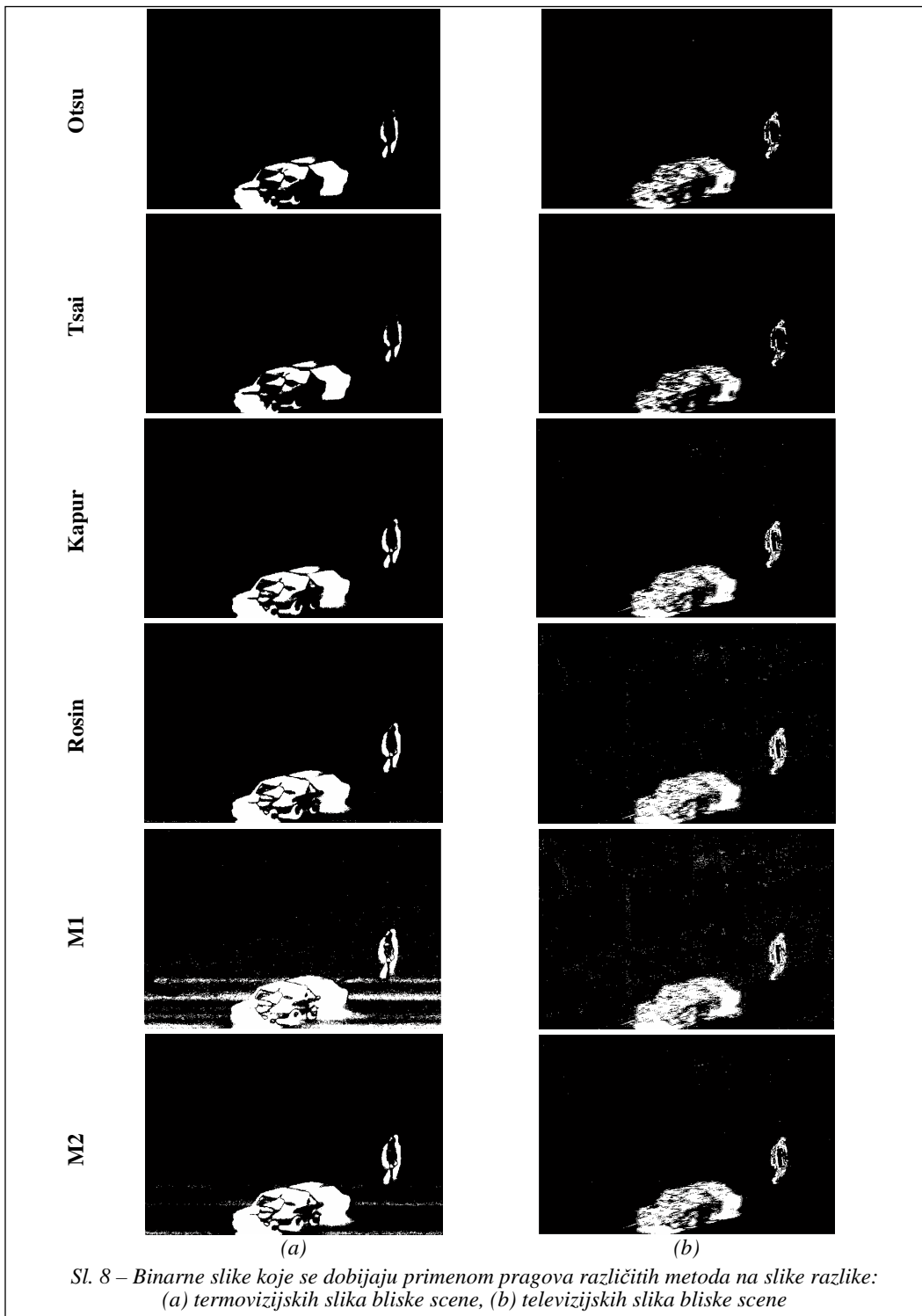


Tabela 4

Vrednosti pragova dobijene po analiziranim metodima, za termovizijske i televizijske slike bliske i daleke scene

|       | BLISKA SCENA        |                    | DALEKA SCENA        |                    |
|-------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|       | Termovizijska slika | Televizijska slika | Termovizijska slika | Televizijska slika |
| Otsu  | 60                  | 62                 | <b>39</b>           | <b>36</b>          |
| Tsai  | <b>64</b>           | <b>71</b>          | <b>17</b>           | <b>12</b>          |
| Kapur | 36                  | 36                 | 25                  | 19                 |
| Rosin | 28                  | 25                 | 20                  | 13                 |
| M1    | <b>14</b>           | <b>20</b>          | <b>17</b>           | <b>12</b>          |
| M2    | 23                  | 34                 | 28                  | 20                 |

U tabeli 4 prikazane su vrednosti pragova dobijene po analiziranim metodima, za termovizijske i televizijske slike bliske i daleke scene. Maksimalne i minimalne vrednosti pragova u tabeli 4 obeležene su tamnosivom i svetlosivom bojom.

Ako se za predloženi metod pogledaju vrednosti pragova u tabeli 4, može se primetiti da su vrednosti praga veće na televizijskoj slici bliske i termovizijskoj slici daleke scene. Kako je vrednost verovatnoće lažnog alarma ista za sve slike može se zaključiti da je fluktuacija nivoa sivog izraženija na televizijskim slikama bliske i na termovizijskim slikama daleke scene. U slučaju četiri metoda iz literature primećuje se da su vrednosti pragova za termovizijske i televizijske slike bliske scene jako blizu.

### Zaključak

U radu je izvršeno poređenje pet metoda za određivanje praga detekcije pokreta na slici scene. Metodi su testirani na sintetičkim i realnim slikama, a rezultati detekcije pokreta izraženi su kvantitativno ili su dati vizuelno. Kvantitativna analiza izvršena je na nivou piksela, a zasnovana je na procentu ispravno klasifikovanih piksela, Jaccardovom i Yuleovom koeficijentu. Za potrebe testiranja

na slikama realne scene izvršeno je nekoliko snimanja. Slike scene snimljene su nepokretnom televizijskom i termovizijskom kamerom.

Kroz analizu sprovedenu u četiri eksperimenta može se izvesti zaključak da su najbolji rezultati detekcije, kvalitativno i kvantitativno, postignuti ukoliko se koristi Kapurov metod određivanja praga. Nešto lošiji rezultati dobijaju se ukoliko se koristi Rosinov metod. Ukoliko se koriste Otsuov i Tsaijev metod određivanja praga detekcije pokreta dobijaju se znatno lošiji rezultati. Rezultati koji se dobijaju po ova dva metoda zavise od broja pokretnih piksela. Ukoliko je mali broj pokretnih piksela ili pokret ne postoji, ova dva metoda daju veliki broj lažnih alarma. Rezultati se znatno poboljšavaju ukoliko raste broj pokretnih piksela.

Rezultati koji su dobijeni u slučaju korišćenja metoda autora bolji su od Otsuovog i Tsaijevog, a nešto lošiji od Kapurovog i Rosinovog metoda. Polazeći od načina na koji se došlo do vrednosti praga po ovom metodu, može se očekivati da predloženi metod daje bolje rezultate klasifikacije ukoliko na sceni ne postoji pokret. To je u analizama i potvrđeno. U slučaju da na sceni postoji pokret, rezultati zavise od toga koliko dobro je procenjena

standardna devijacija šuma slike razlike i kolika verovatnoća lažnog alarma želi da se postigne. Vrednost praga po ovom metodu ne zavisi od broja pokretnih piksela i od nivoa sivog pokretnih objekata.

*Literatura:*

- [1] Otsu, N.: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, January 1979.
- [2] Tsai, W. H.: Moment-Preserving Thresholding: A New Approach, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 29, pp. 377–393, 1985.
- [3] Kapur, J. N.; Sahoo, P. K.; Wong, A. K. C.: A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 29, pp. 273–285, 1985.
- [4] Rosin, P. L.; Ellis, T.: Image difference threshold strategies and shadow removal, In British Machine Vision Conf. pp. 347–356, 1995.
- [5] Bondžulić, B.: Detekcija pokreta na slici scene, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.
- [6] Popović, M.: Digitalna obrada slike, Rukopis za pripremanje ispita, Beograd, 1998.
- [7] Cavallaro, A.; Gelasca, E. D.; Ebrahimi, T.: Objective evaluation of segmentation quality using spatio-temporal context, Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, Rochester (New York), 22–25 September 2002.
- [8] Black, J.; Ellis, T.; Rosin, P.: A Novel Method for Video Tracking Performance Evaluation, Joint IEEE Int. Workshop on Visual Surveillance and Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (VS-PETS), 2003.
- [9] Rosin, P. L.; Ioannidis, E.: Evaluation of global image thresholding for change detection, Pattern Recognition Letters 24, pp. 2345–2356, 2003.

**Đuro Alfirević,**  
potporučnik, dipl. inž.  
Uprava za kadrove MO,  
Beograd

## ZAŠTIĆENA KOMUNIKACIJA PUTE INFRASTRUKTURE SA JAVNIM KLJUČEVIMA

UDC: 004.773.3 : 621.391.7

*Rezime:*

*Jedan tok informacija u okviru računarskih sistema ostvaruje se slanjem elektronske pošte. Međutim, da bi se ispunili zahtevi za kvalitativnost informacije koju ta pošta prenosi, neophodno je da računarska mreža ispunjava osnovna četiri bezbednosna servisa: zaštitu tajnosti, integritet podataka, autentikaciju i neporecivost. Ovaj rad predstavlja jedno od mogućih rešenja zaštićene komunikacije, primenom zaštićenog e-mail klijenta, sa prednostima koje donosi PKCS standard.*

*Ključne reči: PKI, kriptografija, S/MIME, kriptografski ključ, digitalni sertifikat.*

---

### SECURE COMMUNICATION VIA PUBLIC KEY INFRASTRUCTURE

*Summary:*

*One of the information flows in a computer communication domain is accomplished by sending an e-mail, but in order to accomplish demands for information quality that the e-mail contains, it's necessary for a computer network to provide the major four security services: confidentiality, data integrity, authentication and non-repudiation. This work represents one of the possible solutions of secured communication, applying a secured e-mail client with advantages that PKCS standard brings.*

*Key words: PKI, cryptography, S/MIME, cryptographic key, digital certificate.*

---

### Uvod

Savremene računarske mreže se, skoro u potpunosti, zasnivaju na internet tehnologijama i TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) protokolima. Automatizovani informacioni sistemi, zasnovani na internet tehnologijama, imaju brojne slabosti sa aspekta zaštite podataka, što je u velikoj meri prouzrokovano arhitekturom računarske mreže internet/intranet tipa, jer:

– TCP/IP protokoli nisu projektovani da zadovolje zahteve za zaštitom informacija;

– internet je mreža sa komutacijom paketa u kojoj se relativno jednostavno pristupa informacijama koje se prenose i

moguće je ubacivanje poruka uz nemogućnost kasnijeg određivanja njihovog porekla i sadržaja.

Dakle, savremene računarske mreže ne pružaju odgovarajući nivo zaštite i upravo zbog toga predloženo rešenje zalazi u domen kriptografije. Ona predstavlja tehniku koja se bavi proučavanjem načina transformisanja poruka čiji je informacioni sadržaj poznat samo ovlašćenim korisnicima, kako bi se poruke načinile bezbednim i imunim na napade. S tim u vezi, primenom kriptografije omogućena je realizacija četiri osnovna bezbednosna servisa: tajnost podataka, provera autentičnosti, provera integriteta primljenih podataka i neporecivost transakcija.



Zaštita tajnosti podataka najčešće se, ali ne i obavezno, vrši primenom simetričnih kriptografskih algoritama, dok se ostali servisi realizuju primenom asimetričnih kriptografskih algoritama. Suvremena rešenja sistema zaštite karakteriše višeslojna arhitektura koja inkorporira razne hardverske i softverske module.

### **Analiza zahteva**

Jedna od najčešćih potreba za zaštićenom komunikacijom javlja se u domenu elektronskog poslovanja, gde se elektronskim putem prenose bezbednosno-kritične informacije, kakve su brojevi kreditnih kartica, zatim poverljivi podaci i sl. Dakle, posmatrano sa aspekta krajnjih korisnika, potrebno je obezbediti zaštićen e-mail klijent koji će obezbediti dovoljan nivo zaštite pri slanju elektronske pošte, ali je potrebno i da takav sistem bude nezavisan od platforme, kako bi rešenje bilo prenosivo.

Iz analize prethodno navedenih potreba da se komunikacije zaštite može se zaključiti da:

- sopstveno rešenje treba da integriše rad sa promenljivim tokenima, kakva je smart kartica;
- sama aplikacija treba da bude realizovana u programskom jeziku Java™, kako bi se obezbedila platformska nezavisnost samog sistema i
- sam sistem treba optimizovati radi boljih performansi.

### **Infrastruktura sa javnim ključevima**

Infrastruktura sa javnim ključevima predstavlja skup hardverskih i softver-

skih elemenata, ljudi, politika i procedura neophodnih za generisanje, upravljanje, skladištenje, distribuciju i opoziv sertifikata. Postoji više mogućih načina da se realizuje infrastruktura sa javnim ključevima – PKI (Public Key Infrastructure), a njegova osnovna uloga je pouzdano uspostavljanje digitalnog identiteta subjekata u okviru mreže, baziranog na upotrebi digitalnih sertifikata. Time se stvara bezbedno okruženje za realizaciju drugih bezbednosnih servisa, prvenstveno onih kod kojih je značajna autentičnost subjekata koji komuniciraju. Drugim rečima, uspostavljanje infrastrukture sa javnim ključevima osnovni je preduslov za realizaciju sistema zaštite. Servisi PKI koriste se na svim nivoima zaštite računarskih resursa i mreža. Primeri aplikacija zasnovanih na PKI su:

- formiranje virtualne privatne mreže (VPN – Virtual Private Network),
- formiranje pouzdanog sistema zaštite na transportnom nivou u računarskoj mreži,
- zaštićen E-mail servis,
- bezbedna razmena dokumenata.

Infrastruktura sa javnim ključevima sastoji se od sledećih komponenti:

- sertifikacionog autoriteta (Certification Authority, CA), koji izdaje digitalne sertifikate i reguliše način njihove upotrebe,
- registracionih autoriteta (Registration Authority, RA), koji predstavljaju interfejs za podnošenje zahteva za izdavanje sertifikata,
- komunikacionog sistema za razmenu podataka između registracionog i sertifikacionog autoriteta – distribuciju zahteva za izdavanje sertifikata i slanje digitalnih sertifikata,

- kriptografskih aplikacija za realizaciju funkcija PKI,
- subjekata koji komuniciraju u mrežnom okruženju, na bazi izdatih digitalnih sertifikata.

Sertifikacioni autoritet je telo sa najvećim stepenom poverenja u okviru PKI. Svojim digitalnim potpisom garantuje asocijaciju odgovarajućeg subjekta i njegovog javnog ključa, i upravo zbog toga je potpuna i pouzdana zaštita tajnog ključa sertifikacionog autoriteta, jedan od najvažnijih zadataka koji se postavlja pred PKI, jer ako se kompromituje privatni ključ asimetričnog šifarskog sistema sertifikacionog autoriteta, čitav sistem je kompromitovan.

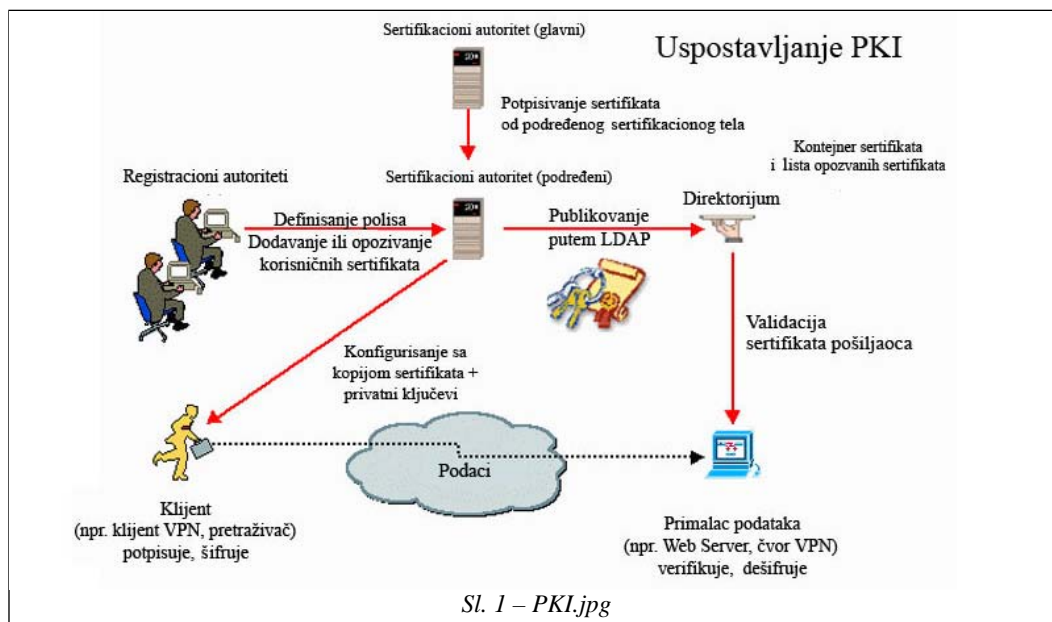
Neke od osnovnih funkcije CA su: izdavanje digitalnih sertifikata, upravljanje rokom važnosti, upravljanje procedurom povlačenja sertifikata, publikovanje sertifikata na X509/LDAP direktorijumu, i sl.

Na slici 1 prikazan je PKI.

Ključni koncept zaštićene komunikacije u okviru PKI se, pre svega, oslanja na digitalne sertifikate.

Asimetrični kriptografski algoritmi zasnivaju se na postojanju para ključeva: javnog i privatnog. Privatni ključ je strogo čuvana tajna poznata samo vlasniku para ključeva, dok je njegov javni ključ dostupan svim subjektima komunikacije. Jednoznačnost veze fizičkog identiteta subjekta i javnog ključa ostvaruje se primenom digitalnih sertifikata, na bazi tehnologije digitalnog potpisa i tehnologija koje omogućuju pouzdano funkcionisanje infrastrukture sa javnim ključevima. Struktura digitalnog sertifikata prikazana je na slici 2.

Digitalni sertifikati praktično predstavljaju jednoznačne identifikacione parametre subjekata u komunikaciji – „digitalnu ličnu kartu“.



Sl. 1 – PKI.jpg

|  |
|--|
| Verzija formata sertifikata(v3) – X.509                                    |
| Serijski broj sertifikata  |
| Identifikator algoritma kojim se vrši digitalni potpis                     |
| Naziv sertifikacionog tela koje je izdalo sertifikat                       |
| Rok važnosti sertifikata   |
| Vlasnik sertifikata  |
| Javni ključ vlasnika sertifikata   |
| Određeni specifični podaci koji se odnose na uslove korišćenja sertifikata |
| Digitalni potpis sertifikata tajnim ključem sertifikacionog tela           |

Sl. 2 – Struktura digitalnog sertifikata.jpg

Elementi koji čine strukturu digitalnog sertifikata su:

- format sertifikata, koji predstavlja oznaku strukture digitalnog sertifikata. Jedan od najzastupljenijih formata digitalnih sertifikata definisan je X509 standardom;

- jedinstveni serijski broj. Sertifikat je jedinstveno određen nazivom sertifikacionog tela koje ga je izdalo i svojim serijskim brojem;

- rok važnosti, koji predstavlja period u kojem je izdati sertifikat validan;

- vlasnik sertifikata, koji je predstavljen složenom strukturom koja obuhvata nekoliko ličnih podataka: ime vlasnika, naziv organizacije u kojoj je zaposlen, naziv niže organizacione celine, naziv mesta u kojem stanuje, dvoslovni niz koji označava državu, region u okviru države;

- digitalni potpis sertifikacionog tela koje ga je izdalo, kojim se garantuje integritet sertifikata;

- identifikator algoritma koji se koristi za kreiranje digitalnog potpisa.

Uloga digitalnog sertifikata je, dakle, da dovede u jednoznačnu vezu fizički identitet subjekta (vlasnika sertifikata) sa javnim ključem. Kreiranje i digitalno potpisivanje sertifikata vrši „treća strana od poverenja“ (trusted third party, TTP). Ukoliko prijemna strana uspešno verifi-

kuje dobijeni sertifikat, ona je sigurna u autentičnost pošiljaoca poruke, tj. sigurna je da javni ključ stvarno pripada subjektu sertifikata.

### Rešenje slanja zaštićenog e-maila

Realizacija sopstvenog rešenja se, pre svega, oslanja na programski jezik Java™-u, firme Sun Microsystems, Inc., i na standard kriptografskih sistema sa javnim ključem.

Specifikacija Jave obuhvata dve relativno nezavisne celine: specifikaciju programskog jezika Java i specifikaciju Java Virtuelne Mašine (JVM) [3]. Specifikacija programskog jezika Java ne razlikuje se značajnije od specifikacija drugih objektno orijentisanih jezika, dok specifikacija JVM predstavlja novinu u odnosu na druge objektno orijentisane jezike opšte namene. Specifikacija Java Virtuelne Mašine predstavlja platformu za izvršavanje programa u čijoj osnovi se nalazi programski model imaginarnog – Java procesora. Programi napisani programskim jezikom Java prevode se za izvršavanje na Java platformi. Tačnije, izlaz iz procesa prevođenja Java programa predstavlja odgovarajuća sekvenca bytecode instrukcija – asemblerskih direktiva Java procesora. Za izvršavanje na konkretnoj računarskoj platformi neophodno je postojanje odgovarajućeg interpretera, koji ostvaruje funkcionalnost zamišljenog procesora tako što preslikava skup bytecode instrukcija u skup instrukcija karakterističnih za ciljnu platformu.

Posledica ovakve politike je smanjena efikasnost programa napisanih u programskom jeziku Java, uz obezbeđenu prenosivost na sve računarske

platforme za koje postoji realizovana JVM. Za povećanje efikasnosti Java programa koriste se takozvani JIT (Just-In-Time) kompajleri, koji pod izvesnim okolnostima mogu da ubrzaju izvršavanje programa 10 do 50 puta [4]. Osnovna ideja upotrebe JIT tehnika je da se pri prvom pozivu neke metode izvrši prevođenje Java bytecode instrukcija koje je čine u sekvencu instrukcija koje se neposredno izvršavaju na konkretnoj platformi (native code). Svaki sledeći poziv ove metode direktno se preslikava u sekvencu instrukcija koje se neposredno izvršavaju [4].

Uvođenje originalnog koncepta prenosivosti programa na nivou izvršnog koda imalo je brojne posledice. Ovaj koncept je, zahvaljujući pogodnostima koje pruža, veoma brzo našao veliku primenu u svetu proizvođača smart kartica i mobilnih telefona, omogućavajući da se za veliki broj mikroracunara različitih proizvođača (sa podrškom za Javu) softver razvija na identičan način, upotrebom istog programskog jezika [5], [6], [7]. Time je ostvarena ogromna razlika u odnosu na vreme kada je svaki proizvođač definisao skup asemblerskih instrukcija karakterističnih za svoje familije mikroracunara.

Osnovni cilj u dizajnu arhitekture kriptografskog podsistema u Javi bio je da se razdvoje kriptografski postupci i metode od svoje algoritamske implementacije. Osmišljena je tako da omogućava različitim subjektima da obezbede sopstvene realizacije kriptografskih algoritama i funkcija. Provajderska arhitektura ima za cilj definisanje standardnog interfejsa prema programeru koji koristi kriptografske

funkcije, nezavisno od konkretnog algoritma ili njegove implementacije.

Provider je klasa iz paketa `java.security`, koja povezuje nazive algoritama sa nazivima klasa koje ih realizuju. Izvedena je iz klase `Properties`, definisane u paketu `java.util`, i predstavlja asocijativni niz u kojem je ključ – naziv algoritma, vrednost kojoj se pristupa – puno ime klase koja realizuje dati algoritam.

`Security` je klasa iz paketa `java.security`, koja sadrži listu provajdera i metode karakteristične za liste – za dodavanje i brisanje elemenata, itd., čije su sve metode statičke. Time je omogućeno da u jednoj instanci Java virtuelne mašine postoji samo jedan objekat klase `Security`. Da bi se koristile implementacije algoritama koje pruža određeni provajder, neophodno je da se dati provajder registruje – doda u listu objekta `Security`.

Jedna od vodećih firmi u svetu o oblasti kriptografije – `RSA Data Security, Inc.`, čiji su osnivači kreatori RSA algoritma (Rivest, Shamir, Adleman), izdala je nekoliko standarda čiji je naziv `Public Key Cryptography Standard (PKCS)` sa rednim brojevima u sufiksu, koji se odnose na kriptografiju i koji su postali široko prihvaćeni. Jedan od tih standarda je i `PKCS#11`, koji propisuje način pristupa prenosivim kriptografskim uređajima kao što su smart kartice, hardverski bezbednosni moduli, `PCIMCIA` kartice i ostali hardverski uređaji koji imaju mogućnost čuvanja kriptografskih parametara i obavljanja kriptografskih operacija. Trenutno aktuelna verzija ovog standarda je `PKCS#11 v2.20`. Postoje i drugi standardi koji propisuju način pristupa ovakvim uređajima, kao što

je ISO 7816, ali ovaj standard, za razliku od ostalih, propisuje programski interfejs na višem nivou, koji je kompatibilan sa standardnim programskim jezikom C, za korišćenje ovakvih uređaja.

Prvi cilj standarda bio je da se svi tipovi kriptografskih uređaja apstrahuju pod kategorijom kriptografski token, a drugi cilj bio je deljenje resursa. Današnji operativni sistemi su, uglavnom, multi-tasking, što znači da su resursi računara u jednom trenutku deljeni između više aplikacija. Drugo, na jednom računaru može se naći više od jednog kriptografskog tokena u jednom trenutku. Generalni model na koji se standard oslanja prikazan je na slici 3.

Standardom su opisane strukture podataka i funkcije, pomoću kojih je moguće kreirati objekte i izvoditi kriptografske operacije sa podacima koji se mogu prosljeđivati tokenu ili koji se već nalaze na tokenu, kao što je privatni asimetrični ključ. Na kriptografskom tokenu mogu se čuvati objekti koji pripadaju nekoj klasi objekata kao što je sertifikat, ključ, običan podatak i biometrijski podaci. Standard definiše funkcije pomoću kojih se može

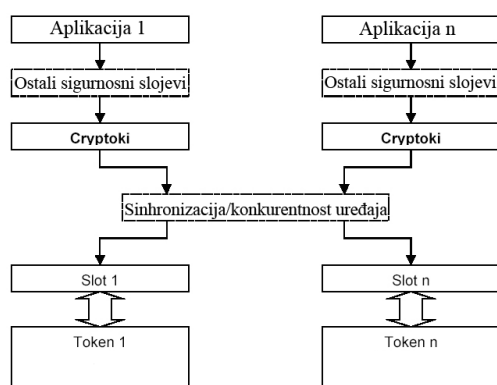
vršiti kriptovanje i dekriptovanje podataka, digitalno potpisivanje i verifikacija digitalnog potpisa. Takođe, standardom je propisan i pristup do objekata koji se nalaze na tokenu. Tako postoje javni (public) i privatni (private) objekti. Pristup do privatnih objekata koji se nalaze na tokenu dozvoljen je samo pod uslovom da se odgovarajući PIN (Personal Identification Number) predstavi tokenu. Ovaj standard omogućio je ponovnu iskoristivost klijentskog koda, tako da će jednom napisan klijentski kod koji se oslanja na PKCS#11, moći da radi sa bilo kojim kriptografskim uređajem koji ovaj standard podržava. Proizvođači kriptografskih uređaja dostavljaju biblioteku koja implementira ovaj standard, za ciljnu platformu (Windows, Linux,...), a programeri je koriste kao i svaku drugu biblioteku pisanu u programskom jeziku C.

### Implementacija

Pre svega, potrebno je napomenuti da aplikacija predstavlja stand-alone Java program, za slanje poruka elektronske pošte, putem servera SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Korisniku sistema praktično je omogućeno slanje četiri tipa e-mail poruka. To su: osnovna poruka, potpisana poruka, digitalna envelope i potpisana i šifrovana poruka.

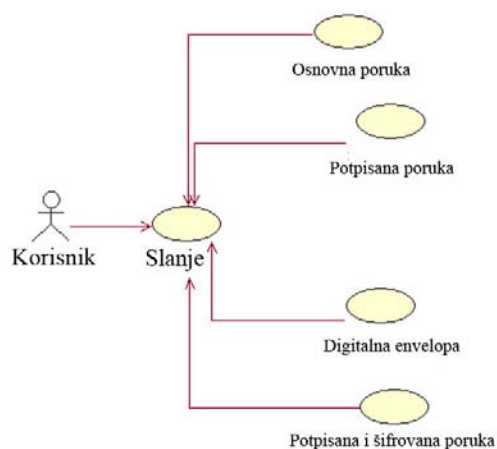
Radi konciznije predstave implementacije softverskog rešenja, kao i jake hijerarhijske dekompozicije samog problema, primenjeni su dijagrami unifikovanog jezika za modelovanje (Unified Modeling Language, UML).

Na slici 4 prikazan je dijagram slučajeva upotrebe (Use Case Diagram), dijagram koji prikazuje slučajeve upotrebe



Sl. 3 – Generalni model na koji se PKCS#11 oslanja.jpg

i aktere, kao i njihove relacije. Ovim dijagramom predstavlja se statički pogled na funkcionalnost (ponašanje) sistema. Takođe, preko njih može se modelovati kontekst sistema: granice sistema i akteri koji sa njime interaguju, zatim funkcionalni zahtevi sistema (šta sistem treba da radi, nezavisno od toga kako iznutra funkcioniše) [9].



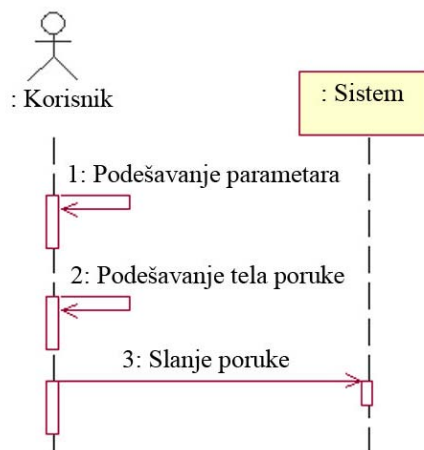
Sl. 4 – Dijagram slučajeva upotrebe sopstvenog rešenja.jpg

Dakle, kao što dijagram pokazuje, korisniku je omogućeno slanje osnovnih, potpisanih i šifrovanih poruka, kao i slanje digitalne envelope. Puna funkcionalnost sistema realizovana je upotrebom provajdera BouncyCastle, koji pruža servise neophodne za slanje S/MIME (Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions) tipova poruka, gde S/MIME predstavlja bezbednosno proširenje standardnih MIME tipova podataka.

Opis realizacije pojedinačnih slučajeva upotrebe prikazan je pomoću dijagrama interakcije, i to preko dijagrama sekvence (Sequence Diagram), koji naglašava vremenski redosled poruka, gde

su objekti poredani po x osi, dok se poruke redaju u vidu horizontalnih linija po y osi, pri čemu vreme raste nadole [9].

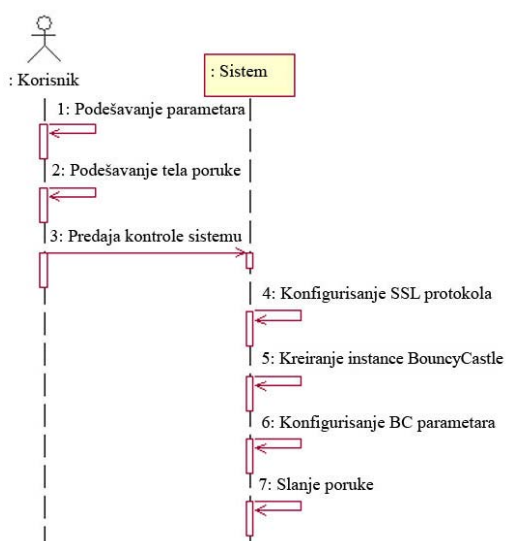
Ukoliko korisnik odabere slanje osnovnih poruka (slika 5) aplikacija se ne oslanja na BouncyCastle provajder, tj. na sam sadržaj poruke ne primenjuju se kriptografske tehnike zaštite podataka. Suština se svodi na konfigurisanje osnovnih parametara poruke (SMTP Server, From, To, Subject, User name, Password), definisanje sadržaja poruke i, konačno, slanje poruke.



Sl. 5 – Dijagram sekvence slanja osnovnih poruka.jpg

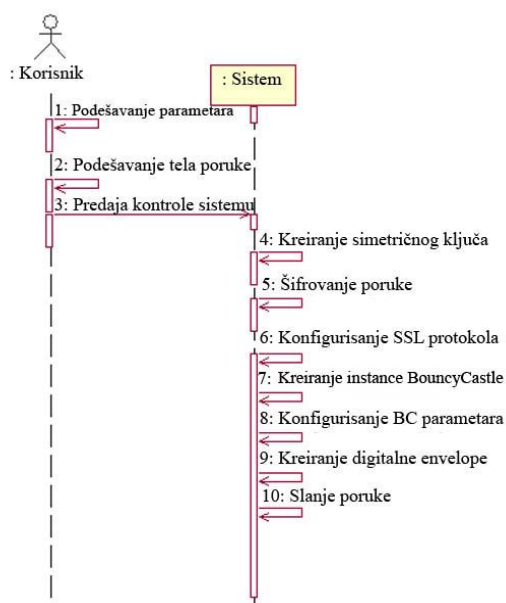
Odabirom slanja potpisanih poruka (slika 6) uključuju se kriptografski parametri i na sadržaj poruke primenjuju kriptografske tehnike. Korisnik konfigurise osnovne parametre poruke (SMTP Server, From, To, Subject, User name, Password), definiše njen sadržaj, zatim se kontrola predaje provajderu BouncyCastle, koji primenom odgovarajuće kriptografske kompresione funkcije kreira kriptografski otisak poruke, zatim je

privatnim ključem potpisnika, upotrebom RSA algoritma, potpisuje i, konačno, šalje poruku, uz dodavanje i sertifikata i njenog potpisnika. Pri slanju kriptografski zaštićenih poruka (S/MIME poruka) sistem se oslanja na protokol SSL (Secure Sockets Layer), gde se umesto standardnih portova 80 i 8080 koristi port 465 radi zaštićene komunikacije.



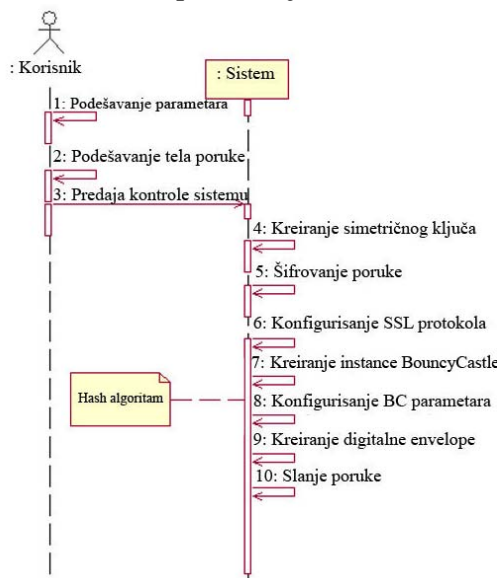
Sl. 6 – Dijagram sekvence slanja potpisanih poruka.jpg

U slučaju slanja digitalne envelope (slika 7) korisnik podešava osnovne parametre (SMTP Server, From, To, Subject, User name, Password) i definiše sadržaj poruke. Zatim, kreira se tajni ključ simetričnog kriptografskog algoritma i njime se šifruje sadržaj poruke. Zatim se, upotrebom javnog ključa RSA algoritma, šifruje simetrični ključ. Tako šifrovan sadržaj poruke i ključ kojim je poruka šifrovana predstavljaju digitalnu envelope. Upotrebom digitalne envelope rešava se problem distribucije deljenog simetričnog ključa, kakav egzistira u simetričnim kriptografskim sistemima.



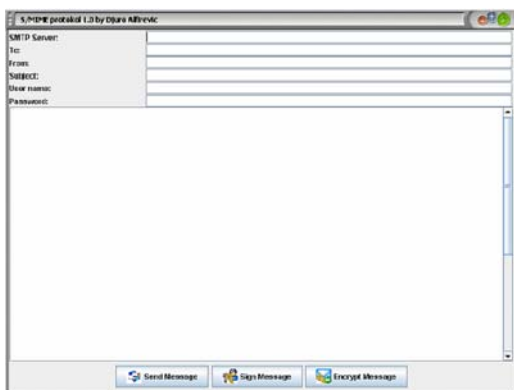
Sl. 7 – Dijagram sekvence slanja digitalne envelope.jpg

Slanje šifrovanih i potpisanih poruka praktično inkorporira tehnologije digitalnog potpisa i digitalne envelope. Dijagram sekvence prikazan je na slici 8.



Sl. 8 – Dijagram sekvence slanja potpisane i šifrovane poruke.jpg

Uz upotrebu `javax.swing` i `java.awt` paketa realizovan je grafički korisnički interfejs (Graphical User Interface, GUI) koji je prikazan na slici 9.



Sl. 9 – Grafički korisnički interfejs.jpg

## Zaključak

Kao jedan od osnovnih preduslova zaštićene komunikacije subjekata u distribuiranom okruženju, predloženo rešenje oslanja se na višeslojnu arhitekturu zaštite kakva danas egzistira kao jedna od mogućih odbrana od potencijalnih napada na računarske sisteme. Od predloženih slojeva zaštite, realizovana je zaštita na aplikativnom nivou, koja se oslanja na sloj zaštite transportnog nivoa. Predočene su najosnovnije karakteristike i koncepti programiranja u programskom jeziku Java i njihove posledice. Pri realizaciji predloženog programskog rešenja primenjene su savremene metodologije projektovanja objektno orijentisanog softvera.

Pravci daljeg razvoja nastalog projekta mogu biti brojni, a uslovljeni su, prvenstveno, mogućnošću primene i konkretnim potrebama. Moguće smernice daljeg rada mogu biti:

- realizacija sopstvenog kriptografskog provajdera (možda i kriptografskog podsistema), sa sopstvenim implementacijama simetričnih i asimetričnih kriptografskih algoritama,

- detaljnije upoznavanje sa standardima asimetrične kriptografije – PKCS (Public Key Cryptography Standard) 1–15,

- kreiranje sertifikacionog autoriteta za izdavanje sertifikata, liste opozvanih sertifikata, kreiranje registracionih autoriteta sa odgovarajućim interfejsom za komunikaciju sa centralnim sertifikacionim autoritetom,

- realizacija predloženog protokola zaštite na aplikativnom nivou u jeziku C++, radi povećanja efikasnosti u odnosu na postojeću realizaciju,

- inkorporiranje servera POP3 (Post Office Protocol) za primanje poruka elektronske pošte,

- druge brojne primene, u skladu sa konkretnim potrebama.

## Literatura:

- [1] Carlisle Adams, Steve Lloyd, Understanding PKI: concepts, standards, and deployment considerations, Addison Wesley, 2002.
- [2] David Hook, Beginning cryptography with java, Wrox Press, 2005.
- [3] Branko Milosavljević, Praktikum za kurs java i internet programiranje, Vojna akademija, Beograd, 2001.
- [4] Marco Pistoia, Duane F. Reller, Deepak Gupta, Milind Nagnur, Ashok K. Ramani, Java 2 network security, international technical support organization, <http://www.redbo-oks.ibm.com>, 1999.
- [5] Java Card 2.1.1 Specifications, <http://java.sun.com>
- [6] Java Card. 2.1.1 Runtime Environment (JCRE) Specification, <http://java.sun.com>
- [7] Java Card. 2.1.1 Virtual Machine Specification, <http://java.sun.com>
- [8] Jonathan Knudsen, Java cryptography, O'Reilly, 1998.
- [9] Dragan Milićev, Objektno orijentisano programiranje na jeziku UML, Mikro knjiga, 2001.



**Predrag Stamenković,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Sektor za materijalne resurse MO,  
Odeljenje za transport,  
Beograd

## **PRIMENA PALETIZACIJE U SISTEMU INTEGRALNOG TRANSPORTA VOJSKE SRBIJE**

UDC: 621.869.82 : 355.415.2/.3 (497.1)

### *Rezime:*

*Primenom paletizacije kao savremene tehnologije integralnog transporta u sferi snabdevanja i transporta oslobođena je živa radna snaga, postignuta humanizacija rada, povećana produktivnost i iskorišćenje tovarnog prostora transportnih sredstava i skladišnog prostora, što znatno doprinosi povećanju ekonomičnosti transporta. Primena paletizacije u Vojsci Srbije omogućava bolju pokretljivost materijalnih rezervi, što je značajno u uslovima specifičnih transportnih zahteva koji obuhvataju situacije dotura, evakuacije, raseljavanja, manevra i dr.*

*Ključne reči: integralni transport, paletizacija, paleta, paletna jedinica tereta.*

---

## **USE OF PALLETIZATION IN INTEGRAL TRANSPORTATION SYSTEM IN THE MILITARY OF SERBIA**

### *Summary:*

*Using palletization as one of the modern technologies in the integral transportation and supply has many advantages: liberation of manpower, humanization of work, increase of productivity and better use of cargo space in means of transportation and in storage space and all this leads to the increase of the transportation economy. Using palletization in the Military of Serbia enables better mobility of materials, which is very important in conditions of specific transportation demands such as delivery, evacuation, migration, maneuvers and etc.*

*Key words: integral transport, palletization, pallet, pallet cargo unit.*

---

### **Uvod**

Razvoj novih transportnih sistema velikih kapaciteta i različitih tehnologija poslednjih decenija izazvao je velike promene u strukturi klasičnog transporta. U današnje vreme se u sve većoj meri primenjuju različite tehnologije transporta, u čijoj realizaciji učestvuju transportna sredstva više vidova transporta, primenom iste tovarne jedinice, od pošiljaoca do primaoca robe. Osnovna odlika novih transportnih sistema je transport proizvođa (tereta) od proizvodnje do krajnjeg

korisnika, tzv. transport „od vrata do vrata“, bez promene transportnog suda i uz korišćenje najmanje dva vida transporta. Takav način transporta robe naziva se integralni transport.

Integralni transport podrazumeva transport korišćenjem jedne ili više grana transporta, bez promene transportno-manipulativne jedinice, odnosno opreme u kojoj se sredstva transportuju. U stručnoj literaturi se za integralni transport koriste termini: kombinovani, bimodalni, intermodalni, multimodalni transport i drugi. Kao nazivi ovakvih tehnologija, usled

komercijalnih, regionalnih, nacionalnih i drugih različitosti sreću se: paletizacija, kontejnerizacija, Ro-Ro, See-Bee, Lash, Hucke-Packe, Piggy-Back i dr. Specifičnost je postojanje tovarne transportno-manipulativne jedinice tereta koja može biti paleta, kontejner, deo vozila ili celo vozilo.

Integralni transport, kao jedan od vidova transporta, još nije u dovoljnoj meri zastupljen u transportnom procesu u privredi, a naročito ne u prevoženjima za potrebe Vojske Srbije. Međutim, ova vrsta transporta predstavlja neminovnost i budućnost u razvoju transportnog sistema zemlje i Vojske.

### **Pojam i elementi sistema integralnog transporta u Vojsci**

Da bi Vojska, kao složen sistem, mogla da funkcioniše i ostvaruje postavljene ciljeve i zadatke koji se pred nju postavljaju, neophodno je da funkcioniše i sistem logistike, definisan u njenom okviru. Jedna od osnovnih funkcija u okviru sistema logistike je funkcija snabdevanja. Snabdevanje odgovarajućim materijalnim sredstvima, kao jedan od pod sistema logistike, realizuje se kroz funkciju transporta.

Transportni sistem Vojske predstavlja bazu za realizaciju funkcije transporta. Tehnologija i tehnička baza transportnog sistema Vojske predstavljaju polaznu osnovu na kojoj će se dalje razvijati postojeći sistem integralnog transporta u Vojsci. U okviru funkcija snabdevanja i transporta u sistemu logistike u Vojsci usvojena je i primenjena paletizacija kao tehnologija integralnog transporta.

Integralni transport u Vojsci definisan je kao sistem koji primenom raznih tehnologija mehanizovanog manipulisanja tovarnim jedinicama omogućava transport materijalnih sredstava za potrebe Vojske, uz korišćenje transportnih kapaciteta raznih vidova saobraćaja bez promene transportnog suda u kojem je izvršeno ukupnjavanje osnovnih pakovanja u transportnu jedinicu. Ovako definisan pojam integralnog transporta obuhvata sve elemente koji ulaze u sistem i omogućavaju realizaciju zatvorenih transportnih lanaca.

U suštini integralni transport podrazumeva procese pakovanja, prevoza i skladištenja tereta. Sistem integralnog transporta obuhvata i sredstva pomoću kojih se tereti pakuju i transportuju, pretovarna mesta, skladišta i same komunikacije. U elemente koji čine sistem integralnog transporta ubrajamo:

- materijalna sredstva (tereti – osnovno i transportno pakovanje, lokacije, količine i tokovi);
- sredstva i opremu za ukupnjavanje pakovanja (transportno-manipulativne jedinice tereta – palete, kontejneri i dr.);
- sredstva za manipulisanje teretima (viljuškari, dizalice, manipulatori i dr.);
- transportna sredstva (svih grana transporta);
- mesta manipulisanja (terminali, skladišta, rejoni raseljavanja, utovarno-istovarna i pretovarna mesta);
- saobraćajnu infrastrukturu (komunikacije i dr.);
- razrađenu tehnologiju manipulisanja, i
- organizacijsko-formacijska rešenja [L.4].

Tereti se ukupnjavaju pakovanjem na palete, u kontejnere i druge vrste pakovanja, kako bi se prilagodili najboljem mogućem obliku transporta. Za manipulisanje teretima koristi se mehanizacija, kao što su viljuškari, dizalice i sl., a za transport se koriste prevozna sredstva (svih grana transporta – na kopnu, moru i u vazдушnom prostoru). Sistem integralnog transporta obuhvata i kompletnu infrastrukturu sa skladištima i terminalima, tj. utovarno-istovarnim i pretovarnim mestima. Pored toga, neophodno je da primenu sistema integralnog transporta prati i primena odgovarajućih organizacijsko-formacijskih rešenja, propisa i standarda.

#### **Definisanje procesa paletizacije u Vojsci**

U praksi integralnog transporta procesi manipulacije (utovar–istovar–pretovar) i skladištenja materijalnih sredstava predstavljaju složene karike u lancu njihovog kretanja, tj. transportnom lancu. Zbog raznovrsnosti oblika, dimenzija, težina i drugih fizičko-tehnoloških karakteristika tereta i otežanog ručnog manipulisanja teretima dolazi do usporavanja tokova transporta, odnosno povećavanja potrebe za učestvom živog rada toliko da u navedenim karikama u lancu kretanja robnih tokova nastaju zagušenja i „uska grla“. U Vojsci se shvatilo da bez racionalizacije tih postupaka, sa povećanjem obima materijalnih prevoženja, nastali problem neće moći da se prevaziđe. Pored toga, specifični transportni zahtevi obuhvataju situacije dotura, evakuacije, raseljavanja, manevara i dr. Ti robni to-

kovi zavise od skladišnih i transportnih kapaciteta i njihove lokacije, potreba jedinica, količina tereta, angažovanja sredstava i drugih faktora. U takvim uslovima bili su neminovni razvoj i primena novih tehnologija i tehničko-tehnoloških rešenja. Najpre su urađene prethodne studije, analize i projekti opravdanosti uvođenja i primene sistema integralnog transporta njegovim podsistemima – paletizacijom, kontejnerizacijom i drugim vidovima kombinovanog transporta.

Rad na uvođenju sistema integralnog transporta u Vojsci otpočeo je 1968. godine, formulacijom problema i potreba njegovog uvođenja i izradom prethodne studije i programa realizacije po fazama [L.7]. U prvoj fazi snimljeno je postojeće stanje u oblasti pakovanja, manipulisanja, transporta i smeštaja materijalnih sredstava za sve vidove Vojske. U drugoj fazi izrađeni su kriterijumi i normativi, a u trećoj su, posle internih, trupnih i završnih ispitivanja, usvojena sredstva mehanizacije i opreme za integralni transport u Vojsci. Prihvaćena rešenja se od 1975. godine primenjuju u praksi, pri čemu je regulisano da svi subjekti, prevashodno službe materijalnih resursa, obezbede uslove i saraduju u planskoj realizaciji već proverenih tehničko-tehnoloških rešenja.

Na bazi ove studije 1973. godine je usvojen podsistem integralnog transporta – paletizacija kao zvanična tehnologija integralnog transporta u Vojsci. Saobaćajna uprava GŠ, kao taktički nosilac razvoja sistema integralnog transporta, imala je zadatak da reguliše rad na primenjenim istraživanjima, razvoju i programiranju u oblasti paletne

tehnologije, a da stručne službe (tehnička, intendantska, sanitetska i građevinska) organizacijski, kadrovski i finansijski obezbede sprovođenje u praksi [L.8].

Pošto su izrađeni studija i program realizacije, razvijena su i u opremu usvojena sredstva paletizacije (palette, viljuškari, laka hidraulična dizalica i dr.). Time su tehnički i tehnološki omogućeni primena i funkcionisanje integralnog transporta u svim uslovima transportnog lanca materijalnih sredstava.

Jedan od osnovnih problema uvođenja paletne tehnologije u Vojsci od početka je bio neprilagođenost skladišnih objekata i infrastrukture zahtevima za mehanizovano manipulisanje paletnim jedinicama.

Radi toga su izdvojena i uložena znatna finansijska sredstva za nabavku opreme, adaptaciju skladišnih objekata i infrastrukture. Takođe, počelo se sa obučavanjem kadra za organizaciju, planiranje i realizaciju primene integralnog transporta u jedinicama Vojske.

Od 1973. godine, kada se otpočelo sa uvođenjem sredstava paletne tehnologije, u opremu Vojske uvedeno je 20 raznih paleta (3 standardne evropske i 17 specijalnih), 43 viljuškara (22 dizel, 15 elektro i 6 ručnih), razna oprema za učvršćivanje i obezbeđivanje tereta i dr. Opremanje sredstvima integralnog transporta odvijalo se u dve faze. U prvoj fazi, od 1974. do 1978. godine, intenzivno je vršeno opremanje jedinica usvojenim sredstvima i opremom. Druga faza, posle 1978. godine, značajna je po tome što su jedinice strategijskog nivoa, kao nosioci planiranja, usaglašavali planove daljeg

opremanja prema mogućnostima primene u konkretnim uslovima.

U toku razvoja sistema integralnog transporta rešavani su i problemi ambalaže. Naglim razvojem komercijalne i transportne ambalaže, ukoliko se ne usaglasila sa važećim standardima, može doći do potpuno haotičnog stanja u pogledu dimenzija. To za sobom povlači neracionalno korišćenje skladišnog prostora, tovarne zapremine transportnih sredstava i kapaciteta pretovarne mehanizacije. Uslov za standardizaciju ambalaže, u pogledu osnovnih dimenzija, jeste poštovanje modularnog sistema pakovanja saglasno sa standardima ISO. Time se obezbeđuje iskorišćenje tovarnih površina paleta i kontejnera u granicama od 93 do 100%, što je osnova za racionalnu upotrebu transportnih sredstava i skladišta.

Saobraćajna služba, kao taktički nosilac za sredstva integralnog transporta u Vojsci, odgovorna je za razvoj paletnog sistema i praćenje i rešavanje problema u funkcionisanju paletnog sistema. U skladu s tim, saobraćajna služba je odgovorna i nadležna za razvoj paletnog sistema i sistema integralnog transporta na nivou Vojske.

#### *Moduli slaganja tereta na paleti*

U sistemu paletizacije, kao podsistemu integralnog transporta, osnovno sredstvo koje se upotrebljava za rukovanje, manipulisanje, prevoz i skladištenje, i koje treba da obezbedi brzo i lako manipulisanje sredstvima mehanizacije, jeste paleta.

Pojavom paleta kao pomoćnog sredstva za ukupnjavanje tereta i formira-

njem transportne jedinica tereta na njoj učinjen je značajan zaokret u sferi racionalizacije skladištenja, manipulacije i transporta.

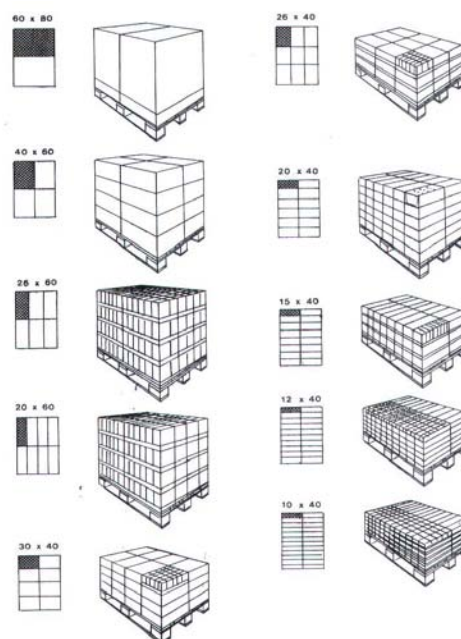
U svetu je osnovna paleta ravna drvena paleta evropskog PUL-a, čije su dimenzije 800 x 1200 x 140 mm i nosivost 1000 kg (oko 80% od ukupnog broja paleta), a dosta je zastupljena i paleta dimenzija 1000 x 1200 mm, koja je pogodnija za putna transportna sredstva. Ova dva tipa paleta usvojila je i međunarodna železnička unija radi što veće tipizacije i unifikacije.

Najčešće primenjivana paleta za potrebe Vojske je ravna drvena paleta dimenzija 800 x 1200 mm, koju su zvanično usvojile i Jugoslovenske železnice (JUS D.F. 8020) i Jugoslovenski zavod za standardizaciju (JUS Z.M1.020).

Imajući u vidu da se ukupnjavanje tereta za vojne potrebe, u najvećem broju slučajeva, vrši na paletama standardizovanih dimenzija, neophodno je pravilno slaganje komada tereta na paleti. Zbog toga se dimenzionalna koordinacija u oblasti paletnog transportnog lanca u Vojsci zasniva na primeni modul-sistema pakovanja.

Pod modul-sistemom pakovanja palete podrazumeva se podela površine palete na one veličine koje osiguravaju njihovo najracionalnije korišćenje time što se razmera ambalaže uklapa u veličinu palete. Paleta ima svoj modul-sistem, koji predstavlja deobu osnovne veličine na dva ili više manjih delova [L.1].

Moduli palete i ambalaže, koji se najčešće primenjuju u Vojsci, odnose se na standardnu ravnu drvenu paletu 800 x 1200 mm i prikazani su na slici 1.



Sl. 1 – Paletni moduli za standardnu paletu 800 x 1200 mm [L.1]

Prema procentualnom iskorišćenju površine standardne ravne drvene palete 800 x 1200 mm, sva pakovanja se svrstavaju u četiri klase:

- I klasa do 70
  - II klasa 71–80%
  - III klasa 81–90%
  - IV klasa 91–100%
- ne odgovara,
  - nedovoljno iskorišćenje,
  - slabije iskorišćenje,
  - dobro iskorišćenje,

Međutim, potrebno je naglasiti da veliki asortiman materijalnih sredstava različitih taktičkih nosilaca u Vojsci, kojima se zadovoljavaju svakodnevne potrebe jedinica i ustanova ili obezbeđuju borbena dejstva, stvara određene probleme pri formiranju ukupljenih transportnih jedinica tereta na paletama. Taj problem se višestruko usložnjava s obzirom na veliki broj proizvođača čija transportna pakovanja nisu prilagođena osnovnom modulu 400 x 600 mm.

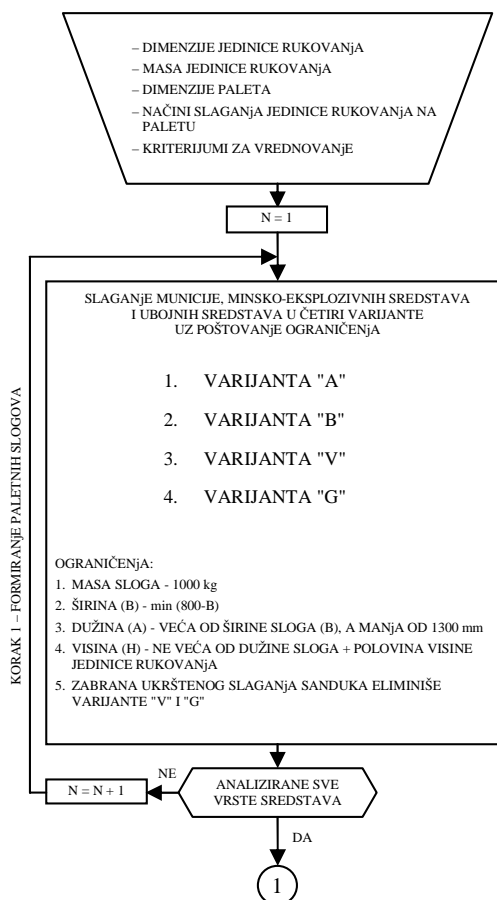
Zbog toga se, pri uvođenju paletizacije u Vojsci, pribeglo određenim kompromisima kako bi se omogućilo korišćenje skladišnog prostora i upotreba mehanizacije za manipulisanje. Kompromisi se ogledaju u tome što su za masovna materijalna sredstva, koja nisu prilagođena osnovnom modulu, razvijene specijalne palete čije dimenzije odstupaju od standardnih. Te palete su zasad našle primenu samo u Vojsci, mada su urađene kvalitetno i po propisima za standardne palete.

#### *Model formiranja paletnih jedinica tereta*

Istraživanjem u projektu „Rama-1“ [L.6] razvijen je i razrađen poseban postupak za formiranje racionalnih paletnih jedinica tereta, gde je trebalo pomiriti odstupanja dimenzija jedinica rukovanja (transportnih pakovanja) od dimenzija do sada primenjivanih paleta. Tim istraživanjem obuhvaćeni su, uglavnom, municija, minsko-eksplozivna i ubojna sredstva. Budući da je projektom analiziran veliki broj različitih pakovanja, koji se može smatrati dovoljno reprezentativnim, ovakav postupak može se smatrati univerzalnim i primenjivim za većinu materijalnih sredstava.

Proces formiranja paletnih jedinica tereta realizuje se kroz algoritam prikazan na slikama 2 i 3 i svodi se na izbor paleta sa najpovoljnijim dimenzijama. Realizacija procesa paletizacije odvija se kroz sledeće korake:

- formiranje paletnih slogova;
- poređenje paletnih slogova, i
- izbor najpovoljnije palete iz konkretne jedinice rukovanja.



Sl. 2 – Proces paletizacije – korak 1 [L.6]

Pri formiranju paletnih jedinica (slogova) razmatra se više varijanata, a da bi se ozbiljnije analizirale četiri (varijante A, B, V i G), što je vidljivo na algoritmu. Jasno je da se pri izboru načina slaganja moraju poštovati ograničenja koja su postavljena da bi se obezbedilo nesmetano korišćenje mehanizacije i racionalno korišćenje skladišnog i tovarnog prostora. To su sledeća ograničenja:

- masa sloga ne sme biti veća od 1000 kg, što je uslovljeno nosivošću palete i usvojenom mehanizacijom za manipulisanje ovim jedinicama;

– širina sloga se bira tako da apsolutna razlika između širine sloga i standardizovane vrednosti širine primenjenih paleta bude minimalna;

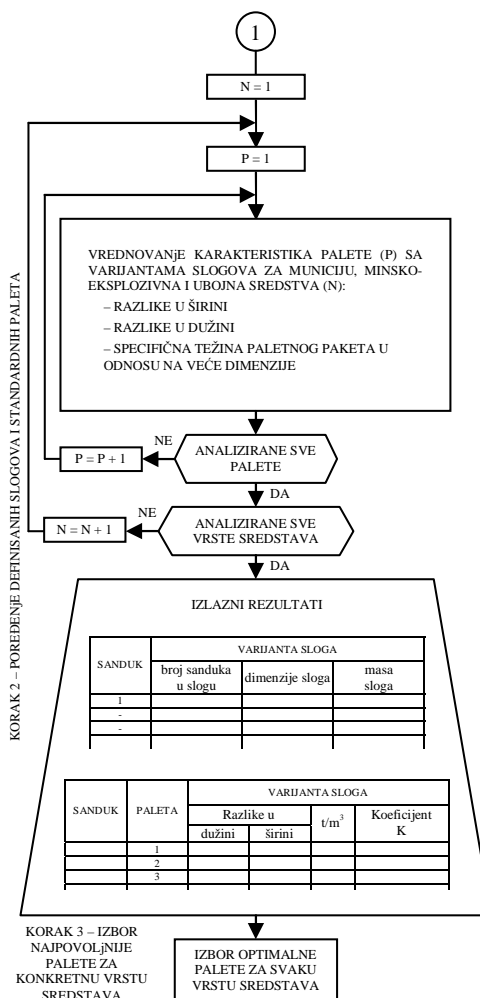
– dužina sloga bira se tako da bude veća od definisane širine sloga, a manja od 1,3 m (vrednost od 1,4 m za modularno polje određuje se na poseban način i diktirana je uslovima skladištenja);

– visina sloga bira se tako da bude veća od dužine sloga, plus polovina visine jedinice rukovanja (osnovnog pakovanja).

Uz poštovanje ovih ograničenja analizirana su skoro sva materijalna sredstva. Neka su imala dodatna ograničenja u pogledu slaganja, s obzirom na to da ne sme doći do ukrštanja uzdužnih osa, tako da su treća i četvrta varijanta slaganja eliminisane za njih. Na taj način definisani su slogovi za sva materijalna sredstva Vojske koja su razmatrana.

U drugom koraku izvršeno je upoređivanje definisanih slogova za svaku vrstu materijala sa dimenzijama standardnih i specijalnih paleta. Upoređivanje je realizovano kroz proračun razlika u širini i dužini sloga i širini i dužini paleta, uzimajući u obzir i zapreminsku težinu paletnog pakovanja. Pri tome su uzete za proračun najveće dimenzije osnovnog paletnog sloga, uvećane za 0,1 m radi obezbeđenja potrebnog razmaka između paleta.

Izbor najpovoljnijeg načina paletizacije izvršen je formiranjem jedinstvenog kriterijuma koji je dobijen kao proizvod tri koeficijenta pomnožen sa 100. Proizvod koeficijenata usvojen je zbog jednovremenog uticaja neusaglašenosti dužine, širine i korišćenja zapremine paletnog pakovanja i poslužio je kao parametar za vrednovanje načina slaganja.



Sl. 3 – Proces paletizacije – korak 2 i 3 [L.6]

Koeficijenti se određuju na sledeći način:

1) koeficijent  $K_1$  – uzima u obzir širinu paleta i sloga i njihovu razliku:

$$K_1 = 1 - \frac{B_p - B_s}{B_p}$$

gde je:  $B_p$  – širina paleta i  $B_s$  – širina sloga.

2) koeficijent  $K_2$  – uzima u obzir dužinu palete i sloga i njihovu razliku:

$$K_2 = 1 - \frac{A_p - A_s}{A_p},$$

gde je:  $A_p$  – dužina palete, i  
 $A_s$  – dužina sloga.

3) koeficijent  $K_3$  – uzima u obzir iskorišćenje zapremine paletnog sloga:

$$K_3 = \frac{\frac{G_{ps}}{A_{ps} \cdot B_{ps} \cdot H_{ps}}}{\frac{G_{jr}}{a \cdot b \cdot c}},$$

gde je:  $G_{ps}$  – težina materijalnih sredstava u paletnom slogu,

$A_{ps}$  – maksimalna dužina paletnog sloga + 0,1 (m),

$B_{ps}$  – maksimalna širina paletnog sloga + 0,1 (m),

$H_{ps}$  – visina paletnog sloga (m),

$G_{jr}$  – težina jedinice pakovanja i

$a, b, c$  – dimenzije osnovnog pakovanja.

Na taj način dobijeni su izlazni rezultati koji su poslužili za realizaciju trećeg koraka, tj. izbor optimalne palete za određena materijalna sredstva, a na osnovu usvojenog kriterijuma:

$$K = 100 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3.$$

Ukoliko je pri slaganju na standardnim i nestandardnim paletama odstupanje bilo neznatno, prednost je uvek data standardnoj paleti imajući u vidu određene povoljnosti koje ona pruža u iskorišćenju skladišnog prostora i tovarnog sanduka vozila, kao i mogućnosti razmene u okviru zemlje, pa i međunarodnom transportu.

Potrebno je da taktički nosioci materijalnih sredstava i saobraćajne službe, kao nosioci razvoja integralnog transporta u Vojsci, poznaju način formiranja paletnih jedinica jer je to od prevashodnog značaja za primenu tehnologije paletizacije pri manipulisanju sredstvima.

### **Analiza primene paletizacije u Vojsci**

Jedan od najvećih problema analize i procene stanja sistema integralnog transporta u Vojsci jeste otežana mogućnost prikupljanja podataka po pojedinim elementima sistema. Operativnu evidenciju stanja sistema integralnog transporta u Vojsci vodila je Saobraćajna uprava Sektora za logistiku GŠ Vojske, do rasformiranja juna 2005. godine. Nakon toga, vođenje operativne evidencije za nivo Vojske preuzela je Uprava za logistiku (J-4) GŠ Vojske, a operativnu evidenciju za nivo Ministarstva odbrane vodi Odeljenje za transport Sektora za materijalne resurse.

U radu su razmatrani podaci o primeni paletizacije u jednom broju skladišta u okviru Centralne logističke baze GŠ Vojske i Operativna evidencija stanja sistema integralnog transporta u Vojsci [L.10].

#### *Paletne jedinice tereta u Vojsci*

Od uvođenja sredstava paletne tehnologije u Vojsci do danas je u opremu Vojske uvedeno 20 raznih paleta (3 standardne evropske i 17 specijalnih). Standardne palete koje se koriste za vojne potrebe su:

- drvena paleta 1200 × 1000 × 144 mm,
- drvena paleta 1200 × 800 × 144 mm,
- boks-paleta 1200 × 800 mm.



Na ovim paletama ukрупnjavaju se različite vrste vojnih tereta čija su pakovanja unificirana i dozvoljavaju primenu modul-sistema pakovanja palete. Tereti koji se ukрупnjavaju na ovim paletama su: municija, minsko-eksplozivna i ubojna sredstva, artikli ishrane, intendantska, sanitetska i druga sredstva. Najčešće korišćena paleta je ravna drvena paleta 1200 × 800 mm, koja čini oko 60% upotrebe standardnih paleta za vojne potrebe.

Međutim, potrebno je naglasiti da postoje određene nepravilnosti u procesu formiranja paletne jedinice tereta, koje se odnose na odstupanja od propisanog modul-sistema pakovanja palete i nedovoljne primene rezultata istraživanja projekta „Rama-1“. Do ovih nepravilnosti dolazi zbog nedovoljne obučenosti ljudstva za rad i improvizacije u radu.

Kao posledica nepravilnog formiranja paletnih jedinica tereta javlja se manji stepen iskorišćenja površine i nosivosti palete. Prosečno procentualno iskorišćenje površine standardnih ravnih drvenih paleta u Vojsci iznosi oko 77%, što je nedovoljno i spada u II klasu iskorišćenja.

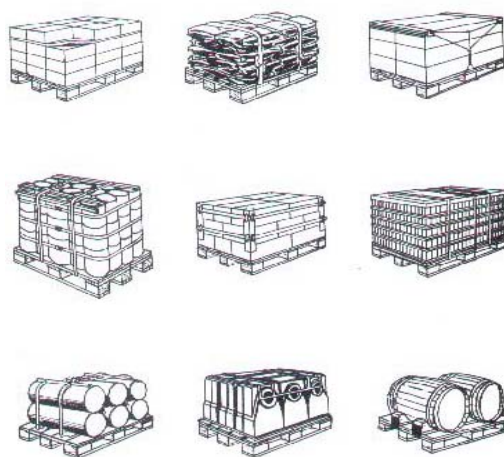
Veliki asortiman materijalnih sredstava različitih taktičkih nosilaca u Vojsci, kojima se zadovoljavaju svakodnevne potrebe jedinica i ustanova ili obezbeđuju borbena dejstva, stvara određene probleme pri formiranju ukрупljenih paletnih jedinica tereta. Taj problem se višestruko usložava s obzirom na veliki broj proizvođača čija transportna pakovanja nisu prilagođena osnovnom modulu pakovanja 400 × 600 mm.

Zbog toga se u Vojsci pribeglo određenim kompromisima kako bi se omogućilo korišćenje skladišnog prostora i upotreba mehanizacije za manipulisanje. Kompromisi se ogledaju u tome što su za masovna materijalna sredstva, koja nisu prilagođena osnovnom modulu, razvijene specijalne palete čije dimenzije odstupaju od standardnih. Te palete primenjuju se samo u Vojsci, mada su urađene kvalitetno i po propisima za standardne palete.

Za vojne potrebe usvojeno je i koristi se 17 različitih nestandardizovanih vrsta paleta. Na ovim paletama ukрупnjavaju se i transportuju sledeće vrste tereta: određene vrste municije i minsko-eksplozivnih sredstava, pneumatici, akumulatori i drugi rezervni delovi za borbena i neborbena motorna vozila, razne agregate i slično.

Primena nestandardizovanih paleta predstavlja oko 20% primene svih paleta za vojne potrebe.

Na slici 4 prikazane su neke vrste vojnih tereta koji se ukрупnjavaju formiranjem paletne jedinice tereta.



Sl. 4 – Paletne jedinice tereta

### *Zaštita i učvršćivanje paletnih jedinica tereta u vojnim skladištima*

Pravilno formirana paletna jedinica omogućava relativnu stabilnost tereta na njoj. Međutim, da ne bi došlo do pomaranja u toku transporta i vožnji po terenu teret na paleti se učvršćuje.

Za učvršćivanje tereta na paletnim jedinicama postoji više postupaka. Najčešće primjenjivani postupci učvršćivanja i zaštite tereta na paletnim jedinicama su:

- postupak lepljenjem,
- postupak povezivanjem, i
- postupak omotavanjem folijama.

Postupak lepljenja je primjenjiv u slučaju kada se za transportna pakovanja koriste ravne kartonske kutije ili jutane vreće. Teže se može primeniti u slučaju kada je roba pakovana u drvene sanduke i metalnu ambalažu. Ovaj postupak vrlo retko se primenjuje za vojne potrebe, jer dolazi do oštećenja ambalaže pri rasformiranju palete, što otežava dotur tereta do krajnjeg korisnika, tj. jedinica.

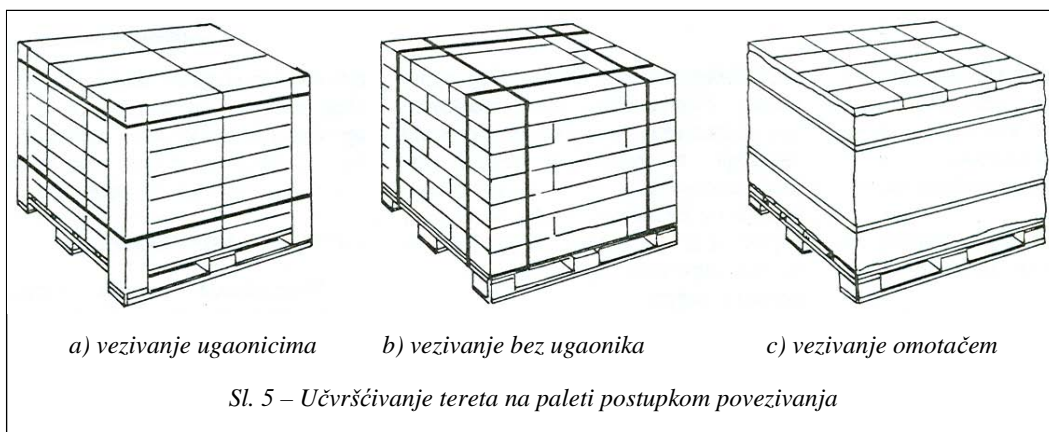
Postupak povezivanja je najčešći način učvršćivanja tereta na paletama u vojnim skladištima. Povezivanjem je omogućena jednostavna, brza i laka ho-

mogenizacija pravilno složene palete, čime se sprečava njeno rasturanje pri manipulaciji i transportu. Povezivanje se vrši omotavanjem, tj. opasivanjem tereta u jednom ili više vertikalnih ili horizontalnih pojaseva, zavisno od vrste, oblika i težine tereta na paletama.

U zavisnosti od vrste tereta, povezivanje se vrši plastičnim ili metalnim trakama, ili trakama za višekratnu upotrebu. Skladišta u Vojsci su, uglavnom, dobro opremljena posebnim steznim mehanizmima kojima se zatežu trake različitih dimenzija.

U slučaju kada ambalaža nema dovoljnu čvrstoću ili treba sprečiti oštećenje, pri zatezanju se koriste i različiti dodatni elementi osiguranja: ugaonici ili specijalni omotač za vezivanje, kao što je prikazano na slici 5.

Postupak omotavanja folijama primjenjiv je kod svih tereta, uz odgovarajuća ograničenja pri primeni termoskupljajućih folija i njime se otklanjaju nedostaci učvršćivanja tereta lepljenjem ili trakama. Ovakav način omotavanja paletne jedinice tereta omogućava homogenizaciju tereta i efikasnu zaštitu od atmosferskih uticaja i otuđivanja.



Postupak učvršćivanja tereta na paletama pomoću folija u poslednje vreme je sve rasprostranjeniji u civilnim skladištima, ali ne i u skladištima Vojske. Ovaj postupak učvršćivanja tereta na paletama je dobro izučen u Vojsci, ali za sada nije primenjivan. Osnovni razlog nedovoljne primene folija za učvršćivanje tereta u vojnim skladištima je nedostatak novčanih sredstava za nabavku odgovarajućih uređaja i mašina kojima se vrši učvršćivanje folija.

Ozbiljnija razmatranja u primeni ovog postupka učvršćivanja tereta na paletama neminovna su u narednom periodu. Međutim, potrebno je sprovesti i ispitivanje eventualnog stvaranja statičkog elektriciteta u objektima sa velikom koncentracijom paleta i način njegovog otklanjanja.

#### *Sredstva za manipulisanje paletnim jedinicama tereta*

Najzastupljenija vrsta sredstava za manipulisanje paletnim jedinicama tereta u Vojsci su uređaji sa prekidnim dejstvom, među kojima treba istaći viljuškare i dizalice.

Viljuškar kao samohodno transportno sredstvo, koje ima odgovarajuću spravu za dizanje i slaganje tereta, namenjen je radovima u unutrašnjem transportu i koristi se na kraćim odstojanjima. Viljuškar je, po svojoj konstrukciji, vrlo komplikovana mašina, pa je zbog toga i prilično skup.

Oni su najbolje iskorišćeni kada podižu teret, prevoze ga na što kraća odstojanja i stavljaju na police ili ređaju jedan na drugi.

U opremu Vojske do danas je uveden 31 tip i model viljuškara. Najčešće se koriste: ručni viljuškari, elektro viljuškari (za rad u zatvorenim i skladišnim prostorima), dizel viljuškari (za rad van objekata) i terenski viljuškari (za rad u terenskim uslovima).

Popuna jedinica i ustanova Vojske viljuškarima je nedovoljna, jer nedostaju sve vrste. Poseban problem predstavlja nedostatak viljuškara za rad sa ubojnim sredstvima u zatvorenim objektima i viljuškara za rad u terenskim uslovima. Do sada u opremu Vojske nije uveden ni jedan viljuškar za rad sa ubojnim sredstvima u zatvorenim objektima.

Dizalice su pretovarne mašine sa prekidnim dejstvom, kojima se mogu pretovarati raznovrsni tereti i imaju mogućnost menjanja zahvatnog „organa“ u zavisnosti od vrste tereta. Pogodne su za teže predimenzionisane terete.

Najčešću primenu u Vojsci ima hidraulično-polužna dizalica DHP-2000, koja se montira na šasiju teretnog vojnog motornog vozila TAM 5000 ili FAP 1314 i spada u kategoriju pokretnih dizalica, tzv. autodizalica. Pogodna je posebno pri organizaciji pretovara manjih jedinica ili manjih količina tereta koje za kratko vreme treba pretovariti, a efikasno se koristi za pretovar na više utovarno-istovarnih mesta i u terenskim uslovima. Međutim, njena je primena u poslednje vreme sve ređa.

Postojeća rešenja za rad u terenskim uslovima sa hidraulično-polužnom dizalicom DHP-2000 i traktorom sa priključnim viljuškama, kao terenskim viljuškarom, ne zadovoljavaju potrebe.

#### **Zaključak**

Integralni transport, kao programirani transportni sistem, odnosno transportni lanac „od vrata do vrata“, uz učešće većeg broja transportnih sredstava i jedinstvene standardizovane tovarne jedinice predstavlja opšte primenjivanu tehnologiju transporta.

ta materijalnih sredstava u svetu. Usvajanje i primena paletizacije, jednog od podsistema integralnog transporta, u Vojsci omogućava bolju pokretljivost materijalnih rezervi.

Istraživanjem u projektu „Rama-1“ [L.6] razvijen je i razrađen poseban postupak za formiranje racionalnih paletnih jedinica tereta, i date su smernice budućeg razvoja u oblasti primene sistema paletizacije za potrebe Vojske. Tim istraživanjem obuhvaćene su određene vrste vojnih tereta i analiziran veliki broj različitih pakovanja, pa se rezultati istraživanja mogu smatrati univerzalnim i primenljivim za većinu materijalnih sredstava.

U ovom radu prikazani su osnovni postulati i prednosti primene savremenih tehnologija integralnog transporta i izložene osnovne karakteristike i prilozi rešenju formiranja, učvršćivanja i zaštite paletnih jedinica tereta, kao osnova praktičnih rešenja za rad taktičkih nosilaca materijalnih sredstava i sistema integralnog transporta uopšte.

Analizirajući postojeće stanje u sistemu integralnog transporta u Vojsci i primenu zaključaka i smernica do kojih se došlo ranijim istraživanjima može se zaključiti sledeće:

- rezultati ranijih istraživanja o primeni tehnologija integralnog transporta ne primenjuju se u dovoljnoj meri u svakodnevnom radu u procesu skladištenja i transporta tereta;

- sredstva i oprema koji se koriste za ukрупnjavanje tereta i manipulisanje njima većim su delom zastarela i koriste se nenamenski;

- tempo razvoja sistema integralnog transporta i primene novih i savremenih rešenja u procesu paletizacije u Vojsci nije na zadovoljavajućem nivou.

Poznavanje pakovanja materijalnih sredstava, paleta po vrstama i tipovima i odgovarajućih sistema izbora i formiranja paletnih jedinica – imperativ je primene savremenih transportnih tehnologija u Vojsci. Izbor i pravilno učvršćivanje i zaštita tereta omogućavaju primenu paletizacije u svim uslovima skladištenja, manipulacije i transporta.

Radi racionalne primene paletizacije i razvoja sistema integralnog transporta u Vojsci neophodno je što pre pokrenuti proces završavanja postojećih sredstava i opreme, kupovinom novih i savremenijih uređaja za učvršćivanje i zaštitu tereta, sredstava za manipulisanje teretima (viljuškari, dizalice, elevatori) i druge dodatne opreme.

Kao jedan od preduslova za modernizaciju i približavanje Vojske svetskim standardima, najpre je potrebno što pre izvršiti sveobuhvatnu analizu trenutnog stanja i izraditi studiju budućeg razvoja sistema integralnog transporta za potrebe Vojske za dugoročni period, uz angažovanje određenih eminentnih stručnjaka iz ove oblasti.

#### Literatura:

- [1] Perišić, R.: Savremene tehnologije transporta I – Integralni sistem transporta, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1985.
- [2] Perišić, R.: Savremene tehnologije transporta II – Integralni sistem transporta, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1995.
- [3] Perišić, R.: Savremene strategije i tehnologije razvoja transporta, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002.
- [4] Miladinović, V.: Integralni transport (skripta u pripremi), Sektor za ŠONID, Beograd, 1998.
- [5] Zečević, S.: Beleške sa predavanja, Integralni transport I, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2001.
- [6] Grupa autora: Projekat „RAMA-1“, SSNO SbU, Beograd, 1984.
- [7] Integralni transport u oružanim snagama (savetovanje), SSNO SbU, Kraljevo, 1987.
- [8] Primena paletne tehnologije u VSCG, (savetovanje), SbU SLo GŠ, Kraljevo, 2000.
- [9] Stamenković, P.: Integralni transport, (lekcija u pripremi), Beograd, 2006.
- [10] Operativna evidencija stanja sistema integralnog transporta u Vojsci, (radni materijal), SbU SLo GŠ, Beograd, 2005.

**Dr Slavko Pokorni,**  
pukovnik, dipl. inž.,  
Vojna akademija,  
Beograd

## **SIMPOZIJUM O OPERACIONIM ISTRAŽIVANJIMA SYMOPIS 2006**

– prikaz naučnog skupa –

SYMOPIS 2006, 33. po redu, održan je od 3. do 6. oktobra u Banji Koviljači.

Izvršni organizator bio je Institut „Mihajlo Pupin“ iz Beograda, koji ove godine obeležava 60 godina rada, i koji je, po opštoj oceni, nastavio tradiciju dobre organizacije. Valja se podsetiti da je i organizator prvog SYMOPIS-a 1974. godine bio Institut „Mihajlo Pupin“, zajedno sa Ekonomskim institutom (tada Institutom za ekonomiku industrije).

Pre održavanja samog skupa, kako je to već ustaljena praksa, štampan je zbornik radova na 676 stranica, čiji je redaktor dr Dragan Radojević, naučni savetnik u Institutu „Mihajlo Pupin“, koji je bio i predsednik Programskog odbora simpozijuma kome je na samom skupu dodeljena i „Povelja za zasluge u razvoju operacionih istraživanja“. Prva ovakva povelja dodeljena je 1983. godine, a do sada ju je dobilo 20 operacionih istraživača.

U predgovoru zbornika konstatovao je da su operaciona istraživanja interdisciplinarna nauka koja koristi naučne metode, kao što su, na primer, matematičko modelovanje, statistika, računarska inteligencija i algoritmi za donošenje odluka u kompleksnim realnim problemima koji su usredsređeni na koordinaciju i izvođenje aktivnosti (operacija) unutar slo-

ženog sistema, a da je cilj operacionih istraživanja da se naučno izabere najbolje rešenje za analizirani problem, koje unapređuje performanse sistema.

Pored toga, operaciona istraživanja su, kao i mnoge druge naučne oblasti, potekla od rešavanja problema u vojnim primenama.

U skladu s tim, i ovogodišnji SYMOPIS predstavlja redovni godišnji sastanak domaćih i inostranih operacionih istraživača u okviru koordiniranog i organizovanog programa razmene naučno-stručnih informacija o razvoju i primeni modela i metoda operacionih istraživanja i njima srodnih disciplina u tehničkim i tehnološkim sistemima, organizacionim sistemima, ekonomskim sistemima, primenama u odbrani i ostalim oblastima. Rangira se kao nacionalni simpozijum sa međunarodnim učešćem.

U zborniku su objavljena 162 rada. U pisanju tih radova učestvovalo je više od 350 domaćih i inostranih autora iz devet zemalja: Srbije, Bosne i Hercegovine, odnosno Republike Srpske, Crne Gore, Francuske, Grčke, Kazahstana, Rumunije, SAD i Slovačke). Radovi su podeljeni u jednu plenarnu sesiju i 24 sekcije: Ekologija; Ekonomski modeli i ekonometrija; Ekspertni sistemi i podrška odlučivanju; Energetika; Finansije i bankarstvo;

Grafovi i mreže; Informacioni sistemi; Istraživanje i razvoj; Logistika; Matematičko programiranje; Meko računarstvo – Soft Computing; Menadžment; Poljoprivreda; Pouzdanost i održavanje; Rudarstvo i geologija; Statistički modeli; Stohastički modeli i vremenske serije; Transport i saobraćaj; Upravljanje proizvodnjom i zalihama; Upravljanje rizikom; Višekriterijumska analiza i optimizacija; Primene u odbrani; Građevinarstvo i Teorija sistema.

Na plenarnoj sesiji izložena su dva rada: Inteligencija grupe – principi i primene, autora Dušana Teodorovića, sa Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, koji radi i na Virginia Polytechnic Institute and State University, i rad Probabilistic optimization in graph-problems, autora Vangelis Th. Paschosa sa univerziteta u Parizu.

Od 162 rada u zborniku (prošle godine je bilo 167), 34 (prošle godine je bilo 29) rada, odnosno oko 20% su radovi, odnosno rezultati istraživanja pripadnika Ministarstva odbrane (MO) i Vojske Srbije, koji su razvrstani u 5 sekcija: Ekologija, (3 referata), Informacioni sistemi (2), Meko računarstvo (1), Pouzdanost i održavanje (1) i Primene u odbrani (27 referata). Već po tradiciji, sekcija Primene u odbrani (do ove godine zvala se Vojne primene) spada među sekcije sa najviše radova. Ove godine imala je 29 radova, što je više nego prošle i više od ostalih sekcija.

Od radova pripadnika Vojske, najviše radova (19), bilo je od autora iz Vojne akademije (VA), što svakako ukazuje na aktivnost VA kao obrazovno-naučne ustanove Vojske Srbije, ali i na značaj koji istraživači u VA poklanjaju operaci-

onim istraživanjima. Osim iz VA, najviše autora je iz Ministarstva odbrane, zatim Vojnogeografskog instituta, Vojnotehničkog instituta i Tehničkog opitnog centra. Većina radova predstavlja rezultat timskog rada autora iz iste ili različitih institucija, a ima i više autora sa po dva rada.

Ukratko ćemo dati pregled naziva radova pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije po sekcijama, prema redosledu u zborniku radova. Koautori nekih radova su i pripadnici fakulteta ili drugih institucija van Vojske i MO.

#### *EKOLOGIJA*

– Rade Biočanin (MO), Krstivoje Špijunović (Učiteljski fakultet, Užice), Nevenka Dobričić-Čevljanović (Zdravstveni centar, Kruševac), U lavirintu rizičnog društva i put ka znanju, uz praćenje trendova u zaštiti životne sredine;

– Radovan Karkalić (Tehnički opitni centar), Dušan Rajić (Vojnotehnički institut), Sistem kvaliteta u dekontaminaciji u uslovima hemijskog terorizma i akcidentata (Napomena: tekst rada je na engleskom);

– Mirjana Vojinović-Miloradov (Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad), Rade Biočanin (MO), Momčilo Zatežić (SUP, Užice), Nuklearni akcidenti – rizici, pretnje i zaštita u sistemu bezbednosti.

#### *INFORMACIONI SISTEMI*

– Marina Jovanović Milenković (Fakultet organizacionih nauka, Beograd), Dejan Milenković (Vojska Srbije, Beograd), Opravdanost primene sistema upravljanja elektronskom dokumentacijom u elektronskom poslovanju;

– Đuro Alfirević, Ivan Tot (VA), Uspostavljanje PKI sistema u preduzećima.

## MEKO RAČUNARSTVO – SOFT COMPUTING

– Dragan Z. Šaletić (Vojnotehnički institut), Od mekog ka granularnom računarstvu i računarskoj inteligenciji sledeće iteracije.

### POUZDANOST I ODRŽAVANJE

– Nikola Ćebić, Rifat Ramović (Elektrotehnički fakultet, Beograd), Slavko Pokorni (VA), Metode za optimizaciju parametara pouzdanosti jednog višestruko redundovanog telekomunikacionog sistema.

### PRIMENE U ODBRANI

– Spasoje Mučibabić (VA), Ksenija Kelemenis (National Bank of Greece, Beograd), Primena teorije igara u razrešavanju kriza i konflikata metodom pregovaranja;

– Predrag Antić, Aleksandar Panić (VA), Informacioni sistem za podršku takmičenja u ekipnim sportovima na Vojnoj akademiji;

– Radoje Banković (Vojnogeografski institut, Beograd), „Pasuljanske livade“ – GIS projekat;

– Jasmina Vesić (VTŠ za industrijski menadžment, Kruševac), Jovan Davidović (HK „Krušik“, Valjevo), Sredoje Subotić (Vojnotehnički institut, Beograd), Višekriterijumski izbor optimalne varijante programa proizvodnje protivgradnih raketa;

– Ivan Vulić (Vojska Srbije), Interventni geografski informacioni sistem;

– Željko Gajić (MO, Uprava za stratejsko planiranje, Beograd), Usaglašavanje strukture činova oficira primenom MARK metode;

– Pavle Galić (MO, Sektor za ljudske resurse, Beograd), Primena modela prognoziranja u bezbednosti saobraćaja;

– Saša Devetak, Dragan Đorđević (VA), Lazar Petrović (Policajska akademija, Beograd), Primena teorije masovnog opsluživanja u analizi efikasnosti centara veze funkcionalnog telekomunikacionog sistema;

– Boban Đorović, Srđan Dimić, Srđan Ljubojević (VA), Novi pristup rešavanju zadataka transportne podrške Vojske;

– Mladen Đukić, Predrag Antić (VA), Automatsko generisanje plana ispitnog roka;

– Slaviša Ilić, Đuro Alfirević, Boriša Jovanović (VA), Meteorološki informacioni sistem;

– Radomir Janković (Računarski fakultet, Beograd), Simulacija poboljšanog algoritma računarske mreže za komandno-informacioni sistem oklopnog bataljona;

– Zoran Jeremić (VA), Modelovanje i dijagnostika studenata u inteligentnom tutorskom sistemu DEPTHS;

– Boriša Jovanović, Ivan Tot, Miloš Merdžanović (VA), Razvoj informacionog sistema „Vojne sportske reprezentacije“ primenom UML tehnologija;

– Dragutin Jovanović (MO, Uprava za školstvo, Beograd), Inženjerske metode u unapređenju prevoza predimenzionisanih tereta železnicom;

– Mitar Kovač (MO, Uprava za stratejsko planiranje, Beograd), Organizacijske promene u sistemu odbrane Srbije;

– Miroslav Mitrović (MO), Model integrisane marketing komunikacije primenjen u promociji programa „PRISMA“;

– Spasoje Mučibabić, Milan Kankaraš (VA), Primena metoda operacionih istraživanja u sistemu odbrane na primeru angažovanja specijalnih jedinica;

– Nebojša Nikolić, Hajradin Radončić (VA), Primena operacionih istraživanja u UN misijama (Napomena: tekst rada je na engleskom jeziku);

– Aleksandar Panić, Mladen Đukić (VA), Sistem za testiranje studenata;

– Slavko Pokorni (VA), Model operacionalizacije ciljeva nastave teorije održavanja;

– Saša Radovanović (VA), Dizajn i arhitektura nastavničke aplikacije inteligentnog tutorskog sistema DEPTHS;

– Hajradin Radončić, Nebojša Nikolić (VA), Dimenzionisanje optimalne strukture mirovnih jedinica Vojske Srbije za učešće u mirovnim operacijama UN;

– Dušan Regodić, Damir Jerković, Dejan Savić (VA), Opšti model obrade rezultata spoljnobalističkih ispitivanja;

– Dušan Regodić, Damir Jerković, Dejan Savić (VA), Standardna spoljnobalistička ispitivanja;

– Dragoljub Sekulović (VA), Mirko Borisov, Radoje Banković (Vojnogeografski institut, Beograd), Nacionalni digitalni model terena generisan na osnovu TK25;

– Ljupča Stojanović (Ministarstvo unutrašnjih poslova, Beograd), Upravljanje rizikom u antiterorističkoj akciji;

– Dejan Stojković (MO), Procesni pristup projektovanju organizacione strukture Vojske Srbije;

– Milan Tasić (Viša tehnička mašinska škola, Beograd), Vlado Đurković (VA), Mladen Pantić (Vojnotehnički institut, Beograd), Eksperimentalno utvrđivanje pomeranja elastično oslonjenog rama vozila u uslovima impulsnog opterećenja;

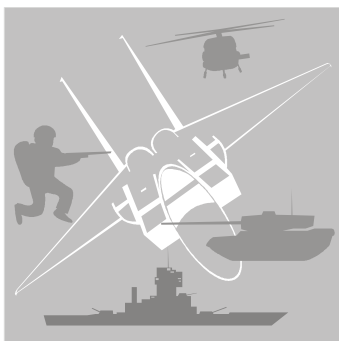
Kao i prethodnih godina, cilj učešća pripadnika MO i Vojske Srbije na ovom, za MO i Vojsku veoma značajnom skupu, potpuno je postignut, jer je pored saopštavanja rezultata istraživanja, vođena plodna diskusija u kojoj su sagledani problemi, razmenjena mišljenja i iskustva i razmatrana moguća rešenja iznetih problema.

Ponovo se potvrdilo da izlaganje radova na ovakvim i sličnim skupovima, kao i razmena mišljenja i iskustava, kako međusobno, tako i sa naučnim radnicima iz drugih naučnih i obrazovnih institucija svakako ima i imaće pozitivan uticaj na naučni i stručni nivo rada u našoj Vojsci, i na stručno i naučno usavršavanje nastavnika i podizanje kvaliteta nastave na osnovnim i poslediplomskim studijama u Vojnoj akademiji.

Takođe, uočava se da pripadnici Vojske koji su otišli u penziju nastavljaju da rade na projektima na kojima su radili i ranije, što znači da i dalje saraduju sa vojnom organizacijom, a u sekciji Primene u odbrani i autori van Vojske. To potvrđuje i sve veći broj radova mladih istraživača, pa i studenata Vojne akademije, kao i slušalaca poslediplomskih studija.

Takođe, saradnja pripadnika Vojske i MO sa pripadnicima drugih institucija u rešavanju problema metodama operacionih istraživanja potvrđuje otvorenost Vojske za angažovanje drugih lica i institucija na rešavanju problema u oblasti odbrane, ali i spremnost i sposobnost pripadnika sistema odbrane da se angažuju na rešavanju problema u civilnim institucijama.





## savremeno naoružanje i vojna oprema

### MODERNIZACIJA SISTEMA ZA BORBENO UPRAVLJANJE\*

Sistemi za borbeno upravljanje BMS (Battle Management System) pobudili su veliki interes na izložbi vojne opreme Eurosatory 2006.

Težište je bilo na integraciji sistema platformi i taktičkog nivoa sa sistemima bataljonskog i brigadnog nivoa, radi povećanja borbenih mogućnosti, umrežavanjem na svim nivoima, i efikasnijim prenosom pojedinačnih rešenja od platforme do brigadnih štabova, pa čak i više.

Kompanija Giat razvila je sistem za borbeno upravljanje FINDERS (Fast Information, Navigation, Decission and Reporting System), koji je u francuskoj armiji, pod nazivom SIT (System d'Information Terminal), ugrađen na tenkove Leclerc i AMX10-RC, borbena vozila pešadije VBCI i komandna borbena vozila VBL.

U drugoj polovini godine planira se usavršavanje sistema, kako bi se omogućilo komandiru čete da modifikuje naredbe primljene sa bataljonskog nivoa i prosledi ih svojim potčinjenima.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

Kompanija Giat razvija varijantu sistema sa sveobuhvatnom bazom geografskih podataka, poznatoj kao SICLAD (Systeme d'Information Cartographique pour l'Aide a la Decission) Geografski informacioni sistem za pomoć u odlučivanju. On će obezbediti prikaz digitalne obrade terena 3-D, rotaciju karata i konfiguracije terena, proračune maršruta i druge mogućnosti geografskog informacionog sistema (GIS). Fleksibilni interfejs omogućava da se sistem GIS široko koristi, a francuska vojska će ga testirati krajem 2006. godine. Planira se da kompanija Giat prilagodi ovaj sistem za korišćenje, kako na vozilima (oklopnim i točkašima), tako i u okviru iskrcanih jedinica. Razvijen je i bataljonski informacioni sistem SIBAT, koji obezbeđuje uspešnije rukovođenje i komandovanje (C2) od nivoa voda do nivoa bataljona-puka. Moguće je povezivanje sistema sa širokim spektrom komunikacijskih sredstava.

Snabdevanje francuske armije sistemima za borbeno upravljanje vrši i kompanija Sagem sistemom SITEL (Systeme d'Information Terminal Elementaire). Poručeno je već 4500 komada za razna borbena vozila, od čega će 1300 ovih sistema (varijanta SIT COMDE) biti ispo-

ručeno komandirima vodova i četa kada su izvan svojih vozila. Sistem SITEL je međusobno operativan sa BMS sistemima kompanija Giat, EADS i Thales, i planira se da do 2010. godine aplikacije svih proizvođača budu standardizovane.

Kompanija Thales je na Eurostory 2006 prikazala sistem T-BMS koji je u sastavu brigadnog informacionog sistema francuske armije. Sistem izveden iz T-BMS ugrađen je na izviđačko vozilo „Pandur“.

Kompanija EADS prikazala je brojne proizvode za sisteme BMS na izložbi Eurostory. Ona snabdeva sistemima IFTS (Interim Force Tracking System) snage NATO-a na Kosovu.

Sistem IFTS zasniva se na opremi koja obezbeđuje taktičke podatke o situaciji, porukama i geografskom informacionom sistemu (GIS). EADS je razvio i prenosnu verziju, nazvanu CESAR, za iskrancane vojnike, i sistem Brutus za najniži taktički nivo.

Istovremeno, kompanija EADS razvija „naslednika“ sistema FAUST, koji je na upotrebi u nemačkoj armiji. Planirano je da to bude sveobuhvatni sistem – od nivoa voda do nivoa divizionara. Trenutno je u fazi ispitivanja, uključujući i koaliciona ispitivanja – CWID 2006 (Coalition Warrior Interoperability Demonstration). Rezultati ispitivanja ugrađiću se u model V2, čije će se operativne funkcije isprobati krajem 2006. godine.

U danskoj armiji nedavno je u upotrebi komandno-informacioni sistem DACCIS (Danish Army Command and Control Information System) kompanije Saab, koja razvija i sistem za borbena vozila VBMS (Vehicle Battle Management System). Sistem VBMS zasniva se na softverskom sistemu SAFIR koji je podrš-

ka i mornaričkim i vazduhoplovnim sistemima komandovanja. Integracija VBMS, SAFIR sistema je podmakla, a izmena podataka već je uspešno demonstrirana.

Sistem VBMS prvobitno je razvijen za potrebe izvoza. Informacija o položaju dobija se sa GPS ili navigacionog sistema ugrađenog na platformu. Sistem se može integrisati sa daljinskom oružnom stanicom RWS (Remote Weapon Station), prihvatajući podatke sa laserskog pokazivača radi prikaza na displeju rastojanja i pozicije cilja, a ti podaci mogu se zatim slati po celoj mreži.

Godine 2005. kompanija Saab sklopila je dugoročni ugovor sa švedskom armijom za sistem BMS bataljonskog i nižeg nivoa. Isporučka je planirana za 2010. godinu. Sistem BMS razvijen je na osnovu sistema VBMS.

Norveška kompanija Kongsberg integrisala je svoje sisteme BMS ComBatt sa svojim daljinski upravljanim oružnim stanicama RWS, što je i demonstrirano na Eurostory 2006.

Sistem ComBatt, pod oznakom NORTaC-C215, uveden je na upotrebu u norveški bataljon Telemark i druge jedinice visoke borbene gotovosti. Norveška armija je odlučila da ga koriste norveške jedinice u Avganistanu. Postignuta su osnovna poboljšanja u strukturi i arhitekturi sistema, čime se povećava mogućnost povezivanja sa ostalim sistemima i senzorima. U 2007. godini planira se ugradnja u bataljon NoA ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance).

Na Eurostory je prikazana i najnovija verzija sistema Battle Hawk, koji je prvobitno razvijan za mornaričke potrebe, nakon brojnih iteracija. U principu, to

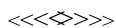
je platformski sistem koji kombinuje podatke sa senzora i podsistema na vozilu sa onima na drugim vozilima radi stvaranja opšte taktičke slike.

Novi pešadijski sistem BHIS (Battle Hawk Infantry System) razvijen je kao individualni sistem za vojnika. Sastoji se od terminala i interfejs-jedinice. U kućištu sistema objedinjeni su GPS modul, digitalni magnetni kompas i audio mikser. On ima interfejs za spoljne senzore, uključujući video-fotografski zapis, displej iznad glave i spoljne komunikacije. Sistem radi na Windows XP operativnom sistemu i ima procesor 533 MHz, RAM 512 MB i hard disk 2 GB.

Kompanija General Dynamics razvila je sistem BMS pod oznakom CDNS (Command Data Network System), koji predstavlja glavni deo brojnih sistema, uključujući engleski ComBAT i kanadski Athene BMS. Početkom 2006. godine sistem je preimenovan u BMSS (Battle Management Software Suite), mada su njegove funkcije i mogućnosti ostale iste.

Poljska kompanija WB Electronics iz Varšave demonstrirala je sistem TROP koji je izveden iz artiljerijskog C2 sistema TOPAZ, isprobale su ga poljske jedinice u Iraku.

M. K.



## **SISTEM ZA AKTIVNU OKLOPNU ZAŠTITU IRON FIST\***

Izraelska vojna industrija je na pariskoj izložbi vojne opreme Eurosatory 2006 obelodanila svoj sistem Iron Fist, kao doprinos naporima za poboljšanje aktivne zaštite za oklopna borbena vozila.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

Sistem Iron Fist („čelična šaka“) rezultat je dvadesetogodišnjeg razvoja, prema zahtevima izraelske vojske, i provedenih serija ispitivanja (uključujući i 150 vatrenih) koja su pokrila razne scenarije, počev od odbrane od napada raketnih protivtenkovskih granata do projektila s kinetičkom energijom.

Sistem se sastoji od radara (Elta), senzora za brzo reagovanje (Elbit/Elisra), lansera za protivdejstva i kompjuterske upravljačke jedinice. Četiri ravne antene ugrađene na vozila pokrivaju sektor od 360° u horizontalnoj ravni i široki ugao po elevaciji. Radar otkriva i prati potencijalne opasnosti na bliskim rastojanjima, a upravljačka jedinica, koja je spojena sa IC sensorima, uključuje lansere i određuje da li da ih aktivira ili ne.

Dva brzo pokretljiva lansera smeštena su na suprotnim stranama vozila, i svaki pokriva sektor od 270°, čime je obezbeđeno i adekvatno preklapanje. Svaki lanser se ručno puni sa dva „presretača“ (protivdejstvo). Presretači su podešeni da eksplozijom u neposrednoj blizini „ubijaju“ nadolazeću opasnost.

Pojavom presretača sličnih minobacačkim minama, ali sa sagorivim čaurama koje ne stvaraju snop ubojnih fragmenata, znatno se smanjuje i kolateralna šteta oko vozila.

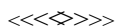
Prilikom ispitivanja eksplozivni udar presretača obezbeđivao je dovoljno snage da odvoji kumulativnu bojnu glavu PT projektila od svog zadnjeg dela, prouzrokujući spaljivanje bez eksplozije.

U slučaju napada projektila s kinetičkom energijom, presretači eksplodiraju pred njima, naginjući ih prema dole, tako da projektili udaraju u borbena vozila pod uglom koji umanjuje njihovu probojnu moć.

Sistem Iron Fist može lako da se ugradi na većinu borbenih vozila, od oklopnih transportera do osnovnih borbenih tenkova, a razvijena je i varijanta za upotrebu na američkim višenamenskim terenskim vozilima visoke pokretljivosti HMMWV.

Prvi prototip ugrađen je na oklopnom transporteru M113, a drugi na tenk Sabra Mk III, modifikovanu verziju američkog osnovnog borbenog tenka M60.

M. K.



### **SISTEM ZA DETEKCIJU SNAJPERA SLD 500\***

Prototip novog sistema za izvidanje i detekciju snajpera SLD 500 prikazala je francuska kompanija CILAS na izložbi vojne opreme Eurosatory 2006.

Sistem SLD 500, čija su ispitivanja započeta 2003. godine, jeste poboljšani laserski nišanski detektor SLD 400, koji je na upotrebi u francuskoj armiji od sredine devedesetih godina XX veka, u jedinicama lociranim na Balkanu.

Sistem SLD 500 koristi efekat „mačje oko“ da bi otkrio lasersku energiju reflektovanu od optike potencijalnih pretnji. Poziciju potencijalne pretnje prikazuje na uvećanoj TV slici terena. U odnosu na SLD 400 (efikasan domet dajući 1 km, a noću 3 km) SLD 500 ima veći domet i bolji interfejs operatora, koji omogućava panoramske prikaze (kao radar), GPS informaciju o položaju pretnji i koordinate cilja po azimutu i elevaciji.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

Teren se osmatra kolor kamerom CCD i TC kamerom, za noćna dejstva. Sistem je opremljen i zvučnim alarmom Metravib Pilar.

Snajper SLD 500 ima četiri osnovne komponente:

- optroničku senzorsku glavu mase 7 kg sa dnevno-noćnom kamerom visoke rezolucije za osmatranje terena;

- laserski odašiljač Class 1 sa smanjenim filterom za osvetljenje pretraživanog sektora;

- prijemnu kameru snajper-detektora za otkrivanje reflektovane energije;

- laserski pokazivač, daljinomer, kompas i inklinometar za označavanje i pozicioniranje.

Glava optroničkog senzora pokreće se električno po azimutu i elevaciji radi skeniranja „sumnjive“ zone, kao i upravljačka jedinica sa ugrađenim displejom. Sistem ima baterijski komplet sa uređajem za punjenje, a može da radi i sa stabilnim izvorom električne energije.

Radi noćnog osmatranja na ovaj sistem se ugrađuje optička IC kamera. Daljinske displej jedinice mogu se povezati na centralnu upravljačku jedinicu.

SLD 500 ima panoramsko polje osmatranja ( $\pm 180^\circ$  po azimutu i  $-30/+45^\circ$  po elevaciji) i do 5 označenih interesnih zona sa snajper-detekcionim prozorom  $7^\circ \times 5^\circ$ .

Ekvivalentan sistem izraelske kompanije Rafael, Spotlite Mk 2, takođe je prikazan na Eurosatory 2006. Kod njega su kamera FLIR i GPS prijemnik montirani na pomičnu nagibajuću jedinicu kojoj je pridodata jedinica sa pretvaračkom optikom: laserski marker, CCD kamera i laserski daljinomer. Vidno polje sistema je  $48^\circ \times 24^\circ$ , a domet detekcije nekoliko

stotina metara s velikom verovatnoćom detekcije i malim brojem lažnih uzbuna.

Namenjen je za dejstva nivoa voda, čete i bataljona, kao i za patrolne i izviđačke akcije.

Upravljačka stanica ima mogućnost prikazivanja višestrukog cilja na displeju. Povezana je bežičnim vezama sa isturenim delovima za protivdejstva, opremljenim snajperskim optičkim jedinicama.

M. K.

<<<<◇>>>>

### **RUČNI SISTEM ZA AKVIZICIJU CILJA MOSKITO\***

Ručni sistem za akviziciju cilja Moskito, lakši od 1 kg, razvila je švajcarska kompanija Vetronix of Switzerland.

To je dnevno-noćni uređaj, dimenzija 180×140×74 mm, koji sadrži dnevni kanal sa petostrukim (×5) uvećanjem i vidnim poljem od 6°, kao i noćni kanal s trostrukim (×3) pojačanjem slike i vidnim poljem od 10°.

Ugrađeni diodni laserski daljinomer predviđen je za domete 4–5 km i tačnost merenja protiv standardnih NATO ciljeva ±2m. Njegov digitalni magnetni kompas ima preciznost merenja po azimutu ±10 hiljaditih, a po elevaciji ±3 hiljadita.

Moskito proračunava i prikazuje horizontalna rastojanja, visinske razlike i relativne vrednosti između dva udaljena objekta. Podatak se šalje, putem interfejsa RS 232, do ručnog ili laptop kompjutera i GPS prijemnika radi konverzije izmerenog podatka u numerisanu koordinatnu mrežu cilja.

M. K.

<<<<◇>>>>

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

### **ZEMALJSKI BORBENI SISTEM PHALANX\***

Američka kompanija Raytheon planira prodaju svojih borbenih sistema Phalanx u verziji zemaljskih odbrambenih sistema visokih borbenih mogućnosti.

Zemaljski sistem Phalanx LPWS (Land-based Phalanx Weapon System) modifikovana je verzija mornaričkog sistema za blisku podršku CISW i deo je programa američke armije za odbranu od raketa, artiljerije i minobacača C-RAM (Counter-Rocket, Artillery and Mortar).

Sistem može da štiti naftna postrojenja, hidrocentrale, nuklearne centrale i druge strategijske objekte, tako da su za ove sisteme zainteresovane Grčka, radi odbrane svojih mnogobrojnih ostrva, i Meksiko radi odbrane svojih platformi, ali i druge zemlje koje imaju interes za kupovinu ovih sredstava efikasnih za uništavanje raketa, artiljerije, minobacača, plovećih mina i drugih sredstava na moru.

Armija SAD koristi više od sedam sistema LPWS za zaštitu mesta od posebnog značaja u Avganistanu i Iraku. Od njihovog postavljanja 2005. godine sistem je imao šest uspešnih borbenih angažovanja.

Sistem se sastoji od topa 20 mm M61A1 Gatling, koji ispaljuje samouništavajuća zrna M-246 ili M-940 brzinom preko 4500 zrna/min, K-bend radara koji omogućava pretraživanje, praćenje i uništavanje artiljerijskih granata, raketa, aviona i helikoptera, danju i noću.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

Sistem LPWS mase 24 t, trenutno je razmešten na Srednjem Istoku, a ugrađuje se na kamionske platforme u kompletu sa generatorom, sistemom za hlađenje i stanicom operatora.

M. K.

<<<<◇>>>>

### **MINIJATURNI SISTEMI ZA KONTROLU LETA GUIDESTAR\***

Kompanija Athena Technologies je, na međunarodnoj avioizložbi Farnborough 2006, prikazala svoj najnoviji mini-jaturni sistem za kontrolu leta GuideStar.

Sistem Micro GuideStar ima dimenzije 115×51×25,5 mm, zapreminu 131 cm<sup>3</sup>, a masu 113 grama.

Familijom sistema GuideStar obezbeđuje se navigacija i(ili) samostalno upravljanje brojnih robotizovanih letelica ili zemaljskih vozila, kao i vazduhoplova civilne avijacije.

Dimenzije, masa i cena omogućavaju im da se primenjuju kao rezervni sistemi, na nekim bespilotnim letelicama, što je od posebnog značaja za planiranu bezbednu integraciju u zajednički vazdušni prostor.

Formirana pre samo osam godina, kompanija Athena je „lansirala“ svoj prvi sistem GuideStar u 2000. godini. Familija ovih sistema već ima impresivne uspehe sa više od 100 000 časova leta na više od deset platformi bespilotnih letelica. Od toga je više od 60 000 časova leta realizovano u Iraku i drugim predelima, sa 907 g teškim sistemom GS-211e (u američkoj armiji RQ-7 Shadow). Sistem GS-

111m se, pored ostalih, ugrađuje na bespilotnu letelicu Golden-Eye-50, a GS-311, mase 2175 g, na Alenia Sky-X.

Sistem GS-511 je odobren za taktički program bespilotnih letelica američke armije Warrior i ima masu manju od 2720 g.

Kompanija Athena razvija i manje mikroverzije.

M. K.

<<<<◇>>>>

### **MODERNIZOVANI OSMATRAČKI RADARI SENTINEL\***

Nekoliko poboljšanih osmatračkih radara AN/MPQ-64/71 Sentinel je u fazi uvođenja u operativnu upotrebu u jedinicama armije SAD. Prvi poboljšani radar Sentinel uveden je u aprilu 2006. godine u školi PVO armije SAD u Fort Blissu u Teksasu, a drugi u Centru zemaljske artiljerije u Fort Silu u Oklahomi.

Uvođenje predstavlja glavni korak u armijskim planovima za implementaciju radara Sentinel P31. Kompanija TRS (ThalesRaytheonSystem) za sada ima ugovore za 62 modernizacije od ukupno 140 radara koliko ih je na upotrebi.

Radari Sentinel su na upotrebi u Avganistanu od 2002. godine i Iraku od 2003. godine, gde služe komandama za procenu situacije i obezbeđenje slike vazdušnog prostora na bojištu. AN-MPQ-60 je veoma mobilni, X-pojasni, fazni, trodimenzionalni akvizicijski i nišanski radar. Uz sektor osmatranja od 360° i elevaciju od -10° do +55° može automatski da otkrije, prati, identifikuje, klasifikuje i opiše najmanje 60 istovremenih vazdušnih ciljeva, uključujući

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, septembar 2006.

helikoptere, brze borbene avione, krstareće rakete i bespilotne letelice.

Modifikacija hardvera uključuje novi predajnik (povećava sadašnji domet od 75 km), savremeni pobudni generator (za bolju detekciju cilja pri zagušenju), novi motor antene (radi povećanja brzine okretanja, sada 30 o/min) i savremeni procesor velike brzine sa mogućnošću budućeg razvoja i dogradnje. Hardverske izmene podržavaju i softverske promene i poboljšanja.

Modernizovani radar Sentinel nudi mnoge prednosti u oblasti poboljšanja dometa, detekcije i akvizicije cilja, zatim bolje detekcije malih ciljeva (uključujući krstareće rakete i bespilotne letelice) i u čistim i u zagušenim uslovima rada.

M. K.



## SOFTVERSKI DEFINISANI RADIO FLEXNET\*

Internacionalna kompanija Thales Group, sa sedištem u Francuskoj, i američka kompanija Rockwell Collins Communication Systems potpisale su ugovor o zajedničkom razvoju i proizvodnji nove familije softverski definisanog radija (SDR) pod oznakom FlexNet. Prvi put je predstavljen javnosti na pariskoj izložbi Eurosatory 2006.

Nova familija SDR odgovara verziji 2,2 softverske komunikacijske strukture opšteg američkog taktičkog radio-sistema JRTS (Joint Tactical Radio System).

Početne varijante uključivaće:

FlexNet 1, jednocanalni dvopojasni radio istog oblika kao Thalesov uređaj za francusku armiju PR4G, ali sa proširenim frekventnim opsegom od 30 do 512 Mhz;

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, avgust 2006.



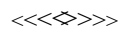
Jednocanalni radio FlexNet 1 (gore) i četverocanalni FlexNet 4 (dole)

FlexNet 4, četverocanalni V/UHF radio za vozila sa frekventnim opsegom od 2 MHz do 2 GHz, izlazne snage 50 W.

FlexNet, dimenzija 284×137×337 mm, takođe je V/UHF i ima izlaznu snagu 50W. Planira se da će ući u upotrebu početkom 2008. godine.

Glavna karakteristika FlexNet je patentirani sistem koji omogućava protok do 6 Mb/s i podržava istovremeno glas, informaciju i video komunikaciju za više od 150 učesnika. Početni FlexNet predviđen je za korisnike Thalesovog radija PR4G VHF, ali i drugi standardi (MIL-STD, STANAG) i nacionalni (Panther, SEM93) mogu integrisati.

M. K.



## MODERNIZACIJA BORBENE OPREME VOJNIKA\*

Singapur je na izložbi Eurosatory 2006. prikazao komplet modernizovane savremene borbene opreme vojnika – ACMS (Advanced Combat Man System).

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.

Posle početnih eksperimenata iz programa takozvanog „sistema za budućeg vojnika“, uključujući i testove u SAD, Singapur je već od 2002. godine započeo razvoj sopstvenog koncepta.

Početkom 2006. godine određen je opitni bataljon za početak ispitivanja opreme ACMS u uslovima borbe u naseljenim mestima. Prema navodima kompanije, trenutno je u toku četni nivo ispitivanja, a ocene za nivo bataljona očekuju se do 2008. godine.

Komplet ACMS predviđen je za odeljenje od 7 vojnika, uključujući komandira odeljenja i dva borbena tima po tri vojnika. Komandir ima komplet s odgovarajućim posebnim dodacima za svakog člana borbenih timova.

Komplet ACMS sadrži: kompjuter ili sistem CCIS (command-and-control information system), koji obrađuje podatke sa drugih elemenata i daje relevantne informacije u realnom vremenu; na šlemu montirani displej koji omogućava vojniku da analizira informaciju prenesenu preko sistema CCIS, kamere oružja i razmeštenih senzora; ličnu zaštitnu opremu u vidu balističkih naočara, štitnika za lakat i kolena i pancir za telo; prsluk za nošenje opreme i hidracioni sistem; lično naoružanje.

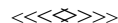
Standardno oružje u kompletu ACMS predstavlja jurišna puška SAR 21 MMS (Modular Mounting System). Ona ima skraćenu cev i klizače za dodavanje specijalne opreme uz oružje, kao što su reflektivni nišan sa integrisanim vizuelnim, IC i laserskim mogućnostima nišanja i kamera koja omogućava da vojnik uoči i uništi cilj iza uglova objekta.

Ugrađena prednja ručka na puški SAR 21 MMS je takozvani „oružni in-

teraktor“ koji omogućava vojniku da aktivira pojedine funkcije raznih sistema bez sklanjanja ruke sa oružja. Umrežene mogućnosti, koje se aktiviraju putem interaktora, treba da obuhvate funkcije kao što su: poziv indirektno vatrene podrške, video snimak s bespilotne letelice, upozorenja s nepratećih i robotizovanih senzora. Za povezivanje elektronike oružja sa sistemom CCIS koristi se kablovska veza, ali bi uskoro to trebalo da bude bežična veza.

Svaki vojnik nosi lični radio-uređaj za lokalnu mrežu unutar odeljenja, a komandir odeljenja nosi zvučni i data UHF radio-uređaj ST Electronics Frecom, koji obezbeđuje domet od 250 do 500 m u urbanim uslovima i 2 km na otvorenim terenima.

M. K.



## STRELJAČKA MUNICIJA POVEĆANE PROBOJNOSTI\*

Usavršavanje lične zaštitne opreme jedinica KoV mnogih armija u svetu zahtevalo je i poboljšanje karakteristika formacijske streljačke municije. Zbog toga je i jedan od najvećih proizvođača streljačke municije u Rusiji „Barnauljski municijski zavod“ specijalizovao proizvodnju pancirne municije s povećanim mogućnostima probojnosti.

Kao dopunu formacijskoj municiji s običnim zrnom ovo preduzeće je razvilo i uvelo u proizvodnju novu municiju s poboljšanim taktičko-tehničkim karakteristikama probojnosti individualnih sredstava zaštite i lakooklopljene borbene tehnike.

\* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, jul-avgust 2006.



To su:

– metak sa zrnom povećane probojnosti 5,45 mm (7H10);

– metak s pancirnim zrnom 5,45 mm (7H22);

– metak s čeličnim jezgrom u zrnju 5,45 mm (7H24);

– puščani metak sa zrnom povećane probojnosti 7,62 mm (7H13);

– metak tipa 1943 s pancirnim zrnjem 7,62 mm (7H23).

Kao što je poznato, metak 7,62 mm tipa 1943 s običnim zrnjem, osim u Rusiji, proizvodi se u mnogim zemljama sveta, ali samo u Barnaulskom municijskom zavodu ovaj se metak proizvodi s pancirnim zrnjem. Po probojnosti tvrdih pregrada on više od tri puta prevazilazi metak s običnim zrnjem. Na udaljenosti od 200 m čelično jezgro njegovog zrna probija čeličnu ploču marke 2P širine 5 mm, a na udaljenosti 250 m zaštitni pancirni prsluk tipa 6B5.

U skladu s prelaskom armija nekih zemalja sa ruskog sistema naoružanja na sisteme NATO, ovaj zavod je uspeo da realizuje jedan veliki projekat proizvodnje municije i po standardima NATO. To je, pre svega, municija 5,56 mm sa zrnjem RS 101 i 7,62 mm sa zrnjem povećane probojnosti RS 51. Njihovi parametri znatno prevazilaze karakteristike zapadne municije 5,56 mm sa zrnjem SS109 i 7,62 mm sa zrnjem M80.

Za potrebe zaštitnih jedinica razrađen je kompleks municije sa smanjenim rikošetom PRS. Za razliku od običnih zrna PS, zrna PRS nemaju čelično jezgro. Neophodnost njihove proizvodnje povezana je sa specifičnostima taktike zaštitnih jedinica.

Barauljski zavod predstavio je ceo asortiman metaka tog tipa (PRS) čija zrna imaju olovno jezgro, a među njima su: 7,62 mm i 5,45 mm za automat i puške, i 9×18 mm i 9×19 mm za pištolje. Ta municija uvedena je u naoružanje Ministarstva unutrašnjih poslova Ruske Federacije.

M. K.

<<<◇>>>

### **MUNICIJA 105 mm KOJA IZAZIVA MALU KOLATERALNU ŠTETU\***

Istraživačka laboratorija američkog vazduhoplovstva i kompanija Aerojet razvijaju tip artiljerijske granate 105 mm M1 HE koja izaziva malu kolateralnu štetu. Ona bi se koristila na topovskom sistemu ugrađenom na avione AC-130 H/U ili na zemaljskim sistemima oružja 105 mm, kakav je laki top M119 A1/A2, koji su sposobni da koriste projektele 105 mm M1 HE.

Upotreba projektila 105 mm HE (105 mm LCD-HE) koji izazivaju malu kolateralnu štetu, omogućuje napad na ciljeve koji se nalaze u neposrednoj blizini objekata u kojima se nalazi civilno stanovništvo.

U svom sadašnjem obliku, zrno 105 mm LCD-HE postiže visoku lokalnu ubojnost pomoću zamene čelične košuljice (M1) košuljicom izrađenom od ugljeničnih kompozitnih materijala.

Zadržavajući masu slično kao kod M1 (gustoća kompozitne košuljice je 4 do 5 puta manja od čelične), na ovom projektilu je između košuljice i konvencionalnog punjenja dodat usmerivač od

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.

materijala visoke gustoće i male tvrdoće, opisan kao „volframov prah u epoksidnom kalupu“.

Moguće je da se ubuduće kombinacija zrna HE (high explosive) i gustog usmerivača zameni potencijalno jednostavnijim baznim eksplozivnim punjenjem DIME (Dense Inert Metal Based).

Posle preliminarnih opaljenja ustanovljeno je da je osnova originalne potpuno kompozitne izrade bila oštećena od kombinovanih barutnih gasova visoke temperature i pritiska. Zato je uvedena poluloptasta osnova s ojačanim fibernajlonskim donjim delom.

Kompozitna košuljica se pri eksploziji raspada u mnogo sitnih vlakana i epoksidnih delića, kao i volfram-epoksidnu prašinu velike gustoće. Budući da su male gustoće i veličine, fragmenti košuljice se usporavaju ekstremno brzo, drastično smanjujući radijus ubojnosti. Fragmenti usmeravajućeg dodatka, iako veće gustoće, takođe se brzo usporavaju zbog svog praškastog stanja, ali zbog velike brzine i gustoće znatno povećavaju pritisak udara neposredno pre eksplozije granate.

Dodatna prednost korišćenja kompozitne košuljice jeste što se manje energije eksplozivnog punjenja koristi na rasprskavanje košuljice i dodatka, a više na eksplozivne efekte projektila. Pored toga, da bi minimizirao tip ubojnih fragmenata koji bi nastao kada se koristi bakarna legura, vodeći prsten izrađen je od istog kompozitnog materijala kao umetnuti donji deo (10% staklenih vlakana napunjenih u najlon 6/6).

Pri opaljenju iz topa M102 na avio-  
nu AC-130 H/U korišćen je komunikacij-

ski upaljač L-3 FMU-153/B. On ima tupu, antirikošet, ojačano čelično telo s aluminijumskim balističkim štitnikom, kombinovanim PD i usporavajućim dejstvom (4–9 ms).

M. K.

<<<<>>>>

## NEVOĐENE RAKETE KOMPANIJE SPLAV\*

Ruska kompanija Splav (Tula), dobro poznata po svojim višenamenskim lansirnim raketnim sistemima, predstavila je, na međunarodnoj izložbi vojne opreme za kopnene snage IDELF (International Defence Exhibition for Land Force), održanoj u Moskvi u avgustu 2006. godine, revidiranu verziju familije svojih nevođenih avio raketa S-8 i S-13.

Iako imaju iste kalibre kao i S-8 (80 mm) i S-13 (122 mm), nove rakete se veoma razlikuju od prethodnih još iz 1973. i 1983. godine.

U slučaju rakete S-8, uz snažniji pogon smanjena je dužina raketnog motora za 280 mm, a revidirani unutrašnji raspored omogućava upotrebu veće i snažnije bojne glave. Kod ove rakete uvedena su radijalno sklapajuća krilca stabilizatora, a smanjena je i ukupna masa rakete.

Sve rakete mogu da se lansiraju iz postojećih raketnih lansera.

Na izložbi IDELF prikazana su dva tipa rakete 80 mm i dva tipa rakete 122 mm s različitim tipovima upaljača. Rake-  
te S-8 OFP2 i S-13 OFS2 imaju udarne upaljače.

Raketa S-8 OFS1 ima udarni upaljač s dva dodatna uređaja koji omogućava-

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.

vaju trenutno ili usporeno dejstvo pri korišćenju protiv ojačanih ciljeva.

Raketa S-13 OFS1 ima radarski blizinski upaljač, koji može da se programira na jednu od nekoliko mogućih visina.

Na izložbi u Moskvi rakete su bile opremljene trenutnim bojnim glavama sa specijalnim fragmentacionim sastavom. Bojna glava na raketi S-8 OFS1 ima dodatno probijanje koje je potrebno za optimalnu upotrebu upaljača sa usporenim dejstvom.

Nove rakete, poput prethodnih, verovatno će se proizvoditi u više verzija s raznim tipovima bojnih glava, kao što su visokoeksplozivne (trenutne), fragmentacione, probojne, zapaljive i ometajuće.

Ispitivanja su provedena u vojnom opitnom centru u Ahtubinsku.

Kompanija Splav proizvela je i raketu za korekciju kursa S-8 KOR1, koja koristi mali poluaktivni laserski tragač. Putanja leta koriguje se serijom signala sa šest senzora postavljenih oko tela rakete. Opseg korekcije je sasvim mali, pa se to i klasifikuje kao korekcija, a ne vođenje.

Bojna glava s kumulativnim punjenjem opremljena je za borbu s oklopnim ciljevima.

M. K.

<<<<◇>>>>

## **RUSKI TENKOVI SA TOPOVIMA PRILAGOĐENIM MUNICIJI SA ZAPADA\***

Artiljerijski zavod iz Ekaterinburga u Rusiji razvio je i testirao dva glatkocevena tenkovska topa 120 mm koji mogu da ispaljuju jednodelnu municiju 120 mm, proizvedenu na Zapadu.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.

Prvi od njih je glatkocevni top M-393 L44, čija je dužina 5,3 m, a dužina trzanja 700 mm. Projektovan je da bi se ugradio na osnovni borbeni tenk T-62, koji je sada naoružan glatkocevnim ručno punjenim topom 115 mm uvedenim u upotrebu još 1959. godine.

Top M-393 ima masu 2600 kg i opremljen je toplotnim omotačem i izbacivačem dima, a za sada se ne očekuje opremanje referentnim sistemom na ustima cevi.

Oruđe je ugrađeno u kupolu koja ima mogućnost okretanja za 360° i elevacije od -5° do +15°. Top M-393 može da koristi standardnu municiju 120 mm, poput nemačke Rajnmetalove DM33, DM43 i DM53, pancirne municije APFSDS-T i protivtenkovske višenamenske municije HEAT-MP-T. Top M-393 je ekvivalentan Rajnmetalovom glatkocevnom topu prve generacije L44 ugrađenom na tenk Leopard 2 koji je činio osnovu za brojne druge tenkovske topove, uključujući top 120 mm M256 na američkom tenku M1A1/M1A2 Abrams.

Drugo oruđe je glatkocevni tenkovski top 120 mm M-393 L50, koji ima cev dužine 6000 mm, masu od 2400 kg i dužinu trzanja 310 mm. On, takođe, koristi standardnu glatkocevnu municiju 120 mm i namenjen je da se ugrađuje na tenkove T-72. Njegov je efikasni domet veći od topa M-393, ali je kraći i ima manju brzinu zrna na ustima cevi od Rajnmetalovog topa 120 mm L55, ugrađenog na tenk Leopard 2A6.

Za sada ruska armija zadržava svoje glatkocevne topove 125 mm, a topove M-393 i M-395 usmerava uglavnom na izvoz.

Kako novi ruski topovi 120 mm nemaju isti oblik kao postojeći tenkovski topovi 115 mm (T-62) i 125 mm (T-72),

njihova ugradnja zahtevaće značajne dodatne radove u kupoli, posebno u slučaju T-72, gde se zahteva ili novi automatski punjač ili dodatni član posade.

Ruska armija koristila je svoj glatkocevni top 125 mm kao osnovno tenkovsko oruđe mnogo godina, počevši sa topom 2A26 na tenku T-64A i topom 2A26M2 ugrađivanog na početnu partiju tenka T-72. Oni koriste dva tipa municije koja ima projektil odvojen od punjenja.

Svako zrno se uvodi u oruđe putem automatskog punjača, čime je omogućeno smanjenje posade na tri člana. To je omogućilo da tenk bude kompaktniji od tenkova Leopard 2, Čelendžer 1 i 2 i Abrams M1.

Međutim, postoje dva osnovna nedostatka kod razmeštaja u ruskom tenku. Prvi je što municija nije izolovana od odeljenja za posadu, i velika osetljivost na detonaciju u slučaju proboja šasije. Drugo, kompaktni automatski punjač za municiju 125 mm s odvojenim punjenjem ne dozvoljava upotrebu savremenih penetratora s povećanom probojnošću oklopa.



*Ruski poboljšani tenk T-72 M1 može da se opremi glatkocevnim topom 120 mm M-395*

Top 2A26 je 1970. godine zamenjen poboljšanim topom serije 2A46, koji je stalno poboljšavan od njegovog prvog uvođenja u upotrebu. Danas Artiljerijski

zavod proizvodi brojne nove verzije topova, uključujući 2A46M za tenkove T-72 i T-90 i top 2A46M-1 za tenk T-84 U.

Efikasni domet ovih topova povećan je a na ustima cevi pridodat je referentni sistem namenjen za povećanje preciznosti oruđa.

Ovim topovima mogu da se ispaljuju i laserski vođeni raketni projektili 9M119M Reflex s maksimalnim dometom 5000 m.

Druga specifičnost je mogućnost vizuelne provere tečnosti u protivtrzajućem sistemu.

Konstrukcija cevi i zadnjaka omogućava da se sklop cevi menja mnogo brže, bez potrebe da se skida kupola. Ako se zahteva, cev može i da se hromira radi povećanja veka trajanja.

Artiljerijski zavod proizveo je i varijante topova pod oznakama 2A46M-4 (za tenk T-80) i 2A46M-5 (za tenk T-90). Ističe se da su oni znatno precizniji od ranijih oruđa i imaju poboljšani dinamički balans, olakšanu ugradnju u kolevku i izrađeni su po višim proizvodnim standardima. Kao krajnji rezultat, disperzija pogodaka pri gađanju iz pokreta smanjena je za faktor 1,7. Proizvodnja tenkova T-80 završena je pre nekoliko godina, a sada se proizvodi tenk T-90 za domaće potrebe i za izvoz.

Tenk T-90 predstavlja dalji razvoj tenka T-72, čiji se originalni model pojavio pre 30 godina. Od sredine devedesetih godina prošlog veka Rusija razvija novi tenk o kojem detalji nisu objavljeni. Mogla bi to da bude nekonvencionalna konstrukcija, s tročlanom posadom u oklopu s maksimalnom zaštitom, i topom (verovatno glatkocevnim kalibra 135 mm) sa spoljašnjim automatskim punjenjem.

Već nekoliko godina i Ukrajina nudi svoje glatkocevne topove 120 mm KBM2 L44 koje je radi ispitivanja ugradila u tenkove T-72 (oznaka T-72-120) i sopstveno razvijene tenkove T-84-120. U oba slučaja top 120 mm puni se automatskim punjačem.

M. K.

<<<◇>>>

### **BTR-90 – OKLOPNI TRANSPORTER XXI VEKA\***

Lokalni vojni sukobi pokazali su da jedinice KoV-a često moraju da dejstvuju izolovano i odvojeno od svojih osnovnih snaga da bi se suprotstavili dobro naoružanim grupama neprijatelja. Zato svaka jedinica za takve uslove treba da ima borbenu tehniku povećanih vatrenih mogućnosti, manevarske sposobnosti i operativne autonomije.

Za takve zadatke najprilagođenija su borbena vozila točkaši. Treba očekivati da će ona na početku XXI veka u tom pogledu čvrsto zauzeti glavne pozicije u armijama mnogih zemalja sveta.

U Rusiji je upravo takvo vozilo postalo najnoviji oklopni transporter BTR-90, koji su na osnovu zahteva Ministarstva odbrane Rusije razvili konstruktori OAO „GAZ“, zajedno sa specijalistima Arzamaskog zavoda za mašingradnju. Njegova opšta koncepcija u odnosu na prethodne BTR-60, BTR-70 i BTR-80, ostaje neizmenjena, a to je konfiguracija 8×8, motor u zadnjem delu, napred upravno borbena odeljenje i na sredini desantno odeljenje.

\* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, jul-avgust 2006.

Velika nosivost (7 t) i unutrašnji prostor (12 m<sup>3</sup>) omogućavaju razmeštaj različite opreme i sistema oružja. U kupoli s kružnim okretanjem ugrađeni su spregnuti do 30 mm 2A42, mitraljez 7,62 mm PKT i automatski bacač granata 30 mm AG-17.

Za borbu s teško oklopljenim vozilima, na udaljenosti do 4 km, namenjen je protivtenkovski raketni kompleks Konkurs-M, a za niskoleteće ciljeve u vazдушnom prostoru – protivavionski kompleks tipa Strela ili Igla.

Stabilizator kupole u dve ravni omogućava upotrebu naoružanja u mestu i iz pokreta radi uništavanja žive sile, neoklopljene i lakooklopljene tehnike, kao i helikoptera i objekata inženjerije. Sistem za upravljanje vatrom je kombinovani dnevno-noćni nišan operatora BPK3-42 i dnevni nišan komandira 1P-13, koji omogućavaju izvođenje borbenih dejstava u bilo koje vreme, danju i noću. Prema zahtevu kupca može se ugraditi nišan operatora tipa BPK-M s termovizijskim modulom francuske firme SAT.

Posada može da koristi lično naoružanje kroz otvorene poklopce na bočnim stranama oklopnog tela vozila ili kroz puškarnice.

Zavareno oklopno telo vozila izrađeno je od čeličnih oklopnih ploča. U njemu se razmešta deset članova borbenog sastava – tri člana posade (komandir, vozač-mehaničar i operator u kupoli) i sedam vojnika za desantiranje.

Lični sastav je zaštićen od zrna mitraljeza velikih kalibara i parčadi granata.

Ukrcavanje i iskrcavanje borbenog sastava vrši se kroz bočna vrata, kroz poklopac kupole ili kroz gornje poklopce

na krovu oklopnog tela. Konstrukcija bočnih vrata omogućava ukrcavanje i iskrcavanje čak i pri kretanju vozila.

Na BTR-90 je primenjena nova originalna šema transmisije. Snaga od motora i hidromehaničkog menjača prenosi se preko diferencijala na dve paralelne grane duž vozila. Hidraulični prenos obezbeđuje razne brzine okretanja na njima, što, s obzirom na četiri prednja upravljiva točka, obezbeđuje smanjenje radijusa okretanja vozila dva puta. Mehanizmi upravljača opremljeni su hidrauličnim pojačivačem radi lakšeg upravljanja.

Po želji korisnika, na vozilu se može ugraditi i klima uređaj.

BTR-90 se može transportovati svim vidovima transporta – železnicom, drumskim, vazдушnim i vodenim.



*Oklopni transporter BTR-90*

Konfiguracija 8×8, centralizovano regulisanje pritiska u gumama, omogućavaju sigurno kretanje i po mekim terenima i zadržavanje pokretljivosti sa oštećenim gumama, uključujući prostrele i oštećenja usled dejstva protivpešadijskih mina.

Transporter BTR-90 može da razvije brzinu do 100 km/h po putu i 50 km/h po ispresecanom zemljištu, da se kreće po nagibu od 25°, da savladava uspone do 30°, prepreke visine 0,6 m i rovove širine 2,1 m. Visoku pokretljivost i dobre manevarske sposobnosti obezbeđuje višegorivi 6-cilindarski turbo dizel sa vodenim hlade-

njem, snage 375 kW (510 KS), zatim pogon na sve točkove, snažno nezavisno torziona oslanjanje s teleskopskim amortizerima velikog hoda i klirens od 510 mm. Bez obzira na relativno veliku masu (22 t), vozilo u hodu savladava vodene prepreke zbog hermetizovanog tela i dva vodena mlaznika, kojima se postiže brzina kretanja na vodi od 11 km/h. U morskim uslovima transporter može da se kreće pri talasima veličine 3, po boforskoj skali, kao i da lagano ulazi i silazi sa desantnog broda.

Na vozilu je ugrađen uređaj za kolektivnu NHB zaštitu, sa ugrađenim kompresorom za stvaranje natpritiska, filterima i priborima za indikaciju hemijske i radiološke kontaminacije.

Na BTR-90 može da se ugradi i informaciono-upravljački sistem za efikasno automatsko upravljanje transmisijom i motorom, kao i kontrolu i dijagnostiku glavnih sistema vozila.

Zbog ovakvih karakteristika BTR-90 je postao nezamenjiv za izvršavanje borbenih zadataka u mnogim armijama širom sveta.

M. K.

<<<<>>>>

## **MODERNIZACIJA RUSKIH OKLOPNIH BORBENIH VOZILA\***

Ruska kompanija Muromteplovoz danas radi kompletan asortiman poboljšanja za široko rasprostranjena ruska amfibijska izviđačka vozila BRDM-2 (4×4) i oklopne transportere BTR-60 (8×8). Iako je proizvodnja tih vozila završena pre mnogo godina, njihov veliki broj ostao je na upotrebi u mnogim zemljama širom sveta.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.

Poboljšanje vozila BRDM-2 izvršeno je u nekoliko ključnih oblasti, uključujući i povećanje vatrene moći. Standardni BRDM-2 opremljen je kupolom za jednog člana posade, naoružanoj mitraljezi- ma 14,5 mm i 7,62 mm. Kupola se okreće za 360°, a elevacija oružja je od -5° do +30°. Poboljšani BRDM-2 opremljen je novom, ručno upravljanom, kupolom MA1 naoružanom mitraljezom 14,5 mm KPVB i mitraljezom 7,62 mm PKTM sa maksimalnom elevacijom do 60°. Uz to, sa leve spoljašnje strane kupole ugrađen je automatski lanser granata 30 mm AG-17, predviđen za domete do 1700 m, koji bi trebalo da bude efikasan protiv neoklopljenih vozila i iskrcane pešadije.

Druge kupole koje se nude su: MA sa mitraljezi- ma 14,5 mm i 7,62 mm; MA4 sa topom 23 mm, mitraljezom 7,62 mm i lanserom granata 30 mm AGL i MA2 sa topom 23 mm i koaksijalnim mitraljezom 7,62 mm.

Originalni BRDM-2 pogoni benzinski motor 103 kW (140 KS) GAZ-41 V-8 s maksimalnom putnom brzinom 100 km/h i operativnom autonomijom do 750 km. Poboljšani BRDM-2 ima mnogo efikasniji dizel motor od 118 kW (160 KS) YaMZ-E534.10 koji, iako razvija nešto manju putnu brzinu od 90 do 95 km/h, omogućava operativnu autonomiju do 1000 km. Obrtni moment povećan je za oko 67%, a poboljšano je i ubrzanje vozila. Krov motornog odeljenja podignut je radi ugradnje novog pogonskog paketa.

Sva produkcija BRDM-2 bila je opremljena sa dva dodatna manja točka, smeštena između prednjih i zadnjih točkova, koja su se spuštala kada je trebalo lakše da se savladaju rovovi.



*Poboljšano oklopno izviđačko vozilo BRDM-2*

Glavni nedostatak ovih vozila bio je što je četvoročlana posada samo mogla da ulazi i izlazi kroz poklopce vozača i komandira vozila smeštene na prednjoj strani oklopa.

Na poboljšanom BRDM-2 pomoćni točkovi su skinuti i zamenjeni sa dvoja vrata u koja su ugrađene puškarnice i pribori za osmatranje. Ona ne samo da omogućavaju brz ulazak i izlazak iz vozila, već obezbeđuju i dodatni unutrašnji prostor, tako da se sada može prevoziti šest ljudi.

Standardna oprema sadrži: sistem NHB zaštite, centralno regulisanje pritiska u gumama u skladu s terenskim uslovima i prednji čekrk maksimalnog kapaciteta 4400 kg.

Poboljšani BRDM-2 zadržava u potpunosti amfibijske mogućnosti, a brzina kretanja na vodi iznosi 8–10 km/h.

Pored kompanije Muromteplovoz, pakete za modernizaciju vozila BRDM-2 nudi i Mašinski zavod Arzamas. Njihova poboljšanja uključuju i novu kupolu, novi dizel motor, kao i pojačanu oklopnu zaštitu. Poljska i Ukrajina takođe su razvile sopstvena poboljšanja za vozila BRDM-2.



*Poboljšani oklopni transporter BTR-60 PB*

Kompanija Muromteplovoz je razvila, do nivoa prototipa, obimno poboljšanje za oklopni transporter BTR-60 PB koje pokriva vatrenu moć i pokretljivost.

Standardna proizvodnja BTR-60 PB opremljena je kupolom sličnoj kupoli na BRDM-2, sa mitraljezima 14,5 mm i 7,62 mm. Kod poboljšanog transportera ta kupola je zamenjena novom kupolom MB2, sa topom 30 mm i mitraljezom 7,62 mm, a sa leve strane na njoj je ugrađen lanser granata 30 mm AG-17. Oružje može da ima elevaciju do +60°, što je pogodno za korišćenje u urbanim sredinama, kao i u borbi sa sporoletućim avionima i helikopterima.

Standardne transportere BTR-60 PB pogonila su dva benzinska 6-cilindarska linijska motora GAZ-49B, od kojih svaki razvija po 66 kW (90 KS), obezbeđujući maksimalnu putnu brzinu 80 km/h i autonomiju hoda do 500 km. Poboljšani transporter ima modifikovani zadnji deo, kako bi prihvatio novi dizel motor YaMZ-236A koji razvija 144 kW (195 KS), obezbeđuje autonomiju hoda do 800 km i maksimalnu putnu brzinu od 80 km/h. Pored toga, poboljšana je transmisija i pojačan kočioni sistem.

Originalni BTR-60 PB ima borbenu masu 10,3 t i odnos snaga/masa 17,47 KS. Kod poboljšanog transportera BTR-60 PB masa je povećana na 13 t, a odnos snaga/masa smanjen je na 15 KS/t.

Maksimalni obrtni moment povećan je za 62% i, dok originalni transporter ima ubrzanje od 0 do 60 km/h za 83 sekunde, kod poboljšane verzije to se postiže za 63 sekunde.

M. K.

<<<<>>>>

## **GUMENE GUSENICE ZA BORBENA VOZILA\***

Na oklopnim borbenim vozilima, umesto tradicionalnih metalnih gusenica, danas se koriste gumene gusenice.

Gumene gusenične trake, koje je izradila kanadska kompanija Soucy International, testirane su na švedskom borbenom vozilu pešadije CV90 i šire su od ranije isprobanih na oklopnim vozilima.

Za budući razvoj važna je relativno jednostavna konverzija na oklopnom vozilu jedne vrste gusenica drugom i obratno, što je demonstrirano na američkom oklopnom transporteru M113, zamenom gumenih guseničnih traka čeličnim, u operacijama gde je upotreba guseničnih traka bila suviše osetljiva na oštećenja.

Dalji razvoj gumenih gusenica posebno je značajan za programe poboljšanja borbenih vozila u koja spadaju američka FCS (Future Combat System), britanska FRES (Future Rapid Effects Systems) i švedska SEP (Splitterskyddad Enhetspalattform).

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.



Gumenim gusenicama već su opremljeni prototipovi američkog samohodnog topa 155 mm NLOS-C (Non-Line of Sight Cannon) i dva švedska gusenična vozila iz programa SEP.

Razvoj sadašnje generacije gumenih guseničnih traka za oklopna vozila započeo je pre desetak godina na zahtev američke armije. Gumene gusenice za oklopne transportere M113 mnogo su lakše od standardnih čeličnih gusenica (masa im je oko 260 kg, a čeličnih 588 kg). Neuporedivo su tiše od čeličnih i, u slučaju transportera M113, proizvode manje buke za 6 dB, uz smanjenje ukupnih vibracija, što je značajno za zamor posade.

Upotreba guseničnih traka smanjuje i otpor pri kretanju vozila, što smanjuje potrošnju goriva, a manje je i oštećenje puteva.

Predviđeno je da gumene gusenične trake za oklopni transporter M113 traju 8000–9000 km pređenog puta pre zamenenim, za razliku od 4000 do 4500 km koliko se prelazi s čeličnim gusenicama tipa T130 po istoj vrsti terena, pri čemu se ne zahteva nikakvo održavanje.

Ipak, gumene gusenične trake mnogo su osjetljivije na borbena oštećenja i teže ih je popraviti ili zameniti. Takođe su osjetljive na nekim vrstama terena, posebno onim sa oštrim kamenjem koje može da ih saseče.

Može se zaključiti da su gumene gusenične trake veoma pogodne za oklopna vozila koja se koriste za obuku, mirovne i slične operacije, ali u borbenim dejstvima ili po teškim terenima bolje je da imaju čelične gusenice.

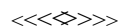
U slučaju M113, osim promene gumenih guseničnih traka, zamena standardnih čeličnih gusenica gumenim zahteva i zamenu nazubljenja na pogonskom točku i lenjivaca, kao i ubacivanje proširenja za točkove.



*Borbena vozilo pešadije CV90 opremljeno gumenim guseničnim trakama*

Prva operativna upotreba ovih gusenica nove generacije izvedena je na oklopnim vozilima M113A2 za norveške jedinice u sastavu mirovnih snaga u Avganistanu.

M. K.



## **RADAR ZA MERENJE POČETNIH BRZINA ZRNA\***

Kompanija Almaz – Antey iz Moskve je svom asortimanu zemaljskih izviđačkih radara pridodala i automatizovani artiljerijski radar za merenje početnih brzina zrna, koji je prikazan na međunarodnoj izložbi opreme za kopnene snage, održanoj u Moskvi početkom avgusta 2006. godine.

Automatizovani radar namenjen je da meri početne brzine artiljerijskih projektila, kalibara većih od 20 mm i početnih brzina zrna između 50 i 2000 m/s, sa tačnošću merenja od 0,05%. Tačnost podataka o početnoj brzini jedan je od ključnih faktora za smanjenje rasturanja artiljerijske vatre (disperzije).

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.



*Prenosni automatizovani artiljerijski radar za merenje početnih brzina zrna (levo) i zemaljski radar CREDO-1E (desno)*

Radar je namenjen za samohodne i vučne artiljerijske sisteme. U samohodnom artiljerijskom sistemu 152 mm 2S19, antena radara montirana je iznad zadnjeg dela oruđa i povezana sa cevi. Kod vučnog oruđa 122 mm D-30 montirana je iznad protivtrzajućeg sistema, a može da se ugradi i na tronožac i postavi uz oruđe.

Antena je opremljena optičkim uređajem koji omogućava operatoru da je poravna sa oruđem.

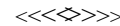
Informacija sa radara prikazuje se na displeju tipa laptop, a zatim prenosi na sistem za upravljanje vatrom.

Od ostalih radara, koje proizvodi ova kompanija, na upotrebi su radar Zoopark, za lociranje oružja, ugrađen na šasiju komandnog i izviđačkog guseničnog oklopnog vozila; zatim, prenosni borbeni izviđački radar FARA-1 s maksimalnim dometom od 4 km; prenosni borbeni izviđački radar CREDO-M1, s maksimalnim dometom od 30 km, i višenamenski radar za zemaljske ciljeve CREDO-1E.

Radar CREDO-1E najčešće se postavlja na tronožac i može da otkrije čoveka na udaljenosti do 15 km, ili tenk na udaljenosti do 40 km. Ovaj radar može se koristiti i za lociranje cilja na moru i korekciju artiljerijske vatre na dometima od 15 km.

Tokom ispitivanja radar CREDO-1E je uspešno izvršavao zadatke i iz balona i helikoptera, pa se može ugraditi i u sistem multisenzorske zaštite višeg nivoa.

M. K.



## **ZAŠTIĆENI RUČNI UHF RADIO-UREĐAJ\***

Indijska kompanija Bharat Electronics proizvela je novi zaštićeni ručni UHF radio-uređaj LUP 343. Njegov frekventni opseg je od 403 do 470 MHz, sa međukanalnim razmakom od 12,5/25 kHz i 16 utvrđenih kanala. Izrađen je sa visokim stepenom nespecificirane kriptografske zaštite, koja ima 32 utvrđena kriptoključa (programirana kompjuterski) i jedan za ručno unošenje.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, oktobar 2006.



Zaštićeni ručni UHF radio-uređaj LUP 343

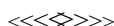
Radio-uređaj ima ugrađen mikrofon i zvučnik sa dodatnim interfejsom za čeonik i kriptovanje.

Komplet ima dimenzije 60×40×130 mm i masu 400 g, uključujući dopunjavajuće litijum-jonske baterije kapaciteta 1,5 Ah.

Radio-uređaj ima mogućnost selektivnog izbora, izlazne snage od 1 W i 5 W, a temperativni interval mu je -30° do +55° C.

Lup 343 je pandan zaštićenom VHF ručnom radaru LVP 333 koji je uveden u proizvodnju 2005. godine. Razlikuje se po tome što mu je frekventni opseg 30–88 MHz i ima 80 utvrđenih kanala. Njegove dimenzije su 72×45×212 mm, a masa 700 g, uključujući i baterije.

M. K.



## PROMOTIVNI LET HELIKOPTERA EH101 MERLIN\*

Helikopter visokih performansi Agusta Westland EH101 Merlin, opremljen novim krilima glavnog rotora izrađenim novom tehnologijom po programu BERP IV (British Experimental Rotor Programme), snažnijim turbo motorima i novim integrisanim sistemom kokpita, prvi put je poleteo 26. septembra 2006. godine u fabrici Yeovil. Kretao se brzinom od 135 čvorova, izvršavajući niz manevara s očekivanim rezultatima.

Tehnološki program BERP IV, koji su zajednički ustanovili Ministarstvo odbrane Velike Britanije i kompanija Agusta Westland, lansiran je sa sedam ključnih ciljeva koji obuhvataju: smanjenje nabavne cene; smanjenje cene životnog ciklusa; smanjenje vibracija rotora pri velikim i malim brzinama; poboljšanje lebdjenja i performansi leta; poboljšanje tolerancije štete; povećanje otpornosti na eroziju i smanjenje radarskog odraza.

Tehnološki program treba za sada da obezbedi tehnologiju za sledeću generaciju naprednih kompozitnih krila rotora što će, kako tvrde u kompaniji, biti znatno poboljšanje za ukupnu cenu i operativne mogućnosti helikoptera, uključujući i varijante EH101.

Snažniji motori General Electric CT7-8E, snage 1884 kW (527 KS) pri uzletanju obezbeđuju 12% više snage od prethodnih iz familije motora CT7, čime je povećana korisna nosivost za najmanje 907 kg u toplim danima i na velikim visinama.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.



*Probni helikopter US 101, opremljen najnovijim krilima glavnog rotora i motorima CT7-8E na svom prvom letu*

Nakon obimnog programa letova na probnoj letelici US101, uskoro se očekuje završetak razvojnih letova za motore CT7-8E.

Novi, potpuno integrisani namenski displej kokpita sadrži pet glavnih displeja LCD (liquid cristal display) 10×8 inča, koji daju posadi 70% veću zonu prikazivanja, bolje sistemske i namenske podatke, što povećava njihovu sposobnost upravljanja letom.

M. K.



## **MODERNIZACIJA RUSKIH BORBENIH VOZILA\***

Nova oružna stanica, kojom se upravlja električnim putem, naoružana dvostrukim topom 23 mm, montirana je spolja i predstavlja jedno od mnogih poboljšanja na višenamenskom guseničnom oklopnom vozilu MT-LB koja je izvršila ruska kompanija Muromteplovz.

Kada se koristi kao oklopni transporter MT-LB obično ima dvočlanu posadu (vozač i nišandžija) i može da prevozi još do 11 vojnika s opremom.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.

Ispitivanja su pokazala da MT-LB ima veoma dobre karakteristike pokretljivosti na zemljištu i da se njegove standardne gusenice, široke 350 mm, mogu zameniti gusenicama širine 565 mm radi upotrebe na marginalnim terenima. Vozilo je potpuno amfibijsko i na vodi se kreće sopstvenim gusenicama, brzinom 5–6 km/h.

Pored korišćenja za transport ljudstva, MT-LB može da služi i za niz specijalnih namena, uključujući komandna mesta, zatim kao nosač minobacača, inžinjerijsko vozilo, protivtenkovsko vozilo s vođenim raketama, nosač radara i kao platforma raketnih sistema PVO.

Osnovni MT-LB je normalno opremljen kupolom za jednog člana posade, koja je smeštena napred sa desne strane i naoružana mitraljezom 7,62 mm za potrebe samoodbrane. To oružje ima ograničenu efikasnost protiv mnogih ciljeva na bojištu.

Nova oružna stanica pozicionirana je iznad zadnjeg odeljenja za ljudstvo i naoružana je dvostrukim topom 23 mm, koji je prvobitno bio namenjen za vazduhoplovne aplikacije, čiji komplet municije čini 300 metaka spremnih za paljbu.

Sistem za stabilizaciju oružja po dve ose obezbeđuje veću preciznost pri gađanju iz pokreta.

Poboljšano vozilo ima oznaku MT-LB – varijanta 6MB, a verzija s topom 30 mm GSh-30K označena je kao varijanta 6MB4.

Uz to, sa desne strane ugrađen je koaksijalni mitraljez 12,7 mm s kompletom municije od 500 metaka, a sa leve strane montiran je automatski bacač granata 30 mm AG-30 sa 200 zrna municije. Kombinacija ovog naoružanja treba da bude efikasna ne samo protiv raznih ze-

maljskih ciljeva, već se dvostruki top 23 mm može koristiti i protiv sporih aviona i helikoptera.

Vozilo MT-LB – varijanta 6MB, zadržava svoj originalni dizel motor YaMZ-238VM koji razvija snagu od 176 kW i postiže maksimalnu brzinu oko 60 km/h.

Uz dvočlanu posadu ovo vozilo može da prevozi 8 vojnika sa opremom i da vuče oruđe ili prikolicu mase do 6,5 t.

Druga opcija opremljena je kupolom za jednu osobu (naoružanom topom 30 mm 2A72 sa 300 zrna municije) na zadnjoj ploči iznad odeljenja za vojnike i mitraljez 7,62 mm PKT montiran sa desne strane kupole i rezervom municije od 2000 zrna.

Dve kutije s trostrukim lanserima dimnih granata 81 mm, tipa 902B, zadržane su kao standardna oprema.

Verzija 6M1B2 je slična, ali je oružje stabilizovano.

Kompanija je razvila i verziju MT-LBM1 (varijanta 6M1B5) koja je sposobna da uništava širok spektar zemaljskih i vazdušnih ciljeva. Ona ima kupolu za jednog člana posade, naoružanu stabilizovanim dvocevnom topom 30 mm, kaksijalnim mitraljezom 12,7 mm i dvostrukim lanserom za ruske PA rakete Igla (princip lansiraj i zaboravi). U opremi su i automatski bacač granata 30 mm AG-17 i bacač dimnih granata 82 mm. Na prednjem delu na jarbolu je montiran stabilizovani dnevno-noćni nišan za poboljšano kružno osmatranje.

Originalni dizel motor YaMZ-238VM zamenjen je snažnijim YaMZ-238BL, koji razvija 228 kW i daje maksimalnu brzinu od 66 km/h. Moguća su po-

boljšanja za oslanjanje i odeljenje vozača. Druge poboljšane varijante MT-LB su:

- 6MA, s kupolom za jednog člana posade i mitraljezima 14,5 mm i 7,62 mm;
- 6MA1, kojem je pridodat automatski bacač granata 30 mm AG-17;
- 6MA2, naoružan dvostrukim topom 23 mm i mitraljezom 7,62 mm PKTM;
- 6MA4, kojem je pridodat automatski bacač granata 30 mm AG-17;
- 6M1A3, koji poseduje kupolu s mitraljezom 7,62 mm, automatski bacač granata 30 mm i četiri lansera za laserski vodene rakete Kornet (domet do 5000 m).

Kompanija proizvodi i kupole za jednu osobu za ugradnju na druga vozila, izvan serije MT-LB. Te kupole uključuju varijante:

- MB sa stabilizovanim topom 30 mm 2A72 i mitraljezom 7,62 mm PKTM;
- MB2 sa starijim topom 2A42, mitraljezom 7,62 mm PKT i automatskim bacačem granata 30 mm AG-17;
- MB3 sa stabilizovanim dvocevnim topom 23 mm GSh-23 (ili 30 mm GSh-30), mitraljez 12,7 mm i bacač granata 30 mm AG-30.

Kompanija Muromteplovoz razvila je, do faze prototipa, poboljšanja za druga gusenična vozila, uključujući oklopni transporter BTR-50 PK, laki ploveći tenk PT-76, tenkove T-55/T-62, borbena vozila pešadije BMP-1 i samohodni sistem PVO ZSU-23-4. Neka od tih poboljšanja usmerena su na naoružanje, a druga na zamenu zastarelih pogonskih podsistema novijim i pouzdanijim podsistemima.

Oklopni transporter BTR-50 PK oprema se novom kupolom za jednu osobu, koja je naoružana spolja montiranim topom 30 mm 2A42 sa kompletom od

300 zrna municije, koaksijalnim mitraljezom 7,62 mm sa 2000 metaka i automatskim bacačem granata 30 mm AG-17, koji je montiran spolja sa leve strane kupole. Sve osnovno naoružanje je stabilizovano. Standardnu opremu predstavlja ju i lanseri dimnih granata 82 mm.



*Poboljšani MT-LB sa dvocevnim topom 23 mm, mitraljezom 7,62 mm i bacačem granata 30 mm*

Originalni motor zamenjen je snažnijim četverotaktnim dizel motorom snage 220 kW, koji po putu razvija maksimalnu brzinu do 62 km/h, a na vodi 10,2 km/h.

Kompanija je razvila i poboljšanja za stari ploveći tenk PT-76, koji je imao kupolu za dva člana posade, naoružanu sa dva mitraljeza 7,62 mm, od kojih jedan koaksijalni uz top 76 mm. Ta stara kupola zamenjuje se novom sa automatskim topom 57 mm (borbeni komplet 72 zrna), koaksijalnim mitraljezom 7,62 mm i savremenim kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom.

Originalni motor V-6B zamenjuje se snažnijim i efikasnijim motorom (kao kod BTR-50 PK) koji radi u kompletu sa novom transmisijom (kao kod MT-LBM1).

Točkovi su sada novi, lakši, aluminijumski, a nove su i gusenice. Ugradnjom novog upravljača smanjen je zamor vozača. Tenk zadržava svoje amfibijske karakteristike, koje mogu i da se poboljšaju ugradnjom dodatne opreme, koja se postavlja iznad gusenica sa obe strane oklopnog tela.

M. K.



### *Uputstvo saradnicima*

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske 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 Republike Srbije.

Članak se dostavlja Redakciji na disketi ili CD-u (Times New Roman, srpska latinica, 12 pt, prored 1,5) i odštampan u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozima originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćena (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro račun banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

*REDAKCIJA*

*Tehničko uređenje*  
Zvezda Jovanović

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 324,00 dinara  
Tiraž 700 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)