

ISSN 0042-8469



4

UDC 623 + 355/359

---

GODINA LVII OKTOBAR-DECEMBAR 2009.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

DIREKCIJA  
ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

DIREKTOR

Pukovnik  
*Milan Crnoglavac*

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

*Načelnik*  
Potpukovnik  
mr *Aleksandar* Bukvić, dipl. inž.

GLAVNI UREDNIK REDAKCIJE VOJNIH ČASOPISA

Potpukovnik  
*Dragan* Hajduković  
e-mail: dragan.hajdukovic@mod.gov.rs

ODGOVORNI UREDNIK VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA

Potpukovnik  
mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž.  
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
tel.: 3006-023; 3201-493, vojni: 23-493

UREĐIVAČKI ODBOR

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

Sekretar redakcije  
*Zora* Pavličević  
e-mail: zora.pavlicevic@mod.gov.rs  
tel.: 3201-497, vojni: 23-497

Adresa redakcije:  
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,  
Balkanska 53, Beograd  
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs  
www.dibid.mod.gov.rs/casopisi.php  
http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469

Pretplata: e-mail: marketing.dibid@mod.gov.rs;  
tel.-fax: 3612-506; tekući račun: 840-19540845

*Rukopisi se ne vraćaju*

Časopis izlazi tromesečno

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b • vojna.stamparija@mod.gov.rs



# SADRŽAJ

## NAUČNI ČLANCI

Kozić S. <i>Mirko</i> Poređenje snage za jednu i dve kontrarotirajuće hidro turbine u Venturijevoj cevi – drugi deo .....	5–14
---	------

## STRUČNI ČLANCI

Ristić B. <i>Zoran</i> Ilić S. <i>Slobodan</i> Kari V. <i>Aleksandar</i> Karakteristike trzanja elektromagnetskog topa .....	15–25
Jevtović V. <i>Milojko</i> Pavlović Z. <i>Boban</i> Bezbednost i zaštita telekomunikacionih širokopojasnih ATM mreža .....	26–52
Dobratić S. <i>Predrag</i> Trifković R. <i>Dragan</i> Petrović O. <i>Živojin</i> Program ispitivanja i metodologija analize spektra vibracija brodske gasne turbine Proteus 52 m/558 .....	53–72
Anđelković-Lukić N. <i>Mirjana</i> Trokomponentne granulisane smeše na bazi heksogena, aluminijuma i polistirena kao flegmatizatora .....	73–80
Jovičić S. <i>Stevan</i> Prevenција otkaza elemenata strukture usled zamora uz pomoć laserskog bombiranja površine materijala .....	81–92
Jovanović B. <i>Snežana</i> Đurić S. <i>Aleksandar</i> Analiza štetnog uticaja vibracija na posadu u transportnim sredstvima Vojske Srbije .....	93–107
Radojević M. <i>Slobodan</i> Čurčić T. <i>Jovica</i> Tačnost i modernizacija globalnog pozicionog sistema .....	108–131
Muždeka R. <i>Slavko</i> 22. međunarodni naučno-stručni skup NAUKA I MOTORNA VOZILA 2009 .....	132–134
Pokorni J. <i>Slavko</i> 12. Međunarodna konferencija ICDQM 2009 .....	135–140
Međunarodni sajam naoružanja i vojne opreme PARTNER 2009 .....	141–151
<b>SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA</b>	
Modulami robotizovano sistem MILICA .....	152–153
Automatizovani protivoklopni sistem APOS .....	154–155
Daljinski upravljana laka oružna stanica DALOS .....	155–157
Izviđačko borbena vozilo KURJAK .....	158–160

# CONTENTS

## SCIENTIFIC PAPERS

Kozić S. *Mirko*

Comparison of power for one and two contra-rotating hydro turbines in a venturi tube – part two .....	5–14
---	------

## PROFESSIONAL PAPERS

Ristić B. *Zoran*

Ilić S. *Slobodan*

Kari V. *Aleksandar*

Recoil characteristics of an electromagnetic rail gun .....	15–25
---	-------

Jevtović V. *Milojko*

Pavlović Z. *Boban*

Security and protection in the broadband atm telecommunication networks .....	26–52
---	-------

Dobratić S. *Predrag*

Trifković R. *Dragan*

Petrović O. *Živojin*

The test programme and the methodology of analysing the vibrations spectrum of a proteus 52m/558 ship gas turbine .....	53–72
---	-------

Anđelković-Lukić N. *Mirjana*

Three-component granular mixtures on the basis of hexogen, aluminium and polystyrene as a binder .....	73–80
--	-------

Jovičić S. *Stevan*

Laser peening in preventing fatigue failures .....	81–92
--	-------

Jovanović B. *Snežana*

Đurić S. *Aleksandar*

Analysis of risks from crew exposure to vibrations in military transport ..	93–107
---	--------

Radojević M. *Slobodan*

Čurčić T. *Jovica*

Accuracy and modernization of the global positioning system .....	108–131
---	---------

Muždeka R. *Slavko*

22 <sup>nd</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PROFESSIONAL MEETING-SCIENCE AND MOTOR VEHICLES 2009 .....	132–134
--	---------

Pokorni J. *Slavko*

12 <sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ICDQM 2009 .....	135–140
--	---------

4 <sup>th</sup> International Fair of Defence System and Equipment PARTNER 2009 ....	141–151
--	---------

## MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

MILICA Modular Robotized System .....	152–153
---------------------------------------	---------

APOS Automated Anti Armour System .....	154–155
---	---------

DALOS Remotely Controlled Light Weapon Station .....	155–157
--	---------

KURJAK Reconnaissance Fighting Vehicle .....	158–160
--	---------

## POREĐENJE SNAGE ZA JEDNU I DVE KONTRAROTIRAJUĆE HIDRO TURBINE U VENTURIJEVOJ CEVI – DRUGI DEO

Kozić S. *Mirko*, Vojnotehnički institut – Sektor za vazduhoplove, Beograd

UDC: 621.438  
621.224-53

### Sažetak:

*U prvom delu rada izloženi su rezultati istraživanja koja daju priraštaj snage dobijen sa dve kontrarotirajuće hidroturbine u poređenju sa snagom jedne turbine, smeštene u Venturijevoj cevi, a koje se obrću sa  $n = 50$  o/min. Izvršena su istraživanja koja je trebalo da daju odgovor na pitanje da li se može dobiti veći priraštaj snage sa povećanjem broja obrtaja. U drugom delu rada prikazani su rezultati za jednu i dve kontrarotirajuće turbine pri najvećem broju obrtaja pri kojem se ne javlja kavitacija na lopaticama. Rezultati su dobijeni numeričkim simulacijama uz korišćenje softvera koji rešava usrednjene Navije-Stoksove jednačine.*

*Ključne reči: kontrarotirajuća hidroturbina, Venturijeva cev, kavitacija.*

### Uvod

U prvom delu rada prikazani su rezultati dobijeni na osnovu istraživanja koje je trebalo da pokaže koliki je priraštaj snage dve kontrarotirajuće turbine u poređenju sa snagom jedne turbine, postavljene u Venturijevoj cevi, koje se obrću sa  $n = 50$  o/min. S obzirom na to da je dobijen mali priraštaj snage koji bi opravdao postavljanje druge turbine, postavilo se pitanje da li se može povećati priraštaj snage sa povećanjem broja obrtaja. U drugom delu rada prikazani su rezultati istraživanja za jednu i dve kontrarotirajuće turbine u Venturijevoj cevi, pri najvećem broju obrtaja pri kojem ne dolazi do pojave kavitacije na lopaticama. Svi rezultati numeričkih simulacija dobijeni su softverom koji rešava usrednjene Navije-Stoksove jednačine.

U ovom delu prvo se približno određuje maksimalan broj obrtaja pri kojem neće doći do kavitacije, a zatim se analitičkim putem određuje optimalan rotor za tri različita broja lopatica u okviru preporučenog,

za odgovarajuću vrednost parametra brzine kraja lopatice. Numeričkim simulacijama određuje se sa kojim brojem lopatica jedna turbina daje najveću snagu, a zatim se ovaj broj lopatica koristi i za drugu turbinu. Numeričkim simulacijama u više iteracija određuje se konstruktivni ugao nagiba i ugao uvijanja duž kraka lopatice druge turbine, sve dok se ne dobije najveća snaga koju zajedno daju prednja i zadnja turbina, vodeći pri tome računa da nema uslova za pojavu kavitacije ili otcepljenja struje.

## Određivanje maksimalnog broja obrtaja turbine

Pri povećanju broja obrtaja turbine raste brzina kojom fluid struji oko lopatica, odnosno opada pritisak. Ako vrednost pritiska opadne ispod pritiska isparavanja na temperaturi vode, dolazi do takozvanog hladnog ključanja i stvaranja parnih mehurova, odnosno dolazi do pojave koja se naziva kavitacija. Kavitacija izaziva vibracije i oštećenje materijala, takozvanu kavitacijsku eroziju. Zbog toga se mora ograničiti maksimalan broj obrtaja turbine, koji se određuje iz uslova da ne dođe do pojave kavitacije.

Ako pritisak pri kojem se pojavljuje kavitacija na lopatici označimo sa  $p_k$ , atmosferski pritisak sa  $p_a$ , gustinu fluida sa  $\rho$ , ubrzanja Zemljine teže sa  $g$  i dubinu na kojoj se nalazi turbina sa  $H$ , brzina pri kojoj dolazi do kavitacije data je kao:

$$V_k \approx \sqrt{\frac{2(p_a - p_k)}{\rho} + 2gH} \quad (1)$$

Iz jed. (1) vidi se da će ova brzina biti veća što je niži pritisak pri kojem dolazi do kavitacije, a dubina veća. U tabeli 1 date su vrednosti pritiska pri kojem dolazi do ključanja vode u zavisnosti od temperature. Vidi se da pritisak kavitacije opada sa temperaturom vode, odnosno što je manja temperatura vode potreban je niži pritisak da bi došlo do ključanja, a to znači da će biti potrebna veća brzina fluida oko lopatice, a samim tim i veći broj obrtaja.

Tabela 1

Zavisnost pritiska ključanja vode od temperature

t (°C)	5	10	20	30
$p_k$ (Pa)	871,9	1227,7	2337	4241

Brzina kavitacije za razmatranu turbinu određena je pod uslovima da se ona nalazi na dubini  $H = 5$  m, i da je temperatura vode  $t = 15^{\circ}\text{C}$ . Za-  
menom u jed. (1) dobija se:

$$V_k \approx \sqrt{\frac{2 \cdot (101325 - 1782)}{998,2} + 2 \cdot 9,81 \cdot 5} = 17,25 \text{ m/s}$$

Sa druge strane, u blizini površine lopatice turbine, najveća vrednost  
brzine fluida približno je dva puta veća od brzine usled rotacije lopatice.

Kako se najveća brzina usled rotacije javlja na vrhu lopatice, iz uslo-  
va da je brzina kavitacije jednaka dvostrukoj vrednosti obimne brzine vr-  
ha lopatice

$$V_k = 2 \cdot (\Omega R) \quad (2)$$

dobija se maksimalna ugaona brzina

$$\Omega_{\max} = \frac{V_k}{2 \cdot R} \quad (3)$$

čija vrednost je  $\Omega_{\max} = 13,27$  rad/s.

Maksimalni broj obrtaja turbine, dobija se iz:

$$n_{\max} = \frac{30\Omega}{\pi}, \quad (4)$$

a vrednost mu je  $126,8$  o/min.

Sa druge strane, uobičajeno je da se maksimalna vrednost obimne  
brzine na turbini ograničava na  $7$  m/s, što bi za razmatranu turbinu dalo  
broj obrtaja  $102,9$  o/min. Kako dubina vode i njena temperatura mogu da  
se promene, to je, zbog sigurnosti da ne dođe do kavitacije, za maksi-  
malni broj obrtaja usvojeno  $n_{\max} = 100$  o/min.

Za usvojeni maksimalni broj obrtaja, odnos brzine vrha lopatice  $\lambda$   
ima vrednost:

$$\lambda = \frac{10,47 \cdot 0,65}{6,14} = 1,11$$

## Oblik lopatice za optimalan rotor

U tabeli 2 u kojoj je data zavisnost preporučenog broja lopatice od odnosa brzine vrha lopatice, može se videti da za broj obrtaja  $100^\circ/\text{min}$ , optimalan rotor treba da ima između 6 i 12 lopatica, pa je sproveden sličan postupak kao u [1], da se odredi oblik lopatica optimalnog rotora sa 6, 9 i 12 lopatica.

Tabela 2

Preporučeni broj lopatica turbine

$\lambda$	B
$\lambda \leq 1$	$8 \div 24$
$1 < \lambda \leq 2$	$6 \div 12$
$2 < \lambda \leq 3$	$3 \div 6$
$3 < \lambda \leq 4$	$3 \div 4$
$\lambda > 4$	$1 \div 3$

Parametri geometrije lopatice optimalnog rotora određeni su u 12 preseka, a rezultati su izloženi u tabeli 3.

Tabela 3

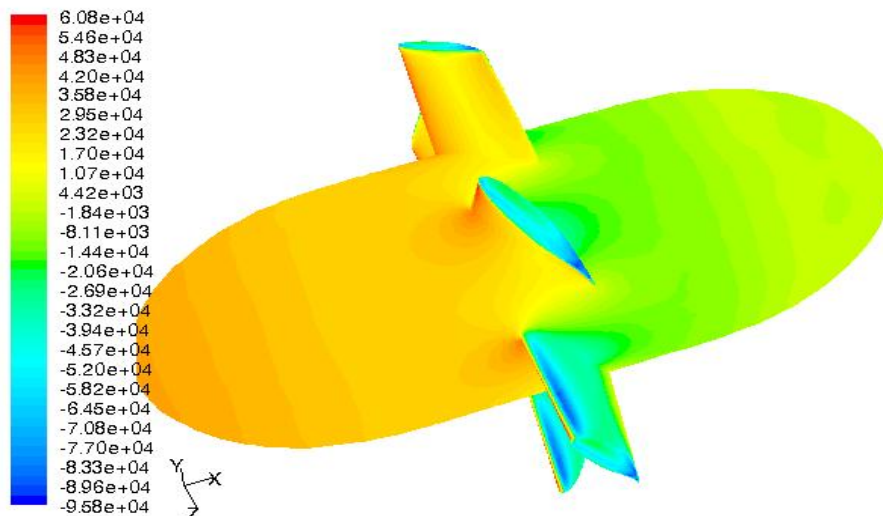
Geometrija lopatice optimalnog rotora

n=100 o/min $\lambda=1,11$ R=0,65 m						
R/R	$\varphi$	$\theta_P$	$\theta_T$	c (m)		
				B=12	B=9	B=6
1	28,01	23,61	0	0,159	0,213	0,319
0,977	28,45	24,05	0,44	0,161	0,214	0,321
0,931	29,37	24,97	1,36	0,163	0,217	0,326
0,884	30,36	25,96	2,35	0,165	0,220	0,330
0,838	31,38	26,98	3,37	0,167	0,227	0,334
0,792	32,45	28,05	4,44	0,168	0,225	0,337
0,746	33,58	29,18	5,57	0,169	0,226	0,339
0,700	34,76	30,36	6,75	0,170	0,227	0,340
0,653	36,04	31,64	8,03	0,170	0,227	0,340
0,608	37,32	32,92	9,31	0,169	0,226	0,339
0,562	38,69	34,29	10,68	0,168	0,224	0,336
0,538	39,43	35,03	11,42	0,167	0,222	0,333

Promena ugla uvijanja duž razmaha lopatice skoro je linearna, pa je u numeričkoj simulaciji rađeno sa linearnom promenom ugla uvijanja duž razmaha. Promena dužine tetiva aeroprofila lokalnih preseka duž razmaha lopatice još je manja u poređenju sa  $n = 50^\circ/\text{min}$ , pa je u numeričkoj simulaciji rađeno sa tetivom konstantne dužine.

## Numerička simulacija strujanja sa jednom turbinom

Vrednosti snage koju daje turbina sa optimalnim rotorom i različitim brojem lopatica predstavljene su u tabeli 4. Na slici 1 prikazana je raspodela pritiska na lopaticama i glavčini turbine sa 6 lopatica.



Slika 1 – Raspodela pritiska na donjakama, lopaticama i glavčini turbine sa 6 lopatica

Snaga za različit broj lopatica

Tabela 4

Konstruktivni ugao nagiba u korenu $\theta_P = 35,03^\circ$	Broj lopatica B		
	6	9	12
P (kW)	95,7	118,4	120,1

Najveću snagu dala je turbina sa 12 lopatica i sa tim brojem lopatica rađene su sve ostale numeričke simulacije.

Ponovo je proveravano da li maksimalna snaga dobija pri nominalnom konstruktivnom uglu nagiba. Provera je započeta simulacijom strujanja sa konstruktivnim uglom nagiba u korenu koji je bio za  $2^\circ$  manji od nominalnog. Kako je dobijena veća snaga od snage pri nominalnom uglu

nije bilo potrebe da se proveravaju uglovi veći od nominalnog, jer je bilo jasno da maksimalna snaga mora da se dobije za ugao koji je manji od nominalnog. Numerička simulacija izrađena je za dodatna četiri slučaja, a vrednosti dobijene snage prikazane su u tabeli T-5.

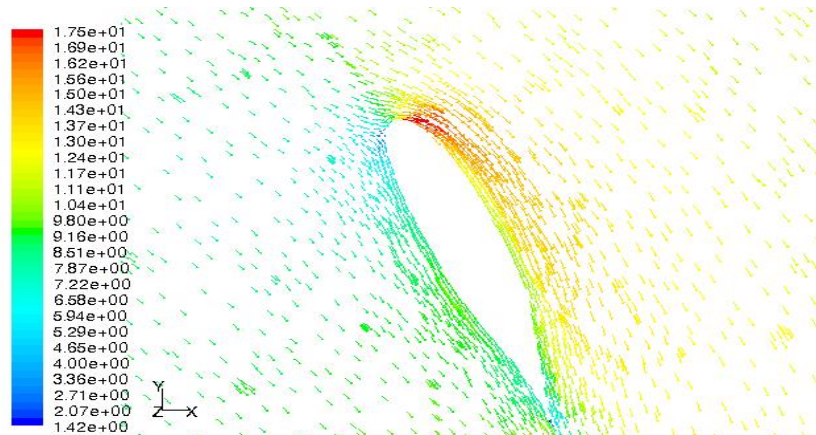
Iz tabele se vidi da snaga dostiže svoj maksimum pri konstruktivnom uglu nagiba koji je za  $5^{\circ}$  manji od nominalnog. Međutim, analiza polja brzina oko lopatica pokazuje da su ispunjeni uslovi za nastanak kavitacije već pri konstruktivnom uglu nagiba koji je za  $2^{\circ}$  manji od nominalnog (slika 2), pa je kao merodavna zadržana geometrija sa nominalnim konstruktivnim uglom nagiba, i sa njom je rađena turbina sa dva kontrarotirajuća rotora pri  $n = 100$  o/min.

Tabela 5

Snaga za promenu konstruktivnog ugla nagiba oko nominalnog

Broj lopatica B = 12	Konstruktivni ugao nagiba u korenu	nominalan	nomin. $-2^{\circ}$	nomin. $-3^{\circ}$	nomin. $-5^{\circ}$	nomin. $-10^{\circ}$
		P (kW)	120,1	125,6	129,3	<b>137,9</b>

Na slici 2 prikazana je raspodela pritiska na donjakama lopatica za konstruktivni ugao nagiba koji je za  $2^{\circ}$  manji od nominalnog.



Slika 2 – Vektori relativne brzine u preseku blizu vrha lopatice, čiji konstruktivni ugao nagiba je za  $2^{\circ}$  manji od nominalnog

Na slici 2 vidi se da brzina na napadnoj ivici prelazi graničnu vrednost pri kojoj dolazi do kavitacije.



## Numerička simulacija sa dve kontrarotirajuće turbine

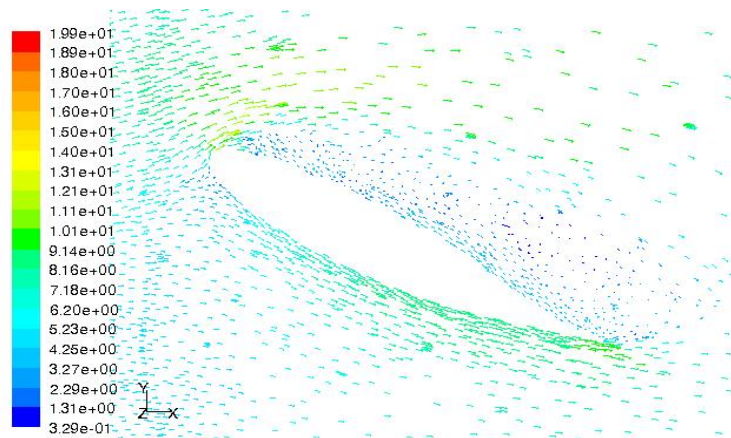
U sledećoj fazi istraživanja rađena je numerička simulacija strujanja za dve kontrarotirajuće turbine sa po 12 lopatica. Geometrija prve turbine ostala je nepromenjena, dok su za drugu u nekoliko iteracija (numeričkih simulacija) traženi konstruktivni ugao nagiba u korenu i ugao uvijanja lopatice, tako da se dobije najveća zbirna snaga, uz uslov da ne dođe do kavitacije ili otcepljenja struje. Ovde je bilo potrebno 6 numeričkih simulacija, da bi se dobila najveća zbirna snaga, uz zahtevane uslove, a rezultati su dati u tabeli T-6.

Tabela 6

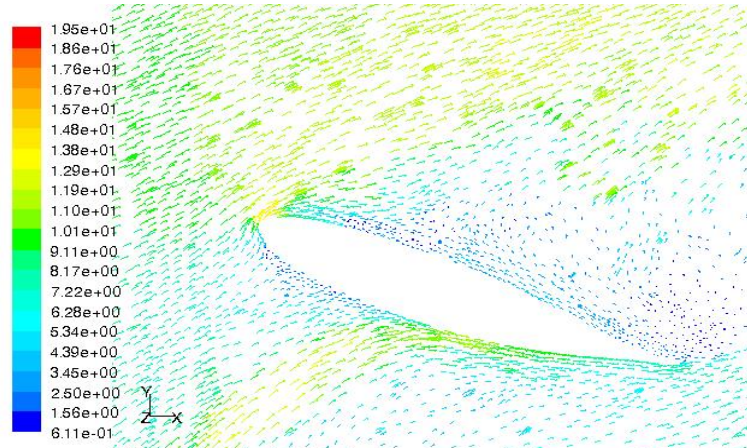
Rezultati numeričke simulacije za dve kontrarotirajuće turbine

Slučaj	1	2	3	4	5	6
Konstruktivni ugao nagiba	50°	90°	82°	80°	78°	74°
Ugao uvijanja	20°	50°	62°	60°	72°	72°
Snaga prednje turbine (kW)	102,8	108,9	108,7	110,3	109,2	111,0
Snaga zadnje turbine (kW)	-70,8	56,5	56,5	49,8	61,7	58,7
Ukupna snaga obe turbine	32,0	165,4	165,2	160,1	170,9	169,7

U prvom slučaju traženi uglovi bili su daleko od optimalnih, tako da je dobijena negativna vrednost za snagu, što znači da bi u ovom slučaju turbina predavala energiju fluidu, umesto da je dobija. Strujna slika je pokazala, slika 3a i 3b, da dolazi do velikog otcepljenja na donjakama aeroprofila preseka duž kraka lopatice.



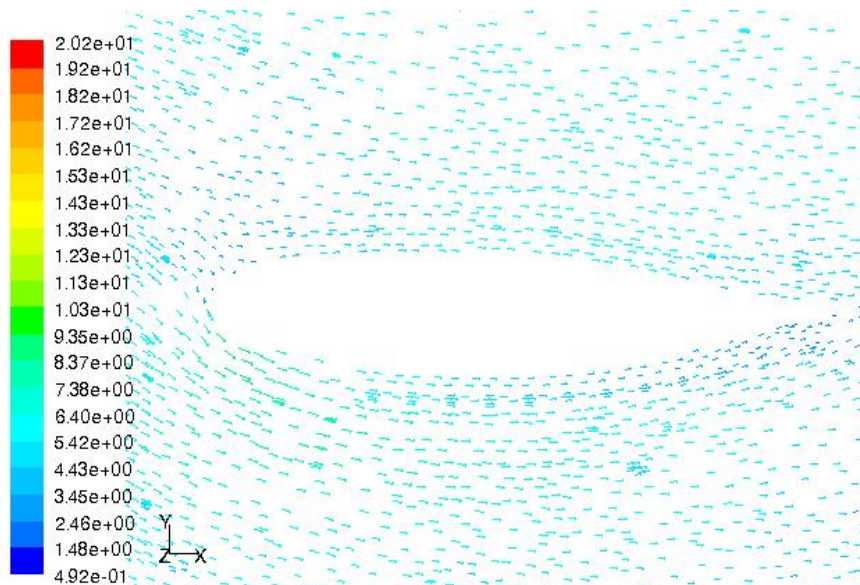
a)



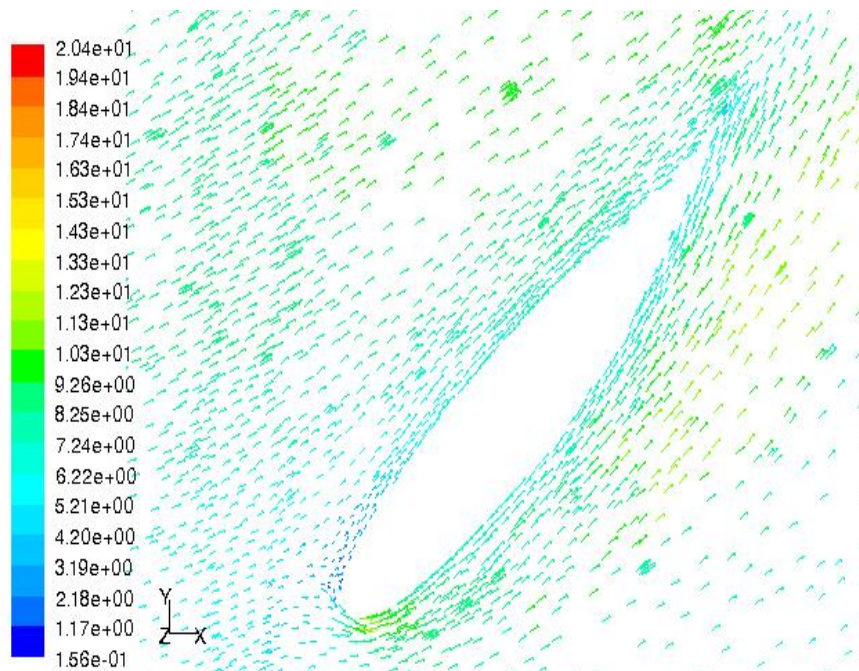
b)

Slika 3 – Vektori relativne brzine: a) u preseku na sredini razmaha b) i u preseku blizu vrha lopatice za slučaj 1

Slučajevi 5 i 6 predstavljaju fino podešavanje konstruktivnog ugla nagiba u korenu lopatice i ugla uvijanja duž razmaha lopatice. Slučaj 6 je traženo rešenje jer daje najveću ukupnu snagu, a da se nigde na lopatici ne javlja kavitacija ili otcepljenje struje. Na slici 4a) i 4b) prikazani su vektori relativne brzine za dva preseka lopatice, u korenu i blizu vrha, za slučaj 6.



a)



b)

Slika 4 – Vektori relativne brzine u presecima: a) u korenu, b) i blizu vrha lopatice, za slučaj 6

U tabeli 7 data je uporedo snaga za jednu i dve kontrarotirajuće turbine u Venturijevoj cevi za broj obrtaja  $n = 100$  o/min.

Tabela 7

Snaga za jednu i dve kontrarotirajuće turbine u Venturijevoj cevi

BROJ OBRTAJA $n$ (o/min)	SNAGA $P$ (W)	
	JEDNA TURBINA	DVE TURBINE
100	120164	169665

Upoređujući vrednosti snage dobijene numeričkom simulacijom strujanja vidi se da dve kontrarotirajuće turbine daju za 41% veću snagu u odnosu na jednu turbinu.

## Zaključak

Ovde je određen priraštaj snage koji daju dve kontrarotirajuće turbine, u poređenju sa jednom turbinom, smeštene u Venturijevoj cevi, za maksimalni broj obrtaja pri kojem neće doći do kavitacije. Prvo je izračunat taj broj obrta-

ja i dobijena je vrednost  $n = 100$  o/min. Zatim je analitičkim putem određen optimalan rotor za tri različita broja lopatica u okviru preporučenog, za vrednost parametra brzine kraja lopatice  $\lambda = 1,11$ . Numeričkim simulacijama prvo se određuje za koji broj lopatica jedna turbina daje najveću snagu, a zatim se ovaj broj lopatica koristi za drugu turbinu. Numeričkim simulacijama u više iteracija određuje se postavni ugao i ugao uvijanja druge turbine, sve dok se ne dobije najveća snaga koju zajedno daju prednja i zadnja turbina, vodeći pri tome računa da ne dođe do kavitacije ili otcepljenja struje.

Pri maksimalnom broju obrtaja dve kontrarotirajuće turbine daju za 41% veću snagu u odnosu na jednu turbinu, tako da opet ostaje pitanje tehničke opravdanosti ovakve konstrukcije.

Ovaj rad jasno pokazuje veliku korist od primene CFD metoda, posebno u početnim fazama projektovanja, kada je od velikog broja varijanti potrebno izdvojiti one koje najbolje ispunjavaju zadate zahteve. Na taj način znatno se skraćuje vreme projektovanja i štedi novac, jer za eksperimentalnu proveru ostaju samo rešenja koja su blizu optimalnog.

### Literatura

[1] Kozić, M., Poređenje snage za jednu i dve kontrarotirajuće hidro turbine u Venturijevoj cevi I deo, Vojnotehnički glasnik, br. 2/2009.

[2] Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., Wind Energy Explained, John Wiley & Sons, 2002.

### COMPARISON OF POWER FOR ONE AND TWO CONTRA-ROTATING HYDRO TURBINES IN A VENTURI TUBE – PART TWO

#### Summary:

*In the first part of the paper, the results of the research are presented, giving the increment of the power obtained with two contra-rotating hydro turbines, compared to one turbine, placed in a Venturi tube and rotating at 50 rpm. Since a small increment of power is obtained, research was carried out in order to give an answer to the question whether a larger increment of power could be obtained by increasing a number of revolutions per minute. In the second part of the paper, the results are shown for one and two contra-rotating turbines at the highest revolution at which no cavitation appears on the blades. The results are obtained with numerical simulations using software for solving Navier-Stokes equations.*

Key words: *contra-rotating hydro turbine, Venturi tube, cavitation.*

Datum prijema članka: 09. 12. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 02. 03. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 09. 03. 2009.

## KARAKTERISTIKE TRZANJA ELEKTROMAGNETSKOG TOPA

Ristić B. Zoran,  
Ilić S. Slobodan, Kari V. Aleksandar, Vojna Akademija – Katedra  
vojnih mašinskih sistema, Beograd

UDC: 623.421:621.318.3

### Sažetak:

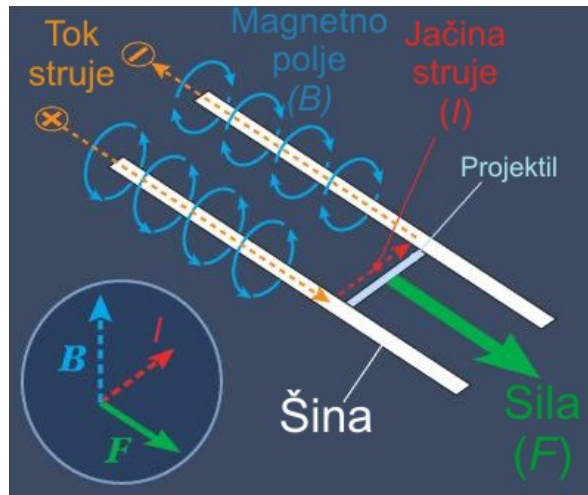
*U radu je razmatrano trzanje elektromagnetskog šinskog topa i upoređeno sa trzanjem konvencionalnog topa sa barutnim punjenjem. Zaključuje se da je kod elektromagnetskog topa trzanje manje nego kod topa sa barutnim punjenjem. Takođe, pokazano je da pri istim uslovima lansiranja upotreba gasne kočnice topa sa barutnim punjenjem može izmeniti karakteristike trzanja i više ih približiti ponašanju elektromagnetskog topa.*

*Ključne reči: elektromagnetski top, trzanje, top sa barutnim punjenjem, gasna kočnica.*

## Uvod

Interesovanje za elektromagnetsko ubrzavanje i lansiranje projektila postoji preko 80 godina. Prvi rezultat praktične vrednosti objavljen je 1970. godine na Nacionalnom univerzitetu Australije. Iz realizovanog prototipa elektromagnetskog topa telo mase 3 g ispaljeno je brzinom 5900 m/s. Posle 1980. godine firma Westinghouse realizuje elektromagnetski lanser kojim je projektil mase 317 g lansiran brzinom 4200 m/s. Ovaj eksperiment ima veću značajnu praktičnu vrednost, jer masa lansiranog projektila može da se uporedi sa masom potkalibarnog projektila klasičnog topa sa barutnim punjenjem kalibra 35 mm.

Na programima primene električne energije u elektromagnetskim lanserima koji mogu da realizuju hiperbrzine i hiperenergije lansiranja radi se i u drugim zemljama: Velikoj Britaniji, Nemačkoj, Izraelu, Kanadi, SAD i dr. U poslednjih 10 do 15 godina savremena istraživanja usmerena su na usavršavanje dva moguća rešenja: elektromagnetske topove sa cevnim lanserom i elektromagnetske topove sa šinskim lanserom.



Slika 1 – Šinski elektromagnetski top

U ovom radu razmatraju se samo jednostavni šinski elektromagnetski topovi čija je principijelna šema prikazana na slici 1. Oni imaju dve paralelne međusobno izolovane provodničke šine koje se protežu čitavom dužinom lansera. Projektil se ubrzava Lorencovom silom  $F_L$  koja se razvija iz međusobnog uticaja magnetnog polja formiranog oko šina (zbog strujnog toka kroz jednu i drugu šinu) i struje koja prolazi kroz armaturu.

U šinskom lanseru veličina ove sile definisana je relacijom (1):

$$F_L = \frac{LI^2}{2} \quad (1)$$

gde su:

$L, \frac{\mu H}{m}$  – induktivnost po jedinici dužine šine čije su karakteristične vrednosti  $0,35 \div 0,55 \mu H / m$ ,

$I, A$  – jačina struje.

Lorencova sila  $F_L$  nije konstantna duž šinske strukture i pojava „skin“ efekta mora se uzeti u obzir. Ako se pretpostavi da je jačina struje konstantna, ubrzanje projektila mase  $m_p$  je:

$$a_p = \frac{LI^2}{2m_p} \quad (2)$$



Brzina projektila duž elektromagnetskog akceleratora je tada:

$$v_p = \frac{LI^2}{2m_p} t \quad (3)$$

gde je  $t$  – vreme kretanja projektila.

Princip funkcionisanja elektromagnetskog šinskog topa je jednostavan [1], ali je u praksi potrebna jednosmerna struja velike jačine (veće od 4 MA), zbog čega je nužan snažan električni izvor. Tako, na primer, da bi se projektilu mase 1 kg saopštila kinetička energija od 4,5 MJ, koja je neophodna za dobijanje brzine od 3000 m/s (kao što je slučaj sa ispaljivanjem strelastog potkalibarnog projektila 90 mm iz klasičnog topa) potrebna je snaga od 2 GW. To je izuzetno velika snaga za realizaciju borbenog sredstva podobnog za operativnu upotrebu.

Problemi su još izraženiji ako se želi realizacija elektromagnetskog šinskog topa koji bi po performansama odgovarao tenkovskom klasičnom topu 125 mm čija je masa projektila 8 kg, brzina 2500 m/s, a dužina cevi 6,25 m. Pod uslovom da je ubrzanje konstantno, a vreme ubrzavanja projektila u cevi 5  $\mu$ s potrebna sila za ubrzanje je 4 MN. Konverzija mehaničke energije u električnu vrši se pomoću unipolarnih generatora, tj. mašina jednosmerne struje malog napona. Ovi generatori akumuliraju energiju dobijenu od termičkog motora, a kada se priključe proizvode kratke impulse velikog intenziteta koji su neophodni za funkcionisanje elektromagnetskog šinskog akceleratora.

Strujni tok može se obezbediti iz pogodnog pulsirajućeg energetskog sistema i na drugi način (na primer, grupa kondenzatora, akumulatorski redno povezan induktor i sl.). Karakteristika gradijenta induktivnosti je obično  $L = const$ , a jačina struje  $I$  je vremenski promenljiva veličina, zavisno od karakteristika energetskog sistema koji se koristi. Pošto je strujni tok u šinama u stalnoj interakciji sa magnetnim poljem, razvija se znatna reaktivna (odbojna) sila koju mora da izdrži konstrukcija elektromagnetskog lansera.

Za funkciju elektromagnetskog šinskog topa, pored obezbeđenja vrlo jakih izvora električne snage, bitno je da se, zbog smanjenja velike erozije šina, što više skрати vreme dejstva „plazme“ na šine. Erozijska šina je veliki problem šinskih topova, od čijeg uspešnog rešenja zavisi da li će se dobiti borbeni sistem prihvatljivog veka trajanja. Treba ukazati i na teškoće u vezi sa rešenjem komutatora unipolarnog generatora, pa se čine napori da se unipolarni generator zameni monofaznim alternatorom.

Nezavisno od toga kakav će se uređaj ili sistem koristiti za pretvaranje mehaničke energije u električnu, elektromagnetski šinski topovi imaju značajne prednosti u odnosu na klasične koncepcije topova. Ove prednosti ogledaju se u sledećem:

- projektili elektromagnetskih šinskih topova su manjih dimenzija i mase u odnosu na klasične projekte sa čaurom,

- udarna energija projektila elektromagnetskih šinskih topova na jedinici površine cilja je veća, pa su sredstva efikasnija u protivoklopnoj borbi,
- zbog izmenjene koncepcije projektila, konstrukcija zadnjaka, zatvarača sa izbacračem čaura, kao i automatskog punjača znatno se pojednostavljuje,
- pošto nema dejstva ističućih barutnih gasova (reaktivna sila pritiska na dno cevi) trzanje je veoma malo, pa nema ni potrebe za ugradnjom protivtrzajućeg uređaja,
- nema štetnog dejstva udarnog talasa, bleska i dima koji obično prate ispaljivanje klasičnih projektila.

Iako je još rano da se govori o svim prednostima i nedostacima elektromagnetskih topova, do sada su uočeni sledeći nedostaci:

- intenzivno elektromagnetsko zračenje, koje protivnik može lako da otkrije, javlja se čak i pre lansiranja prvog projektila,
- do termičkog zračenja elektromagnetskih šinskih topova može doći i pre lansiranja prvog projektila,
- potrebna je dodatna zaštita posade – posluge od navedenih štetnih zračenja.

U dostupnoj literaturi postoji relativno mali broj stručnih radova o elektromagnetskim topovima, pa je svako novo saznanje i objavljeni materijal o ovom problemu interesantan i dragocen.

## Trzanje topa

Kod topova sa barutnim punjenjem sila ubrzanja projektila obezbeđuje se visokim pritiskom barutnih gasova koji nastaju sagorevanjem barutnog punjenja za vreme opaljenja. Reaktivno dejstvo pritiska barutnih gasova ne prenosi se na zadnjak sa zatvaračem stvarajući silu trzanja  $P_{kn}$ . Integral po vremenu ove sile je impuls trzanja  $I_t$  i za top sa barutnim punjenjem jednak je količini kretanja projektila i barutnih gasova na ustima cevi. Prema tome, može se napisati relacija:

$$I_t = \int_0^{t_k} P_{kn} dt = (m_p + \beta m_b) v_0 \quad (4)$$

gde su:

- $P_{kn}$  – sila trzanja (rezultujuća sila na dno kanala cevi),
- $m_p, m_b$  – masa projektila i barutnog punjenja,
- $t_k$  – vreme ukupnog dejstva sile trzanja na cev,
- $\beta$  – koeficijent naknadnog dejstva barutnih gasova.



Relacija (4) važi za tzv. slobodno trzanje cevi, tj. kretanje cevi unazad za vreme opaljenja usled reaktivne sile pritiska barutnih gasova bez sila otpora kretanju ili kočenja kretanja usled dejstva protivtrzajućeg uređaja.

U slučaju elektromagnetskog topa nema ni zadnjaka sa zatvaračem ni barutnih gasova, pa je impuls trzanja jednostavno jednak količini kretanja projektila na ustima cevi  $I_t = m_p v_0$ . U vezi s tim nameće se pitanje – kako je primenjena i gde postoji sila trzanja?

Činjenica da na osnovu prvog principa mehanike elektromagnetski topovi trzaju dokazana je merenjem utvrđenog elektromagnetskog topa u balističko klatno [2]. Prema mišljenju Vitalisa (Witalis) [2] sila trzanja prenosi se u samim delovima šina i malog je intenziteta. Maršal (Marshall) i Vud (Wood) [3] osporavaju njegove tvrdnje da se sila trzanja kod elektromagnetskih topova može zanemariti i uzimaju da ona postoji i održava se u provodničkim šinama čitavom dužinom lansera. Jasno je da provodničke (radne) šine koje povezuju strujno kolo i top unose znatno opterećenje u sistem, pa je neophodno da se eksperimentalna merenja izvrše vrlo pažljivo i pouzdanije definiše mesto dejstva sile trzanja. U tom smislu njihovo gledište je korektnije i za dalje analize prihvatljivije.

Radi uporedne analize sa topom klasične konstrukcije sa barutnim punjenjem impuls trzanja je određen kao suma količine kretanja projektila i isticanja barutnih gasova na ustima cevi [3]:

$$I_t = m_p v_0 + m_b \sqrt{RT_0} \cdot \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{3}{2}} \left[ 1 + (\kappa + 1) \frac{m_b}{12 \kappa m_p} \right] \quad (5)$$

$$RT_0 = RT_a - 0,26 \left( \frac{1}{6} + \frac{4m_p}{7m_b} \right) v_0^2 \quad (6)$$

gde su:

$R$  – gasna konstanta,

$\kappa$  – odnos specifičnih toplota i

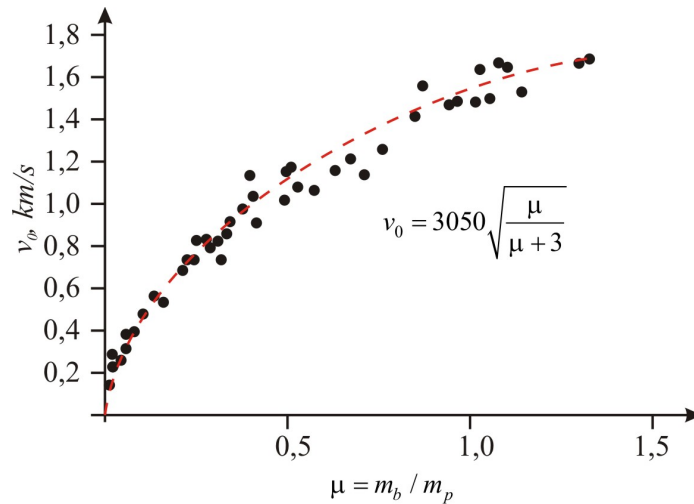
$T_a, T_0$  – adijabatska temperatura i srednja temperatura gasa na izlazu iz cevi.

S obzirom na relaciju (4) trend rasta impulsa trzanja sa brzinom na jednostavan način može se utvrditi preko zavisnosti brzine na ustima cevi i relativnog odnosa mase punjenja i projektila, čiji je oblik [3]:

$$v_0 = 3050 \sqrt{\frac{\mu}{\mu + 3}} \quad (7)$$

gde je  $\mu = \frac{m_b}{m_p}$  – odnos mase barutnog punjenja i projektila.

Grafički prikaz uzajamnih odnosa prema (7) dat je na slici 2.



Slika 2 – Brzina u funkciji odnosa masa

Koristeći relaciju (7) posle sređivanja članova jednačine (5) i (6) mogu se sada napisati u pogodnijem obliku radi proračuna i poređenja sa impulsom trzanja za elektromagnetski top.

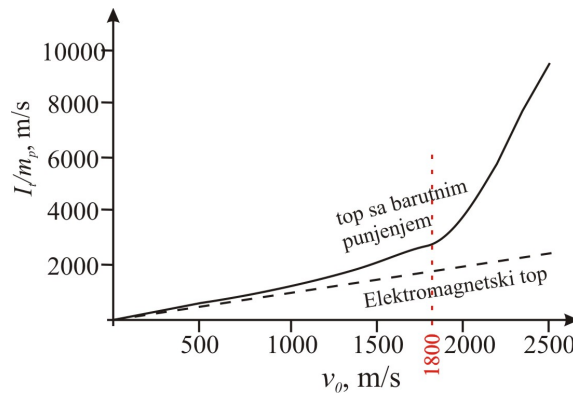
$$\frac{I_t}{m_p} = 3050 \sqrt{\frac{\mu}{\mu+3}} + \mu \sqrt{RT_0} \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left[1 + (\kappa+1) \frac{m_b}{12\kappa m_p}\right] \quad (8)$$

$$RT_0 = RT_a - 2,4 \left(\frac{1}{6} + \frac{4}{7\mu}\right) \frac{\mu}{\mu+3} \quad (9)$$

Kao primer proračuna odgovarajućih veličina i impulsa trzanja uzet je top kalibra 20 mm, čiji projektil koristi barut oznake WC870. Za ovaj slučaj usvojene vrednosti ostalih veličina su:  $R = 365,5 \text{ m}^2 / \text{Ks}^2$ ,  $T_a = 2577 \text{ K}$  i  $k = 1,25$ .

Promena odnosa impulsa za top 20 mm sa barutnim punjenjem je numerički određena i prikazana na slici 3, a zatim upoređena sa promenom odnosa impulsa za elektromagnetski top prema:

$$\frac{I_t}{m_p} = v_0 \quad (10)$$

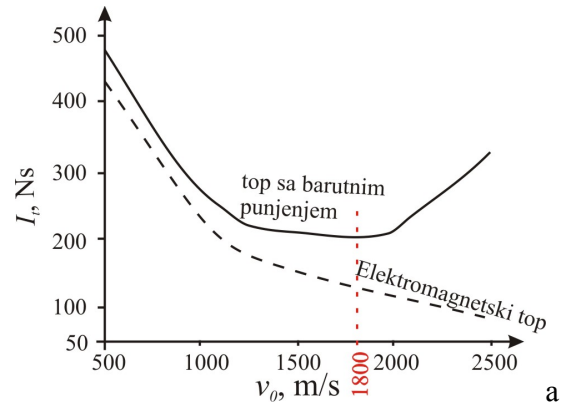


Slika 3 – Odnos impulsa trzanja i brzine

Odnos prema relaciji (10) u stvari predstavlja impuls trzanja koji se saopštava elektromagnetskom topu pri opaljenju sa konstantnom lansiranom masom. Može se videti, prema slici 3, da su impulsi trzanja topa sa barutnim punjenjem i elektromagnetskog topa vrlo slični pri manjim brzinama, a da preko  $v_0 = 1800 \text{ m/s}$  impuls trzanja klasičnog topa naglo raste sa porastom mase barutnog punjenja.

Često se procena impulsa trzanja simulira preko više brzina lansiranja projektila koje treba da obezbede konstantnu energiju  $E_u$  na ustima cevi.

Ponašanje elektromagnetskog topa ukazuje na činjenicu da je impuls trzanja promenljiv kao energija podeljena sa brzinom. Ranije je utvrđeno da je impuls sile trzanja topa sa barutnim punjenjem sličan kao impuls sile trzanja kod elektromagnetskog topa (do brzine od  $v_0 = 1800 \text{ m/s}$  počinje brzo da raste). Međutim, u slučaju konstantne energije ovaj porast impulsa je blaži usled smanjenja lansirane mase i mase punjenja kada brzina raste (slika 4).



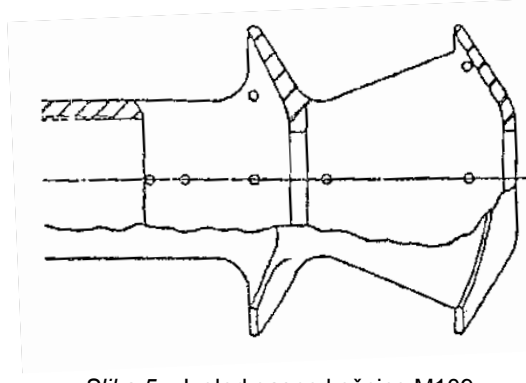
Slika 4 – Odnos impulsa u slučaju  $E_u = const$

Pošto su topovi sa barutnim punjenjem klasične koncepcije obično snabdeveni gasnom kočnicom, to za razliku od elektromagnetskih topova postoji mogućnost smanjenja impulsa trzanja usled dejstva gasne kočnice.

## Uticaj gasne kočnice

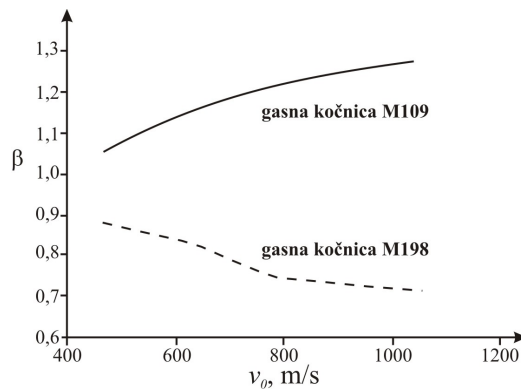
Gasna kočnica, kao gasni uređaj na ustima cevi, odbija izlazne barutne gasove kroz odgovarajuće površine bočnih otvora, stvarajući silu kočenja u aksijalnom smeru. Postoji više vrsta i tipova gasnih kočnica sa različitim stepenom iskorišćenja energije izlazne struje barutnih gasova, odnosno koeficijenta korisnog dejstva.

Na slici 5 prikazana je gasna kočnica M109 velike efikasnosti koja je primenjena na samohodnoj haubici 155 mm.



Slika 5 – Izgled gasne kočnice M109

Ova gasna kočnica je interesantna, jer su Baur (Baur) i Šmit (Schmidt) [4] sa njom, kao i sa gasnom kočnicom M198, merili kočenje trzanja, odnosno njegovo smanjenje na modelu topa 20 mm. Dobijeni rezultati promene efikasnosti za obe gasne kočnice dati su grafičkim prikazom na slici 6.



Slika 6 – Efikasnost gasne kočnice

Koeficijent efikasnosti gasne kočnice  $\beta$  definiše se kao odnos relativne promene momenta trzanja sa gasnom kočnicom i bez nje masenog sistema koji čine cev, projektil i barutni gasovi (punjenje).

Relacija za koeficijent efikasnosti  $\beta$  data je u obliku [4]:

$$\beta = \frac{I_0 - I_g}{I_0 - m_p v_0} \quad (11)$$

gde su:

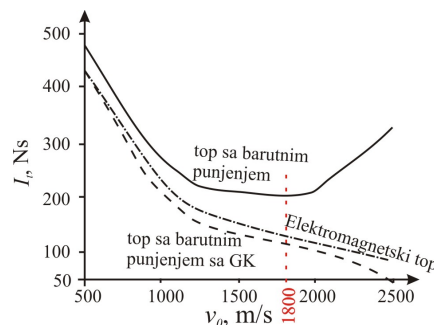
$I_0 - I_g$  – razlika ukupnog impulsa trzanja sa gasnom kočnicom i bez nje i

$I_0 - m_p v_0$  – razlika ukupno raspoloživog impulsa trzanja u barutnim gasovima.

Veličina koeficijenta efikasnosti  $\beta$  može biti veća od 1 (efikasnost preko 100%) ako barutni gasovi u gasnoj kočnici mogu da se šire i napred i nazad, kao u slučaju gasne kočnice M109 reaktivnog tipa i prečnika dva kalibra, prema slici 6.

Za top 20 mm sa porastom početne brzine raste i pritisak na ustima cevi. Gasna kočnica M198 je prečnika 1,6 kalibara i aktivnog je tipa, pri čemu spoljne pregrade omogućavaju gasovima da napuste cev sa porastom produkata sagorevanja. Pregrade apsorbuju više produkata sagorevanja ako pritisak barutnih gasova i efikasnost gasne kočnice rastu. Supersonično jezgro produkata sagorevanja pri tome može potpuno da obuhvati obe površine gasne kočnice i promene brzine (pritiska) na izlaznom preseku kočnice. Ovaj podatak prema [3] mogao bi da se iskoristi za proračun dozvoljenog impulsa topa kada su brzine povećane i izuzetno velike.

Na osnovu podataka za gasnu kočnicu M109, prema slici 6, ekstrapolacijom brzina do 2500 m/s, impuls trzanja topa sa barutnim punjenjem sa visokoeffikasnom gasnom kočnicom može se uporediti sa impulsom trzanja elektromagnetskog topa na sličan način, prema slici 7.



Slika 7 – Promena impulsa trzanja sa gasnom kočnicom pri  $E_u = const$

Kako je efikasnost gasne kočnice M109 veća od 1, ukupni impuls saopšten topu sa barutnim punjenjem sa ugrađenom kočnicom je manji nego impuls trzanja elektromagnetskog topa, tj. moment količine kretanja sa-

opšten projektilu. Iako gasna kočnica topa sa barutnim punjenjem znatno smanjuje razliku u impulsima trzanja između klasične koncepcije topa i elektromagnetskog topa, postoje neki nedostaci u pogledu primene gasnih kočnica o kojima treba da se vodi računa. Naime, gasna kočnica M109 je vrlo masivna i utiče na funkcionalnost topa i projektovanje mehanizma za usmeravanje cevi po pravcu i elevaciji. Upotreba ovakve visokoenergetske gasne kočnice, takođe, znatno povećava efekte na ustima cevi (pucanj, blesak i sl.) i natpritisak iza oruđa. Međutim, u slučaju ugradnje topa na borbena vozila sa zatvorenim kupolom to ne mora da bude veći problem.

## Zaključak

Na osnovu izvršene analize impulsa trzanja i karakterističnih veličina koje utiču na veličinu ovog impulsa utvrđeno je da elektromagnetski top ima manji impuls trzanja nego top klasične koncepcije sa barutnim punjenjem. To se i moglo očekivati, s obzirom na specifičnosti konstruktivnog rešenja navedenih sredstava. Izrazite razlike u impulsima trzanja nastaju naročito pri velikim početnim brzinama  $v_0 \geq 1800 \text{ m/s}$  u slučaju topa kalibra 20 mm. Poređenjem ostvarenih impulsa trzanja elektromagnetskog topa i topa klasične konstrukcije sa izuzetno efikasnom gasnom kočnicom vidi se da se može ostvariti znatno smanjenje impulsa trzanja topa sa barutnim punjenjem i značajno približenje impulsima trzanja koje ostvaruje elektromagnetski top. Pri velikim početnim brzinama projektila  $v_0 \geq 2000 \text{ m/s}$  (slika 7), kod topova sa barutnim punjenjem može se ostvariti i znatno smanjenje impulsa trzanja koji može biti i znatno manji od impulsa trzanja elektromagnetskog topa.

Pitanje impulsa trzanja elektromagnetskih topova značajno je sa više aspekata, kao što su: stabilnost sistema pri lansiranju projektila, potreba ugradnje protivtrajućeg uređaja, koncepcija protivtrajućeg uređaja, korišćenje energije trzanja za rad mehanizama oruđa i dr. Zbog toga, ali i drugih istaknutih problema koji prate ostvarenje elektromagnetskih topova (snažni izvori električne struje, hlađenje izvora energije i samog oruđa, dimenzije elektromagnetskih topova), pitanje razvoja elektromagnetskih topova i dalje zahteva vrlo opsežna i zahtevna istraživanja i posebnu pažnju.

## Literatura

- [1] Ristić, Z., Jakovljević M., *Osnovi naoružanja*, VA Beograd, 2003.
- [2] Witalis, E., *Origin, Location, Magnitude and Consequences of Recoil in Plasma Armature Railgun*, IEEE, Vol 142, No 3, 1995.
- [3] Schmidt, E., *Recoil Characteristics of Electromagnetic Cannon*, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5066, 1998.
- [4] Baur, E., Schmidt, E., *Relationship between Efficiency and Blast from Gas Dynamic Recoil Brakes*, AIAA Paper 85-1718, 1985.

## RECOIL CHARACTERISTICS OF AN ELECTROMAGNETIC RAIL GUN

### Summary:

*In this paper the electromagnetic rail gun recoil is discussed and compared with the recoil of a conventional, propellant gas driven gun. It is shown that, under similar launch conditions, the recoil of an electromagnetic gun is weaker than that of the powder-driven gun. The use of a muzzle brake on a powder-driven gun can alter its recoil characteristics and make its behavior closer to that of the electromagnetic rail gun.*

Key words: *electromagnetic rail gun, recoil, propellant gas driven gun, muzzle brake.*

Datum prijema članka: 15. 07. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 26. 01. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 09. 02. 2009.

## BEZBEDNOST I ZAŠTITA TELEKOMUNIKACIONIH ŠIROKOPOJASNIH ATM MREŽA

Jeftović V. *Milojko*, Jugoslovenska inženjerska akademija,  
Beograd,  
Pavlović Z. *Boban*, Vojna akademija – Katedra vojnih elektronskih  
sistema, Beograd

UDC: 621.39  
004.724.4

### Sažetak:

*U radu je prikazana analiza problema bezbednosti i zaštite telekomunikacionih širokopoljasnih ATM mreža. Analizirane su brojne moguće pretnje i oblici ugrožavanja širokopoljasnih mreža i navedeni zahtevi za bezbednost i zaštitu mreža. Obrađena je koncepcija bezbednosnih mehanizama. Analizirane su bezbednosne mrežne usluge i opisan bezbednosni model ATM mreža. Navedeni su problemi koji se javljaju pri realizaciji bezbednosnih mera i zaštite u komunikaciji preko ATM mreža.*

*Ključne reči: asinhroni način transfera – ATM, širokopoljasne mreže, bezbednost mreže, pretnje i napadi, zaštita informacija i mreža, bezbednosni sistem, bezbednosne usluge ATM, bezbednosni model ATM mreže, metode zaštite.*

### Uvod

Telekomunikacione širokopoljasne mreže, poznate kao ATM (engl. *Asynchronous Transfer Mode*) mreže, zasnovane su na principu asinhronog načina transfera (paketski prenos, multipleksiranje i komutacija digitalnih signala) [1]. Definisala ih je i standardizovala Međunarodna unija za telekomunikacije – ITU (engl. *International Telecommunications Union*), a uvedene su kao tehnologija za implementaciju širokopoljasnih digitalnih mreža integrisanih službi, poznatih kao B-ISDN (engl. *Broadband Integrated Service Digital Networks*). Služe, takođe, i za povezivanje različitih tipova računarskih mreža, povezivanje univerzalnih mobilnih telekomunikacionih sistema i drugih tipova širokopoljasnih mreža [4]. Prema mestu u hijerarhijskoj strukturi telekomunikacionog sistema ATM mreže mogu biti kičmene (*backbone*), regionalne ili pristupne, a u zavisnosti od korisnika mrežnih usluga mogu biti privatne ili javne. Ove mreže obez-



beđuju veoma brojne komunikacione usluge sa zahtevanim ili garantovanim kvalitetom usluga, skraćeno QoS (QoS – *Quality of Service*) [5].

Bez obzira na mesto ATM mreže u strukturi telekomunikacionog sistema, zajednički problem za sve tipove ovih mreža predstavlja njihova bezbednost i zaštita informacija. Polazno pitanje u razmatranju problema bezbednosti i zaštite svakako je analiza pretnji i napada, kojima ATM mreže mogu biti izložene.

## Analiza pretnji i napada na telekomunikacione ATM mreže

Problemi bezbednosti i zaštite širokopoljasnih mreža mogu se uspešno rešavati samo ako su unapred poznate ili realno procenjene pretnje i napadi kojima mreže mogu biti ugrožene. Studija napada i pretnji potrebna je radi pronalaženja efikasnih mera i tehničkih rešenja za zaštitu.

U poređenju sa mrežama zasnovanim na TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) protokolima, ATM mreže su mnogo manje bezbednosno ugrožene. Razlog je u tome što se ATM mreže najčešće primenjuju u kičmenoj ravni telekomunikacionog sistema, a kao prenosni medijum koriste optičke kablove. Pored toga, troškovi prisluškivanja ovih mreža mnogo su veći nego što su to troškovi prisluškivanja TCP/IP mreža. Međutim, i ATM mreže su ozbiljno ugrožene nizom različitih vrsta pretnji i napada. Najčešće korišćene pretnje i napadi na ATM mreže su:

1. **Punktiranje optičkog kabla.** Savijanje optičkog vlakna za veoma mali iznos uzrokuje propuštanje svetlosnog signala na mestu savijanja. Do optičkog vlakna u kابلu dolazi se relativno lako. Korišćenjem hemijskih rastvarača topi se izolacija, tj. omotač oko optičkog vlakna. Na ogoljeno vlakno preko sonde priključuje se uređaj, koji omogućava da se pristupi svim informacijama, koje se prenose optičkim signalom preko vlakna. Ovakav vid prisluškivanja ne može se detektovati ni na jednom kraju optičkog kabla.

2. **Napad na SDH (Sinhroni Digitalni Hijerarhijski sistem) ili SONET multiplekser (SONET Drop/Add Multiplex Attacks).** Meta napada su često SONET optički multiplekseri, koji se uobičajeno štite fizičkim metodama zaštite ormara ili kutija u koje su ugrađeni. Ako fizička zaštita nije efikasna korisničkim podacima se može lako i brzo pristupiti.

3. **Prisluškivanje** je najčešći tip napada na širokopoljasnu mrežu, a odnosi se na slučaj kada se napadač direktno priključuje na prenosni medijum ili ga prisluškuje. S obzirom na to da su širokopoljasne ATM mreže u najvećem broju slučajeva povezane optičkim kablovima, mogao bi se steći pogrešan utisak da se one ne mogu prisluškivati. Oprema za prisluškivanje optičkog vlakna je relativno jeftina (oko 2000 dolara). Napadač treba dobro da poznaje strukturu multipleksnog rama SDH (sinhronih digitalnih hijerar-

hijjskih) ili SONET sistema, kao i komunikacione protokole kojima se obavlja komunikacija porukama (govor, podaci, video slika, grafika, mirna slika, multimedijalne poruke i dr.), a takođe i arhitekturu ATM komunikacionih protokola. Problem je kako otkriti da li se optička transmisiona mreža prisluškuje. Interesantno rešenje je primenjeno u zgradi američkog Ministarstva odbrane, tj. u Pentagonu. Računarska mreža Pentagona realizovana je ugradnjom, odnosno korišćenjem optičkih kablova. Optički kablovi provučeni su kroz cevi sa gasom pod povišenim pritiskom. U kontrolnim tačkama neprestano se prati vrednost pritiska u gasnim cevima, a minimalna promena pritiska ukazuje na pokušaj prisluškivanja mreže.

4. **Prevara** je oblik napada na ATM mrežu kada se napadač pretvara da je neko drugi, da bi dobio dozvolu za pristup podacima za koje nema odobrenje ili da bi naneo štetu nekom legalnom korisniku mrežnih usluga. Ovaj oblik napada zasniva se na nekim karakteristikama ATM komutacionih sistema. Većina ATM komutacionih sistema ima specijalne portove, namenjene za korišćenje u slučaju da se pojave problemi u obezbeđenju zahtevanih veza i pristupu svim podacima, video i audio signalima. Pristup svim signalima, koji prolaze kroz komutacioni sistem, ostvaruje se korišćenjem jednostavnog programa za „skidanje“ šifre na portovima komutacionog sistema. Ovakva vrsta napada ponekad zahteva posebne softverske alate za manipulisanje jedinicama podataka protokola (PDU – *Protocol Data Unit*), odnosno sadržaju informacionog polja ATM protokola. Obično sa kao mera zaštite od neovlašćenog korisnika u pristupu portovima zahteva posebno odobrenje koje napadač mora da ima, na primer, da je registrovan kao *super user* u UNIX okruženju. S obzirom na to da su ATM mreže povezane sa mnogim nezaštićenim javnim mrežama, napadača je nemoguće sprečiti da dođe do ovakvog odobrenja za pristup. S obzirom na to da se širokopolasne ATM mreže koriste u u okruženju javnih mreža, one će uvek biti meta prethodno navedene vrste napada.

5. **Krađa virtuelnog kanala.** Ova vrsta napada odnosi se na mogućnost da napadač neovlašćeno koristi virtuelni kanal (VC – *Virtual Channel*) od drugog korisnika. Na primer, neka su VC1 i VC2 dva virtuelna kanala od ATM komutatora A do ATM komutatora B, a koji pripadaju različitim korisnicima U1 i U2. Ako komutatori A i B imaju kompromis, onda komutator A može komutirati ćelije virtuelnog kanala VC1, od A ka B, preko virtuelnog kanala VC2, a zatim te ćelije komutator B vraća nazad po virtuelnom kanalu VC1. S obzirom na to da ATM komutatori prosleđuju ćelije na osnovu identifikatora virtuelnog kanala VCI (engl. *Virtual Channel Identifier*) i identifikatora virtuelnog puta VPI (engl. *Virtual Path Identifier*) koji se nalaze u zaglavlju svake ćelije, komutatori A i B mogu samo zamenjivati ova polja i ponovo vratiti ćelije. Komutatori A i B neće приметiti ove promene i komutiraće ćelije virtuelnog kanala VC2, kao da su to originalne ćelije tog kanala. U ATM mreži u kojoj je garantovan kvalitet usluga, korisnik U1 može puno dobiti ako neovlašćeno koristi kanal korisnika U2, koji je, na primer, mnogo boljeg kvaliteta za koji U1 nije ovlašćen.

6. **Odbijanje usluga.** Usluge se odbijaju kada neki entitet u mreži ne može da izvrši svoju funkciju ili kada sprečava druge entitete da izvrše funkcije. Pod odbijanjem usluga smatra se i sprečavanje pristupa ATM uslugama ili sprečavanje komutacije ako se, na primer, ATM mreža preplavi nepotrebnim saobraćajem.

Treba imati u vidu da se u ATM mreži komunikacija ostvaruje po uspostavljenoj vezi preko virtuelnih kanala i virtuelnih puteva. Vezom, odnosno uspostavom virtuelnog kola, upravlja se skupom signala. Tako se virtuelni kanal uspostavlja SETUP signalom, a veza se može raskinuti signalima RELEASE ili DROP PARTY. Ako napadač često šalje RELEASE ili DROP PARTY signale, on može znatno da naruši komunikaciju između korisnika i na taj način degradira kvalitet usluga u ATM komunikaciji. Pomenuta vrsta napada može se manifestovati i kao generisanje ekstra-saobraćaja, koji preplavljuje mrežu, a istovremeno sprečava druge korisnike da koriste mrežne usluge ili odlaže njihov saobraćaj.

7. **Slabosti ATM protokola.** ATM protokoli ne podležu autentifikaciji sa držaja niti su ćelije šifrovane. Posledica ove činjenice jeste rizik od moguće prevare. Ako se napadač na mrežu pretvara da je poverljivi komutator, moguće je ostvariti pristup jednom portu u ATM komutatoru i kontrolisati rutiranje poruka ili podataka kroz komutaciono polje. To se može izvesti bez bilo kakvog pristupa mrežnom interfejsu upravljačkog modula ATM komutatora.

8. **Analiza saobraćaja.** Ova pretnja odnosi se na slučaj kada napadač može dobiti važne informacije sakupljanjem i analizom podataka kao što su volumen, vremensko trajanje (tajming) zauzeća, kao i drugih komunikacionih elemenata određenog virtuelnog kanala. Volumen i tajming mogu otkriti mnoge važne informacije, čak i u slučaju kada su poruke koje se prenose šifrovane, zato što kriptozastita nema efekta na volumen i tajming poruka.

9. **ILMI napadi.** ILMI (engl. *Integrated Local Management Interface*) protokol koristi se na interfejsu između privatne i javne ATM mreže, odnosno između radne stanice (terminal) i ATM komutatora. Protokol ILMI je baziran na SNMP (engl. *Simple Network Management Protocol*) protokolu. ILMI ne obezbeđuje mehanizme za autentifikaciju, pa napadač, koji se ne mora autentifikovati, može iskoristiti ILMI da bi registrovao dodatne ATM adrese za svoju radnu stanicu. Korišćenjem dodatno registrovanih adresa napadač može premostiti adresne filtre koji su konfigurisani na ATM komutatoru. Napadač, takođe, sa protokolom ILMI može pokušati da se registruje preko neke ranije isključene radne stanice. ILMI se, takođe, može koristiti za automatsko konfigurisanje tipa interfejsa ATM komutatora. Napadač može koristiti ILMI da bi se predstavio kao ATM komutator, postavljanjem tipa interfejsa na NNI (engl. *Network to Network Interface*). Pri tome se nepouzdana UNI (engl. *User Network Interface*) port konfigurira u pouzdana NNI port pomoću napadačeve ILMI poruke. Nakon toga moguće je napasti rutiranje javne ATM mreže preko PNNI interfejsa (engl. *Private Network to Network Interface*).

10. **PNNI napadi.** PNNI je hijerarhijska šema rutiranja unutar javnog ATM komutatora. Korišćenjem PNNI HELLO signalizacionih poruka mrežni elementi razmenjuju informacije o stanju linkova da bi izabrali tzv. lidera „peer“ grupe (engl. *Peer Group Leader* – PGL). PGL se tada označava kao komutator, a zadužen je za interakciju sa elementima izvan lokalne „peer“ grupe. Ove signalizacione poruke šalju se u jasnoj formi bez autentifikacije. Napadaču je dovoljno da sastavi HELLO signalizacionu poruku sa lažnim ATM adresama, tako da može označiti komutator pod svojom kontrolom kao PGL. Kada jednom stekne kontrolu nad PGL, napadač dobija kontrolu nad rutiranjem poruka (podaci, govor, video slika, itd.) u ATM komutatoru, pa jednostavno može „hvatati“ željene poruke ili blokirati komunikaciju cele „peer“ grupe, odnosno izazvati propadanje cele ATM mreže. Napadač, takođe, može iskoristiti i odgovor na HELLO poruku PGL i ubaciti zlonamerne informacije o stanju linkova, koje će PGL pridružiti svim članovima grupe. Članovi PGL će na osnovu toga doneti pogrešna pravila rutiranja poruka u ATM mreži.

## Zahtevi za bezbednost mreže i zaštitu informacija

Da bi se osigurala bezbednost i zaštita ATM mreža definisani su precizni tehnički zahtevi, koji se moraju zadovoljiti. Najvažnija četiri osnovna zahteva za bezbednost ATM mreža su:

- autentifikacija (engl. *Authentication*) – utvrđivanje identiteta učesnika u komunikaciji,
- tajnost (engl. *Confidentiality*) – isključivo ovlašćeni učesnici mogu pristupiti sadržaju poruka,
- integritet (engl. *Integrity*) – u toku prenosa ne sme doći do promene sadržaja poruke,
- neporicanje (engl. *Non-repudiation*) – korisnik, učesnik u komunikaciji, ne sme poreći činjenicu da je pristupio mrežnim uslugama ili porukama.

Pod autentifikacijom se podrazumeva utvrđivanje identiteta sagovornika pre početka prenosa poruka kroz mrežu. Ona omogućava verifikaciju da su učesnici u komunikaciji zaista oni za koje se predstavljaju. U javnim, kao i u privatnim mrežama, zahteva se da sve bude autentifikovano, uključujući i šifarske ključeve.

Tajnost informacija obezbeđuje se šifrovanjem, tajnim ili javnim ključem. Time se obezbeđuje zaštita od neautorizovanog pristupa. Tajnošću ostvarenom šifrovanjem, takođe se obezbeđuje zaštita i korektnost distribucije simetričnog ključa.

Integritet poruka se proverava na strani koja prima poruku. Prijemna strana ima mogućnost verifikacije da je primljena poruka stigla bez ikakvih izmena.

Sistemi za šifrovanje, pored zaštite tajnosti sadržaja poruka, takođe služe za autentifikaciju i proveru integriteta poruka. Pored pomenutih zahteva, bezbednosni sistem ATM mreža treba da obezbedi usluge sigurnog upravljanja šifarskim ključevima i distribuciju ključeva, kao i kontrolu pristupa korisnika ATM mreži.

Kontrola pristupa korisnika širokopojasnoj mreži ATM značajnija je nego u drugim vrstama mreža. Treba imati u vidu da ATM mreže garantuju kvalitet usluga (QoS) u komunikaciji. QoS se obezbeđuje klasifikacijom saobraćaja u različite klase i usmerava različitim prioritetom i kvalitetom kanala. Ako bi pristup korisnika mreži bio neograničen onda garancija kvaliteta ne bi imala smisla.

Osnovu bezbednosnog sistema čine algoritmi upravljanja ključevima. S obzirom na to da se bezbednost informacija ostvaruje postupkom šifrovanja/dešifrovanje, pa ako napadač dođe do ključa, koji se koristi u pomenutom procesu, kompletan bezbednosni sistem biće razbijen. U velikim telekomunikacionim ATM mrežama, zbog velikog broja učesnika u distribuciji ključeva, upravljanje se ne može vršiti manuelno, već automatski ili poluautomatski. Zbog toga je izuzetno težak problem kako osigurati ključeve prilikom njihovog prenosa kroz mrežu.

## Bezbednosni ciljevi i funkcije bezbednosnog sistema ATM mreža

Radna grupa ATM Foruma za pitanja bezbednosti, u februaru 1997. godine, predložila je nacrt bezbednosnog okvira za ATM, koji je odobren od strane tehničkog odbora ATM Foruma (engl. *ATM Forum Technical Committee*) pod nazivom *ATM Security Framework 1.0*. Ovim dokumentom precizno su definisani bezbednosni ciljevi i tehnički zahtevi za bezbednost i zaštitu ATM mreža [1].

Definisanju zahteva prethodila je analiza bezbednosnih ciljeva, a pre svega ciljeva određenih interesnih grupa:

- korisnika, odnosno korisnika i pretplatnika usluga,
- operatora (mrežni operatori i provajderi, odnosno davaoci usluga),
- javnog sektora.

**Korisnički ciljevi** nisu uniformni zbog toga što svaki korisnik ima svoje ciljeve. Oni se mogu svesti na:

- raspoloživost i ispravno funkcionisanje usluge, njeno pouzdano aktiviranje i deaktiviranje,
- korektnu naplatu i mogućnost provere računa,
- obezbeđenje tajnosti poruka, odnosno informacija,
- mogućnost anonimnog korišćenja usluga.

**Cilj mrežnih operatora i provajdera usluga** jeste da ostvare što veći prihod i zaradu od korisnika usluga ATM mreže. Ovaj cilj uključuje maksimalan prihod ostvaren od mrežnih usluga i minimalne troškove nastale zbog neovlašćenog korišćenja mrežnih usluga. Cilj operatora i provajdera usluga ostvaruje se kroz:

- raspoloživost i ispravnost funkcionisanja ATM mrežnih usluga,
- raspoloživost i ispravno funkcionisanje ATM mrežnog menadžmenta,
- ispravnu naplatu i mogućnost provere računa, pre svega bez mogućnosti prevare,
- očuvanje sopstvene reputacije (pre svega očuvanje korisničkog i investitorskog poverenja),
- odgovornost za sve aktivnosti u ATM mreži, i
- integritet podataka i tajnost poruka u prenosu kroz mrežu.

**Cilj javnog komunikacionog sistema** je garancija:

- raspoloživosti i ispravnosti funkcionisanja ATM mrežnih usluga, i
- tajnosti poruka u prenosu preko mreže.

Na osnovu prethodno pomenutih ciljeva definisani su glavni ciljevi za bezbednost ATM mreža, a to su: tajnost (engl. *Confidentiality*), integritet poruka/informacija (engl. *Data Integrity*), odgovornost (engl. *Accountability*) i raspoloživost (engl. *Availability*). Tajnost i integritet informacije obezbeđuje se s kraja na kraj veze upotrebom korisničkih terminala koji podržavaju pomenute funkcije [2]. Pod odgovornošću se podrazumeva obezbeđenje mrežnih funkcija autentifikacije i neporicanja, kao i odgovornost entiteta za sve aktivnosti koje su inicirali u mreži.

## Koncepcija i primena bezbednosnih usluga

U skladu sa prethodno navedenim ciljevima definisane su funkcije koje treba da ima bezbednosni sistem ATM mreže [7]. To su:

- **verifikacija identiteta.** Bezbednosni sistem treba da utvrdi i verifikuje identitet bilo kojeg učesnika u ATM mreži;
- **kontrolisani pristup i ovlašćenje** (engl. *Authorization*). Kontrolom pristupa i ovlašćenja sprečava se pristup informacijama i resursima za koje nisu ovlašćeni;
- **zaštita tajnosti.** Podaci koji se prenose preko mreže, kao i podaci memorisani unutar mreže moraju biti zaštićeni;
- **zaštita integriteta podataka.** Bezbednosni sistem treba da garantuje integritet memorisanih podataka, kao i podataka koji se prenose u komunikaciji kroz mrežu;
- **stroga odgovornost.** Entiteti u mreži ne mogu poreći odgovornost za akcije koje preduzimaju, kao ni za njihove efekte;

– **aktivnosti logovanja** (engl. *Activities Logging*). Bezbednosni sistem treba da podrži mogućnost pronalaženja informacija o bezbednosnim aktivnostima u mrežnim elementima uz mogućnost povezivanja ovih informacija sa pojedinim korisnicima ili entitetima;

– **prijava alarma**. Bezbednosni sistem treba da ima mogućnost generisanja alarma u slučaju pojave određenih događaja, vezanih za bezbednost;

– **provera**. Kada se desi prekršaj bezbednosnih mera, odnosno ako se naruši bezbednost, sistem treba da omogući analizu svih ulaznih podataka, unetih logovanjem, koji su bitni za bezbednost;

– **bezbednosni oporavak** (engl. *Security Recovery*). Sistem treba da ima mogućnost oporavka u slučaju prekršaja mere bezbednosti ili pokušaja narušavanja bezbednosti;

– **bezbednosno upravljanje** (engl. *Security Management*). Bezbednosni sistem treba da ima mogućnost upravljanja bezbednosnim uslugama izvedenim prema prethodno navedenim zahtevima.

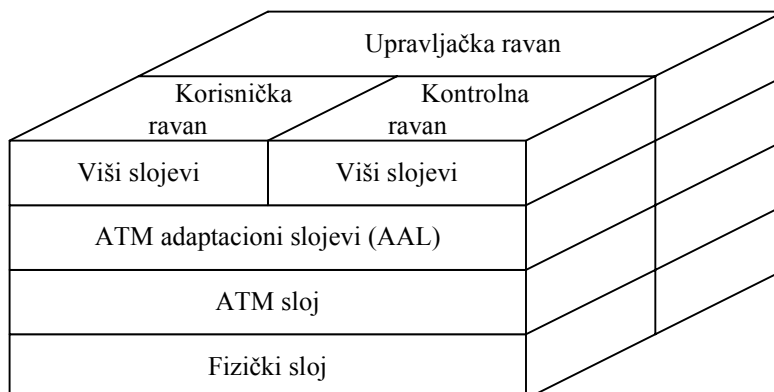
Poslednja dva zahteva ne obezbeđuju bezbednosne usluge već predstavljaju osnovu bezbednosnog sistema. Neophodni su za održavanje bezbednosnih usluga.

Treba imati u vidu da su različiti primeri ATM mreža izloženi različitim vrstama napada, pa zbog toga različite ATM mreže imaju različite bezbednosne ciljeve. U zatvorenom mrežnom okruženju dovoljan nivo bezbednosti može se ostvariti načinom organizacije, a zasniva se na relativno poverenju unutar organizacije ili između grupa organizacija, koje koriste ATM mrežu. Za posebne korisnike ATM mreža vrši se procena rizika izradom tzv. studije pretnji, kojom se definiše koji bezbednosni zahtevi moraju biti ponuđeni i ispunjeni.

### *Primena bezbednosnih usluga*

Nakon analize mogućih pretnji i napada na ATM mrežu i definisanja bezbednosnih zahteva, treba odrediti bezbednosne usluge, kao i način primene ovih usluga na ATM mrežnu arhitekturu. Da bi se rešio problem bezbednosti ATM mreža, a takođe definisala ATM bezbednosna infrastruktura, tehnički komitet (*Technical Committee*) ATM Foruma, u februaru 1999. godine, usvojio je bezbednosnu specifikaciju pod nazivom *ATM Security Specification Version 1.0*, koja predstavlja napor da se definišu procedure uvođenja bezbednosnih usluga u ATM mreže.

ATM bezbednosna specifikacija, predstavljena referentnim modelom arhitekture ATM protokola, prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Arhitektura ATM protokola

Model arhitekture ATM protokola, simbolično predstavljen kockom, čine tri ravni: korisnička ravan, kontrolna ravan i upravljačka ravan. Ovakav način predstavljanja je pogodan radi lakšeg uočavanja složenih komunikacionih funkcija koje se obavljaju u ATM mreži.

**Korisnička ravan.** Protokoli ove ravni podržavaju prenos i komutaciju korisničkih informacija, uspostavu, održavanje i raskidanje veza, zajedno sa protokolima kontrolne ravni. Prenos korisničkih poruka kroz komutiranu ATM mrežu ostvaruje se komutacijom virtuelnih kola (VC) i virtuelnih puteva (VP).

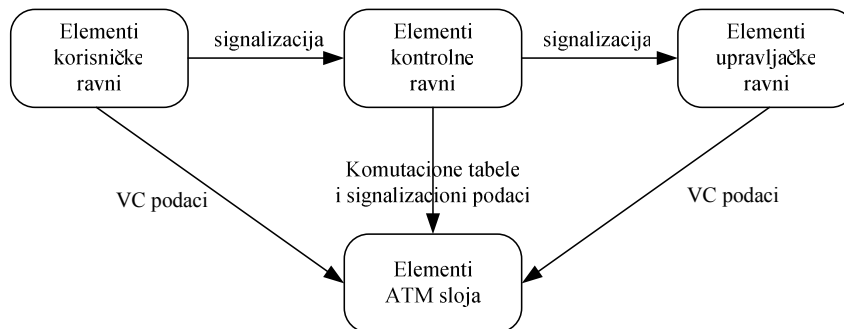
**Kontrolna ravan.** Protokoli kontrolne ravni vrše funkcije kontrole poziva i kontrolu veza, odnosno obavljaju uspostavu, održavanje i raskidanje veza, uključujući UNI, NNI i ICI (*Interface Control Information*) signalizaciju na različitim mrežnim interfejsima.

**Upravljačka ravan.** Upravljačka ravan upravlja prethodno navedenim ravnima i njihovim slojevima, obavlja upravljačke funkcije koje se odnos na celu mrežu i obezbeđuje koordinaciju između sve tri ravni.

Svaka od navedenih ravni sadrži tri sloja protokola: fizički sloj, ATM sloj, ATM adaptacioni sloj (AAL), kao i više slojeva ako se to zahteva u određenim ATM vezama. U prenos poruka (govor, tekst, podaci, video itd.) neposredno su uključena samo prva tri sloja protokola. ATM sloj je zajednički za sve usluge koje omogućavaju paketski prenos. AAL, odnosno protokoli ovog sloja zavisi od usluge koju ATM mreža pruža korisnicima. AAL sloj prima poruke od aplikacije (viših slojeva) i segmentira ih u blokove od po 48 bajtova, koje zatim šalje ATM sloju. Takođe AAL sloj prima poruke – pakete sa po 48 bajtova i prosleđuje ih višim slojevima. ATM sloj na svaki blok dodaje zaglavlje sa 5 bajtova i na taj način formira ćelije fiksne dužine od 53 bajta. Zaglavlje ćelije sadrži zaglavlje sa informacijama potrebnih za komutaciju, transport i usmeravanje do naznačenog odredišta. ATM sloj šalje ATM ćelije fizičkom sloju čije su funkcije i karakteristike određene prenosnim medijumom i načinom kodovanja signala.



Ravni u referentnom modelu ATM protokola sadrže entitete. Entitet je nešto što je sposobno da prima i otprema podatke. Model interakcije između ATM entiteta prikazan je na slici 2.



Slika 2 – Model interakcije između ATM entiteta

Entitet u korisničkoj ravni se koristi za prenos korisničkih poruka. Entiteti u kontrolnoj ravni rade sa konekcionim funkcijama, kao što su uspostava veze, održavanje i raskidanje veza i druge. Entiteti upravljačke ravni vrše upravljanje i koordinaciju funkcija korisničke i kontrolne ravni. Upravljačka ravan uključuje i funkcije za uspostavljanje infrastrukture rutiranja između interfejsa čvorova privatnih ATM mreža. Pored entiteta pomenute tri ravni postoje i entiteti ATM sloja. Entiteti ATM sloja vrše ATM prenos podataka u ime drugih entiteta iz sve tri ravni.

Da bi se bezbednosni zahtevi primenili na celu ATM mrežu jasno je da sve tri ravni i ATM sloj moraju biti predmet zaštite.

U martu 2001. godine, Tehnički komitet ATM Foruma usvojio je novu verziju bezbednosne specifikacije pod nazivom *ATM Security Specification Version 1.1*. Nova verzija je ispravila neke greške iz prethodne verzije i dopunila neke delove. Obim bezbednosti koji je definisan u specifikaciji ostao je isti. U Tabeli 1 sa X su obeležene oblasti koje su definisane u pomenutoj specifikaciji. Prazna polja u tabeli pokazuju da upravljačka ravan nema nikakvu zaštitu, a da se tajnost i kontrola pristupa ne obezbeđuju u kontrolnoj ravni. Potpuna zaštita se preporučuje za korisničku ravan.

Tabela 1

Oblasti bezbednosti prema ATM specifikaciji verzija 1.1

Bezbednosna oblast / Usluge	Korisnička ravan	Kontrolna ravan	Upravljačka ravan
Autentifikacija	X	X	
Tajnost	X		
Integritet podataka	X	X	
Kontrola pristupa	X		

ATM bezbednosna specifikacija određuje mehanizme za autentifikaciju, tajnost, integritet podataka i kontrolu pristupa za korisničku ravan. Takođe specificira mehanizme za autentifikaciju i integritet za kontrolnu ravan (UNI i NNI signalizacija). Iz područja zaštite, prema specifikaciji isključena je zaštita upravljačke ravni. Međutim, kako entiteti upravljačke ravni koriste veze korisničke ravni da bi izvršili svoje funkcije, onda i specifikacija bezbednosti korisničke ravni može doprineti ostvarenju zaštite upravljačke ravni. Takođe u specifikaciji je određena i infrastruktura potrebna za podršku pomoćnih bezbednosnih usluga: dogovaranje bezbednosnih usluga i parametara, razmena ključeva i sertifikacija infrastrukture.

Oblast koja je obuhvaćena ATM specifikacijom 1.1 ograničena je na mehanizme koji moraju biti primenjeni u ATM sloju i/ili AAL sloju. Ovo je naglašeno kroz ostvarivanje bezbednosti prvenstveno po uspostavljenoj vezi, a ne radi ostvarivanja zaštite po linkovima i čvorovima (ATM komutacioni sistemi). To znači da se štiti uspostavljena veza, a ne link ili mrežni čvor. Predmet zaštite, radi ostvarivanja bezbednosti, obuhvata kanal i putanju poruke, veze tačka – tačka i tačka – više tačaka, kao i komutirane i permanentne veze.

## Bezbednosne ATM mrežne usluge

Kao što je prethodno naglašeno, bezbednosna specifikacija, pa time i bezbednosne usluge, odnose se na bezbednosne mehanizme u korisničkoj ravni i delom u upravljačkoj ravni. Otuda potreba da se detaljnije analiziraju bezbednosne usluge korisničke ravni.

### *Bezbednosne usluge korisničke ravni*

Da bi se zadovoljili korisnički bezbednosni ciljevi, korisnička ravan treba da obezbedi korisničke usluge kao što su kontrola pristupa, autentifikacija, tajnost poruka i integritet. Isto tako, bezbednost korisničke ravni treba da bude dovoljno fleksibilna da bi se zadovoljili korisnički zahtevi, s obzirom na to da različite veze imaju različite zahteve u pogledu bezbednosti. Zbog različitih klasa saobraćaja u ATM mreži, važno je ponuditi različite opcije bezbednosnih usluga. Druge usluge, kao što su razmena ključeva, sertifikacija infrastrukture i dogovaranje bezbednosnih opcija, mogu biti korisne zbog raznolikosti korisničkih zahteva. Zbog toga one treba da budu podržane u korisničkoj ravni.

Prema ATM specifikaciji 1.1, bezbednosne usluge korisničke ravni primenljive su na bazi veze ostvarene preko virtuelnog kola VC (*Virtual Circuit*), gde VC može biti veza preko virtuelnog kanala VCC (*Virtual Circuit Connection*) ili veza virtuelnog puta VPC (*Virtual Path Connection*). Bezbednosne usluge za fizički link, koji može prenositi veliki broj VC, nisu predviđene.

Za korisničku ravan su definisane sledeće usluge: autentifikacija, tajnost poruka, integritet poruka i kontrola pristupa. Ove usluge se odnose na veze tačka – tačka i tačka – više tačaka i to za komutirana virtuelna kola (SVC) i permanentna virtuelna kola (PVC). Na krajevima VC ili duž putanje VC postavljaju se tzv. bezbednosni agenti, SA (*Security Agent*). SA je entitet koji inicira, uspostavlja, obezbeđuje, prekida i okončava bilo koju od bezbednosnih usluga. Drugim rečima, bezbednost se realizuje između bezbednosnih agenata.

Kontrola pristupa u zaštiti korisničke ravni se koristi da bi se učesnicima koji nisu ovlašćeni, sprečilo uspostavljanje veze. Da bi specifikacija bila nezavisna od implementacije, standardizovane su informacije i mehanizam rezmene informacija koje zahteva posebni algoritam za kontrolu pristupa.

**Autentifikacija.** Autentifikacija se koristi da bi se utvrdilo da li su pozivajuća i pozvana strana zaista one za koje se predstavljaju. Autentifikacija je prvi korak u komunikaciji koja se, prema Specifikaciji 1.1, obavlja pomoću tehnike kriptozastite algoritmima sa simetričnim i asimetričnim ključem. Mehanizam obezbeđenja tajnosti realizuje se na nivou svake ćelije. Drugim rečima, šifruje se korisnički sadržaj svake ćelije, tako da on nije dostupan neovlašćenom korisniku. Zaglavlje ćelije se ne šifruje, niti se u zaglavlje unose bilo kakve izmene.

Prema pomenutoj specifikaciji integritet podataka kao usluga je odvojen od tajnosti podataka. Ovo razdvajanje omogućava da usluge integriteta podataka budu primenjene na nivou AAL jedinice podataka usluge SDU (*Service Data Unit*). To znači da se za AAL-SDU jedinicu određuje digitalni potpis i on se dodaje AAL-SDU jedinici. Primalac poruke može na ovaj način da utvrdi da li su podaci u svakoj ćeliji menjani ili nisu.

Autentifikacijom korisničke ravni, na početku komunikacije određuje se da li su identiteti pozivajuće i/ili pozvane strane verodostojni. Kako ova usluga obezbeđuje zaštitu od lažnog predstavljanja ili napada prevarom, ona je od esencijalne važnosti za sigurnu komunikaciju. Iz tog razloga, autentifikacija je neophodna za rad drugih bezbednosnih usluga, uključujući razmenu ključa, kao i sigurnu razmenu dogovorenih bezbednosnih parametara.

Autentifikacija može biti obostrana (engl. *mutual*) ili jednostrana (engl. *unilateral*). Kod obostrane, vrši se istovremena identifikacija obe strane, a kod jednostrane, samo jedna strane se autentifikuje drugoj strani.

Prema Specifikaciji 1.1, autentifikacija se vrši pomoću kriptografskih algoritama uz korišćenje algoritama sa asimetričnim (javnim) ključem (na primer RSA – algoritam koji su predložili Rivest R., Shamir A. i Adleman L. i koji je dobio naziv prema početnim slovima prezimena svakog od tri autora) i algoritme sa simetričnim (tajnim) ključem, kao što je, na primer, DES-MAC (*Data Encryption Standard – Message Authentication Code*).

**Tajnost.** Ovom uslugom korisničke ravni obezbeđuju se kriptografski mehanizmi koji štite korisničke poruke od neovlašćenog otkrivanja. U ovom slučaju pojam korisnik se odnosi na entitet protokola koji direktno koristi ATM usluge. Specifikacijom verzije 1.1, definiše se tajnost na nivou ćelije (ATM sloj). Ovo je bolje rešenje nego da se šifrovanje obavlja na AAL sloju, jer se sa fiksnom dužinom ćelije ostvaruje efikasnije šifrovanje. Kako je prethodno pomenuto, šifrjuje se samo korisnički sadržaj, a zaglavljive ćelije ostaje otvoreno. Na ovaj način se omogućava velika brzina komutacije bez potrebe za dešifrovanjem/šifrovanjem u komutacionom polju ATM komutatora. Za usluge tajnosti u pomenutoj specifikaciji je određeno da se koriste simetrični algoritmi (sa tajnim ključem) za šifrovanje (na primer DES, *Triple-DES*). Simetrični algoritmi su mnogo brži što ih čini mnogo upotrebljivijim za šifrovanje ATM ćelija, odnosno poruka.

**Integritet.** Usluge integriteta poruka obezbeđuju mehanizmi za detekciju promena sadržaja poruka ili sadržaja sekvenci, odnosno delova neke poruke, posebno u prisustvu zlonamernih mogućnosti promena. Ova usluga je predviđena za korišćenje između krajnjih tačaka (s kraja na kraj veze) na AAL-SDU nivou, a za protokole AAL 3/4 i AAL 5. Kao dodatak, ponuđene su dve opcije za ovu uslugu, prva – integritet poruka bez *replay/reordering* zaštite, i druga, sa *replay/reordering* zaštitom.

Kada se integritet primenjuje bez *replay/reordering* zaštite, izvor pre otpreme dodaje kod za autentifikaciju poruke MAC (*Message Authentication Code*) na kraj (rep) svake AAL-SDU jedinice. Vrednost MAC se računa nad celom AAL-SDU. Ova opcija je korisna za protokole viših slojeva, koji imaju svoj lični broj sekvence (npr. protokol TCP), jer bi dupliranje ove funkcija na AAL nivou bilo nepotrebno. Kada su ponuđene odnosno primenjene usluge integriteta poruka sa *replay/reordering* zaštitnom funkcijom, usluge integriteta poruka obezbeđuju zaštitu od napada koju vrše ubacivanjem starih AAL-SDU ili promenom redosleda u sekvenci AAL-SDU. Zahvaljujući ovome, stare AAL-SDU ili one koje su stigle van redosleda se mogu odbaciti. Ovakva vrsta zaštite se primenjuje na taj način, što se na izvoru prvo dodaje broj sekvence na kraj svake AAL-SDU, a onda računa MAC na ukupnom AAL-SDU, uključujući i broj sekvence. Ovaj MAC, koji štiti i AAL-SDU i broj sekvence, se sada dodaje ukupnom AAL-SDU, koji uključuje broj sekvence. Ova metoda obezbeđuje zaštitu za ATM aplikacije koje nemaju svoj broj sekvence. Kao i za usluge tajnosti, usluga integriteta poruka je specificirana da koristi simetrične algoritme sa tajnim ključem.

**Kontrola pristupa.** Kontrola pristupa predstavlja primenu pravila koja se zahtevaju za uslugu. Ova pravila zavise od atributa određenog entiteta (identitet), atributa referentnih parametara (ciljna adresa), sistemskih atributa (vreme) i istorije prethodnih zahteva ovog i/ili drugih entiteta korisnika. Kontrola pristupa može se zamisliti kao predikat nad stanjem prostora koji čine svi ovakvi atributi. Ako je predikat zadovoljen, zahtev se prihvata, a ako nije zahtevana usluga se ne izvršava.

Kontrola pristupa u korisničkoj ravni zahteva mehanizam za prenos informacija za kontrolu pristupa, koje se koriste u toku uspostavljanja veze, kao i mehanizam unutar ATM komponenti za korišćenje tih informacija da bi se odredilo da li je pristup vezi odobren. Kontrola pristupa korisničke ravni može biti zasnovana na bezbednosnim labelama (na primer SSL – *Standard Security Label*), identitetima izvornih i odredišnih korisnika, vremenu dana, tipu usluge, poljima viših slojeva ATM protokola (AAL tip) ili drugim parametrima koji se mogu odrediti tokom uspostavljanja veze.

### *Bezbednosne usluge kontrolne ravni*

Kontrolna ravan je mehanizam koji uređajima omogućava da konfigurišu mrežu da bi se postigli određeni ciljevi, na primer, da se uspostave virtualna komutirana kola. S obzirom na to da poruke kontrolne ravni imaju uticaj na stanje i raspoloživost mreže, njihova zaštita je veoma važna.

U bezbednosnoj specifikaciji mehanizam za signalizaciju je definisan tako da obezbedi strogi kriptografski integritet sa odgovor/preuređenje (*reply/reordering*) zaštitom. Ovaj mehanizam omogućava entitetima kontrolne ravni verifikaciju izvora i sadržaja signalizacionih poruka pre nego što se dodele resursi koji se zahtevaju. Na taj način ATM mreža se štiti od brojnih vrsta napada.

**Autentifikacija i integritet.** Autentifikacija i integritet kontrolne ravni je ATM bezbednosna usluga, koja povezuje ATM signalizacionu poruku sa njenim izvorom. Kreiranjem ove veze, primalac poruke može na poverljiv način verifikovati da li je poreklo poruke povezano sa navedenim izvorom. Ovo obezbeđuje mehanizam koji eliminiše mnoge pretnje. Tako, na primer, napad odbijanjem usluge, koji se vrši prekidanjem aktivne veze pomoću tajno ubačenih signalizacionih poruka RELEASE (izbacivanje) i DROP PARTY (odbacivanje strana), može se sprečiti proverom autentičnosti signalizacionih poruka u kanalu veze. Ova usluga takođe pruža zaštitu od prevara i zlonamernih izmena. U specifikaciji je definisan mehanizam za autentifikaciju i integritet kontrolne ravni između susjednih signalizacionih entiteta. Mehanizam je identičan onom koji je ponuđen za integritet poruka u korisničkoj ravni sa *reply/reordering* zaštitom.

### *Usluge za podršku*

Pomenutom specifikacijom se definiše i skup usluga za podršku koje su potrebne za uvođenje niza bezbednosnih usluga visokih performansi, u koje spadaju:

- bezbednosna razmena poruka i dogovaranje bezbednosnih opcija,
- razmena ključa,

- ažuriranje ključa,
  - sertifikacija infrastrukture (engl. *sertffication infrastructure*).
- Svaka od ovih bezbednosnih usluga zaslužuje detaljniju analizu.

**Bezbednosna razmena poruka i dogovaranje.** Da bi se omogućilo funkcionisanje mnogih prethodno opisanih bezbednosnih usluga, potrebno je da uključeni bezbednosni agenti SA (*Security Agent*) prethodno razmene poruke. U specifikaciji su opisane dve vrste razmene bezbednosnih poruka: 1) Razmena poruka unutar UNI 4.0, PNNI 1.0 i AINI (*ATM Inter-Network Interface*) signalizacije, 2) *In-band* razmena poruka, tj. bezbednosna razmena poruka unutar relevantnog virtuelnog kola korisničke ravni, odnosno razmena poruka preko prethodno uspostavljene veze.

Metoda *in-band* razmene poruka, takođe, obezbeđuje i mehanizam za dogovaranje bezbednosnih opcija. S obzirom na to, da se bezbednosni zahtevi menjaju između različitih organizacija, važno je obezbediti raznovrsnost bezbednosnih usluga, algoritama i dužinu ključeva, koji će zadovoljiti široki opseg bezbednosnih potreba. Zbog ovog razloga ATM bezbednosni mehanizam podržava različite bezbednosne usluge, algoritme i dužine ključa. Radi dogovara bezbednosnih agenata oko zajedničkih bezbednosnih parametara, kao što su algoritmi i dužine ključa, metode bezbednosne razmene (koje obezbeđuju dogovaranje pomenutih parametara), uvode se kao deo bezbednosne uspostave VC.

**Razmena ključa.** Razmena ključa je mehanizam (protokol) pomoću koga dva bezbednosna agenta razmenjuju tajne ključeve, koji se koriste u uslugama tajnosti i/ili integriteta. Ova usluga je često udružena sa uslugom autentifikacije. Ovo se može postići uključivanjem tajnih parametara za razmenu ključa unutar toka poruka za provođenje autentifikacije.

Kao i autentifikacija, razmena ključa se vrši pomoću simetričnih (tajni ključ) ili asimetričnih (javni ključ) algoritama. Razmena ključa može biti bidirekciona (dvosmerna) ili unidirekciona (u jednom smeru).

**Ažuriranje ključa sesije.** Ključevi sesije su ključevi koji se direktno koriste za obezbeđenje usluga tajnosti i integriteta nad ATM virtuelnim kolom. Zbog potencijalno velike brzine prenosa poruka preko virtuelnog kola, obavezno je da se ključevi periodično menjaju, da bi se sprečilo otkrivanje ključa. Specifikacija 1.1 definiše usluge za ažuriranje ključa. Ova usluga se izvodi u dve faze: faza razmene ključa i faza promene ključa. Faza razmene ključa koristi master ključ (*master key*) koji se razmenjuje prilikom uspostave veze (koristeći usluge razmene ključa), da bi se šifrovao novi ključ sesije. Na prijemu šifrovanog ključa sesije, primalac dešifruje ključ sesije koristeći deljeni master ključ i memoriše ga za drugu fazu, tj. promenu ključa.

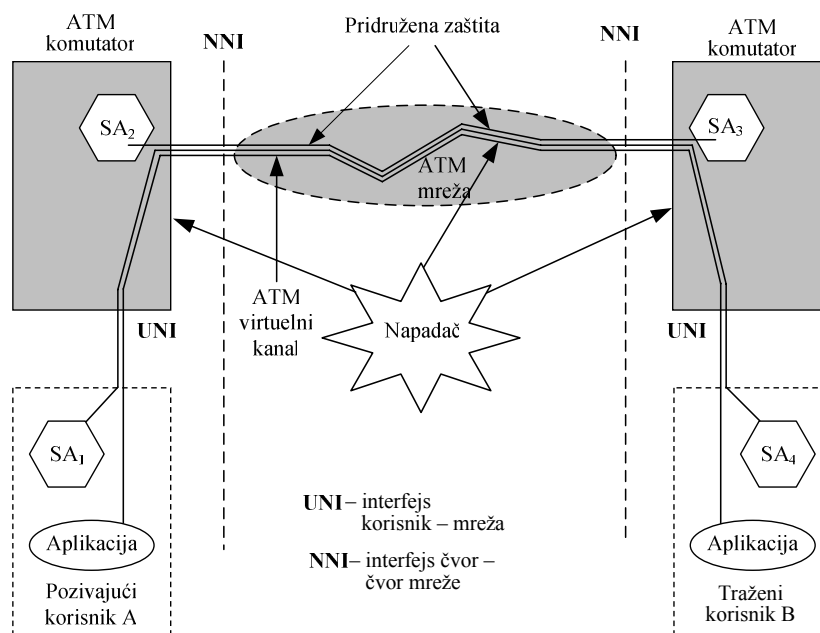
**Sertifikacija infrastrukture.** U kriptosistemima sa javnim ključem, svaka strana (bezbednosni agent), na primer X ima par ključeva. Jedan od ovih ključeva je javno poznat, to je X-ov javni ključ ( $PK_x$ ), a drugi je poznat samo X, i to je X-ov privatni ključ ( $SK_x$ ). Da bi strana X mogla da šalje tajne infor-

macije strani Y (ili alternativno, da bi X bio u stanju da verifikuje digitalni potpis koji je napravio Y), potrebno je da X od strane Y dobije javni ključ  $PK_Y$ . Iako je  $PK_Y$  javni ključ, po definiciji ne bi smelo biti omogućeno bilo kojoj strani X da zameni drugu vrednost, na primer,  $PK_X$  za  $PK_Y$ . Da bi se sprečio ovakav tip napada, javni ključ se razmenjuje u obliku „sertifikata“.

Sertifikat sadrži ime korisnika, njegov javni ključ i neke dodatne informacije, kao i potpis poverljive ovlašćene osobe – „*Certification Authority*“ (CA). Ovaj sertifikat onemogućava krivotvorenje i povezuje javni ključ sa određenom osobom. Bilo koja osoba koja ima pristup CA javnom ključu, može proveriti verodostojnost sertifikata (proverom CA potpisa u sertifikatu) i usvojiti javni ključ koji je sertifikovan. Sertifikat se može prenositi preko nezaštićene veze.

## Bezbednosni model ATM mreža

ATM bezbednosni model prikazan je na slici 3, gde su sa  $SA_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) označeni bezbednosni agenti. Bezbednosni agenti iniciraju, uspostavljaju, obezbeđuju, prekidaju i okončavaju bilo koju od bezbednosnih usluga, kao što su kontrola pristupa, autentifikacija, tajnost i integritet poruka.



Slika 3 – ATM bezbednosni model

Pozivajući korisnik A (*initiator*) i traženi korisnik (*responder*) jesu krajnji terminali/sistemi ili krajnje tačke ATM mreže. U ovom bezbednosnom modelu napadač (*intruder*), može da prisluškuje mrežu i komutaci-

one sisteme, registruje sve poruke koje prolaze kroz mrežu i komutacione sisteme, preslušava stare poruke i ubacuje svoje lične informacije u komunikacione nizove signala koji se prenose preko ATM mreže.

Da bi komunikacija u ATM mreži bila bezbedna neophodno je da se uvedu sledeće bezbednosne usluge:

- zaštita signalizacije uvođenjem usluge autentifikacije i integriteta,
- dogovaranje bezbednosnih parametara između učesnika u komunikaciji,
- zaštita informacija osiguravanjem tajnosti i integriteta poruka.

Radi dogovora parametara za bezbednosne usluge i direktnu podršku usluge autentifikacije, u ATM bezbednosnoj Specifikaciji 1.0, usvojeni su dvosmerni (engl. *two-way*) i trosmerni (engl. *tree-way*) protokoli za bezbednu razmenu poruka, SME (*Security Message Exchange*).

Dvosmerni SME protokol se može koristiti za uspostavljanje veza tačka-tačka i tačka-više tačaka, u slučaju kada nije potrebno dogovaranje bezbednosnih parametara u okviru UNI 4.0 signalizacije.

Trosmerni SME protokol može se koristiti za uspostavljanje veze i posebno za veze koje zahtevaju dogovaranje bezbednosnih opcija. Implementiran je u *in-band* SME protokolu. U daljem opisu ovih protokola koriste se skraćenice i simboli čije je značenje dato u tabeli 2.

Tabela 2

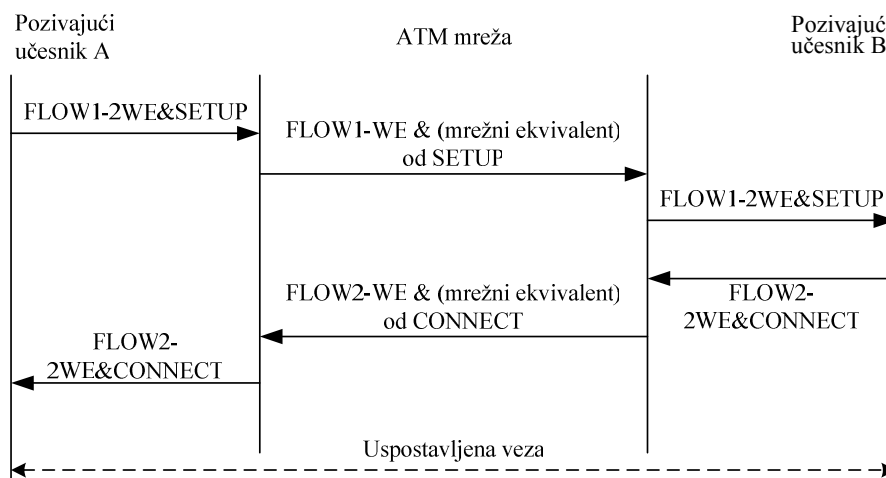
Značenje simbola i skraćenica

<b>X</b>	Entitet <b>X</b>
<b>K<sub>x</sub></b>	<b>K<sub>x</sub></b> predstavlja javni ključ od <b>X</b> kada se koristi za šifrovanje, a predstavlja privatni ključ od <b>X</b> kada se koristi za digitalni potpis
<b>EncK<sub>x</sub>(text)</b>	Šifrovan text pomoću ključa od <b>X</b>
<b>Sig K<sub>x</sub>[Hash(text)]</b>	<b>X</b> -ov digitalni potpis izračunat nad <b>hash</b> funkcijom od <b>text</b> pomoću <b>X</b> -ovog ključa, gde je <b>K<sub>x</sub></b> privatni ključ od <b>X</b>
<b>Hash (text)</b>	Jednosmerna hash funkcija od <b>text</b> gde je <b>hash</b> strogo jednosmerna funkcija kao što je <b>Secure Hash Algorithm (SHA-1)</b>
<b>R<sub>x</sub></b>	Slučajni broj koji je <b>X</b> generisao za ovu priliku
<b>T<sub>x</sub></b>	Vremenski promenljiva markica koju je generisao <b>X</b>
<b>{.}</b>	Oznaka opcije
<b>SecOpt</b>	Ukazuje koje su bezbednosne usluge obezbeđene za vezu
<b>SecNeg</b>	Pozivajući i pozvani entitet koriste <b>SecNeg<sub>a</sub></b> i <b>SecNeg<sub>b</sub></b> da bi dogovorili bezbednosne usluge, opcije i parametre za vezu
<b>ConfPar</b>	Kada se pozivaju usluge za podršku razmene ključa <b>ConfPar<sub>a</sub></b> i <b>ConfPar<sub>b</sub></b> se koriste da sigurno prenesu ključ u vlasništvu jedne strane i to od jedne ka drugoj strani
<b>Cert</b>	<b>Cert<sub>a</sub></b> nosi sertifikat pozivajućeg, a <b>Cert<sub>b</sub></b> pozvanog učesnika



## Autentifikacija signalizacionih poruka za uspostavu veze

Autentifikacija signalizacionih poruka za uspostavu veze, u slučaju dvožične veze, obavlja se pomoću dvosmernog SME protokola, na način kako je to prikazano na slici 4.



Slika 4 – Autentifikacija signalizacionih poruka za vezu dva učesnika

Na UNI interfejsu, FLOW1–2WE SME (dvosmerni SME protokol) prenosi se u SETUP poruci, a FLOW1–2WE i u CONNECT poruci. Kada korisnik A želi da uspostavi vezu sa korisnikom B (prema slici 4) procedura za autentifikaciju zahteva sledeće korake:

**Korak 1:** Učesnik A šalje *FLOW1–2WE* učesniku B

*FLOW1–2WE: A → B*

**Korak 2:** Kada B primi *FLOW1–2WE* on preduzima sledeće:

- Proverava da li je B zaista primalac kome je poruka namenjena.
- Vršiti ekstrakciju *SecOpt* i implementira je.
- Verifikuje digitalni potpis i samim time i integritet *FLOW1–2WE*. Digitalni potpis je šifrovan sa tajnim ključem od A, koga ima samo A. B ga dešifruje javnim ključem od A, pa na taj način dobijenu *hash* funkciju, poredi sa vrednošću *hash* funkcije koju će on izračunati nad primenjenim parametrima. Ako su vrednosti iste, potvrđen je integritet i autentičnost. *ConfPar<sub>a</sub>* je šifrovan sa javnim ključem od B, pa ga B može dešifrovati svojim tajnim ključem.

- Proverava ekstrakciju  $R_a$  za svoj odgovor.
- Vršiti ekstrakciju  $ConfPar_a$  ako je prisutan i interpretira ga.
- Vršiti ekstrakciju  $Cert_a$  ako je prisutan i verifikuje njegovu validnost.

**Korak 3:** Učesnik  $B$  šalje  $FLOW1-2WE$  učesniku  $A$ .  
 $FLOW1-2WE: B \rightarrow A$

**Korak 4:** Kada  $A$  primi  $FLOW1-2WE$ , on preduzima sledeće korake:

- Proverava da li je  $A$  primalac kojem je poruka upućena.
- Verifikuje digitalni potpis, a time i integritet od  $FLOW1-2WE$ .
- Proverava da li je primljeni  $R_a$  u  $FLOW1-2WE$  identičan onom koji je poslat u  $FLOW1-2WE$ . Digitalni potpis je šifrovan tajnim ključem od  $B$ , koga ima samo  $B$ .  $A$  ga dešifruje javnim ključem od  $B$ , te na taj način dobijenu *hash* funkciju, poredi sa vrednošću *hash* funkcije koju će on izračunati nad primljenim parametrima. Ako su vrednosti iste, potvrđen je integritet i autentičnost.  $ConfPar_b$  je šifrovan sa javnim ključem od  $A$ , te ga  $A$  može dešifrovati svojim tajnim ključem.
- Vršiti ekstrakciju  $ConfPar_b$  ako je prisutan i intepretira ga.
- Vršiti ekstrakciju  $Cert_b$  ako je prisutan i verifikuje njegovu validnost.

Prema prethodno opisanoj proceduri obavlja se autentifikacija signalizacionih poruka prilikom uspostave veze između dva učesnika.

### *Dogovaranje bezbednosnih parametara*

Bezbednosni parametri se dogovaraju pomoću trosmernog SME protokola, koji se sastoji od sledećih šest koraka:

**Korak 1:**  $A$  šalje  $FLOW1-3WE$  korisniku  $B$   
 $FLOW1-3WE: A \rightarrow B$

**Korak 2:** Kada učesnik  $B$  primi  $FLOW1-3WE$  on preduzima sledeće:

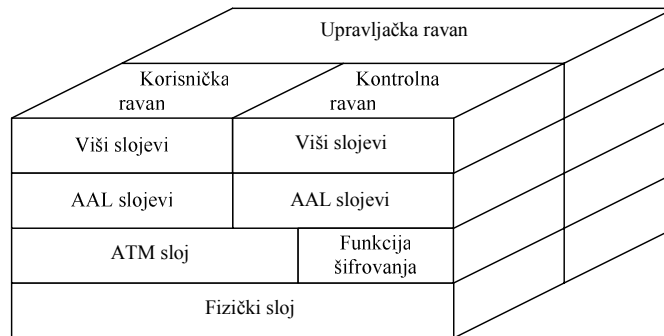
- Proverava da li je  $B$  zaista primalac kome je poruka namenjena, ako je  $B$  uključeno u poruku.
- Vršiti ekstrakciju  $SecNeg_a$  i interpretira ga za svoj odgovor.
- Vršiti ekstrakciju poslatog  $R_a$  za svoj odgovor.
- Vršiti ekstrakciju  $Cert_a$  ako je prisutan i verifikuje njegovu validnost.

- Korak 3:** Učesnik *B* šalje *FLOW2-3WE* učesniku *A*.  
*FLOW2-3WE: B → A*
- Korak 4:** Kada učesnik *A* primi *FLOW2-3WE* on preduzima sledeće:
- Proverava da li je *A* zaista primalac kome je poruka namenjena.
  - Vršiti ekstrakciju *SecNeg<sub>b</sub>* i interpretira ga.
  - Verifikuje digitalni potpis i samim tim integritet od *FLOW1-3WE* i *FLOW2-3WE*. *Hash* funkcija u *FLOW2-3WE* se računa i nad vrednostima koje je učesnik *A* poslao učesniku *B*. Ukoliko dobije ispravnu vrednost za *hash* funkcije, to znači da je učesnik *B* primio ispravnu poruku *FLOW1-3WE*.
  - Proverava da li je primljeni *R<sub>a</sub>* u *FLOW2-3WE* identičan onom koji je on poslao u *FLOW1-3WE*.
  - Vršiti ekstrakciju poslatog *R<sub>b</sub>* za svoj odgovor.
  - Vršiti ekstrakciju *ConfPar<sub>b</sub>* ako je prisutan i interpretira ga.
  - Vršiti ekstrakciju *Cert<sub>b</sub>* ako je prisutan i verifikuje njegovu validnost.
- Korak 5:** Učesnik *A* šalje *FLOW3-3WE* učesniku *B*.  
*FLOW3-3WE A → B*
- Korak 6:** Kada učesnik *B* primi *FLOW3-3WE* on preduzima sledeće:
- Proverava da li je učesnik *B* primalac kome je poruka upućena.
  - Verifikuje digitalni potpis i time integritet poruke *FLOW3-3WE*.
  - Proverava da li je primljeni *R<sub>b</sub>* u *FLOW3-3WE* identičan onom koji je poslat u *FLOW2-3WE*.
  - Vršiti ekstrakciju *ConfPar<sub>a</sub>* ako je prisutan i interpretira ga.
- Prema izloženoj proceduri obavlja se dogovaranje bezbednosnih parametara između dva učesnika pri uspostavi veze.

### *Tajnost korisničkih poruka*

Tajnost korisničkih poruka, koje se prenose preko telekomunikacione mreže, obezbeđuje se šifrovanjem. U ATM mrežama (javne, privatne) šifrovanje se može vršiti na tri načina: na višim slojevima protokola, na ATM sloju, na AAL sloju.

U ATM bezbednosnoj specifikaciji 1.0 šifrovanje je dobilo mesto na ATM sloju, kako je to prikazano na slici 5.



Slika 5 – Položaj funkcija šifrovanje/dešifrovanje u arhitekturi ATM protokola

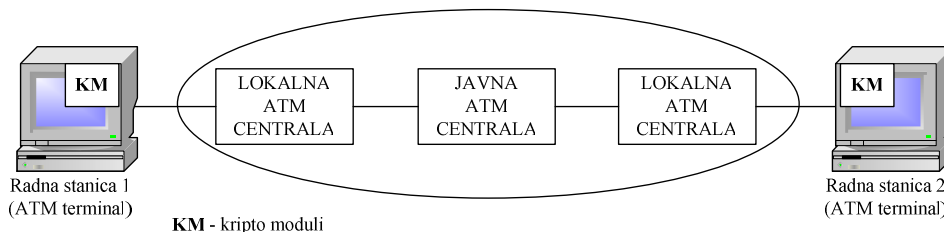
Pogodnije je da se šifrovanje vrši na ATM sloju zbog fiksne veličine ćelije, jer se na taj način olakšava primena blok-šifri. Kao što je prethodno naglašavano, šifruje se korisnički deo odnosno *payload* ćelije fiksne dužine 48 bajtova.

U prethodno navedenoj ATM bezbednosnoj specifikaciji preporučuju se tri nivoa ključa:

- ključ najvišeg nivoa (engl. *top-level key*) – asimetrični ključ. Ključ najvišeg nivoa se koristi za zaštićenu autentifikaciju i inicijalizaciju prvog ključa sesije i master ključa;
- master ključ (engl. *master key*) – simetrični ključ, koji se koristi za šifrovanje ključa sesije, kada se on ažurira u toku trajanja veze;
- ključ sesije (engl. *session key*) – simetrični ključ, koji se koristi za šifrovanje poruka.

## Zaštita komunikacije s kraja na kraj veze u ATM mreži

Širokopolasni ATM terminali, kao što su multimedijalni terminali koji zadovoljavaju IUT-T preporuke H.310 i H.321 (ukoliko se u njih ugrade kriptomoduli za generisanje nekih blok-šifri, digitalnog potpisa i šifrovanje/dešifrovanje), omogućavaju efikasnu zaštitu komunikacije s kraja na kraj veze u ATM mreži (slika 6).



Slika 6 – Blok-šema kriptozastite s kraja na kraj veze u ATM mreži

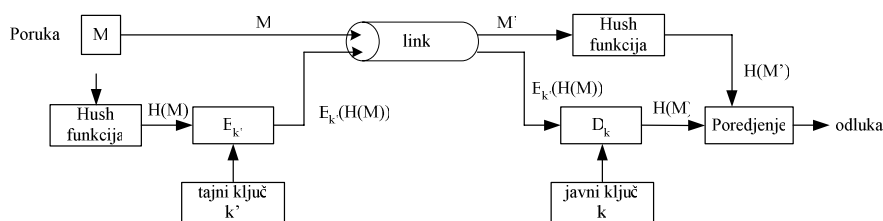
Kao što je poznato, kriptografski algoritmi se dele u dve grupe. U prvu grupu spadaju asimetrični kriptografski algoritmi (sa javnim ključem), a u drugu simetrični kriptografski algoritmi (sa tajnim ključem). Kod simetričnih kriptografskih algoritama isti tajni ključ koristi se za šifrovanje i dešifrovanje poruke. Ovi algoritmi su mnogo brži od algoritama sa javnim ključem, ali su manje otporni na napade i omogućavaju lakše otkrivanje ključa.

Algoritmi sa javnim ključem koriste dva različita ključa: jedan je javni ključ i koristi se za šifrovanje, a drugi je tajni ključ poznat samo primaocu poruke. Kod ovakvih sistema, čak i kada je poznat metod za šifrovanje  $E_k$  i ključ za šifrovanje  $k$  (javni ključ) nije lako odrediti algoritam za dešifrovanje  $D_k$  i ključ za dešifrovanje  $k'$  (tajni ključ). Najpoznatiji takav algoritam je RSA [5]. Ovi kriptografski sistemi su pouzdaniji od simetričnih, ali su mnogo sporiji, pa se koriste u primenama kod kojih bezbednost ima najveći značaj. To su, na primer, razmena simetričnog ključa, koji se koristi za obezbeđenje tajnosti komunikacije između korisnika ili za proces autentifikacije korisnika i proveru integriteta poruka.

Jedna od često korišćenih metoda jeste upotreba *digitalnih potpisa*. Digitalni potpis predstavlja vrstu asimetričnog kripto sistema, a uključuje šifrovanje poruke tako da način šifrovanja zna samo pošiljalac. Ključ za šifrovanje poseduje samo pošiljalac. Digitalni potpis omogućava autentifikaciju učesnika, proveru integriteta poruke i neporicanje. Kao što je prethodno rečeno, autentifikacijom se verifikuje identitet učesnika, proverom integriteta poruke se utvrđuje originalnost poruke tj. da li je sadržaj poruke menjan tokom prenosa preko mreže, a neporicanje onemogućava korisniku da poredne da je poslao neku poruku.

Postoji više načina kreiranja digitalnog potpisa, koji su standardizovani DSS (*Digital Signature Standard*) standardima. Jedan način koristi tzv. *hash* funkciju  $H$  (često se naziva i *message digest* – digitalni sažetak poruke). *Hash* funkcija dokument promenljive veličine transformiše u kod fiksne dužine, najčešće kraći od originalne poruke. Time se dokumentu dodeljuje vrednost fiksne dužine.

Princip primene digitalnog potpisa u proceduri autentifikacije prikazan je na slici 7.



Slika 7 – Princip primene digitalnog potpisa u proceduri autentifikacije

Postupak kreiranja digitalnog potpisa je sledeći:

- ako sa  $M$  označimo poruku, onda  $H(M)$  predstavlja *hash* vrednost ili digitalni sažetak poruke;
- na ovu vrednost se primenjuje algoritam  $E$  – šifrovanje privatnim ključem  $k'$ ;
- dobijena vrednost  $E_{k'}[H(M)]$  predstavlja digitalni potpis. Ovu vrednost pošiljalac šalje primaocu zajedno sa dokumentom, odnosno originalnom porukom, koja nije šifrovana.

Pri prijemu proces autentifikacije, odnosno provere integriteta poruke (da li je menjana tokom prenosa kroz mrežu), vrši se na sledeći način:

- izračunava se *hash* vrednost primljenog dokumenta (poruke)  $H(M')$ ;
- primenjuje se algoritam dešifrovanja javnim ključem na šifrovanu vrednost digitalnog sažetka  $E_{k'}[H(M)]$ , koji je primljen zajedno sa dokumentom. Pri tome se koristi algoritam dešifrovanja javnim ključem, koji odgovara algoritmu za šifrovanje privatnim ključem primenjenim na  $H(M)$ ;
- dobijeni rezultat je  $D_k\{E_{k'}[H(M)]\}=H(M)$ ;
- porede se vrednosti  $H(M)$  i  $H(M')$ . Ako su iste, poruka je originalna i potvrđen je njen integritet. Drugim rečima, to znači da je pošiljalac zaista onaj za koga se pretpostavlja da jeste, jer samo on zna tajni ključ i algoritam dešifrovanja.

Na slici 7 šematski je prikazan prethodno opisani postupak autentifikacije učesnika u vezi. Na ovaj način se ne omogućava pošiljaocu da demantuje da je poslao neku poruku (neporicanje), jer samo on zna tajni ključ  $k'$  i algoritam  $E_{k'}$  koji se ne mogu izvesti iz algoritma dešifrovanja  $D_k$  i javnog ključa  $k$ .

Da bi prethodno opisani postupak bio pouzdan potrebno je da se koriste jednosmerne *hash* funkcije. Takve funkcije imaju dve važne osobine:

- za datu poruku jednostavno je generisati izlazni kod, ali za poznati kod je vrlo teško pronaći poruku čiji je sažetak poznat;
- teško je naći dve različite ulazne poruke, koje za rezultat imaju istu vrednost *hash* funkcije. Primeri ovakvih *hash* funkcija su: SHA-1 (*Secure Hash Algoritam*) i MD5 (*Message Digest 5*).

Drugi sličan način autentifikacije omogućava MAC (*Message Authentication Code*) algoritam. Ovaj algoritam je jednostavniji od algoritma digitalnog potpisa. Osnovna razlika je u tome što se zasniva na simetričnim kriptosistemima, odnosno u tome što koristi dva identična tajna ključa za šifrovanje i dešifrovanje. Omogućava verifikaciju autentičnosti poruke kao i proveru integriteta poruke. Učesnici se pre komunikacije moraju dogovoriti o simetričnim (tajnim) ključevima. Ovaj algoritam ne daje mogućnost neporicanja kao digitalni potpis, zbog toga što koristi simetrične ključeve.

U MAC algoritmu se koristi tzv. *hash funkcija sa ključem* (*keyed hash function*). Ona se dobija tako što se na poruku doda vrednost tajnog ključa, pa se nad celom vrednošću računa *hash* funkcija. Tako dobijena vrednost se naziva MAC kod. Pošiljalac otprema poruku i MAC kod. Primalac računa *hash* funkciju

nad primljenom porukom i tajnim ključem koji je i njemu poznat, a zatim dobijenu vrednost poredi sa dobijenim MAC kodom. Ako su vrednosti iste zaključuje se da je potvrđen integritet poruke i da je verifikovana autentičnost pošiljaoca.

Primeri *hash* funkcija sa ključem su: HMAC-SHA-1 (*Hashing keyed Message Authentication Code*) i HMAC-MD5.

## Problemi pri realizaciji bezbednosnih mera i zaštite

Obezbeđenje bezbednosti ATM mreža i zaštita informacija, koje se preko njih prenose, nije ni malo jednostavno. Bez obzira na tehnička rešenja i iskustva koja postoje u rešavanju bezbednosti i zaštite drugih vrsta telekomunikacionih mreža, kod ATM mreža se nailazi na mnoge nove probleme.

Prvi problem predstavlja princip ATM komutacije. ATM komutacioni sistemi – komutatori, mogu se posmatrati kao multiplekseri ćelija velikih brzina [4]. U ATM komutatoru se komutira i multipleksira ćelija tj. serijski niz bajtova fiksne dužine 53 bajta, od kojih pet bajtova čine zaglavlje, a preostalih 48 bajtova (u literaturi se naziva *payload* – korisni sadržaj) prenose informacione sadržaje.

Komutator usmerava – komutira ćelije na osnovu sadržaja zaglavlja u kojem su smeštene adrese virtuelnog kanala i virtuelnog puta na koje se ćelija prosleđuje. Kada je reč o primeni bezbednosnih mehanizama jasno je da se oni moraju primenjivati na ATM ćeliju, odnosno na njen informacioni sadržaj – *payload*. Ako bi smo pokušali da primenimo usluge integriteta i tajnosti i na zaglavlje ćelije, to bi zahtevalo šifrovanje/dešifrovanje u svakom komutatoru. Time bi se mnogo usporila komutacija, pa se takav pristup morao odbaciti. To znači da problem zaštite zaglavlja još uvek nije rešen.

Veliki izazov u procesu zaštite ATM mreža je pronalazak kriptografskog mehanizma koji će zadovoljiti veliku zahtevanu brzinu komutacije u komutatoru. To je veoma važno, jer se kriptografskim tehnikama obezbeđuju važne bezbednosne usluge, kao što su tajnost, autentifikacija i integritet. Većina kriptografskih tehnika radi brzinama mnogo manjim od brzina komutatora koje su reda Gb/s i većim. Postoje hardverske verzije DES koje mogu da rade i na ovim brzinama, ali se javlja novi problem vremena potrebnog za pripremu razmene ključa sesije.

Specifičnost ATM je fiksna dužina ćelije, odnosno fiksna dužina *payload* od 48 bajtova, isključuje mogućnost upotrebe mnogih poznatih kriptografskih mehanizama. Bilo koja blok-šifra sa veličinom bloka većom od 384 bita ne može se primeniti za šifrovanje ATM ćelija. Ako bi se unele niz šifre, javlja se problem resinhronizacije u slučaju gubitka neke ćelije tokom prenosa. Čak i kada se nađe kriptografski mehanizam koji zadovoljava ove zahteve, velika brzina prenosa u ATM mreži uvodi komplikacije u upravljanju ključevima. Na primer, ako ATM radi na 130 Mb/s, to znači da se 0,307M (M-milion) ćelija komutira kroz komutator u jednoj sekundi. Ako koristimo DES šifru sa veličinom

bloka od 64 bita, onda oko 2M blokova DES šifre prolazi kroz komutator u sekundi. Ako broj VC koji rade preko komutatora nije previše veliki, onda sa ovolikom količinom podataka napadač može lako da razbije ključ sesije. Ako pretpostavimo da se jedan ključ ne može koristiti za više od 100 blokova šifri, trajanje jednog ključa sesije postaje kratko i iznosi nekoliko stotina sekundi. To mnoge tradicionalne blok-šeme za razmenu ključeva čini neadekvatnim. Ako bismo našli šemu koja bi menjala ključ sesije ovom brzinom, javlja se problem permanentnog (master) ključa, koji se koristi za šifrovanje ključa sesije. Česta promena ključa sesije može dovesti do otkrivanja permanentnog ključa.

Prema pomenutim preporukama ATM Foruma, zaštita se primenjuje i na virtuelnim kolima (VC). To znači da se za svako VC primenjuje različit ključ. Jedna od prednosti ovakvog pristupa je što je zaštićena tajnost drugih VC i ako je jedno VC ugroženo. Druga prednost je relativno dug „životni vek“ ključa sesije, pod pretpostavkom da saobraćaj nije tako veliki kao saobraćaj celog sistema. Ovom metodom sistem može obezbediti kvalitet bezbednosnih usluga za različita VC, čime se uvodi koncept kvaliteta usluga QoS u ATM bezbednost. I u ovom pristupu postoje neke otežavajuće okolnosti. Šifратор mora veoma brzo pristupiti širokom opsegu ključeva. Takođe, zahteva se da šifратор veoma dinamično menja ključ sesije, kao i da veoma brzo može pristupiti sledećoj ATM ćeliji. Ovaj zahtev, koji se naziva agilnost ključa, nije ni malo jednostavan. Ako se uzme u obzir i potencijalno veliki broj VC, traženje ključa u velikoj tabeli ključeva unosi dodatno kašnjenje.

## Zaključak

Međunarodna unija za telekomunikacije – ITU (*International Telecommunications Union*) prihvatila je asinhroni način transfera kao tehniku prenosa, multipleksiranja i komutacije kao buduću svetsku digitalnu širokopojasnu mrežu velikih bitskih protoka. Ta mreža omogućava prenos svih vrsta medija, odnosno informacija (govor, video, podaci, mirne slika, multimedijalne poruke) na jedinstvenoj tehnološkoj osnovi. ATM mreže koriste se u javnim telekomunikacijama, kao i u privatnom okruženju, a njihovi korisnici su i namenski sistemi (vojska, policija).

Može se reći da će buduće ATM mreže prenositi internet saobraćaj, javni telefonski saobraćaj, komercijalne komunikacione aktivnosti, kao i vojne aplikacije. Za sav telekomunikacioni saobraćaj, bez obzira na to o kojem korisniku se radi, bezbednost ovih mreža nameće se kao ključni problem.

Bezbednost ATM mreža pojavila se kao problem kada se uvidelo da su ugrožene raznim vrstama pretnji i napada. Od 1995. godine do danas traje rad radne grupe ATM Foruma za pitanja bezbednosti, kao i drugih grupa na uvođenju bezbednosnih usluga u ATM, radi obezbeđenja sigurne komunikacije. Ovaj rad nije usmeren na iznalaženje i definisanje novih bezbednosnih mehanizama, nego na korišćenje postojećih bezbednosnih tehnika, kao što su razne vrste algoritama za šifrovanje/dešifrovanje, digitalni potpis i druge postojeće tehnike.



Do sada su donete dve bezbednosne specifikacije (preporuke) – Verzija 1.0 i Verzija 1.1, kao i brojni dodaci, ali time ipak nisu rešena sva pitanja ATM bezbednosti. Ostalo je nerešeno pitanje bezbednosti kontrolne ravni, bezbednosti upravljačke ravni, kao i još neki zahtevi. Rad na uvođenju ovih bezbednosnih usluga dosta je otežan zbog raznih poteškoća i protivrečnih zahteva pomenutih u prethodnom odeljku.

Osnovni pristup i koncept bezbednosti u ATM, kako je sugerisano u pomenutim bezbednosnim specifikacijama ATM Foruma, sastoji se u obezbeđenju bezbednosti na nivou virtuelnog kola (VC). To je od velike važnosti, jer se time omogućava uvođenje kvaliteta usluga – QoS i u područje bezbednosti ATM. Treba imati u vidu da je kvalitet usluga QoS (engl. *Quality of Service*) jedna od najznačajnijih karakteristika ATM mreža.

Na problemima bezbednosti ATM mreža ne rade samo radne grupe i članovi ATM Foruma. U literaturi [3], [7], [8] mogu se naći brojni predlozi za poboljšanje specifičnih bezbednosnih usluga. Autori su uglavnom obradili: slabosti komunikacionih ATM protokola, razne načine obezbeđenja autentifikacije i tajnosti, kontrolu pristupa realizovanog korišćenjem jedne vrste vatrenog zida (*ATM Firewall*), itd.

U ovom radu prikazan je pregled problema i rešenja bezbednosti ATM mreža. Navedene su neke od mogućih pretnji i napada kojima su ATM mreže izložene, definisani su ATM bezbednosni ciljevi, kao i funkcionalni zahtevi mrežnog ATM sistema. Takođe, prikazan je način primene ovih ciljeva na ATM arhitekturu protokola, te ukratko opisane ATM bezbednosne usluge. Objasnjeno je model ATM bezbednosti, a prikazane su takođe *two-way* i *three-way* MSE procedure za autentifikaciju i dogovaranje bezbednosnih parametara. Navedeni su neki od problema, koji se javljaju pri uvođenju tehničkih rešenja bezbednosti ATM mreža.

Sa sigurnošću se može reći da je potrebno još mnogo vremena i napora da se konačno i uspešno reše sva pitanja bezbednosti ATM mreža. Treba imati u vidu da napadači na mrežu postaju sve spretniji, ali nastaju i sve savremeniji bezbednosni algoritmi. Nema sumnje da se borba između napadača i korisnika nikada neće završiti, ali je cilj da se bude bar dva koraka ispred napadača.

### Literatura

- [1] ATM Security Framework 1.0, ATM Forum Technical Committee, february 1998.
- [2] ATM Security Specification 1.0, ATM Forum Technical Committee, february 1999.
- [3] ATM Network Security: – Vulnerabilities and Risks – white paper.
- [4] Jevtović, M., *Telekomunikacione ATM mreže*, Grafo-Žig, Beograd, 2001.
- [5] Jevtović, M., *Multimedijalne telekomunikacije*, Grafo-Žig, Beograd, 2004.

[6] ATM Security Specification version 1.1, ATM Forum Technical Committee, march 2001.

[7] ATM Network Security, [www.atmforum.com](http://www.atmforum.com)

[8] Securing Communications over ATM Networks, white paper.

#### SECURITY AND PROTECTION IN THE BROADBAND ATM TELECOMMUNICATION NETWORKS

##### *Summary:*

*Security of communications over broadband ATM networks is analysed in this paper. Attacks on ATM networks (fiber tapping, SONET (Synchronous Optical network) drop/add multiplexor attacks, eavesdropping, spoofing, virtual channel stealing, service denial, traffic analysis, protocol weaknesses, ILMI (Integrated Local Management Interface) attacks, PNNI (Private Network to Network Interface) attacks), model of ATM and ATM security framework are described. Some problems occurring within security and protection realization in the communication over ATM networks are also specified.*

*Key words: Telecommunication networks, Asynchronous Transfer Mode – ATM, broadband networks, network security, protection of networks and information, model of ATM network security.*

Datum prijema članka: 31. 12. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 16. 03. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 03. 2009.

# PROGRAM ISPITIVANJA I METODOLOGIJA ANALIZE SPEKTRA VIBRACIJA BRODSKE GASNE TURBINE PROTEUS 52M/558

Dobrić S. Predrag, Trifković R. Dragan, Petrović O. Živojin,  
Vojna akademija – Katedra prirodno-matematičkih i tehničkih nauka,  
Beograd

UDC: 621.438:[623.824:623.46  
613.644:621.438

## Sažetak:

*U radu je prikazan program ispitivanja vibracija brodske gasne turbine, zasnovan na analogiji ispitivanja i analizi vibracija na avionskim i/ili helikopterskim gasnim turbinama. Posebna pažnja posvećena je izboru parametara vibracija, analizi spektra vibracija, kao i metodama procene kriterijuma prihvatljivosti vibracija. Na kraju rada prikazani su rezultati merenja vibracija na gasnoj turbini Proteus 52M/558 ugrađenoj na brodu RTOP-405.*

Ključne reči: *gasna turbina, vibracije, dijagnostika.*

## Uvod

**M**erenje, odnosno ispitivanje vibracija je pogodan metod za opšti nadzor stanja tehničkih sistema. Neki od najčešćih uzroka nastanka vibracija su:

- debalans rotirajućih delova,
- nesaosnost ili iskrivljenost vratila,
- oštećenje vratila,
- oštećenje ležajeva,
- oštećenje zupčanika,
- deformacije lopatica na statoru i rotoru,
- nepritegnutost delova na sistemu,
- mehanički zazori,
- uljni vrtlozi,
- električno pobuđene vibracije.

Merne veličine vibracija mogu biti: ubrzanja, brzine ili pomeraji oscilatornog kretanja tela. Merni signal može se prikazati kao skalarna veličina, kao realna funkcija (npr. vremenski zapis), grafik, jednačina ili kao kompleksna funkcija (spektar).

Program održavanja tehničkog sistema na bazi vibracija zasniava se na sledećim činjenicama:

- svi sastavni delovi i sistemi gasne turbine vibriraju i stvaraju buku zbog manje ili veće neispravnosti,
- svaka prekomerna vibracija ili znatno povećanje normalnog nivoa vibracija, ili normalnog nivoa buke sastavnih delova ili sistema, predstavljaju upozorenje da su neispravnosti postale mehanički ili električni problem,
- razne smetnje stvaraju vibracije i buku na različite načine.

Značaj vibracija za održavanje tehničkih sistema ogleda se u činjenicama da se:

- periodičnom ili kontinualnom kontrolom vibracija i buke otkrije postojanje neispravnosti,
- analizom spektra vibracija ili buke otkrije o kakvoj se vrsti neispravnosti radi, odnosno koji deo sistema je neispravan.

Da bi se efikasno iskoristile ove mogućnosti neophodno je izraditi program kontrole vibracija na sistemu gasne turbine Proteus 52M/558. On bi omogućio otkrivanje neispravnosti u ranom stadijumu. Po otkriću neispravnosti primenjuje se analiza vibracija i buke radi korektivnih i preventivnih aktivnosti održavanja.

Program održavanja na bazi vibracija zahteva posedovanje:

- znanja o načinu funkcionisanja gasne turbine Proteus 52M/558,
- znanja i sposobnosti prepoznavanja vrste neispravnosti, i to u toku samog nastajanja neispravnosti.

Ključ za obezbeđenje ovih zahteva jeste merenje i analiza vibracija. Da bi program održavanja na bazi vibracija funkcionisao može se okvirno izdvojiti sedam osnovnih postupaka. To su:

1. Popis elemenata gasne turbine koje treba obuhvatiti programom ispitivanja.
2. Definisane dozvoljenih nivoa vibracija i buke na pomenutim elementima.
3. Definisane ispravnog tehničkog stanja i nivoa vibracija i buke za svaki element obuhvaćen programom ispitivanja.
4. Definisane mernih tačaka na gasnoj turbini za kontrolu vibracija, kako za kontinualnu, tako i za periodičnu kontrolu.
5. Definisane učestalosti periodične kontrole.
6. Definisane informacionog sistema za registrovanje podataka i njihovo uvođenje i čuvanje.
7. Obuka poslužilaca gasne turbine za sprovođenje ispitivanja na bazi vibracija.

## Program ispitivanja vibracija brodske gasne turbine Proteus 52M/558

Merenje intenziteta vibracija predstavlja jednu značajnu fazu u održavanju gasne turbine i ispitivanju njenih parametara. Sve vibracije iznad dozvoljenih vrednosti ugrožavaju bezbednost poslužioca, kao i borbenu gotovost plovnog objekta – broda.

Pravilna dijagnostika uzroka vibracija, direktno utiče na pouzdanost turbine i ima bitan ekonomski značaj. Ukoliko se tačno utvrdi uzrok nedozvoljenih vibracija, eliminisaće se troškovi višestrukog rastavljanja, pregleda i sastavljanja turbine.

Problem vibracione dijagnostike je vrlo složen i specifičan jer zahteva pojedinačnu analizu svake gasne turbine (brod RTOP-405 ih ima dve), odnosno analiza vibracija svojstvena je samo ispitivanoj gasnoj turbini, dok se za svaku drugu, istog tipa, razlikuje.

Ispitivanje gasne turbine Proteus 52M/558 pomoću vibracione dijagnostike može biti:

- u eksploataciji (na brodu, za vreme rada ili za vreme mirovanja),
- na ispitnom stolu (u ispitnoj stanici).

Pozivajući se na program ispitivanja gasne turbine Astazou XIV M UIS u Vazduhoplovnom zavodu "Moma Stanojlović", program ispitivanja frekventnog stanja gasne turbine Proteus 52M/558 na brodu principijalno bi se sastojao od sledećih faza:

1. faza – kalibracija opreme za ispitivanje. Ova faza sadrži proveru i kalibraciju opreme za ispitivanje prema dokumentaciji za njeno održavanje. Naročita pažnja mora se posvetiti proveru karakteristika davača vibracija. U principu bi se, tek nakon potvrde nadležne laboratorije da je oprema ispravna, moglo pristupiti drugoj fazi programa.

2. faza – izrada programa merenja vibracija. U ovoj fazi pristupa se izradi programa merenja intenziteta vibracija. Pri njegovoj izradi mora se voditi računa da proizvođač gasne turbine nije promenio intenzitet dozvoljenih vibracija i veličine merenja.

Proizvođači opreme za merenja vibracija uzimaju sledeće veličine: pomeraj ( $s$  [mm]), brzinu ( $v$  [mm/s]) i/ili ubrzanje ( $\alpha$  [mm/s<sup>2</sup>]). Svi davači vibracija ovih veličina moraju se usaglasiti sa instrumentima koji vrše merenje.

3. faza – snimanje vibracija. Vibracije treba snimiti prema programu merenja. Na osnovu snimljenih dijagrama treba izvršiti spektralnu analizu vibracija u frekventnom domenu i doneti zaključak u odnosu na maksimalno dozvoljeni intenzitet istih. Posebno treba obratiti pažnju na ispravnu analizu od koje zavisi konačna ocena ispravnosti pojedinih elemenata, pa i cele gasne turbine.

4. faza – eliminacija uzroka konstantovanih vibracionih devijacija. Ova faza podrazumeva, ako je to potrebno, zamenu neispravnih elemenata. To se obavlja, po mogućnosti, na licu mesta, ukoliko to turbinski

(mašinski) prostor dozvoljava ili se gasna turbina vadi i šalje na remont u remontni zavod, a zatim se ponovo vraća u propulzioni sistem plovnog objekta. Dakle, u ovoj fazi se pristupa rastavljanju i pažljivoj kontroli delova i sklopova koji su izloženi velikim vibracijama.

5. faza – ponovna kontrola vibracija gasne turbine. U ovoj fazi se, u stvari, ponavlja izrada programa merenja sa težištem na remontovane delove i elemente, kao i sam postupak merenja vibracija.

6. faza – analiza snimljenog frekventnog spektra. U ovoj fazi vrši se analiza vrednosti snimljenog spektra vibracija i upoređuju se rezultati pre i posle intervencije na pojedinim neispravnim elementima iz prvog ispitivanja.

### *Kriterijumi i izbor parametara vibracija*

Svaki od parametara (pomeraj, brzina i ubrzanje) poseduje određene karakteristike u pogledu pogodnosti primene i definisanja nivoa vibracija.

Amplituda pomeraja karakteriše deformacije konstrukcije usled vibracija i preporučuje se kao veličina za merenje, ako neispravnost dovodi do: promene nekih linearnih ili uglovnih dimenzija, smanjenja zazora između rotora i statora (dolazi do povećanog trošenja i lomova rotorskih lopatica i labirinata), smanjenja zazora između elastičnih elemenata i kućišta oslonca (dolazi do znatnog povećanja nivoa dinamičkih opterećenja koji se prenose od rotora na stator).

Vibracije iskazane ubrzanjem karakterišu nivo inercijalnih opterećenja koja se pojavljuju pri oscilovanju. Ove sile mogu biti primarne pri oceni stanja oslonca, spojeva sa prirubicama, pričvršćenja agregata, itd.

Vibracije iskazane brzinom povezane su sa nivoom vibracionog naprezanja:

$$\sigma_v = \alpha \cdot v, \quad (1)$$

gde je:

$\sigma_v$  [N/mm<sup>2</sup>] - vibraciono naprezanje – napon,

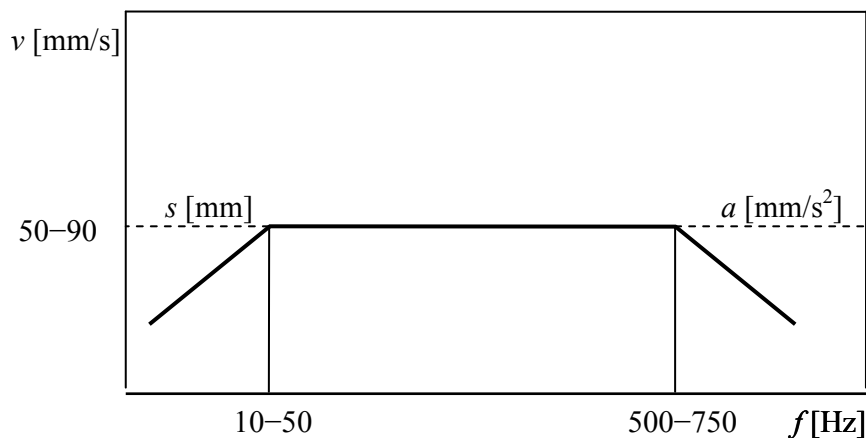
$\alpha$  – koeficijent proporcionalnosti, koji zavisi od svojstva sistema (geometrije, materijala, krutosti, inercije, ...),

$v$  [mm/s] - brzina vibracije.

Merenje brzine vibracija omogućava da se oceni vibronaprezanje konstrukcije, pri čemu se određuje stanje sveukupnih oštećenja, a posebno onih koji imaju karakteristiku zamora. Analiza brzine vibracija kod različitih tipova gasnih turbina u eksploataciji pokazuje da se one nalaze u dovoljno uskom dijapazonu u granicama od 30 do 60 mm/s.

Ako se ustanovi da je promena amplitude brzine vibracija, u frekventnom opsegu do 10 kHz, znatno manja od promene amplitude pomeraja i ubrzanja, može se zaključiti da je brzina najuniverzalniji kriterijum intenziteta vibracija, što je naročito izraženo pri kontroli vibracija rotora gasnih turbina različitih tipova.

Pri konstantnim brzinama vibracija, uz porast frekvencije oscilovanja, vibracije pomeraja se smanjuju, a vibracije ubrzanja povećavaju. Prema tome, pri kontroli širokog dijapazona vibracija na niskim frekvencijama ( $f < 10$  do 50 Hz) moguće je primeniti pomeraj kao dijagnostički parametar vibracija, a na visokim frekvencijama ( $f > 500$  do 750 Hz) primeniti ubrzanje kao dijagnostički parametar vibracije (slika 1).



Slika 1 – Oblast izbora parametara za merenje vibracija

Izbor parametara za kontrolu zavisi od tipa gasne turbine, specijalne konstruktivne šeme i korišćenja opsega režima rada. Najčešće se primenjuje kontrola nivoa vibracija rotora gasne turbine.

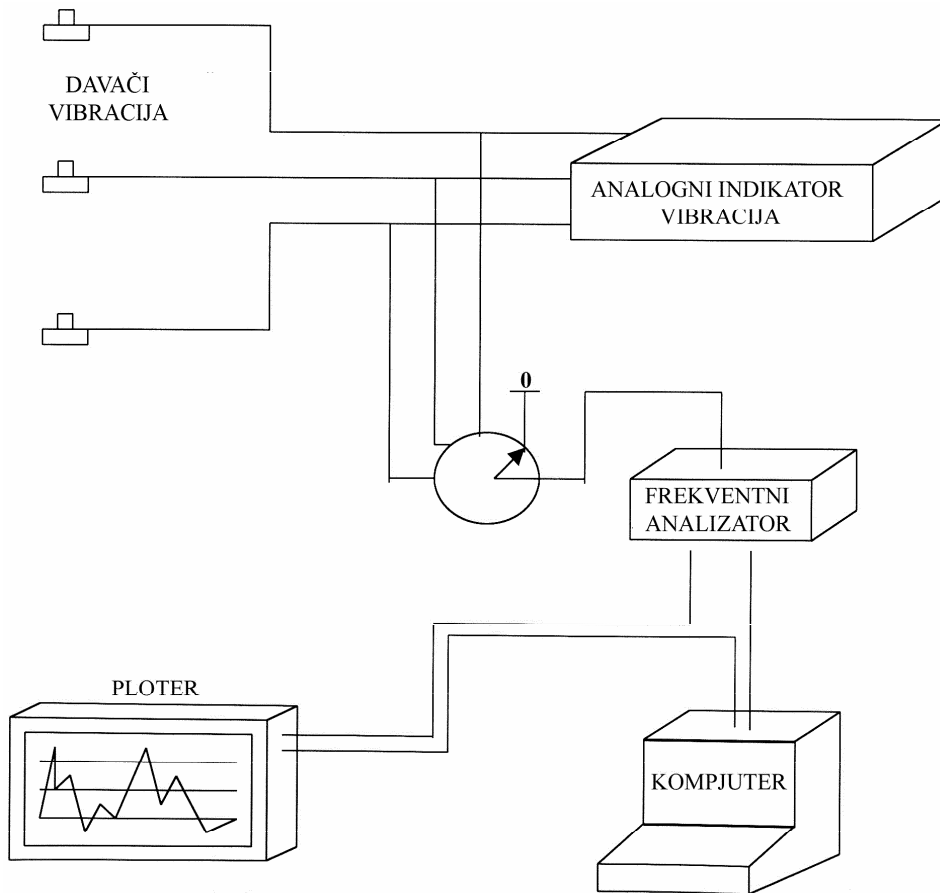
### ***Povezivanje dijagnostičkog sistema sa datotekom i mogućnost kontinualne i povremene kontrole brodske gasne turbine***

Brodska gasna turbina Proteus 52M/558 nalazi se u turbinskom (mašinskom) prostoru broda RTOP-405. S obzirom na to da taj prostor karakterišu visoke temperature, velika buka, uljna isparenja i ostali negativni faktori koji slabe mogućnost ljudske percepcije u takvoj okolini i samim tim povećavaju verovatnoću greške, sve one delove mernog sistema koji to omogućavaju treba instalirati na pogodno mesto.

Najadekvatniji prostor za to je prostor komandnog pulta V (petog) brodskog odreda, u koji može da se postavi merni sistem, tako da se ne ometaju ostale funkcije pomenutog prostora.

Na ovaj način bi se na gasne turbine postavili davači vibracija, a njihovi vodovi bi se sakupili u jednu magistralu (zajedno od leve i desne gasne turbine) i instalirali u konstrukciju palube iznad gasnih turbina, kako bi bili sigurni od eventualnog naplavlivanja vodom turbinskog (mašinskog) prostora. Ta magistrala bi se sprovela kroz vodonepropusnu pregradu do prostorije sa pultom upravljanja. Sva provlačenja kablova moraju biti u skladu sa standardom o vodonepropusnosti pregrada.

U prostoriji upravljanja brodskim motorima postavio bi se merni sistem sa ploterom i učvrstio nosačima za konstrukciju broda. Blok-šema mernog sistema za dijagnostikovanje vibracija prikazana je na slici 2.



Slika 2 – Blok-šema mernog sistema za dijagnostikovanje vibracija



Na ovu osnovnu koncepciju mernog sistema može se povezati, preko analogno-digitalnog konvertora, i brodski ili bilo koji personalni računar. Na njega se može instalirati gotov paket – program koji bi omogućio:

- hronološko praćenje snimanja vibracija,
- čuvanje podataka u datoteci (posebno za svaku turbinu),
- bržu analizu podataka (pozivanje na prethodno stanje i upoređivanje),
- brži pristup podacima,
- kontinualno praćenje stanja u kritičnom periodu rada i alarmiranje u slučaju prekoračenja dozvoljenog nivoa vibracija,
- povremeno praćenje vibracionog stanja, itd.

Ovakva koncepcija sistema ispitivanja znatno bi poboljšala i, što je najvažnije, ubrzala program ispitivanja i dijagnostikovanja vibracija. Osim toga, zahvaljujući strukturi sistema, kasnije bi se veoma lako povezao i sa sistemom pogonskih dizel motora ili drugih važnijih uređaja (pumpe, kompresori, itd.). Sa druge strane, ovakav merni lanac predstavlja jedan vid modularne dijagnostičke strukture, koja omogućava nadgradnju u tehničkom smislu (npr. bolji programi za analizu) i kvantitativnom smislu (priključivanje i ispitivanje, i drugih uređaja i agregata).

Veoma je bitno reći da kompjuterizovani sistem dijagnostike omogućava izvanredno praćenje geneze kvara, vremena i mesta pojave, metastaze, kao i propratnih pojava koje je prouzrokovao. Zatim, instaliranjem određenih programa za pronalaženje mogućih uzroka kvarova za određene vibracione devijacije kompjuter može u analizi automatski (bez učešća čoveka) dati moguće uzroke i obrazložiti ih adekvatnim delom vibracionog spektra.

Odavde se samo mogu naslutiti koliko su velike i značajne prednosti ovakve koncepcije sistema i opreme za dijagnostiku vibracija.

### *Mogućnost postavljanja davača vibracija na gasnu turbinu*

Postavljanje mernih davača vibracija na gasnu turbinu mora biti takvo da omogući najrealniju sliku vibracionog stanja gasne turbine. Mesta za postavljanje mogu biti vrlo različita i mnogobrojna. Treba težiti ka tome da se ne postavi preteran broj davača vibracija, već minimalan broj potreban za pružanje adekvatne slike vibracionog stanja gasne turbine.

Pri razmatranju mogućeg mesta za postavljanje davača vibracija, uz konsultaciju sa relevantnim licima čiji je to domen rada, najpogodnije mesto bilo bi na srednjem nepokretnom osloncu gasne turbine. Tu bi trebalo postaviti dva davača vibracija, u istoj ravni, ali pod uglom od 90°. Mesto srednjeg oslonca je, u stvari, prednji nosač turbine visokog pritiska. Ostala dva oslonca su pokretna, pa instaliranje davača vibracija na njima ne bi dalo adekvatne rezultate.

Treba napomenuti da ovo nisu jedina moguća mesta, već samo preporuke. Naime, ako se utvrdi da spektri vibracija nisu adekvatni za dijagnostiku, mogu se uzeti i druga mesta (npr. nosači kompresora, turbine visokog pritiska ili turbine snage).

Proces postavljanja davača vibracija je relativno jednostavan i ne zahteva preduzimanje nikakvih tehnoloških operacija na gasnoj turbini (sečenje, skidanje pojedinih agregata, uređaja, oplata turbine, ...), jer postoji dovoljan broj tehnoloških otvora koji omogućavaju lak pristup pomenutim mestima.

Davač vibracija se postavlja na odgovarajući nosač, koji se za njega pričvršćuje pomoću vijaka u odgovarajućoj mernoj ravni (npr., ravan nosača ležaja turbine visokog pritiska). Za definisanje vibracionog stanja gasne turbine u sve tri ravni koordinatnog sistema potrebno je postaviti tri davača vibracija sa međusobno upravnim osama.

## Metodologija analize spektra vibracija brodske gasne turbine Proteus 52M/558

Na osnovu analize spektra vibracija mogu se definisati neka karakteristična svojstva vibracija gasne turbine. Smisao analize spektra vibracija jeste definisanje frekventne strukture oscilacija gasne turbine (za poznate izvore pobude i konstruktivne osobine turbine) i prognoziranje srednjih vrednosti amplituda oscilovanja osnovnih komponenti.

Metodska osnova analize zasniva se na korišćenju veza komponenta oscilacija sa kinematikom, konstrukcijom i režimom rada gasne turbine, kao i na primeni principa superpozicije oscilacija.

### *Standardni spektri i metodologija analize*

Sumarna oscilacija  $X(t)$  može se predstaviti u vidu sume komponentnih oscilacija  $x(t)$  pobuđenih različitim silama:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n x_j(t). \quad (2)$$

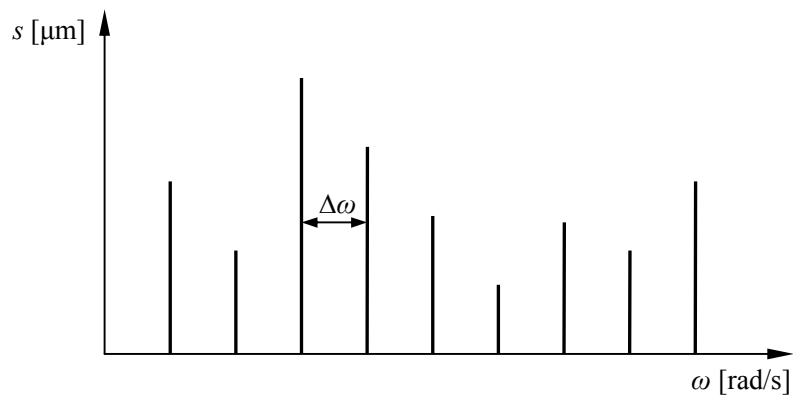
Pretpostavimo da su komponente  $x(t)$ , reda  $X(t)$ , periodične funkcije koje se mogu predstaviti Furijeovim redom:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n A_j \cdot \cos(j \cdot \omega_1 t - \varphi_j). \quad (3)$$

Sveukupnost amplituda ( $A_j$ ) predstavlja diskretni amplitudni spektar. Ukoliko su spektralne linije raspoređene ekvidistantno, sa intervalom između tih linija koji odgovara frekvenciji osnovnog harmonika:

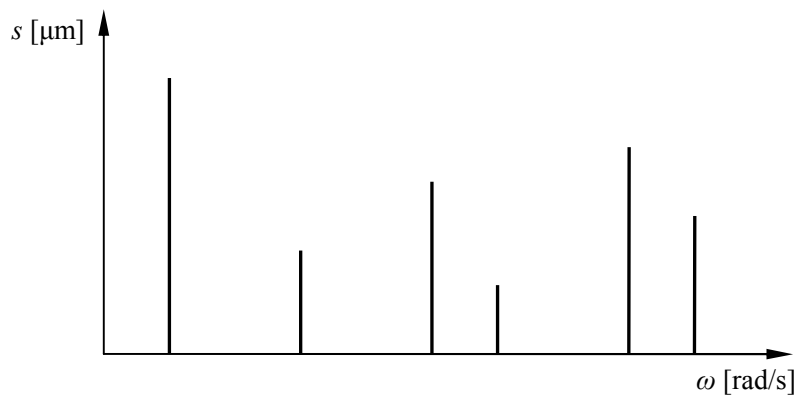
$$\Delta\omega = \omega_1, \quad (4)$$

tada se radi o harmonijskom spektru (slika 3).



Slika 3 - Harmonijski spektar

Ako rastojanje između spektralnih linija nije u intervalu koji odgovara frekvenciji osnovnog harmonika radi se o neharmonijskom spektru (slika 4).



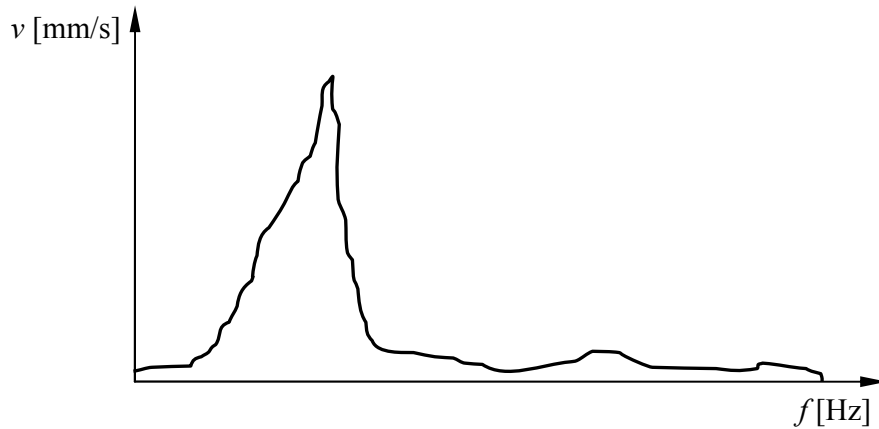
Slika 4 - Neharmonijski spektar

U tom slučaju rezultujuća oscilacija je neperiodična i pripada klasi poliharmonijskih funkcija.

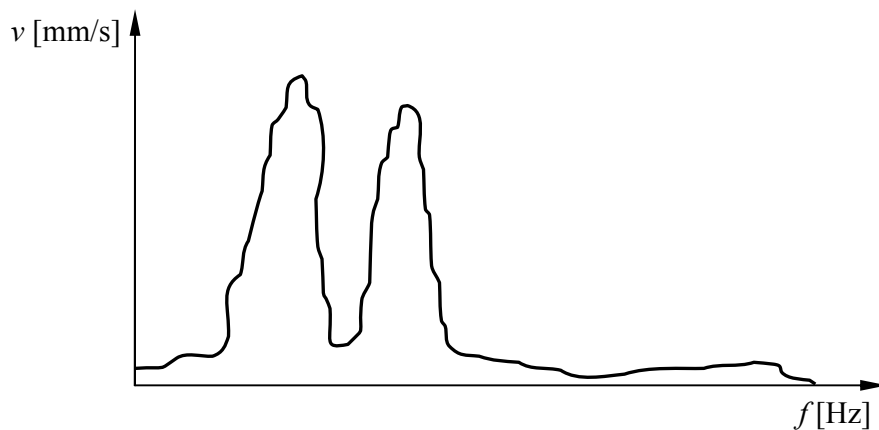
Zbog pogodnije sinteze neophodno je podeliti frekventne komponente rezultujućih oscilacija u dve grupe. U prvoj grupi bi imali sve glavne kompo-

nente, nezavisno od njihovog uzorka. Glavnim se smatraju komponente čije amplitude su dominantne (npr. prvi harmonik rotora), dok u drugostepene spadaju komponente sa malim amplitudama, kao što su oscilacije kućišta pobuđene drugostepenim izvorima (ležajevi, zupčasti prenosnici, lopatice kompresora, aerodinamički i hidrodinamički procesi, itd.). U drugostepene izvore spadaju i komponente osnovnih izvora (subharmonične oscilacije, viši harmonici rotornih i ventilatorskih oscilacija). Drugostepene komponente imaju praktično neprekidan spektar i tu se mogu svrstati komponente sa brzinom vibracija ispod 5 mm/s. Suma drugostepenih komponenti naziva se i šum.

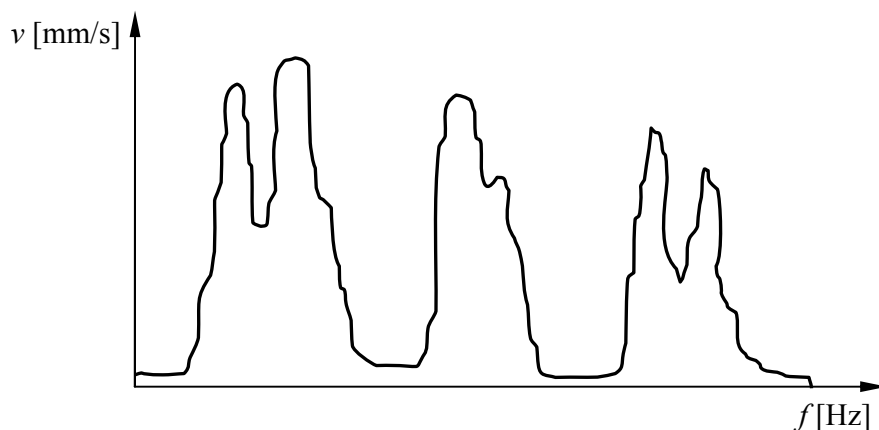
Primeri spektara vibracija, koji su najkarakterističniji u konstrukcijskom smislu, prikazani su na slikama 5, 6 i 7.



Slika 5 - Spektar vibracija jednorotorne gasne turbine



Slika 6 - Spektar vibracija dvorotorne gasne turbine



Slika 7 – Spektar vibracija dvorotorne gasne turbine sa dvostepenim ventilatorom

Kao što se vidi na prikazanim slikama, najprostije oscilovanje ima jednorotorna gasna turbina. Frekvencija osnovne komponente jednaka je frekvenciji obrtanja turbine u radnom području brojeva obrtaja, od režima malog gasa do gornje granične frekvencije koja odgovara maksimalnom broju obrtaja.

Spektar vibracija dvorotorne gasne turbine sa dvostepenim ventilatorom (slika 7) razlikuje se od spektra vibracija dvorotorne gasne turbine (slika 6), usled prisustva visokofrekventnih komponentata oscilacija ventilatora. Na spektru su prikazane i komponente oscilacija nastale usled autooscilacija u gasovazдушnom traktu.

Ovi spektri imaju za cilj da pokažu strukturu vibracija različitih tipova gasnih turbina. To su:

- količina osnovnih komponenti,
- odnosi frekvencije spektra i frekvencije broja obrtaja,
- međusobni odnosi frekvencija u spektru,
- opšte područje frekvencija komponentata oscilacija.

Ovi podaci su korisni za merenje i izbor instrumenata za merenje, metoda za svođenje vibracija u dozvoljene granice, kao i za pravilno tumačenje rezultata merenja. Tako, na primer, pokazuju mogućnost podele ne frekventne zone (vezane za određeni izvor ili izvore vibracija), strukturu vibracija u svakoj zoni, naročito mogući uticaj susednih zona.

Što se tiče intenziteta oscilacija potrebno je da spektrima budu prikazane srednje vrednosti amplituda, utvrđene i karakteristične za gasne turbine na kojim se mere.

U konkretnom slučaju, kod gasne turbine Proteus 52M/558 treba očekivati da eksploatacione vrednosti amplituda i njihovi odnosi budu različiti od propisanih. Uzroci te razlike mogu biti mnogobrojni i na njih se

mora obratiti posebna pažnja (npr. postavljanje davača vibracija i izbor mesta merenja, jer je raspored oscilacija po dužini gasne turbine nejednak). Tako sa povećanjem frekvencije oscilovanja raste uticaj lokalizacije oscilacija u oblasti njihovog nastajanja. Rotorna oscilacija u prednjem delu gasne turbine najčešće karakteriše debalans kompresora, a u zadnjem delu debalans turbine. Preciznijoj lokalizaciji oscilacija doprinosi i smanjenje krutosti kućišta, složenije kinematske šeme gasne turbine (višerotorne, što je i slučaj kod gasne turbine Proteus 52M/558). Lokalizacija je naročito izražena pri visokofrekventnim oscilacijama i može dovesti do kvalitativnih razlika u spektru.

Nivoi oscilacija u različitim mernim tačkama gasne turbine mogu znatno da se razlikuju. Tako pri rotornoj oscilaciji ova razlika može de bude od 1,5 do dva puta, dok pri visokofrekventnoj oscilaciji ventilatora i od tri do pet puta. Niskofrekventne oscilacije treba očekivati u zadnjem delu gasne turbine (uticaj načina učvršćivanja gasne turbine), dok visokofrekventne u prednjem delu gasne turbine (uticaj položaja izvora oscilacija).

Spektri sa preciznim nivoima amplituda i mernim mestima dobijaju karakter standardnih spektara za određenu gasnu turbinu, u ovom slučaju gasnu turbinu Proteus 52M/558. Ovakvi spektri bi doprineli, nakon obavljenog snimanja, rešavanju zadataka dijagnostike otkaza.

Analizirajući spektre pojedinih gasnih turbina može se izvesti zaključak da opšti frekventni opseg vibracija gasnih turbina obuhvata područje od 10 Hz od 10 kHz. Najniža granica frekvencija određena je prvim harmonikom oscilovanja rotora, dok je gornja određena prema frekvencijama osnovnih komponenti oscilovanja kompresorskih i turbinskih lopatica.

Pri određivanju amplitudnog opsega interesantna je, pre svega, zavisnost amplituda odvojenih frekventnih komponenti od frekvencije oscilovanja. Pri razmatranju tipskih spektara pokazalo se da su amplitude brzine oscilovanja glavnih komponenata, koje imaju isti red veličine, nezavisne od frekvencije oscilacije.

Sve to navodi na sledeće zaključke koji nam mogu poslužiti za pravilan pristup oscilacijama gasnih turbina:

- oscilovanje gasnih turbina jedan je složen oscilatorni proces sa širokim frekventnim područjem. Spektar oscilacija uključuje nekoliko glavnih izvora, kao i vibracioni šum koji obuhvata veliki deo komponenata malog intenziteta;
- osnovni izvori oscilacija koji se mogu očekivati na gasnim turbinama su: konstrukcioni (rotori turbina i kompresora) i aerodinamički oscilatorni procesi u vazdušnoj struji;
- sve frekventne komponente oscilacija gasnih turbina su nestabilne, tj. promene njihovih amplituda u vremenu imaju slučajni karakter;
- može se smatrati da je frekventno područje oscilacija od 10 Hz do 10 kHz, jer se iznad ove oblasti ne javljaju intenzivnije komponente;

– sve osnovne vrednosti oscilacija veoma su vezane za broj obrtaja odgovarajućeg sklopa i ovaj zaključak služi kao baza pri analizi i dijagnostici uzroka nastanka vibracija;

– pri povećanju frekvencije oscilovanja, amplitude ubrzanja imaju tendenciju rasta, a amplitude pomeraja tendenciju pada, dok brzina ima približno isti intenzitet u širokom području frekvencija. Zato je amplituda brzine oscilacija pogodna za ocenu intenziteta vibracija i metodologiju analize njihovog spektra.

## Metode procene kriterijuma prihvatljivosti vibracija na gasnoj turbini Proteus 52M/558

Najadekvatniji način procene prihvatljivosti vibracionog stanja gasne turbine bio bi upoređivanje snimljenih vibracija sa dozvoljenim nivoima vibracija koje je projektovao proizvođač gasne turbine. To bi ujedno bio i najsigurniji način procene. Međutim, sa takvim podacima se za sada ne raspolaže, pa ovaj način procene prihvatljivosti ne može da se razmatra.

Drugi način zasniva se na uputstvima o načinu korišćenja i tumačenju standarda za procenu vibracija. Ne vezujući se posebno za neki od standarda (ISO, DIN, GOST, ANSI, itd.) sledi pregled osnovnih relacija koje u njima postoje.

Načelno je izvršena kategorizacija svih mašina u šest grupa (*K*, *M*, *G*, *T*, *D* i *S*). Grupe su formirane prema procenjenom kvalitetu rada karakterističnom za mašine svrstane u istu grupu. S obzirom na to da intenzitet dinamičkih sila u najvećoj meri zavisi od ugaone brzine ( $\omega$  [rad/s]), to je kao osnova za procenu kvaliteta rada uzet nazivni broj obrtaja ( $n$  [min<sup>-1</sup>]).

Izvod iz preporuka (VDI 2056) i standarda (ISO 2372, ISO 2373) za procenu kvaliteta podelio je mašine na sledeće grupe:

– grupa *K* – pojedini delovi mehanizama pogonskih i radnih mašina, koji su u pogonskom stanju potpuno čvrsto vezani za oslonac, naročito elektromotori do 15 kW;

– grupa *M* – mašine srednje veličine, naročito elektromotori snage od 15 do 75 kW, bez posebno formiranih oslonaca, kao i čvrsto vezane mašine (od 300 kW) sa obrtnim delovima;

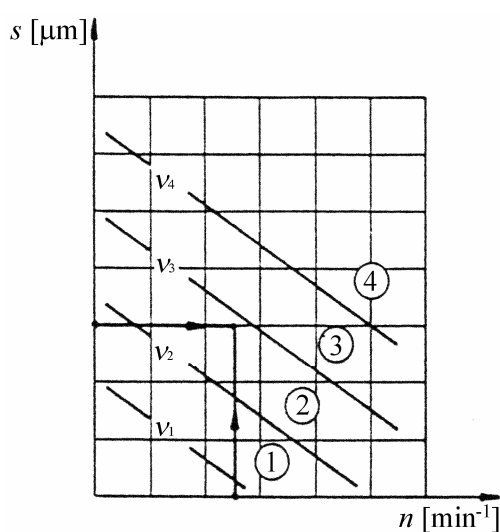
– grupa *G* – veće mašine postavljene na krute i teške oslonce, veće pogonske i radne mašine sa isključivo obrtnim masama;

– grupa *T* – veće pogonske i radne mašine postavljene na fleksibilne oslonce, sa isključivo obrtnim masama (npr. turbogrupe na osloncima u formi lake gradnje);

– grupa *D* – mašine i pogonski agregati na krutim osloncima sa uravnoteženim masama;

– grupa S – mašine i pogonski agregati na fleksibilnim osloncima sa ekscentričnim masama; rotacione mašine sa perifernim pomičnim masama; udarna vratila kod mlinova, mašine sa promenljivom uravnoteženošću i priključnim delovima (centrifuge, vibraciona sita, mašine za dinamičko ispitivanje materijala, vibracione mašine procesne industrije, itd.).

Za svaku grupu mašina postoji odgovarajući dijagram (slika 8) koji je saglasan sa zahtevanim kvalitetom rada, a po strukturi je istovetan za sve grupe.



Slika 8 – Nivoi vibracija za pojedine grupe mašina:  
1. dobro; 2. dopustivo; 3. granično dopustivo; 4. nedopustivo

Na apscisnoj osi je radni broj obrtaja, a na ordinatnoj izmereni nivo vibracija izražen amplitudom pomeraja ( $s$  [ $\mu\text{m}$ ]). Polje u kojem se seku pravci iz definisanih tačaka na osama određuje kvalitet rada sistema. Za procenu kvaliteta rada sistema može se koristiti i drugi parametar vibracija, brzina vibracija ( $v$  [ $\text{mm/s}$ ]). Zahvaljujući tome što brzina vibracija ( $v$  [ $\text{mm/s}$ ]) u svom intenzitetu implicitno sadrži uticaj ugaone brzine ( $\omega$  [ $\text{rad/s}$ ]), granice kvaliteta postaju apsolutne, tako da nije potrebno svođenje prema radnom broju obrtaja ( $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]).

Prema standardu o klasifikaciji mašina, gasna turbina Proteus 52M/558 spada u 4. grupu podele, tj. u grupu T.

Treći način procene prihvatljivosti vibracija na gasnoj turbini Proteus 52M/558, a da se ne poseduju podaci o njihovim dozvoljenim vrednostima, jeste snimanje vibracija na novoj gasnoj turbini i upoređivanje sa vibracionim stanjem gasne turbine koja se ispituje. U ovom slučaju referentne granice dao bi spektar nove gasne turbine.



## *Rezultati merenja vibracija na gasnoj turbini Proteus 52M/558 ugrađenoj na brodu RTOP-405*

Kontrolna mesta na kojima su merene vibracije su:  
 – kontrolno mesto 1 – prednje oslanjanje gasne turbine na konstrukciju broda,  
 – kontrolno mesto 2 – zadnje oslanjanje gasne turbine na konstrukciju broda.

Merene su brzine vibracija leve gasne turbine na brodu RTOP-405, pomoću ručnog prenosnog vibrometrom (SPM Vib-10). Merenja su izvršena u aksijalnoj i radijalnoj ravni. U tabeli 1 prikazane su vrednosti izmerenih brzina vibracija ( $v$  [mm/s]).

*Tabela 1*

Vrednosti izmerenih brzina vibracija

Režim rada	Frekvencija pogonskog vratila gasne turbine [Hz]	Kontrolno mesto 1		Konačna ocena merenja	Kontrolno mesto 2		Konačna ocena merenja
		Aksijalna brzina vibracije [mm/s]	Radijalna brzina vibracije [mm/s]		Aksijalna brzina vibracije [mm/s]	Radijalna brzina vibracije [mm/s]	
N0	64,56	1,5	1,1	+	1,5	1,1	+
N6	109,71	4,1	5,2	+	7,8	15,1	+
N8	118,51	5,2	4,7	+	7,2	7,2	+
N9	149,58	4,5	3,4	+	7,0	4,0	+
N10	158,27	3,7	4,4	+	6,0	4,0	+

Prvi krug merenja odnosi se na merenje vibracija gasne turbine u radu na karakterističnim režimima, a kontrolno mesto je prednje oslanjanje gasne turbine na konstrukciju broda. Merenje vibracija na tom mestu predstavlja merenje mogućih nepravilnosti u radu na mestu prenosa snage na primarni reduktor, kao i na mestu pogona pomoćnih agregata motora. U tabeli 2 prikazane su vrednosti izmerenih vibracija prema režimima rada, merene na prednjem nosaču gasne turbine.

Drugi krug merenja odnosi se na merenje vibracija gasne turbine u radu na karakterističnim režimima, a kontrolno mesto je zadnje oslanjanje gasne turbine na konstrukciju broda. Merenje vibracija na tom mestu predstavlja merenje mogućih nepravilnosti u radu na mestu oslanjanja zadnjeg ležaja kompresora i prednjeg ležaja kompresorske turbine. U ta-

beli 3 prikazane su vrednosti izmerenih vibracija prema režimima rada, merene na zadnjem nosaču gasne turbine.

Neophodno je napomenuti da su oba merenja, za prednji i zadnji oslonac gasne turbine na konstrukciju broda, ostvarena digitalizovanim lancem. U obradi linearnih vibracija korišćena je komparativna metoda (upotrebom dva načina merenja – ručni prenosni vibrometar i digitalno merenje upotrebom piezoelektričnih davača vibracija).

Zbog nedostatka podataka sa ranijih merenja za procenu nivoa vibracija korišćeni su ISO standardi, kao i preporuke proizvođača merne opreme.

Tabela 2

Vrednosti izmerenih vibracija prema režimima rada merene na prednjem nosaču gasne turbine

		Ubrzanje [mm/s <sup>2</sup> ]		Brzina [mm/s]		Pomeraj [mm]	
		min.		min.		min.	
N0 prazan hod	AKSIJALNA RAVAN	min.	-137,77	min.	-5,4	min.	-1,96
		maks.	25,77	maks.	3,76	maks.	0
		srednje	65,77	srednje	-1,48	srednje	-1,41
	RADIJALNA RAVAN	min.	- 48,65	min.	-0,90	min.	-0,29
		maks.	24,72	maks.	0,12	maks.	0
		srednje	-11,25	srednje	0,28	srednje	-0,22
N6 60 % snage	AKSIJALNA RAVAN	min.	-128,03	min.	-2,14	min.	-0,78
		maks.	91,45	maks.	1,67	maks.	0
		srednje	-21,36	srednje	-0,34	srednje	-0,47
	RADIJALNA RAVAN	min.	-113,25	min.	-1,35	min.	-0,34
		maks.	58,22	maks.	0,76	maks.	0
		srednje	-10,20	srednje	0,21	srednje	-0,21
N8 trajna snaga	AKSIJALNA RAVAN	min.	113,90	min.	0,21	min.	0
		maks.	498,81	maks.	20,37	maks.	8,04
		srednje	304,92	srednje	8,04	srednje	5,80
	RADIJALNA RAVAN	min.	-74,97	min.	-0,80	min.	0
		maks.	122,82	maks.	4,25	maks.	1,18
		srednje	44,60	srednje	1,09	srednje	0,88
N9 95 % snage	AKSIJALNA RAVAN	min.	192,04	min.	-0,97	min.	0
		maks.	570,31	maks.	28,73	maks.	10,14
		srednje	392,22	srednje	10,15	srednje	7,45
	RADIJALNA RAVAN	min.	-11,17	min.	0,05	min.	0
		maks.	160,31	maks.	4,76	maks.	1,98
		srednje	72,15	srednje	1,98	srednje	1,36
N10 maks. snaga	AKSIJALNA RAVAN	min.	131,35	min.	-3,24	min.	0
		maks.	531,24	maks.	25,76	maks.	8,23
		srednje	332,03	srednje	7,94	srednje	6,53
	RADIJALNA RAVAN	min.	35,89	min.	0,71	min.	0
		maks.	218,53	maks.	10,28	maks.	3,59
		srednje	139,28	srednje	3,51	srednje	2,71

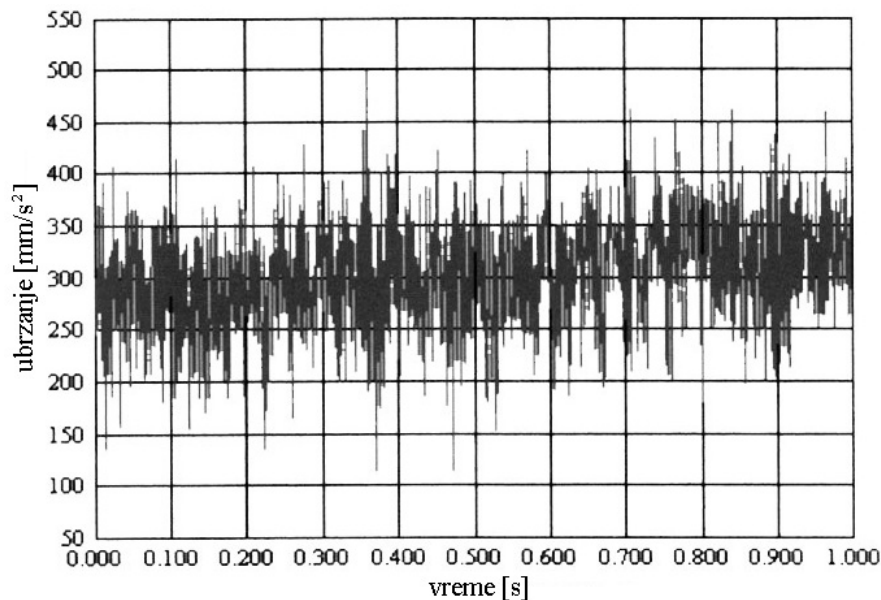
Tabela 3

Vrednosti izmerenih vibracija prema režimima rada merene na zadnjem nosaču gasne turbine

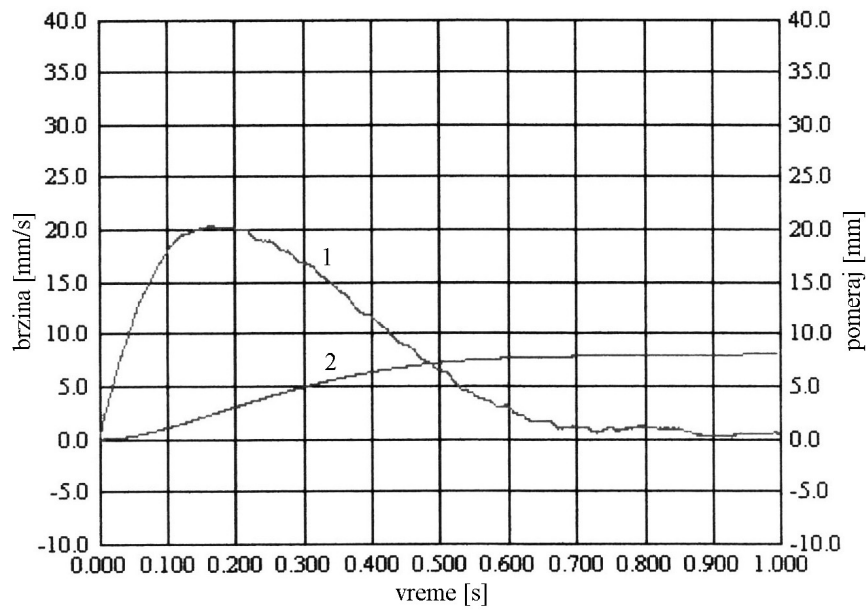
		Ubrzanje [ $\text{mm/s}^2$ ]		Brzina [ $\text{mm/s}$ ]		Pomeraj [ $\text{mm}$ ]	
		min.		min.		min.	
N0 prazan hod	AKSIJALNA RAVAN	min.	-86,46	min.	-0,61	min.	-0,32
		maks.	50,71	maks.	0,12	maks.	0
		srednje	-8,23	srednje	-0,32	srednje	-0,13
	RADIJALNA RAVAN	min.	-169,88	min.	-9,38	min.	-3,44
		maks.	-98,10	maks.	0,50	maks.	0
		srednje	-131,72	srednje	-3,34	srednje	-2,55
N3 putni režim	AKSIJALNA RAVAN	min.	-276,84	min.	-12,55	min.	-4,45
		maks.	-73,16	maks.	1,07	maks.	0
		srednje	-170,88	srednje	-4,27	srednje	3,31
	RADIJALNA RAVAN	min.	-220,92	min.	-11,53	min.	4,16
		maks.	-106,87	maks.	0,77	maks.	0
		srednje	-158,49	srednje	-3,99	srednje	3,09

Ova merenja mogu se prikazati dijagramima na kojima su predstavljeni ubrzanje, brzina i pomeraj vibracija, za karakteristične ravni – aksijalnu (u pravcu ose vratila) i radijalnu (upravno na osu vratila).

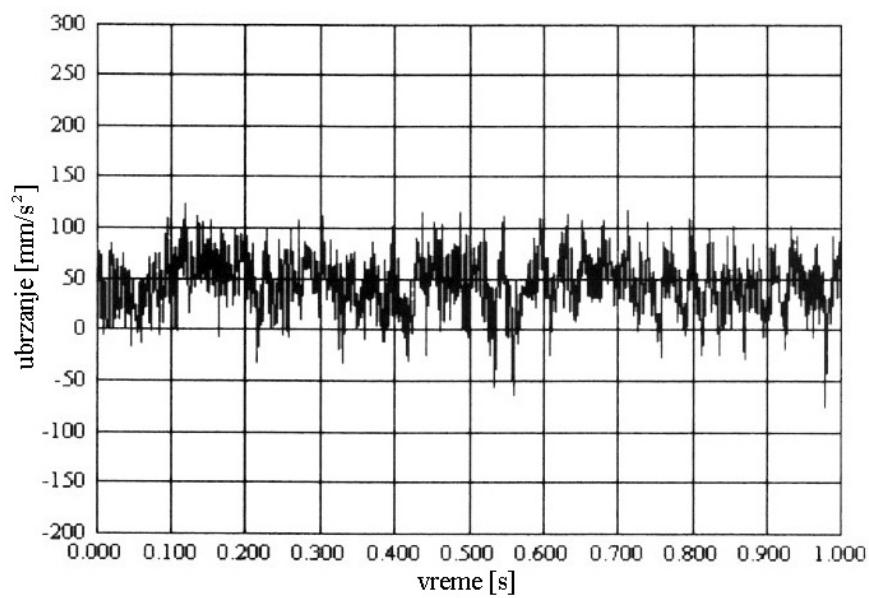
Primeri dijagrama ubrzanja, brzine i pomeraja vibracija, za aksijalnu i radijalnu ravan, pri režimu rada N8 (trajne snage) nalaze se na slikama 9, 10, 11 i 12.



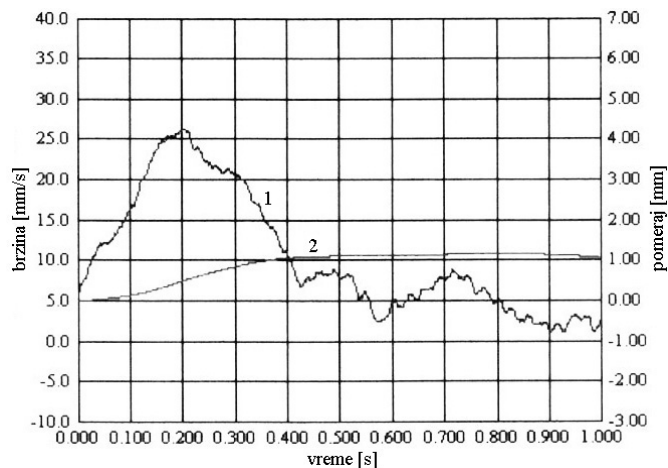
Slika 9 – Prikaz vrednosti ubrzanja vibracija za aksijalnu ravan pri režimu rada N8



Slika 10 – Prikaz vrednosti brzine i pomeraja vibracija za aksijalnu ravan pri režimu rada N8: 1. brzina, 2. pomeraj



Slika 11 – Prikaz vrednosti ubrzanja vibracija za radialnu ravan pri režimu rada N8



Slika 12 – Prikaz vrednosti brzine i pomeraja vibracija za radijalnu ravan pri režimu rada N8:  
1. brzina, 2. pomeraj

U oba slučaja merenja vibracija utvrđeno je da je nivo vibracija prihvatljiv i da se nalazi u dozvoljenim granicama. Za brze procene nivoa vibracija dovoljno je posedovati ručni prenosni vibrometar. Zbog pogodnosti u rukovanju ovaj uređaj je preporučivo imati u tekućim održavanjima gasnih turbina i/ili drugih tehničkih sistema. Tačnije vrednosti dobijaju se upotrebom digitalizovanog mernog lanca, ali za takav način merenja neophodno je poznavati i određene oblasti iz obrade rezultata.

## Zaključak

Imajući u vidu celokupni prethodni prikaz programa ispitivanja i metodološku analizu spektra vibracija brodske gasne turbine Proteus 52M/558, može se zaključiti:

1. Pozivajući se na program ispitivanja gasne turbine Astazou XIV M UIS u Vazduhoplovnom zavodu „Moma Stanojlović“ program ispitivanja frekventnog stanja gasne turbine Proteus 52M/558 na brodu principijalno bi se sastojao od šest faza.

2. Kompjuterizovani sistem dijagnostike omogućava izvanredno praćenje geneze kvara, vremena i mesta pojave, metastaze, kao i propratnih pojava koje je prouzrokovao.

3. Za definisanje vibracionog stanja gasne turbine u sve tri ravni koordinatnog sistema potrebno je postaviti tri davača vibracija sa međusobno upravnim osama.

2. Pri povećanju frekvencije oscilovanja, amplitude ubrzanja imaju tendenciju rasta, a amplitude pomeraja tendenciju pada, dok brzina ima približno isti intenzitet u širokom području frekvencija. Zato je amplituda brzine oscilacija pogodna za ocenu intenziteta vibracija i metodologiju analize njihovog spektra.

3. Pri kontroli širokog dijapazona vibracija na niskim frekvencijama ( $f < 10$  do 50 Hz) moguće je primeniti pomeraj kao dijagnostički parametar vibracija, a na visokim frekvencijama ( $f > 500$  do 750 Hz) ubrzanje kao dijagnostički parametar vibracija,

6. Sve frekventne komponente oscilacija gasnih turbina su nestabilne, tj. promene njihovih amplituda u vremenu imaju slučajni karakter.

7. Može se smatrati da je frekventno područje oscilacija od 10 Hz do 10 kHz, jer se iznad ove granice ne javljaju intenzivnije komponente.

8. Sve osnovne vrednosti oscilacija veoma su vezane za broj obrtaja odgovarajućeg sklopa i ovaj zaključak služi kao baza pri analizi i dijagnostici uzroka nastanka vibracija.

9. U oba slučaja merenja vibracija utvrđeno je da je nivo vibracija prihvatljiv i da se nalazi u dozvoljenim granicama.

### Literatura

- [1] Timošenko, S., *Teorija oscilacija*, Beograd, 1966.
- [2] *Vibracije mlaznih motora i dijagnosticiranje izvora vibracija*, VZ ORAO, 1979.
- [3] *Tehničko uputstvo za eksploataciju broskog postrojenja sa gasnom turbinom Proteus 52M/558*, SSON, Beograd, 1982.
- [4] *Gasna turbina Proteus 52M/558 – Tehničko uputstvo za privešene uređaje*, SSON, Beograd, 1982.
- [5] Adamov, Ž., *Tehnička dijagnostika u mašinstvu*, Beograd, 1986.
- [6] Stanković, D., *Fizičko-tehnička merenja*, Beograd, 1987.
- [7] Janković, S., *Modeliranje univerzalne ispitne stanice za pouzdano i ekonomično ispitivanje helikopterskih gasnih turbina*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [8] Dobratić, P., *Dijagnostika vibracija brodske gasne turbine Proteus 52M/558*, diplomski rad, Vojna akademija, Beograd, 2004.

#### THE TEST PROGRAMME AND THE METHODOLOGY OF ANALYSING THE VIBRATIONS SPECTRUM OF A PROTEUS 52M/558 SHIP GAS TURBINE

##### Summary:

*The paper presents a programme for testing vibrations on a ship gas turbine, based on an analogy of testing and analysis of vibrations on aircraft and/or helicopter gas turbines. A particular attention is given to a choice of vibration parametres and to the analysis of the vibration spectrum as well as to the methods of estimation of criteria of vibration acceptability. The results of the measurement of the vibrations on a Proteus 52M/558 gas turbine installed on a RTOP-405 ship are shown.*

Key words: *gas turbine, vibrations, diagnostics.*

Datum prijema članka: 23. 01. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 20. 04. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 27. 04. 2009.

# TROKOMPONENTNE GRANULISANE SMEŠE NA BAZI HEKSOGENA, ALUMINIJUMA I POLISTIRENA KAO FLEGMATIZATORA

Anđelković-Lukić N. *Mirjana*

UDC: 662.21:662.234.8

## Sažetak:

*U radu je prikazan način dobijanja i karakteristike trokomponentnih smeša RDX/Al/PS. Primenjen flegmatizator heksogena je termostabilni polimer polistiren čija je karakteristika da dobro prekriva. Primenjivan je konstantan sadržaj od 5% PS za različite sadržaje heksogena i aluminijuma. Sadržaj aluminijuma u smešama je 10, 15, 20 u 25% m/m. Ispitan je sastav i određena brzina detonacije.*

*Ključne reči: trokomponentne smeše, heksogen, polistiren, aluminijum, brzina detonacije.*

## Uvod

Granulisani flegmatizovani eksplozivi primenjuju se u presovanim punjenjima, koja su izložena povišenim radnim naponima i temperaturama (punjenja u raketama koje se nalaze ispod krila supersoničnih aviona, artiljerijska punjenja velikih početnih ubrzanja koja trpe naprezanja prilikom leta projektila, punjenja za eksploataciju u dubokim naftnim bušotinama, i dr.) tako da je poželjno da flegmatizator ima temperaturu topljenja iznad 100°C i da obezbeđuje dobre mehaničke karakteristike, kako ne bi dolazilo do prskotina i krzanja otpresaka u uslovima povišenih temperatura i radnih pritisaka. Flegmatizatori koji se koriste moraju da imaju dobru sposobnost prekrivanja granula eksploziva, da su kompatibilni sa eksplozivom i da uz minimalan sadržaj obezbede kompaktnost eksplozivnog punjenja, poboljšaju mehaničke karakteristike otpreska i omoguće postizanje velikih gustina punjenja.

U industriji granuliranih eksploziva u svetu kao flegmatizatori se i dalje koriste uglavnom voskovi i polimeri, ali se u novim savremenim eksplozivnim sastavima, koji su u skladu sa strožim zahtevima za municiju, primenjuju jedinjenja ugljenika i fluora, kao što su: (CF)<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>(CF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, (CF)<sub>8</sub>, i dr. [1], zatim energetski polimeri – linearni polietilenamini ili polivinilamini [2]. Novi

energetski aditivi primenjuju se u raketnim gorivima i kao vezivo i kao plastifikatori koji sadrže nitro-, nitrato-, fluorodinitro-, i druge hemijske grupe čije prisustvo obezbeđuje stvaranje velike količine energije [3,4]. U Rusiji je najčešće primenjivan kao inertan flegmatizator vosak oksizin, smeša cerezin stearina, a kao aktivan trotil, ali ne isključuje se i primena drugih polimernih materijala, što je svakako u skladu sa zahtevima municije velikih kalibara. U zemljama Atlantskog saveza koristi se čitava paleta različitih polimernih materijala [5]: stan (poliuretanestar), viton (heksafluoropropilen/vinilidinflorid), Kel-F (polihlorotrifluoroetilen), ekson (polimer nukleinske kiseline), teflon (politetrafluoroetilen), poliamid, polistien, ali i trotil kao aktivni flegmatizator.

Flegmatizovanim eksplozivima se ponekad dodaju određene supstance koje olakšavaju presovanje kao što su grafit ili kalcijumstearat [7]. Njihov sadržaj u eksplozivima je veoma mali, nalazi se u opsegu od 0,5 do 1% mase. Ove supstance imaju veliku specifičnu površinu, tako da se raspodeljuju po celoj zapremini flegmatizovanog eksploziva, bez obzira na njegovu granulaciju. Ne utiču na performanse eksploziva, već se njihov uticaj odražava na olakšavanje presovanja, jer smanjuju unutrašnja trenja.

Kao aditivi eksplozivima se dodaju i razni metali od kojih je najčešći aluminijum [4] koji se flegmatizovanim eksplozivima najčešće dodaje mehaničkim mešanjem u rotacionim bubnjevima. U livene eksplozive aluminijum se dodaje u toku postupka livenja. Sadržaj aluminijuma u flegmatizovanim eksplozivima je mnogo veći od sadržaja inertnih aditiva, (grafita i kalcijumstearata) i kreće se od 10 do 30% mase. On reaguje sa produktima detonacije i, mada smanjuje brzinu detonacije eksploziva, povećava njegovu unutrašnju energiju, što se odražava u povećanom fugasnom dejstvu takvih eksplozivnih punjenja.

U radu su prikazane trokomponentne granulisane smeše na bazi heksogena, aluminijuma i termostabilnog polimera polistirena koji je istovremeno i flegmatizator i vezivo u smeši.

## Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granulisanih smeša

Trokomponentne granulisane smeše u našim uslovima proizvodnje sastoje se od brizantne eksplozivne komponente, heksogena ili oktogena, flegmatizatora – voska i aluminijuma u prahu [7] i dobijaju se mokrim tehnološkim postupkom iz vruće vodene suspenzije eksploziva i metala.

Ovaj postupak dobijanja trokomponentnih smeša ima određen nedostatak, jer aluminijum u prahu reaguje sa vodom na povišenoj temperature, oslobađajući vodonik i stvarajući aluminat, pa aluminijum mora da se pasivizira. Pasivizacija se vrši bilo fizički, bilo hemijski. Najpogodniji je hemijski način uz korišćenje pufera sredine, koji će regulisati pH vrednost sredine i održavati je slabo kiselom oko 5, tako da ne dolazi do hemijske reakcije aluminijuma i vode. Puffer se dodaje u zagrejanu vodenu suspenziju eksploziva i tek posle dodatka pufera u sistem se dodaje aluminijum u prahu.



Tehnološki postupak granulisanja ovakvih trokomponentnih smeša je sledeći: u vruću puferovanu vodenu suspenziju eksploziv-metal dodaje se, uz odgovarajuće mešanje sistema, rastopljen vosak u željenom sadržaju (uglavnom je to 5% mase). Kada se sav rastopljeni vosak doda u sistem zagrejan iznad temperature topljenja voska (obično na temperaturi oko 80°C), sistem se homogenizuje i posle završene homogenizacije, uz regulisano mešanje, hladi se do temperature 40°C.

Kada temperatura sistema dostigne oko 40°C prekida se mešanje i sadržaj suda prebacuje na ceđenje, gde se iz trokomponentne smeše iscedi voda uz pomoć vakuum pumpe, posle čega se vlažan eksploziv raspoređuje u pogodne sudove (tave) i odnosi na sušenje. Sušenje je obično u vakuum sušnicama ili na 60°C, ukoliko se koriste obične parne sušnice.

Ovako dobijeni trokomponentni sastavi na bazi heksogena, voska i aluminijuma koriste se za podvodna rušilačka dejstva, ali i u zapaljivoj municiji. Presovanje ovih smeša vrši se na temperaturi pogona, posle temperiranja na oko 30°C [8].

## Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih smeša na bazi heksogena, polistirena i aluminijuma

Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša, u kojima se kao vezivo i flegmatizator koristi polimeran materijal polistiren, ima određenih prednosti u odnosu na postupak flegmatizacije s voskovima.

Polimerni materijali su mnogo pogodniji za formiranje tankog filma oko granula (ne samo trokomponentnih sastava), jer čvrsto povezuju sadržaj granule koji se sastoji od eksploziva i određenog metala, u ovom slučaju heksogena i aluminijuma u prahu.

Na slici 1 prikazane su granule trokomponentne smeše heksogena (80% m/m), polistirena (5% m/m) i aluminijuma (15% m/m).



Slika 1 – Izgled granula trokomponentne smeše (RDX, PS, Al),

Na slici se vide pravilno formirane granule trokomponentne smeše, čiji je sadržaj, eksploziv i aluminijum, čvrsto povezan filmom polimera.

Tehnološki postupak flegmatizacije heksogena polistirenom [6] iskorističen je za proizvodnju trokomponentnih smeša sa različitim sadržajem heksogena i aluminijuma, i konstantnim sadržajem polistirena (5% m/m). Ovakve trokomponentne smeše izrađene su za potrebe dobijanja višekomponentnih livenih aluminijumskih eksploziva na bazi trotila.

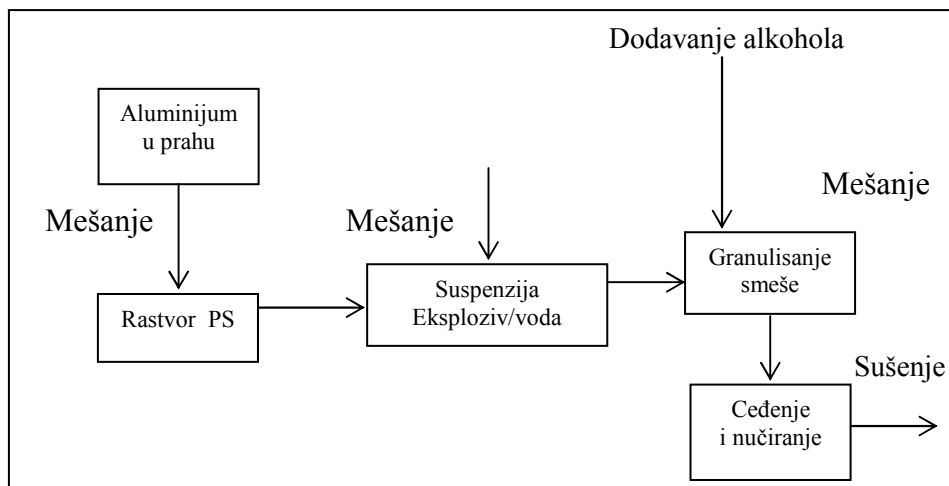
Dodavanje aluminijuma u prahu trokomponentnim smešama u toku samog postupka flegmatizacije, bilo da je vezivo vosak ili polimer, pogodnije je u odnosu na mehaničko, suvo dodavanje metala eksplozivu, uz homogenizaciju mešanjem u rotacionim bubnjevima. Izbegava se stvaranje metalne prašine, što uvek predstavlja latentnu opasnost od moguće eksplozije i pored izuzetno dobre ventilacije koja u takvim pogonima mora da postoji.

Rad sa aluminijumom ili nekim drugim metalom u prahu koji se dodaje eksplozivu, mora da se prilagodi tehnološkim uslovima koji diktiraju flegmatizaciju, odnosno mora da se izbegne reakcija metala sa vodom, kao u slučaju flegmatizacije voskovima u vrućoj vodenoj suspenziji.

U tehnološkom postupku flegmatizacije eksploziva polistirenom, uz dodatak aluminijuma, pasivizacija aluminijuma dodavanjem pufera nije potrebna, jer se tehnološki postupak flegmatizacije sa polistirenom izvodi na hladno, bez grejanja sistema. Aluminijum sa hladnom vodom praktično ne reaguje, odnosno reakcija je toliko slaba da je zanemarljiva.

Postupak se zasniva na sledećim operacijama: prvo se u nepolaranom rastvaraču, trihloretilenu, rastvara polistiren [6] i u taj rastvor se dodaje aluminijum. Rastvor polimera sa dodatim aluminijumom u prahu dozira se vodenoj suspenziji eksploziva koja se prethodno homogenizuje mešanjem. Oko granula aluminijuma u kontaktu sa vodom stvara se film rastvorenog polimera čiji je rastvarač nemešljiv sa vodom, te se na taj način granule aluminijuma fizički pasiviziraju, što je poželjno bez obzira na to što je reakcija na sobnoj temperaturi između aluminijuma i vode veoma spora. Očvršćavanje, odnosno izdvajanje polimera iz sistema i formiranje granula trojne smeše (flegmatizacija) vrši se dodavanjem nerastvarača za polimer – etil alkohola uz pogodno mešanje sistema, čime se reguliše oblik i veličina granula. Sistem se ne greje, ceo postupak granulisanja odvija se na sobnoj temperaturi. Posle završetka dodavanja etil alkohola, u sistemu se odvajaju dve faze: čvrsta faza od granulisanog flegmatizovanog heksogena i aluminijuma i tečna faza u kojoj je smeša vode, rastvarača i etil alkohola. Odvajanje čvrste faze, granulisanog trokomponentnog proizvoda, vrši se ceđenjem smeše na vakuum nučevima, a zatim sušenjem na 60°C u parnim sušnicama.

Šematski prikaz tehnološkog postupka dobijanja trokomponentnih smeša prikazan je na sici 2.



Slika 2 - Šema tehnološkog postupka dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša RDX/Al/PS

Ovakav „hladni“ postupak flegmatizacije polimerom ima prednosti u odnosu na tehnološki postupak u kojem se granulacija smeše vrši destilacijom rastvarača pod smanjenim pritiskom, jer nema utroška energije, a koristi se jednostavna tehnološka oprema: sud za flegmatizaciju i mešalica.

Koristeći utvrđene parametre za tehnološki postupak flegmatizacije [6] izvršeno je istovremeno prekrivanje aluminijuma i heksogena polistirenom.

U tabeli 1 prikazan je granulometrijski sastav korišćenog heksogena.

Granulometrijski sastav kristalnog heksogena

Tabela 1

Eksploziv heksogen	Ostaje masenih % na sitima otvora u $\mu\text{m}$											Prolazi kroz sito otvora $53 \mu\text{m}$
	840	600	500	300	200	180	150	125	100	90	53	
	0	3,0	7,7	14,4	11,6	4,8	5,2	13,5	9,3	5,4	10,3	14,8

Iz tabele se vidi da je raspon granulacija u opsegu  $600\mu\text{m}$  do  $53\mu\text{m}$ , a da kroz sito od  $53\mu\text{m}$  prolazi samo 14,8%. Raspodela granulacije je pogodna za flegmatizaciju.

U tabeli 2 prikazan je sastav trokomponentne smeše sa različitim sadržajem aluminijuma, koji je urađen u laboratorijskim uslovima posle sušenja trokomponentne smeše na temperaturi  $60^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2

Sastav dobijenih trokomponentnih granuliranih smeša

Nominalni sastav smeše, RDX/ PS /Al	Zapreminska masa (g/cm <sup>3</sup> )	Sadržaj flegmatizatora (% m/m)	Sadržaj aluminijuma (% m/m)	Sadržaj heksogena (% m/m)
85/ 5/ 10	650	5,2	10	84,8
80/ 5/ 15	820	4,9	14,8	80,4
75/ 5/ 20	940	5,3	20,2	71,0
70/ 5/ 25	973	4,87	24,5	70,6

Za trokomponentne granulirane smeše korišćen je aluminijum čistoće 99,98% [6] u obliku granula. Brzina detonacije sastava prikazanih u tabeli 2 određena je metodom elektronskog brojača, a rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3

Brzina detonacije trokomponentnih granuliranih smeša

N <sup>o</sup>	Naziv	Heksogen (% m/m)	PS (% m/m)	Aluminijum (% m/m)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
1	RDX/PS/Al-10	85	5	10	1,50	6416
2	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,65	7440
3	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,70	7733
4	RDX/PS/Al-15	80	5	15	1,78	7800
5	RDX/PS/Al-25	75	5	20	1,75	7650
6	RDX/PS/Al-25	75	5	20	1,80	7720
7	RDX/PS/Al-25	70	5	25	1,88	7560

Rezultati brzine detonacije, prikazani u tabeli 2, približno su isti u odnosu na flegmatizovane sastave vosak/heksogen/aluminijum (tab. 4), ali prednost sastava na bazi polimera PS kao flegmatizatora je u tome što je temperatura topljenja PS veća u odnosu na vosak i mogu se koristiti u sredinama sa povećanom radnom temperaturom [7].

Tabela 4

Upoređenje brzine detonacije heksogena na bazi voska i aluminijuma u prahu i voska

N <sup>o</sup>	Naziv	Heksogen (% m/m)	Vosak (% m/m)	Aluminijum (%)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)	Literatura
1	Heksal-15	80	5	15	1,78	7910	[7]
2	Heksal-20	75	5	20	1,75 1,80	7678 7811	[7]
3	Heksal-30	65	5	30	1,88	7559	[7]
4	FH-5	95	5	–	1,67	8244	[7]

Upoređujući vrednosti brzine detonacije trokomponentnih smeša sa brzinama detonacije dvokomponentnih smeša (tabela 4, N<sup>o</sup> 4) kojima je flegmatizator vosak bez dodatka aluminijuma, vidi se da su brzine deto-

nacije dvokomponentnih sastava veće u odnosu na brzine detonacije trokomponentnih smeša sa voskom i polistirenom, čak i za manje gustine.

Ova razlika je posledica prisustva aluminijuma koji prilikom detonacije oslobađa veliku količinu gasova, pri čemu troši određenu energiju na račun energije detonacije. Ovi sastavi imaju veća fugasna dejstva, odnosno veća rušilačka dejstva, a flegmatizator ima temperaturu topljenja iznad 100°C, tako da se mogu koristiti i kao privredni eksplozivi za specijalne namene, na primer za proizvodnju sekača ili metaka za naftne bušotine. Takođe, mogu se koristiti za livene smeše sa trotilom za specijalne namene, pri čemu se dobijaju odlivci izuzetnih mehaničkih karakteristika.

## Zaključak

Tehnološki postupak dobijanja trokomponentnih granuliranih smeša, u kojima se kao flegmatizator koristi polimeran materijal, polistiren, ima određenih prednosti u odnosu na postupak flegmatizacije voskovima, jer se izvodi na temperaturi ambijenta, usled čega praktično ne dolazi do reakcije aluminijuma i vode.

Flegmatizacija se odvija tako što se rastvor polistirena u nepolarnom rastvaraču, kojem je posle rastvaranja dodat aluminijum, dodaje hladnoj vodenoj suspenziji kristalnog heksogena.

Taloženje polimera na granulama vrši se dodavanjem nerastvarača etil alkohola u sistem, u kojem dolazi do separacije čvrste faze – trokomponentnih granula i tečne faze – smeše vode, rastvarača i etil alkohola. Sistem se ne greje, ceo postupak granulisanja se odvija na temperaturi ambijenta uz primenu jednostavne tehnološke opreme: suda za flegmatizaciju i mešalice.

Dobijeni proizvod je pravilno granulisan, sa ravnomerno raspodeljenim aluminijumom. Brzine detonacije su u skladu sa gustinom i sadržajem aluminijuma. Može se primenjivati u livenim eksplozivnim smešama sa trotilom.

## Literatura

[1] Koch, E. C., Metal/Fluorocarbon Pyrolants: v. Theoretical Evaluation of the Combustion Performance of Metal/Fluorocarbon Pyrolants based on Strained Fluorocarbons, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol 29, No 1, (p. 9–18), 2004.

[2] Kala, P. C. R., Aarun, K. S. and another, Studies on n-Butyl Nitroxyethylnitramine (n-Butena): Synthesis, Characterization and Propellant Evaluation, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol.29, No. 2, (p. 93–98), 2004.

[3] Belami, A., J., King, D. S. and another, Synthesis of Energetic polymers by the Introduction of Energetic Groups onto Polymeric Primary and Secondary Amines, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 29. No 3, (p. 163–177), 2004.

- [4] US Patent 6843868 – “Propellants and explosives with fluoro-organic additives to improve energy release efficiency”, 2005
- [5] Dobratz, B. M., LLNL Explosives Handbook, UCRL 5297, Livermore 1981.
- [6] Anđelković-Lukić, M., *Flegmatizacija heksogena polistirenom i polikarbonatom*, magistarski rad, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1983.
- [7] Anđelković-Lukić, M., *Granulisani brizantni eksplozivi*, Kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut Beograd, 2000.
- [8] Anđelković-Lukić, M., *Primena i laboracija granulisanih brizantnih eksploziva*, Kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut, Beograd, 2003.

### THREE-COMPONENT GRANULAR MIXTURES ON THE BASIS OF HEXOGEN, ALUMINIUM AND POLYSTYRENE AS A BINDER

#### *Summary:*

*The characteristics of three-component RDX/PS/Al mixtures have been described as well as the method for their preparation. Polystyrene as a binder is a thermostable polymer with satisfactory characteristics for bonding explosives. The constant content of 5% m/m PS was applied for different contents of hexogen and aluminium. The content of Al in the mixtures was 10, 15, and 20% m/m. The composition of the bonded explosives was examined as well as the detonation velocity of these mixtures.*

*Key words: Three-component mixtures, hexogen, polystyrene, aluminium, detonation velocity.*

Datum prijema članka: 22. 07. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 21. 12. 2008.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 01. 2009.

# PREVENCIJA OTKAZA DELOVA STRUKTURE USLED ZAMORA UZ POMOĆ LASERSKOG BOMBIRANJA POVRŠINE MATERIJALA

Jovičić S. *Stevan*, Tehnički opitni centar – Sektor za mototehnička sredstva i sredstva rečnih jedinica, Beograd

UDC: 620.197:544.537  
629.7.023.2:620.197

## Sažetak:

*Površinska obrada uz pomoć lasera jeste inovativan postupak poboljšavanja mehaničkih karakteristika površine delova vazduhoplovnih konstrukcija koji se koristi radi povećanja otpornosti na uticaj promenljivog dinamičkog opterećenja koja uzrokuju zamor materijala, odnosno naponsku koroziju. Tretiranje laserom naziva se i lasersko bombiranje, ali su u upotrebi i drugi nazivi. U radu su prikazani trenutni status ove inovativne tehnologije poboljšanja karakteristika delova vazduhoplovnih struktura, kao i mogućnosti primene ove tehnologije.*

*Ključne reči: lasersko bombiranje, poboljšanje fizičkih karakteristika materijala, prevencija otkaza usled zamora materijala.*

## Uvod

**P**ovršinska obrada, odnosno tretiranje površine materijala bombiranjem pomoću lasera jeste inovativan postupak poboljšavanja mehaničkih karakteristika površine materijala koji se koristi radi povećanja otpornosti mašinskih delova (u ovom slučaju lopatica turbine mlaznih motora) na uticaj oštećenja nastalih od usisavanja stranih tela (Foreign Object Damage – FOD) u prostor mlaznog motora i povećanja otpornosti mašinskih delova na uticaj dinamičkih opterećenja koja su uzrok pojave zamora materijala i pojave naponske korozije [1, 2, 3, 4]. Sam postupak zasniva se na ostvarivanju zaostalih napona ispod površine delova strukture koji se tretiraju ovim postupkom. Na ovaj način ostvaruje se poboljšanje mehaničkih karakteristika površinskog sloja i to od 5 x do 10 x u odnosu na delove kod kojih se poboljšanje mehaničkih karakteristika postiže klasičnim bombiranjem. Posle tretiranja delova ovim postupkom, površina mašinskog dela i oblast ispod površine karakteriše postojanje zaostalih kompresionih napona.

Na taj način je otežano nastajanje površinskih oštećenja, pojava prskotina i njihov dalji rast. Ovaj proces je inače poznat pod nazivom „Naponska korozija“ (Stress Corrosion Cracking – SCC).

Tretiranje mašinskih delova laserskim snopom posebno je efikasno kod delova izrađenih od titanijuma i njegovih legura (npr. lopatice na kompresorima i turbinama). Pomenuti postupak ima mnogo širu primenu, uključujući površinsku obradu strukturnih delova motornih vozila, reduktora, pogonskih mehanizama, ali i ortopedskih pomagala u medicini. Izuzetne su mogućnosti njegove primene kod vazduhoplovnih struktura, sistema naoružanja i u industriji. Lasersko bombiranje se može definisati kao niz uzastopnih impulsnih udara laserskog zraka o površinu materijala čije se mehaničke karakteristike žele poboljšati. U radu su prikazani trenutni status i mogućnosti primene ove tehnike i doprinosi koje njena primena obezbeđuje.

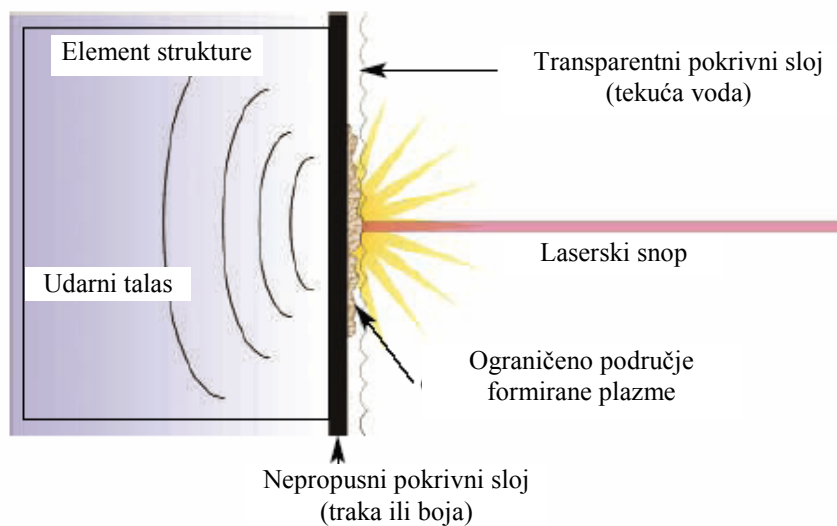
## Princip rada bombiranja laserskim snopom

Lasersko bombiranje mašinskog dela nastaje kao posledica formiranja udarnih talasa visoke amplitude koji nastaju od energije pulsirajućeg laserskog zraka koji pada na odabrani segment površine mašinskog dela. Samo dejstvo zraka na materijal postiže se kroz mehanički efekat „hladnog rada“ koji je izazvan udarnim talasom, a ne termalnim dejstvom kao posledice zagrevanja površine od laserskog zraka. Laserski snop ima talasnu dužinu od 1,054  $\mu\text{m}$ . Laserski sistem proizvodi veoma kratke laserske impulse u trajanju od 8 do 40 nanosekundi sa impulsnom energijom od 50 [J]. Laserski snop je prečnika 5 do 6 mm. Parametri laserskog bombiranja su tako podešeni da se na mestu dejstva snopa dobija snaga zračenja od 5 do 10  $\text{GW}/\text{cm}^2$  [5]. Pre nego što se pristupi ovoj vrsti obrade površine mašinskog dela neophodno je izvršiti tehnološku pripremu za sam proces. Deo koji se obrađuje potrebno je pokriti slojem odgovarajućeg materijala koji je neproziran za laserski snop. Preko ovog prvog sloja nanosi se sloj druge materije koja je transparentna za laserski snop. Tako pripremljeni mašinski deo podvrgava se laserskom bombiranju. Laserski zrak prolazi kroz transparentni sloj i dolazi u interakciju sa nepropusnim slojem, kao što je prikazano na slici 1. Interakcija se sastoji u tome što energija laserskog zraka biva apsorbirana u prvih nekoliko milimetara nepropusnog sloja koji pokriva površinu mašinskog elementa koji se obrađuje. Materijal nepropusnog sloja isparava formirajući plazmu. Temperatura plazme brzo raste i dalje se zagrevajući od dolazećeg laserskog zraka, ali termička ekspanzija je onemogućena transparentnim slojem. Pritisak u na ovaj način ograničenoj oblasti plazme ubrzano



raste, izazivajući udarni talas koji se prenosi kroz preostali deo nepropusnog sloja i unutar površine materijala mašinskog dela koji se tretira bombiranjem. Nepropusni sloj koji pokriva površinu mašinskog elementa ima ulogu da ga zaštiti od direktnog kontakta sa indukovanom plazmom i obezbeđuje konzistentne radne uslove na površini elementa i rad interakcije laserskog snopa. Direktna dodir površine koja se obrađuje plazmom u većini slučajeva će formirati tanki rastopljeni sloj na samoj površini, što će imati za posledicu promenu boje površine pa do istopljenosti same površine u dubini od 15 do 25  $\mu\text{m}$ , u zavisnosti od ozračenosti površine obratka i karakteristika metala.

Materijal nepropusnog pokrivnog sloja može biti različit, na primer: suva ili vlažna boja, crna lepljiva traka, metalna folija ili lepljiva metalna folija. Svi ovi materijali daju približno iste rezultate sa sličnim vrednostima generisanog impulsa pritiska. Transparentni sloj služi da ograniči plazmu koja se formira na površini nepropusnog sloja i može biti načinjen od bilo kog materijala koji je transparentan za laserski snop. Najjednostavniji i najjeftiniji metod je upotreba tekuće vode koja se dovodi uz pomoć odgovarajuće brizgaljke i to na način da se dozvoli da voda teče preko površine koja će biti tretirana laserskim snopom. Voda nema ulogu rashladnog medijuma već služi ograničavanju nekontrolisanog širenja plazme koja nastaje kada laserski snop dođe u interakciju sa, za laserski snop, nepropusnim slojem koji pokriva površinu elementa koji se tretira.



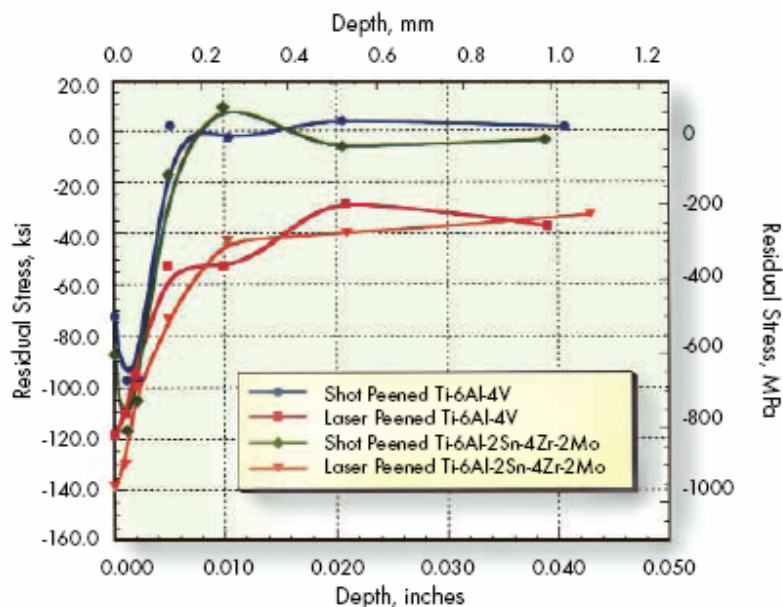
Slika 1 – Šematski proces bombiranja površine materijala laserom

Ograničeni prostor u kojem se nalazi plazma omogućava postizanje i do 10 x većeg pritiska u odnosu na pritisak koji bi postojao da nema ovog ograničavajućeg sloja, tj. sloja koji je propusan za laserski snop. U praksi je ceo sistem za tretiranje laserskim snopom smešten u blizini delova koji se laserski tretiraju. Inače, delovi se na mesto dejstva smeštaju uz pomoć automatike. Površina koja se tretira zavisi ponajviše od konstruktivnog rešenja mašinskog dela koji je predmet obrade, kao i od radnih uslova u kojima će mašinski deo obavljati svoju funkciju. Ponekad je potrebno laserski bombirati samo određeni segment površine mašinskog dela ili jednu određenu tačku [6]. Na primer, potrebno je obraditi napadne ivice aeroprofila, podnožja turbinskih lopatica, okoline otvora za zakovice, zaobljenja na radilicama ili zupčanicima. Kada se tretira veća površina obavlja se niz uzastopnih tačkastih tretmana površine koja se delimično preklapaju sve dok željena površina ne bude potpuno istretirana.

Udarni talas koji se prenosi u materijal ima za cilj da poboljša mehaničke karakteristike površinskog sloja i sloja koji se nalazi uz površinu mašinskog dela. Ako je veličina pritiska udarnog talasa veća od dinamičke čvrstoće materijala on će izazvati razvlačenje materijala, što će rezultirati pojavom napona na istezanje u površinskoj ravni i na taj način se stvara zaostali napon na pritisak kojim materijal teži da se vrati u prvobitno stanje na površini. Kako maksimalne vrednosti parametara udarnog talasa opadaju sa dubinom prodora u materijal i vrednosti napona na istezanje takođe opadaju sa udaljavanjem od površine materijala. Zbog toga što je plastično naprezanje izazvano udarnim talasom prodrlo mnogo dublje u materijal od naprezanja koje bi izazvao konvencionalni način bombiranja i zaostali naponi su mnogo dublje prodrli u materijal. Dakle, što je ovaj prodor u dubinu materijala veći to su bolje mehaničke karakteristike materijala.

## Poboljšanje kvaliteta materijala

Lasersko bombiranje doprinosi poboljšanju brojnih karakteristika materijala, bilo da su u pitanju metali ili njihove legure. Najznačajnije poboljšanje u mehaničkim karakteristikama materijala ogleda se u povećanju površinske otpornosti materijala na otkaze koji su u vezi sa stanjem površine mašinskog elementa. Tu se, pre svega, misli na otpornost na uticaj promenljivih opterećenja koja uzrokuju pojavu zamora, površinske korozije, naponske korozije i porast prskotina. Brojni materijali, metali i legure uspešno se podvrgavaju postupku laserskog tretiranja njihovih površina, uključujući titanijum, titanijumove legure, čelike, legure aluminijuma, live-na gvožđa i sinterovane materijale. Poboljšanja površinskih karakteristika materijala posledica su zaostalih (rezidualnih) napona na pritisak koji se nalazi na površini materijala i u oblastima blizu površine.

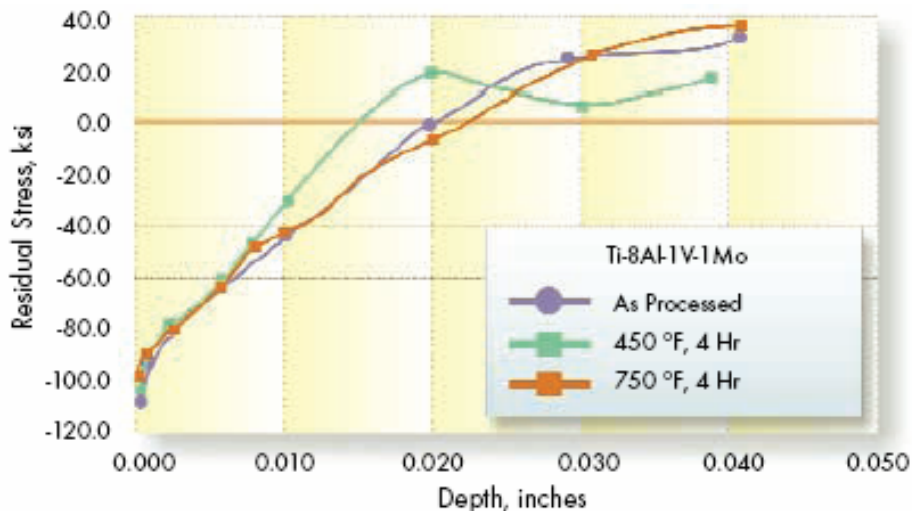


Slika 2 – Uporedni prikaz zaostalog (rezidualnog) napona posle tretmana klasičnim bombiranjem i tretiranja laserom

Na slici 2. ilustrovan je primer raspodele zaostalog napona na pritisak po dubini materijala, postignutog na delu izrađenom od legure titanijuma i to u poređenju sa delom koji je bio obrađen konvencionalnom metodom tretiranja površine (mehaničkim bombiranjem). Profil napona određen je korišćenjem standardnog difrakcionog merenja uz pomoć x-zraka. Zaostali napon na pritisak koji je izazvan bombiranjem prostire se u dubini materijala i preko 1 mm, dok je ta vrednost u slučaju tretmana mehaničkim bombiranjem oko 0,2 mm.

## Termička stabilnost zaostalog napona

Radni uslovi mašinskih elemenata pri kojima dolazi do povećanja temperature samog mašinskog dela koji obavlja svoju funkciju utiču i na termičku stabilnost zaostalih napona. Zbog očuvanja dobrih mehaničkih karakteristika koje su postignute bombiranjem mora se ostvariti zadatak da i materijal od kojeg je izrađen mašinski deo, ili deo strukture, bude takođe otporan na promene temperature. Legura titanijuma Ti-8Al-1V-1Mo bila je podvrgnuta tretmanu laserskog bombiranja, a zatim je ostavljena na temperaturu koja odgovara radnoj temperaturi datog elementa u trajanju od 4 sata. Posle toga je meren profil zaostalog napona. Rezultati su prikazani na slici 3. Vidi se da je povratak zaostalih napona na vrednosti pre bombiranja minimalan [7].

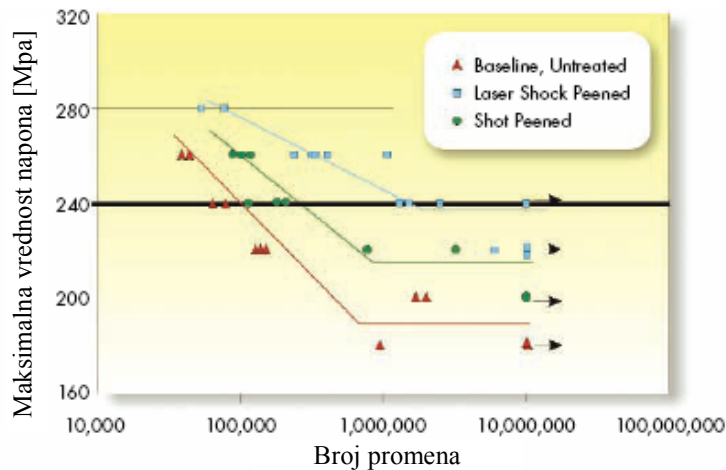


Slika 3 – Profil zaostalog napona posle izlaganju radnoj temperaturi u trajanju od 4 sata

## Zamor

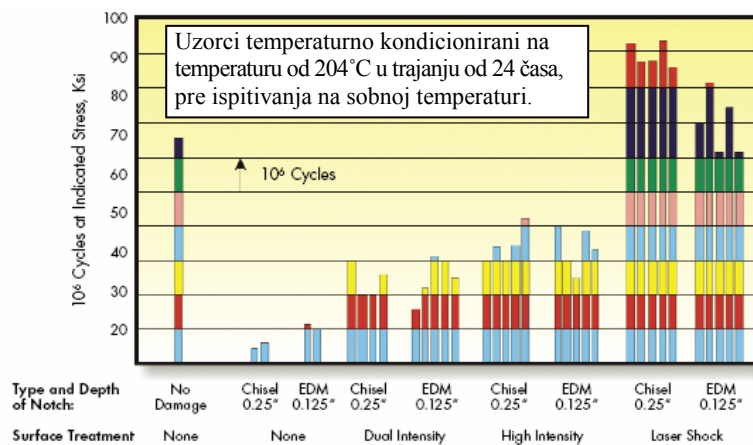
Ključna poboljšanja koja se dobijaju posle tretiranja nekog mašinskog dela laserskim bombiranjem sastoje se u značajnom produženju radnog veka elementa i povećanju njegove otpornosti na opterećenja koja imaju za posledicu pojavu zamora materijala. Najznačajnije povećanje otpornosti na pojavu zamora postiže se u onim oblastima gde se prskotine javljaju na površini i njihovom kasnijem rastu u dubinu materijala. Do ovih pojava obično dolazi na mestima lokalne koncentracije napona (mesta ivica, otvori, zarezi, uglovi, uključci u materijalu, pojava nehomogenosti materijala). Primetno poboljšanje otpornosti na pojavu zamora postignuto je u slučaju tankih struktura i to na mestima površina ili područja koja su karakteristična, na kojima je izražena lokalna koncentracija napona.

Na slici 4 prikazano je uporedno poređenje karakteristika otpornosti prema opterećenjima koja izazivaju pojavu zamora materijala na uzorcima izrađenim od aluminijuma 7075-T7351 koji su podvrgnuti laserskom bombiranju i bombiranju konvencionalnom metodom [8]. Pomenuti delovi ispitani su na uticaj promenljivog dinamičkog opterećenja u uređaju za savijanje u tri tačke, pri sledećim uslovima:  $R = 0,1$ ;  $K_t = 1,68$ . Podaci pokazuju tipične karakteristike povećane otpornosti na pojavu zamora kod uzoraka koji su tretirani laserskim bombiranjem, uključujući 30% do 50% povećanje otpornosti na pojavu zamora i produženje radnog veka u odnosu na uzorke koji su tretirani klasičnim bombiranjem ili uopšte nisu imali tretman poboljšanja površinskih karakteristika.



Slika 4 – Uporedni pregled karakteristika otpornosti na zamor elementa strukture izrađenog od aluminijuma 7075-T7351

Najranija istraživanja efekata laserskog bombiranja na produženje radnog veka tankih delova struktura izvršena su na lopaticama turbine motora F101-GE-102 [9]. U ovim istraživanjima poređena je efikasnost laserskog bombiranja u odnosu na klasično mehaničko bombiranje površine aeroprofila lopatica turbine i to na uticaj oštećenja od uticaja stranih tela koja bivaju usisana u prostor mlaznog motora (Foreign Object Damage – FOD). Dobijeni rezultati prikazani su na slici 5.



Slika 5 – Uporedni prikaz efekata bombiranja klasičnim i laserskim putem na radni vek lopatica na motoru F101-GE-102

Napomena: 1 [ksi] = 6,89 [MPa]

Na osnovnoj liniji se vidi da su neoštećene lopatice otkazale u toku  $10^6$  promena pri opterećenju od 70 ksi. Lopatice koje su imale oštećenja u vidu zarezata otkazale su pri vrednostima 20 do 30 ksi. Procenjena prosečna vrednost napona za lopatice koje su bombirane klasičnom metodom je 35 ksi, a za one koje su bombirane visokim intenzitetom 45 ksi. Radi poređenja, opterećenje pri kojem je dolazilo do oštećenja ili otkaza lopatica koje su bile bombirane laserskim snopom iznosi 100 ksi, što je rezultat koji je mnogo iznad onog koji su postigle lopatice koje nisu tretirane ni na koji način i nisu imale nikakva inicijalna oštećenja. Čak i lopatice koje su bile podvrgnute bombiranju uz pomoć EDM (Electro-Discharge Mashined) opreme izdržale su opterećenje od 75 do 80 ksi. Rezultati ovog istraživanja i sprovedenih ispitivanja pokazuju da su lopatice tretirane laserskim bombiranjem izvršavale svoju funkciju dovoljno dugo i bezbedno, čak i ako su primile oštećenja od stranih objekata. Postignuto vreme njihove bezbedne upotrebe prevazilazilo je vreme koje je predviđeno do redovne zamene neoštećenih lopatica koje nisu bile tretirane bombiranjem.

## Korozija

U zaista ograničenom broju studija koje se bave problemom naponske korozije uočeno je da mašinski delovi tretirani bombiranjem uz pomoć lasera imaju povećanu otpornost prema nastanku prskotina i njihovom kasnijem porastu. To se naročito odnosi na delove izrađene od uobičajenih materijala koji se koriste za izradu vazduhoplovnih konstrukcija, kao što je aluminijum oznake 2024-T351. Rezultati su pokazali promenu u gustini anodne struje, posle laserskog bombiranja, što ukazuje na povećanje otpornosti na takozvanu koroziju u „džepovima“ (pitting corrosion). Takođe je uočeno i smanjenje gustine struje (pasivno), što ukazuje na porast otpora na koroziju. Ovo poboljšanje ogledalo se kako u porastu otpornosti ka nastanku, tako i na kasnijem prirastu ove vrste oštećenja.

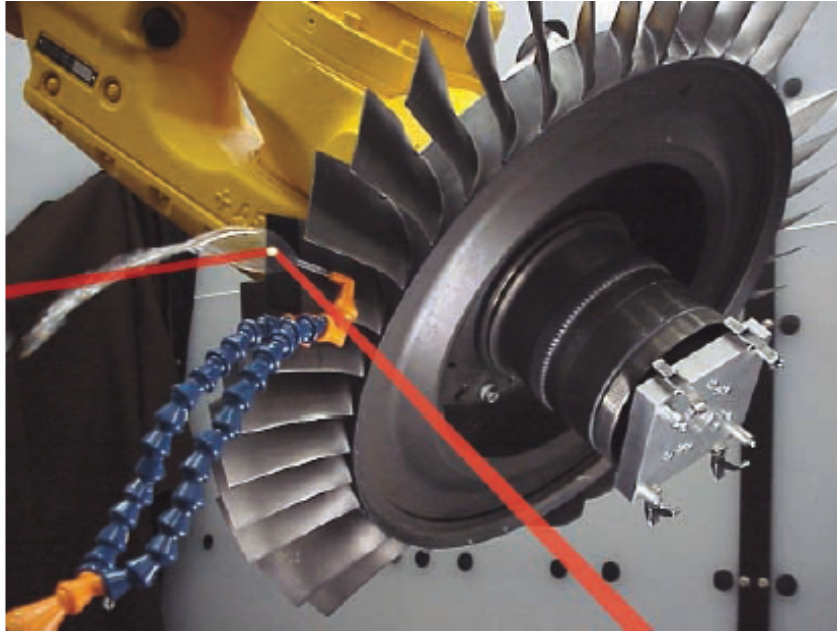
## Primena tehnike laserskog bombiranja u proizvodnji

Početakom 1991. godine službe zadužene za održavanje flote letelica tipa B1-B američkog ratnog vazduhoplovstva počele su da se suočavaju sa problemima otkaza na lopaticama turbina zbog upada stranih objekata u motorski prostor. Pogonska grupa koja daje pogon ovoj moćnoj i sofisticiranoj letelici nosi oznaku GE F101. Komadi lopatica koji su tom prilikom

otpadali neretko su pričinjavali nepopravljivu štetu celoj pogonskoj grupi. Da bi se izbeglo potpuno prizemljenje cele flote letelice tog tipa naređeno je da odgovarajuće službe vrše ručnu inspekciju lopatica pre svakog leta. Ovaj postupak iziskivao je mnogo vremena, a sam način pregleda bio je mukotrpan. Sastojao se u trljanju napadnih ivica lopatica pamučnim rukavicama, pamučnim kuglicama, zubarskim koncem. Ukoliko je uočena i najmanja neravnina ili prskotina, lopatica je zamenjena. Samo u toku 1994. godine bilo je utrošeno oko milion radnih sati na ovu vrstu posla. Cena ovakvih pregleda iznosila je 10 miliona dolara godišnje, i to samo da bi se B1-B održao u vazduhu. Proizvođač motora GE F101, suočen sa primedbama korisnika, vršio je istraživanja u oblasti poboljšanja mehaničkih karakteristika lopatica. Pored ostalog, pokušao je da poboljša površinske karakteristike materijala bombiranjem laserskim snopom.

Značajna poboljšanja primećena su kod lopatica izrađenih od titanijuma, tako da se postiglo veliko povećanje otpornosti na uticaj prodora stranih tela u prostor turbine motora. Oštećenja koja su primećena smanjivala su radni vek lopatice sa 75 ksi na manje od 20 ksi, što je vreme koje je manje od 1/2 planiranog radnog veka. Međutim, kada su lopatice zamenjene lopaticama koje su prošle kroz postupak tretiranja laserom, njena otpornost je iznosila od 75 do 100 ksi. Na taj način je laserskim bombiranjem izvršeno obnavljanje strukturalne čvrstoće i oštećenih lopatica. To znači da je primenom ove tehnike moguće otkloniti i oštećenja veličine do 0,25 inča.

Ratno vazduhoplovstvo SAD je, ohrabreno postignutim rezultatima, odobrilo finansijska sredstva za razvoj opreme za lasersko bombiranje i ovu inovativnu tehnologiju obrade materijala iznelo izvan laboratorija. Osnovana je i kompanija LPS Technologies Inc. (Laser Peening System Technologies), čiji je razvojni i proizvodni zadatak, upravo proizvodnja opreme za lasersko bombiranje. Od 1997. godine kompanija General Electric Aircraft Engines je u svoju tehnologiju izrade avionskih motora unela obavezno lasersko bombiranje i to sa 4 sistema za tretiranje laserskim snopom proizvođača LPST. Primena ovog novog tehnološkog postupka u procesu izrade avionskih motora je donela uštedu od 59 miliona dolara samo u prvoj godini. Toliko bi se novca moralo izdvojiti za održavanje i zamenu oštećenih lopatica na motorima tipa GE F101. Dodatna ušteda od 40 miliona dolara postignuta je izbegavanjem eventualnih katastrofalnih posledica po pogonske grupe do kojih bi moglo doći otkazom lopatica (lom i razletanje). Logistička služba RV SAD je, prateći postignuta iskustva sa pogonskim grupama letelica tipa B1-B, istu tehnologiju primenila i na pogonske grupe F110 GE100, koja se nalazi na letelici tipa F-16A/B „Fighting falcon“, i pogonske grupe F119-PW-100, koja pogoni letelicu tipa F-22 „Raptor“. Na taj način izvršena je ušteda od milijardu dolara!



Slika 6 – Bombiranje laserom rotorskih lopatica na motoru F119-PW-100

Na slici 6 prikazana je primena tehnologije laserskog bombiranja lopatica motora F119-PW-100. Interesantno je da se kod ovog tipa motora lopatice i nosač lopatica – rotor izrađuju izjedna. Zrak na slici se ne vidi jer se laserski snop nalazi u IC spektru i nije vidljiv za ljudsko oko.

## Primena i razvoj tehnologije

Napredak koji je ostvaren primenom, snižavanjem troškova, kao i povećanjem mogućnosti za primenu ove tehnologije otvorio je brojna područja u kojima bi se ona mogla koristiti. Brojne su njene mogućnosti, a proizvođač opreme navodi neke od njih:

- obrada odgovornih strukturalnih delova posebno opterećenih na uticaj opterećenja koja izazivaju pojavu zamora materijala,
- mesta varova titanijumskih i aluminijumskih komponenti,
- zavareni spojevi starijih struktura,
- mesta ojačanja, otvora za zakovičaste veze,
- pri zameni kovanih elemenata livenim.

Ovu tehnologiju moguće je primeniti i kod helikoptera, visokopterećenih reduktora i multiplikatora, prenosnika snage, delova pogonskih uređaja, pri izradi tenkova i vozila (slika 7). Interesovanje za primenu ove tehnike pokazali su i proizvođači građevinskih mašina, kao i RV Velike



Britanije za primenu na motorima tipa „Pegasus“ koji pokreće letelicu tipa „Harier“. Pored navedenih mesta primene poseban interes pokazale su i kompanije iz oblasti proizvodnje energetskih kapaciteta i brodogradnje.



Slika 7 – Primena laserskog bombiranja visokoopterećenih prenosnika snage na helikopteru tipa „Comanche“ RAH 66

## Zaključak

U budućnosti bi stručnjaci trebalo potpuno da iskoriste ovu inovativnu tehniku uočavanjem mogućnosti koje ovaj vid obrade materijala pruža. Tehnologija postoji, oprema za njenu primenu takođe, ali je najveća mana ovog procesa njena visoka cena i relativna sporost samog procesa. Situacija će se sigurno umnogome poboljšati kada se pojavi uređaj koji će nanositi i uklanjati nepropusni sloj kojim je deo koji se obrađuje presvučen. Najnovijom odlukom Direktorata za materijale i nove tehnologije pri istraživačkoj laboratoriji RV SAD, iz 2007. godine, daje se snažna podrška ovom programu i očekuje se njegova masovna primena u narednih pet godina.

### Literatura

- [1] Tanglia, R. D. i Lahrman, D. F., *Preventing Fatigue Failures with Laser Peening* AMPTIAC Volume 7, Number 2. 2003.
- [2] Clauer, A., Dulaney, J., Rice, R. i Koucky, J., *Laser Shock Processing for Treating Fastener Holes in Aging Aircraft*, Atlanta Technology Publications, Atlanta, 1992.
- [3] Lykins, C., Prevey, P., Mason, P., *Laser Shock Peened Compressive residual profile after Exposure to temperature*, AF Report, Wright Peterson AFB, Ohio, 1995.
- [4] Clauer, A. i Koucky, J., *Laser Shock Processing Increases the Fatigue Life of Metal Parts*, *Materials & Processing*, vol. 6 (6), pp. 3–5, 1991.

[5] *Laser Shock Processing*, Technical Bulletin 1, LSP Technologies, Inc., Dublin, OH, 1999.

[6] Clauer, A., Dulaney, J., Rice, R. i Koucky, J., *Laser Shock Processing for Treating Fastener Holes in Aging Aircraft*, S. Atluri, C. Harris, A. Hoggard, N. Miller i S. Sampath : *Durability of Metal Aircraft Structures* Atlanta Technology Publications, Atlanta, pp. 350–361, 1992.

[7] Lykins, C., Prevey, P. i Mason, P., *Laser Shock Peened Compressive Residual Profile After Exposure to Temperature*, AF Report WL-TR-95-2108, Wright Patterson AFB, OH, September 1995.

[8] Peyre, P., Merrien, P., Lieurade, H. i Fabbro, R., *Surface Engineering*, vol. 11, pp. 47–52, 1995.

[9] Thompson, S., See, D., Lykins, C. i Sampson, P., *Surface Performance of Titanium*,

[10] Gregory, Ed. J., Rack, H. i Eylon, D., *The Minerals, Metals & Materials Society*, pp. 239–251, 1997.

#### LASER PEENING IN PREVENTING FATIGUE FAILURES

##### *Summary:*

*Laser peening is an inovative surface enhancement process used to increase mechanical properties i.e. resistance of aircraft parts, engine compressors and fan blades in order to improve high cycle fatigue life. Laser peening may also be reffered to as laser shock processing, and various other commercial trade names are available. This paper reviews the status of the laser peening technology, material property enhancements and potential applications.*

*Key words: Laser peening, material property enhancement, preventing fatigue failures.*

Datum prijema članka: 15. 07. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 14. 12. 2008.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 28. 12. 2008.

# ANALIZA ŠTETNOG UTICAJA VIBRACIJA NA POSADU U TRANSPORTNIM SREDSTVIMA VOJSKE SRBIJE

Jovanović B. *Snežana*, Đurić S. *Aleksandar*, Tehnički opitni centar  
– Sektor za mototehnička sredstva i sredstva rečnih jedinica, Beograd

UDC: 613.644:614.872  
629:614.872

## Sažetak:

*U radu je prikazana metoda za procenu rizika nastalog usled izloženosti čoveka vibracijama. Merenja vibracija koje se prenose na celo telo i na sistem šaka–ruka izvršena su za posadu helikoptera, rečnog broda i terenskog vozila. Izmerene vibracije ocenjene su prema kriterijumima „štetnosti po zdravlje“ i „kvaliteta komfora“.*

*Ključne reči: ispitivanje vibracija, izloženost vibracijama, vibracije celog tela, vibracije šaka–ruka, procena rizika, fizički agensi.*

## Uvod

Proučavanje uticaja vibracija na ljudski organizam zasniva se na istraživanjima štetnosti po zdravlje osobe koja je izložena uticajima različitih vibracija. Da bi ljudski organizam registrovao vibracije, njihov intenzitet i frekvencija moraju biti u određenim granicama. Intenzitet vibracija može se izraziti preko pomeranja, brzine ili ubrzanja. Većina davača za vibracije su akcelerometri, čija je izlazna veličina ubrzanje, pa se njime intenzitet vibracija najčešće i izražava.

Parametri koji se ocenjuju su:

– trenutna RMS (root-mean-square) vrednost (kvadratni koren srednje vrednosti), koja je srazmerna količini energije signala ubrzanja:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w(t) dt} \quad (1)$$

gde je:

$a_w$  – izmereno ubrzanje,

T – vreme integracije ili trajanje merenja.

RMS vrednost signala ubrzanja, u  $m/s^2$ , dobija se određivanjem srednje vrednosti eksponenta, a najviše se odnosi na zadnji deo signala koji se meri. Do njih se teže dolazi kada se radi sa signalima većih perioda;

– ekvivalentno ubrzanje  $a_{eq}$  (energy equivalent acceleration), koje predstavlja linearnu prosečnu vrednost uzetu za duži period, dok je RMS srednja vrednost eksponenta;

– eksponentna srednja vrednost, što znači da najbliži deo signala ima najveći uticaj na nivo koji se određuje. Uticaj se smanjuje po eksponentijalnoj funkciji:

$$a_{eq} = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2} \quad (2)$$

$$a_{eq\max} = \max(k_x a_{wx} + k_y a_{wy} + k_z a_{wz}) \quad (3)$$

gde je:

$k_x = k_y = k_z = 1$  za sistem šaka-ruka,

$k_x = k_y = 1,4$ ;  $k_z = 1$  za celo telo;

– pik signala ubrzanja, u  $m/s^2$ , i vršni faktor (Crest factor), koji predstavljaju maksimalnu vrednost ubrzanja, odnosno pojedinačno najveće ubrzanje za vreme merenja. Vršni faktor definiše se kao odnos maksimalne vrednosti pika i RMS vrednosti signala ubrzanja:

$$a_{peak} = \max_T |a(t)| \quad (4)$$

gde je:

$a(t)$  – izmereno ili filtrirano ubrzanje,

T – vreme integracije ili trajanje merenja,

$$C.F. = \frac{Max.Peak}{RMS} \quad \text{ili} \quad C.F. = \frac{Max.Peak}{a_{eq}}; \quad (5)$$

– kumulativna doza vibracija (VDV) u  $m/s^{1.75}$ ,

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt} \quad (6)$$

gde je :

$a_w(t)$  – izmereno ubrzanje,

T – vreme integracije ili trajanje merenja,

– maksimum promenljivog ubrzanja u  $m/s^2$ :

$$MTVV = \max_T |a(t_o)| \quad (7)$$

gde je:

$$a_{w,t_o} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_{-\infty}^{t_o} a_w(t)^2 \exp\left(\frac{t-t_o}{t}\right) dt} \quad (8)$$

T – vreme integracije ili trajanje merenja,

$T = 1$  sekunda za MTVV 1s,

$T = 0,5$  sekundi za MTVV 0,5s,

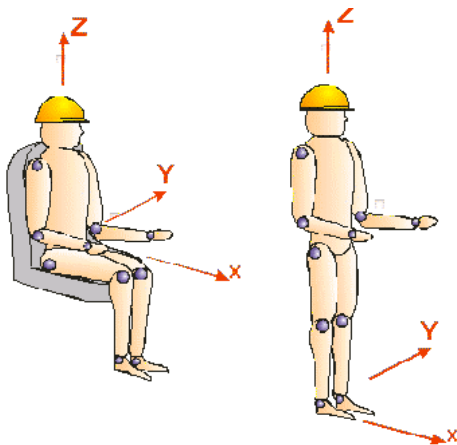
$T = 0,125$  sekundi za MTVV 0,1 s.

Davači za vibracije mere ubrzanje samo u jednom pravcu, tako da su za vibracije u prostoru neophodna tri pojedinačna, za svaki ortogonalni pravac ili jedinstven troosni akcelerometar.

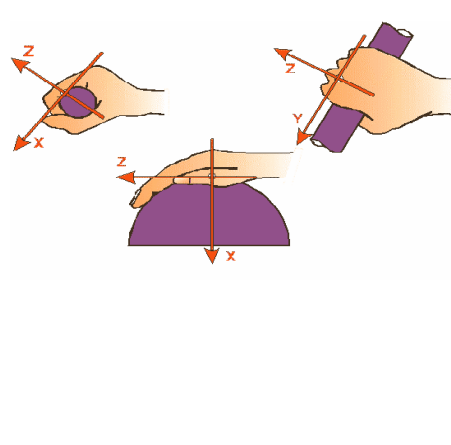
Do pre deset godina ispitivanja izloženosti vibracijama vršena su merenjem ubrzanja u samo jednoj dominantnoj osi (najčešće z-osi), s obzirom na tadašnje zahteve standarda i softverske mogućnosti merne opreme.

Ocenjivanje izloženosti ljudi vibracijama zahteva po sadašnjoj evropskoj direktivi merenje ubrzanja vibracija u tri ose, pri čemu se koordinatni sistem pozicionira na celo telo ili na gornje ekstremitete, zavisno od toga gde se vibracije prenose (slika 1 i slika 2).

Za vibracije celog tela longitudinalni pravac se označava kao z-pravac, bočni pravci su x i y, pri čemu se x-pravac odnosi na kretanje napred-nazad, a y-pravac levo-desno. Za sistem šaka-ruka u pitanju su dva koordinatna sistema i to biodinamički (određen anatomijom ruke) i bazicentrični (određen ručicom ili površinom alata koji se ispituje).



Slika 1 – Koordinatne ose za sistem celo telo



Slika 2 – Koordinatne ose za sistem šaka-ruka

## Procena uticaja vibracija na organizam

Procena izloženosti individue vibracijama obuhvata dve oblasti:

- vibracije gornjih ekstremiteta (šaka-ruka),
- vibracije celog tela.

Svaka oblast i u okviru nje odgovarajući nivo kvaliteta imaju sopstvene veličine koje su potrebne radi procene uticaja vibracija.

Za svaku oblast (šaka-ruka i celo telo) Evropska direktiva EC/44/02, od juna 2002. godine, definisala je dva praga (nivoa) izloženosti vibracijama na radnom mestu radi zaštite zdravlja i to:

- prag alarma – vrednost koja zahteva delovanje,
- prag opasnosti – maksimalnu vrednost izloženosti.

Navedena ograničenja odnose se na veličinu dnevne izloženosti, koja se dobija merenjem i najbolje izražava rizik usled izloženosti radnika vibracijama.

Metode merenja veličina, čije se vrednosti limitiraju Evropskom direktivom, date su u najaktuelnijim međunarodnim standardima, koji su doneti na osnovu brojnih istraživanja.

### *Vibracije koje se prenose na celo telo*

Vibracije za celo telo mogu biti procenjene prema različitim aspektima: štetnostima po zdravlje, kvalitetom komfora (udobnosti) i kvalitetom percepcije (osećaja).

Za vibracije celog tela razmatranje štetnog delovanja vrši se u frekventnom opsegu od 0,5 Hz do 80 Hz. Međutim, rizik od izloženosti nije isti na svim frekvencijama, pa se koristi frekventno otežavanje kako bi se na očigledan način predstavio rizik na različitim frekvencijama. Rezultat toga je opadanje ubrzanja pri porastu frekvencije. Za vibracije celog tela koriste se dva različita frekventna otežavanja. Prvo otežavanje ( $W_d$ ) je za dve bočne ose, x i y, a drugo ( $W_k$ ) za vertikalnu z-osu vibracija. Za bočne ose, x i y, vrednost izmerenog ubrzanja množi se faktorom 1,4 (jer se smatra da su za kičmeni stub u ovim pravcima za 40% opasnije vibracije nego u longitudinalnom pravcu), dok je za vertikalnu z-osu taj faktor 1,0.

Veličine koje se mere i analiziraju pri ispitivanju ljudskih vibracija aktuelnim standardima su brojne. Standard ISO 2631, metodom odnosa, predviđa analizu 1/3 oktavnog spektra ubrzanja koji se upoređuje sa datim krivama dozvoljenog vremena izloženosti koje su u funkciji ubrzanja i frekvencije. Suština metode odnosa je dobijanje dozvoljenog vremena izloženosti vibracija iz preseka 1/3 oktavnog spektra i krive odnosa (pri čemu se čita najveća vrednost preseka). Na osnovu ispitivanja po ovoj metodi mogu se doneti

zaključci o svim kvalitetima (prvenstveno nivo komfora, a samim tim i zdravlja). Pragovi komfora prema ISO 2631 odgovaraju osećaju i porede se sa ukupnom vrednosti RMS otežanog ekvivalentnog ubrzanja, kao u tabeli 1.

Tabela 1

RMS ubrzanje	Nivo osećaja
Ispod 0,315 [m/s <sup>2</sup> ]	Uopšte nije neprijatno
Od 0,315 do 0,63 [m/s <sup>2</sup> ]	Malo neprijatno
Od 0,5 do 1 [m/s <sup>2</sup> ]	Prilično neprijatno
Od 0,8 do 1,6 [m/s <sup>2</sup> ]	Neprijatno
Od 1,25 do 2,5 [m/s <sup>2</sup> ]	Veoma neprijatno
Iznad 2 [m/s <sup>2</sup> ]	Izuzetno neprijatno

Parametri koji se prema direktivi koriste za procenu izloženosti su:

– A(8) ili dnevna izloženost, što predstavlja ekvivalentno kontinualno ubrzanje preračunato na osmočasovno radno vreme, za koju nam je potrebno merenje RMS ubrzanja za svaku osu i nakon otežavanja po svim osama izbor maksimalne vrednosti koja figuriše u sledećoj formuli:

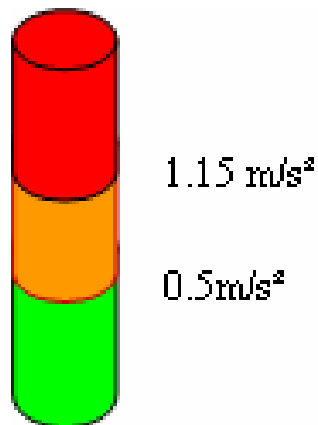
$$A(8) = \max(1, 4a_{wx}; 1, 4a_{wy}; a_{wz}) \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (9)$$

gde je:

T – vreme izloženosti vibracijama,

T<sub>0</sub> – dnevno radno vreme (osam časova).

Vrednost dnevne izloženosti A(8) kao krajnja veličina merenja poredi se sa pragovima koji su postavljeni Evropskom direktivom, kao na slici 3. Akcioni prag pri kojem se mora delovati je A(8) = 0,5 m/s<sup>2</sup>, a maksimalni prag je A(8) = 1,15 m/s<sup>2</sup>;



Slika 3 – Akcioni i maksimalni prag izloženosti za celo telo

– kumulativna doza vibracija (VDV), koja predstavlja dobar indikator rizika izloženosti koji je naročito potrebno razmatrati kada ispitivane vibracije imaju mnogo udara („pikova“). U slučaju jako promenljivih vibracija vrši se i merenje maksimalne udarne vibracije (MTV).

Ako je radnik izložen vibracijama više od jednog izvora, to jest, ukoliko koristi dve ili više različitih mašina za obavljanje radnih aktivnosti, onda se ukupna izloženost vibracijama izračunava iz intenziteta i trajanja za svaku osu i za svaku izloženost. Za svaku osu (j) dnevna izloženost se izračunava prema sledećem obrascu:

$$A_j(8) = \sqrt{A_{j1}(8)^2 + A_{j2}(8)^2 + A_{j3}(8)^2 + \dots} \quad (10)$$

gde su  $A_{j1}$ ,  $A_{j2}$ ,  $A_{j3}$ , itd. izloženosti vibracijama od različitih izvora.

### *Vibracije sistema šaka – ruka*

Za vibracije šaka–ruka razmatranje štetnog delovanja vrši se u frekventnom opsegu od 8 Hz do 1000 Hz. Međutim, rizik nije isti na svim frekvencijama, pa se kao u prethodnom koristi frekventno otežavanje da bi se postigao očigledniji uticaj na različitim frekvencijama. Za vibracije šaka – ruka koristi se samo jedna kriva frekventnog otežavanja za sve tri ose.

Za procenu izloženosti vibracijama u svim osama, na osnovu izmerenih pojedinačnih RMS ubrzanja za svaku osu, koristi se sledeći obrazac za ukupno RMS frekventno otežano ubrzanje:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (11)$$

Iz ove vrednosti izračunava se vrednost dnevne izloženosti,  $A(8)$ , standardizovano za osmočasovni referentni period na sledeći način:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (12)$$

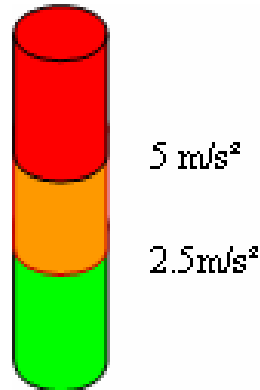
gde je:

T – vreme izloženosti vibracijama,

$T_0$  – dnevno radno vreme (osam časova).

$A(8)$  predstavlja krajnju vrednost dobijenu merenjem i ona je najbolji indikator za izražavanje štetnosti vibracija koje utiču na radnika u toku obavljanja poslova. Ova vrednost dnevne izloženosti poredi se sa pragovima koje je postavila Evropska direktiva, kao na slici 4. Akcioni prag pri kojem se mora delovati je  $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ , a maksimalni prag je  $A(8) = 5 \text{ m/s}^2$ .





Slika 4 – Akcioni i maksimalni prag izloženosti za sistem šaka–ruka

Najaktuelniji standard za uticaj vibracija na sistem šaka – ruka je ISO 5349 koji daje metodu merenja za dobijanje vrednosti veličina koje se procenjuju. Standard daje dijagrame na kojima se vide posledice dugotrajne izloženosti.

Rezultati merenja intenziteta vibracija na sistemu šaka–ruka u velikoj meri zavise i od jačine stiska između ruku i izvora vibracija, odnosno i intenziteta i pravca statičke sile, koja se može meriti. Da bi merenje izloženosti vibracijama odgovaralo određenom stisku ruke i sili potrebnoj za držanje alata, prave se ručni adapteri.

Ukoliko radnik pri obavljanju posla koristi više mašina parcijalne izloženosti vibracijama izračunavaju se iz intenziteta i trajanja svakog izvora. Celokupna dnevna izloženost zatim se izračunava iz parcijalnih izloženosti, uz korišćenje obrasca:

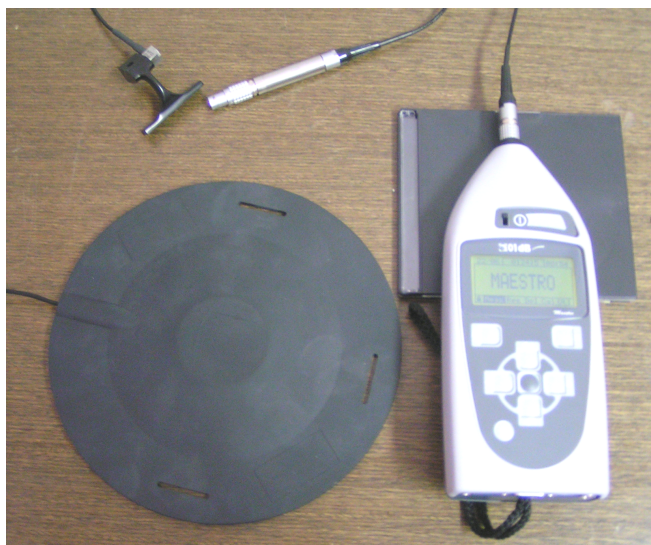
$$A(8) = \sqrt{A_1(8)^2 + A_2(8)^2 + A_3(8)^2 + \dots} \quad (13)$$

gde  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , itd. predstavljaju izloženosti vibracijama različitih mašina.

## Ispitivanje vibracija i eksperimentalni rezultati

Ispitivanja uticaja vibracija na zdravlje čoveka izvršena su prema metodama standarda ISO 2631 i ISO 5349, a zatim su rezultati ocenjeni prema Evropskoj direktivi EC/44/02. Sva merenja obavljena su savremenom, namenskom, mernom opremom, izrađenom prema zahtevima standarda ISO 8041, podržanom softverom koji je prilagođen navedenim

standardima i direktivama. Korišćen je četvorokanalni vibrometar Maestro, francuskog proizvođača 01 dB Metravib, namenjen za merenje vibracija na radnom mestu (slika 5). Preko ulaznog LEMO konektora vezuje se troosni akcelerometar ili preko adaptera tri jednoosna. Konfiguracija Maestro - za merni sistem za celo telo ima troosni akcelerometar ugrađen u adapter za sedište kako bi se odredile vibracije koje se prenose na celo telo u sva tri pravca. Konfiguracija Maestro, za merni sistem šaka-ruka, sadrži troosni akcelerometar koji se povezuje uz pomoć adaptera na mašinu ili alat koji se ispituje. Frekventni opseg je 0–10.000 Hz.



Slika 5 – Uređaj za merenje humanih vibracija - Maestro

Merni uređaj je podržan softverom dB Maestro, koji iz izmerenog efektivnog RMS i peak (maks.) višeosnog ubrzanja omogućava izračunavanje kumulativne doze vibracija, maksimuma promenljivog ubrzanja i dnevne izloženosti, na osnovu čega se vrši procena kvaliteta zdravlja. Spektralnom analizom RMS analiziraju se kriterijumi kvaliteta komfora i percepcije.

Ispitivanje vibracija celog tela i procena na nivou „kvaliteta zdravlja“ i „kvaliteta komfora“

Ispitivanje vibracija koje se prenose na celo telo izvršeno je na helikopteru  $X_0 - 45$ , rečnom brodu RML – 332 i terenskom vozilu pogonske grupe 4 x 4.

Vibracije na pilotskom sedištu helikoptera merene su na aerodromu Batajnica. Merenja su obavljena na zemlji, pri zapaštanju motora u rad i sinhronizaciji broja obrtaja motora i rotora i u letu, sa raznim elementima letenja helikoptera (npr. zaokreti,  $v_{max}$ , lebdenje, itd.).



Slika 6 – Ispitivani helikopter

Eksperimentalni rezultati pri merenju na sedištu pilota u režimu puštanja motora u rad na zemlji i sinhronizaciji broja obrtaja motora i rotora prikazani su u daljem tekstu:

File dBMaestro1.cmg						
Location		aerodrom Batajnica				
Start		21.06.07 10:43:13				
End		21.06.07 10:48:34				
Whole body						
Quality		Health				
Body position		Seated				
Measurement location		Seat				
Type		aw				
Axis	X	Y	Z	Overall	Overall	Exposure
Weighting	Wd	Wd	Wk	av	A(8)	
Coefficient	1.4	1.4	1			
Level (m/s <sub>r</sub> )	0,06	0,06	0,16			
Corrected (m/s <sub>r</sub> )	0,08	0,08	0,16	0,20	<u>0,16</u>	8h
Warning level (m/s <sub>r</sub> )					0,50	74h 55m
Maximum level (m/s <sub>r</sub> )					1,15	396h18m36s
eVDV dose (m/s 1.75)	1,45	1,50	2,98			8h
<u>Exposure level A(8) is below warning level!</u>						
Type		Peak factor				
Axis	X	Y	Z	Max.		
Peak factor	3,33	3,33	6,67	<u>6,67</u>		
<u>Peak factor is smaller than 9!</u>						

According to Standard 2631–1, A(8) assessment is recommended!

Type	VDV			Max.	Exposure
Axis	X	Y	Z	VDVeq	
Weighting	Wd	Wd	Wk		
Coefficient	1.4	1.4	1		
VDV dose (m/s 1.75)	0,33	0,36	1,12		
Corrected (m/s 1.75)	0,46	0,51	1,12	<u>1,12</u>	5m21s
Warning level (m/s 1.75)				9,10	
Maximum level (m/s 1.75)				21,00	

VDV level is below warning level!

File dBMaestro1.cmg

Location aerodrom Batajnica

Start 21.06.07 10:43:13

End 21.06.07 10:48:34

Whole body

Quality Comfort

Body position Seated

Measurement location Seat

Type aw

Axis	X	Y	Z	Overall
Weighting	Wd	Wd	Wk	av
Level (m/s <sub>r</sub> )	0,06	0,06	0,16	<u>0,18</u>

Aeq <= 0,32 m/s : not at all uncomfortable!

Analiza rezultata u odnosu na kriterijume štetnosti po zdravlje pokazuje da je dnevna izloženost u domenu malih vibracija i ispod akcionog nivoa, koji je propisan Evropskom direktivom. Takođe, peak faktor je manji od granične vrednosti koja je data u standardu ISO 2631, a kumulativna doza vibracija je ispod zabrinjavajućeg nivoa.

Analiza rezultata u domenu kvaliteta komfora i percepcije, prema standardu ISO 2631, pokazuje uslovnu komfornost.

Rezultati u letu su manje zadovoljavajući, ali nisu ovde dati zbog svoje obimnosti.



Slika 7 – Merenja u mašinskom prostoru broda



Slika 8 – Merenja na krmi broda

Ispitivanje sveobuhvatnih vibracija na rečnom brodu RML-332, kao i vibracija koje se prenose na celo telo izvršeno je merenjem na sedištu motoriste u mašinskom prostoru i na krmi. Merenja su obavljena na reci Dunav, prilikom manevrisanja, zakretanja i u režimu punog opterećenja motora broda. Analizom rezultata ispitivanja vibracija utvrđeno je da su kriterijumi komforčnosti ispunjeni, odnosno svi parametri za procenu rizika su ispod zabrinjavajućeg nivoa. Ocena štetnosti vibracija u mašinskom prostoru i na krmi broda, prema kriterijumima za zdravlje, zadovoljavajuća je, ispod zabrinjavajućih nivoa (za razliku od buke, koja je takođe merena i prelazi sve granične nivoe štetnosti), što je prikazano u izveštajima – na slikama 9 i 10.

File	rm zdravlje sedenje sediste					
Location						
Start	04.09.08 11:04:14					
End	04.09.08 11:10:26					
Whole body						
Quality	Health					
Body position	Seated					
Measurement location	Seat					
aw						
Type	aw					
Axis	X	Y	Z	Overall av	Overall A(8)	Exposure
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1.4	1.4	1			
Level (m/s <sup>2</sup> )	0,04	0,04	0,18			
Corrected (m/s <sup>2</sup> )	0,06	0,06	0,18	0,19	0,18	8h
Warning level (m/s <sup>2</sup> )					0,50	64h51m43s
Maximum level (m/s <sup>2</sup> )					1,15	343h 7m12s
Exposure level A(8) is below warning level						
Peak factor						
Type	Peak factor					
Axis	X	Y	Z	Max.		
Peak factor	2,86	3,33	4,21	4,21		
Peak factor is smaller than 9						
According to Standard 2631-1, A(8) assessment is recommended						
VDV						
Type	VDV					
Axis	X	Y	Z	Max. VDVe <sub>q</sub>	Exposure	
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1.4	1.4	1			
VDV dose (m/s 1.75)	0,25	0,22	1,48			
Corrected (m/s 1.75)	0,35	0,31	1,48	1,48	6m12s	
Warning level (m/s 1.75)				9,10		
Maximum level (m/s 1.75)				21,00		
VDV level is below warning level						

Slika 9 – Izveštaj za mašinski prostor rečnog broda, sa aspekta štetnosti po zdravlje

Imajući u vidu kriterijume za kvalitet zdravlja iz navedenih izveštaja može se zaključiti da su u slučaju ispitivanja rečnog broda svi parametri za procenu rizika ispod zabrinjavajućih nivoa.

File	rm zdravlje sedenje sediste					
Location						
Start	04.09.08 11:33:27					
End	04.09.08 11:39:21					
Whole body						
Quality	Health					
Body position	Seated					
Measurement location	Seat					
aw						
Type	aw					
Axis	X	Y	Z	Overall av	Overall A(8)	Exposure
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1,4	1,4	1			
Level (m/s <sup>2</sup> )	0,05	0,04	0,12			
Corrected (m/s <sup>2</sup> )	0,06	0,06	0,12	0,15	0,12	8h
Warning level (m/s <sup>2</sup> )					0,50	144h49m25s
Maximum level (m/s <sup>2</sup> )					1,15	766h 7m 4s
Exposure level A(8) is below warning level						
Peak factor						
Type	Peak factor					
Axis	X	Y	Z	Max.		
Peak factor	3,33	2,50	5,00	5,00		
Peak factor is smaller than 9						
According to Standard 2631-1, A(8) assessment is recommended						
VDV						
Type	VDV					
Axis	X	Y	Z	Max. VDVe <sub>q</sub>	Exposure	
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1,4	1,4	1			
VDV dose (m/s <sup>1.75</sup> )	0,25	0,21	1,10			
Corrected (m/s <sup>1.75</sup> )	0,35	0,30	1,10	1,10	5m54s	
Warning level (m/s <sup>1.75</sup> )				9,10		
Maximum level (m/s <sup>1.75</sup> )				21,00		
VDV level is below warning level						

Slika 10 – Izveštaj za vibracije na krmu broda, sa aspekta štetnosti po zdravlje



Slika 11 – Ispitivani kamion

Rezultati ispitivanja vibracija koje se prenose na celo telo, izmereni na sedištu vozača terenskog vozila (slika 11) sa aspekta kriterijuma štetnosti po zdravlje i kvaliteta komfora, dati su u izveštajima – na slikama 12 i 13, a odnose se na ispitivanje vršeno pri vožnji po makadamu brzinom od 40 km/h.

File	FAP 1118 VOZAC 40 MAKADAM OPT-ZDRAVLJE.C...					
Location						
Start	19.09.07 13:45:11					
End	19.09.07 13:53:14					
Whole body						
Quality	Health					
Body position	Seated					
Measurement location	Seat					
Type	aw					
Axis	X	Y	Z	Overall av	Overall A(8)	Exposure
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1.4	1.4	1			
Level (m/s <sup>2</sup> )	0,52	0,60	1,00			
Corrected (m/s <sup>2</sup> )	0,72	0,84	1,00	1,49	1,00	8h
Warning level (m/s <sup>2</sup> )					0,50	1h59m50s
Maximum level (m/s <sup>2</sup> )					1,15	10h33m56s
Exposure level A(8) is above warning level						
Type	Peak factor					
Axis	X	Y	Z	Max.		
Peak factor	3,75	3,50	3,70	3,75		
Peak factor is smaller than 9						
According to Standard 2631-1, A(8) assessment is recommended						
Type	VDV					
Axis	X	Y	Z	Max. VDVeq	Exposure	
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Coefficient	1.4	1.4	1			
VDV dose (m/s 1.75)	3,87	4,23	6,84			
Corrected (m/s 1.75)	5,41	5,93	6,84	6,84	8m 3s	
Warning level (m/s 1.75)					9,10	
Maximum level (m/s 1.75)					21,00	
VDV level is below warning level						

Slika 12– Izveštaj za terensko vozilo, sa aspekta štetnosti po zdravlje

File	FAP 1118 VOZAC 40 MAKADAM OPT-ZDRAVLJE.C...					
Location						
Start	19.09.07 13:45:11					
End	19.09.07 13:53:14					
Whole body						
Quality	Comfort					
Body position	Seated					
Measurement location	Seat					
Type	aw					
Axis	X	Y	Z	Overall av		
Weighting	Wd	Wd	Wk			
Level (m/s <sup>2</sup> )	0,52	0,60	1,00	1,28		
1,25 m/s <sup>2</sup> <= Aeq <= 2,50 m/s <sup>2</sup> : very uncomfortable						

Slika 13 – Izveštaj o kvalitetu komfora za terensko vozilo

Imajući u vidu kriterijume za štetnost po zdravlje i kvalitet komfora iz datih izveštaja se vidi da bi vožnja ovim terenskim vozilom trebalo da bude ograničena samo na 1 h 59 m 50 s.

### *Ispitivanje vibracija šaka – ruka*

Vibracije koje se prenose na sistem šaka – ruka ispitivane su na navedenom helikopteru, pri čemu je troosni akcelerometar preko adaptera za ruke (između prstiju pilota) bio na upravljačkoj palici.

Rezultati merenja helikoptera za režim u letu dati su u daljem tekstu:

File dBMaestro1.cmg  
 Location helikopter  
 Start 20.06.07 12:42:26  
 End 20.06.07 13:20:37  
 Hand arm  
 Machine upravljачka palica pilota  
 Measurement location Work station  
 Type ahw  

Axis	X	Y	Z	Overall	Overall	Exposure
Weighting	Wh	Wh	Wh	ahv		A(8)
Level (m/s <sub>r</sub> )	1,90	4,41	1,99	5,20	<u>5,20</u>	8h
Warning level (m/s <sub>r</sub> )					2,50	1h51m
Maximum level (m/s <sub>r</sub> )					5,00	7h24m

Exposure level A(8) is above maximum level!

Analiza izmerenih rezultata pokazuje da je vrednost dnevne izloženosti iznad maksimalnog nivoa koji je dat Evropskom direktivom za vreme izloženosti od osam časova standardizovanog radnog vremena. Da bi rizik od izloženosti bio manji od akcionog nivoa po Evropskoj direktivi, dozvoljava se dnevna izloženost u trajanju na tom radnom mestu od 1 h 51 min.

Ispitivanje vibracija koje se prenose na sistem šaka – ruka izvršeno je i na upravljaču terenskog vozila, a dobijeni rezultati prelaze akcioni nivo za osmočasovno radno vreme.

### **Zaključak**

Dosadašnja ispitivanja uticaja vibracija na čoveka bila su samo u domenu ocene kvaliteta komfora, a merenja su obavljena u jednoj osi maksimalnog delovanja vibracija (uglavnom z-osi). Razlog tome bio je nedostatak sofisticirane merne opreme i nepostojanje propisanih pragova izloženosti vibracijama u domenu kvaliteta zdravlja, koje je Evropska direktiva dala 2002. godine.



Primena savremenih mernih instrumenata u ispitivanju humanih vibracija po metodama najaktuelnijih standarda i procena rizika po Evropskoj direktivi omogućava sveobuhvatna i precizna istraživanja iz domena zaštite zdravlja čoveka od delovanja fizičkih agensa.

Neophodnost prihvatanja savremenih evropskih standarda i strogih direktiva u našoj zemlji obavezuje da se primenjuju ispitivanja na način koji je izložen u ovom radu, gde god je izražen problem delovanja fizičkih agensa na zdravlje ljudi.

S obzirom na štetan uticaj vibracija na osobe čiji je rad vezan za sredstva koja su ispitivana povodom ovog rada (helikopter, rečni brod, terensko vozilo) konačni zaključci bi se dali tek nakon dodatnih merenja pod raznim radnim uslovima.

### Literatura

[1] Directive 2002/44/EC of the European parliament and the council – Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), 25. June 2002.

[2] ISO 2631 – Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration, 01.May 1997.

[3] ISO 5349 – Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, 01.May 1997.

[4] ISO 8041 – Human response to vibration-measurement instrumentation, International Organization for Standardization, 2005. SNO 0318 – Karakteristike komformnosti vojnih vozila – ispitivanje prinudnih oscilacija ovesene mase vozila, 1981.

[5] SNO 9127 – Karakteristike komformnosti vojnih vozila – slobodne oscilacije mase vozila, 1988.

#### ANALYSIS OF RISKS FROM CREW EXPOSURE TO VIBRATIONS IN MILITARY TRANSPORT

##### Summary:

*This paper presents test methods for assessing risks arising from human exposure to vibrations.*

*The measuring of vibrations transmitted to the "whole-body" and human "hand-arm" system is carried out for helicopter, river boat and off-road vehicle crews.*

*The measured vibrations are assessed according to the criteria of the "health quality" level and the "comfort quality" level.*

*Key words: vibration testing, exposure to vibrations, "whole-body" vibration, "hand-arm" system vibration, risk assessment, physical agents.*

Datum prijema članka: 18. 11. 2008.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 15. 04. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 27. 04. 2009.

## TAČNOST I MODERNIZACIJA GLOBALNOG POZICIONOG SISTEMA

Radojević M. *Slobodan*, Vojna akademija – Centar za obuku studenata KoV, Beograd,  
Čurčić T. *Jovica*, Komanda Rečne flotile, Novi Sad

UDC: 007.528.28]:004  
629.056.84

### Sažetak:

*U radu su pregledno prikazani sadašnja koncepcija i razvoj globalnog sistema pozicioniranja (GPS). Ukratko je opisan osnovni princip rada, glavne karakteristike i njegova tačnost. Sadašnja tačnost sistema je, uglavnom, dovoljna za orijentaciju, navigaciju na vodi, u vazдушnom prostoru i na kopnu, ali ne i za brojne druge delatnosti. U radu se analiziraju načini poboljšanja karakteristika sistema satelitskog pozicioniranja, koji bi trebalo da zadovolje strože sigurnosne zahteve. Na kraju je predstavljen razvoj programa modernizacije GPS do 2030. godine.*

*Ključne reči: GPS, greške, tačnost, modernizacija.*

### Uvod

Ubrzo nakon uvođenja prvog satelitskog pozicionog sistema počinju istraživanja i pojavljuju se konkretni programi radi poboljšanja postojećeg sistema i razvoja novih, a za potrebe Ratne mornarice i Ratnog vazduhoplovstva SAD. Sredinom sedamdesetih godina prošlog veka nastaje koncept NAVSTAR GPS (**N**avigation **S**atellite **T**iming and **R**anging – **G**lobal **P**ositioning **S**ystem). Taj sistem temelji se na određivanju udaljenosti od satelita, tako da se meri vreme potrebno da signal stigne od satelita do prijemnika. Sistem za globalno pozicioniranje GPS omogućuje jednostavno i brzo određivanje trodimenzionalnog položaja, brzine i smera kretanja objekata na bilo kojoj tački Zemljine površine ili njenoj okolini, kao i rasporedu jedinstvenog vremena. Ove funkcije dostupne su u svim meteorološkim uslovima, bez obzira na doba dana i noći. Broj korisnika GPS nije ograničen. Oprema korisnika je pasivnog karaktera i pri radu ne emituje nikakvo (pa ni radio) zračenje [1].

Razvoj GPS odvijao se u tri faze. U prvoj fazi, početkom sedamdesetih godina prošlog veka, izrađeno je nekoliko satelita, eksperimentalna zemaljska kontrolna stanica i prijemnici korisnika. U decembru 1978. godine u prostoru oko Zemlje bila su četiri satelita, što je omogućilo merenje tri ko-

ordinate i brzine kretanja korisnika. Godine 1979. počela je druga faza razvoja i ispitivanja operativnih satelita, zemaljskih kontrolnih stanica i prijemnika korisnika. Treća faza od 1985. godine, obuhvatila je potpuni razvoj i proizvodnju ovih sistema, tako da je lansiranjem prvih satelita 1989. godine počelo razvijanje eksploatacionog sistema, a 1994. godine je bilo obezbeđeno globalno određivanje planarnih koordinata korisnika.

U Zalivskom ratu 1991. godine oružane snage SAD koristile su navigacijske podatke. Artiljerija je koristila tačne GPS podatke koji su omogućavali brzo i tačno određivanje koordinata sopstvenih vatrenih položaja. Vazduhoplovstvo je koristilo podatke sa GPS prijemnika za navođenje raketa na ciljeve u dubini protivnikove teritorije. Za nanošenje udara po važnim objektima korišćene su krilate rakete kod kojih je sistem navođenja bio korigovan GPS na početnom i srednjem delu leta. Koordinate objekata uvodile su se u navigacijski sistem rakete pred lansiranje, a u toku leta su se korigovale po podacima dodatnog izviđanja. Rakete su dovodene u zadatau tačku sa kružnom verovatnom greškom od 15 metara.

Međutim, GPS se ne koristi samo u vojne svrhe već i u međunarodnom vazduhoplovnom, pomorskom i putnom saobraćaju, policiji i mnogim drugim privrednim i neprivrednim oblastima. Poslednje dve godine standardnu opremu većine putničkih vozila čine i GPS prijemnici. U poslednje vreme razmatra se primena GPS za automatsko vođenje vazduhoplova na sletanje bez vizuelnog kontakta pilota sa pistom.

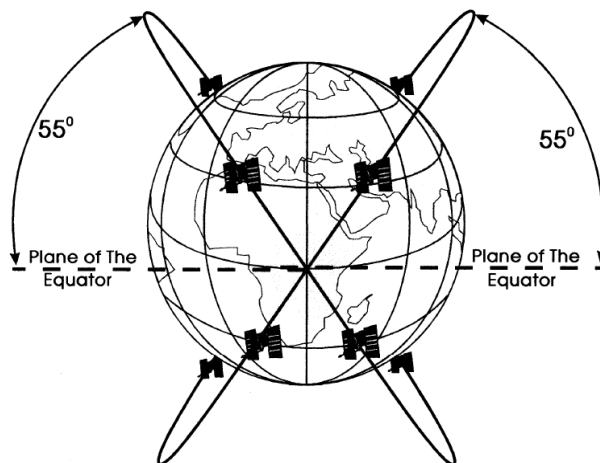
Prijemom i obradom podataka sa satelita obezbeđuju se sledeći parametri leta: trenutna pozicija u geocentričnim pravouglim koordinatama (x,y,z) ili geografska širina i dužina, brzina leta, kurs, pravac i brzina vetra, kao i ugao zanošenja. U GPS prijemnicima mogu se memorisati informacije o aerodromima, određenim tačkama na vazdušnom putu, poletno-sletnim stazama i drugo [2].

## Konfiguracija GPS

Sistem GPS sastoji se od tri odvojena segmenta: svemirskog (sateliti), kontrolnog (zemaljske stanice) i korisničkog (GPS prijemnici).

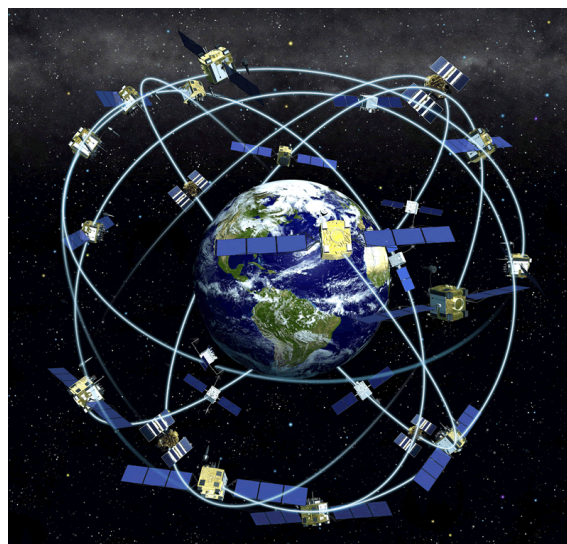
Sa 12 satelita sistema GPS 1986. godine bilo je omogućeno dvodimenzionalno pozicioniranje (određivanje geografske širine i dužine korisnika), a sa 18 satelita 1988. godine – trodimenzionalno pozicioniranje (širina, dužina i visina). Pri tome su korisnici mogli da određuju svoju poziciju sa tačnošću od 5 do 15 m i brzinu od 0,05 do 0,15 m/s, kao i da vrše sinhronizaciju svog vremenskog etalona od 5 do 15 ns, što za više od reda veličine prelazi tačnost radio-navigacijskih sistema Tranzit, Loran-C i Omega.

Da bi se obezbedilo neprekidno 24-časovno trodimenzionalno pozicioniranje, koristeći samo merenja pseudodaljina po otvorenom kanalu (za civilne svrhe), 1994. godine povećan je broj satelita sistema GPS na 24. Ova satelitska mreža obezbeđuje istovremenu vidljivost od 6 do 11 satelita, pod uglom koji nije manji od 5 stepeni iznad horizonta za sve korisnike locirane bilo gde na Zemlji i u bilo kom trenutku.



Slika 1– Nagib putanje satelita [3]

Sistem GPS danas sadrži 31 satelit koji su raspoređeni u šest polar-nih, skoro kružnih orbita (po četiri satelita u svakoj) sa nagibom putanje  $i = 55^\circ$  prema ekvatoru i međusobnim razmakom orbita od  $60^\circ$  po geograf-skoj dužini (slika 1). Sadašnju konstelaciju GPS čine 13 satelita Blok II A, 12 satelita Blok II R i šest satelita Blok II R-M. Sateliti se nalaze na visini od 20.183 km, a obleću Zemlju sa periodom približno jednakim 12 h. Takav raspored satelita omogućava korisnicima sistema da u svakoj tački na Zemlji u svakom trenutku primaju signale sa 4 do 11 satelita. Na slici 2 dat je raspored satelita koji kruže oko Zemlje.



Slika 2 – Raspored satelita oko Zemlje [4]

Zemaljski komandno-merni kompleks obuhvata: glavnu (vodeću) stanicu za upravljanje i prenos podataka (GSU) lociranu u vazduhoplovnoj bazi Falkon u Kolorado Springsu (SAD); pet kontrolnih stanica (KS) raspoređenih širom sveta (u Kolorado Springsu, u Kvajalinu, Dijego Garsiji, na Vaznesenjskom ostrvu i Havajskim ostrvima – Vahiva), kako bi se istovremeno pratila cela satelitska mreža GPS i omogućio prenos orbitalnih informacija glavnoj kontrolnoj stanici; stanicu upravljanja i prenosa podataka (SPU) u Vanderbergu u Kaliforniji; rezervne kontrolne stanice u državi Mejn, na Sejšelskim ostrvima i u zoni Panamskog kanala.

Kontrolne stanice su automatski centri praćenja radio-navigacijskih signala sa satelita. U njima se sakupljaju informacije potrebne za određivanje efemerida<sup>1</sup> i odstupanja vremena na satelitima od sistemskog vremena, a takođe i za izračunavanje prognoziranih i drugih podataka koji se skladište u računar svakog satelita. Svaka kontrolna stanica sadrži tipski četvorokanalni navigacijski korisnički prijemnik, visokostabilan etalon frekvencije sa uređajem za formiranje vremenske skale, davač meteoroloških podataka i računar sa interfejsom. Kao rezultat prijema radio-navigacijskih signala svakih 6 s meri se pseudodaljina, integralni Doplerov pomeraj frekvencije primanih signala u odnosu na frekvenciju zemaljskog etalona i izdvajaju se navigacijski podaci.

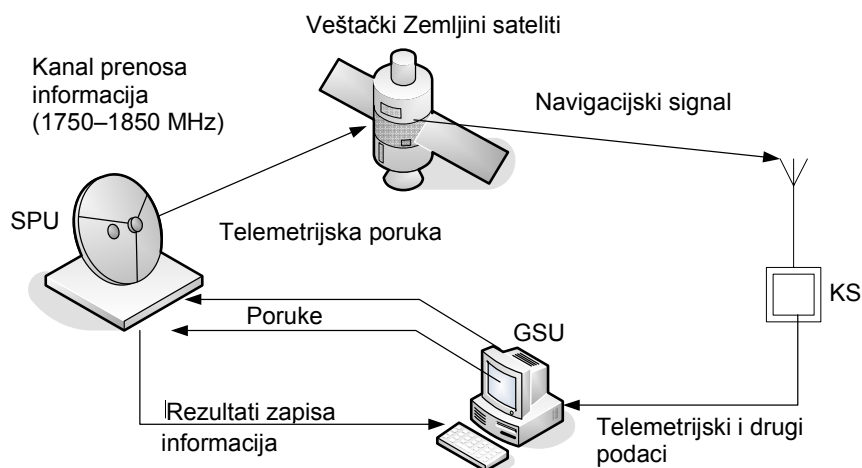
Kontrolnim stanicama upravlja glavna stanica (GSU) na koju oni prenose sve sakupljene memorisane informacije. Meteorološke informacije se u glavnoj stanici koriste za korekciju troposferskih grešaka navigacijskih parametara, izmerenih na kontrolnim stanicama. Računar kontrolne stanice sakuplja sve podatke u njoj, memoriše ih 15 min i zatim na uput preko interfejsa predaje ih kanalom veze glavnoj stanici na obradu. Časovnik jedne od kontrolnih stanica sinhronizuje se sistemom sistemskog vremena sa tačnošću  $\pm 100 \mu\text{s}$  i smatra se vodećom kontrolnom stanicom sistema, a njen časovnik referentnim za ceo sistem. Časovnici ostalih kontrolnih stanica podešavaju se prema navigacijskim signalima sa satelita.

Glavna stanica predstavlja centar prikupljanja i obrade podataka, koji dolaze sa kontrolnih stanica. U njoj i u Centru naoružanja vojnopomorskih snaga SAD izračunavaju se prognozirane efemeride i parametri modela satelitskih časovnika, a takođe i drugi navigacijski podaci, memorisani u računaru navigacijskih satelita.

Navigacijski podaci za svaki satelit, dobijeni u glavnoj stanici, dospevaju preko kanala veze u stanicu upravljanja i prenosa podataka (SPU). Odatle se oni preko komandnog radio kanala predaju odgovarajućim satelitima, gde se skladište u memoriju računara. Osnovna stanica memorisanja podataka ulazi u sastav glavne stanice (GSU), a kao rezerva koristi se odgovarajuća stanica satelitskog centra upravljanja vojnim vazduho-

<sup>1</sup> Efemeridi su vrednosti koordinata (vektor pozicije) satelita u geocentričnom koordinatnom sistemu, proračunate za fiksirane trenutke na osnovu rezultata prognoze kretanja tog satelita.

plovnim snagama. Za vreme predaje podataka satelitima kontrolne stanice prekidaju prikupljanje informacija. One se tada koriste za kontrolu pravilnosti podataka, uskladištenih u memoriju računara satelita, dekodiranjem telemetrijskih informacija iz kadra primarnih navigacijskih signala (slika 3). Proces prenosa podataka na satelite kontroliše glavna upravljačka stanica (GSU), koja analizira telemetrijske podatke i proverava predaju navigacijskih poruka sa satelita ka korisnicima [2].



Slika 3 – GPS prenos podataka: GSU – glavna stanica upravljanja; SPU – stanica upravljanja i prenosa podataka; KS – kontrolna stanica [2]

Korisnički segment čini GPS prijemnik koji prima signale sa više satelita i na osnovu njihovog različitog prostiranja na mestu prijema, uz poznavanje tačne lokacije satelita i tačnog vremena, u stanju je da proračuna svoju poziciju u tri dimenzije kao i brzinu prijemnika. Većina GPS prijemnika ove operacije obavlja automatski, u realnom vremenu i često ih predstavlja vizuelno na ekranu ili u vidu govorne poruke. Prijemnik omogućuje i vojnu i civilnu upotrebu, sa skoro neograničenim brojem aplikacija koje se mogu koristiti na kopnu, na vodi i u vazduhu.

Radio-navigacijski prijemnik korisnika automatski bira četiri optimalno raspoređena satelita i meri četiri pseudodaljine i četiri pseudoradijalne brzine, na osnovu kojih određuje svoju poziciju i vektor brzine, a takođe tačno određuje razliku etalona vremena i frekvencije u satelitu u odnosu na sistemsko vreme i referentnu frekvenciju etalona u zemaljskim stanicama.

Signali se emituju na frekvencijama  $L_1$  od 1575,42 MHz i  $L_2$  na 1227,6 MHz korišćenjem tehnike povišenog spektra. Opseg  $L$  obuhvata frekvencije od 1 GHz do 2 GHz. Tako visoka frekvencija se koristi jer signali sadrže veliki broj komponenti, tako da je potrebna širina od oko 20 MHz da bi se one prenele. Signali se koriste i za određivanje brzine kretanja

na osnovu Doplerovog efekta, a da bi se merila brzina sa tačnošću od 1 cm u sekundi potrebni su signali sa centimetarskom talasnom dužinom. Korišćenjem visokih frekvencija redukuje se uticaj jonosfere na signal (tabela 1).

Tabela 1

Vremenski parametri satelitskog signala

Komponenta	Frekvencija [MHz]
Osnovna frekvencija	$f_0 = 10,23$
Nosilac $L_1$	$f_1 = 154 f_0 = 1575,42$ ( $\lambda_1 \approx 19,0$ cm)
Nosilac $L_2$	$f_2 = 120 f_0 = 1227,60$ ( $\lambda_2 \approx 24,4$ cm)
Nosilac $L_3$ (korišćen za vojni program detekcije lansiranja projektila i nuklearnih detonacija)	1381,05
Nosilac $L_4$ (nosilac koji se razmatra za dodatne jonosferske ispravke)	1379,913
Nosilac $L_5$ (nosilac predložen za dodatne primene)	1176,45
P-kod	$P(t) f_0 = 10,23$
C/A-kod	$C(t) f_0 / 10 = 1,023$
W-kod	$f_0 / 20 = 0,5115$
Navigacijska poruka D(t)	$f_0 / 204600 = 50 \cdot 10^{-6}$

Izvor: obradio autor na osnovu podataka [1], [2] i [3].

Emituju se dve vrste signala:

- signal  $C/A^2$  (Coarse/Acquisition code), čiji osnovni nosilac ima frekvenciju od 1,023 MHz i koji se emituje na  $L_1$  frekvenciji,
- signal  $P^3$  (Precision code), čiji osnovni nosilac ima frekvenciju 10,23 MHz. Ovaj signal se emituje i na  $L_1$  i na  $L_2$  frekvenciji.

Signal C/A namenjen je za civilne potrebe, a P signal se koristi u vojne svrhe. P signal može biti dodatno šifrovan, i tada se naziva Y signal kada je uključen Anti-Spoofing mod (A-S). To je šifrovanje P koda u Y kod da bi se predupredio eventualni prijem signala koje emituje neprijateljska strana i koji mogu da liče na GPS signale.

Navigacijski signal brzine 50 Hz moduliše i C/A i P signal. Navigacijski podaci su organizovani u ramove od po 1500 bita. Svaki ram ima 5 podramova dužine 300 bita. Ukupno ima 25 ramova, tako da je za predaju kompletne navigacijske poruke potrebno oko 12,5 minuta. Zajedno sa navigacijskim podacima, uz svaki podram šalje se i tačno vreme njegovog slanja. Podatak o vremenu uzima se sa atomskog časovnika kojim je opremljen svaki satelit (sateliti bloka 2R imaju po tri rubidijumska atomska časovnika). Svaki satelit osim sopstvenih koordinata šalje i koordinate ostalih satelita [1].

<sup>2</sup> C/A signal (Coarse-Clear/Acquisition code) lako ili grubo otkrivan signal-kod, grubi kod, pri manjoj tačnosti.

<sup>3</sup> P signal (Precision code) precizan kod, pri većoj tačnosti.

## *GPS Servisi*

GPS obezbeđuje dva tipa servisa: Standardni pozicioni servis – SPS (Standard Positioning Service) i Precizni pozicioni servis – PPS (Precise Positioning Service). SPS je namenjen civilnim primenama, a PPS koristi vojska. Osnovna razlika između ova dva servisa je u preciznosti podataka koje obezbeđuju.

### *Standardni pozicioni servis-SPS (Standard Positioning Service)*

SPS je servis za pozicioniranje koji je Ministarstvo odbrane SAD autorizovalo za potrebe civilnih struktura društva. Sastoji se od C/A-koda i navigacijske poruke koja se prenosi signalom frekvencije  $L_1 = 1575,42$  MHz. SPS ne koristi signal  $L_2$  kao ni P(Y) kod po signalu  $L_1$ . Servis SPS daje preciznost pozicioniranja od 100 m u horizontalnoj, 156 m u vertikalnoj ravni i vremensku preciznost od 340 ns u odnosu na UTC. Ministarstvo odbrane SAD ima mogućnost povećanja stepena tačnosti SPS u slučaju narušavanja nacionalne bezbednosti ili u slučaju ratnog stanja. Ovo povećanje stepena tačnosti SPS sistema naziva se „Selective Availability“ tj. „selektivni pristup“ i ima S/A oznaku.

### *Precizni pozicioni servis-PPS (Precise Positioning Service)*

PPS je precizniji servis satelitskog pozicioniranja od SPS sistema i koriste ga samo autorizovani korisnici. Razvijen je isključivo za vojne potrebe. Autorizaciju za ovaj sistem dodeljuje isključivo Ministarstvo odbrane SAD. On obezbeđuje preciznost pozicioniranja od 22 m u horizontalnoj ravni i 27,7 m u vertikalnoj ravni dok je vreme dato sa preciznošću od 200 ns u odnosu na UTC. Ovaj sistem ima dve zaštite a to su: S/A – Selective Availability i Anti-Spoofing (A-S) odnosno šifrovanje. S/A se koristi za zaštitu GPS pozicije, brzine i tačnosti vremena od neautorizovanih korisnika, po principu ometanja satelitskih signala ubacivanjem signala greške u njih. Šifrovanje P koda u Y kod da bi se predupredio eventualni prijem signala koje emituje protivnička strana i koji mogu ličiti na GPS signale je tzv. Anti-Spoofing (A-S). Koristi se radi odbijanja neautorizovanih korisnika koji žele da pristupe P kodu. Autorizovani korisnici imaju specijalni ključ pomoću koga pristupaju ovom sistemu. PPS prijemnici mogu koristiti P(Y)-kod ili C/A-kod, a mogu i oba. SPS prijemnici nisu zaštićeni od *spoofinga* jer koriste C/A-kod.



## Greške i tačnost pozicioniranja

Namerna degradacija signala od strane Vojske SAD (selektivan pristup, S/A – Selective Availability) koristi se da spreči protivnike SAD od upotrebe tačnog GPS signala. Do grešaka dolazi na dva načina: emitovanjem pogrešnog podatka o vremenu i emitovanjem pogrešnog podatka o poziciji satelita u orbiti (efemeride). Šifarski ključ za korekciju greške izazvane na ovaj način dostupan je samo vojnim i državnim korisnicima. Američka vlada je dekretom ukinula S/A degradaciju 1. maja 2000. godine.

Nove tehnologije koje je razvila Vojska SAD omogućuju namernu degradaciju GPS signala na regionalnoj osnovi zbog nacionalne bezbednosti, dok je degradacija signala na svetskom nivou nepotrebna.

Greške satelitskog radio-navigacijskog sistema dele se na tri grupe:

- **greške formiranja radio-navigacijskih parametara**, izazvane anomalijama prostiranja radio-talasa usled uticaja jonosfere i troposfere, greškama sinhronizacije časovnika, nestabilnošću etalona frekvencija satelita, uticajem relativističkih efekata, višestrukim refleksijama i uzajamnim smetnjama pri istovremenom radu nekoliko satelita;
- **greške formiranja efemeridne informacije** navigacijskih satelita, uslovljene instrumentalnim greškama u uređajima zemaljskih stanica trajektnih merenja, netačnošću njihovog koordinatnog privezivanja, uticajem geometrijskog faktora (određen rasporedom ovih stanica u odnosu na navigacijski satelit), greškama prognoze efemerida navigacijskih satelita zbog netačnosti modela geopotencijala Zemlje, pritiska Sunčanog vetra, otpornosti atmosfere, privlačenja drugih planeta i drugo;
- **greške navigacijskih merenja**, uslovljene odstupanjem etalona časovnika prijemnika, instrumentalnim greškama radio-navigacijskog uređaja i autonomnih navigacijskih davača visine, kursa i brzine, konačnim tačnostima rešavanja navigacijskih jednačina računarom korisnika i uticajem geometrijskog faktora [2].

### Greške formiranja radio-navigacijskih parametara

#### Uticaj jonosfere i troposfere

Promena atmosferskog stanja utiče na promenu brzine GPS signala pri njihovom prolasku kroz Zemljinu atmosferu. Signali sa satelita prolaze kroz slojeve atmosfere – jonosferu i troposferu. Jonosfera se prostire na visini između 50 i 500 km i sastavljena je od jonizovanog vazduha, dok je troposfera niži sloj atmosfere do visine 9 km na polovima i 16 km na ekvatoru [3].

Jonosferski uticaj se sporo menja i on je prosečan tokom dužeg vremena. Uticaj u nekoj određenoj geografskoj zoni može se lako odrediti

poređenjem podataka iz GPS prijemnika i poznatih podataka o toj lokaciji. Ova ispravka je ista i za ostale prijemnike u tom području. Nekoliko sistema šalje ove informacije preko radija ili druge veze i omogućavaju da prijemnici koji rade samo sa  $L_1$  signalom primene ovu korekciju. Jonosferski podaci se šalju sa satelita koji koristi GPS frekvenciju i specijalni pseudo-slučajni broj tako da su dovoljni samo jedna antena i jedan prijemnik da bi se došlo do ovih podataka. Jonosfera utiče na prostiranje radio talasa u zavisnosti od frekvencije zračenja i dužine puta koji talasi prolaze kroz nju. Zato se u vojnoj upotrebi P-kod moduliše na  $L_1$  i  $L_2$  frekvenciji. Obradom signala se ustanovi razlika u kašnjenju signala modulisanog sa  $L_1$  i signala modulisanog sa  $L_2$  i na osnovu toga izračuna uticaj jonosfere. Nova generacija satelita, Blok IIR-M, ima  $L_2C$ -kod modulisan na frekvenciju  $L_2$ , da bi se isti metod detekcije jonosferskog efekta i njegove korekcije mogao upotrebiti i na civilnim prijemnicima.

Drugi način detekcije i korekcije ove greške se sastoji u prijemu GPS signala na poznatim pozicijama na Zemlji. Poređenjem pozicije dobijene obradom GPS signala i stvarne pozicije otkriva se veličina greške koju stvara jonosfera i proračunavaju podaci o trenutnim karakteristikama jonosfere na toj lokaciji.

Vlažnost vazduha izaziva promenljiva kašnjenja. Ovaj uticaj je lokalnog karaktera i menja se brže od jonosferskih uticaja, što otežava ispravku greške. Vlažnost u troposferi utiče na prostiranje radio talasa, nezavisno od njihove frekvencije, što može uneti grešku od 0,1 do 1 metra. Promene u vlažnosti su brze i ova greška je mala, ali teška za korekciju.

Uticaj jonosfere se može predvideti i kompenzovati ugradnjom matematičkih modela u prijemnik, dok je uticaj troposfere nepredvidiv, pa se proračunom brzine dva različita signala primljena sa istog satelita, greška generisana uticajem atmosfere može minimizirati. Uticaj jonosfere može prouzrokovati grešku od 1 do 50 m, koja najčešće iznosi od 5 do 10 m, dok uticaj troposfere izaziva grešku od 0,1 do 1 metar.

Visina satelita takođe izaziva promenljiva kašnjenja pošto signal putuje kroz razređeniji vazduh na većim visinama. Pošto prijemnici mere direktno visinu, ova greška se lako ispravlja. Greška nastala usled visine satelita je najmanja kada je satelit u zenitu prijemnika, a najveća kada je satelit na horizontu, jer GPS signal putuje najduže. Za ispravljanje greške visine koriste se matematički modeli.

### *Greške uzrokovane neusklađenošću časovnika*

Sateliti koriste atomske časovnike koji imaju veliku stabilnost (rubidijum ili cezijum), veoma su tačni ali ne i savršeni pa se može pojaviti vremenska neusklađenost. Neusklađenost prouzrokuje grešku u merenju vremena pu-

tovanja signala od satelita do prijemnika pa samim tim i grešku u poziciji. Greške časovnika satelita nastaju usled stalnih pomeranja vremena atomskih časovnika satelita u odnosu na sistemsko vreme u zemaljskim stanicama. Ova odstupanja mogu dostići i 976 ms u toku 24 h. Zato se, jednom dnevno sa Zemlje, šalje signal korekcije časovnika satelita, na osnovu kojeg se formira model sa koeficijentima korekcije. Ovi koeficijenti se emituju u navigacijskoj poruci i koriste u prijemniku korisnika. Nekorigovane greške, koje se odnose samo na devijaciju časovnika, veoma su male i dovode do greške u merenju rastojanja do satelita reda veličine 30 cm. Greška pozicije uzrokovana na ovaj način može da bude od 1 do 5 metara.

### *Greške usled relativističkih faktora*

Greške usled relativističkih faktora ispoljavaju se u obliku ekvivalentnog povećanja frekvencije etalona satelita u odnosu na frekvenciju etalona zemaljskog centra sistema, a koje nastaje usled razlike gravitacionih potencijala i razlike brzine kretanja satelita i korisnika (letelice, broda, vozila itd.). Fredvard Vinterberg (Freidwardt Winterberg) je 1955. godine otkrio, da kada se posmatra sa Zemljinog referentnog sistema, časovnik na satelitu izgleda kao da radi brže nego časovnik na Zemljinoj površini. Za GPS satelite ova razlika je 38 ms na dan. Radi toga, standardna frekvencija na satelitu (10,23MHz) pre lansiranja je pomerena na frekvenciju od 10,22999999543MHz, što rezultuje da časovnik radi nešto sporije na Zemlji. Atomski časovnici na satelitima su precizno podešeni, čime se primenjuje teorija relativiteta u stvarnom životu.

### *Greške uzrokovane različitom putanjom signala*

Signal emitovan sa satelita dolazi do korisnika direktno, zajedno sa signalima koji se odbijaju od objekata (drugih aviona, raznih objekata kao što su zgrade, zidovi kanjona, čvrsta podloga, nadletana površina, naročito pri letu aviona iznad mora itd.) i time prouzrokuje grešku. Do prijemnika dolaze i signali koji se odbijaju više puta (multipath-višeputni put). Te refleksije, čija snaga može biti uporediva sa snagom direktnog signala, formiraju na prijemniku rezultujući signal. Kašnjenje i frekvencija tog signala ne odgovara kašnjenju i frekvenciji direktnog signala.

Prijemnici sistemom filtriranja smanjuju ili potpuno eliminišu ove reflektovane signale. Za veliko kašnjenje signala, prijemnik sam prepoznaje signal koji je stigao usled odbijanja i automatski ga odbacuje. Za prepoznavanje signala sa kraćim kašnjenjem usled refleksije mora se koristiti specijalna antena. Odbijeni signali sa kratkim kašnjenjem su teži za filtriranje jer je efekat skoro isti kao kod standardnih promena atmosferskog kašnjenja.

Uticao odbijanja je manje ozbiljan kod vazduhoplova, brodova i drugih pokretnih objekata. Pomeranjem GPS antene reflektovani signal mnogo odstupa od signala bez odbijanja, pa ga prijemnik lako detektuje i odbacuje, a prihvata samo validne signale. Greške refleksije su relativno male, reda veličine od 0,1 do 2,7 metara.

### *Greške usled interferencije*

Greške usled interferencije nastaju zbog uzajamnog uticaja signala sa navigacijskih satelita, kao i signala sa predajnika sistema osmatranja i veze i drugih izvora smetnji, koji upadaju u propusne opsege radio-navigacijskih uređaja korisnika [2].

### *Greške formiranja efemeridne informacije*

#### *Greške prognoze efemerida*

Greške prognoze efemerida navigacijskih satelita određene su uticajem geopotencijalnog polja, Sunčanog pritiska, kretanja polova Zemlje, otpornosti atmosfere i drugih slučajnih faktora na kretanje satelita. Određivanje geopotencijalnog modela (geoida) omogućilo je da se smanji udeo tog faktora u ukupnoj navigacijskoj grešci. Radi određivanja efemerida navigacijskih satelita sa malom greškom od 2 do 3 m neprekidno se utvrđuju informacije o uticaju navedenog i niza drugih faktora na kretanje satelita.

Parametri kretanja navigacijskih satelita prognoziraju se na osnovu efemerida, dobijenih po optimalno filtriranim podacim trajektnih merenja u prethodnoj sedmici.

Efekti pogrešnih efemerida se manifestuju kao pogrešna projekcija vektora pozicije satelita u odnosu na vektor prijemnika. Greške su reda veličine od 2 do 5 metara.

#### *Greške uzrokovane solarnom aktivnošću*

Zemlja je zaštićena od sunčeve spoljne atmosfere svojim magnetnim poljem, koje skreće solarni vetar i čini ga neškodljivim za Zemlju. Za vreme solarnih erupcija dolazi do narušavanja zemljinog magnetnog polja ulaskom čestica izbačenih solarnom erupcijom u području magnetosfere. Uticaj ove pojave na rad satelita je značajan. Na nižim visinama sateliti stalno usporavaju pod uticajem trenja. Za vreme solarnih erupcija gustina atmosfere se može povećati (trenje), do nivoa koji dovodi do

naglog gubitka visine satelita i njegovog sagorevanja u atmosferi. Sateliti na višim orbitama mogu stradati i od solarnih aktivnosti manjih razmera. Tokom geomagnetih oluja sateliti mogu izgubiti vezu privremeno ili trajno.

### *Greške zbog grupnog kašnjenja*

Greške zbog grupnog kašnjenja nastaju zbog kašnjenja pri obradi signala u uređajima satelita. Ova kašnjenja se kalibrišu pri ispitivanju uređaja na Zemlji i obuhvaćena su parametrima efemerida. Dozvoljeno grupno kašnjenje je 1 metar.

### *Greške navigacijskih merenja*

#### *Greške usled nesavršenosti prijemnika*

Greške usled nesavršenosti prijemnika korisnika izazvane su šumom prijemnika, diskretizacijom signala i nedovoljnom tačnošću računara. Šumne greške određene su kvalitetom prijemno-pojačavačkog kanala i sistema praćenja zakasnelog koda daljine ili Doplerove frekvencije. Greške diskretizacije nastaju usled digitalnog metoda merenja, pri kome se kašnjenje koda i Doplerova frekvencija menjaju diskretno sa, npr.  $T_n/64$ , gde je  $T_n$  – perioda noseće frekvencije. Greške računara nastaju zbog ograničenog broja bita procesora, nedovoljne tačnosti algoritama i kašnjenja pri izvršavanju komandi [2].

#### *Greška faznog centra antene*

Tačnost i preciznost merenja sistema znatno je povećana zahvaljujući boljim konstrukcijama prijemnika i softvera. Za tačnija merenja treba računati i ekscentar GPS antene, tj. nepoklapanje referentne tačke antene (RTA – mehanička osa antene) i srednjeg faznog centra (SFC). Zaoštajanja prijema signala u GPS antenama nisu ista u svim smerovima, nego zavise od smera iz kojih dolazi GPS signal. Zato, kod tačnijih merenja, treba računati i elektromagnetsko ponašanje tačke prijema signala na anteni (tj. tačke faznog središta – TFS). Naime, tačka faznog središta: nije mehanička tačka, stabilna, homogena i identična za frekvencije  $L_1$  i  $L_2$ . Tako će tačka faznog središta (TFS) antene menjati svoj položaj s promenom smera primljenog signala sa satelita po azimutu, elongaciji i frekvenciji primanih radio talasa. Ova greška je veličine od 0,001 do 0,01 metra.

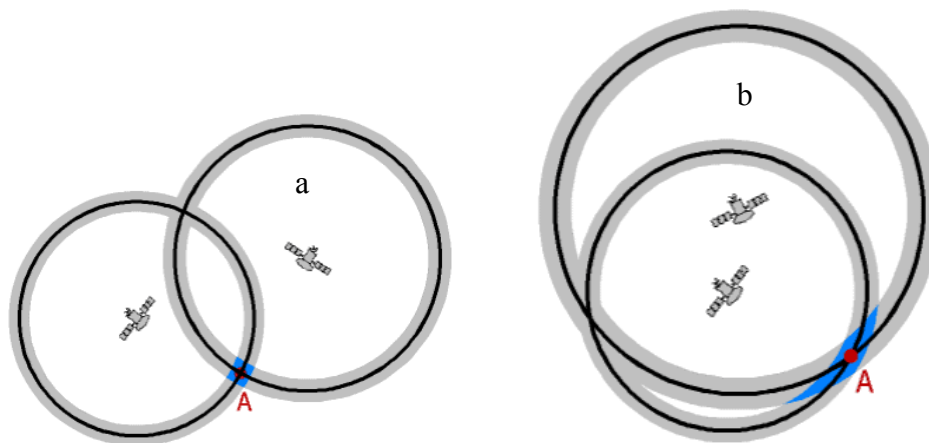
### *Greške usled dinamike korisnika*

Greške usled dinamike korisnika takođe dovode do povećanja ukupne greške pri merenju rastojanja do satelita. Te greške mogu da se kompenzuju optimalnom Kalmanovom obradom primljenih signala. Ukupna greška merenja rastojanja od korisnika do satelita za letelice sa velikom dinamikom kreće se u granicama od 3,6 do 6,3 metara.

### *Greške uzrokovane lošim izborom satelita – „geometrija satelita“*

Pojam geometrije satelita odnosi se na relativan položaj satelita u nekom trenutku. Na konačnu grešku utiče međusobna pozicija satelita i prijemnika. Ako je ugao, u čijem temenu se nalazi prijemnik, a na kracima sateliti, mali takav položaj je nepovoljan i odstupanje po jednoj od osa je veliko a po drugoj malo. Ako je ovaj ugao veliki odstupanje po osama je približno isto (slika 4).

Idealna geometrija satelita postoji kad su sateliti razmešteni pod velikim uglom relativno jedan u odnosu na drugi (4a). Nepovoljna geometrija nastaje kada su sateliti smešteni u istom pravcu ili su tesno grupisani (4b).



Slika 4 – Greška kod dobro i loše pozicioniranih satelita [5]

Veća greška u određivanju tačne pozicije predstavlja loš izbor satelita (Poor Geometric Dilution of Position), i naravno dobar izbor satelita gde je greška pozicije minimalna (Good Geometric Dilution of Position) [4].

Uticaj relativnog položaja GPS prijemnika i satelita čiji se signali uzimaju u proračun prilikom određivanja pozicije na preciznost merenja generalno se naziva **DOP (Dilution of Precision)**-smanjenje preciznosti usled prostornog rasporeda satelita). Ta vrednost je geometrijska veličina koja se odnosi na nesigurnost određivanja pozicije kinematičkim načinom rada i prikazuje se izrazom:

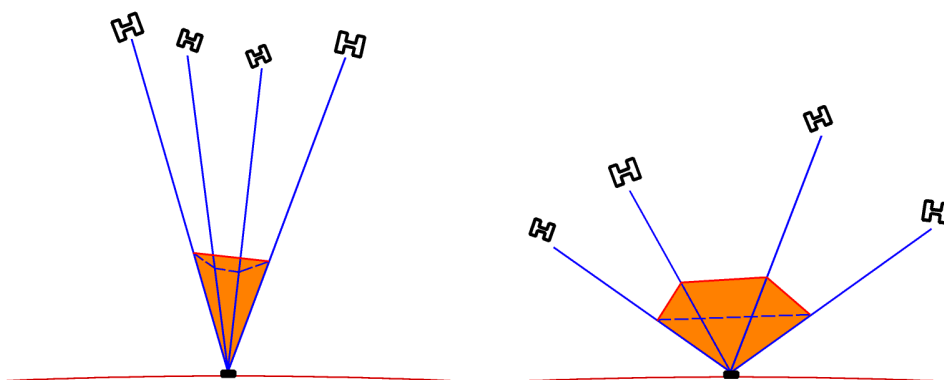
$$DOP = \sqrt{\text{trag} (A^T A)^{-1}} \quad (1)$$

gde je  $A$  matrica sistema jednačina koja zavisi od geometrije satelita i prijemnika. Niska DOP vrednost pokazuje dobru konfiguraciju satelita, dok visoka DOP vrednost lošu konfiguraciju [5].

Neimenovani broj koji opisuje uticaj položaja satelita na tačnost pozicije i obrnuto je proporcionalan zapremini tetraedra koji formiraju jedinični vektori usmereni od faznog centra antene ka pojedinom satelitu naziva se **PDOP (Position Dilution of Precision)**.

$$PDOP \approx \frac{1}{V_{tetraedra}} \quad (2)$$

**GDOP (Geometric Dilution of Precision)** jeste nedimenzionalni broj koji označava meru kvaliteta konfiguracije satelita i pokazuje relativan položaj satelita u odnosu na druge. Geometrija satelita utiče na tačnost GPS pozicioniranja. Biraju se tri satelita sa najboljim geometrijskim rasporedom, koji kad se kombinuju sa najvišim satelitom na nebu daju tetraedar najveće zapremine (slika 5). Na ovome se i zasniva algoritam izbora satelita koji su od vidljivih najpogodniji za merenja [6].



Slika 5 – Loša i dobra geometrija satelita [6]

PDOP pozicijska je DOP vrednost i najčešće se koristi, umesto GDOP, kao mera za geometriju satelita. PDOP vrednosti mogu se prema kvalitetu podeliti u nivoe:

- PDOP ≤ 4 – izvrsno,
- PDOP 5–8 – prihvatljivo,
- PDOP ≥ 9 – loše.

PDOP je manja jedinica mere koja upućuje na kvalitet horizontalnih (latituda, longituda) i vertikalnih (visina) merenja. Na prijemniku se može podesiti parametar poznat kao PDOP maska, koji ignoriše konstelacije koje imaju PDOP veći od granične vrednosti koja se specificira [7].

Kod GDOP se razlikuju: **HDOP (Horizontal Dilution of Precision)** i **VDOP (Vertical Dilution of Precision)**. **TDOP (Time Dilution of Precision)** upućuje na odstupanje sata. GDOP upućuje na rešenje tri položajne koordinate plus odstupanje sata (4 nepoznate) i može se prikazati izrazom:

$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2 \quad (3)$$

PDOP se može prikazati i izrazom:

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2 \quad (4)$$

### Tačnost pozicioniranja

Trenutno garantovana tačnost GPS apsolutnog pozicioniranja, nakon ukidanja S/A, iznosi od 10 do 20 m, dok se u praksi pokazuje da je reda veličine od 5 do 13 m, pa čak i bolja (tabela 2).

Tabela 2

Prikaz najvažnijih GPS grešaka i njihov uticaj na merenje

Vrsta greške	Vrednost greške [m]
Uticaj jonosfere (najbolji model)	1–2
Uticaj jonosfere (prosečni model)	5–10
Uticaj jonosfere (loš model)	10–50
Uticaj troposfere (model)	0,1– 1
Višestruke refleksije signala	0,1–2,7
Šum merenja	0,2–1
Hardverska zaostajanja signala	0,1–1
Greška faznog centra antene	0,001–0,01
Greške proračuna efemeride	2–5
Greška časovnika satelita	1–5
Ukupno sa prosečnim modelom jonosfere	5,5–12,7

Izvor: Obrada autora na osnovu podataka [2], [4] i [7].



Izračunate vrednosti ukupnog standardnog odstupanja prema tabeli 2:

$$\sigma_{\text{ donja granica}} = \sqrt{(5^2 + 0,1^2 + 0,1^2 + 0,2^2 + 0,1^2 + 0,001^2 + 2^2 + 1^2)} = 5,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{ gornja granica}} = \sqrt{(10^2 + 1^2 + 2,7^2 + 1^2 + 1^2 + 0,01^2 + 5^2 + 5^2)} = 12,7 \text{ m}$$

U nastavku su navedeni najčešće korišćeni pojmovi tačnosti pozicioniranja.

Potrebno je naglasiti da termin tačnost GPS uređaja predstavlja u stvari grešku merenja. *Kružna ili sferna verovatnoća greške (Circular or spherical error probable – CEP, SEP)* predstavlja prečnik kruga (sfere) koji obuhvata 50% merenja sa poznate lokacije tokom određenog vremena, obično 24 sata [8].

Koren srednjih vrednosti kvadrata greške – Root Mean Square (RMS) Error

Na primer lokacija sa tačnim koordinatama  $(x_0, y_0)$  i  $n$  merenja sa rezultatima  $(x_1, y_1)$   $(x_2, y_2)$   $(x_3, y_3)$  ....  $(x_n, y_n)$ , tada je:

$$RMS_{\text{accuracy}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]}}{n} \quad (5)$$

RMS tačnost je jednaka jednoj standardnoj devijaciji ( $1\sigma$ ). Ona predstavlja krug koji sadrži približno 68% svih izmerenih vrednosti. Potrebno je naglasiti da RMS tačnost odgovara statičkim merenjima. Ipak, većina GPS uređaja ima bolju dinamičku tačnost, nego statičku. Dinamička tačnost predstavlja ponovljivost merenja u dinamičkim uslovima [8].

*Koren srednjih vrednosti preciznosti – RMS Precision*

Za lokaciju sa tačnim koordinatama  $(x_0, y_0)$  i  $n$  merenja sa prosečnim rezultatima  $(x, y)$ , pri čemu je  $x$  prosečna vrednost svih izmerenih  $x$  pozicija, a  $y$  prosečna vrednost svih izmerenih  $y$  pozicija, tada je:

$$RMS_{\text{precision}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}}{n} \quad (6)$$

Dinamička preciznost je naročito važna za operacije sa paralelnim zahvatima, npr. statička tačnost nekog dvofrekventnog prijemnika može biti 25 cm, a njegova dinamička tačnost 10 cm [8].

### *Horizontalna i vertikalna tačnost*

Vidljivi sateliti su samo oni koji se nalaze iznad horizonta mobilnog prijemnika. Zbog toga je horizontalna tačnost veća 1,5 do 2 puta od vertikalne tačnosti.

## Razlozi modernizacije GPS

Nakon pokretanja projekta „Galileo“ Evropske svemirske agencije (ESA – European Space Agency) 1999. godine, Ministarstvo obrane SAD počinje uviđati da bi GPS mogao vremenom izgubiti mesto jedinog pravog globalnog sistema za pozicioniranje i navigaciju, koje uspešno drži više od dvadeset godina.

Galileo je zamišljen kao sistem pod kontrolom civilne zajednice, za razliku od GPS, koji je pod nadzorom Ministarstva obrane SAD koje je uvek ograničavalo puni prijem signala civilnim korisnicima i odlukama na koje civilni deo zajednice nije mogao uticati.

Moguća restrukturiranja unutar GPS krenula su kada je Evropska unija na konferenciji ministara EU, održanoj 16. i 17. juna 1999. godine otpočela sa definisanjem sistema Galileo, a Evropska svemirska agencija započela rad na projektu.

Nakon što je stručni tim Galilea najavio nameru da PRS (Public Regulated Service) leži na američkom vojnom M-kodu, zbog implikacija koje bi iz toga proizašle za američku vojsku, Ministarstvo obrane SAD je ubrzalo odluku o pokretanju GPS III programa [9].

Još jedan, ne manje važan razlog da započne modernizacija GPS je taj što će Galileo biti finansiran u najvećoj meri od privatnog sektora i zavisice od poslovne sposobnosti, pa će zbog toga njegovi signali i servisi biti bolji nego kod GPS. Izjava predsednika SAD Bila Klintonu iz 2000. godine: „Odluka o prekidu Selective Availability je zadnja mera u nastojanju da GPS bude dostupan civilima i komercijalnim korisnicima širom sveta. Taj porast u tačnosti omogućice pojavljivanje novih GPS aplikacija i nastaviće se poboljšanje života ljudi širom sveta“ [9], nije proizašla iz brige za dostupnošću GPS svim korisnicima već iz čvrstog stava Evropske unije da razvije Galileo. Nakon te izjave usledili su i konkretni koraci u modernizaciji GPS, a danas se politika SAD prema GPS temelji na paralelnom praćenju razvoja sistema Galileo, kao i drugih globalnih navigacijskih satelitskih sistema. Naime, Kina je 2002. godine zatražila dozvolu za frekvencije za svoj globalni navigacijski satelitski sistem, pod imenom „COMPASS“. Indija radi na svom sistemu pokrenutim pod imenom „IND-SAT“ i takođe je zatražila dozvolu za frekvencije.

## Program modernizacije GPS

Modernizacija sistema se sprovodila u više pravaca od kojih su najvažniji: ukidanje selektivnog pristupa, modernizacija satelita, modernizacija signala, modernizacija kontrolnog segmenta, poboljšanje prijemnika, poboljšanje programa i povećanje tačnosti.

### *Ukidanje selektivnog pristupa*

Prvi i najvažniji korak u poboljšanju tačnosti GPS svakako je bila odluka američkog predsjednika Bila Klintonu o ukidanju S/A, 2. maja 2000. godine. Iako se ovaj korak ne bi mogao ubrojati u modernizaciju sistema, razmatran je jer je zahvaljujući njemu napravljen veliki pomak u pogledu garantovane tačnosti GPS za civilne korisnike koja je odmah povećana sa tadašnjih 30 do 100 m na oko 10 do 20 metara.

Cilj modernizacije GPS, nakon ukidanja SA, je dalje poboljšanje tačnosti pozicioniranja, navigacije, orijentacije, određivanja brzine i vremena za civilne i vojne korisnike širom sveta.

### *Modernizacija satelita*

Do sada je modernizirano 12 Blok IIR u Blok IIR-M<sup>4</sup> satelite, zbog brže dostupnosti M-koda na frekvencijama L<sub>1</sub> i L<sub>2</sub> i civilnog koda na frekvenciji L<sub>1</sub>. Uprkos tome, nemoguće je dodati frekvenciju L<sub>5</sub> na Blok IIR-M satelite, pa se teži rešenju tog problema.

Blok IIF<sup>5</sup> sateliti bi trebali biti peta generacija GPS satelita kod kojih će se nastaviti s civilnim signalom na L<sub>1</sub>. Takođe, pojačaće se i M-kod na frekvencijama L<sub>1</sub> i L<sub>2</sub> radi boljeg prijema signala. Civilnim strukturama društva će najpre biti dostupan novi signal na L<sub>2</sub>, a posle će biti dodat i novi civilni kod na frekvenciju L<sub>5</sub>. Prva lansiranja Blok IIF satelita počela su 2005. godine.

Blok IIF sateliti sadržaće poboljšanja, koja će omogućiti veću autonomnost satelita, kao i dodatne mogućnosti slanja signala.

Prednosti nove generacije satelita:

- navigacijska tačnost se zadržava 6 meseci bez podrške sa Zemlje, a time je bojazan o ometanju komunikacija kontrolnih stanica sa satelitima minimalna,

<sup>4</sup> M – military: vojni.

<sup>5</sup> F – follow on: slediti.

- sateliti su opremljeni opremom koja će omogućiti prenos podataka između satelita radi povećanja samostalnosti sistema,
- samo jedno osvežavanje informacijama satelita mesečno umesto više puta dnevno,
- redukovaće se potreba za prekomorskim kontrolnim stanicama i
- postigla bi se veća navigacijska tačnost.

Blok III sateliti trebali bi biti najnovija generacija GPS satelita, a njihovo lansiranje bi trebalo početi 2010. godine, a realnija opcija je 2012. godina.

### *Modernizacija signala*

Dalji važan korak u modernizaciji GPS uključuje uvođenje dva nova civilna signala. Civilni signal  $L_2 = 1227,60$  MHz, predviđen je za implementaciju na Blok IIF satelite. Za drugi civilni signal koji će biti smešten uz sadašnji vojni signal, početna operativna sposobnost IOC<sup>6</sup> je dostignuta 2008. godine, a puna operativna sposobnost FOC<sup>7</sup> će biti dostignuta verovatno do 2010. godine.

Treći civilni signal biće smešten unutar dela spektra koji je internacionalno dodeljen za aeronautičke radionavigacijske servise, tj.  $L_5 = 1176,45$  MHz, a prvo lansiranje satelita sa ugrađenim signalom je realizovano 2005. godine. Signal je prilagođen za potrebe aplikacija koje su važne za sigurnost života ljudi, kao što je civilno vazduhoplovstvo. Za novi civilni signal na  $L_5$ , IOC će biti postignut do 2012. godine, a FOC do 2015. godine. Biće uvedena dva nova koda na frekvenciju  $L_5$ :  $I_5$  (I-in-phase) i  $Q_5$  (Q-quadrature) [10].

Uvođenjem nove frekvencije  $L_5$ , modernizovani GPS signal ima sledeću strukturu (slika 6):

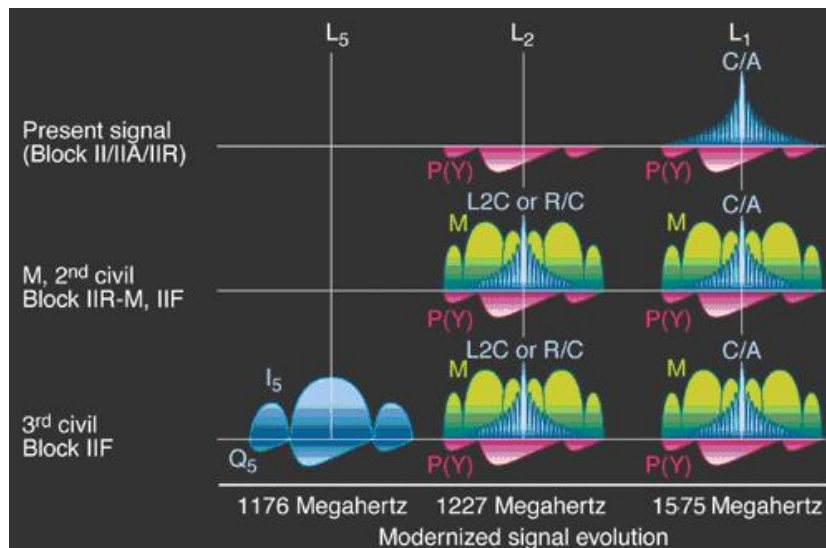
- $L_1$ : C/A; P/Y; M
- $L_2$ : C/A; P/Y; M
- $L_5$ :  $I_5$ ;  $Q_5$ .

Pri tom će civilni signali biti:

- $L_1$ : C/A
- $L_2$ : C/A
- $L_5$ : novi kod.

<sup>6</sup> IOC – Initial Operational Capability – početna operativna sposobnost.

<sup>7</sup> FOC – Full Operational Capability – puna operativna sposobnost.



Slika 6 – Struktura modernizovanih signala [10]

Kada budu kombinovani sa sadašnjim civilnim signalom na 1575,42 MHz, novi signali će znatno poboljšati pouzdanost GPS za civilne korisnike i omogućiti besprekorno određivanje visoke položajne tačnosti u realnom vremenu na čitavoj površini Zemlje.

### *Modernizacija kontrolnog segmenta*

Modernizacija kontrolnog segmenta realizovaće se postavljanjem novih prijemnih stanica i novim tehnikama obrade radi reduciranja grešaka vezanih za određivanje položaja i vremena. Povećaće se tačnost određivanja orbita samih satelita, što će dovesti do povećanja tačnosti određivanja bilo koje komponente sistema. Realizovaće se dodatno postavljanje velike antene, kombinovane sa promenama nužnim u operacionalizaciji kontrolnog segmenta.

### *Poboljšanje prijemnika*

Rezolucija prijemnika poboljšaće se na 0,1% talasne dužine, ili bolje. Proizvodnja višekanalnih prijemnika sa 36 i više kanala (merenje svih kombinacija opažanja  $L_1$  i  $L_2$ ) postaće rutina. Problemi višestrukog puta signala znatno će se smanjiti konstrukcijom prijemnika sa zaštitama kako bi uticaj bio sveden na najmanju moguću meru. Masa i veličina prijemnika će se smanjiti, a poboljšaće se svojstva svih komponenti: smanjiti antene, poboljš-

šati radiofrekvencijski (RF) deo, bežična komunikacija korisnika sa prijemnikom daljinskim upravljačem i dr. Veličina prijemnika će se smanjiti na optimalnu veličinu što će za posledicu imati praktičniju primenu.

Bitno je napomenuti da će u budućnosti cena GPS prijemnika imati samo stalni trend pada.

### *Poboljšanje programa*

Korišćenjem sve bržih mikroprocesora i optimizacijom algoritama u programskim paketima ubrzaće se proračun merenja. Najveći prostor za poboljšanje kvaliteta rada programa je u razvijanju tehnika uklanjanja cycle slipa i određivanja ambiguiteta.<sup>8</sup>

U budućnosti se može očekivati širenje primene RTK (Real Time Kinematic) sistema, tj. da će se vektori svih tipova merenja obrađivati u realnom vremenu, na licu mesta u prijemniku (*processing softver*). Real-time kinematic (RTK) GPS – predstavlja vrlo preciznu tehniku, koja postiže centimetarsku tačnost merenjem ugla faze nosećeg signala. Udaljenost prijemnika od satelita se izražava celim brojem perioda plus racionalni deo talasne dužine, izražen faznim uglom. Tehnika RTK GPS zahteva lokalnu baznu stanicu u krugu od 5 km i najmanje 5 satelita da bi se dobila centimetarska tačnost. Postoji mogućnost pripremanja RTK GPS referentnog signala koristeći mrežu baznih stanica tako da korisnik ne mora kupiti drugi prijemnik kao baznu stanicu, već se može pretplatiti na referentni signal. Gledano iz praktičnih i ekonomskih razloga to je optimalno rešenje proračuna za većinu merenja.

### *Povećanje tačnosti*

Korisnika sistema zanima koliko će modernizacija GPS uticati na tačnost pozicioniranja, navigacije, orijentacije i određivanja brzine i vremena.

U tabeli 3 prikazan je uticaj modernizacije GPS u budućnosti na horizontalnu tačnost apsolutnog pozicioniranja i kretanja u realnom vremenu.

Tabela 3

Horizontalna tačnost apsolutnog pozicioniranja za servise SPS i PPS

Nivo servisa	Horizontalna tačnost apsolutnog pozicioniranja, 95%[m]
SPS sa 2 ili više kodirana civilna signala – C/A-kod na L2 i/ili L5	8,5
SPS i PPS s Accuracy Improvement Initiative	6,0

Izvor: Obrada autora na osnovu podataka [9] i [10].

<sup>8</sup> Cycle slip-celobrojna promena fazne višeznačnosti (ambiguiteta) prilikom prekida ili ometanja GPS signala.

Tačnost kretanja u realnom vremenu - procena za budućnost:

- $L_1$  kod i nosač,
- $L_2$  kod i nosač,
- $L_5$  kod i nosač,
- radioveza za podatke,
- mogućnost rada do udaljenosti 100 i više km,
- tačnost 2 cm i bolja i
- brže pronalaženje prekinutih signala (npr. ispod mostova, u gradovima i dr.).

Tačnost određivanja visina biće na nivou nekoliko centimetara ili bolja.

## Generacija modernizacije sistema – GPS III

GPS III najnovija je (treća) generacija modernizacije GPS, koja je po odobrenju Kongresa SAD počela 2000. godine.

Njene karakteristike su [9], [10]:

- u svako doba u orbiti će biti 30 do 32 satelita dostupna korisnicima, a bili bi raspoređeni u tri orbitalne ravni sa po deset satelita,
- snaga predajnih signala sa satelita bila bi povećana za 500 W, zbog čega se uvodi još jedan (četvrti) solarni panel za napajanje,
- posredovaće implementiran M-kod na frekvencije  $L_1$  i  $L_2$  jače snage nego do sada,
- druga civilna frekvencija ( $L_2$ : C/A) je na raspolaganju počevši sa Blok IIF satelitima, koji su lansirani u 2003. godini,
- treća frekvencija, koja sadrži civilni signal  $L_5$ , je implementirana na Blok IIF satelite, koji su lansirani u 2005. godini,
- prenos signala je mnogo jači,
- povećana je real-time tačnost na 1 m,
- prva lansiranja GPS Blok III satelita počćeće oko 2010. godine,
- IOC sistema biće postignut do 2016. godine i
- očekuje se da će FOC sistema biti postignut do 2018. godine.

Sadašnja modernizacija GPS zadržava konstelaciju do 2010. godine. Nova generacija satelita i nova zemaljska kontrolna svojstva biće razvijeni za korištenje nakon 2010. godine do najkasnije 2030. godine.

Predloženi nivo tačnosti GPS III i dostupnost signala pronađen je u poboljšanjima koja je moguće izvesti potpunom modernizacijom Blok II konstelacije i kontrolnog segmenta.

Predloženi program kasni nekoliko godina, tako da se realizacija pojedinih faza modernizacije pomera, a glavni razlozi su neočekivano dugi vek trajanja sadašnjih GPS satelita i nedostatak novčanih sredstava.

Naučni vojni savet odbrane SAD predložio je plan defanzivnih mera zaštite GPS od dejstva protivnika do 2020. godine. Te mere bi obuhvatile formiranje novog prostornog rasporeda (konstelacije) satelita, povećanje

jačine signala koje zrače sateliti, postavljanje novih adaptivnih antena, poboljšanje korisničkih prijemnika, predikciju uticaja poremećaja i scintilacije (fluktuacije) jonosfere pri prostiranju predajnih signala satelita.

## Zaključak

Kao što je danas teško zamisliti život bez organizacije vremena, tako će u budućnosti biti imperativ poznavanje precizne pozicije korisnika na Zemlji.

Danas sistem GPS ima važnu ulogu, kao globalni mrežni časovnik, za definisanje tačnog vremena, tj. za sinhronizaciju vremena miliona računara širom sveta pri razmeni informacija. U budućnosti će još više proširiti svoju primenu u različitim aspektima ljudskog života u geodeziji, geodinamici, navigaciji, svemirskim istraživanjima, vojnim potrebama, geofiziци, poljoprivredi, šumarstvu, hidrologiji, ekologiji, meteorologiji, arheologiji, biologiji, geologiji i drugim naučnim disciplinama. Prijemnike GPS koriste inženjeri različitih struka (elektrotehnika, mašinstvo, geodezija, šumarstvo, agronomija, vodoprivreda itd.) čiji je posao vezan za terenski rad. Osim stručne i profesionalne upotrebe u raznim područjima nauke i tehnike i navigaciji, GPS je našao široku primenu i u svakodnevnom životu. Upotrebljava se u saobraćaju (putnom, železničkom, pomorskom, rečnom i vazduhoplovnom), u sportu (nautika, padobranstvo, planinarenje, biciklizam i sl.), a sve češće se GPS prijemnici ugrađuju i u automobile kao deo sistema za navigaciju i praćenje.

Osim stalnog praćenja sistema i održavanja deklarisanе tačnosti, planiraju se i izvide dalja usavršavanja GPS sistema, prvenstveno na planu smanjenja osetljivosti na smetnje i na povećanju osnovne tačnosti. Nakon uvođenja signala za civilnu upotrebu-L<sub>5</sub>, osnovna greška sistema će se, bez primene dodatnih tehnika, spustiti ispod 10 metara.

Nove mogućnosti, kao i one koje se ne mogu sagledati, iniciraće razvoj novih aplikacija za GPS i daljnje širenje brzo rastućeg tržišta GPS opreme i servise širom sveta. Neposredno širenje primene GPS očekuje se u navigaciji na vodi, kopnu i u vazduhu, gde će uspostavljanje DGPS mreža omogućiti pouzdanu navigaciju uz primenu jednostavnih i jeftinih prijemnika, a najskuplji deo biće veza.

U 21. veku informacija se traži odmah i na licu mesta, a pritom je ključna integracija sistema GPS sa drugim sistemima ili sa više njih.

## Literatura

[1] Marjanov, M., *Satelitski sistem za globalno pozicioniranje – GPS*, Vojnotehnički glasnik, Beograd, 4–5/2000.

[2] Tirnanić, S., Bursać, S., *Satelitska radio-navigacija letelica*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 2001.



- [3] Ćurčić, J., Šoškić, S., *Pozicioni satelitski sistemi*, Vojna akademija, radni materijal, Beograd, 2005.
- [4] ERD: <http://www.gps.oma.be>, januar 2009.
- [5] ERD: <http://www.montana.edu/places/gps>, januar 2009.
- [6] ERD: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps>, januar 2009.
- [7] ERD: <http://www.kowoma.de/en/gps/gps>, januar 2009.
- [8] Gavrić, M., Martinov, M., *Postupci i tačnost primene GPS u poljoprivredi*, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 32, No. 1–2, p. 1–131, Novi Sad, januar 2006.
- [9] ERD: <http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization>, januar 2009.
- [10] ERD: <http://www.schwanenwerder.de/.../GPS/modernization>, januar 2009.

#### ACCURACY AND MODERNIZATION OF THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM

##### *Summary:*

*The development and the present concept of the Global Positioning System (GPS) are presented clearly. There is also a short description of the basic operation principle and of the main GPS characteristics given, as well as its accuracy. The present accuracy of the system is mostly appropriate for orientation, nautical navigation, land navigation and aero navigation; however, for many other activities better accuracy is required. The article analyses methods to improve the characteristics of the satellite positioning system so as to comply with more stringent safety demands. The paper gives a clear overview of the development of a GPS modernization program up to the year 2030.*

*Key words: GPS, errors, accuracy, modernization.*

Datum prijema članka: 10. 03. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 17. 04. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 27. 04. 2009.

## 22. MEĐUNARODNI NAUČNO-STRUČNI SKUP NAUKA I MOTORNA VOZILA 2009

Muždeka R. *Slavko*, Vojna akademija – Katedra vojnih mašinskih sistema, Beograd

Nastavljajući tradiciju dugu 40 godina u Beogradu je, od 14. do 16. aprila 2009. godine, održan 22. međunarodni naučno-stručni skup NAUKA I MOTORNA VOZILA, pod nazivom AUTOMOBILSKA TEHNIKA ZA VEĆU BEZBEDNOST. Skup je održan u organizaciji JUMV – Jugoslovenskog društva za motore i vozila, u saradnji sa Mašinskim fakultetom Univerziteta u Beogradu i Inovacionim centrom Mašinskog fakulteta. Pokrovitelji skupa bile su eminentne međunarodne organizacije automobilskih inženjera – FISITA (Međunarodna federacija nacionalnih društava automobilskih inženjera) i EAEC (Evropska kooperacija automobilskih inženjera), kao i eminentne domaće naučne institucije – SANU (Srpska akademija nauka i umetnosti) i AINS (Akademija inženjerskih nauka Srbije). Sponzori ovogodišnje konferencije bili su DEKRA – nemačka organizacija za osiguranje i EVU – Evropska asocijacija za istraživanje i analizu udesa.

Prvi skup iz koga su kasnije nastale konferencije „Nauka i motorna vozila“ održan je 1967. godine. Od tada ova konferencija je postala najvažniji forum automobilske tehnike u Srbiji, na Balkanu i u ovom delu Evrope. Cilj konferencije je da promoviše razmenu najboljih naučnih i stručnih znanja i iskustava između eksperata iz različitih zemalja. Ovogodišnja konferencija demonstrirala je kontinuitet, tradiciju i kvalitet 21 prethodno održanog skupa, i obezbedila učesnicima uslove da se upoznaju sa razvojem, primenjenim naučnim i stručnim rezultatima automobilskih stručnjaka sa posebnim osvrtom na bezbednost vozila i saobraćaja.

Konferencija je trajala tri dana i bila je organizovana u dva dela – nacionalnom i međunarodnom. Nacionalni deo kongerencije trajao je jedan dan i održan je na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Ovaj deo konferencije organizovan je kao specijalna sekcija posvećena automobilskom forenzičkom inženjerstvu – inženjerskoj disciplini koja predstavlja nov način integracije postojećih i već poznatih metoda radi objektivnog utvrđivanja i ocenjivanja stanja vozila posle havarije. Radovi u okviru sekcije AutoForIng podeljeni su u tri dela: prvi deo je obuhvatio radove koji su se bavili metodama automobilskog forenzičkog inženjerstva sa stanovišta utvrđivanja stanja vozila za potrebe veštačenja i procene štete, drugi deo je obuhvatao radove pozvanih gostiju iz inostranstva, a treći domaća iskustva. U toku prvog dela saopšteno je sedam radova u kojima je tretirana problematika identifikacije vozila, provere verodostojnosti vozila, uloge vanrednog tehničkog pregleda pri ispitivanju stanja vozila posle havarije, itd. U drugom delu saopštena su dva rada u kojima je prikazana savremena oprema za otklanjanje posledica havarije vozila, kao i savremena softverska rešenja za simulaciju sudara vozila. U trećem delu saopšte-

na su četiri rada u kojima su predstavljena domaća iskustva autora koji se bave nekim od segmenata automobilske forenzičke inženjerstva. Koautor jednog rada je i Milenko Tajević iz Vojnotehničkog instituta koji je ove godine bio jedini autor iz sistema odbrane na skupu. Rad se odnosi na problematiku stabilnosti vozila sa pogonom na sva četiri točka.

Na osnovu predstavljenih radova može se zaključiti da je nacionalni deo konferencije bio veoma uspešan i da je obrađivao, za nas, veoma aktuelnu problematiku imajući u vidu način pribavljanja vozila i stanje domaćeg voznog parka.

Međunarodni deo konferencije trajao je dva dana i održan je u Srpskoj akademiji nauka i umetnosti. Moto ovog dela skupa bio je „Automobilska tehnika za veću bezbednost“ i organizovan je kroz tri specijalne i četiri tehničke sekcije. Značajno je primetiti da je ovaj deo konferencije imao izrazito međunarodni karakter. Naime, od ukupnog broja radova preko 80% bilo je iz inostranstva i to iz renomiranih visokoškolskih i naučnih ustanova i iz automobilske industrije. Specijalne sekcije bile su posvećene simulacijama u automobilske tehnici, profesionalnom održavanju i predavanjima po pozivu. Tehničke sekcije organizovane su tematski i pokrivala su sledeće oblasti: 5E – motori, emisija, ekologija, okruženje, energija; bezbednost vozila; automobilska logistika; sistemi za prenos snage, sistemi za upravljanje i komfor.

Specijalnu sekciju „Simulacije u automobilske tehnici“ organizovao je i njome predsedavao doc. dr Branislav Basara iz austrijske firme AVL List GmbH koja je svetski lider u oblasti simulacija i ispitivanja u automobilske tehnici. U okviru sekcije saopšteno je devet radova autora iz Austrije, Italije, Holandije, Švedske, Nemačke, Velike Britanije, Slovenije i Rusije. Radovi obuhvataju tematiku integracije simulacionih i konvencionalnih tehnika, aerodinamike vozila i simulacija u oblasti pod sistema vozila – motora sa unutrašnjim sagorevanjem, kompresora i sl.

Specijalna sekcija „Profesionalno održavanje“, kojom je predsedavao Frank Leimbach iz firme DEKRA Automobil GmbH, bila je, na neki način, nastavak nacionalnog dela konferencije, a obuhvatala je tri rada od kojih se dva bave uticajem kvaliteta održavanja na kvalitet i bezbednost vozila, a jedan prevarama u održavanju polovnih vozila.

U okviru specijalne sekcije „Gosti govornici“ kojom je predsedavao prof. dr Čedomir Duboka, predsednik JUMV i organizator konferencije skup su pozdravili akademik Petar Miljanić, sekretar Odeljenja tehničkih nauka SANU i dr Andras Voith, predstavnik EAEC koji je saopštio i tradicionalnu poruku FISITA koja se saopštava na svim skupovima kojima je ova organizacija pokrovitelj. Nakon toga održano je šest predavanja po pozivu. Prof. Dr. Ing. Habil. E. C. von Glasner iz EVU održao je predavanje na temu „Uticaj karakteristika pneumatika na kočne i upravljačke performanse komercijalnih vozila“. Dr Marko Tirović sa Carnfield Univerziteta održao je predavanje na temu „Određivanje vučnih performansi pneumatika za besputne terene“. Prof. dr Singmar Micke iz firme Robert Bosch održao je vrlo interesantno predavanje na temu „Sistemi za podršku vozaču-status 2009“, Prof. dr Matyas Matolsky

iz GTA – društva automobilskih inženjera Mađarske održao je predavanje na temu „Zaštita vozača i putnika pri frontalnom sudaru autobusa“. Dr Stojan Čučuz iz firme Visteon održao je predavanje na temu „Komparacija različitih tehnologija redukcije NOx u funkciji smanjenja izduvne emisije, povećanja ekonomičnosti i smanjenja troškova“. Poslednje predavanje, na temu „Srednjoročna projekcija potrošnje energije i obima transporta u Sloveniji“ održao je prof. dr Ferdinand Trenc sa Mašinskog fakulteta u Ljubljani.

Tehnička sekcija „5E“, kojom je predsedavao prof. dr Sergej Sažin sa Univerziteta Brighton iz Velike Britanije, obrađivala je tematiku koja se odnosila na motore sa unutrašnjim sagorevanjem i različite aspekte njihove primene na vozilima. U okviru sekcije saopšteno je 12 radova autora iz Velike Britanije, Estonije, Italije, Srbije, Mađarske, Japana, SAD i Rumunije. Radovi se odnose na istraživanja u oblasti procesa sagorevanja u motorima SUS, primene alternativnih goriva, simulaciju opterećenja elementa motora, sistemima za podmazivanje, gorive ćelije, hibridni pogon, itd.

Tehnička sekcija „Bezbednost vozila“, kojom je predsedavao dr Marko Tirović sa Carnfield univerziteta, obrađivala je tematiku koja se odnosila na elemente pasivne i aktivne bezbednosti vozila. U okviru sekcije saopšteno je 11 radova autora iz Italije, Australije, Velike Britanije, Mađarske i Slovenije. Radovi se odnose na istraživanja u oblasti optimizacije noseće strukture vozila, bezbednosti pešaka, novih sistema aktivne bezbednosti, homologacije vozila u oblasti kočenja i konstrukcije kočnica.

Tehnička sekcija „Automobilska logistika“, kojom je predsedavao prof. dr Jovan Todorović, doajen u oblasti kočenja i održavanja motornih vozila u našoj zemlji, obrađivala je tematiku koja se odnosi na različite aspekte automobilske logistike. U okviru sekcije saopšteno je sedam radova autora iz Slovenije, Srbije i Mađarske. Radovi se odnose na logistiku u proizvodnji automobilskih delova, pouzdanost, reciklažu i održavanje vozila.

Tehnička sekcija „Sistemi za prenos snage, sistemi za upravljanje i komfor“ kojom je predsedavao prof. dr Aleksandar Subić sa RMIT univerziteta iz Australije obrađivala je pomalo raznorodnu tematiku koja se odnosila na predmetne oblasti. U okviru sekcije saopšteno je pet radova autora iz Mađarske, Makedonije, Nemačke i Crne Gore. Radovi su se odnosili na integrisane sistema za prenos snage, sisteme oslanjanja, prime-nu CVT hibridnog pogona i kinematiku sistema za oslanjanje vozila.

Kao zaključak može se navesti da je ova konferencija zadržala kontinuitet i visok renome po pitanju predstavljanja najnovijih svetskih naučnih dostignuća u oblasti automobilske tehnike zahvaljujući, prvenstveno, ugledu koji u svetu uživaju naši naučni radnici, pre svih prof. Čedomir Duboka kao organizator. Činjenica je da je broj radova iz naše zemlje manji nego do sada, što ukazuje na to da treba ulagati dodatne napore u istraživanje i razvoj, kako bi se ostvarivali rezultati koji bi se prezentovani na ovakvim skupovima.

Datum prijema članka: 06. 07. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 13. 07. 2009.

## 12. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA ICDQM 2009

Pokorni J. *Slavko*, Visoka škola strukovnih studija za  
informacione tehnologije, Zemun

U toku 25. i 26. juna 2009. godine održana je, po sedmi put u Beogradu, dvanaesta po redu, međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM-2008 (12th International Conference of Dependability and Quality Management). Organizator konferencije je DQM istraživački centar (Istraživački centar za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću) iz Prijedora kod Čačka, čiji je osnivač akademik prof. dr Ljubiša Papić, redovni član Akademije za kvalitet Ruske Federacije i dopisni član Inženjerske akademije Srbije, koji je i predsednik međunarodnog programskog odbora ove konferencije.

Međunarodna naučna konferencija ICDQM, kako se u predgovoru zbornika radova sa ove konferencije konstatuje, „dugi niz godina predstavlja forum za prezentovanje novih naučnih rezultata, razvojnih istraživanja i privrednih primena u oblasti inženjerstva kvaliteta i inženjerstva pouzdanosti kroz sve faze životnog ciklusa proizvoda i sistema, od marketinga, preko projektovanja, proizvodnje, ispitivanja, korišćenja, do povlačenja iz upotrebe. Zato logičnu celinu konferencije čine i tematske oblasti: konkurentno inženjerstvo i inženjerstvo sistema“.

Ove su oblasti veoma interesantne i značajne i za Vojsku Srbije, pa nije neobično što se svake godine pojavljuje 10–15 radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane (MO). Specifičnost ovogodišnje DQM konferencije je što su radovi pripadnika Vojske Srbije izdvojeni u posebnu tematsku celinu *Vojno inženjerstvo*, čime je odato priznanje kontinuitetu i značaju radova i učešća pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije, a posebno pripadnika Vojne akademije, koji su po pravilu najbrojniji, na ovoj konferenciji.

Programski odbor ovogodišnje konferencije, pored akademika prof. dr Ljubiše Papića, čini još 26 poznatih i priznatih naučnih radnika, od čega 11 iz Srbije i 16 iz inostranstva iz 7 zemalja (Indija 2, Izrael 2, Kanada 2, Rusija 4, Španija 2, Velika Britanija 3, i SAD 1), među kojima pet akademika (tri iz Rusije i dva Srbije).

Komisija ovog programskog odbora, od radova saopštenih na konferenciji, već tradicionalno, bira dva najbolja, jedan iz oblasti akademskih istraživanja, a jedan iz oblasti primenjenih istraživanja u privredi, a autori primaju priznanje i nagradu na narednoj konferenciji. Ove godine, od radova saopštenih na prošloj, 11. konferenciji, u oblasti naučnih istraživanja nagrađeni su **dr Radomir Janković** sa Računarskog fakulteta iz Beograda (za saopštenje: „GPSS realizacija algoritma za swarming grupe naoružanih mobilnih platformi“), a oblasti primenjenih istraživanja, nagrađen je **mr Slobodan Radosavljević** iz RB Kolubara iz Lazarevca (za saopštenje: „Rizici od aerozagađenja u preradi uglja“).

Napomenimo da se istaknuti radovi, sa ove konferencije, razmatraju i za objavljivanje u međunarodnom časopisu, na engleskom jeziku, Communications in DQM, koji, opet zahvaljujući glavnom i odgovornom uredniku profesoru Ljubiši Papiću, počev od 1998. godine, u kontinuitetu, izlazi četiri puta godišnje, na engleskom jeziku. To je, za sada, jedini međunarodni časopis iz oblasti efektivnosti, kvaliteta, sigurnosti i upravljanja projektima, koji izlazi u našoj zemlji.

U predgovoru obimnog zbornika radova (1080 stranica, što je takođe podvig organizatora ovog simpozijuma, jer većina drugih ne štampa zbornik radova, već ih radi samo na CD-ovima), takođe se kaže da ICDQM-2009 „predstavlja jedan od najvećih naučnih skupova koji se ove godine održavaju u Srbiji. Na konferenciji sa radovima učestvuje 337 autora iz zemlje i inostranstva. U Zborniku radova (knjiga i CD) ICDQM-2009 je objavljeno 148 saopštenja koji se na konferenciji predstavljaju u okviru plenarnog dela i osam tematskih oblasti (inženjerstvo kvaliteta, inženjerstvo pouzdanosti, konkurentno inženjerstvo, inženjerstvo sistema, vojno inženjerstvo, menadžment znanjem i konkurentnost organizacije, od teorije ka nauci o organizaciji poslovanja i neprekidno unapređenje kvaliteta). Ove godine, u okviru konferencije se organizuju dva DQM tematska seminar. Tematski seminar pod naslovom „Menadžment znanjem i konkurentnost organizacije“ je podržan saopštenjima uz koordinaciju prof. dr Vesne Nikolić i prof. dr Suzane Savić. Tematski seminar pod naslovom „Od teorije ka nauci o organizaciji poslovanja“ obuhvata saopštenja, prema ideji i uz angažovanje prof. dr Vladimira Nikolića, Takođe, u program konferencije su uključena saopštenja slušalaca Međunarodne DQM škole kvaliteta „Neprekidno unapređenje kvaliteta“, za sticanje diplome na drugom nivou kontinualnog obrazovanja „DQM Sertifikovani specijalista za neprekidno unapređenje kvaliteta“.

Struktura radova, u zborniku radova, jeste sledeća: 11 plenarnih saopštenja (za 5 su autori iz inostranstva (1 Austrija, 4 Indija), 39 radova iz oblasti inženjerstva kvaliteta, 11 radova iz oblasti inženjerstva pouzdanosti, 32 rada iz oblasti konkurentno inženjerstvo, 28 radova iz oblasti inženjerstva sistema, 12 radova iz oblasti vojno inženjerstvo, 5 radova iz oblasti menadžment znanjem i konkurentnost organizacije, 7 radova iz oblasti organizacija poslovanja i 3 radova iz oblasti neprekidno unapređenje kvaliteta.

Iako se očekivao nešto manji broj radova, ukupan broj radova je, ove godine, ipak za jedan veći nego prošle. Zvanični jezici konferencije bili su srpski i engleski.

Pripadnici Vojske odnosno Ministarstva odbrane Srbije imali su 14 radova, što je više nego prošle godine kada je bilo 11 radova. Najviše radova predstavili su autori iz Vojne akademije – 13 (prošle godine 8).

Navešćemo ukratko sadržaj radova pripadnika Ministarstva odbrane, po tematskim oblastima konferencije, redosledom kako su dati u zborniku radova, koji je štampan pre održavanja konferencije, bez pretenzija da ocenjujemo njihov kvalitet.

U oblasti *vojno inženjerstvo* objavljeno je 12 radova pripadnika Vojne akademije.

Prvi rad je pod nazivom LOGISTIKA I LOGISTIČKA USLUGA, a autori su Dragutin Jovanović i Dragan Bunčić iz Visoke škole strukovnih studija - Beogradska politehnika, Beograd. Napomenimo da je Dragutin Jovanović, sada pukovnik u penziji, donedavno bio u Vojnoj akademiji i da je predavao sekcijom vojno inženjerstvo na ovogodišnjoj DQM konferenciji. U rezimeu ovog rada se konstatuje da „logistika kao delatnost ili kao organizacija, zbog svoje kompleksnosti predstavlja složen sistem i počiva na sistemskom pristupu. Logistički sistem posmatran kroz skup određenih logističkih aktivnosti prate konkretni troškovi. Smisao funkcionisanja logistike, odnosno obavljanja logističkih aktivnosti je pružanje kvalitetne logističke usluge uz što niže troškove, ostvarujući tako svoju osnovnu misiju“. U radu je dato teorijsko poimanje i mogući aspekti posmatranja logistike, shvatanje pojma logističke usluge, njenog kvaliteta i pratećih logističkih troškova.

Drugi rad nosi naslov PRIMENA STANDARDA ISO 9001 U VISOKOŠKOLSKOM OBRAZOVANJU, a autori su **Dragoljub Sekulović, Boban Đorović, Slobodan Radojević** iz Vojne akademije. U rezimeu rada se konstatuje da su zahtevi međunarodnog standarda ISO 9001 primenjivi i na visoko obrazovanje, da je primena ovog standarda strateška odluka visoke škole, da visoka škola uspostavlja, dokumentuje, primenjuje i održava sistem menadžmenta kvalitetom i stalno poboljšava njegovu efektivnost u skladu sa zahtevima ovog standarda i da pristup sistemu menadžmenta kvalitetom upućuje visoku školu da analizira korisničke zahteve, definiše procese koji doprinose ostvarenju obrazovanja koje je korisnicima prihvatljivo i upravlja tim procesima.

U trećem radu RAZVOJ LOGISTIČKIH SLUŽBI, autora **Marka Andrejića, Marjana Milenkova, Novice Conića, Vlade Sokolovića** iz Vojne akademije, konstatuje se: „Da bi logističke službe, kao deo sistema odbrane, bile efikasne i efektivne moraju biti kvalitetno organizaciono-tehnološki isprojektovane i kvalitetno vođene. Moraju da imaju dugoročni koncept razvoja sa ugrađenim organizacionim aspektom, jasno izražena težišta i prioritete u funkcionisanju, a takođe i kvalitetno definisane pokazatelje uspešnosti. Važan uslov za prevođenje logističkih službi iz jednog stanja u drugo jeste posmatranje odbrane i logistike odbrane i Vojske na načelima i logici sistemskog, a povremeno i situacionog pristupa“.

Četvrti rad nosi naslov PRIMENA INTEGRALNE LOGISTIČKE PODRŠKE PRI OPREMANJU NAORUŽANJEM I VOJNOM OPREMOM, a autori su, takođe, **Marko Andrejić, Vlada Sokolović, Marjan Milenković i Novica Conić**. Rezimeu rada je: integralna logistička podrška (ILP) – zbir svih razmatranja potrebnih da se osigura efektivna i ekonomična podrška tehničkih sistema kroz čitav programirani životni ciklus. Primena integralne logističke podrške omogućava uspostavljanje optimalnog balansa između pouzdanosti i pogodnosti za održavanje i performansi tehničkih sistema odnosno troškova sredstava u celom životnom ciklusu.

Peti rad je FUNKCIONISANJE SISTEMA SAOBRAĆAJNE PODRŠKE U OPERACIJI, autora **Miloša Arsića** iz Vojne akademije. Rezime rada: „U radu su analizirani problemi funkcionisanja sistema saobraćajne podrške u operaciji i mogućnosti primene savremenih tehnologija. Saobraćajna podrška (SbPo) se može posmatrati kao dinamički, organizacioni i kibernetički sistem, koji u ratu funkcioniše u vrlo kompleksnim uslovima interakcije i okruženja i uz utrošak najrazličitijih resursa, materijalnih, radnih, vremenskih i informacionih. U izvršavanju borbenih zadataka u operaciji, zbog brojnosti i složenosti zadataka SbPo, javljaju se slabosti i problemi u radu, koji mogu negativno da utiču na odvijanje operacija u celini. U tom smislu je potrebno neprekidno preduzimati odgovarajuće mere i postupke u cilju rešavanja problema u cilju povećanja efikasnosti funkcionisanja sistema SbP.“

Šesti rad je VIŠEKRITERIJUMSKA PROCENA I VREDNOVANJE STANJA ORGANIZACIJE PRIMENOM TEHNIKE PONDERISANJA, autora **Vojislava Đorđevića** iz Vojne akademije. Rezime rada: imperativ upravljanja i rukovođenja svakom organizacijom u bilo kojoj delatnosti je njeno efektivno i efikasno funkcionisanje. Uslov organizacione efikasnosti je celishodno odlučivanje, zasnovano na poznavanju stanja organizacije. Stanje uopšte, pa i organizacije, u nauci, teoriji i praksi se različito poima i tretira. Preovladava sistemsko stanovište da je stanje organizacije, s određenom tačnošću okarakterisani skup vrednosti veličina, koje određuju njeno ponašanje. Procena stanja organizacije je višestrana i višestruka sistemski analiza činilaca njenog ponašanja. Ponašanje organizacije moguće je procenjivati i predviđati praćenjem njenog funkcionisanja i stabilnosti razvoja višekriterijumskim kvalitativno-kvantitativnim vrednovanjem efektivnosti i efikasnosti struktura, funkcija i delovanja. Višekriterijumsko vrednovanje stanja je pogodno za obuhvat relevantnih organizacionih odnosa kao što su: čovek – sredstvo, deo – celina, aktivnost – delatnost – akcija, menadžment – operativna-obezbeđenje, akcija – izvršilac. Uz ispunjavanje kriterijumskih zahteva kao što su kvantitativnost, kvalitativnost, saglasnost sa ostalim kriterijumima, jasnost, jednostavnost moguće je uspešno vrednovanje i procena stanja primenom tehnike ponderisanja.

Sedmi rad nosi naslov DIGITALNO MODELOVANJE PODATAKA I GEOPROSTORNA ANALIZA TERENA, autora **Ljubomira Gigovića i Dragoljuba Sekulovića** iz Vojne akademije. U rezimeu rada se konstatuje da je predmet rada digitalno modelovanje podataka za potrebe analize geoprostornih karakteristika terena, da digitalni model terena (DMT) predstavlja savremeni metod visinskog predstavljanja zemljišta i reljefnih oblika, da je nastao sa razvojem računarske tehnike i čini osnovu modernih geografskih informacionih sistema, i da je na osnovu DMT, kroz algoritamsku analizu morfometrijskih parametara reljefa, omogućen kvalitativno nov način sagledavanja prostornih odnosa i reljefnih svojstava, što obezbeđuje kvalitetniju, višestruko bržu i racionalniju geoprostornu analizu terena.



Osmi rad jeste UPRAVLJANJE KVALITETOM U SISTEMU ODBRANE U OBLASTI ISHRANE, autora **Saše Jovića i Branka Tešanovića** iz Vojne akademije. Rezime rada: proizvodnja zdravstveno bezbedne hrane danas se posvećuje velika pažnja. Sistem odbrane, u realizaciji ishrane svojih pripadnika, primenjuje standarde narodne odbrane. Radi učešća u humanitarnim i mirovnim misijama, neophodna je integrisana logistika sa drugim armijama, što nameće obavezu uvođenja međunarodnih standarda i iz oblasti ishrane. Vojnomedicinska akademija je za sada jedina organizacija u sistemu odbrane koja je uvela standard ISO 22000.

Deveti rad: IDENTIFIKACIJA I PRIORITETIZACIJA ASPEKATA USPEŠNE IMPLEMENTACIJE UČENJA NA DALJINU U SISTEMU ODBRANE. Autori su: **Srđan Ljubojević, Dragan Pamučar** iz Vojne akademije, **Miloš Durković** iz VP 5004, Beograd, i **Saša Tešić** iz VP 2130 Beograd. Rezime rada: učenje na daljinu predstavlja uobičajenu pojavu u sistemima odbrane većine država. U radu su, na osnovu stavova grupe eksperata iz oblasti učenja na daljinu, identifikovani prioritetni aspekti uspešne implementacije ovog pristupa edukaciji, u sistemu odbrane Republike Srbije.

Deseti rad: PRIMENA ANFIS MODELA U PROCESU DONOŠENJA ODLUKE U VOJSCI SRBIJE, autora **Dragana Pamučara** iz Vojne akademije. Rezime rada: Ključna tačka u procesu upravljanja u Vojski Srbije jeste proces donošenja odluke. U radu je predstavljen neuro-fuzzy model kao podrška procesu odlučivanja i koji uspešno oponaša proces odlučivanja organa saobraćajne podrške.

Jedanaesti rad: FIZIČKO-HEMIJSKE I TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE MOTORNOG ULJA KAO PARAMETAR STANJA TRIBOMEHANIČKOG SISTEMA, autora **Sretena Perića i Mladena Vurune** iz Vojne akademije. Rezime rada: utvrđivanje stanja tribomehaničkih sistema ima veoma važnu ulogu u razvoju teorije i prakse trenja, habanja i podmazivanja. Danas se za dijagnosticiranje tribomehaničkog sistema primenjuju različite fizičko-hemijske metode i tribološke metode. Iskustva iz eksploatacije tehničkih sistema pokazala su da je prognoziranje neispravnosti najefikasnije na osnovu parametara koji su pouzdani pokazatelji procesa habanja čestica. Analiza uzoraka ulja koja u sebi sadrže čestice nastale habanjem omogućava da se u ranim fazama korišćenja sistema oceni stanje triboloških svojstava. U ovom radu prikazani su rezultati eksperimentalnih istraživanja fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika uzorkovanih ulja iz motora vozila koja su bila u eksploataciji.

Dvanaesti rad: JEDAN PRISTUP U OCENI EFEKTIVNOSTI SISTEMA ZA ZVUKOMETRIJSKO IZVIĐANJE „BOOMERANG II“, autora **Miroslava Terzića i Radiše Stefanovića** iz Vojne akademije. U radu je prikazan jedan pristup u oceni efektivnosti sistema za zvukometrijsko izviđanje. Sistem za zvukometrijsko izviđanje modelovan je kao sistem masovnog opsluživanja, opisana su stanja sistema, parametri i izveden izraz za određivanje verovatnoće opsluživanja sistema za zvukometrijsko izviđanje, kao kriterijuma za ocenu efektivnosti.

U oblasti *inženjerstva kvaliteta* objavljen je jedan rad pripadnika Ministarstva odbrane, pod nazivom ULOGA PREDUZEĆA U KREIRANJU NIVOA KVALITETA U NABAVKAMA KAO ELEMENTA REVIZIJE. Autori su: Dragan Vučinić, Fakultet za ekonomiju i političke nauke, Beograd, Branislav Jakić, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, Ivan Milojević, Nemanja Damjanović, Fakultet za ekonomiju i političke nauke, Beograd. Rezime rada: u savremenoj ekonomskoj teoriji značajna pažnja posvećuje se izučavanju strategije rasta i razvoja preduzeća. Kao rezultat toga nastaje svojevrsna makroteorija strategije razvoja i rasta preduzeća. Težište te teorije jeste na evoluciji preduzeća i evoluciji tržišnih struktura. Povećanje veličine i kompleksnosti preduzeća, paralelno sa povećanom složenošću i promenljivošću svih faktora okruženja, traži odgovor na pitanje kako se to može aktivno stvarati i oblikovati. Još konkretnije rečeno, traži se odgovor na pitanje kako predvideti pravac i tempo promena faktora okruženja. Odgovor na ove, odnosno promene koje se tiču faktora okruženja, zahteva definisanje drugačijeg u odnosu na postojeći, međuodnosa preduzeće– okruženje, koje podrazumeva preispitivanje i izmenu postojeće tehnologije, proizvodnog programa, organizacione strukture, tržišta, zahteve potrošača, tj. kupce ili korisnike proizvoda ili usluga i nivoa kvaliteta partnerstva sa dobavljačima ili proizvođačima.

U tematskoj oblasti *od teorija ka nauci o organizaciji poslovanja*, u zborniku je štampan rad POJAM I KONSTITUENSI NAUKE, autora **Zorana M. Krsmanovića** iz Vojne akademije. Rezime rada: ljudsko saznanje potiče iz raznih izvora i javlja se u raznim oblicima. Čovek saznanje svet, prirodu i društvo čitavog života, u meri aktivnog odnosa prema stvarnosti i, otuda, prema saznanju. U detinjstvu, a neretko sve do kraja života, mnogi ljudi ostaju na iskustvenom i zdravorazumskom saznanju, često pomešanim sa mitovima i teološkim dogmama. Tek sa razvojem civilizacije i masovnog obrazovanja ovi oblici se dopunjuju, pa i zamenjuju suptilnijim oblicima saznanja – umetničkim i naučnim. Mada među spomenutim i nespomenutim oblicima postoje manje ili više ozbiljne razlike, teško ih je precizno utvrditi. U ovom radu posebno su razmotreni: (1) pojam nauke i (2) konstituense nauke (predmet i teorija nauke).

Može se konstatovati da su ovogodišnji ICDQM na neki način obeležili pripadnici Vojske odnosno Ministarstva odbrane Republike Srbije. Treba dodati da su na konferenciji učestvovali i izlagali radove, uključujući i plenarna izlaganja, i nekadašnji pripadnici Vojske, koji su penzionisani, ali sada rade u visokoobrazovnim institucijama u civilstvu.

Datum prijema članka: 06. 07. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 13. 07. 2009.

## ČETVRTI MEĐUNARODNI SAJAM NAORUŽANJA I VOJNE OPREME PARTNER 2009



Četvrti međunarodni sajam naoružanja i vojne opreme, Partner 2009, održan je u Beogradu od 2. do 5. juna, na više od 12 000 m<sup>2</sup> izložbenog prostora, od čega je 4 500 m<sup>2</sup> u hali 3 i više od 7 500 m<sup>2</sup> otvorenog izložbenog prostora. Sajam je organizovan pod pokroviteljstvom Ministarstva odbrane Republike Srbije, u organizaciji Beogradskog sajma, a suorganizator bilo je javno preduzeće Jugoimport SDPR.

Ministarstvo odbrane Republike Srbije obezbedilo je nastup institucija sistema odbrane: Vojnotehničkog instituta, Tehničkog opitnog centra, Vazduhoplovnog zavoda „Moma Stanojlović“, Tehničkog remontnog zavoda Kragujevac, Tehničkog remontnog zavoda Čačak, Vojnogeografskog instituta, Vojne akademije, Vojnomedicinske akademije, Vojnoizdavačkog zavoda, Novinskog centra „Obrana“, Vojnofilmskog centra „Zastava film“, Vojnog muzeja i Muzeja jugoslovenskog ratnog vazduhoplovstva i Akreditacionog tela Srbije.

Partner predstavlja tačku poslovne komunikacije Ministarstva odbrane Republike Srbije u prezentaciji mogućnosti institucija Ministarstva i potreba Vojske Srbije. Ujedno je i prilika za predstavljanje programa Ministarstva i kontakte sa inostranim delegacijama, stručnjacima, medijima i publikom. Partner se pokazao kao pravo mesto za predstavljanje ponude naoružanja i vojne opreme, predstavljanje sopstvenih mogućnosti u proizvodnji i uslugama, prezentaciju novih tehnoloških rešenja, sticanje tržišnih informacija važnih za donošenje poslovnih odluka, ugovaranje nabavke naoružanja i vojne opreme, ugovaranje naučne i stručne saradnje, ugovaranje kooperacije za nastup na trećim tržištima, učešće u privatizaciji, sticanje i proširenje stručnih znanja i uspostavljanje saradnje sa civilnim sektorom privrede.

Predstavljajući Partner 2009, uoči otvaranja, na konferenciji za novinare održanoj 29. maja 2009, Ilija Pilipović, pomoćnik ministra odbrane za materijalne resurse MO RS, rekao je da je ovogodišnja manifestacija znatno veća u odnosu na prethodne. Istakavši da vojna bezbednost države jača kroz partnerstvo i mnogobrojne vojne delatnosti, gospodin Pilipović je naglasio da je kapacitet Vojske Srbije poslednjih godina sve veći, kako u naučno-istraživačkoj oblasti, tako i u logistici i dodao da je učešće na Partneru 2009 najavilo 30 stranih vojnih predstavnika. Svoja dostignuća i projekte u oblasti naoružanja i vojne opreme, pored institucija sistema odbrane Srbije, predstavice firme iz 13 zemalja. Direktor kompanije Jugoimport SDPR, koja je bila suorganizator manifestacije Partner 2009, Stevan Nikčević, na konferenciji za novinare je rekao da je u godini jubileja, 60 godina postojanja, Jugoimport od početka 2009. godine ostvario najbolje izvozne rezultate u Srbiji. Nikčević je najavio učešće važnih saizlagača Jugoimporta, kao integratora nastupa odbrambene industrije na ovogodišnjem sajmu. Najavljujući Međunarodni sajam naoružanja i vojne opreme Partner 2009, Anđelko Trpković, direktor Beogradskog sajma kao izvršnog organizatora manifestacije, rekao je da Sajam samostalno organizuje 40 manifestacija godišnje, a da ovaj projekat bez stručne podrške Ministarstva odbrane Republike Srbije i Jugoimporta SDPR-a, Beogradski sajam samostalno ne bi mogao uspešno da organizuje. Činjenica da su mnogi noviteti iz oblasti vojne opreme i naoružanja, koji su imali svoje premijere na Sajmu, dobijali visoke ocene vojnih stručnjaka i u svetu, potvrđuje opravdanost da se ovakve manifestacije organizuju.

Sajam Partner ima posebno veliki značaj za Upravu za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse MO. Uprava za odbrambene tehnologije, koja je nadležna za istraživanje, razvoj, proizvodnju, modernizaciju i remont naoružanja i vojne opreme, prezentovala je projekte i proizvode koje je razvijala protekle godine. Uprava se bavi i standardizacijom, vojnom kontrolom kvaliteta i metrološkom delatnošću. U njenom sastavu je i Vojnotehnički institut i remontni zavodi, a u neposrednoj saradnji je sa fabrikama odbrambene industrije Srbije. Načelnik Uprave za odbrambene tehnologije brigadni general dr Danko Jovanović je uoči sajma izrazio potrebu podsticanja izvoznih poslova odbrambene industrije Srbije. „To radimo organizovano, uključujući različite državne institucije, posebno Ministarstvo odbrane sa postojećim resursima. Nadležni u Ministarstvu nastoje da prijateljskim zemljama, ali i onima koji smatraju da su naši proizvodi naoružanja i vojne opreme dobrog kvaliteta, prikažu i ponude saradnju. Svakodnevno koristimo minuli rad prethodnih generacija, koje su stvorile preduslove da imamo kredibilitet, kada je reč o kvalitetu naših proizvoda. Na taj način nastavljamo poslove koje su započeli prethodnici, nastojeći da budemo korisni i poslujemo tržišno. Svesni smo i činjenice da je, ako nema proizvodnje, državni budžet u problemu, posebno proizvodnja koja ima izvoznu orijentaciju. S razvojem novog naoružanja i vojne opreme treba, naj-

pre, da dođemo do najboljih sredstava za našu vojsku. Potom moramo sačuvati ratne kapacitete zemlje. Da bismo u tome uspjeli, odbrambenoj industriji Srbije treba da obezbedimo dovoljno izvoznih poslova.“

Ministar odbrane Dragan Šutanovac otvorio je 4. međunarodni sajam naoružanja i vojne opreme „Partner 2009“ 2. juna u 11 h u hali 3 Beogradskog sajma.



Tom prilikom ministar Šutanovac je rekao da organizatori sajma pre pet godina nisu ni slutili da će on iz manifestacije lokalnog karaktera prerasi u značajan internacionalni sajamski skup. Ministar Šutanovac je podsetio da je prošlogodišnji izvoz naoružanja i vojne opreme vredan oko 400 miliona dolara najveći u periodu posle 1991. godine, a da se ove godine očekuje sličan izvozni uspeh, zahvaljujući i sajmu „Partner 2009“. „Želim da naglasim da će Vlada Republike Srbije u ovoj godini posebno pospešiti našu odbrambenu industriju sa željom da smanjimo spoljnotrgovinski deficit i da povećamo izvoz. Ovo je jedna od grana koja je preko 90 posto okrenuta izvozu i ubeđeni smo da ova godina iako je krizna može da bude kvalitetna i dobra za proizvođače u oblasti namenske industrije“ – rekao je ministar Šutanovac, izrazivši očekivanje da će posetioci sajma imati šta da vide. Direktor Beogradskog sajma Anđelko Trpković na otvaranju je naglasio da je sajam naoružanja i vojne opreme drugačiji od ostalih četrdesetak sajamskih manifestacija koje se tu godišnje održavaju. Prema njegovim rečima podatak da je prvi dokument vezan za ovogodišnji Partner 2009 u Ministarstvu odbrane potpisan pre dve godine govori dovoljno o ozbiljnosti priprema. Trpković je rekao da prema onome što je na sajmu predstavljeno srpska namenska industrija ima budućnost.

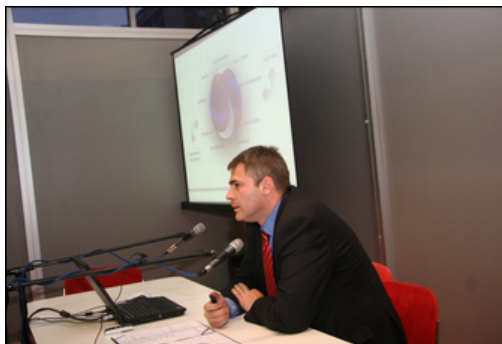
Prvi dan pratećeg programa sajma bio je rezervisan za predstavljanje vodećih tema Ministarstva odbrane, drugi dan za predstavljanje domaćih proizvođača naoružanja i vojne opreme, treći dan za predstavljanje programa Jugoimport SDPR-a, a četvrti za predstavljanje inostranih učesnika.

Izlagачki program Sajma obuhvatio je pešadijsko i artiljerijsko naoružanje, borbena i neborbena vozila, oklopna vozila i tenkove, sredstva elektron-

skog izviđanja i osmatranja, optoelektronike, telekomunikacija i radio-veza, komandno-informacione sisteme generacije C4I, zatim radarsko-računarska, inženjerska i sredstva za protivoklopnu borbu, zaštitna i intendantska sredstva, vojnu logistiku, opremu i naoružanje za vozila, kao i vazduhoplove.

Svoje mogućnosti prikazali su instituti, tehničko-remontni zavodi, obrazovne, zdravstvene i ostale institucije sistema odbrane, zatim domaći proizvođači NVO, trgovinske firme iz oblasti naoružanja, te značajni inostrani partneri.

Pomoćnik ministra odbrane za materijalne resurse MO RS Ilija Pilipović održao je prvog dana sajma predavanje „Razvoj odbrambene industrije i interes države“.



Ilija Pilipović je istakao važnost odbrambene industrije za interese države. „Opšte je prihvaćena činjenica da se tehnološki razvoj jedne države ispoljava upravo u primeni i u razvoju za vojne potrebe, odnosno odbrane. To se naročito odražava na period industrijalizacije jedne zemlje kroz primenu novih materijala, elektronike, avio-industrije, optoelektronike, hemije, farmacije, pa i medicine... Globalne ekonomske krize u odbrambenim industrijama nema i nema potrebe niti pokušaja da čak i najrazvijenije zemlje, kao što pomažu auto-industriju, pomažu odbrambenoj. To je nauk i za našu državu – da prepozna one industrijske grane koje vuku dalje ostatak ekonomije“. Ilija Pilipović je rekao da je utopija pričati danas o autonomiji snabdevanja, kao što nije rešenje ni kupovina gotovih proizvoda. Rešenje je negde između – koliko god je moguće autonomno snabdevati sopstvene oružane snage, a u onom segmentu gde to nije moguće širiti spisak potencijalnih dobavljača sirovina, komponenti, radi sopstvenog razvoja i proizvodnje. „Razvojem odbrambene industrije razvijamo vojsku i nema tog plana razvoja vojske bez odbrambene industrije i obrnuto. Jačanjem odbrambene moći zemlje snaže i svi segmenti društva. Na taj način razvija se i država“.

Prvog dana sajma održana je i prezentacija Vojnotehničkog instituta. O završenim i aktuelnim projektima VTI govorio je direktor VTI pukovnik dr Mladen Pantić. Pukovnik Pantić je istakao da je do sada u VTI razvijeno i u upotrebu uvedeno oko 1300 sredstava naoružanja i vojne opreme.

Vojnotehnički institut je i ove godine imao značajno učešće na sajmu. Prikazani su eksponati, modeli i prototipovi iz razvoja, kao i videoprezentacije i deo stručnih publikacija u sopstvenom izdanju.

Veliko interesovanje vojnih delegacija i posetilaca sajma privuklo je premijerno prikazivanje odbrambenih robotizovanih sistema, koje razvija VTI:

- modularni robotizovani sistem za protivoklopnu borbu na guseničnom vozilu (MILICA),
- stacionarni bežični daljinski upravljani savremeni sistem za blisku protivoklopnu borbu (APOS),
- daljinski upravljana laka oružana stanica (DALOS),
- sistem mini bespilotne letelice „vrabac“.

Demonstracija mogućnosti prikazanih sistema pokazala je da VTI ima osposobljen i stručan kadar koji može da realizuje i robotizovana sredstva prema zahtevima domaćih i stranih korisnika.

Posebno interesovanje u toku sajma iskazano je i za sledeća sredstva:

- maljutka sa novim bojnim glavama,
- protivoklopni raketni sistem BUMBAR,
- samohodna haubica 122 mm SORA,
- tenkovski motor V46 TK1,
- raketa V-Z sa televizijskim samonavođenjem GROM-B,
- laserski vođena bomba LVB-250F,
- avion LASTA.

U okviru pratećih manifestacija sajma Vojnotehnički institut se predstavio i predavanjem načelnika Sektora za vazduhoplove VTI, Vojislava Devića, „Prva letna ispitivanja aviona za početnu obuku pilota – lasta 95“. Vojislav Dević je u svojoj prezentaciji predstavio razvoj i cilj projekta Lasta, koncept obuke, očekivane efekte realizacije i dinamiku projekta. Analizirao je ispitivanje aviona – na funkcionalnim modelima, modela u aerotunelu T-35, strateška ispitivanja sklopova strukture, krutosti, ispitivanja na prednactima propisa o kvalitetu proizvoda, pogonske grupe, instalacije goriva, hidrauličnog sistema i, posebno, letna ispitivanja. Naglasio je da se u svim ispitivanim konfiguracijama avion pokazao kao upravljiv, statički i dinamički stabilan. Takođe, prikazan je i promotivni film o fazama razvoja aviona lasta.

Stručnjaci iz VTI su za sledeći Partner najavili predstavljanje domaće bespilotne letelice i naoružane laste.

Poseban dan na ovogodišnjem Partneru imalo je javno preduzeće Jugoimport – SDPR. Kao javno preduzeće u vlasništvu Republike Srbije, Jugoimport SDPR ima tri osnovne poslovne misije: objedinjuje nastup srpske odbrambene industrije na svetskom tržištu NVO, razvija i proizvodi složene borbene sisteme kao sistem integrator i uvozi borbene sisteme za potrebe MO RS.

Generalni direktor Stevan Nikčević je, pozdravljajući prisutne, rekao da se međunarodna izložba Partner 2009 održava u godini u kojoj Jugoimport SDPR J. P. slavi šezdeset godina postojanja. „U poslovnim analizama preduzeća 2009. godina ostaće zabeležena ne samo kao jubilarna, već kao jedna od najuspešnijih. U skladu sa našom poslovnom politikom, koja se posled-

njih godina orijentisala da se pored marketinga i istraživanja tržišta i prodaje našeg NVO inostranstvu, opredelimo i za značajno ulaganje u istraživanje i razvoj, a samim tim i za proizvodnju složenih borbenih sredstva, Jugoimport je zaokružio svoju misiju integratora domaće odbrambene industrije“.

Šezdeset godina postojanja je važan događaj u istoriji svake firme, a u Jugoimportu SDPR taj jubilej povezuje i sa najuspešnijom godinom u poslovanju kompanije u novijoj istoriji naše države. Pokazatelji za ovu godinu takođe su vrlo ohrabrujući i oni govore da je izvoz Jugoimporta oko 110 miliona dolara u prvih pet meseci, što ga svrstava u red najvećih izvoznika u Srbiji.

Jugoimport SDPR je nastupio kao integrator vodećih srpskih fabrika odbrambene industrije, a šest državnih preduzeća iz te grupacije posebno je predstavilo vlastiti proizvodni asortiman. Naime, odbrambenu industriju čini grupacija od šest preduzeća sa većinskim kapitalom države:

- „Zastava oružje“ iz Kragujevca – streljačko naoružanje i topovi srednjeg kalibra,
- „Sloboda“ iz Čačka – municija srednjeg kalibra, artiljerijska municija, rakete za ručne raketne lansere, troblonske mine, municija za bacače granata i signalna municija,
- „Krušik“ iz Valjeva – minobacačka municija, vođene protivoklopne rakete i rakete za prenosne raketne sisteme protivvazduhoplovne odbrane, minobacači,
- „Prvi partizan“ iz Užica – municija za streljačko naoružanje ili municija malog kalibra,
- „Milan Blagojević“ iz Lučana – barut i barutna punjenja, uključujući dvobazna raketna goriva,
- „Prva iskra“ iz Bariča – eksplozivi i eksplozivne smese.

Odbrambenu industriju u širem smislu čini i niz preduzeća čije su pojedine tehnološke celine orijentisane na razvoj i proizvodnju komponenta – podsistema i sredstava NVO. Neka od tih preduzeća bila su, takođe, na štandu Jugoimporta SDPR: 14. oktobar Kruševac, Utva Pančevo, Prva petoletka Trstenik, Teleoptik žiroskopi Beograd, IMTEL Beograd, IRI-TEL Beograd, INFIZ Beograd, EDEPRO Beograd, EI Opek, Sandra obuća, Gepard, Senzor Infis, INSA AD, Zastava Kamioni, Vatrosprem.

Na ovogodišnjem Partneru Jugoimport SDPR je posebno istakao sredstva NVO koja su u potpunosti razvijena sopstvenim naporima:

- koncept savremenog višenamenskog oklopnog transportera lazar,
- samohodna top-haubica nora-B/52 155 mm,
- kurjak – izviđačko borbeno vozilo sa podižućom i višenamenskom optoelektronskom platformom, daljinski upravljanom oružnom stanicom i KIS-om,
- helikopterski sistem oružja,
- pešadijski radar,
- artiljerijski sistem za upravljanje vatrom,
- laserski daljinomer,
- integralni program naoružanja i vojne opreme vojnika budućnosti VB-10...



Aktuelne razvojne projekte preduzeća Jugoimport SDPR predstavio je pomoćnik generalnog direktora dr Nenad Miloradović.

Tehnički opitni centar takođe je uspešno nastupio na sajmu Partner 2009. Učešće ustanove bilo je zapaženo po zanimljivim sadržajima koji su predstavljeni. Posetioci su posebno bili zainteresovani za odabrane video zapise sa ispitivanja, kao i za model za prezentaciju merenja obrtnog momenta na vratilu beskontaktnim putem pomoću akvizicionog mernog sistema „Spider“.

Pripadnici TOC-a su održali nekoliko zanimljivih prezentacija i predavanja.

Kapetan Duško Pijevčević je u radu „Savremeni pristup planiranju i monitoringu radio komunikacija“ prikazao metodologiju i rezultate verifikacionog ispitivanja radio-komunikacionog sistema TETRA, u realnim uslovima. Data su osnovna načela koja se koriste za planiranje i spektar monitoring radio-komunikacionih mreža. Na konkretnom primeru prezentirani su rezultati dobijeni merenjima, kao i korelacija tih rezultata sa rezultatima dobijenim predikcijom propagacije.

Major Predrag Rakonjac je u svojoj prezentaciji predstavio Sektor metrologije Tehničkog opitnog centra, kao akreditovane metrološke laboratorije prema standardu SRPS ISO/EAC 17025. Naglasio je posedovanje ovlašćenja MO, akreditovanih kod ATS prema standardu SRPS ISO/IEC 17025:2006 za etaloniranje. Uz to, referentni etaloni imaju direktnu sledivost do nacionalnih i međunarodnih etalona, a primenjuju se savremeni standardi i metode etaloniranja merne opreme. Obim akreditacije obuhvata 27 oblasti, a za 4 oblasti su jedini akreditovani u Republici Srbiji (radio-frekvencijska merenja, vreme i frekvencija, vibracije, zvučni pritisak). Zaključio je da je metrološka laboratorija TOC lider u oblasti metrologije i značajna podrška sistemu kvaliteta u MO i privredi RS.

Major dr Radovan Karkalić je izložio prezentaciju „Savremeni materijali koji se koriste u proizvodnji materijala koji se koriste u proizvodnji sredstava za zaštitu tela“. Analizirao je posledice nepridržavanja mera zaštite, vrste zaštitnih materijala i njihove karakteristike, savremene materijale koji se koriste u proizvodnji sredstava za zaštitu tela i provere karakteristika kvaliteta.

Slobodan Matić je u svojoj prezentaciji „Nove metodologije ispitivanja sistema za upravljanje vatrom“ izneo opšte postavke o sistemu za upravljanje vatrom, zatim metodu za proveru kvaliteta servo sistema/komponenti SUV-a, kao i metodu za proveru kvaliteta SUV-a praćenjem pokretnih ciljeva.

Svetlana Paštrakuljić-Radinović izložila je prezentaciju „Ispitivanje raketnog naoružanja“. Analizirala je predmet ispitivanja (nevođene i vođene rakete, lansere, gasogeneratore i piropatrone), cilj i metodologiju ispitivanja. Opisana su laboratorijska i poligonska ispitivanja. Predstavljeni su osnovni standardi, tablice gađanja, mesto ispitivanja, ispitno-merna oprema. Na kaju su dati rezultati ispitivanja, stečena iskustva i planovi za budućnost. Zaključila je

da su osnovne karakteristike ispitivanja raketnih sistema složenost i specifičnost ispitivanja. Za ispitivanje se koristi savremeni, automatski i akvizicijski sistem za obradu i analizu podataka, a posebno je razvijen softver u TOC-u.

Tehnički remontni zavod Kragujevac je na Partneru 2009 predstavio svoju delatnost po oblastima:

- dijagnostikovanje i praćenje stanja UbS,
- generalni remont UbS,
- demilitarizacije – uništavanje UbS,
- projektovanje kapaciteta i transfer tehnologije za održavanje UbS.

TRZ Kragujevac je na sajmu izložio pokretnu municijsku radionicu za održavanje UbS, M85. Radionica je projektovana i proizvedena u TRZ Kragujevac i predstavlja respektivan kapacitet za održavanje UbS u terenskim uslovima. Veliko interesovanje za radionicu pokazale su i strane delegacije. Poseban interes predstavnici međunarodnih organizacija pokazali su i za Projekat „TRZ Kragujevac, regionalni centar za dijagnostikovanje i praćenje stanja, generalni remont i demilitarizaciju (uništavanje) municije“, koji im je predstavljen na sajmu. Nastup TRZ Kragujevac ispunio je očekivanja, uspostavljeni su kontakti sa mnogim međunarodnim organizacijama, diplomatskim predstavnicima i vojnoprivrednim delegacijama.

U okviru stručnog pratećeg programa sajma, Boško A. Dimitrijević, načelnik sektora nove proizvodnje, održavanja i energetike (predstavnik rukovodstva za integrisane sisteme) Tehničkog remontnog zavoda Kragujevac izložio je rad i prezentaciju, koje je pripremio zajedno sa direktorom remontnog zavoda pukovnikom dr Jugoslavom Radulovićem, „Mogući pristup integrisanom menadžment sistemu (IMS-u) u organizacijama koje se bave proizvodnjom i remontom naoružanja i vojne opreme (NVO)“.

Uslovi u kojima egzistiraju moderni proizvodni sistemi, pa i oni koji se bave proizvodnjom i remontom NVO, zahtevaju punu primenu odgovarajućih međunarodnih standarda, pre svih SRPS ISO 9001:2008. Korektno implementiran on omogućuje postizanje sve boljeg kvaliteta proizvoda i time neposredno pomaže organizaciji u tržišnoj utakmici. Globalni ekološki problemi, socijalna odgovornost poslodavaca prema zaposlenima i potreba da se na minimum smanje troškovi osiguranja od povreda na radu ili oboljenja nastalih zbog uslova rada, usloveli su primenu još dva standarda: SRPS ISO 14001:2008 i SRPS OHSAS 18001:2008. Oni poslovođstvu omogućuju da definiše i ostvari transparentnu politiku zaštite životne sredine (ZZS), odnosno zaštite zdravlja i bezbednosti na radu (ZZB), najmanje na nivou zakonskih zahteva propisanih za oblast kojom se organizacija bavi. Iako implementacija navedenih standarda zahteva odgovarajuća ulaganja, korisni i trajni efekti to brzo nadoknade: proizvodni sistem je optimalno organizovan, procesi su kontrolisani i stalno se poboljšavaju, troškovi poslovanja se smanjuju, organizacija posluje na društveno odgovoran način. Iako navedeni standardi mogu postojati kao nezavisni, njihova velika kompatibilnost sa standardom SRPS ISO 9001:2008 omogućuje definisanje Integrisanog me-

nadžment sistema (IMS) koji svojim sinergijskim delovanjem nadmašuje pojedinačne efekte svakog od njih. Pored navedenih, moguće su i druge konekcije u IMS: SRPS ISO 22000, SRPS ISO 27001, ISO/IEC 20000 itd., u zavisnosti od aktivnosti organizacije i poslovne politike rukovodstva.

U radu su navedena dva moguća pristupa integraciji. Prvi je karakterističan za preduzeća koja nemaju ni jedan sertifikovan sistem menadžmenta. U tu svrhu koristi se tzv. specifikacija dostupna javnosti (Publicly Available Specifications), BSI PAS 99:2006. Ona na jasan i eksplicitan način vodi kroz proces integracije. Drugi pristup može biti koristan preduzećima koja već imaju sertifikovan sistem menadžmenta kvalitetom (QMS), zasnovan na ISO 9001. Karakterističan je po dogradnji postojećeg sistema, i to na poseban način i u skladu sa zahtevima standarda koji se integrišu.

U radu je posebno naglašena važnost definisanja, procene i upravljanja rizikom u procesima koji se kontrolišu, primenom jedne od raspoloživih metoda – FMEA. Nešto detaljnije opisan je način formiranja dokumentacije, akcentirana pojedina dokumenta i dat spisak zajedničkih i posebnih procedura. U zaključku rad afirmiše potrebu prilagođavanja proizvodnih sistema zahtevima IMS-a u preduzećima za proizvodnju i remont NVO.

Vazduhoplovni zavod „Moma Stanojlović“, negujući tradiciju vazduhoplovstva već 93 godine, ove godine je, u okviru sajma, nastupio zajedno sa preduzećem za proizvodnju i remont „Orao“ AD iz Bijeljine (BiH – Republika Srpska). Izložio je i predstavio svoj program remonta i proizvodnje.

Proizvodni program predstavljen je proizvodima od kompozitnih materijala (segment lopatice glavnog rotora helikoptera Mi-8), gumeno-tehničkog materijala (zaptivke, razne vrste semeringa, fleksi-creva i dr.), sinterovanih proizvoda (na bazi gvožđa, bakra i kerametala), izmenjivača toplote (elementi bloka saća izrađeni od legure aluminijuma) i termoizolacionih omotača.

Remontni program vazduhoplova predstavljen je fotografijom i videobim prezentacijom, pri čemu je naglašeno učešće u remontu i modernizaciji aviona MiG-29.

Na štandu zavoda posebnu pažnju privukao je presek motora „ASTAZOU IIIB“ sa helikoptera gazela, kao i modifikovana raketa R60-MK koja se nalazi u naoružanju aviona MiG-29.

„Orao“ AD iz Bijeljine je na sajmu prezentovao svoje proizvodne mogućnosti, reparacione tehnologije i laboratorije. Što se tiče proizvodnog programa, tu prvenstveno spadaju delovi koji se ugrađuju na turbomlazne motore, ali i delovi koji se koriste za druge namene i imaju širu industrijsku primenu. Konstrukcijska složenost delova pokazuje visoku kadrovsku i tehnološku osnovu orla. Delovi su izrađeni od nerđajućih čelika, vatrootpornih čelika i legura, te lakih legura na bazi aluminijuma i magnezijuma. Time su posebno naglašene mogućnosti programske CNC mašinske obrade, EDM tehnologije (obrada elektroerozijom) i tehnologije zavarivanja. Najbolji primer za integrisani prikaz nivoa navedenih tehnologija je anularna komora sagorevanja za turbomlazne motore Rolls-Royce VIPER 632/633, koja je proizvod Orlove tehnologije i stručnih kadrova, a osvojena je prema visokim standar-

dima i zahtevima Rolls-Royce-a. Orao još od kraja 80-tih godina raspolaže tehnologijom zavarivanja snopom elektrona (EBW), kao i svim ostalim klasičnim tehnologijama zavarivanja (elektrootporno, TIG, savno, tackasto). Osim toga, pojedini eksponati demonstriraju reparacione tehnologije koje se najčešće koriste u procesu opravke delova turbomlaznih motora, tj. u remontu, ali imaju i široku opštu primenu: tvrde plazma prevlake, HVOF (high velocity oxygen-fuel) prevlake i tvrdo hromiranje. Pored toga, prikazani su i eksponati na koje su nanosene zaštitne prevlake: SERMETEL i termozaštitne prevlake na bazi aluminijuma, nanešene neparavanjem – PVD (physical vapour deposition) postupkom. Na štandu Orla bio je izložen i presek cilindričnog dela koji se proizvodi tehnologijom rotacionog istiskivanja. Tehnologija ima primenu, kako u vojnim, tako i u civilnim programima.

Stručni prateći program sajma naoružanja Partner 2009 obuhvatio je široki obim tema: od strateških do stručnih i komercijalnih. Pukovnik dr Branislav V. Jakić iz Uprave za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse MO prezentovao je rad Upravljanje rizikom pri kontroli kvaliteta sredstava NVO, u kojem je prikazan jedan od mogućih načina procene pouzdanosti ljudskog faktora i faktora uzroka pri kontroli kvaliteta sredstava NVO. Za analizu grešaka koje čini kontrolor definisani su skupovi relevantnih podataka. Prikazan je pristup u definisanju mogućih grešaka koje čini kontrolor i faktora koji doprinose njihovom nastanku pri kontroli sredstava NVO. Postupak kontrole kvaliteta sredstava NVO kod proizvođača vrši se počev od procene usklađenosti sa važećom tehnološkom i konstruktivnom dokumentacijom u domenu sredstva koje se kontroliše.

Ovakvim pristupom u određivanju „grešaka kontrole kvaliteta“ (potreban uslov) i primenom neke od metoda za kvantitativnu ocenu pouzdanosti (dovoljan uslov) bile bi realnije definisane korektivne akcije za poboljšanje pouzdanosti ljudskog faktora u kontroli kvaliteta sredstava NVO, odnosno tehnike redukcije verovatnoće pojavljivanja – nastajanje greške kontrolora. Nemoгуće je uzeti u obzir uticaj svih parametara rizika zbog njihovog ogromnog broja i koji nisu uvek poznati, kao i zbog suviše velikog obima rada na analizi tih parametara. Zato je vrlo važno pravilno izabrati faktore koje treba prvo analizirati. Izbor se vrši na osnovu težine efekata koje ovi faktori izazivaju na sredstva NVO, učestanosti i trajanja dejstva, osobina i drugih pokazatelja.

Mr Miodrag G. Kuljanin i pukovnik dr Branislav V. Jakić iz Uprave za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse MO predstavili su rad Mogućnosti unapređenja sistema menadžmenta kvalitetom (QMS) u proizvodnji i remontu sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO), u kojem su razmatrani efekti primene metoda i modela za proveru sertifikovanih i nesertifikovanih organizacija. Postoji veliki interes stručnih i poslovnih krugova za ovu grupu problema i obimna literatura koja se njome bavi. Kod nas problem nije dovoljno poznat, zbog čega je u radu izvršena naučna deskripcija, kao i mogući efekti njegove primene. U tom smislu, ovaj rad predstavlja pokušaj stvaranja pogodnijih uslova za moguću primenu metoda i modela za proveru QMS u MO i Vojsci.

Novinu ovogodišnje manifestacije predstavlja nastup domaćeg preduzeća „Jugohemija, Specijalni programi“ sa firmama iz svog zastupničkog programa – FN Herstal, Ballistic Protective Systems, Mehler Protective Svstems, Mehler Law Enforcement, Intracom SA Defense Electronic Svstems, Fireexpress EPE i Interspiro. Jugohemija je izložila lake belgijske mitraljeze „minimi“, koje je kupila Vojska Srbije za potrebe specijalnih jedinica. Inače, „Jugohemija – Specijalni programi“ ugovara remont srpskih transportnih aparata „AN-26“ u Rusiji, a drugi avion treba uskoro da bude remontovan.

Posebnu karakteristiku ovogodišnje manifestacije predstavlja povećano interesovanje inostranih partnera, kako u izlagačkom, tako i u delu najavljenih zvaničnih delegacija i poslovnih posetilaca.

Austrijski Ahlajtner izložio je terensko putničko borbena vozila „mantra“. „Intermat“ iz Grčke predstavio se specijalnim „stelt“ bojama, koje, kada se njima premažu vozila, zgrade ili uniforme, otežavaju navođenje projektila sa TV ili IC navođenjem. Mobilna modularna streljana, najsavremeniji proizvod poljskog „Bumara“, imala je premijeru u Varšavi, šest meseci uoči našeg Partnera. „Rode-Švarc“ iz Minhena ponudio je taktički softver radio poslednje generacije i opremu za nadgledanje vojnih radio-komunikacionih sistema. Izraelski „ECI“ bavi se prvenstveno širokopojasnim pristupom i prenosom podataka. Zadatak ove kompanije je da dobavlja opremu za stvaranje efikasnih i bezbednih mrežnih infrastruktura širom sveta, bilo za telekomunikacione kompanije ili radi odbrane. Na sajmu je nastupila još jedna firma iz Izraela – Elbit. Svoje programe predstavili su i nemačka Mehler Group, francuski Thales, danski Firexpress, kao i firme iz Republike Srpske, Švedske, Belgije, SAD, Makedonije i Slovenije.

Značaj ovogodišnjoj manifestaciji dalo je i prisustvo inostranih delegacija po pozivu i uz pratnju predstavnika Ministarstva odbrane Republike Srbije. Delegacije koje su zvanično posetile manifestaciju bile su iz Iraka, Libije, Pakistana, Alžira, Crne Gore. Sajam su posetili i strani vojni predstavnici akreditovani u Republici Srbiji.

Osim toga, poslovni deo sajma obeležio je i veliki broj organizovanih poslovnih sastanaka između predstavnika Ministarstva odbrane, učesnika i poslovnih posetilaca.

Sajam naoružanja i vojne opreme Partner 2009 pratila su 104 akreditovana novinara iz Srbije i inostranstva. Registrovano je više od 3 500 posetilaca.

Gaćeša *Nebojša*

Dopunski izvori:

[1] Zvanična internet prezentacija, [www.sajamnaoruzanjapartner.com](http://www.sajamnaoruzanjapartner.com)

Datum prijema članka: 14. 07. 2009.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 21. 07. 2009.

## SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Na ovogodišnjem međunarodnom sajmu naoružanja i vojne opreme Partner 2009 premijerno su prikazani i domaći sistemi.

### Modularni robotizovani sistem MILICA

Modularni robotizovani sistem MILICA razvijen je u Vojnotehničkom institutu.

#### *Namena sistema*

MILICA je bežični daljinski upravljani savremeni sistem za blisku protivoklopnu borbu na guseničnom vozilu srednjih dimenzija bez posade. Namenjen je za efikasnu zaštitu tenkoprolaznih pravaca, kao i za taktičko uništavanje utvrđenih objekata. Veliku efikasnost pokazuje i kao pomoćno sredstvo specijalnih pešadijskih protivoklopnih jedinica prilikom operacija - izviđanja, nadgledanja i vatrenog dejstva iz nebezbednih zona po različitim vrstama terena i urbanim uslovima.



Sistem je modularnog tipa, sa jednostavnom promenom namene i vrste naoružanja. Može se koristiti u svim vremenskim uslovima i na skoro svim vrstama terena. Sistemom se upravlja bežično sa mogućnošću jednostavnog uvezivanja u komadno-informacioni (C4I) sistem višeg nivoa. Sa jednog komandnog mesta moguće je upravljati sa nekoliko desetina identičnih ili raznorodnih sistema.

#### *Komponente sistema*

Sistem se sastoji od bežično daljinski upravljane guseničarske vozila bez posade, srednjih dimenzija i borbene platforme sa modularnim protivoklopnim sistemom. Gusenično vozilo ima telo od zavarenih čeličnih ploča, pogonske točkove na prednjoj strani vozila, a sistem oslanjanja je nezavisan sa torzionim elastičnim osloncima, dok su gusenice metalne sa dvoosoviničnim člancima.

Na vozilo se ugrađuje daljinski bežično upravljana platforma sa protivoklopnim raketnim sistemom OSA 90 mm sa dva lansera i osmatračko-nišanskom kamerom ili protivoklopni raketni sistem M91 120 mm. Moguća je ugradnja i drugog vrsta naoružanja.

#### Tehnički podaci

vozilo:	gusenično,
brzina vozila:	023 km/h (napred i nazad),
uzdužni nagib:	30°,
radijus zaokreta:	u mestu,
ukupna masa sistema:	250 kg,
radna autonomija:	2 h,
dužina:	1725 mm (1900 sa raketnim sistemom OSA),
širina:	770 mm,
visina:	475 mm (800 sa raketnim sistemom OSA),
naoružanje:	ručni bacač raketa 90 mm, M79 – OSA, (opcija ručni bacač raketa 120 mm, M91),
razantni dolet:	250 m,
probojnost:	400 mm – OSA; 800 mm – M91,
pokretanje platforme:	po pravcu 6°/s, opseg podesiv od 0–350°, po elevaciji 3°/s, opseg podesiv od –20°do 50°,
upravljanje platformom:	daljinski bežično (daljina do 500 m),
osmatračko-nišanska kamera:	dnevno-noćna kolor/crno-bela IP kamera sa optičkim i elektronskim zumom visoke osetljivosti.

#### Funkcionisanje sistema

- Sistemom se upravlja daljinski bežično sa komadnog mesta udaljenog do 500 m. Komandno upravljački pult se sastoji od upravljačke konzole sa telekomunikacionim modulima i laptop računara koji služi za kontrolu kamere i biranje načina rada kamera (vožnja-osmatranje-nišanjenje).
- Upravljanje vozilom se vrši pomoću kontrolne konzole koja ima alfanumerički ekran, koji prikazuje trenutni status i funkcije.
- Upravljanje platformom i oruđem se vrši takođe sa komandne konzole. Postoji mogućnost podešavanja automatskog rada – pokretanja po pravcu kada se platforma kontinualno kreće po pravcu. Dodirom na komandnu palicu automatsko kretanje prestaje i vraća se kontrola na palicu.
- Pojedinačno opaljivanje raketa (leva ili desna) vrši se pritiskom kombinacije tastera sa komadnog pulta.

## Automatizovani protivoklopni sistem APOS

Automatizovani protivoklopni sistem APOS razvijen je u Vojnotehničkom institutu.



### *Namena sistema*

APOS je stacionarni bežični daljinski upravljani savremeni sistem za blisku protivoklopnu borbu. Namenjen je za efikasnu zaštitu tenkoprolaznih pravaca, kao i za taktičko uništavanje utvrđenih objekata. Osnovna namena mu je da zameni vojnika – nišandžiju u veoma opasnom zadatku, bliskom prilazu neprijateljskom tenku (do 250 m) radi lansiranja raketne. Ovaj sistem omogućava osmatranje, nišanje i lansiranje sa udaljenog i bezbednog komandnog mesta do 1000 m od nastupajućih tenkova.

Sistem je modularnog tipa, sa jednostavnom promenom namene i vrste naoružanja. Može se koristiti u svim vremenskim uslovima. Sistemom se upravlja bežično sa mogućnošću jednostavnog uvezivanja u komadno-informacioni (C4I) sistem višeg nivoa. Sa jednog komandnog mesta moguće je upravljati sa nekoliko desetina identičnih ili raznorodnih sistema.

### *Komponente sistema*

Sistem se sastoji od protivoklopnog raketnog sistema M91 120 mm sa osmatračko-nišanskom kamerom, podsistema za pokretanje po pravcu i elevaciji i telekomunikacionih modula. Sve ove komponente se preko odgovarajućih nosača postavljaju na tronožac pored kojih stoji i kutija sa akumulatorom za napajanje sistema.

Tehnički podaci

ukupna masa sistema:	40 kg,
radna autonomija:	6 h,
dužina:	1350 mm,
širina:	800 mm,
visina:	800 mm,



naoružanje:	ručni bacač raketa 120 mm, M91,
razantni domet:	250 m,
probojnost:	800 mm – M91,
pokretanje platforme:	po pravcu 6°/s, opseg podesiv od 0 do 350°, po elevaciji 3°/s, opseg podesiv od –20° do 50°,
upravljanje platformom:	daljinski bežično (daljina do 700 m),
osmatračko-nišanska kamera:	dnevno-noćna kolor crnobela IP kamera sa optičkim i elektronskim zumom visoke osetljivosti.

### *Funkcionisanje sistema*

- Sistemom se upravlja daljinski bežično sa komadnog mesta udaljenog do 1000 m. Komandno upravljački pult se sastoji od upravljačke konzole sa telekomunikacionim modulima i laptop računara koji služi za kontrolu kamere i biranje načina rada kamere (osmatranje-nišanjenje).
- Kamera ima prethodno definisane modove zumova za osmatranje i nišanjenje na 100, 200 ili 300 m. Prostim izborom sa menija, kamera se automatski postavlja u traženi mod.
- Upravljanje platformom i oruđem se vrši sa komandne konzole. Postoji mogućnost podešavanja automatskog rada – pokretanja po pravcu kada se platforma kontinualno kreće po pravcu. Dodirom na komandnu palicu automatsko kretanje prestaje i vraća se kontrola na palicu.

### Daljinski upravljana laka oružna stanica DALOS



*Daljinski upravljana jedinica*

Daljinski upravljana laka oružna stanica DALOS razvijena je u Vojnotehničkom institutu.

## *Namena sistema*

DALOS je daljinski upravljana laka modularna osmatračko-borbena stanica namenjena za ugradnju na borbeno vozilo ili stacionarnu platformu. DALOS omogućava: daljinsku detekciju, identifikaciju i akviziciju ciljeva u dnevnim i noćnim uslovima, određivanje daljine cilja i nišanje, automatsko preračunavanje svih potrebnih parametara za gađanje, modularni izbor vrste naoružanja i automatsko pozicioniranje oružja prema zahtevanim koordinatama.

Ugrađeno naoružanje omogućava uništavanje žive sile, utvrđenih i lakooklopljenih borbenih i neborbenih sredstava i stvaranje dimne zavese radi maskiranja i odbrane i zaštite od laserskog zračenja i dejstva protivoklopnih vođenih raketa.

## *Komponente sistema*

Sistem je modularno koncipiran, a sastoji se od borbenog i neborbenog (osmatračkog) modula koji se mogu nezavisno pokretati.

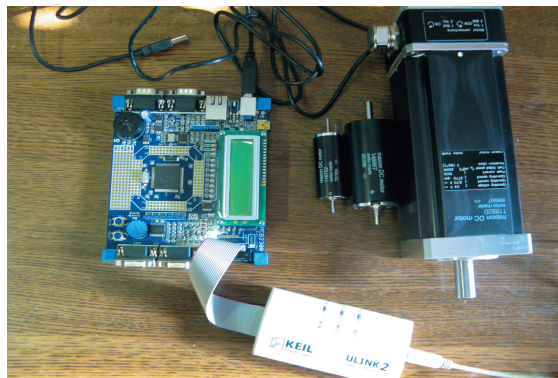
Pogoni sistema su elektromotorni sa mikrokontrolerskim upravljanjem i inkrementalnim i apsolutnim enkoderima, kao davačima brzine i ugaone pozicije.

Neborbeni modul je elektro-optički sistem za osmatranje, nišanje i orijentaciju, nalazi se na stabilisanom nosaču koji je spregnut sa naoružanjem, sadrži dnevno-noćni nišan (televizija/termovizija, opciono), laserski daljinomer, uređaj za orijentaciju (GPS) i pokazivač severa.

Borbeni modul sastoji se od mitraljeza 7,62 mm M86 ili bacača granata automatskog BGA 30 mm M93, koji se opciono ugrađuju na univerzalnu kolvku sa dnevno-noćnim nišanom (televizija/termovizija, opciono) i bacača dimnih kutija 82 mm M79.



*Upravljački modul*



*Elektromotori sa mikrokontrolerskim modulom*

## Tehnički podaci

## Digitalni servosistem:

napon napajanja, jednosmerni pogon	21 do 28,5 V, elektromotorni,
opseg pokretanja po azimutu	360 <sup>0</sup> ,
opseg pokretanja po elevaciji	90 <sup>0</sup> ,
maksimalna brzina pokretanja	do 1500 mrad/s,
tačnost pozicioniranja	<1 mrad,
snaga pogona	do 250 W,
temperaturno radno područje	od -20°C do +55°C.

## Borbeni modul:

- mitraljez 7,62 mm M86
- bacač granata automatski BGA 30 mm M93
- bacač dimnih kutija 82 mm M79

Ukupna masa turele sa ugrađenim podsistemima do 150 kg

*Funkcionisanje sistema*

- Sistem omogućava daljinsko pokretanje i upravljanje žičnom ili bezžičnom komunikacijom borbenim i neborbenim modulom;
- Sistem ugrađen na postolje, postavljeno na isturenom zaklonjenom ili nezaklonjenom borbenom ili osmatračkom položaju, omogućava da se operator smesti u zaklon, na bezbednoj udaljenosti do 1200 m;
- Sistem ugrađen na vozilo omogućava osmatranje i delovanje ugrađenim naoružanjem od strane operatora, koji može biti smešten bilo gde u unutrašnjosti vozila, i preuzimanje komandi od strane komandira (dualni rad);
- Sistem se koristi kao osmatračka jedinica za nadzor i zaštitu i može se povezati sa nadređenim sistemima u okviru komandno informacionog sistema;
- Komandno komunikacioni računar i upravljačka palica mogu biti u vozilu ili u zaklonu;
- Sistem ima režime rada u kojima omogućava brzinsko praćenje i pozicioniranje borbenog i neborbenog modula kao i gađanje borbenim modulom.

## Izviđačko borbena vozilo KURJAK

Novo domaće izviđačko borbena vozilo KURJAK (Black Wolf) samostalno je razvojni projekt kompanije Jugoimport SDPR. Nastao je modifikacijom oklopnog vozila BRDM-2. Njegov preteča – vozilo BRDM-2, namenjeno je, takođe, za izviđanje, a potiče iz nekadašnjeg SSSR-a, gde se proizvodilo između 1963. i 1989. godine, zajedno sa prvom varijantom, starijim tipom – BRDM-1. Ovakva modifikacija može, pre svega, biti interesantna zemljama koje u svom naoružanju imaju veliki broj vozila BRDM-2, ali i skromniji budžet. Za relativno mala sredstva modifikacijom se može dobiti kvalitetno oklopno izviđačko vozilo opremljeno multisenzorskim sistemom za izviđanje.



Međutim, karakteristika Jugoimportovog projekta KURJAK je i mogućnost baziranja, odnosno instaliranja sistema za izviđanje i pratećeg naoružanja, na platformu i nekog drugog vozila, npr. vozila Zastava (Iveco) Rival.

Familiju vozila KURJAK čine: Black Wolf (Kurjak) Long Sight – izviđačko borbena vozilo i Black Wolf (Kurjak) Artis – artiljerijsko izviđačko borbena vozilo.

### *Black Wolf (Kurjak) Long Sight – izviđačko borbena vozilo*

Glavna namena KURJAKA u verziji Long Sight – izviđačko borbena vozilo jeste daljinsko (istureno) izviđanje rejonu ili misija kontrole granice, sa mogućnošću korišćenja prirodnih ili izgrađenih objekata za osmatranje sa skrivenih pozicija, upotrebom podižućeg jarbola na kojem je montirana optička nadzorna i osmatračka stanica, tj. multisenzorska osmatračka sprava – TOMS.



Ona je spregnuta i integrisana sa radrom, sistemom za upravljanje vatrom i navigacionim sistemom baziranom na GPS-u. Kombinacijom sa komandno-informacionim sistemom i GPS uređajem ova sprava pruža mogućnost uvezivanja sa višim nivoima komandovanja.

Black Wolf (Kurjak) Long Sight – izviđačko borbena vozilo ima sledeću opremu:

- ugrađeni jarbol – izvlačeća platforma opremljena panoramskom multisenzorskom optoelektronskom stanicom i radarom, sa električnim podizanjem na visinu do 4 m (integrisani optoelektronski blok ima dnevni nišan, termovizijsku kameru i laserski daljinomer, što pruža mogućnost osmatranja noću i u složenim meteorološkim uslovima, a spregnut je sa komandno-informacionim sistemom i navigacionim sistemom baziranom na GPS-u);

- daljinski upravljana montažno-demontažna oružna stanica – oklopna kupola, sa naoružanjem koje može biti opcionalno: mitraljez 12,7 mm ili mitraljez 7,62 mm (sa pripadajućim borbenim kompletom od 200 metaka).

### *Black Wolf (Kurjak) Artis – artiljerijsko izviđačko borbena vozilo*

Verzija Black Wolf (Kurjak) Artis namenjena je za artiljerijsko izviđanje (borbene osmatračke misije), sa mogućnošću daljinskog (isturenog) izviđanja i gađanja pomoću naoružanja smeštenog na montažno-demontažnoj artiljerijskoj oružnoj stanici – oklopnoj kupoli. Ovo je varijanta vozila sa težim naoružanjem – ugrađuje se top 20 mm ili, opciono, automatski bacač granata od 30 mm.



Pored naoružanja, na oklopnoj kuli su integrisani laserski daljinomer (dometa 20 km), goniometar i komunikacioni modem, takođe na platformi koja se izvlači na visinu do četiri metra.

Ova verzija namenjena je i za prevoz i pružanje artiljerijske vatrene podrške izviđačkom odeljenju sastava pet vojnika, korišćenjem naoružanja koje je integrisano na oklopnoj kuli.

Obe verzije KURJAKA karakteriše oklopna zaštita u skladu sa standardom STANAG 4569 Level I, a sa dodatnim oklopom moguće je postići zaštitu u skladu sa standardom STANAG 4569 Level II.



Kurjak može transportovati ukupno 8 vojnika. Stalnu posadu čine tri člana (komandir, nišandžija i vozač), a pored njih moguće je ukrcati i desantno-izviđačko odeljenje od 5 vojnika sa punom ratnom opremom, što je postignuto preuređenjem unutrašnjosti vozila odstranjivanjem središnjih pomoćnih točkova i blatobrana.



Poboljšana pokretljivost vozila postignuta je ugradnjom novog turbo-pogona, osmocilindričnog dizel motora AMG 6.5 V8, 128 kW (173 KS), sa 3400 obrtaja u minuti (upotrebljen u vozilima klase HUMMER), sa novim prenosnim sistemom (kvačilom i spojnicom) i vodenim hlađenjem.

KURJAK se odlikuje jednostavnošću upotrebe i sposobnošću brzog praćenja i dejstva po ciljevima, kao npr:

- slabo naoružanih i nenaoružanih ciljeva,
- zona koncentracije žive sile,
- fortifikacionih objekata,
- niskoletećih nepokretnih i pokretnih objekata.

Slojevita oklopna zaštita prednjeg kraja omogućuje zaštitu od granata kalibra 82 mm.

Na zahtev kupaca postojeći komunikacioni sistem može se zameniti savremenom radio- opremom, uključujući interfon, uz obezbeđenu zaštitu od ometanja (radio-komunikacija sa krypto- zaštitom).

KURJAK se pokazao kao vrlo korisno vozilo, posebno u pratnji pešadije. Ističe se pokretljivošću i preciznošću topa i mitraljeza. Termovizionom kamerom, laserskim daljinomerom i navigacionim sistemom uočava ciljeve, stavlja ih na digitalnu kartu i preko komandno-informacionog sistema distribuira te podatke dalje po komandnom lancu. Može da koriguje artiljerijsku vatru. Odlikuje ga niska silueta, odlična prohodnost, dobra zaštita i povoljna cena.

Zahvaljujući primenjenoj konfiguraciji, KURJAK može uspešno da se upotrebi u oružanim sukobima niskog, srednjeg i visokog inteziteta, u mirovnim operacijama, operacijama nametanja i sprovođenja mira, kao i u misijama koje izvršavaju specijalne snage i jedinice za brzo reagovanje.

Priradio Gaćeša *Nebojša*

## DETALJNO UPUTSTVO AUTORIMA O NAČINU PRIPREME ČLANKA

Uputstvo autorima o načinu pripreme članka za objavljivanje u *Vojnotehničkom glasniku* urađeno je na osnovu Akta o uređivanju naučnih časopisa, Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, evidencioni broj 110-00-17/2009-01, od 09. 07. 2009. godine. Primena ovog Akta prvenstveno služi unapređenju kvaliteta domaćih časopisa i njihovog potpunijeg uključivanja u međunarodni sistem razmene naučnih informacija. Zasnovano je na međunarodnim standardima ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 i ISO 5122, odnosno odgovarajućim domaćim standardima.

*Vojnotehnički glasnik* je naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje naučne i stručne članke, kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama. Časopis prati jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke sistemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

*Vojnotehnički glasnik* je, na osnovu analize Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauci – CEON (<http://ceon.rs/>) i odluke Ministarstva za nauku Republike Srbije, svrstan u kategoriju naučni časopisi (M53). Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku). Pristup ovoj stranici omogućen je samo sa računara koji su priključeni na internet preko Akademske računarske mreže.

Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008).

Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku: [http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com\\_content&task=view&id=621&Itemid=37](http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37).

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučnoistraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u *Vojnotehničkom glasniku* vrednuje se sa 1 (jednim) bodom. Časopis se prati u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks (baza podataka domaćih naučnih časopisa – detalji dostupni na sajtu <http://scindeks.nb.rs/>) i podvrgnut je stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima.

Članci se dostavljaju Redakciji elektronskom poštom na adresu [vojnoglasnik@mod.gov.rs](mailto:vojnoglasnik@mod.gov.rs) (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored exactly).

Članak treba da sadrži sažetak sa ključnim rečima, uvod, razradu, zaključak, literaturu i rezime sa ključnim rečima na engleskom jeziku (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom single). Fajl ne sme da bude veći od 2 MB.

Obrazac za pisanje članka u elektronskoj formi može se preuzeti sa adrese [www.dibid.mod.gov.rs/casopisi.php](http://www.dibid.mod.gov.rs/casopisi.php).

### Naslov

Naslov treba da odražava temu članka. U interesu je časopisa i autora da se koriste reči prikladne za indeksiranje i pretraživanje. Ako takvih reči nema u naslovu, poželjno je da se pridoda i podnaslov. Naslov treba da bude preveden i na engleski jezik.

Ovi naslovi ispisuju se ispred sažetka na odgovarajućem jeziku.

### Tekući naslov

Tekući naslov se ispisuje na svakoj stranici članka radi lakše identifikacije, posebno kopija članaka u elektronskom obliku. Sadrži prezime i inicijal imena autora (ako autora ima više, preostali se označavaju sa „et al.“ ili „i dr.“), naslove rada i časopisa i kolaciju (godina, volumen, sveska, početna i završna stranica). Naslovi časopisa i članka mogu se dati u skraćenom obliku.

### **Ime autora**

Navodi se puno prezime i ime (svih) autora. Veoma je poželjno da se navedu i srednja slova autora. Prezimena i imena domaćih autora uvek se ispisuju u originalnom obliku (sa srpskim dijakritičkim znakovima), nezavisno od jezika na kojem je napisan rad.

### **Naziv ustanove autora (afilijacija)**

Navodi se pun (zvanični) naziv i sedište ustanove u kojoj je autor zaposlen, a eventualno i naziv ustanove u kojoj je autor obavio istraživanje. U složenim organizacijama navodi se ukupna hijerarhija (na primer, Vojna akademija, Katedra vojnih elektronskih sistema, Beograd). Bar jedna organizacija u hijerarhiji mora biti pravno lice. Ako autora ima više, a neki potiču iz iste ustanove, mora se, posebnim oznakama ili na drugi način, naznačiti iz koje od navedenih ustanova potiče svaki od navedenih autora. Afilijacija se ispisuje neposredno nakon imena autora. Funkcija i zvanje autora se ne navode.

### **Kontakt podaci**

Adresa ili e-adresa autora daje se u napomeni pri dnu prve stranice članka. Ako autora ima više, daje se samo adresa jednog, obično prvog autora.

### **Kategorija (tip) članka**

Kategorizacija članaka obaveza je uredništva i od posebne je važnosti. Kategoriju članka mogu predlagati recenzenti i članovi uredništva, odnosno urednici rubrika, ali odgovornost za kategorizaciju snosi isključivo glavni urednik.

Članci u časopisima se razvrstavaju u sledeće kategorije:

Naučni članci:

1. originalan naučni rad (rad u kojem se iznose prethodno neobjavljivani rezultati sopstvenih istraživanja naučnim metodom);
2. pregledni rad (rad koji sadrži originalan, detaljan i kritički prikaz istraživačkog problema ili područja u kojem je autor ostvario određeni doprinos, vidljiv na osnovu autocitata);
3. kratko ili prethodno saopštenje (originalni naučni rad punog formata, ali manjeg obima ili preliminarnog karaktera);
4. naučna kritika, odnosno polemika (rasprava na određenu naučnu temu, zasnovana isključivo na naučnoj argumentaciji) i osvrti.

Izuzetno, u nekim oblastima, naučni rad u časopisu može imati oblik monografske studije, kao i kritičkog izdanja naučne građe (istorijsko-arhivske, leksikografske, bibliografske, pregleda podataka i sl.) – dotad nepoznate ili nedovoljno pristupačne za naučna istraživanja.

Radovi klasifikovani kao naučni moraju imati bar dve pozitivne recenzije. U časopisima u kojima se objavljuju i prilozi vannaučnog karaktera, naučni članci treba da budu grupisani i jasno izdvojeni u prvom delu sveske.

Stručni članci:

1. stručni rad (prilog u kojem se nude iskustva korisna za unapređenje profesionalne prakse, ali koja nisu nužno zasnovana na naučnom metodu);
2. informativni prilog (uvodnik, komentar i sl.);
3. prikaz (knjige, računarskog programa, slučaja, naučnog događaja, i sl.).

### **Jezik rada**

Jezik rada može biti srpski, engleski ili drugi jezik koji se koristi u međunarodnoj komunikaciji u određenoj naučnoj oblasti.

Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama.



### **Sažetak (apstrakt) i rezime**

Sažetak (apstrakt) jeste kratak informativan prikaz sadržaja članka koji čitaocu omogućava da brzo i tačno oceni njegovu relevantnost. U interesu je uredništava i autora da sažeci sadrže termine koji se često koriste za indeksiranje i pretragu članka. Sastavni delovi sažetka su cilj istraživanja, metodi, rezultati i zaključak. Sažetak treba da ima od 100 do 250 reči i treba da se nalazi između zaglavlja (naslov, imena autora i dr.) i ključnih reči, nakon kojih sledi tekst članka. Ako je jezik rada srpski veoma je poželjno da se sažetak na engleskom jeziku daje u proširenom obliku, kao tzv. rezime. Posebno je poželjno da rezime bude u strukturiranom obliku. Dužina rezimea može biti do 1/10 dužine članka (opširniji od sažetka na srpskom). Rezime se daje na kraju članka, nakon odeljka Literatura. Za rezime na engleskom jeziku Redakcija obezbeđuje kvalifikovanu lekturu, odnosno gramatičku i pravopisnu ispravnost.

### **Ključne reči**

Ključne reči su termini ili fraze koje adekvatno predstavljaju sadržaj članka za potrebe indeksiranja i pretraživanja. Treba ih dodeljivati oslanjajući se na neki međunarodni izvor (popis, rečnik ili tezaurus) koji je najšire prihvaćen ili unutar date naučne oblasti. Za npr. nauku uopšte, to je lista ključnih reči Web of Science. Broj ključnih reči ne može biti veći od 10, a u interesu je uredništva i autora da učestalost njihove upotrebe bude što veća. Ključne reči daju se na jezicima na kojima postoje sažeci. U članku se pišu neposredno nakon sažetaka, odnosno rezimea.

### **Datum prihvatanja članka**

Datum kada je uredništvo primilo članak, datum kada je uredništvo konačno prihvatilo članak za objavljivanje, kao i datumi kada su u međuvremenu dostavljene eventualne ispravke rukopisa navode se hronološkim redosledom, na stalnom mestu, po pravilu na kraju članka.

### **Zahvalnica**

Naziv i broj projekta, odnosno naziv programa u okviru kojeg je članak nastao, kao i naziv institucije koja je finansirala projekat ili program, navodi se u posebnoj napomeni na stalnom mestu, po pravilu pri dnu prve strane članka.

### **Prethodne verzije rada**

Ako je članak u prethodnoj verziji bio izložen na skupu u vidu usmenog saopštenja (pod istim ili sličnim naslovom), podatak o tome treba da bude naveden u posebnoj napomeni, po pravilu pri dnu prve strane članka. Rad koji je već objavljen u nekom časopisu ne može se objaviti u *Vojnotehničkom glasniku* (preštamptati), ni pod sličnim naslovom i izmenjenom obliku.

### **Tabelarni i grafički prikazi**

Poželjno je da naslovi svih prikaza, a po mogućstvu i tekstualni sadržaj, budu dati dvojezično, na jeziku rada i na engleskom jeziku.

Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu.

### **Navođenje (citiranje) u tekstu**

Način pozivanja na izvore u okviru članka mora biti jednoobrazan. U samom tekstu, u uglastim zagradama, obavezno napisati redni broj iz odeljka Literatura sa kraja članka, na mestu na kojem se vrši pozivanje, odnosno citiranje.

### **Napomene (fusnote)**

Napomene se daju pri dnu strane na kojoj se nalazi tekst na koji se odnose. Mogu sadržati manje važne detalje, dopunska objašnjenja, naznake o korišćenim izvorima (na primer, naučnoj građi, priručnicima), ali ne mogu biti zamena za citiranu literaturu.

### **Lista referenci (literatura)**

Citirana literatura obuhvata, po pravilu, bibliografske izvore (članke, monografije i sl.) i daje se isključivo u zasebnom odeljku članka, u vidu liste referenci. Reference se navode na dosledan način, redosledom koji zavisi od standarda navođenja u tekstu. Reference se ne prevode na jezik rada i navode se u uglastim zagradama. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdanja, kao i broj stranice. Naslovi citiranih domaćih časopisa daju se u originalnom, punom ili skraćenom, ali nikako u prevedenom obliku. Pri navođenju internet sajta kao literature navodi se i datum korišćenja.

Veoma je preporučljiva upotreba punih formata referenci koje podržavaju vodeće međunarodne baze namenjene vrednovanju, kao i Srpski citatni indeks, a propisani su uputstvima:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers i
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers

Takođe, prihvaćeni su i formati dati u uputstvima:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide i
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

Nestandardno, nepotpuno ili nedosledno navođenje literature u sistemima vrednovanja časopisa smatra se dovoljnim razlogom za osporavanje naučnog statusa časopisa.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni. Takođe, dostavlja se i srpski prevod rezimea na engleski (sažetka u proširenom i strukturiranom obliku), kako bi Redakcija izvršila lekturu, radi provere engleske verzije.

U propratnom pismu navode se i podaci autora: ime, srednje slovo, prezime, čin, zvanje, e-mail, adresa poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije honorišu se prema važećim propisima.

Adresa redakcije: Vojnotehnički glasnik, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Redakcija

**DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-  
-INFORMACIONU DELATNOST**

- Balkanska 53, 11000 Beograd •
- Telefoni: (011) 32-01-806 i 32-01-495  
Telefaks: (011) 36-12-506 •
- Tekući račun: 840-19540845-28 • PIB: 102116082  
PDV: 135328814 •

**POZIV NA PRETPLATU ZA 2009. GODINU**

Pretplaćujemo se na časopis:

	br. primeraka
<b>1. „Vojnotehnički glasnik“</b> Godišnja pretplata 785,00 dinara (727,00 din + 8% PDV) Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963054	.....
<b>2. „Novi glasnik“</b> Godišnja pretplata 1.408,00 dinara (1.303,70 din + 8% PDV) Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963053	.....
<b>3. „Vojno delo“</b> Godišnja pretplata 1.296,00 dinara (1.200,00 din + 8% PDV) Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963051	.....

Pretplatne cene važe do 31. 12. 2009. godine.

Broj primeraka izdanja koja se naručuju upisati u narudžbenicu, a primerak narudžbenice sa dokazom o izvršenoj uplati na gore navedeni tekući račun poslati na gore navedenu adresu.

Kupac ..... tel.: .....

Mesto .....

Ulica ..... br. ....

Potpis naručioca

M. P. ....



# DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

11000 Beograd, Balkanska 53 • telefaks: 011/3612-506

**Preporučujemo nova izdanja VOJNOIZDAVAČKOG ZAVODA**



## MOTORI I MOTORNA VOZILA

*Grupa autora*

Broširano • format: 17×24 cm • 390 str.

ISBN 978-86-335-0231-3

Šifra: 111078

Cena: 864,00 din.



## NAORUŽANJE SA NASTAVOM GAĐANJA 1

*Autor: prof. Ivan Č. Stamenov*

Broširano • format: 17×24 cm  
• 496 str.

ISBN 978-86-335-0247-4

Šifra: 111079

• Cena: 864,00 din.



## METODIKA IZUČAVANJA SLEPOG KUCANJA NA TASTATURI RAČUNARA

*Autor: mr Saša Devetak*

Broširano • Format: 14×20 cm • 44 str.

ISBN 978-86-335-0254-2

Šifra: 111080 • Cena: 324,00 din.

Ovom narudžbenicom neopozivo naručujem knjige sa šifrom/primeraka

Telefoni za informacije:  
(011) 3612-506 i vojni 23-495

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Kupac: \_\_\_\_\_

Ulica i broj: \_\_\_\_\_

Mesto i broj pošte: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

Potpis naručioca: \_\_\_\_\_

Knjige ću platiti (zaokružiti broj):  
1) odjednom (plaćanje unapred)  
2) na kredit u \_\_\_\_\_ mesečne rate (najviše šest rata)  
po \_\_\_\_\_ dinara (najmanji iznos rate je 1.000 din.)  
Uz narudžbenicu poslati dokaz o uplati.

**NAPOMENA: za svaku narudžbu knjiga potrebno je uplatiti 200,00 din. za troškove poštarine.**

**DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST**

Reklamacije za naručene knjige  
primamo u roku od 30 dana

**Žiro račun: 840-19540845-28 RC MO; pib 102116082**

Likovno-grafički urednik  
mr *Nebojša* Kujundžić  
e-mail: [nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs](mailto:nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs)

Tehničko uređenje  
*Zvezda* Jovanović

Lektor i korektor  
*Dobriła* Miletić, profesor  
e-mail: [dobriła.miletic@mod.gov.rs](mailto:dobriła.miletic@mod.gov.rs)

Prevod na engleski  
*Jasna* Višnjić, profesor  
e-mail: [visnjicjasna@yahoo.com](mailto:visnjicjasna@yahoo.com)

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

623+355 / 359

VOJNOTEHNIČKI glasnik : naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije = Military technical courier : scientific periodical of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia / odgovorni urednik Nebojša Gaćeša. - God. 1, br. 1 (1953) - Beograd (Balkanska 53) : Ministarstvo odbrane Republike Srbije, 1953- (Beograd : Vojna štamparija. - 24 cm

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

Dostupno i na: <http://dibid.mod.gov.rs>. -  
Tromesečno  
ISSN 0042-8469 = Vojnotehnički glasnik  
COBISS.SR-ID 4423938

Cena: 245,00 dinara  
Tiraž: 800 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine, časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

CIP: Narodna biblioteka Srbije  
UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju, informacije i bibliotekarstvo (CVNDIB)

