

Direktor

Pukovnik  
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)General-potpukovnik  
dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.General-potpukovnik  
BRANISLAV OBRADOVIĆ, dipl. inž.General-potpukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)General-major  
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.General-major  
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major  
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor  
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.Profesor  
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Pukovnik  
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.Potpukovnik  
STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

\* \* \*

Zastupa glavnog i odgovornog urednika

Potpukovnik  
**Stevan Josifović, dipl. inž.**  
(tel. 646-277)Sekretar redakcije  
**Zora Pavličević**  
(tel. 641-795, vojni 22-431)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.Pretpлата tel.-fax: 3612-506, žiro-račun: 40818-  
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štampa-  
rija – Beograd, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI  
G L A S N I K

6

*Čitaocima  
i saradnicima*

*čestitamo*

*novu*

*2001.*

*godinu*

*Redakcija*

## SADRŽAJ

<b>Dr Dušan Regodić</b> , pukovnik, dipl. inž.	ISTRAŽIVANJA UTICAJA NESIMETRIČNOG OPSTRU- JAVANJA PROJEKTILA NA AERODINAMIČKE KOE- FICIJENTE . . . . .	533
<b>Dr Radojica Pikula</b> , pukovnik, dipl. inž.	KOMPUTERSKA METODA OPTIMIZACIJE DOLETA BORBENIH AVIONA SA ASPEKTA UTICAJA PODVE- ŠENOG NAORUŽANJA . . . . .	543
<b>Marinko Aleksić</b> , kapetan, dipl. inž.	FAZIEKSPERTSKI MODEL PROCENE GUBITAKA TMS U BORBENIM DEJSTVIMA . . . . .	555
<b>Dejan Živković</b> , dipl. inž.		
<b>Prof. dr sc. med. Miroslav Hrnjak</b> , pukovnik		
<b>Gradimir Basarić</b> , dipl. inž.		
<b>Nebojša Pešić</b> , el. tehničar	BUKA, INFRAZVUK I ULTRAZVUK KOD HELIKOP- TERA . . . . .	566
<b>Zoran Hrnjez</b> , major, dipl. inž.	AKUSTIČKA UOČLJIVOST BRODA – PODMORNICE .	577
<b>Miloš Pejanović</b> , major, dipl. inž.	INTERNET TEHNOLOGIJA KAO OKRUŽENJE ZA RAZVOJ INFORMACIONIH SISTEMA . . . . .	588
<b>Mr Radenko I. Višnjić</b> , potpukovnik	MATEMATIČKA OSNOVA OBLIKOVANJA DIGITAL- NIH MODELA RELJEFA . . . . .	601
<b>Mr Milka Matejić-Grgurić</b> , dipl. inž.	KORIŠĆENJE SAVREMENIH PRIVREDNIH SRED- STAVA ZA MINIRANJE U VOJNE SVRHE . . . . .	612
<b>Dr Dragutin Jovanović</b> , pukovnik, dipl. inž.		
<b>Mr Milorad Opsenica</b> , potpukovnik, dipl. inž.	PUTNI PRELAZI PREKO ŽELEZNIČKE PRUGE KAO USKA GRILA . . . . .	619
<b>Dr Slavko Pokorni</b> , pukovnik, dipl. inž.	44. JUGOSLOVENSKA KONFERENCIJA ETRAN-a – prikaz naučnog skupa – . . . . .	636

---

### PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

---

Veća vatrena moć tenka Leopard 2 – V.R. . . . .	639
Novi projektil 30 mm Oerlikon – V.R. . . . .	640
Poboljšanja tenka Leopard 2 – V.R. . . . .	641
Nova kineska protivtenkovska vođena raketa – V.R. . . . .	642

Elektronski upaljači za višecjevne raketne sisteme – M.K. . . .	643
Snajpersko naoružanje za specijalne namene – M.K. . . . .	646
F/A-18E/F Super Hornet – S.V. . . . . .	648
Borbeni avioni Grač i Super Grač – M.K. . . . . .	650
Višenamenski raketni bespilotni sistemi – M.K. . . . . .	651
Raketni brod Katran – M.K. . . . . .	653

---

### **TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Laka haubica 155 mm XM777 – M.K. . . . . .	655
Veći domet topova 130 mm M-46 – V.R. . . . . .	655
Novi radar za avion F-22 – M.K. . . . . .	656
Kineski krstareći projektili – S.V. . . . . .	656
Britanski zahtevi za artiljerijske raketne sisteme – V.R. . . .	657
Novi ruski niskoprofilni tenk T-95 – V.R. . . . . .	658
Poboljšanja pakistanskog tenka Type 59 – V.R. . . . . .	658
Jordanske varijante borbenih vozila – V.R. . . . . .	659
Prototip oklopnog vozila Pandur 8 × 8 – V.R. . . . . .	660
Zglobno oklopno vozilo Bv206 S za francusku armiju – V.R. .	661

### Pregled korišćenih oznaka

Program za personalni računar sačinjen je prema datim jednačinama, a korišćene su oznake za osnovne i izvedene geometrijske veličine. Na slici 4 date su osnovne geometrijske veličine projektila, koje se javljaju u ulaznoj datoteci:

$d = D$  – kalibar projektila (m),

$l_1 = L_B$  – dužina projektila (m),

$l_1 = LN + LNP + LN0$  – dužina prednjeg dela projektila (m),

$l_{NK} = LNK$  – dužina konusa (m)

$l_{NP} = LNP$  – dužina oživala (m),

$l_0 = LN0$  – dužina prednjeg zatupljenja (m),

$\epsilon = EPS$  – ugao između tangente oživala i cilindričnog dela ( $^{\circ}$ ),

$R = R0$  – radijus oživala (m),

$d_B = DB$  – prečnik baze (m),

$l_3 = LA$  – dužina zadnjeg konusa (m),

$x_G = XV$  – rastojanje težišta od vrha projektila (m),

$\sigma = SGMS$  – napadni ugao ( $^{\circ}$ ).

### Izvedene geometrijske veličine:

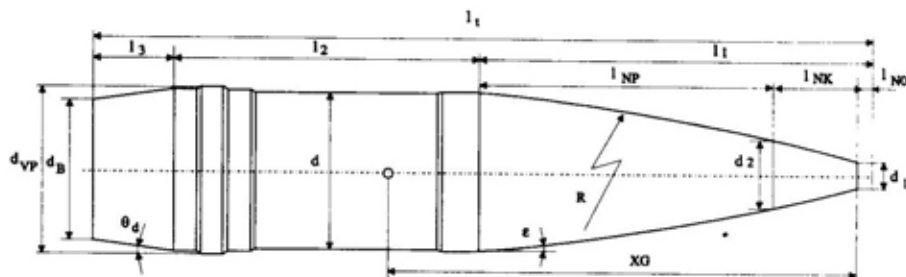
$XV/D = XVE$  – bezdimenzionalno rastojanje centra mase,

$\lambda_1 = LN/D$  – vitkost prednjeg dela,

$D0/D = D0E$  – bezdimenzionalni prednji deo,

$L0/D = F0$  – vitkost cilindričnog vrha,

$LB/D = FB$  – vitkost ukupne dužine tela,



Sl. 4 – Dimenzije projektila korišćene u programskom rešenju

$(\pi d^2)/4 = S = SR$  – referentna površina ( $m^2$ ),

$l_2/d = (LB - LN - LA)/FC$  – vitkost cilindričnog tela,

$\lambda_2/\lambda_1 = FCFN$  – odnos vitkosti cilindričnog i prednjeg dela projektila,

$\lambda_3 = FA$  – vitkost zadnjeg dela projektila,

$\text{tg}\theta_d = FAP$  – tangens ugla zadnjeg konusa,

$d_B/d = DBE$  – bezdimenzionalni prečnik baze projektila,

$SBE = DBE^2$  – kvadrat bezdimenzionalnog prečnika,

$S_d = SB$  – površina baze ( $m^2$ ),

$x_G/l_t = XVC$  – bezdimenzionalni odnos rastojanja centra mase i ukupne dužine projektila,

$X_{TP} = XTP$  – koordinata centra mase zapremine (m),

$P/S = PE$  – odnos ukupne i referentne površine,

$S_d/S = \bar{S}_d$  – referentna površina dna,

$\text{tg}\theta_d/\bar{S}_d$  – parametar zadnjeg konusa,

$\Delta X_{C1} = \Delta XCN$  – korekcija rastojanja napadne tačke (m),

$VV_1 = WN$  – zapremina vrha projektila ( $m^3$ ),

$X_{c1} = XCL$  – napadna tačka normalne sile (m).

#### *Fizičke veličine:*

$\frac{V}{a} = \frac{V}{A} = M = BM$  – Mahov broj,

$V_\infty = V$  – brzina neporemećene struje vazduha u beskonačnosti (m/s),

$a = A$  – lokalna brzina zvuka (m/s),

$p = P$  – pritisak u atmosferi (bar),

$\tau = TM$  – apsolutna temperatura (K),

$T_p = TP$  – ravnotežna temperatura (K),

$T_{cp} = TCP$  – prosečna temperatura (K),

$\mu = EFMI$  – dinamička viskoznost (Pas),

$\nu = NI$  – kinematska viskoznost ( $m^2/c$ ),

$\frac{V \cdot l_t}{\nu} = Re = RE$  – Reynoldsov broj,

$C_f = \frac{3,91}{\log Re^{2,58} \left(1 + \frac{M^2}{15}\right)^{0,85}}$  – koeficijent površinskog trenja.

#### *Oznake za aerodinamičke koeficijente:*

$C_{X0} = CX0 + C_{X\sigma^2} \cdot \sigma^2 = CA1 + CA3 + CAF + CAB$  – aerodinamički koeficijent aksijalne sile,

$CX0 = CA0$  – aerodinamički koeficijent aksijalne sile pri  $\sigma = 0^\circ$ ,

$C_{X\sigma} = CX\sigma$  – derivativ aerodinamičkog koeficijenta aksijalne sile za napadni ugao  $\sigma$ ,

$C_{X1} = CX1 = CA1$  – aerodinamički koeficijent talasnog otpora vrha projektila,

$C_{X3} = CX3 = CA3$  – aerodinamički koeficijent talasnog otpora dna projektila,

$C_{Xf} = CXF = CAF$  – aerodinamički koeficijent otpora trenja,

$C_{Xd} = CXB = CAB$  – aerodinamički koeficijent otpora baze projektila,

$C_y = CY = CYP\sigma \cdot p^* \cdot \sigma$  – aerodinamički koeficijent bočne sile,

$C_{Yp\sigma} = CYP\sigma$  – derivativ aerodinamičkog koeficijenta bočne sile,

$C_Z = CZ = C_{Z\sigma} \cdot \sigma + C_{Z\sigma^2} \cdot \sigma^2$  - aerodinamički koeficijent normalne sile za napadni ugao  $\sigma$ ,

$C_{Z\sigma} = CZS$  - derivativ aerodinamičkog koeficijenta normalne sile,

$C_l = CL = C_{lp} \cdot p^*$  - aerodinamički koeficijent momenta valjanja,

$C_{lp} = CLP$  - derivativ aerodinamičkog koeficijenta momenta valjanja

$C_m = CM = CMS + CMST + CMQ$  - aerodinamički koeficijent momenta propinjanja,

$C_{m\sigma} \cdot \sigma = CMS$  - statički deo derivativa aerodinamičkog koeficijenta momenta propinjanja,

$C_{m\sigma} \cdot \sigma^* = CMST$  - dinamički deo derivativa aerodinamičkog koeficijenta momenta propinjanja zbog promene napadnog ugla,

$C_{mq} \cdot q^* = CMQ$  - dinamički deo derivativa aerodinamičkog koeficijenta momenta propinjanja zbog promene ugaone brzine,

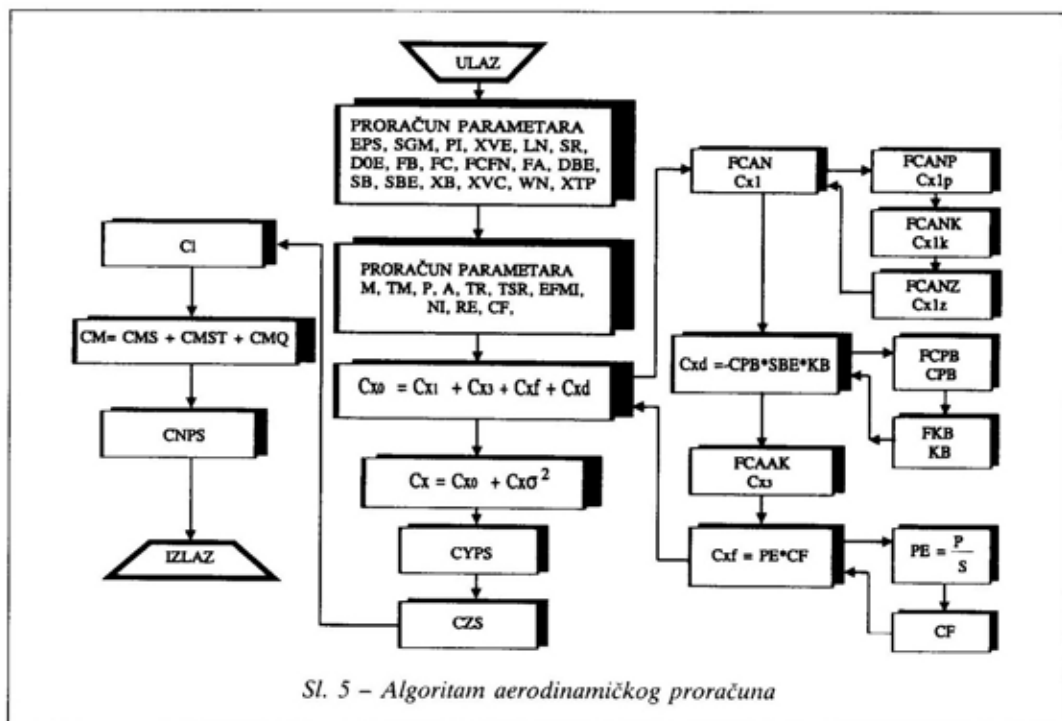
$C_n = C_{np\sigma} \cdot p^* \cdot \sigma = CN$  - aerodinamički koeficijent momenta skretanja,

$C_{np\sigma} = CNPS$  - derivativ aerodinamičkog koeficijenta momenta skretanja.

### Koncepcija programskog rešenja

Programsko rešenje AERO1 namenjeno je za aerodinamičke proračune pri simetričnom i nesimetričnom opstrujavanju. Sačinjeno je u programskom jeziku FORTRAN na personalnom računaru. Sastoji se od tri celine - datoteke a to su:

- program AERO1 - glavni program,



Sl. 5 - Algoritam aerodinamičkog proračuna

- datoteka TELO – ulazni podaci,
- datoteke: KOEFIC1, KOEFIC2, KOEFIC3, KOEFIC4,
- rezultati proračuna sa komentarom.

Program AERO1 organizovan je tako da se proračun izvodi po celinama za svaki aerodinamički koeficijent. Najpre se učitavaju ulazni podaci sa datoteke TELO, a zatim se računaju konstante, bezdimenzionalne veličine i izvedene veličine. Na osnovu polja Mahovih brojeva definiše se korak proračuna. Pomoću DO-petlje, redosledom iz izraza 1 do 16, računaju se aerodinamički koeficijenti i njihovi derivativi u funkciji Mahovog broja.

Na slici 5 prikazan je algoritam za aerodinamički proračun.

Datoteke KOEFIC1, KOEFIC2, KOEFIC3 i KOEFIC4 kreiraju se u toku

izvođenja programa. U njih se smeštaju rezultati aerodinamičkog proračuna. Strukturirani su tako da se na početku daju polazni podaci za koje se kasnije daju tabelarne vrednosti aerodinamičkih koeficijenata i njihovi derivativi.

Programsko rešenje je univerzalno i može se upotrebiti za sve aerodinamičke proračune klasičnih projektila bez krila, pri simetričnom i nesimetričnom opstrujavanju. Za aerodinamički proračun novog projektila neophodno je modifikovati datoteku TELO, ili kreirati novu sa polaznim podacima odabranog projektila.

### Rezultati proračuna

Rezultati proračuna prikazuju se tabelarno i grafički.

#### Datoteka ulaznih podataka TELO.DAT

```
D = .122    LB = .616
LNK = .050  LNP = .261    LNO = .005    EPSS = 3.0    RO = 1.271
D0 = .010   L0 = .000
DB = .110   LA = .096
XV = .371   SGMS = 0°
```

```
17
0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8
2.0 2.5
3.0
```

#### Datoteka izlaznih podataka KOEFIC1.TAB

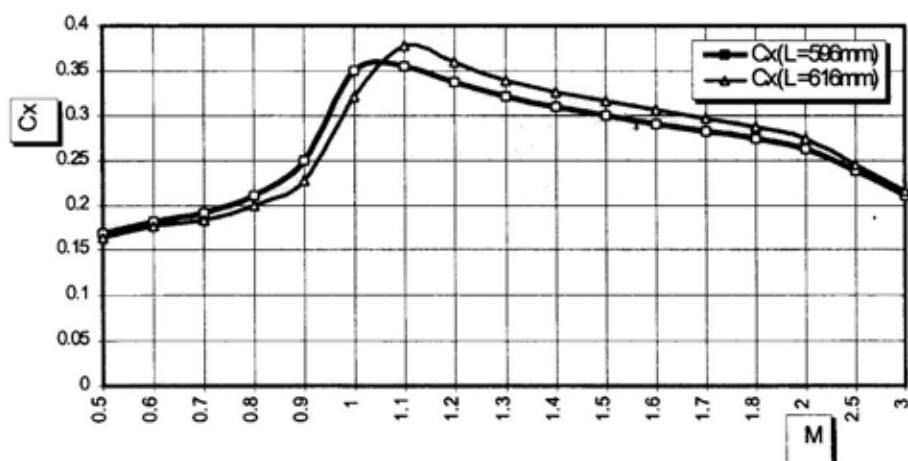
```
D = .122    LB = .616
LK = .050   LP = .261    LO = .005
ES = 3.0    RO = 1.271
D0 = .010   L0 = .000
DB = .110   LA = .096
XV = .371   σ = 0°
XVE = 3.041
```



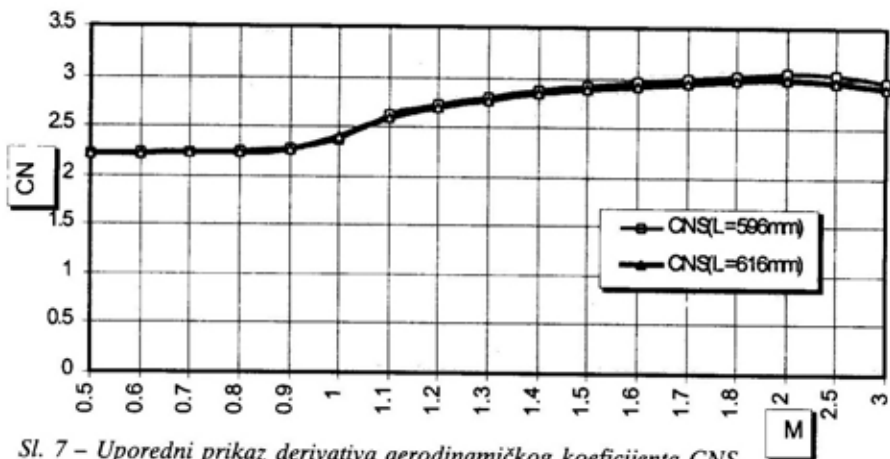
MACH	CAO	CNS	XCE	CMS	CLP	CMST + + CMQ	CYPS	XKE	CNPS
.500	.168	1.980	2.453	1.164	-.038	-3.987	-.465	2.892	-.069
.600	.181	1.986	2.434	1.206	-.038	-4.486	-.505	2.906	-.068
.700	.188	1.994	2.401	1.276	-.038	-5.119	-.546	2.918	-.067
.800	.205	2.002	2.353	1.378	-.038	-5.908	-.587	2.929	-.066
.900	.232	2.027	2.269	1.565	-.038	-6.880	-.616	2.942	-.061
1.000	.326	2.154	2.082	2.065	-.038	-8.066	-.650	2.786	-.166
1.100	.383	2.361	2.091	2.242	-.038	-11.685	-.675	2.766	-.186
1.200	.363	2.461	2.173	2.135	-.038	-11.685	-.700	2.748	-.205
1.300	.344	2.539	2.262	1.978	-.038	-11.685	-.725	2.731	-.225
1.400	.330	2.606	2.359	1.778	-.038	-11.685	-.750	2.715	-.244
1.500	.321	2.651	2.455	1.552	-.038	-11.685	-.775	2.700	-.264
1.600	.311	2.681	2.551	1.313	-.038	-11.685	-.772	2.603	-.338
1.700	.300	2.709	2.632	1.108	-.038	-11.685	-.770	2.506	-.412
1.800	.291	2.737	2.704	.921	-.038	-11.685	-.767	2.407	-.486
2.000	.279	2.750	2.827	.588	-.038	-11.685	-.762	2.209	-.634
2.500	.250	2.727	2.933	.293	-.038	-11.685	-.700	2.212	-.581
3.000	.221	2.664	2.939	.273	-.038	-11.685	-.700	2.212	-.581

Na slikama od 6 do 12 grafički su prikazani rezultati proračuna za projektil kalibra  $d = 122$  mm, dužine  $l = 596$  mm i  $l = 616$  mm.

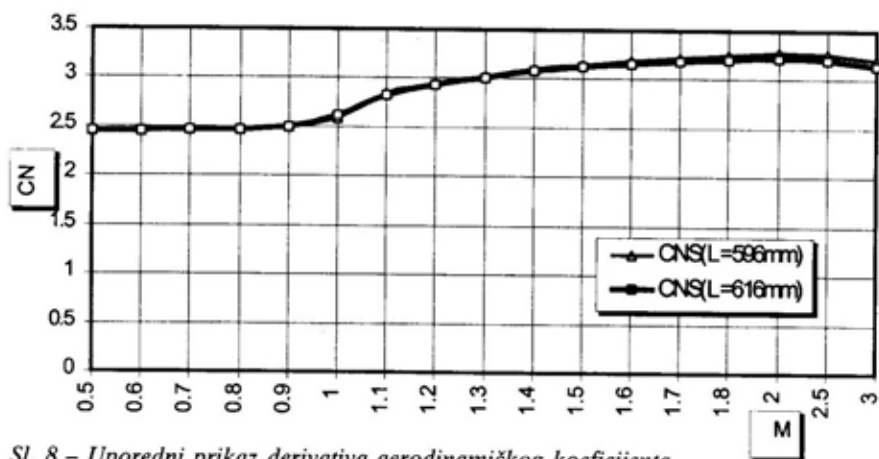
Na slici 13 dat je uporedni prikaz položaja napadne tačke  $Xc^*$  normalne sile  $Z$  za projektil kalibra  $d = 122$  mm, dužine  $l = 596$  mm i  $l = 616$  mm pri vrednostima  $M = 0,5-3,0$  i  $\alpha = 1^\circ$ .



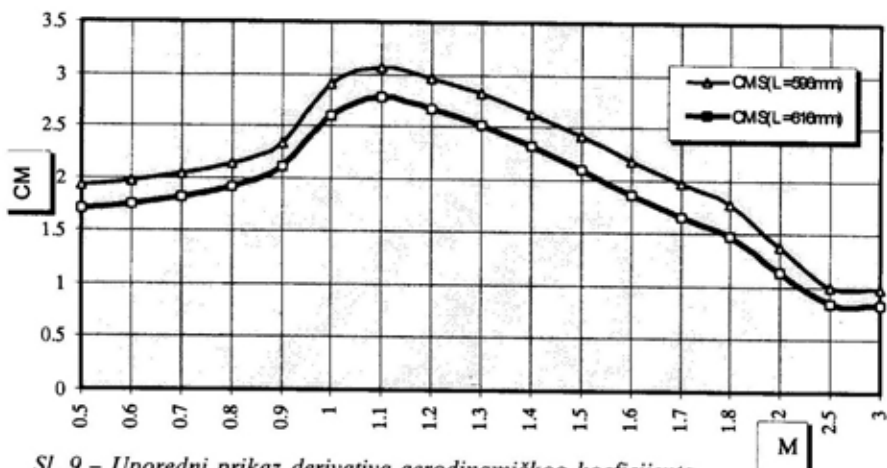
Sl. 6 - Uporedni prikaz aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta  $C_x$  pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$



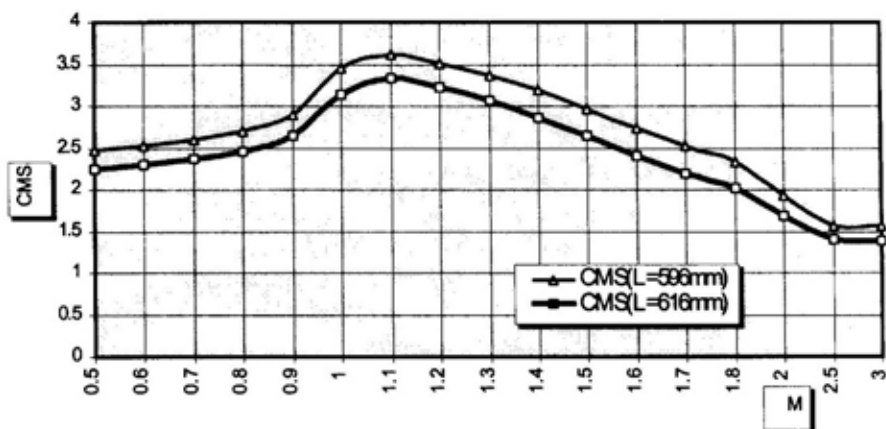
Sl. 7 – Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta  $CNS$  pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = 1^\circ$



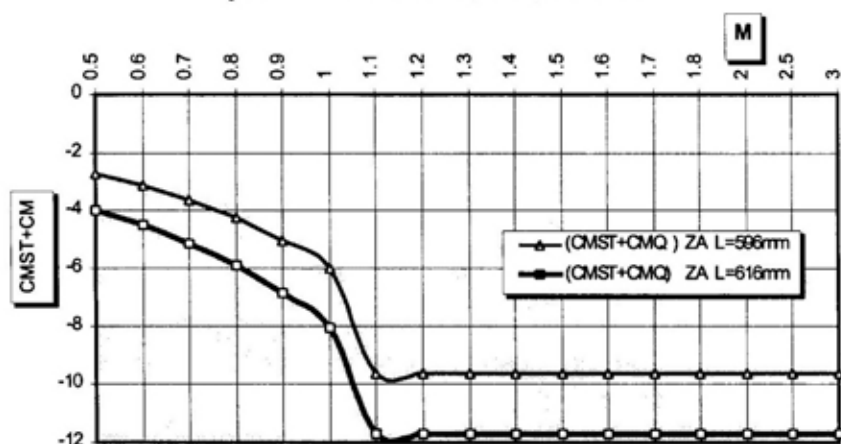
Sl. 8 – Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta  $CNS$  pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = 2^\circ$



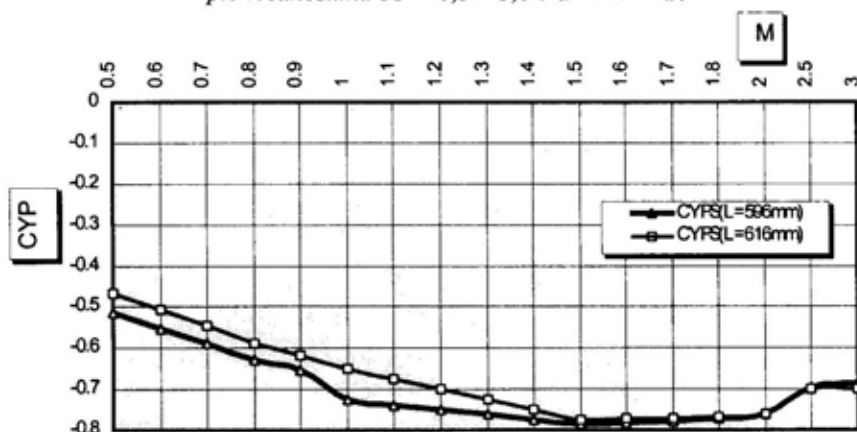
Sl. 9 – Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta  $CMS$  pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = 1^\circ$



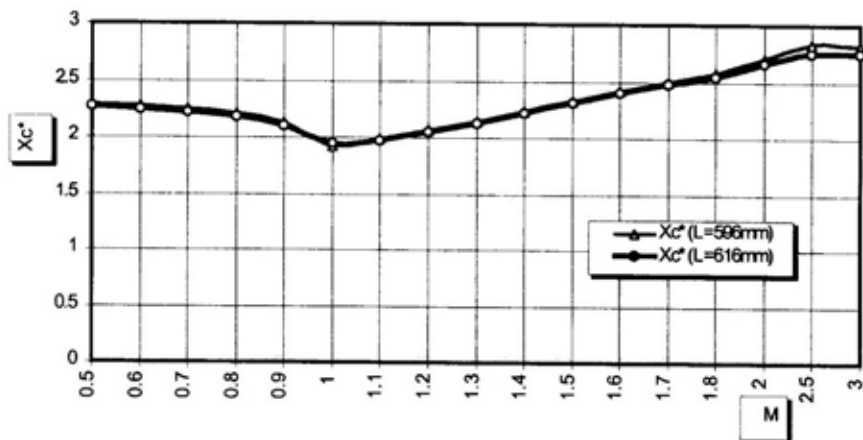
Sl. 10 - Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta CMS pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = 2^\circ$



Sl. 11 - Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta (CMST + CMQ) pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = -4^\circ - 10^\circ$



Sl. 12 - Uporedni prikaz derivativa aerodinamičkog koeficijenta CYP pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = -4^\circ - 10^\circ$



Sl. 13 – Upporedni prikaz položaja napadne tačke  $Xc^*$  normalne sile  $Z$  pri vrednostima  $M = 0,5 - 3,0$  i  $\alpha = 1^\circ$

## Zaključak

Analizom proračunatih vrednosti aerodinamičkih koeficijenata i njihovih derivativa za realne uslove leta, pri Mahovim brojevima  $M = 0,5$  do  $3$  i napadnim uglovima  $\alpha = -4^\circ$  do  $+10^\circ$  može se zaključiti:

1. Vrednosti aerodinamičkog koeficijenta  $C_x$  aksijalne aerodinamičke sile, prikazane na slici 6 neznatno se menjaju sa promenom napadnih uglova u posmatranom području  $\alpha = -4^\circ$  do  $+10^\circ$ . Promenom brzine leta projektila izražene su promene aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta. Područje  $M = 0,5$  do  $0,8$  karakteriše spori rast, da bi prelaskom u visoko subsonično područje pri  $M = 0,94$  vrednost aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta počela brže da raste. Maksimalna vrednost  $C_x$  za projektil  $122$  mm sa dužim zadnjim konusom iznosi  $C_x = 0,375$ , a za projektil sa kraćim zadnjim konusom  $C_x = 0,355$  (5,3% manje od projektila sa dužim zadnjim konusom) pri  $M = 1,1$ . Područje iza  $M = 1,2$  karakteriše lagani pad i smirivanje promene  $C_x$ .

2. Vrednosti derivativa aerodinamičkog koeficijenta momenta propinjanja  $C_{m\sigma}$  (statički deo) vrlo je bitna za kontrolu žiroskopske stabilnosti rotacionih projektila. Visoke pozitivne vrednosti  $C_{m\sigma} > 0$  dovode projektil u kritično područje, smanjujući mu koeficijent žiroskopske stabilnosti  $S_g$  koji je inverzno proporcionalan sa  $C_{m\sigma}$ . Porastom napadnih uglova pri letu projektila raste i vrednost  $C_{m\sigma}$  smanjujući mu na taj način žiroskopsku stabilnost. Maksimalne vrednosti  $C_{m\sigma} = 14,529$  za projektil  $122$  mm sa dužim zadnjim konusom, i  $C_{m\sigma} = 14,928$  za projektil sa kraćim zadnjim konusom (veća za 2,7% od projektila sa dužim zadnjim konusom) dobijene su pri  $\alpha = 10^\circ$  i pri  $M = 3$ . Za manje napadne uglove ( $\alpha = -1^\circ, -2^\circ, 1^\circ, 2^\circ$ ), koji su dominantni u toku leta projektila, vrednost  $C_{m\sigma}$  se lagano menja da bi u području  $M = 0,94$  počela brže da raste, a u području  $M = 1,1$  dostiže maksimalnu vrednost za projektil sa dužim i kraćim zadnjim konusom. Vrednosti  $C_{m\sigma}$  uglavnom su pozitivne, osim za negativne napadne uglove za određene brzine leta.

Projektil sa kraćim zadnjim konusom pri promeni napadnih uglova pokazuje veću žiroskopsku stabilnost  $l/Sg$  u toku leta smirujući napadne uglove.

3. Numerička vrednost derivativa aerodinamičkih koeficijenata Magnusovog momenta  $C_{NP\sigma}$  grafički je prikazana u izlaznim datotekama za Mahove brojeve  $M = 0,5$  do  $3$  i napadne uglove  $\alpha = -4^\circ$  do  $+10^\circ$  za projektil  $122$  mm sa dužim i kraćim zadnjim konusom. Na osnovu uporedne analize ovih vrednosti može se zaključiti:

- $C_{NP\sigma}$  ne zavisi od vrednosti napadnog ugla;

- vrednost  $C_{NP\sigma}$  je negativna za sve vrednosti  $M$  u području od  $C_{NP\sigma} = -0,069$  do  $-0,634$  za projektil sa dužim zadnjim konusom, i  $C_{NP\sigma} = -0,198$  do  $-0,734$  za projektil sa kraćim zadnjim konusom;

- za područje  $M = 0,9$  do  $1$  i prelaskom u visoko subsonično područje  $M = 0,94$  evidentno je lagano umirenje i prelazak u mirnije područje  $C_{NP\sigma}$ .

Kombinacijom negativnih vrednosti  $C_{NP\sigma}$  i  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  dobija se laganorotirajući i frekventni ciklus kod projektila.

4. Dinamički derivativi aerodinamičkog koeficijenta momenta propinjanja  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  nastaju zbog poprečne rotacije projektila ugaonom brzinom  $q$  i promenom napadnog ugla u jedinici vremena. Derivativi  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  bitno utiču na dinamičku stabilnost projektila koja se želi postići u svim uslovima leta projektila. Na osnovu numeričkih vrednosti, datih u izlaznim datotekama i grafičke interpretacije na slici 11 za projektil  $122$  mm za duži i kraći zadnji konus pri  $M = 0,5$  do  $3$  i napadne uglove  $\alpha = -4^\circ$  do  $+10^\circ$  može se zaključiti:

- za obe dužine zadnjeg konusa zbir vrednosti  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  uvek je negativan, sa manjim apsolutnim vrednostima za

projektil sa kraćim zadnjim konusom, što je povoljnije za dinamičku stabilnost projektila;

- lagani porast vrednosti  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  u intervalu  $M = 0,5$  do  $0,9$ ;

- ulaskom u oblast visokih subsoničnih brojeva  $M = 0,94$  javlja se skok vrednosti  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  da bi za  $M = 1,1$  postigao svoju maksimalnu vrednost;

- za  $M = 1,1$  do  $3$  i promene napadnih uglova, vrednosti  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  su lagano promenljive sa promenom brzine leta projektila;

- numeričke vrednosti  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  za projektil  $122$  mm sa dužim zadnjim konusom kreću se od  $-0,987$  do  $-11,695$ , a za projektil sa kraćim zadnjim konusom od  $-2,747$  do  $-9,687$ . Za oba posmatrana projektila  $C_{mq} + C_{m\sigma}$  predstavljaju sporo promenljive funkcije od Mahovih brojeva sa povoljnijom žiroskopskom stabilnošću za projektil  $122$  mm sa kraćim zadnjim konusom.

5. Rotacijom projektila oko uzdužne ose brzina u nekoj tački na površini se povećava, a elementarna sila trenja deluje na površinu u pravcu suprotnom strujanju koje je zaokrenuto za ugao  $pd/2 \cdot V$  u odnosu na pravac brzine translacije  $V$ . Suma momenata svih ovih elementarnih sila predstavlja moment koji se protivi rotaciji i naziva se aksijalni prigušni moment  $L$ . Koeficijent prigušnog momenta za idealno glatko osnosimetrično telo je  $C_{lp} = -C_{ft}/4$ . Na osnovu eksperimentalnih rezultata koeficijent prigušnog momenta je dvostruko veći odn.  $C_{lp} = -C_{ft}/2$ .

Programsko rešenje urađeno je u programskom jeziku FORTRAN na PC 586. Program AERO1 organizovan je tako da se proračun izvodi po celinama za svaki aerodinamički koeficijent. Pro-

gramsko rešenje je univerzalno i može se primenjivati za klasične nevodene projekte.

*Literatura:*

- [1] Janković, S.: CAD OF THE UNGUIDED MISSILES, 11th International Symposium on Ballistics, Brussels, May 09-11, 1989, pp: 749-758.
- [2] Regodić, D.: Prilog numeričkoj analizi dvodimenzionalnog strujanja oko osnosimetričnog tela, doktorski rad, VTA VJ Beograd, 1997.
- [3] Regodić, D.: Analiza stabilnosti i tačnosti matematičkog modela dinamike projektila, Međunarodni naučno-stručni skup VAZDUHOPLOVSTVO '97, Sekcija Aerodinamika i projektovanje, str. 94-100, Beograd, 1997.
- [4] Regodić, D.: Uticaj vrste strujanja na ukupni aerodinamički koeficijent, VTG-1, Beograd, 1995.
- [5] Regodić, D.; Perme, B.: Određivanje aerodinamičkih karakteristika pri različitim napadnim uglovima, XXII Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Vrnjačka Banja, 1997.
- [6] \*\*\*: 11th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BALLISTICS, Zbornik radova, Brussels-Belgium, May 09-11, 1989.
- [7] \*\*\*: 15th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BALLISTICS, Zbornik radova, Jerusalem-Israel, May 21-24, 1995.
- [8] \*\*\*: INTERNATIONAL STANDARD ISO 1151 „TERMS AND SYMBOLS FOR FLIGHT DYNAMICS“ – part I-V.

**Dr Radojica Pikula,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ.  
Beograd

## KOMPJUTERSKA METODA OPTIMIZACIJE DOLETA BORBENIH AVIONA SA ASPEKTA UTICAJA PODVEŠENOG NAORUŽANJA

UDC: 623.746.094:629.7.072]:519.863

### Rezime:

*U ovom radu razmatrane su različite metode za optimizaciju doleta: teorijske, praktične i teorijsko-praktične. Najpoznatija teorijska metoda je metoda energije. U metodi energije diferencijalne jednačine putanje leta aviona formulisane su tako da daju optimalni profil leta ili da se ostvari maksimalni dolet aviona. Praktične metode su eksperimentalna, grafička i tabelarna. Kompjuterska metoda obuhvata teorijske i praktične metode, a koristi eksperimentalne podatke za linearizaciju nelinearnog sistema diferencijalnih jednačina leta aviona. Uvođenjem računara u napadnonavigacijski sistem aviona omogućen je brži proračun doleta na različitim profilima leta i sa različitim podvešenim naoružanjem.*

*Ključne reči: kompjuterska metoda, dolet, optimizacija, vazduhoplovno naoružanje, specifična potrošnja goriva, profil leta, napadnonavigacijski sistem.*

---

## COMPUTER METHOD FOR THE FIGHTER AIRCRAFT RANGE OPTIMIZATION FROM THE ASPECT OF STRAPPED-DOWN WEAPONS EFFECTS

### Summary:

*Different methods of range optimization have been considered: theoretical, practical and theoretical-practical methods. The best-known of theoretical methods is the energy method. In the energy method, differential equations of aircraft flight path are so formulated to give optimum aircraft flight profile or maximum aircraft range. The practical methods are experimental, graphic and tabular method. The computer method is a method that comprises both theoretical and practical methods. The computer method uses the experimental data to linearize the nonlinear system of differential equations of aircraft flight. Adapting aircraft attack-navigation system by computers enables faster range calculations on different flight profiles and different suspended strapped-down weapons.*

*Key words: computer method, range, optimization, aircraft weapons, specific fuel consumption, flight profile, attack-navigation system.*

---

### Uvod

Optimizacija programa leta aviona, u suštini, sastoji se u određivanju putanje aviona sa stanovišta minimalne potrošnje goriva ili minimalnog vremena leta. Kako se postavka problema odnosi na savremene borbene avione, kod kojih je vreme

i dolet bitan parametar, kriterijum optimizacije putanje svodi se na minimalno vreme ili maksimalni dolet. To je posebno naglašeno kod aviona presretača, gde presretanje neprijateljevog aviona ima toliko više izgleda da uspe, koliko je vreme penjanja i horizontalnog leta do cilja manje. Kako se, u suštini, problem opti-

malnog leta svodi na problem određivanja minimalnog vremena leta aviona sa aerodroma do bilo koje druge tačke sa unapred zadatim koordinatama, ima smisla govoriti o optimizaciji putanje savremenih borbenih aviona presretača, gde on treba da dođe u položaj u kojem može direktno da uništi neprijateljev cilj.

Danas se koriste teorijske i eksperimentalne metode optimizacije doleta i trajanja leta aviona.

Teorijske metode zasnivaju se na određivanju jednačina kretanja koje će dati optimalan program leta pri kojem će se ostvariti najveći dolet ili najduže trajanje leta aviona. U opštem slučaju problem se sastoji u određivanju integralne funkcije koja predstavlja neku od performansi aviona. Pri tome je potrebno odrediti program i režim leta pri kojem će razmatrana integralna funkcija dostići ekstremnu vrednost. Najpoznatija teorijska metoda za rešenje problema ove vrste je metoda energije. Ona omogućava određivanje optimalnog programa leta, koji obezbeđuje da avion iz zadatih početnih uslova postigne određene konačne uslove za minimalno vreme. Optimalni program leta u praksi je najčešće promena Mahovog broja sa visinom, kako bi se postigli zadati konačni uslovi za minimalno vreme. Problem se može postaviti tako da se optimizira potrošnja goriva, tj. da se od zadatih početnih uslova do konačnih uslova stigne sa minimalnom ukupnom potrošnjom goriva.

Navedeni problemi mogu se analitički rešiti jedino primenom varijacionog računa, što zahteva dobre softverske programe i opsežne eksperimentalne podatke parametara i faktora koji utiču na dolet i trajanje leta aviona.

Eksperimentalne metode optimizacije doleta i trajanja leta zasnivaju se na

eksperimentalnim podacima dobijenim ispitivanjem konkretnog aviona, a optimalni programi i režimi leta mogu se dobiti grafičkom, monogramskom, dijagramskom ili kompjuterskom optimizacijom.

Među najbrže i najtačnije eksperimentalne metode optimizacije doleta i trajanja leta spada kompjuterska metoda, koja se zasniva na mogućnostima savremenih računara da se dobrom softverskom obradom eksperimentalnih podataka, podataka o podvešenom naoružanju, performansama aviona i motora, dobija optimalni program leta pri kojem su zadovoljeni opšti i početni uslovi sa aspekta najvećeg doleta ili trajanja leta.

Pri kompjuterskoj optimizaciji doleta i trajanja leta mogu se rešavati sledeći problemski zadaci:

- određivanje maksimalnog doleta i trajanja leta, linije presretanja cilja u vazdušnom prostoru ili radijusa borbenog dejstva pri letu aviona po zatom programu sa određenom masom goriva i varijantom podvesnog tereta;

- određivanje mogućnosti (prema masi goriva) izvršenja borbenog leta aviona po zatom programu leta ili mogućnosti presretanja cilja u vazdušnom prostoru na zatom liniji ili mogućnosti uništenja objekta na zemlji na zatom udaljenju od aerodroma sa zatom varijantom podvesnog tereta. Ako je izvršenje borbenog zadatka moguće, tada se još izračunava ukupni utrošak goriva i vreme izvršenja zadatog borbenog leta;

- određivanje optimalnog programa leta, ako je poznata masa goriva, varijanta podvesnog tereta, položaj i brzina cilja. Pod programom leta podrazumeva se definisanje brzine i visine leta aviona na određenim režimima rada motora.



Za navedene problemske zadatke izrađuju se algoritmi i kompjuterski programi. Pri tome moraju se izvršiti obimna eksperimentalna istraživanja i pripremiti podaci za obradu.

### Podaci za kompjutersku metodu

Za izvršenje kompjuterske metode optimizacije doleta i trajanja leta aviona na ustaljenim režimima leta potrebni su sledeći parametri i podaci:

#### 1. Ukupna masa goriva

Ukupna masa goriva  $M_{gu}$  je količina koja je određena iskoristivom zapreminom osnovnih rezervoara za gorivo, iskoristivom zapreminom podvešenih rezervoara za gorivo i specifičnom masom goriva:

$$M_{gu} = M_{go} + M_{gp} \quad (1)$$

$$M_{go} = W_{io} \cdot \gamma_g \quad (2)$$

$$M_{gp} = W_{ip} \cdot \gamma_g \quad (3)$$

gde je:

$M_{gu}$  – ukupna masa goriva (kg),

$M_{go}$  – masa goriva u osnovnim rezervoarima za gorivo (kg),

$M_{gp}$  – masa goriva u podvešenim (dopunskim) rezervoarima za gorivo (kg),

$W_{io}$  – iskoristiva zapremina osnovnih rezervoara za gorivo ( $dm^3$ ),

$W_{ip}$  – iskoristiva zapremina dopunskih rezervoara za gorivo ( $dm^3$ ),

$\gamma_g$  – specifična masa goriva ( $kg/dm^3$ ).

Osnovni rezervoari smešteni su u trupu ili u krilima aviona. Na avionu mogu biti podvešeni jedan, dva ili više dopunskih rezervoara za gorivo, pod tru-

pom ili na prilagođenim nosačima bombi pod krilima.

Kombinacije podvešavanja rezervoara, uzimajući u obzir i osnovne rezervoare za gorivo, nazivaju se varijante punjenja aviona gorivom.

Pri praktičnim proračunima masa goriva u pojedinim tipovima rezervoara prikazuje se tabelarno, a izračunava se pomoću jednačine (4) u zavisnosti od specifične mase goriva:

$$MR_{g(i,n)} = WR_{(i)} \cdot \gamma_{g,n} \quad (4)$$

Ukupna količina goriva zavisi od varijante punjenja aviona gorivom (tabela 1), a izračunava se prema jednačini (5), na osnovu podataka iz tabele 2.

$$M_{gu(w)} = \gamma_{g,n} \cdot \sum_{i=1}^{i=u} R_{(i)} \cdot WR_{(i)} \quad (5)$$

gde je:

$M_{gu(w)}$  – ukupna masa goriva određene varijante punjenja (kg),

w – broj varijante punjenja gorivom (tabela 1),

i – i-ti tip rezervoara za gorivo (prema tabeli 2),

u – ukupan broj rezervoara koji je napunjen gorivom prema zadatoj „varijanti punjenja“ (w),

$R_{(i)}$  – broj podvešenih rezervoara i-tog tipa na avionu (kom.),

$WR_{(i)}$  – iskoristiva zapremina i-tog tipa rezervoara ( $dm^3$ ),

$\gamma_{g(n)}$  – specifična masa n-tog goriva ( $kg/dm^3$ ).

#### 2. Proračunska masa goriva

Proračunska masa goriva  $M_{g,pror.}$  je količina koja se uzima u proračunima doleta i trajanja leta:

$$M_{g,pror.} = M_{gu} - 0,07 M_{go} \quad (6)$$

## Varijante punjenja aviona gorivom

Red. broj varijante	Varijanta punjenja	Mesto podvešenog (dopunskog) rezervoara za gorivo na avionu				
		na kraju krila	pod krilom	pod trupom	pod krilom	na kraju krila
1.	Napunjeni samo u trupu	-	-	+	-	-
2.	Napunjeni samo u krilima	-	+	-	+	-
3.	Napunjeni svi osnovni rezervoari	-	+	+	+	-
4.	Sa jednim dopunskim rezervoarom (manjim) ispod trupa	-	-	+	-	-
5.	Sa jednim podvešenim rezervoarom (većim) ispod trupa	-	-	+	-	-
6.	Sa dva dopunska rezervoara ispod krila na nosačima bombi	-	+	-	+	-
7.	Tri dopunska ispod trupa (manji) i dva ispod krila	-	+	+	+	-
8.	Tri dopunska ispod trupa (manji) i dva na kraju krila	+	-	+	-	+
9.	Sa četiri dopunska rezervoara, dva ispod krila i dva na kraju krila	+	+	-	+	+
10.	Sa pet dopunskih rezervoara (ispod trupa manji)	+	+	+	+	+
11.	Tri dopunska, ispod trupa (veći) i dva ispod krila	-	+	+	+	-
12.	Tri dopunska, ispod trupa (veći) i dva na kraju krila	+	-	+	-	+
13.	Sa pet dopunskih rezervoara (ispod trupa veći)	+	+	+	+	+
.....						
w.	w. - varijanta punjenja					

Tabela 2

## Masa goriva pojedinih tipova rezervoara

Red. broj tipa rez.	Naziv rezervoara za gorivo	Broj rez. i-tog tipa	Iskorist. zapremina rezervoara (dm <sup>3</sup> )	Masa goriva (kg) u rezervoarima pri punjenju gorivom n-te specifične mase (kg/dm <sup>3</sup> )			
				$\gamma_{g(1)}$	$\gamma_{g(2)}$	$\gamma_{g(\dots)}$	$\gamma_{g(n)}$
1.	Osnovni rezervoar u trupu	R(1)	WR(1)	MG <sub>1,1</sub>	MG <sub>1,2</sub>	MG <sub>1..</sub>	MG <sub>1,n</sub>
2.	Osnovni rezervoar u krilu	R(2)	WR(2)	MG <sub>2,1</sub>	MK <sub>2,2</sub>	MG <sub>2..</sub>	MG <sub>2,n</sub>
3.	Rezervoar ispod trupa (manji)	R(3)	WR(3)	MG <sub>3,1</sub>	MG <sub>3,2</sub>	MG <sub>3..</sub>	MG <sub>3,n</sub>
4.	Rezervoar ispod trupa (veći)	R(4)	WR(4)	MG <sub>4,1</sub>	MG <sub>4,2</sub>	MG <sub>4..</sub>	MG <sub>4,n</sub>
5.	Rezervoar ispod krila	R(5)	WR(5)	MG <sub>5,1</sub>	MG <sub>5,2</sub>	MG <sub>5..</sub>	MG <sub>5,n</sub>
6.	Rezervoar na kraju krila	R(6)	WE(6)	MG <sub>6,1</sub>	MG <sub>6,2</sub>	MG <sub>6..</sub>	MG <sub>6,n</sub>
..	.....	...	....	....	....	....	....
i.	i-ti tip rezervoara	R(i)	WR(i)	MG <sub>i,1</sub>	MG <sub>i,2</sub>	MG <sub>i..</sub>	MG <sub>i,n</sub>

gde je  $0,07 M_{go}$  – garantovana količina goriva koja se uzima zbog mogućih odstupanja stvarnih karakteristika od teorijskih, odstupanja u podešavanju motora, tehnoloških odstupanja pri izradi aviona i motora, promene aerodinamičkih i motorskih karakteristika u procesu korišćenja aviona, kao i za proračun objedinjavanja različitih varijanti podvešenih tereta koji su bliski po veličini čeonog otpora. Pri nepovoljnom odnosu navedenih odstupanja garantovana količina goriva može u potpunosti da bude utrošena u toku leta.

### 3. Masa aviona, podvešenih ubojnih sredstava i dopunskih rezervoara

Masa aviona potpuno popunjenog gorivom, uljem, radnim tečnostima i gasovima, sa posadom i naoružanjem po predviđenoj varijanti, predstavlja najveću masu aviona koju on ima samo u poletanju.

Najveća masa aviona izračunava se po obrascu (7) uz korišćenje tabele (3):

$$M_{naj.} = M_{gu} + \sum_{n=1}^{n=N} BRK_{(n)} \cdot MK_{(n)} \quad (7)$$

gde je:

$BRK_{(n)}$  – broj komada n-tog podvešenog tereta,

$MK_{(n)}$  – masa jednog n-tog podvešenog tereta (kg).

### 4. Indeks čeonog otpora aviona i podvešenih tereta

Otpor aviona je jedan od najvažnijih parametara pri određivanju doleta i trajanja leta, posebno kod borbenih aviona, gde su promenljive varijante podvešenog tereta.

Tačna procena otpora aviona osnovni je uslov za proračun njegovih performansi. Ukupan otpor aviona sastoji se od otpora oblika, otpora površinskog trenja, otpora aeroprofila, indukovanog otpora, štetnog ili parazitnog otpora, otpora interferencije, talasnog otpora, itd.

Kod borbenih aviona najveći uticaj na ukupni otpor aviona imaju podešeni tereti zbog štetnog ili parazitnog otpora i otpora interferencije, pod kojima se podrazumeva suma svih otpora delova aviona koji se suprotstavljaju kretanju, a nisu direktno povezani sa stvaranjem uzgona.

Otpor interferencije nastaje usled međusobnog uticaja dva tela kada su blizu i kada ukupni otpor nije zbir njihovih pojedinačnih otpora, već je najčešće veći i predstavlja razliku otpora od sume pojedinačnih otpora.

Koeficijent štetnog otpora aviona dobija se sumiranjem koeficijenata štetnog otpora pojedinih delova aviona, svedenih na površinu krila. On se uvećava za 5 do 8% zbog otpora interferencije.

Praktična ispitivanja pokazuju da se koeficijent štetnog (parazitnog) otpora menja sa koeficijentom uzgona (napadnim uglom) po paraboličnom zakonu:

$$C_{xp} = C_{xpmin} + K \cdot C_z^2 \quad (8)$$

gde je:

$C_{xp}$  – koeficijent štetnog ili parazitnog otpora,

$C_{xpmin}$  – minimalna vrednost koeficijenta štetnog otpora,

$K = dC_{xp}/dC_z^2$  – koeficijent promene  $C_{xp}$  u funkciji  $C_z^2$ .

Minimalna vrednost koeficijenta štetnog otpora dobija se pri nultom uzgonu aviona:

$$C_{xp} = C_{xpmin} \quad (9)$$

Masa aviona, podvešenih ubojnih sredstava i dopunskih rezervoara

Red. broj tereta	Naziv dela aviona ili podvešenog tereta	Broj komada n-tog tereta	Masa jednog komada (kg)	Napomena
1.	Avion sa posadom, sa stalnim nosačima i lansir. uređajima, napunjen uljem, kiseonikom i municijom, ali bez goriva i podvešenih tereta	BRK(1)	MK(1)	
2.	Dopunski nosač bombi	BRK(2)	MK(2)	bez bombi
3.	Saćasti lanser (manji)	BRK(3)	MK(3)	bez raketa
4.	Saćasti lanser (veći)	BRK(4)	MK(4)	bez raketa
5.	IC vođena raketa (manja)	BRK(5)	MK(5)	
6.	IC vođena raketa (veća)	BRK(6)	MK(6)	
7.	TV vođena raketa (manja)	BRK(7)	MK(7)	
8.	TV vođena raketa (veća)	BRK(8)	MK(8)	
9.	Radarski vođena raketa (manja)	BRK(9)	MK(9)	
10.	Radarski vođena raketa (veća)	BRK(10)	MK(10)	
11.	Laserski vođena raketa (manja)	BRK(11)	MK(11)	
12.	Laserski vođena raketa (veća)	BRK(12)	MK(12)	
13.	Nevođena raketa malog kalibra	BRK(13)	MK(13)	
14.	Nevođena raketa velikog kal.	BRK(14)	MK(14)	
15.	Bomba mase 50 kg	BRK(15)	MK(15)	
16.	Bomba mase 100 kg	BRK(16)	MK(16)	
17.	Bomba mase 250 kg	BRK(17)	MK(17)	
18.	Bomba mase 500 kg	BRK(18)	MK(18)	
19.	Plamena avio-bomba 250 kg	BRK(19)	MK(19)	
20.	Plamena avio-bomba 500 kg	BRK(20)	MK(20)	
21.	Oplata podtrupnog rezervoara (m)	BRK(21)	MK(21)	(m) – manjeg
22.	Oplata podtrupnog rezervoara (v)	BRK(22)	MK(22)	(v) – većeg
23.	Oplata potkrilnog rezervoara	BRK(23)	MK(23)	
:	.....	...	...	...
n.	n – tip podvešenog tereta	BRK(n)	MK(n)	

Ukupni koeficijent otpora aviona sastoji se od zbira svih koeficijenata otpora, a koji su od njih najdominantniji zavisi od područja brzina leta aviona. Za područje dozvučnih brzina najdominantniji su koeficijent štetnog i indukovanog otpora, pa polara u analitičkom obliku glasi:

$$C_x = C_{xp} + C_{xi} \quad (10)$$

gde je  $C_{xi}$  – koeficijent indukovanog otpora.

Teško je proceniti ukupni koeficijent otpora aviona za krozvučno područje brzina ako ne postoje praktični podaci merenja u aerotunelu. Pri ovakvoj proceni potrebno je poznavati kritični Mahov broj aviona.

Borbeni avioni pri izvršenju borbenih zadataka kreću se i nadzvučnim brzi-

nama, pa je potrebno izvršiti određivanje ukupnog koeficijenta otpora i za nadzvučne brzine. U navedenoj oblasti brzina određivanje ukupnog koeficijenta otpora olakšano je time što se teorijski podaci i eksperimentalni rezultati prilično poklapaju.

Pri praktičnom ispitivanju performansi aviona, za različite režime leta, umesto ukupnog koeficijenta otpora ko-

risti se ukupni indeks čeonog otpora (ICOA). Indeks čeonog otpora aviona proporcionalan je koeficijentu otpora, a izražava se celim brojevima i predstavlja jedan od osnovnih parametara pri ispitivanjima i proračunima doleta i trajanja leta borbenih aviona.

Za svaki podvešeni teret pojedinačno se određuje indeks čeonog otpora  $ICO(n)$ , koji je proporcionalan koefici-

Tabela 4

Indeksi čeonog otpora aviona i podvešenih tereta

Red. broj tereta	Naziv dela aviona ili podvešenog tereta	Broj komada n-tog tereta	Indeks čeonog otpora ICO	Napomena
1.	Avion sa posadom, sa stalnim nosačima i lansir. uređajima, napunjen uljem, kiseonikom i municijom, ali bez goriva i podvešenih tereta	BRK(1)	ICO(1)	
2.	Dopunski nosač bombi	BRK(2)	ICO(2)	bez bombi
3.	Saćasti lanser (manji)	BRK(3)	ICO(3)	bez raketa
4.	Saćasti lanser (veći)	BRK(4)	ICO(4)	bez raketa
5.	IC vođena raketa (manja)	BRK(5)	ICO(5)	
6.	IC vođena raketa (veća)	BRK(6)	ICO(6)	
7.	TV vođena raketa (manja)	BRK(7)	ICO(7)	
8.	TV vođena raketa (veća)	BRK(8)	ICO(8)	
9.	Radarski vođena raketa (manja)	BRK(9)	ICO(9)	
10.	Radarski vođena raketa (veća)	BRK(10)	ICO(10)	
11.	Laserski vođena raketa (manja)	BRK(11)	ICO(11)	
12.	Laserski vođena raketa (veća)	BRK(12)	ICO(12)	
13.	Nevođena raketa malog kalibra	BRK(13)	ICO(13)	
14.	Nevođena raketa velikog kalibra	BRK(14)	ICO(14)	
15.	Bomba mase 50 kg	BRK(15)	ICO(15)	
16.	Bomba mase 100 kg	BRK(16)	ICO(16)	
17.	Bomba mase 250 kg	BRK(17)	ICO(17)	
18.	Bomba mase 500 kg	BRK(18)	ICO(18)	
19.	Plamena avio-bomba 250 kg	BRK(19)	ICO(19)	
20.	Plamena avio-bomba 500 kg	BRK(20)	ICO(20)	
21.	Oplata podtrupnog rezervoara (m)	BRK(21)	ICO(21)	(m) – manjeg
22.	Oplata podtrupnog rezervoara (v)	BRK(22)	ICO(22)	(v) – većeg
23.	Oplata potkrilnog rezervoara	BRK(23)	ICO(23)	
..	.....	...	...	...
n.	n – tip podvešenog tereta	BRK(n)	ICO(n)	

Varijante naoružanja aviona

Redni broj varijante naoružanja	Varijanta naoružanja	Mesto podvešenog ubojnog sredstva na avionu				
		pod krilom II	pod krilom I	u trupu	pod krilom I	pod krilom II
1.	Vazduhoplovni top sa pripadajućom municijom			1		
2.	IC vođena raketa (manja)	1	1		1	1
3.	IC vođena raketa (veća)		1		1	1
4.	TV vođena raketa (manja)	1	1		1	1
5.	TV vođena raketa (veća)		1		1	1
6.	Radarski vođena raketa (manja)	1	1		1	1
7.	Radarski vođena raketa (veća)		1		1	
8.	Laserski vođena raketa (manja)	1	1		1	1
9.	Laserski vođena raketa (veća)		1		1	
10.	Nevođena raketa velikog kalibra	1	1		1	1
11.	Nevođena raketa malog kalibra	16	16		16	16
12.	Nevođena raketa malog kalibra	16	32		32	16
13.	Avio-bomba mase 50 kg	3	8		8	3
14.	Avio-bomba mase 100 kg		8		8	
15.	Avio-bomba mase 250 kg	1	1		1	1
16.	Avio-bomba mase 500 kg		1		1	
17.	Plamena avio-bomba 250 kg	1	1		1	1
18.	Plamena avio-bomba 500 kg		1		1	
19.	Kombinacija IC i radarski vođenih raketa	1	1		1	1
20.	Kombinacija nevođenih raketa malog i velikog kalibra	16	1		1	16
21.	Kombinacija TV i laserski vođenih raketa	1	1		1	1
...	.....	...	...	...	...	...
vn.	vn – varijanta naoružanja					

jentu otpora tog dela preračunatog u odnosu na površinu krila i izraženog celim brojem.

Ukupni indeks čeonog otpora aviona (ICOA) određuje se na osnovu jednačine (11), koja uzima u obzir varijante naoružanja (tabela 5), varijante punjenja aviona gorivom (tabela 1) i predstavlja zbir pojedinačnih indeksa čeonih otpora delova aviona  $ICO(n)$ :

$$ICOA = \sum_{n=1}^{n=N} BRK_{(n)} \cdot ICO_{(n)} \quad (11)$$

Dobijeni ukupni indeks čeonog otpora aviona sa podvešenim teretima, predstavlja parametar pomoću kojeg se određuju put, vreme i potrošnja goriva pri penjanju, horizontalnom letu i drugim performansama aviona.

## 5. Varijante naoružanja aviona

Kakva će biti ubojna moć borbenog aviona na cilju zavisi od varijante naoružanja, odnosno od kvaliteta i broja podvešenih ubojnih sredstava. Varijanta naoružanja određuje se na osnovu vrste cilja i predstavlja početni podatak pri optimizaciji doleta i trajanja leta borbenih aviona (tabela 5).

## 6. Utrošak goriva pri radu motora na zemlji

Utrošak goriva pri radu motora na zemlji UGZEM izračunava se kao proizvod srednje potrošnje goriva pri radu motora na zemlji PGMNZ i vremena rada motora na zemlji VRMNZ:

$$UGZEM = PGMNZ \cdot VRMNZ \quad (12)$$

Srednja potrošnja goriva pri radu motora na zemlji (pokretanje i proba motora i vožnja do starta) određuje se eksperimentalno.

## 7. Vreme, put i potrošnja goriva pri penjanju aviona

Vreme TPENJ(HPENJ,ICOA), put LPENJ(HPENJ,ICOA) i potrošnja goriva pri penjanju aviona određuju se eksperimentalno u zavisnosti od varijante podvešenog tereta, visine i brzine penjanja, atmosferskih uslova i režima rada motora. Varijanta podvešenog tereta dobija se kombinacijom varijante naoružanja (tabela 5) i varijante punjenja aviona gorivom (tabela 1), a izražava se preko indeksa čeonog otpora koji se izračunava posebno za svaku varijantu po formuli 11 koristeći tabelu 4.

Vreme, put i potrošnja goriva pri penjanju određuju se posebno za svaku

varijantu podvešenog tereta od minimalnog do maksimalnog indeksa čeonog otpora. Pri ispitivanju vremena, puta i potrošnje goriva za istu varijantu menja se brzina, visina i režim rada motora pri različitim atmosferskim uslovima koji su standardni ili odstupaju od standardnih. Na taj način dobija se više podataka za istu varijantu, koji se unose u datoteke koje se koriste pri kompjuterskoj optimizaciji.

## 8. Vreme, put i potrošnja goriva pri spuštanju aviona

Vreme, put i potrošnja goriva pri spuštanju aviona određuju se eksperimentalno u zavisnosti od načina spuštanja (instrumentalno ili po krugu), varijante podvešenog tereta, visine i brzine spuštanja, atmosferskih uslova i režima rada motora.

Pri određivanju vremena, puta i potrošnje goriva pri spuštanju najčešće se uzima u obzir varijanta bez podvešenog tereta sa najmanjim indeksom čeonog otpora, jer se smatra da je avion izvršio borbeni zadatak i da je pre spuštanja odbacio sav ubojni teret. Dobijeni podaci unose se u datoteke koje se koriste pri kompjuterskoj optimizaciji. Pri proračunu doleta savremenih borbenih aviona, put pri spuštanju ne uzima se u obzir, jer prilikom leta bez spoljne vidljivosti avion treba da dođe u neposrednu okolinu aerodroma (nosača aviona) pomoću savremenih sredstava za navigaciju, pa tek onda da otpočne spuštanje.

## 9. Srednja potrošnja goriva po kilometru pređenog puta u horizontalnom letu

Srednja potrošnja goriva po kilometru pređenog puta u horizontalnom letu QSM određuje se eksperimentalno u za-

visnosti od mase aviona, brzine i visine leta i varijante podvešenog tereta. Eksperimentalna ispitivanja su obimna, jer postoji zavisnost više parametara, pa ih je potrebno klasifikovati u zavisnosti od cilja ispitivanja.

Ako je cilj ispitivanja da se odredi režim najvećeg doleta, tada se za svaku visinu određuje optimalna brzina leta pri kojoj je najmanja potrošnja goriva po kilometru pređenog puta u funkciji varijante podvešenog tereta (indeksa čeonog otpora) i mase aviona. Optimalna brzina određuje se na svim visinama leta sa određenim razmakom u zavisnosti od indeksa čeonog otpora i mase aviona.

U daljim ispitivanjima optimalna brzina se koristi kao konstantna vrednost za određenu visinu, a vrši se promena visine i određuje se potrošnja goriva po kilometru pređenog puta u horizontalnom letu u zavisnosti od visine, mase aviona i varijante podvesnog tereta.

Pri praktičnim ispitivanjima srednja potrošnja goriva po kilometru pređenog puta određuje se za reперne srednje mase aviona, i svi ostali podaci dobijaju se aproksimacijom i koriste se pri kompjuterskoj optimizaciji.

### Dužina horizontalnog leta

Kada se horizontalni let obavlja sa nepromenjenim indeksom čeonog otpora

(bez odbacivanja podvešenog tereta) tada je njegova dužina:

$$LHL = MGHL/QSM \quad (13)$$

U svim drugim slučajevima dužina horizontalnog leta izračunava se kao zbir određenih etapa horizontalnog leta.

Masa goriva za horizontalni let MGHL dobija se kada se od ukupne mase goriva oduzmu: utrošak goriva na zemlji UGZEM, utrošena masa goriva pri penjanju MPENJ(HPENJ,ICOA), predviđena masa za spuštanje sa određene visine MGSP i predviđena rezerva goriva MGRZ:

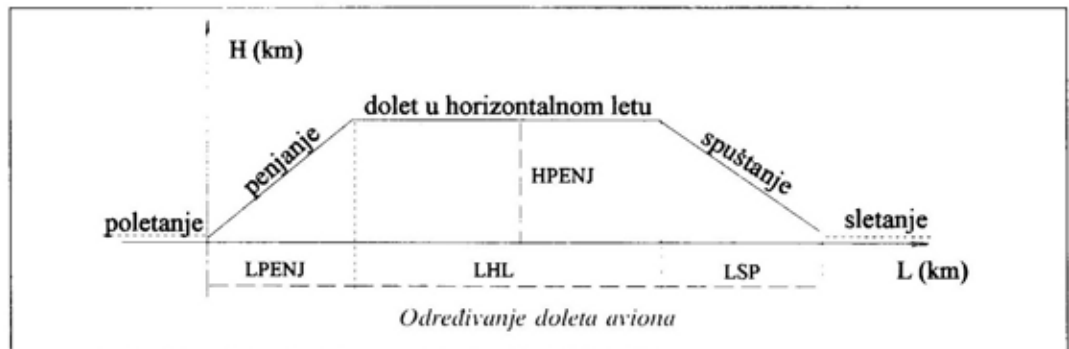
$$MGHL = MGUPP - UGZEM - MPENJ (HPENJ,ICOA) - MGSP - MGRZ \quad (14)$$

### Određivanje ukupnog doleta

Ukupni dolet L predstavlja zbir puteva pri penjanju, pri horizontalnom letu i spuštanju:

$$L = LPENJ (HPENJ,ICOA) + LHL + LSP (HSP) \quad (15)$$

Ukoliko se ne želi računati put spuštanja u ukupni dolet tada se postavljaju odgovarajući uslovi.





## Trajanje horizontalnog leta

Trajanje horizontalnog leta dobija se kao količnik dužine horizontalnog leta i stvarne brzine leta:

$$THL = LHL / VSTV \quad (16)$$

Stvarna brzina horizontalnog leta dobija se prevođenjem optimalne instrumentalne brzine leta, uzimajući u obzir parametre visine horizontalnog leta:

$$V_{stv.} = \frac{V_{inst}}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}} = \frac{V_{inst}}{\sqrt{\delta}} \quad (17)$$

gde je:

$\rho$  – gustina vazduha na nultoj visini pri standardnim atmosferskim uslovima,  
 $\rho_0$  – gustina vazduha na visini horizontalnog leta pri konkretnim atmosferskim uslovima.

Faktor  $\sqrt{\delta}$  uzet je iz ISO Standard atmosvera (Aerodinamika – Rendulić) i kompjuterski učitani kao podatak sa oznakom KORD (HPENJ) u datoteci optimalnih brzina. U tom slučaju stvarna brzina horizontalnog leta izračunava se pomoću sledeće jednačine:

$$VSTV = VOPT (HPENJ,ICOA) / KORD(HPENJ) \quad (18)$$

## Određivanje ukupnog trajanja leta

Ukupno trajanje leta predstavlja zbir vremena leta pri penjanju, pri horizontalnom letu i pri spuštanju:

$$T = TPENJ (HPENJ,ICOA) + THL + TSP(HSP) \quad (19)$$

Ove veličine izračunavaju se za predviđeni dijapazon visina od minimalnog do maksimalnog indeksa čeonog otpora. Izračunate veličine upoređuju se i dobijaju se optimalne u zavisnosti od postavljenih uslova. Takođe, izračunate veličine se upoređuju sa zadatom daljinom i visinom cilja, kao i predviđenim vremenom leta i daje se odgovor da li je zadatak moguće izvršiti ili nije. Ukoliko se ne želi obuhvatiti vreme spuštanja u ukupno vreme trajanja leta, tada se postavlja uslov da je TSP(HSP) = 0. Ukoliko zadatak nije moguće izvršiti, bez odbacivanja podvesnih rezervoara, tada se optimizacija vrši sa mogućnošću odbacivanja podvešenih rezervoara.

## Zaključak

Uvođenjem računara u napadnonavigacijski sistem borbenih aviona omogućen je detaljniji i brži proračun doleta i trajanja leta aviona. Računari omogućavaju vrlo brza saznanja o mogućnostima doleta i trajanja leta aviona, u zavisnosti od vrste podvešenog ubojnog tereta, broja podvešenih rezervoara i napadnonavigacijskog programa i režima leta.

Pošto se na savremene borbene avione ugrađuju hardverski elementi sa velikim mogućnostima, to se, izradom dobrih softver-programa i ugrađivanjem potrebnog broja davača borbenog kompleksa, varijante naoružanja, potrošnje goriva, trenutnog i predviđenog režima leta i varijante punjenja gorivom, može obezbediti da piloti mogu na displej-pokazivaču kontinualno dobijati podatke doleta i trajanja leta aviona. To im daje određenu sigurnost, a ujedno razrešava sve taktičke dileme o mogućnosti izvršenja određenog borbenog zadatka u zavisnosti od varijante podvešenog naoružanja.

nja, varijante podvešenih rezervoara za gorivo (varijante punjenja) i položaja cilja ili aerodroma za prelet.

Pri navedenoj modernizaciji napad-nonavigacijskog sistema postoji realna mogućnost optimizacije doleta i trajanja leta borbenih aviona, tj. kompjutersko određivanje doleta i trajanja leta borbenih aviona, linije presretanja cilja u vazдушnom prostoru ili radijusa borbenog dejstva pri letu aviona po zatom programu sa određenom količinom goriva i sa određenim podvešenim ubojnim sredstvima, ili određivanje mogućnosti izvršenja borbenog zadatka u zavisnosti od varijante punjenja gorivom, varijante naoružanja i položaja cilja.

*Literatura:*

- [1] Dragović, T.: Aerodinamika, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [2] Dragović, T.: Taktičko-tehničke osnove projektovanja letilica, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [3] Rendulić, Z.: Mehanika leta, SSNO, Beograd, 1987.
- [4] Rendulić, Z.: Aerodinamika, SSNO, Beograd, 1984.
- [5] \*\*\*: Naoružanje aviona L-17, RV i PVO, Beograd, 1987.
- [6] Nguven, X. V.: Optimal trajectories in atmospheric flight, Henri House, London, 1981.
- [7] \*\*\*: Jet Transport Performanse Methods, NACA, New York, 1969.
- [8] \*\*\*: Инструкция по расчету дальности и продолжительности полета самолета, ВВ СССР, Москва, 1982.
- [9] Тарасов, В.: Оптимальные режимы полета летательных аппаратов, Машиностроение, Москва, 1963.
- [10] \*\*\*: Metodologija određivanja borbenih sposobnosti vazduhoplova, RV i PVO, Beograd, 1974.
- [11] Байдаков, В. Б., Клумов, А. С.: Аэродинамика и динамика полета летательных аппаратов, Машиностроение, Москва, 1979.

*Rezime:*

*U ovom radu opisan je pristup za izradu ekspertskeg sistema za procenu gubitaka TMS u borbenim dejstvima. Pri proceni gubitaka javlja se veliki stepen neizvesnosti i neodredenosti, zbog čega je korišćen matematički aparat fazi logike. Sistem je lako primenljiv i predviđa veličinu i strukturu gubitaka, što omogućava stručnim licima pravovremenu pripremu operativnog plana održavanja, odnosno predviđanje potrebnih resursa za organizaciju održavanja u određenom periodu.*

*Ključne reči: fazi logika, gubici, održavanje.*

---

FUZZY-EXPERT MODEL FOR EVALUATING EQUIPMENT LOSSES  
IN COMBAT ACTIONS

*Summary:*

*An approach to creating an expert system for evaluating equipment losses in combat actions has been described in this paper. In loss evaluation there is a high degree of uncertainty and ambiguity. Therefore, the mathematical tool-fuzzy-logic has been applied. This easily applicable system anticipates the size and the structure of losses thus enabling the operating maintenance plan to be prepared in due time as well as the anticipation of necessary resources for maintenance organization in a particular period.*

*Key words: fuzzy logic, losses, maintenance.*

---

**Uvod**

Pri izradi operativnog plana održavanja, pored ostalog, načelnik tehničke službe mora imati pregled prosečnih opštih i povratnih gubitaka po stepenima remonta. Međutim, određivanje borbenih gubitaka problem je koji sadrži veliki stepen neodredenosti, neizvesnosti i subjektivnosti. Svaki rat, svaka operacija ili boj vrlo su specifični, a za svaku konkretnu situaciju načelnik TSI mora imati fleksibilan ekspertski sistem za procenu gubitaka. Faziekspertski sistemi rešavaju

ovakvu vrstu problema, a pri izradi ovog sistema konsultovani su eksperti iz ove oblasti, kao i literatura, a važna osobina mu je jednostavnost primene.

Ukupni gubici nazivaju se opšti, a dele se na povratne i nepovratne. Za sredstva koja se po stepenu neispravnosti svrstavaju u povratne gubitke treba postaviti odgovarajuću organizaciju održavanja, prema očekivanom stepenu oštećenja, na laki, srednji ili generalni remont. Neophodno je što tačnije predvideti veličinu i strukturu gubitaka, kako bi se pravovremeno pripremili potrebni resursi

za uspešnu organizaciju održavanja TMS u zadatom vremenskom periodu.

U literaturi [1] dat je pregled prosečnih opštih i povratnih gubitaka po stepenima remonta, pri čemu su oni definisani procentualno. Očigledno je da su to veoma „kruti“ podaci i nema mogućnosti da se dobiju druge vrednosti za različite uslove. Na primer, u odbrambenoj operaciji moguće je da se u prvoj fazi izvodi zadržavajuća odbrana, a u drugoj fazi odsudna odbrana. Može se pretpostaviti da će gubici biti različiti, odnosno da će u odsudnoj odbrani biti veći. Iz toga proizilazi potreba za postojanjem ekspertskeg sistema kojim će se omogućiti dobijanje rezultata u većem rasponu u odnosu na one koji se dobijaju primenom prosečnih gubitaka definisanih u [1], odnosno stvaranje mogućnosti za određivanje obima potrebnih resursa koji mora odgovarati najverovatnijoj veličini gubitaka, a po strukturi mora odgovarati rasponu u kojem se mogu pojaviti pojedine kategorije radova na održavanju. Za svaku konkretnu procenu situacije mogu se dobiti odgovarajući podaci. Rešavanje ovog problema izvodljivo je korišćenjem prosečne konfiguracije personalnog računara, koji koristi svaka jedinica u pripremi i izradi plana TOB-a. Za terenske uslove može se izraditi i tablični prikaz, pošto se radi o tzv. trodimenzionalnim problemima sa dva ulaza i jednim izlazom. Model predstavlja poboljšanje u odnosu na rešenje iz literature [3], što će biti objašnjeno u tekstu.

### Opis modela i rezultata

Koristeći saznanja iz literature [3, 5 i 6] za rešavanje problema upotrebljen je matematički aparat fazi skupova i fazi logike. Za razliku od klasičnog skupa

koji sadrži iste elemente, fazi skup sadrži slične elemente sa određenim stepenom pripadnosti. Osnovni cilj je da se primene ekspertska znanja ili heuristička pravila u formi računarskog programa. Umesto matematičkih promenljivih koriste se lingvističke promenljive. Iskustvo tzv. domen-eksperta, odnosno lica koje izuzetno dobro poznaje zadati problem, predstavljeno je u formi produkcionih pravila AKO-ONDA (engl. IF-THEN). Inženjer koji poznaje fazi logiku i ekspertske sisteme, izrađuje i podešava mehanizam aproksimativnog rezonovanja u kojem je sakriven matematički aparat, a koji domen-ekspert uopšte ne mora da poznaje.

Sa stanovišta domen-eksperta predlaže se da se ovaj problem rešava u nekoliko koraka. Izlazni rezultati svakog od ovih koraka predstavljaju ulaz za sledeći korak u rešavanju problema. Ovakav pristup odgovara hijerarhiji pokazatelja gubitaka i načinu njihovog iskazivanja, jer veličina nepovratnih gubitaka zavisi od veličine opštih gubitaka, a broj sredstava za laki, srednji i generalni remont zavisi od veličine povratnih, odnosno nepovratnih gubitaka, kao i od broja sredstava koja spadaju u svaku od pojedinih kategorija.

Radi ilustracije pristupa problemu razmatran je najviši združeno-taktički sastav KoV-a, u odbrambenim borbenim dejstvima. Proračun se obavlja za veličinu dnevnih gubitaka i njihovu strukturu. Razmatrani su gubici jedne vrste najslabijih tehničkih sredstava.

Za proračune se koristio programski paket Matlab 5.1, odn. njegov Fuzzy Logic Toolbox. U prvom koraku korišćen je metod Sugeno, a kod narednih koraka metod Mamdani [6]. U procesu aproksimativnog rezonovanja korišćen je metod MAKSMIN, a defazifikacija je izvršena

metodom centra gravitacije. Funkcije pripadnosti principijelno su određene konsultacijom sa ekspertima i u skladu sa literaturom [3]. Dograđivanje ovog sistema može se izvoditi podešavanjem i menjanjem rasporeda i oblika funkcija pripadnosti, a da se ekspertska pravila u kojima je lingvistički opisan način donošenja odluke ne menjaju.

### 1. Korak

U ovom koraku veličina opštih gubitaka zavisi od dve ulazne promenljive, a to su odnos snaga i intenzitet borbenih dejstava. Prva ulazna lingvistička promenljiva nazvana je „odnos snaga“, a druga – „intenzitet borbenih dejstava“, što je predstavljeno skraćenicama. Izlazna promenljiva dobila je naziv „opšti gubici“.

Lingvistička promenljiva „intenzitet borbenih dejstava“ predstavljena je sa tri lingvističke vrednosti: „mali“, „srednji“ i „visoki“. Jasno je da je na taj način rečima iskazan intenzitet borbenih dejstava. Znači, intenzitet može biti mali, srednji i visoki, što je odluka domen-eksperta. Ako se intenzitet borbenih dejstava predstavi bročano od 0 do 3, što se naziva interval poverenja, onda ove tri lingvističke vrednosti, sa svojim funkcijama pripadnosti, vrše granulaciju tog intervala (slika 1). Oblik krajnjih funkcija pripadnosti izmenjen je u odnosu na literaturu [3], zbog potrebe da stepen pripadnosti na kraju intervala poverenja bude 0 ili 1 [8]. Funkcije se preklapaju u srednjem delu vrednosti, što znači da taj deo predstavlja „najneodređeniji“ deo raspona. Upravo ta mogućnost pripadanja jedne vrednosti različitim skupovima, a sa određenim stepenom pripadnosti, najveći je kapacitet fazi logičkog aparata.

Lingvistička promenljiva „odnos snaga“ predstavljena je sa tri lingvističke vrednosti: „povoljan“, „nepovoljan“ i „kritičan“. Time je rečima iskazan odnos snaga vlastitih i neprijateljevih jedinica. Pošto je pretpostavka da uvek napada jači neprijatelj, ovde interval poverenja<sup>1</sup> počinje sa vrednošću 0,5. To je moguća situacija u kojoj je branilac dva puta jači, što spada u povoljan odnos snaga. Vrednosti veće od 1 izražavaju odnos pri kojem je neprijatelj jači. Oblik krajnjih funkcija pripadnosti izmenjen je iz istog razloga kao i u prethodnom slučaju.

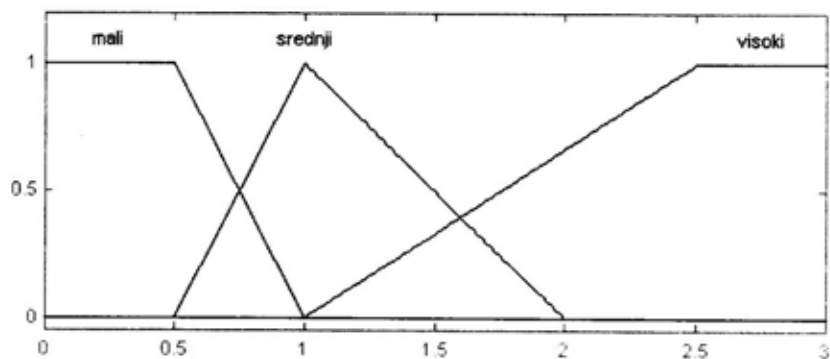
U određivanju oblika i rasporeda funkcija pripadnosti najveće izmene u odnosu na [3] napravljene su kod izlazne lingvističke promenljive. Poznato je da se ne može upravljati celim intervalom poverenja izlazne lingvističke promenljive, ako su joj funkcije pripadnosti fazi skupovi trouglastog oblika [8]. Po zahtevu domen-eksperta rešenja u ovom koraku moraju biti u rasponu od 0 do 50. To je zbog pretpostavke da se jedinica izbacuje iz stroja kada joj gubici dostignu vrednost od 50%. Zbog toga je u modelu primenjen tzv. metod Sugeno, kod kojeg su funkcije pripadnosti konstantne normirane vrednosti. Njihovim rasporedom podešava se potreban raspon, a postepeni prelaz će diktirati ulazne promenljive.

Izlazna promenljiva „opšti gubici“ u modelu je predstavljena sa četiri lingvističke vrednosti, tj. konstantne vrednosti (engl. singleton). One su nazvane: „mali“ za vrednost 0, „srednji“ za vrednost 10, „veliki“ za 35 i „ekstremni“ za 50.

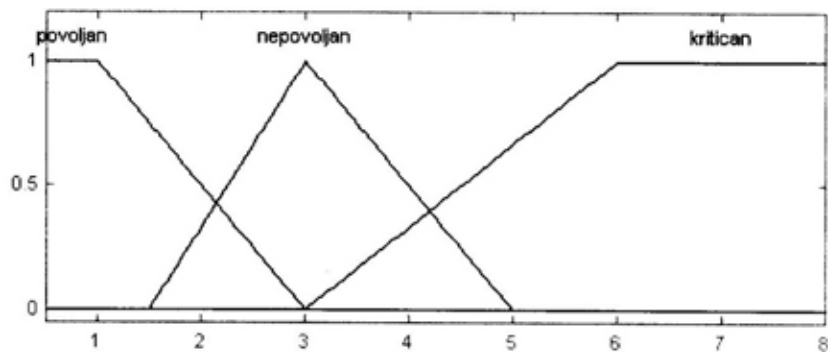
Nakon definisanja ulaznih i izlaznih promenljivih sačinjen je originalni algoritam aproksimativnog rezonovanja<sup>2</sup> u

<sup>1</sup> U literaturi [3] interval poverenja je od 0 do 8.

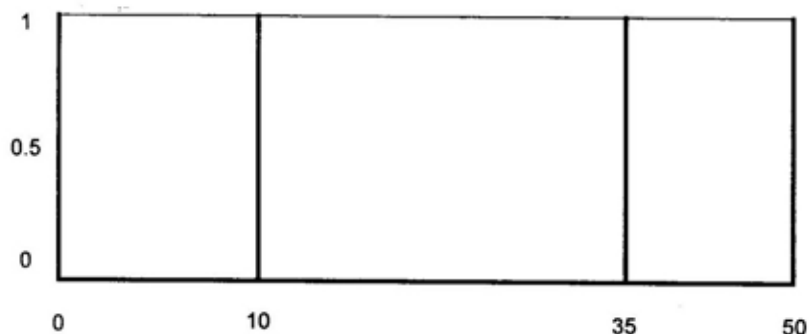
<sup>2</sup> Svi algoritmi koji slede su takode originalni.



Sl. 1 – Funkcije pripadnosti promenljive „intenzitet borbenih dejstava“



Sl. 2 – Funkcije pripadnosti promenljive „odnos snaga“



Sl. 3 – Funkcije pripadnosti izlazne promenljive „opšti gubici“

obliku tzv. ekspertskih pravila AKO-ON-DA. Algoritam predstavlja rečima opisan uticaj ulaznih promenljivih na formiranje izlaznih parametara. Moguće kombinacije dva ulaza sa po tri fazi skupa daju ukupno devet sledećih ekspertskih pravila:

1. AKO JE (int. borb. dejst. mali) I (odn. snaga povoljan) ONDA SU (opšti gubici mali)
2. AKO JE (int. borb. dejst. srednji) I (odn. snaga povoljan) ONDA SU (opšti gubici mali)
3. AKO JE (int. borb. dejst. visoki) I (odn. snaga povoljan) ONDA SU (opšti gubici srednji)
4. AKO JE (int. borb. dejst. mali) I (odn. snaga nepovoljan) ONDA SU (opšti gubici mali)

5. AKO JE (int. borb. dejst. srednji) I (odn. snaga nepovoljan) ONDA SU (opšti gubici srednji)

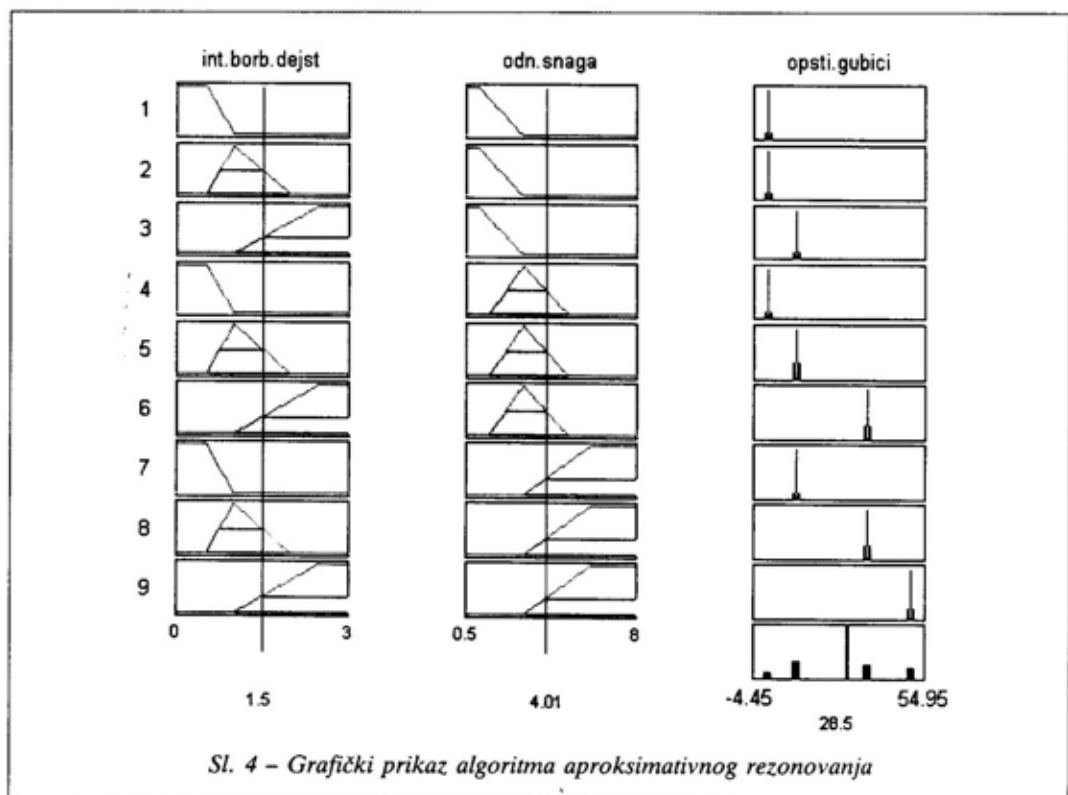
6. AKO JE (int. borb. dejst. visoki) I (odn. snaga nepovoljan) ONDA SU (opšti gubici veliki)

7. AKO JE (int. borb. dejst. mali) I (odn. snaga kritičan) ONDA SU (opšti gubici srednji)

8. AKO JE (int. borb. dejst. srednji) I (odn. snaga kritičan) ONDA SU (opšti gubici veliki)

9. AKO JE (int. borb. dejst. visoki) I (odn. snaga kritičan) ONDA SU (opšti gubici ekstremni)

Za svaku kombinaciju ulaza domen-ekspert je predložio izlaz, odn. zaključak (podvučene reči). Algoritam je dat upravo u obliku kako se piše u grafičkom editoru Matlab, a to su reči svakodnevnog



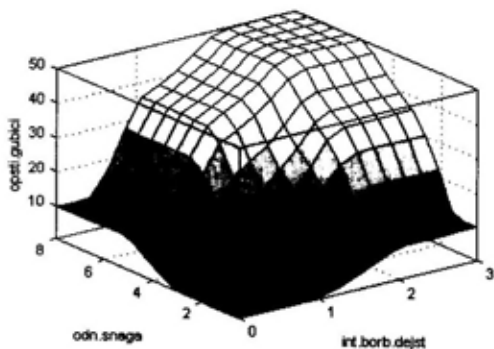
govora kojim bi se ekspert izrazio da usmeno objašnjava rešenje ovog problema. Suština fazi logike je u tome da ekspert koristi neprecizne izraze (povoljan, mali, veliki...) da bi iskazao svoje uopšteno znanje o složenim pojavama. Tako iznesena pravila potpuno su jasna i relevantna za korisnika.

Na slici 4 grafički je prikazan algoritam aproksimativnog rezonovanja na kojem se vidi način dobijanja izlaznog podatka. U konkretnoj situaciji procenjeno je da je intenzitet borbenih dejstava 1,5, a da je neprijatelj četiri puta jači. To su brojevani ulazni podaci. Dve vertikalne linije koje presecaju ulazne fazi skupove simbolizuju proces *fazifikacije*. Šrafirani delovi fazi skupova pokazuju sa kojim stepenom se vrši *agregacija* pojedinih pravila, po metodi MAKS. U trećem redu podebljani delovi vertikalnih linija pokazuju, po metodi MIN, proces *aktivacije* samo pravila br. 5, 6 i 9. U donjem desnom uglu vidi se da je *akumulacija* izvršena sabiranjem podebljanih linija [8].

U procesu *defazifikacije* računa se centar gravitacije, odnosno njegova vrednost na apscisi. Ova brojevana vrednost predstavlja traženi rezultat i predstavlja opšte gubitke od 28,5%. Očito je da su ulazni podaci upravljali programom, jer su aktivirana samo tri pravila, dok bi za neke druge vrednosti ulaza bila aktivirana druga pravila. Ovo je zbog toga što se u fazi logičkim programima radi o paralelnom procesiranju ekspertskih pravila, pa njihov redosled uopšte nije bitan. U ovom slučaju pravila su napisana redosledom samo zbog preglednosti i lakšeg razumevanja njihovog smisla i međusobnog odnosa.

Skup mogućih rešenja prikazan je takođe, grafički na slici 5. Može se videti da se mogući gubici kreću od 0 do 50%,

što je i bio cilj.<sup>3</sup> Kritičkom analizom domen-ekspert na ovoj slici može videti eventualna mesta koja ne odgovaraju njegovim predviđanjima. Na njegov zahtev tada se vrši podešavanje funkcija pripadnosti sa stalnom kontrolom izmene skupa mogućih rešenja.<sup>4</sup> Bitno je da se ne menja rečima iskazani algoritam aproksimativnog rezonovanja.



Sl. 5 – Grafički prikaz skupa mogućih rešenja

U ovom slučaju obavljeno je podešavanje u odnosu na rešenje prikazano u literaturi [3]. Podešeno je da su izlazne vrednosti monotono rastuće, bez većih skokova, u odnosu na porast vrednosti bilo kog ulaza pojedinačno ili oba zajedno. „Plato“ su dobijeni samo kod ekstremnih vrednosti. Vidi se da pri npr. malom intenzitetu borbenih dejstava i kritičnom odnosu snaga opšti gubici ne prelaze vrednost od 10%. Slična je situacija i pri povoljnom odnosu snaga, i visokom intenzitetu borbenih dejstava.

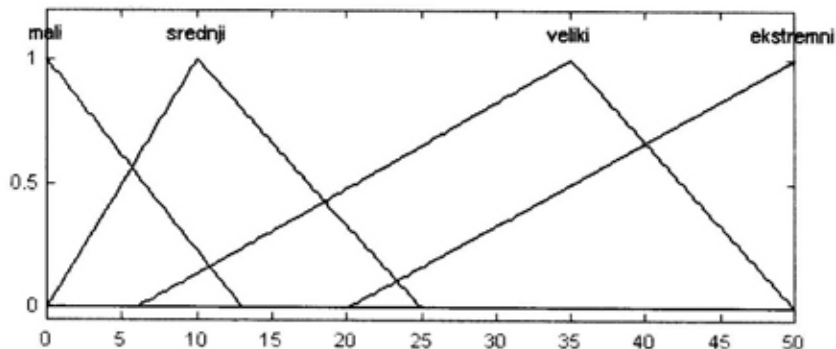
## 2. Korak

Izlazna promenljiva iz prvog koraka u drugom koraku predstavlja prvu ulaznu promenljivu, a to je lingvistička promen-

<sup>3</sup> U literaturi [3] donja granica nije mogla ići ispod 4%, zbog korišćenja Mamdanijevog metoda.

<sup>4</sup> Ove analize se vrše tokom kreiranja ekspertskog sistema, kao i po novim saznanjima o izmenama u realnom sistemu.





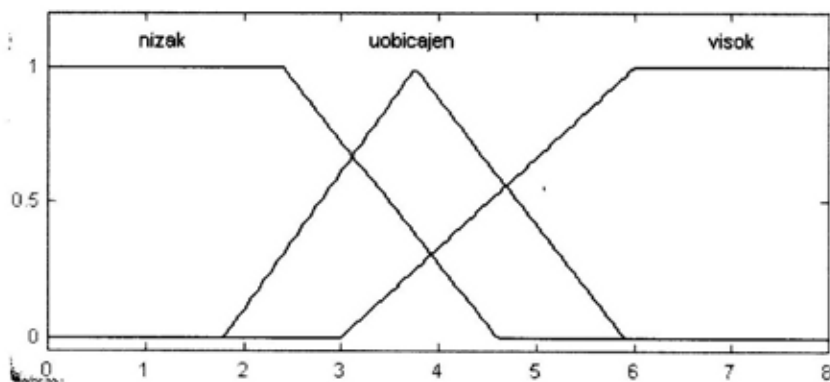
Sl. 6 – Funkcije pripadnosti ulazne promenljive „opšti gubici“

ljiva „opšti gubici“. U ovom i narednim koracima koristi se Mamdanijev metod, pa je oblik funkcija pripadnosti ove promenljive sada trouglast, za razliku od prethodnog koraka. Vidi se da su apscise ekstremnih vrednosti iste kao i kod odgovarajućih konstantnih vrednosti na slici 3. Krajnje funkcije, sa leve i desne strane, izmenjene su u odnosu na literaturu [3].

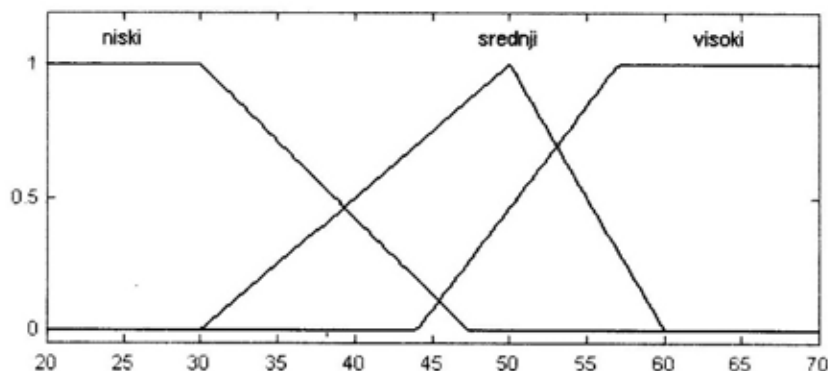
Druga ulazna promenljiva je odnos oružja velike i male moći (oružja velike moći su npr. kalibri preko 100 mm). Odnos oružja velike i male moći računa se prema stvarnim efektima i kvantitativ-

nom stanju u konkretnoj jedinici, a odgovarajuće funkcije pripadnosti prikazane su na slici 7.

Razvijen je specifičan algoritam aproksimativnog rezonovanja, a kao izlazna promenljiva određena je veličina „nepovratni gubici“ (slika 8), koji se, takođe, izražavaju u procentima. Interval poverenja dat je od 20 do 70% zbog zahteva za rasponom koji se mora postići. Algoritam aproksimativnog rezonovanja dat je u obliku kako se unosi u grafički editor. Upoređivanjem sa prethodnim algoritmom lako se može shvatiti značenje svakog pravila.



Sl. 7 – Funkcije pripadnosti promenljive „odnos oružja“



Sl. 8 - Funkcije pripadnosti promenljive „nepovratni gubici“

Algoritam aproksimativnog rezonovanja:

1. If (opsti. gubici is mali) and (odnos. oruzja is nizak) then (nepovratni. gub is niski) (1)

2. If (opsti. gubici is mali) and (odnos. oruzja is uobicajen) then (nepovratni. gub is niski) (1)

3. If (opsti. gubici is mali) and (odnos. oruzja is visok) then (nepovratni. gub is srednji) (1)

4. If (opsti. gubici is srednji) and (odnos. oruzja is nizak) then (nepovratni. gub is niski) (1)

5. If (opsti. gubici is srednji) and (odnos. oruzja is uobicajen) then (nepovratni. gub is srednji) (1)

6. If (opsti. gubici is srednji) and (odnos. oruzja is visok) then (nepovratni. gub is srednji) (1)

7. If (opsti. gubici is veliki) and (odnos. oruzja is nizak) then (nepovratni. gub is srednji) (1)

8. If (opsti. gubici is veliki) and (odnos. oruzja is uobicajen) then (nepovratni. gub is visoki) (1)

9. If (opsti. gubici is veliki) and (odnos. oruzja is visok) then (nepovratni. gub is visoki) (1)

10. If (opsti. gubici is ekstremni) and (odnos. oruzja is nizak) then (nepovratni. gub is srednji) (1)

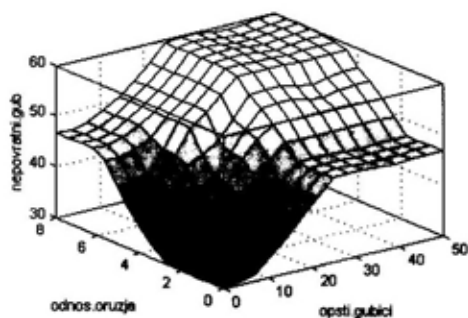
11. If (opsti. gubici is ekstremni) and (odnos. oruzja is uobicajen) then (nepovratni. gub is visoki) (1)

12. If (opsti. gubici is ekstremni) and (odnos. oruzja is visok) then (nepovratni. gub is visoki) (1)

Način na koji je sačinjen ovaj algoritam može se shvatiti ako se pogledaju npr. prvo i zadnje pravilo. Vidi se da prvo pravilo uspostavlja odnos između minimalnih vrednosti ulaza i izlaza, a zadnje pravilo između maksimalnih. Ostala pravila objašnjavaju postepeni prelaz sa minimalnih prema maksimalnim vrednostima.

Grafički prikaz predstavlja rešenje na kojem su izvršena sva podešavanja, što se postiže menjanjem parametara ulaznih i izlaznih promenljivih.

Prema zahtevu podešeno je da se veličina nepovratnih gubitaka može kretati u dijapazonu od 30 do 60%, što se vidi na slici 9. Podešavanje predstavlja najteži deo u procesu izrade ekspertskog sistema, zbog velikog broja parametara koji se mogu menjati.

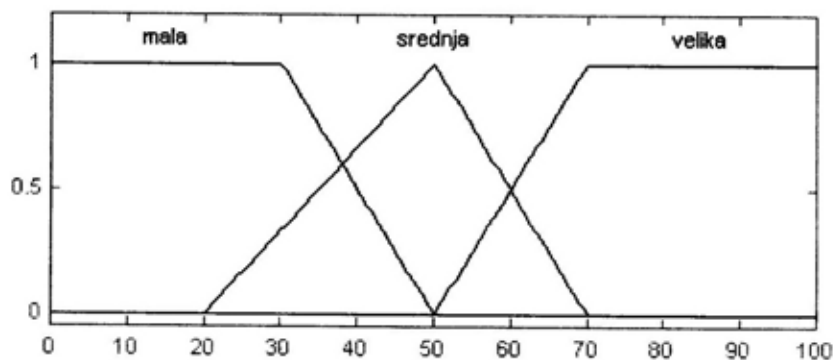


Sl. 9 – Grafički prikaz skupa mogućih rešenja

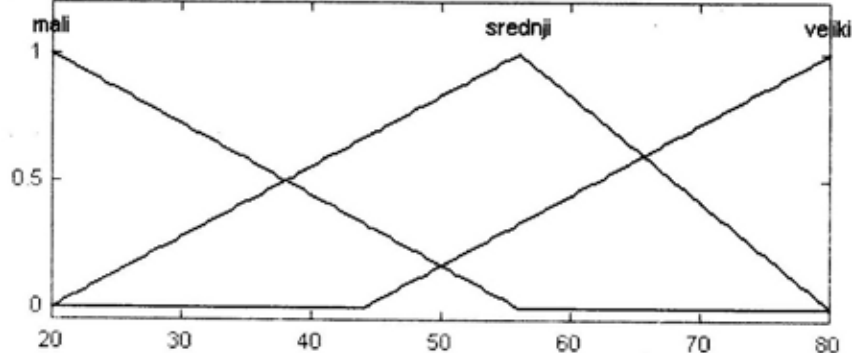
### 3. Korak

Fazilingvistička promenljiva „nepovratni gubici“ predstavlja ulaz u podmodel za proračun broja sredstava za laki

remont, zajedno sa mogućim brojem promenljivih „intervencija“ sistema održavanja, uključujući izvlačenje i evakuaciju težih sredstava. Veličina ove poslednje promenljive procenjuje se na osnovu konkretnog broja vozila za intervenciju i ocena broja tura koje ta vozila mogu da naprave u toku jednog dana. Odgovarajuće funkcije pripadnosti prikazane su na slici 10. Izlazna veličina ovog koraka je procena sredstava za laki remont (slika 11). Procena sredstava na kojima je potrebno izvršiti laki, srednji i generalni remont takođe je određena iz literature, odnosno na osnovu podataka iz dosadašnjih sukoba.



Sl. 10 – Funkcije pripadnosti promenljive „intervencija“



Sl. 11 – Funkcije pripadnosti izlazne varijable „laki remont“

Procenat sredstava za laki remont dobijen je, takođe, na osnovu karakterističnog algoritma aproksimativnog rezonovanja. Algoritam je pravljen tako da je uzeto u obzir da se u ukupnoj količini opštih gubitaka, povratni i nepovratni gubici odnose obrnuto proporcionalno. Radi toga se maksimalna vrednost izlaza dobija ako se primeni treće i drugo pravilo, a minimalna ako se primeni sedmo i osmo pravilo.

Algoritam aproksimativnog rezonovanja za treći korak:

1. If (nepov. gubici is niski) and (intervencija is mala) then (laki. remont is srednji) (1)

2. If (nepov. gubici is niski) and (intervencija is srednja) then (laki. remont is veliki) (1)

3. If (nepov. gubici is niski) and (intervencija is velika) then (laki. remont is veliki) (1)

4. If (nepov. gubici is srednji) and (intervencija is mala) then (laki. remont is srednji) (1)

5. If (nepov. gubici is srednji) and (intervencija is srednja) then (laki. remont is srednji) (1)

6. If (nepov. gubici is srednji) and (intervencija is velika) then (laki. remont is veliki) (1)

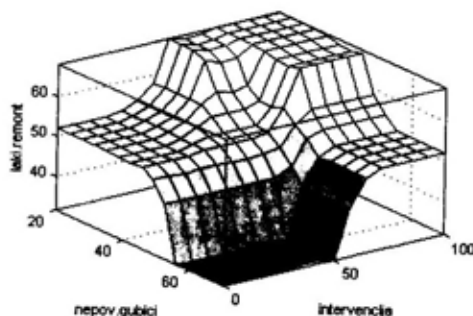
7. If (nepov. gubici is visoki) and (intervencija is mala) then (laki. remont is mali) (1)

8. If (nepov. gubici is visoki) and (intervencija is srednja) then (laki. remont is mali) (1)

9. If (nepov. gubici is visoki) and (intervencija is velika) then (laki. remont is srednji) (1)

Rezultati računanja na ovom podmodelu podešeni su tako da se procenat sredstava za laki remont kreće u granicama od 30 do 70%. To se veoma dobro

vidi na grafičkom prikazu skupa mogućih rešenja, koji je prikazan na slici 12. Zbog boljeg pregleda slika je zaokrenuta za 180° tako da je sada ishodište sa koordinatama (0, 70, 30), umesto sa koordinatama (0, 20, 30).



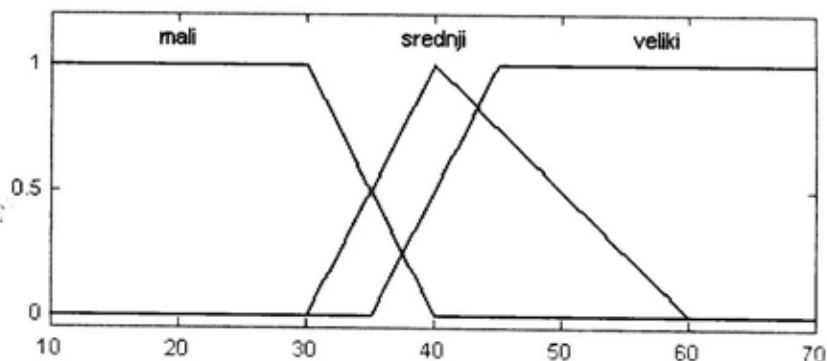
Sl. 12 – Grafički prikaz mogućih rešenja

#### 4. Korak

„Nepovratni gubici“ i „laki remont“ predstavljaju ulazne promenljive u podmodel za određivanje procenta sredstava za srednji remont. I u ovom slučaju razvijen je specifičan algoritam aproksimativnog rezonovanja. Odgovarajuće funkcije pripadnosti izlazne varijable „srednji remont“ prikazane su na slici 13. Procenat sredstava na kojima postoji mogućnost izvršenja srednjeg remonta kreće se od 25 do 55%. Podešavanje funkcija pripadnosti izvršeno je na isti način kao i kod prethodnih slučajeva. Inače, ovo je korak sa najslabijim algoritmom, koji se zbog ograničenog prostora neće navoditi i obrazlagati.

#### 5. Korak

Broj sredstava za generalni remont dobija se kao razlika veličina povratnih gubitaka i broja sredstava za srednji i laki



Sl. 13 – Funkcije pripadnosti izlazne varijable „srednji remont“

remont. Kada se to izračuna dobija se raspon vrednosti od 4,5 do 17%.

### Zaključak

U radu je prikazan ekspertski sistem za procenu gubitaka tehničko-materijalnih sredstava u borbenim dejstvima, kreiran upotrebom fazilogičkog pristupa, ekspertskih znanja i podataka iz literature. Glavna osobina modela je njegova modularnost, što omogućava neposrednu ugradnju u ekspertski sistem za rešavanje zadataka tehničkog obezbeđenja u borbenim dejstvima.

Korišćenjem novije programske podrške i novih metoda fazi logike omogućeno je poboljšanje do sada urađenih modela. Model se može dograđivati u smislu podešavanja funkcija pripadnosti i povećanja broja ulaznih varijabli. Ovakav način rešavanja problema pokazuje da se

može izraditi prilično dobar aparat za potrebe optimalnog održavanja, a koji treba verifikovati da bi se koristio.

### Literatura:

- [1] Gubici i popuna, COSIS, Beograd, 1990.
- [2] Operativni zadatak PDS TOB – Plan TOB-a odbrambene operacije korpusa KoV, VTA VJ, Beograd, 2000.
- [3] Stanojević, P. i ostali: Fazi model određivanja broja neispravnih sredstava i minimalnih resursa za održavanje u posebnim uslovima eksploatacije, SYMOPIS 95, Donji Milanovac, 1995.
- [4] Ivanović, V.: Uticaj pojedinih oružja na procenu gubitaka u ratu, Novi glasnik 3–4, Beograd, 1994.
- [5] Siler, W.: Building fuzzy expert systems – a manual and flops (expert system shell) Southern Dynamic Systems, Inc. Birmingham, 1997. [www.users.aol.com/wsiler/manual.exe](http://www.users.aol.com/wsiler/manual.exe) i [www.users.aol.com/fuzzify/flpsdemo.exe](http://www.users.aol.com/fuzzify/flpsdemo.exe)
- [6] Fazi logic toolbox for use with matlab, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com) (januar 2000)
- [7] Fazi logic tutorial, [www.seattlerobotics.org/microcontroller](http://www.seattlerobotics.org/microcontroller) (januar 2000)
- [8] Fazi control course on Internet, Jan Jantzen [www.iau.dtu.dk](http://www.iau.dtu.dk) (januar 2000)
- [9] Subašić, P.: Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, Beograd, 1997.
- [10] Fazi logic, Thomas Hintze, [www.gmx.de](http://www.gmx.de) (januar 2000)
- [11] Fazi logic, [www.cs.cmu.edu](http://www.cs.cmu.edu) (januar 2000)

**Dejan Živković,**  
dipl. inž.  
**Prof. dr sc. med.**  
**Miroslav Hrnjak,**  
pukovnik  
**Gradimir Basarić,**  
dipl. inž.  
**Nebojša Pešić,**  
el. tehničar  
Institut za medicinu rada ZPM VMA,  
Beograd

## **BUKA, INFRAZVUK I ULTRAZVUK KOD HELIKOPTERA**

UDC: 613.644:623.796.174

### *Rezime:*

*U ovom radu prikazani su izmereni ukupni nivoi buke, kao i frekventna analiza buke, infrazvuka i ultrazvuka na mestima članova posade u dva tipa helikoptera za vreme leta i kod mehaničara oko istih helikoptera na stajanci. Rezultati merenja pokazali su da ukupni nivoi buke (92 dB(A) do 113 dB(A)) i oktavni nivoi zvučnog pritiska, u posmatranim režimima rada motora helikoptera, prelaze dopuštene nivoe. Spektralnom analizom infrazvuka utvrđeno je da on ne prelazi dopuštene nivoe u posmatranim frekvencijskim opsezima. Spektralnom analizom ultrazvuka utvrđeno je da kod drugog tipa helikoptera izmereni nivo u trećinskooktavnom opsegu sa središnjom frekvencijom od 20 kHz, prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB koja je određena za neprekidno izlaganje radnika u trajanju od 8 sati.*

*Ključne reči: buka, infrazvuk, ultrazvuk, dejstvo na čoveka, posada helikoptera, aviomehaničari, helikopteri, zaštita od buke.*

---

## **NOISE, INFRASOUND AND ULTRASOUND IN TWO TYPES OF HELICOPTERS**

### *Summary:*

*The aim of work was to measure the entire noise level and to accomplish the octave analysis as well as to measure ultrasound and infrasound levels inside and around two types of helicopters. The results of measurement showed that the entire noise levels (92 dB(A) – 113 dB(A)) and octave sound level pressures in the observed work regimes of helicopter motors exceed the permissible levels. The spectrum analysis of infrasound showed that it does not exceed the permissible levels in any octave band. The spectrum analysis of ultrasound showed it exceeds the permissible level only in the third octave band with the mid frequency of 20 kHz around the second type of helicopter.*

*Key words: noise, infrasound, ultrasound, effects on man, aircrew, aviomechanics, helicopters, protection against noise.*

---

### **Uvod**

Posade helikoptera, kao i osoblje koje održava helikoptere, izloženi su kontinualnoj buci čiji su nivoi mnogo iznad nivoa koji mogu izazvati oštećenje čula sluha. Za pogon helikoptera primenjuju se klipni i mlazni motori. Najpogodniji su motori sa unutrašnjim sagorevanjem kod kojih toplotna energija može da se

pretvori u mehanički rad preko rotora ili elise, ili u kinetičku energiju pogonskog mlaza sagorelih gasova [1].

U radu su razmatrani buka, ultrazvuk i infrazvuk koji se javljaju kod dva tipa helikoptera sa turbomlaznim motorima za vreme leta i deluju na posadu helikoptera (kod prvog tipa helikoptera dva motora, a kod drugog tipa jedan motor). Dobra čujnost je vrlo važna za

## Oprema i metode istraživanja

pilota i posadu helikoptera, jer pored dobijanja informacija vizuelnim putem i auditivne informacije predstavljaju najveću pomoć u bezbednom letenju. Kod helikoptera buku stvaraju pogonska grupa, rotor i repna elisa, kao i reduktori. U ukupnom spektru buke dominantna je buka rotora čiji je maksimum oko ose obrtanja, tako da se može reći da dominiraju niskofrekventne komponente (0 do 250 Hz), dok u oblasti srednjih frekvencija (300 do 4000 Hz) dominira buka koja potiče od reduktora [1, 2]. Dalji izvori buke su željeni i neželjeni signali koji potiču iz komunikacionih sistema. Svakako da treba uzeti u obzir i razne zvučne upozoravajuće signale, a ovaj problem dodatno uvećava i buka koja se javlja pri korišćenju naoružanja.

U radu su dalje razmatrani isti parametri na stajanci oko posmatranih tipova helikoptera, a pri tome deluju na pripadnike službe održavanja helikoptera na stajanci. Stajanka je otvoreni prostor različitih dimenzija, travnat ili popločen betonskim pločama, na kojem se obavlja popuna helikoptera gorivom i odgovarajući pregledi adekvatno postojećim propisima. Pregledima se utvrđuje ispravnost i sposobnost helikoptera za neposredno izvršenje letačkog zadatka. Treba istaći da polje spoljašnje buke helikoptera čini kombinacija buke rotora i izduvne cevi motora. Helikopteri, odnosno njihovi motori, stvaraju vrlo neprijatnu buku za ljude na stajankama, jer rade na malim brojevima obrtaja i lete na maloj visini, pa tako ostaju čujni u dužem vremenskom periodu [1, 2, 3].

Lica koja rade na radnim mestima koja su u ovom radu analizirana podležu periodičnim pregledima zdravstvenog stanja, naročito audiometrijskoj kontroli (kontroli sluha).

Za merenje ukupnog nivoa buke korišćen je modularni precizni merač nivoa zvuka tip 2231, sa oktavnim filterom tipa 1625. Merenje ukupnog nivoa buke obavljano je na radnim mestima članova posade za vreme leta, i pri različitim režimima rada motora ispitivanih tipova helikoptera, kao i na radnim mestima aviomehaničara oko helikoptera pri različitim režimima rada motora, i to: kod agregata za „zapuštanje“ (startovanje) motora helikoptera, uz helikoptere – kod uvodnika, na rastojanjima 5 m, 10 m i 15 m ispred helikoptera. Tamo gde su radni uslovi dozvoljavali urađena je oktavna analiza nivoa zvučnog pritiska.

Za određivanje ekvivalentnog nivoa ( $L_{eq}$  – nivo stalne buke koji nosi podjednaku zvučnu energiju kao promenljiva buka u posmatranom vremenskom intervalu) korišćene su metode lične dozimetrije i statističke analize, što znači da je ekvivalentni nivo buke određen na dva načina: uz korišćenje ličnih dozimetara za buku tipa 4434 sa mikrofonom tipa 4130, i/ili uz korišćenje mernog lanca koji se sastojao od mikrofona tipa 4165, pretpojačavača tipa 2619 i statističkog analizatora nivoa zvuka tipa 4426. Navedene dozimetre su za vreme redovne aktivnosti nosili aviomehaničari ili piloti, tako da su mikrofoni iz kompleta postavljeni na štitnike protiv buke i nalazili se oko 20 cm od uha. Dozimetri su bili u režimu „Cal“. Statističke analize rađene su u helikopterima i na stajankama.

Merenja buke obavljana su na način koji propisuje Pravilnik [4]. Prema njemu je vršeno i normiranje, a korišćen je kriterijum – dopušteni nivo s obzirom na vrstu delatnosti (tabela 1 Pravilnika), dok

Izmereni nivoi buke kod helikoptera pri različitim režimima rada motora

Red. br.	Mesto merenja	Izvor buke	Nivo buke u dB (A)		Oktavni nivoi zvučnog pritiska (dB)								
			Izmereni	Dopušteni	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	Kod helikoptera prvog tipa na stajanci: - kod mehaničara između agregata za startovanje motora i helikoptera	rad agregata i pomoćnog motora helikoptera	106-108	75	97	91	96	98	99	99	99	95	94
2.	- kod mehaničara uz helikopter, kod uvoznika sa leve strane	levi motor na malom gasu i rad pomoćnog motora	110	75									
3.	- kod mehaničara uz helikopter, kod uvoznika sa leve strane	levi i desni motor na malom gasu	113	75	104	110	111	109	103	102	105	102	103
4.	- kod mehaničara na 10 m ispred helikoptera	desni motor u korekciji i levi na malom gasu	109	75	104	110	109	108	104	104	106	104	105
5.	U helikopteru prvog tipa: - kod pilota	rad dva motora u režimu korekcije	98-100	70	79	93	98	96	89	88	88	86	81
6.	- kod aviomehaničara iza pilota	rad dva motora u režimu korekcije	99-101	70									
7.	- kod pilota	rad dva motora u režimu punog gasa	100-102	70									
8.	- kod aviomehaničara iza pilota	rad dva motora u režimu punog gasa	102-104	70	79	99	104	102	93	91	89	87	83
9.	- kod pilota	rad dva motora u režimu malog gasa (pri sletanju)	92-94	70									
10.	- kod aviomehaničara iza pilota	rad dva motora u režimu malog gasa (pri sletanju)	95-97	70									



Red. br.	Mesto merjenja	Izvor buke	Nivo buke u dB (A)		Oktavni nivoi zvučnog pritiska (dB)								
			Izmereni	Dopušteni	31,5	63	125	250	500	1	2	4	8
					Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	kHz	kHz	kHz	kHz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11.	Kod helikoptera drugog tipa na stajanci: - kod aviomehaničara kod helikoptera	rad motora helikoptera na malom gasu	97-99	75	90	88	83	85	89	96	92	93	95
12.	- kod aviomehaničara kod motora helikoptera	rad motora helikoptera u režimu kvačenja	98-103	75	97	94	93	98	97	96	98	97	96
13.	- kod aviomehaničara kod helikoptera	motor na 43000 o/min. i rotor na 387 o/min.	122	75									
14.	- kod aviomehaničara na 5 m ispred helikoptera	motor na 43000 o/min. i rotor na 387 o/min.	101-105	75									
15.	- kod aviomehaničara na 15 m ispred helikoptera	rad motora i rotora pri uzletanju helikoptera	100-103	75	99	99	93	94	95	97	97	96	95
16.	- kod aviomehaničara na 10 m ispred dva helikoptera	zapuštanje motora dva helikoptera	88	75									
17.	U helikopteru drugog tipa: - kod pilota	rad motora helikoptera na malom gasu	94	70									
18.	- kod pilota	motor na 43000 o/min. i rotor na 387 o/min.	96-97	70									

Osećena polja predstavljaju oktavne pojaseve u kojima je došlo do prekoračenja nivoa zvučnog pritiska

su za oktavnu analizu korišćene vrednosti nivoa zvučnog pritiska u oktavnim pojasevima (tabela 4 Pravilnika).

Snimanje infrazvuka i ultrazvuka obavlja se na stajanci na udaljenosti 15 m ispred helikoptera, kao i u helikopterima (kod mehaničara iza pilotske kabine prvog tipa helikoptera i kod pilota drugog tipa helikoptera). Za snimanje infrazvuka korišćeni su: mikrofoni tipa 4165, precizni impulсни merač nivoa zvuka tipa 2204 i magnetofon tipa 7003. Za snimanje ultrazvuka korišćeni su: mikrofoni tipa 4135, precizni impulсни merač nivoa zvuka tipa 2209 i magnetofon tipa 7006. Za analizu snimljenih uzoraka u oba slučaja korišćen je digitalni frekventni analizator nivoa zvuka tipa 2131.

Za normiranje dobijenih rezultata spektralne analize infrazvuka korišćene su, pošto nema drugih standarda za infrazvuk, sovjetske norme za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku iz 1980. godine, a one iznose 105 dB za sve centralne frekvencije posmatranih oktavnih pojaseva [5]. Za normiranje dobijenih rezultata spektralne analize ultrazvuka korišćene su norme iz Privremenog uputstva o granicama ekspozicije ljudi ultra-

zvuku iz vazduha koji je propisao Međunarodni komitet za nejonizujuće zračenje (INIRC) Međunarodnog udruženja za zaštitu od zračenja (IRPA) iz 1984. godine [6]. Prema ovom uputstvu dopušteni nivoi ultrazvuka su: 75 dB za trećinskooktavni opseg sa centralnom frekvencijom od 20 kHz, a za ostale frekvencije ove vrednosti su 110 dB. Ove vrednosti su definisane za izlaganje zaposlenih ultrazvuku za osmočasovno radno vreme.

Svi navedeni uređaji proizvodi su firme Briel & Kjaer (Danska).

### Rezultati istraživanja

Izmereni ukupni nivoi buke u toku zapaštanja i različitih režima rada motora helikoptera prikazani su u tabeli 1. Može se uočiti da izmereni ukupni nivoi buke prelaze dopuštene nivoe od 70 dB(A) i 75 dB(A) koji su određeni s obzirom na vrstu delatnosti i odnos članova posade helikoptera i pripadnika službe održavanja prema izboru buke. Spektralnom analizom je utvrđeno da oktavni nivoi zvučnog pritiska u navedenim režimima rada motora uglavnom znatno prelaze dopuštene vrednosti određene normativnim krivama N-65 i N-70 u oktavnim opsezima sa centralnim frekvencijama u opsegu od 63 Hz do 8 kHz. Izmereni ukupni nivoi buke prelaze i nivo od 85 dB(A), koji je u navedenom pravilniku definisan kao najviši dopušteni nivo za izlaganje buci sa aspekta zaštite sluha od oštećenja.

U tabeli 2 prikazane su vrednosti očitane na ličnim dozimetrima buke, koje su u toku aktivnosti nosili aviomehaničari na stajanci oko posmatranih tipova helikoptera. U tabelama su dati i ekvivalentni nivoi buke kojima su oni izloženi. Ovi nivoi dobijeni su očitavanjem sa odgovarajućih nomograma za „Cal“ režim za

Tabela 2

Ekvivalentni nivoi buke

Red. br.	Nosilac	Očitana vrednost na instrumentu	Leq dB(A)
Kod prvog tipa helikoptera			
1.	Aviomehaničar 1	5937 p*	111
2.	Aviomehaničar 2	5042 p*	109
Kod drugog tipa helikoptera			
1.	Aviomehaničar 1	6900 p*	105
2.	Aviomehaničar 2	6342 p*	104

\* - upozorenje da je nosilac dozimetra izložen buci čiji nivo povremeno premašuje 115 dB(A)

p - nivo buke povremeno premašuje 140 dB

posmatrani vremenski interval od 10 minuta (prvi tip helikoptera) i za „Cal“ režim za posmatrani vremenski interval od 25 minuta (drugi tip helikoptera).

U tabeli 3 prikazana je vrednost očitana na ličnim dozimetrima koje su za vreme leta nosili: kod prvog tipa helikoptera aviomehaničar, a kod drugog tipa helikoptera pilot. U tabelama su dati i ekvivalentni nivoi buke kojima su oni izloženi. Ovi nivoi dobijeni su očitavanjem sa odgovarajućih nomograma za „Cal“ režim za posmatrane vremenske intervale od 110 minuta (kod prvog helikoptera) i za „Cal“ režim za posmatrani vremenski interval od 57 minuta (kod drugog helikoptera).

Tabela 3

Ekvivalentni nivo buke u toku leta

Red. br.	Nosilac	Očitana vrednost na instrumentu	Leq dB(A)
Kod prvog tipa helikoptera			
1.	Aviomehaničar	6900 p*	94
Kod drugog tipa helikoptera			
1.	Pilot	6900 p*	96

\* - upozorenje da je nosilac dozimetra izložen buci čiji nivo povremeno premašuje 115 dB(A)

p - nivo buke povremeno premašuje 140 dB

Statistička analiza rađena je na stajankama kod helikoptera i u helikopterima. Statističke analize buke na stajankama obuhvatale su sledeće aktivnosti: rad agregata za zapaštanje motora helikoptera, rad motora helikoptera i poletanje helikoptera sa stajanke.

Statistička analiza kod prvog tipa helikoptera rađena je na 10 m ispred helikoptera na stajanci. Iz zapisa ove statističke analize može se videti sledeće:

$S = 3531$  – broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1 s),

$L_1 = 109,5$  dB(A),  $L_5 = 104,5$  dB(A),  
 $L_{10} = 101,5$  dB(A),

$L_{50} = 88,8$  dB(A),  $L_{90} = 85,0$  dB(A),  
 $L_{95} = 83,8$  dB(A),

$L_{99} = 64,3$  dB(A) i  $Leq_1 = 97,8$  dB(A)

$L_N$  – nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda.

Statistička analiza kod drugog tipa helikoptera rađena je na 15 m ispred helikoptera, a iz zapisa ove statističke analize može se videti sledeće:

$S = 13184$  – broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1 s),

$L_1 = 101,0$  dB(A),  $L_{10} = 98,0$  dB(A),  
 $L_{50} = 70,0$  dB(A),

$L_{90} = 56,3$  dB(A),  $L_{95} = 56,3$  dB(A),  
 $L_{99} = 56,3$  dB(A),

i  $Leq_2 = 90,9$  dB(A)

$L_N$  – nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda.

Ekvivalentni nivoi buke ( $Leq_1$  i  $Leq_2$ ) prelaze dopušteni nivo od 75 dB(A), s obzirom na vrstu delatnosti.

Statističkim analizama u helikopterima obuhvaćene su sledeće aktivnosti: zapaštanje motora helikoptera, rad motora helikoptera, poletanje helikoptera sa stajanke, let i sletanje helikoptera na stajanku.

Iz zapisa statističke analize kod prvog tipa helikoptera sledi:

$S = 39513$  – broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1 s),

$L_1 = 96$  dB(A),  $L_5 = 96,2$  dB(A),  
 $L_{10} = 94,5$  dB(A),

$L_{50} = 93,5$  dB(A),  $L_{90} = 92,5$  dB(A),  
 $L_{95} = 90,5$  dB(A),

$L_{99} = 88,3$  dB(A) i  $Leq_3 = 93,3$  dB(A)

$L_N$  – nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda.

Tabela 4

## Spektralna analiza infrazvuka na stajanci

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Oktavni nivoi infrazvuka (dB)		
		4 Hz	8 Hz	16 Hz
Kod prvog tipa helikoptera				
1.	Levi na malom gasu i rad pomoćnog motora	74,3	75,4	70,9
2.	Levi i desni na malom gasu	79,3	86,4	87
3.	Desni u korekciji i levi na malom gasu	100,4	102,9	102,1
4.	Desni i levi motor u režimu punog gasa	101,9	103,2	103,6
Kod drugog tipa helikoptera				
1.	Motor na malom gasu	85,3	83,4	80,9
2.	Motor na 43000 o/min i rotor na 387 o/min	90,9	84,1	82,3
3.	Rad motora i rotora pri uzletanju helikoptera	97,9	90,0	89,4

Iz zapisa statističke analize kod drugog tipa helikoptera može se videti sledeće:

$S = 34284$  – broj uzoraka (vreme uzorkovanja 0,1 s),

$L_1 = 97,5$  dB(A),  $L_5 = 97$  dB(A),

$L_{10} = 96,1$  dB(A),

$L_{50} = 95,4$  dB(A),  $L_{90} = 94,5$  dB(A),

$L_{95} = 93,2$  dB(A),

$L_{99} = 91,3$  dB(A) i  $Leq_4 = 95,1$  dB(A)

$L_N$  – nivo buke premašen u N procenata posmatranog vremenskog perioda.

Ekvivalentni nivoi buke ( $Leq_3$  i  $Leq_4$ ) prelaze dopušteni nivo od 75 dB(A), s obzirom na vrstu delatnosti.

Snimanje infrazvuka i ultrazvuka obavljeno je na stajanci na 15 m ispred helikoptera i u helikopterima.

Analizom materijala, snimljenog na magnetofonu tipa 7003 na stajanci na 15 m ispred oba tipa helikoptera, na digitalnom frekventnom analizatoru tipa 2131, dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 4 (za infrazvuk) i tabeli 5 (za ultrazvuk).

Na osnovu rezultata spektralnih analiza infrazvuka (tabela 4) može se zaključiti da izmereni oktavni nivoi infrazvuka kod ovih helikoptera ni u jednom oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena kao granica za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku [5].

Iz tabele 5 sledi da izmereni nivoi ultrazvuka kod prvog tipa helikoptera ni u jednom trećinskooktavnom opsegu ne

Tabela 5

## Spektralna analiza ultrazvuka na stajanci

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Trećinskooktavni nivoi ultrazvuka (dB)					
		20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz	50 kHz	63 kHz
Kod prvog tipa helikoptera							
1.	Levi i desni na malom gasu	66,4	64,1	60,3	60,7	63,1	2,1
2.	Desni u korekciji i levi na malom gasu	70,6	68,2	64,6	63,3	64,6	63,2
3.	Desni i levi motor u režimu punog gasa	72,9	68,4	64,4	64,0	63,4	62,3
Kod drugog tipa helikoptera							
1.	Motor na malom gasu	85,7	84,1	82,3	80,3	78,3	72,8
2.	Motor na 43000 o/min i rotor na 387 o/min	910,0	86,0	84,9	83,3	79,8	76,1
3.	Rad motora i rotora pri uzletanju	103	101	97,7	93,9	86,2	79,2

Spektralna analiza infrazvuka u helikopterima u toku leta

prelaze dopuštene nivoe koji su određeni za neprekidno izlaganje radnika u trajanju od 8 sati, dok kod drugog tipa helikoptera izmereni nivo ultrazvuka samo u trećinskooktavnom opsegu (sa središnjom frekvencijom od 20 kHz) prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB koja je određena za neprekidno izlaganje radnika u trajanju od 8 sati [6].

Snimanje infrazvuka i ultrazvuka vršeno je i u helikopterima (kod mehaničara iza pilotske kabine kod prvog tipa helikoptera i kod pilota drugog tipa helikoptera).

Analizom snimljenog materijala dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 6 (za infrazvuk) i tabeli 7 (za ultrazvuk).

Na osnovu rezultata spektralnih analiza infrazvuka, prikazanim u tabeli 6, može se zaključiti da izmereni oktavni nivoe infrazvuka kod ovog tipa helikoptera ni u jednom oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora helikoptera ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku [5].

Na osnovu rezultata spektralne analize ultrazvuka prikazanim u tabeli 7 utvrđeno je da samo kod drugog tipa

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Oktavni nivoe infrazvuka (dB)		
		4 Hz	8 Hz	16 Hz
Kod prvog tipa helikoptera				
1.	Levi na malom gasu i rad pomoćnog motora	71,2	75,4	78,0
2.	Desni u korekciji i levi na malom gasu	91,0	93,4	94,1
3.	Desni i levi motor u režimu punog gasa	92,7	95,6	98,2
Kod drugog tipa helikoptera				
1.	Motor na malom gasu	86,3	85,4	83,2
2.	Motor na 43000 o/min i rotor na 387 o/min	95,9	90,1	88,7
3.	Rad motora i rotora pri uzletanju helikoptera	101,6	98,1	96,4

helikoptera, jedino u trećinskooktavnom opsegu sa središnjom frekvencijom od 20 kHz, on prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB koja je određena za neprekidno izlaganje radnika u trajanju od 8 sati [6].

### Mere za smanjenje uticaja buke

Iz rezultata merenja može se uočiti da buka helikoptera prelazi dopuštene

Tabela 7

Spektralna analiza ultrazvuka u helikopterima u toku leta

Red. br.	Režim rada motora helikoptera	Trećinskooktavni nivoe ultrazvuka (dB)					
		20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz	50 kHz	63 kHz
Kod prvog tipa helikoptera							
1.	Levi i desni na malom gasu	58,6	58,2	56,4	57,2	59,3	57,4
2.	Desni u korekciji levi na malom gasu	64,8	63,1	59,2	58,6	59,0	58,9
3.	Desni i levi motor u režimu punog gasa	68,9	66,7	62,7	61,8	59,9	59,5
Kod drugog tipa helikoptera							
1.	Motor na malom gasu	91,3	90,1	89,3	88,3	86,3	81,3
2.	Motor na 43000 o/min i rotor na 387 o/min	99,6	96,3	92,5	93,3	87,8	83,8
3.	Rad motora i rotora pri uzletanju	105,8	103,7	101,2	99,2	95,1	90,3

nivo. Infrazvuk kod ovih tipova helikoptera ne prelazi dopuštene nivo u posmatranim frekvencijskim opsezima. Spektralnom analizom ultrazvuka kod ovih tipova helikoptera utvrđeno je da on kod drugog tipa helikoptera samo u trećinskooktavnom opsegu sa središnjom frekvencijom od 20 kHz prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB, koja je određena za neprekidno izlaganje radnika u trajanju od 8 sati.

Buka koju stvaraju helikopteri može se smanjiti na više načina, u zavisnosti od toga da li se teži smanjenju buke na samom izvoru ili se želi smanjiti buka preko zaštitnih mera na mestu njenog prijema. Pošto najveći udeo u analiziranoj buci potiče od motora helikoptera, tj. njegovih pojedinih sklopova, glavni pravci za smanjenje buke usmerili bi se na motor, a mogu biti aktivni ili pasivni.

Pod aktivnim postupcima podrazumevaju se oni koji su preduzeti pri samom projektovanju pojedinih sklopova motora. Kod helikoptera se, na primer, sma-

njenje buke rotora može ostvariti smanjenjem brzine obrtanja vrhova krakova rotora.

Pasivne metode zaštite ogledaju se u postavljanju zvučne izolacije oko delova motora ili nekim naknadnim rešenjima i prilagođavanjima.

Svakako najznačajnija realna metoda za smanjenje buke jeste upotreba zaštitnih sredstava. To su prvenstveno štitnici protiv buke koji moraju biti korektno postavljeni i komforni. Zbog potrebe komunikacije, kako sa drugim aviomehaničarima, tako i sa pilotom, javlja se potreba za postavljanjem odgovarajućeg mikrofona na štitnik, kao što je prikazano na slici 1.

Pri izboru zaštitne opreme treba pažljivo razmotriti dokumentaciju zaštitnog sredstva kako bi se obezbedilo da njegove deklarirane atenuacije po frekventnim opsezima svedu nivo buke na radnom mestu ispod dopuštenog nivoa. Za vazduhoplove je, uglavnom, potrebno predvideti štitnike sa izrazitom atenuacijom u



Sl. 1 – Modeli štitnika sa mikrofonima

frekventnim opsezima sa središnjim frekvencijama u opsegu 2 do 8 kHz. Ukoliko se želi kvalitetnija zaštita za ljudstvo pored helikoptera, štitnici koji bi se koristili za rad morali bi imati i nešto veće nivoe atenuacije na nižim frekvencijama od onih koje bi se koristile za rad sa helikopterima. U tabeli 8 prikazani su podaci o atenuaciji buke kod modela 1 (slika 1).

Tabela 8

Nivoi atenuacije po frekventnim opsezima

Podaci o atenuaciji buke za model 1							
Centralna frekvencija (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuacija (dB)	17,6	25,0	30,9	33,9	36,9	39,0	35,7

Model 2 štitnika sa mikrofonom pruža dobru zaštitu sluha, ima komforne školjke za uši ispunjene tečnošću, omogućava dobar kvalitet komunikacija u uslovima visoke buke, poseduje izuzetno kvalitetan mikrofoni i funkcionalan je u svim vremenskim uslovima. Ovaj model koristi se kao standardna oprema u održavanju aviona, helikoptera i u drugim oblastima gde su zastupljeni izuzetno visoki nivoi buke i obezbeđuje dvosmernu komunikaciju (two-way communications facilities).

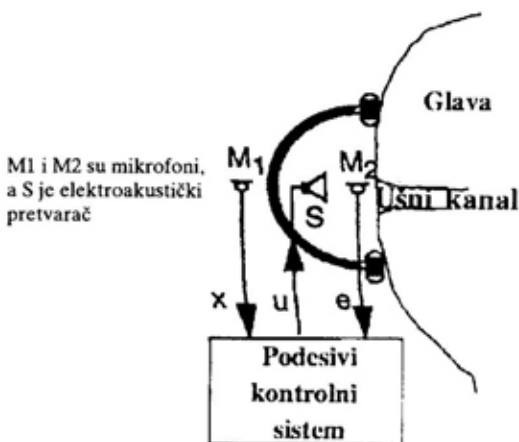
Pošto do ušiju članova posade može dopreti buka kroz štitnik, a tu su i ometajući signali iz komunikacijskih sistema, pojavila se potreba za razvijanjem sistema za prigušenje buke koji se naziva ANR sistem (sistem za aktivnu redukciju buke – slika 2) ili ENC sistem (Electronic Noise Cancellation System).

Ovaj sistem ostvaruje se postavljanjem minijaturnog mikrofona u ušnu školjku odmah do slušnog elementa i što je bliže moguće ulazu u slušni kanal. Mikrofoni su osetljivi na buku koja dolazi

do uha. Signal koji proizvodi osetljivi mikrofoni predstavlja buku koja prodire kroz barijeru koja obezbeđuje pasivnu atenuaciju, a sastoji se, prvenstveno, od niskih frekvencija. Ovaj signal se odvodi u elektronski deo gde je inverziono kolo u kojem se signal fazno invertuje, zatim pojačava pomoću pojačavača i vodi do zvučnika, stvarajući tzv. „antibučni“ signal koji eliminiše buku koja je prodrila kroz štitnik.

Pored već navedenih sistema sve veću primenu nalazi i koncept slušanja i govora kroz uvo. Na tržištu se javljaju novi dvosmerni sistemi slušanja i govora, kao, na primer, sistem prikazan na slici 3, koji u velikoj meri pojačavaju efikasnost u području govorne komunikacije.

Pošto su mikrofoni i zvučnik smešteni u ušima, eliminišu se ponekad nepovoljni mikrofoni za usta ili ruku, koji su na jakom vetru skoro neupotrebljivi. Glas se prenosi preko tkiva glave, te nema nikakvih spoljnih šumova. Ušni mikrofoni su neprimetani i korisnik ga nosi bez teškoća, tako da je ovaj aparat izuzetno primenljiv u sigurnosne svrhe. „Mini-uvo“ omogućava slobodu ruku za radne zadatke i ni u kom slučaju ne ograničava polje pogle-



Sl. 2 – Sistem za aktivnu redukciju buke

da. Ovaj sistem obezbeđuje i vrlo jasan govor u bučnom okruženju, što ga upravo i čini idealnim za rad na aerodromima, a i za vojne komunikacije. Pogodnost sistema jeste i da se može koristiti sa svim radio-uređajima koji se mogu naći na tržištu.



Sl. 3 – Dvosmerni sistem slušanja i govora

Pored štitnika za zaštitu od buke neophodno bi bilo koristiti i kacige za zaštitu od buke, jer bi se na taj način efikasno smanjio prenos buke do unutrašnjeg uha, kako vazдушnim tako i koštanim putem, a izbegle bi se i eventualne povrede glave do kojih može doći pri radu ispod trupa helikoptera.

Pored atenuacije buke vrlo je važno istaći i neophodnost maksimalnog komfora u toku nošenja sredstava lične zaštite, jer je njihovo stalno korišćenje od vitalnog značaja za efikasnu zaštitu.

Treba istaći da nije dovoljno samo nabaviti zaštitna sredstva, jer njihovo ne-

pravilno korišćenje i rukovanje umanjuje zaštitni efekat. Zbog toga je potrebno sprovesti obuku lica koja koriste ova sredstva, a istu da sprovodi obučeno lice [2, 3, 4, 6].

## Zaključak

Izmereni ukupni nivoi buke, oktavni nivoi zvučnog pritiska i dobijeni nivoi za Leq kod ispitivanih helikoptera prelaze dopuštene nivoe koje propisuje Pravilnik, s obzirom na vrstu delatnosti i odnos osoblja prema izvoru buke. Izmereni nivoi buke prelaze i nivo od 85 dB(A), koji je u Pravilniku definisan kao najviši dopušteni nivo za izlaganje buci sa aspekta zaštite sluha od oštećenja. Izmereni oktavni nivoi infrazvuka ni u jednom oktavnom opsegu pri navedenim režimima rada motora posmatranih tipova helikoptera ne prelaze dopuštenu vrednost od 105 dB, koja je određena za zaštitu od profesionalnog izlaganja infrazvuku. Izmereni nivoi ultrazvuka kod drugog tipa helikoptera samo u trećinskooktavnom opsegu sa središnjom frekvencijom od 20 kHz prelazi dopuštenu vrednost od 75 dB, koja je određena pri neprekidnom izlaganju radnika u trajanju od 8 sati.

## Literatura:

- [1] P. Pejčić, Vojni helikopteri, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1993. str. 129–135.
- [2] M JP Owen, Noise induced hearing loss in military helicopter aircrew—a review of the evidence. J.R. Army Med Corps 1995; 141:98–101.
- [3] O. A. Воробьев, Ю. В. Крылов, В. В. Зарицкий, С. В. Скрбнев, Г. Е. Шербаченко. Современные подходы к проблеме шума как экологическому фактору в авиационной медицине. Медицина труда и промышленная экология. Вол 1. 1999:39–43.
- [4] Pravilnik o merama i normativima zaštite na radu od buke u prostorijama. Službeni list SFRJ 1992; 21:310–316.
- [5] Гигиенические нормы инфразвука на рабочих местах. Минздрав СССР.–М. 1980; 2274–2280.
- [6] IRPA / INIRC Guidelines. Guidelines on human exposure to airborne ultrasound Health Phys 1984; 46; 972–974.



**Zoran Hrnjez,**  
major, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija,  
Beograd

## AKUSTIČKA UOČLJIVOST BRODA - PODMORNICE

UDC: 621.396.963.5:623.82

### Rezime:

*U radu je definisana akustička uočljivost pomorskog cilja (broda ili podmornice) za podvodno oružje (minu). Razmatrano je akustičko polje broda preko uzroka njegovog nastanka i osnovnih karakteristika, uz objašnjenje i prikaz zavisnosti od određenih parametara. Objašnjeni su elementi strukture akustičkog polja broda - podmornice i šuma mora, kao i njihov međusobni odnos radi razlikovanja korisnih signala od smetnji okoline za osvrtnom na njegovu primenljivost.*

*Ključne reči: akustička uočljivost, akustičko polje, vibracioni šum, šum mora, brod, podmornica, propeler.*

---

## SHIP - SUBMARINE ACOUSTIC SIGNATURE

### Summary:

*Acoustic signature of maritime targets (war-ships or submarines) for underwater weapons (mines) has been realized. The acoustic field of the ship as well as its appearance and its characteristic have been studied, along with the explanation and display of the dependence on certain parameters. The elements of the structure of acoustic field of the ship - submarine and sea noise are described as well as their relation in order to differentiate useful signals from the ambient noise.*

*Key words: acoustic signature, acoustic field, vibration noise, sea noise, ship, submarine, propeller.*

---

### Uvod

Poseban značaj za rad podvodnih oružnih sistema ima tzv. akustičko polje broda, s obzirom na to da svaki plovni objekat generiše ovo polje, a vodeni ambijent, kao elastična sredina, prenosi ovo polje na relativno velika rastojanja.

Brod je složeni fizički sistem koji u okolni prostor generiše fizička polja različite prirode. Tako, na primer, brod zrači akustičku energiju u vodu i vazduh, a zatim se, kretanjem u Zemljinom mag-

netskom polju, namagnetiše i postaje izvor magnetskog polja. Pored toga, različiti uređaji broda emituju elektromagnetsko i toplotno zračenje u okolni prostor, pa se može reći i da je brod značajan izvor različitih fizičkih polja.

Fizička polja broda značajna su za mnoge aspekte podvodne tehnike i tehnologije, jer se na osnovu njih stvaraju pouzdani algoritmi i metode za identifikaciju i lokaciju plovnih objekata, utvrđivanje parametara njihovog kretanja, kao i konstrukciju paljbenih sistema borbenih

sredstava namenjenih za njihovo uništavanje. Dobro poznavanje ovih fizičkih polja zahteva provođenje intenzivnih i složenih merenja u realnim uslovima. Takođe, treba istaći da karakteristike vodene sredine bitno utiču na karakteristike fizičkih polja broda. Morska sredina poseduje posebna svojstva koja je izdvajaju od ostalih sredina. Tako, na primer, slabljenje elektromagnetskog polja znatno je veće u vodi nego u vazduhu, elektromagnetsko polje broda u vodi je prostorno lokalizovano i malog dometa, dok se akustičko polje broda, zahvaljujući i elastičnim osobinama vode, prostire na relativno velika rastojanja, ali na relativno složen način.

### Akustičko polje broda

Pod akustičkim poljem broda podrazumeva se oblast vodenog prostranstva u kojoj se može registrovati ili izmeriti akustički pritisak koji stvara brod.

Svako kretanje broda praćeno je stvaranjem šumova vrlo širokog frekventijskog dijapazona (od nekoliko Hz do 100 kHz), koji predstavljaju akustičko polje broda.

Velika primenljivost akustičkog polja broda (u paljbenim sistemima podvodnih oružja) nastala je zbog rasprostiranja ovoga polja na mnogo veća rastojanja u odnosu na ostala fizička polja (magnetsko, hidrodinamičko, električno i dr.), uz vrlo širok frekventijski dijapazon i zadovoljavajući intenzitet. Emitovani šum (akustičko polje) vrlo je važan za pasivne hidroakustičke uređaje. Princip rada ovih uređaja zasniva se na korišćenju karakterističnih osobina tog oblika šuma i na njegovom izdvajanju iz šuma okoline (mora).

Akustičko polje broda intenzivno se koristi za potrebe identifikacije, lokacije i utvrđivanja parametara njegovog kretanja. Ono se rasprostire na relativno velika rastojanja, pri čemu je njegov intenzitet takvog nivoa da ga je moguće uspešno detektovati.

### Širenje akustičkog polja u vodenoj sredini

Zvuk kao fizička pojava javlja se kada se poremeti stacionarno stanje čestica neke elastične sredine. Promene položaja čestica, praćene odgovarajućim promenama pritiska, gustine, itd. nazivaju se zvučno titranje. Nastale promene šire se dalje u prostor u kojem se javlja akustičko polje. Brzina kojom se zvučni talas širi u polju naziva se brzina zvuka (c). Brzina kojom čestica titra u odnosu na ravnotežni položaj naziva se titrajna brzina.

Akustičko polje određeno je, u bilo kojem trenutku, sledećim parametrima:

– pomerajem  $\xi$  – predstavlja otklon materijalne tačke u momentu t od njenog ravnotežnog položaja,

– titrajnom brzinom čestica  $V = \frac{d\xi}{dt}$ ,

– zvučnim pritiskom p – predstavlja razliku pritiska koji postoji u nekoj tački akustičkog polja u datom trenutku i srednjeg pritiska koji postoji u datoj tački pri odsustvu zvučnog talasa,

– gustinom  $\rho$ ,

– apsolutnom temperaturom  $T_A$ .

Parametri  $\xi$ , v, p,  $\rho$  i  $T_A$  nalaze se u međusobnoj složenoj zavisnosti, koja se definiše talasnom jednačinom, koja u prostoru glasi:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = c^2 \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

gde je  $\phi(x, y, z, t)$  potencijal polja.

Kada se traže vrednosti navedenih parametara akustičkog polja, jednačina (1) dobija oblik:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 p \text{ za zvučni pritisak,}$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 p \text{ za titrajnu brzinu čestica,}$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 p \text{ za pomak čestice,}$$

gde je  $\nabla^2$  Laplasov operator.

Akustički talas, šireći se u prostoru, sa sobom nosi akustičku energiju čija se veličina obeležava jačinom i intenzitetom. Intenzitet zvuka jednak je srednjoj snazi koja prolazi kroz jedinicu površine u smeru širenja talasa.

Za ravne talase intenzitet zvuka je:

$$J_x = p \cdot v = \frac{p^2}{\rho c} = v^2 \rho c$$

Za sferne talase:

$$J_r = p \cdot v \cdot \cos \gamma = \frac{p^2}{\rho c} = v^2 \rho c \cdot \cos \gamma,$$

gde je  $\gamma$  fazni pomak.

U oba slučaja je:

$$J_x = J_r = \frac{p^2}{\rho c},$$

gde je  $\rho c$  akustička impedansa sredine i vredni za sve tipove akustičkih talasa.

Veličina zvučnog pritiska  $p$  izražava se u hidroakustici u  $\mu\text{Pa}$ , a veličina intenziteta u  $\text{W/m}^2$ .

More je vrlo složena sredina za širenje zvuka. Intenzitet akustičkog talasa opada sa udaljenošću od izvora, a ostvareni gubici pri širenju (TL) količinski se opisuju odnosom između slabljenja zvuka na udaljenosti 1 m od izvora i neke tačke u prostoru. Gubici pri širenju između dve tačke iznose:

$$TL = 10 \log \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

gde je:

$I_0$  – intenzitet u tački koja je udaljena 1 m od izvora,

$I$  – intenzitet u nekoj udaljenoj tački.

Gubici pri širenju talasa razmatraju se kao zbir gubitaka usled divergencije čela talasa i gubitaka koje određuju karakteristike površine, vodene sredine i dna. Prve gubitke karakteriše slabljenje zvuka zbog udaljavanja fronta talasa, a druge efekti gušenja, raspršavanja i disipacije energije iz zvučnih kanala.

Za morsku sredinu može se uzeti da je prisutno sferno širenje akustičke energije, pa ukupni gubici akustičke energije u moru iznose:

$$TL = 20 \log r + \alpha r + 60 \quad (3)$$

gde je:

$r$  – udaljenost (km),

$\alpha$  – koeficijent apsorpcije (dB/km).

Međutim, iako se sferno širenje uzima kao osnov, uslovi slobodnog polja retko se sreću u moru osim na relativno malim udaljenostima. Prema tome, u realnim uslovima, zbog refleksije, ras-

pršavanja i postojanja prostorno graničnih uslova (dno, površina), širenje akustičkog talasa u moru poprima složeni oblik [1].

### Komponente akustičkog polja broda – podmornice

Emitovani akustički šum broda, prema poreklu i udelu u ukupnom akustičkom šumu može biti: vibracioni, hidrodinamički i šum propelera.

Vibracioni šum nastaje usled vibracija broda, izazvanih delovanjem različitih periodičnih sila, kao što su:

- sile koje deluju na postolje glavnih i pomoćnih mehanizama, nastale pri njihovom radu, kao i zbog slabe izbalansiranosti i podešenosti,

- hidrodinamičke sile koje nastaju zbog udara mase vode o brodsku oplatu pri kretanju broda, kao i udari vode izazvani radom propelera,

- sile koje nastaju pri obrtanju brodskih osovina.

Pogonski motori i pomoćni mehanizmi prouzrokuju oscilacije koje se prenose preko trupa broda u vodenu sredinu. Ventilatori, pumpe i paluba takođe utiču na podizanje nivoa šumova. Kretanje vode i talasa koji udaraju o trup broda stvaraju zvučne talase koje emituje brod. Do frekvencije ovih zvučnih oscilacija dolazi, uglavnom, u čujnom području, ali i u oblasti ultrazvuka ili infrazvuka. Pojedinačni elementi mehanizama sa obrtnim kretanjem imaju sopstvenu frekvenciju:

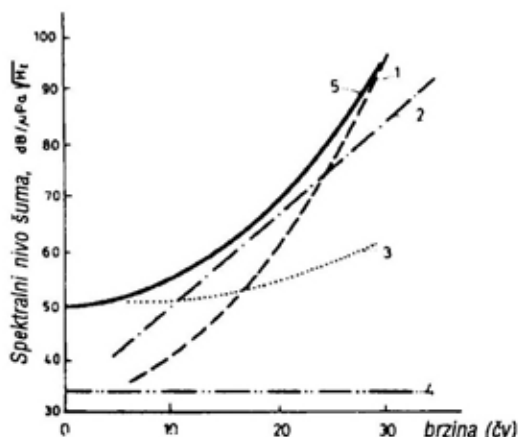
$$f = \frac{n}{60} \text{ (Hz)},$$

gde je  $n$  broj obrtaja u minuti.

Povećanjem broja obrtaja elemenata mehanizama, tj. brzine broda, proporcio-

nalno se povećava i nivo vibracionog šuma broda.

Pregled nivoa vlastitog šuma broda po komponentama, prikazan je na slici 1.



Sli. 1 – Nivo vlastitog šuma broda u zavisnosti od brzine:

1 – šum propelera, 2 – hidrodinamički šum, 3 – šum motora i mehanizama, 4 – električni šum, 5 – ukupni šum

Hidrodinamički šum nastaje zbog turbulentnog kretanja vode uz brodsku oplatu, izazvanog trenjem između čestica vode i nedovoljno glatko obrađene brodske oplata, kao i zbog promene brzine i pritiska u tečnosti. Deo energije rasprostire se u obliku zvučnih talasa, i pritom nastaje široki akustički spektar. Frekvencijski spektar i intenzitet ovog šuma zavise od brzine, forme i dimenzija broda, kao i od broja otvora i izdanaka na podvodnom delu broda:

$$f = k \frac{v}{d} \cdot n$$

gde je:

$k$  – koeficijent koji zavisi od oblika trupa broda (0,2 za okruglu ploču, 0,3 za kuglu i 0,23 do 0,24 za cilindar na pramcu,

v – relativna brzina (brzina vodene sredine/brzina broda),  
 d – prečnik obuhvaćene površine,  
 n – prirodan broj.

Šum propelera jedna je od osnovnih komponenti ukupnog šuma broda, koja nastaje obrtanjem propelera u vodenoj sredini. Eksperimentalni podaci dobijeni pri ispitivanju akustičkog polja pokazuju da je najšumniji deo broda njegov krmeni deo, gde se nalaze brodski propeleri. Povećana šumnost krmenog dela broda nije samo zbog šuma propelera, već i zbog toga što su u ovom delu broda i vibracioni i hidrodinamički šumovi znatno veći u odnosu na druge delove broda (krmeni deo, osovinski vod i dr.).

Usled obrtanja propelera, u prostoru između njega i krme broda, javlja se periodično promenljivo akustičko polje čija se frekvencija izračunava pomoću izraza:

$$f = \frac{n \cdot m}{60}$$

gde je:

n – broj obrtaja propelera u minuti,  
 m – broj lopatica propelera.

Rad propelera nije praćen samo vibracionim, već i tzv. kavitacionim šumom. Pri obrtanju propelera na delovima njegovih lopatica formira se oblast potpritiska. Povećavanjem broja obrtaja propelera povećava se i veličina potpritiska, a rezultujući pritisak se smanjuje. Zahvaljujući tome, kod nekog broja obrtaja  $n_{kr}$  veličina rezultujućeg pritiska dostiže kritičnu veličinu, što se manifestuje odvajanjem vazduha rastvorenog u vodi u obliku mehurića različitog prečnika. Ukoliko rezultujući pritisak postane jednak ili manji

od kritičnog, na lopaticama propelera će doći do intenzivnog obrazovanja ovih mehurića. Na mehuriće deluje struja vode noseći ih u oblast sa povišenim pritiskom, gde oni trenutno nestaju – implodiraju uz stvaranje akustičkog šuma vrlo širokog frekvencijskog spektra (od nekoliko Hz do 100 kHz).

Teoretske analize i praktična merenja pokazala su da pritisak pri pojavi kavitacionih mehurića nema fiksnu vrednost, već se izračunava kao:

$$p = p_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{t}{T}$$

gde je:

t – trenutno vreme,

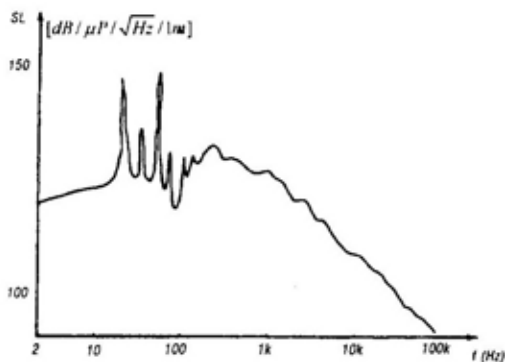
T – vreme postojanja (od nastanka do nestanka) kavitacionih mehurića.

Prema tome, šum propelera sastoji se od vibracionog šuma, prisutnog do neke kritične brzine, odnosno kritičnog pritiska, i kavitacionog šuma koji nastaje posle kritične brzine, tj. kritičnog broja obrtaja. Ova komponenta predstavlja osnovu akustičkog polja, pogotovo u ultrazvučnom dijapazonu frekvencija.

### Sumarno akustičko polje broda

Akustičko polje u celini zavisi ne samo od navedenih komponenti već i od velikog broja faktora vezanih za uslove sredine u kojoj se polje rasprostire, tako da je teško sve obuhvatiti jednim matematičkim modelom, koji bi služio kao osnov za određivanje apsolutne veličine ovoga polja. Veličina akustičkog polja određenog tipa broda predstavlja slučajnu veličinu koja se potčinjava normalnom zakonu rasprostiranja. Zbog toga se

o veličini akustičkog polja broda obično govori na osnovu eksperimentalnih merenja, a dobijeni rezultati daju približnu sliku redosleda veličina koje su interesantne (akustički pritisak, intenzitet, itd.). Nivo zračenja (akustičkog polja) broda dobijen na ovaj način zavisi od:



Sl. 2 - Tipični spektar akustičkog polja broda

- tipa broda i njegovih individualnih karakteristika (broja i forme propelera, forme podvodnog dela broda, stepena izbalansiranosti osovina i mehanizama, itd.);

- uslova pri kojima se obavljaju merenja (dubina mora, rastojanje do mesta merenja, vrsta dna, strujanje vode, hidrološki uslovi i drugo);

- tačnosti merne metode.

Tipičan spektar akustičkog polja broda prikazan je na slici 2.

Nivo zračenja u jednačini hidrolokacije izražava se kao akustički pritisak u (dB), koji emituje podvodni izvor (brod), izmeren na proizvoljnoj udaljenosti i preveden na udaljenost od jednog metra od akustičkog centra izvora. Nivo zračenja se određuje u pojasu 1 Hz i odnosi se na referentni nivo od 1  $\mu$ Pa koji se zove spektralni nivo šuma. Postoje dva osnovna tipa šuma koji se suštinski razlikuju. Prvi je širokopojasni šum sa konti-

nualnim spektrom, a drugi tip je tonalni šum sa diskretnim spektrom koji se sastoji od tonalnih ili sinusnih komponenti (ovaj spektar sadrži linijske komponente koje se pojavljuju na diskretnim frekvencijama).

Merenjem se dobija veličina akustičkog pritiska  $p_0$ , za poznato rastojanje  $r_0$  i frekvencijski opseg  $\Delta f_0$ . Preračunavanje akustičkog pritiska, sa nekog poznatog rastojanja na referentno rastojanje od 1 m, a u funkciji proračuna radijusa reaganja nekontaktnih sistema koji koriste akustičko polje kao nosioca korisnog signala, može se izvršiti preko sledeće aproksimativne formule [1]:

$$p = p_0 - (20 \log r + \beta \cdot r) \quad (\text{Pa})$$

gde je:

$p$  - tražena veličina akustičkog pritiska,  
 $p_0$  - poznata veličina akustičkog pritiska dobijena merenjem na poznatom rastojanju  $r_0$ ,

$r$  - rastojanje na kojem se želi odrediti veličina akustičkog pritiska (m),

$\beta$  - koeficijent prostornog slabljenja akustičkog pritiska pri rasprostiranju kroz vodu.

Parametri koji bitno utiču na veličinu hidroakustičkog pritiska broda su:

- deplasman broda, čijim povećanjem veličina efektivnog akustičkog pritiska raste;

- brzina broda, čijim povećanjem veličina efektivnog akustičkog pritiska raste (što se vidi na slici 3) prema obrascu:

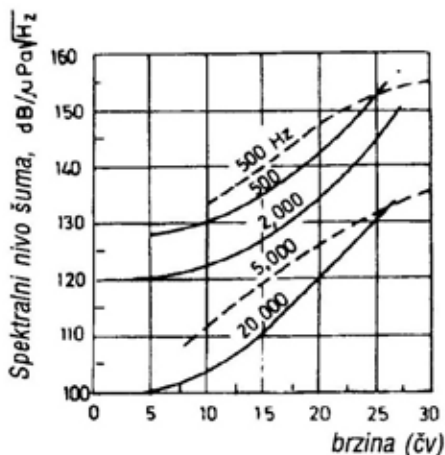
$$p_{ef} = aV^n$$

gde su  $a$  i  $n$  koeficijenti koji zavise od tipa broda, a  $V$  brzina broda;

- frekvencija, čijim rastom nivo akustičkog pritiska opada

$$P_{ef} = \frac{A}{f^n}$$

gde su A i n koeficijenti koji zavise od tipa broda;



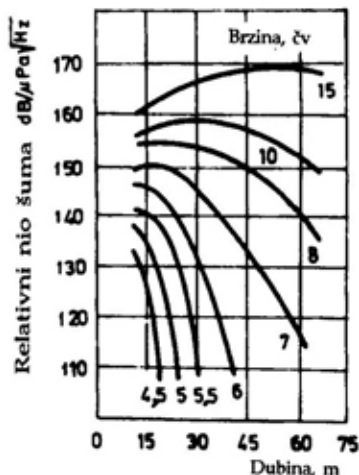
Sl. 3 - Zavisnost nivoa šuma od brzine broda

- dubina, koja je bitan faktor za podmornice i torpeda koji menjaju dubinu kretanja. Njenim povećanjem veličina efektivnog akustičkog pritiska opada po obrascu:

$$P_{ef} = \frac{A}{h^n}$$

gde su A i n koeficijenti koji zavise od tipa podmornice ili torpeda.

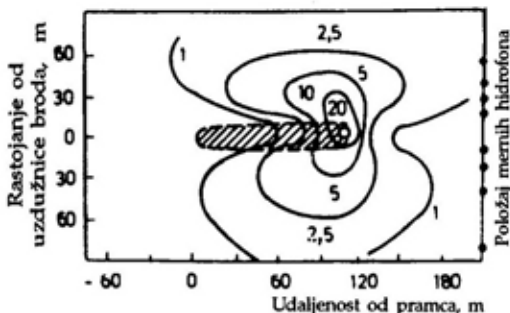
Nivo kavitacionog šuma se smanjuje sa povećanjem dubine, ali taj proces nije ravnomeran. Ustanovljeno je da pri pojavi kavitacije na većim brzinama nivo šuma raste sa povećanjem dubine ronjenja do granice na kojoj nastupa normalno smanjenje šuma, što se može videti na slici 4.



Sl. 4 - Uticaj dubine na relativni nivo šumova u zvučnom i frekvencijskom opsegu podmornice

Brod se može smatrati neusmerenim izvorom šuma (poluoipostastim) u oblasti nižih frekvencija (ispod 1 kHz), dok se u oblasti viših frekvencija primećuje određena usmerenost.

Postoje pravci u kojima je zvučni pritisak merljiv i na većim rastojanjima, kao i oni u kojima je na istim rastojanjima zanemarljivo mali. Za svaki brod je karakteristično da u dva pravca emituje zvuk znatno manjeg intenziteta. Prvi jasno izraženi minimum nalazi se tačno na smeru kretanja ispred broda (telo broda sprečava rasprostiranje šuma propelera). Drugi minimum nalazi se iza broda po krmi (strujanje vode po krmi znatno ap-



Sl. 5 - Usmerenost akustičkog polja broda

sorbuje akustičku energiju), a izraziti maksimumi javljaju se po bokovima. Šematski prikaz usmerenosti akustičkog polja broda prikazan je na slici 5.

Na osnovu dostupnih rezultata o sprovedenim istraživanjima akustičkog polja broda može se zaključiti sledeće:

- svaka vrsta broda, podmornice ili nekog drugog plovnog objekta poseduje karakterističan akustički šum. Međutim, pored razlika između akustičkih šumova različitih vrsta plovnih objekata, dobar operator na podvodnom elektroakustičkom lokatoru može lako da identifikuje brod;

- u ukupnom akustičkom šumu broda, kada se on kreće sa malim brojem obrtaja propelera, odnosno malom brzinom, preovladava akustički šum koji je izražen na niskim i srednjim frekvencijama. Kod brodova koji se kreću velikim brzinama i kada je broj obrtaja propelera relativno visok, preovladava akustički šum na višim frekvencijama;

- različiti tipovi plovnih objekata u istim režimima vožnje poseduju različite spektre hidroakustičkog polja;

- značajna razlika u karakteristikama spektara akustičkog polja postoji ne samo između šumova brodova različitih vrsta nego i između šumova istog broda pri različitim brzinama kretanja;

- nivo emitovanog akustičkog polja broda ili podmornice može se smanjiti i oslabiti primenom posebnih tehničkih mera, ali to zahteva velika materijalna ulaganja, pri čemu i dalje ovo polje ostaje za 20 do 40 dB/1 Pa veće od akustičkog ambijentalnog šuma mora.

### **Karakteristike vode značajne za rasprostiranje hidroakustičkog polja broda**

Gustina vode znatno je veća od gustine vazduha, što ima za posledicu da je

karakteristična akustička impedansa morske vode oko 3700 puta veća od one u vazduhu. Gustina vode je za oko 800 puta veća od gustine vazduha, pa je pri istim brzinama kretanja u vodi i vazduhu, dinamički pritisak mnogo izraženiji u vodi.

Brzina prostiranja zvuka u morskoj vodi može se izračunati pomoću sledećeg empirijskog izraza:

$$c = 1410 + 4,21 \theta - 0,037 \theta^2 + 1,10 S + 0,018 d \left( \frac{m}{s} \right)$$

gde je:

$\theta$  – temperatura vode ( $^{\circ}C$ ),

S – salinitet (‰),

d – dubina (m).

Apsorpcija svetlosti u vodi je daleko izraženija nego u vazduhu. Pored toga, svetlost se u vodi intenzivnije rasejava. To ima za posledicu da je primena i korišćenje optičkih naprava i televizije u vodi vrlo ograničeno s obzirom na to da je neophodno dodatno osvetljenje i slično. Neke posebne primene optičkih sistema u vodi su moguće i koriste se u praksi. Tako, na primer, danas se veoma uspešno koriste TV kamere na ronilicama za otkrivanje i uništavanje mina, a u uslovima loše vidljivosti ulogu TV kamere preuzima visokorezolucijski sonar.

### **Hidroakustičke smetnje**

Ispravan rad podvodnih nekontaktnih hidroakustičkih sistema ne zavisi samo od hidroakustičke pojave već i od smetnji prisutnih u rejonima upotrebe tih sistema. Pod hidroakustičkim smetnjama podrazumevaju se različiti hidroakustički šumovi koji se javljaju u datom okruženju



i koji su van kontrole. Ove smetnje – šumovi, mogu biti prirodnog ili veštačkog porekla. U veštačke smetnje ubrajaju se šumovi koji se stvaraju pomoću različitih naprava i služe za ometanje i navođenje oružja u pogrešnu stranu. Tako, na primer, danas većina ratnih brodova u svojoj opremi ima veštačke izvore hidroakustičkog šuma. Oni se ispuštaju i tegle po krmi na određenom rastojanju, radi odvođenja torpeda na pogrešnu stranu dalje od broda. Podmornice se štite tako što lansiraju veštački izvor akustičkog šuma, odnosno, imitatore šuma sopstvenih propelera, koji su u stanju da rade nekoliko sati krećući se po programiranoj putanji, i tako odvođe protivnički protivpodmornički brod, helikopter ili torpedo u pogrešnu stranu.

U veštačke smetnje spada i sopstveni šum broda nosioca hidroakustičkih pasivnih sredstava za otkrivanje podvodnih ciljeva, kao i šum propelera torpeda koji ometa rad sopstvenog hidroakustičkog sistema za samonavođenje.

Prirodne hidroakustičke smetnje nastaju nezavisno, i na njihovu veličinu nije moguće uticati. Ove smetnje utiču na rad svih hidroakustičkih sistema i uređaja koji koriste hidroakustičko polje kao izvor informacija, a posebno na rad minskih nekontaktnih hidroakustičkih upaljača smanjujući im osetljivost. Ove smetnje, prema poreklu, mogu biti:

- termički šum, koji nastaje usled termalnog kretanja čestica vode. Karakterističan je po relativno visokim frekvencijama višim od 50 kHz;

- šum morskih talasa, koji najviše doprinosi ukupnom nivou šuma, javlja se u opsegu frekvencija od 100 Hz do 50 kHz i zavisi od stanja mora;

- biološki šum, koji stvaraju rakovi, delfini, kitovi i sl. Ova komponenta po-

sebno je izražena u plitkim morima, a zavisi od doba dana i posebno je izražena u određeno godišnje doba;

- industrijski šum, koji se javlja u oblasti velikih luka, baza i gradova;

- šum kiše, grada i vetra;

- šum izazvan udarom morskih talasa u obalu, kao i šum koji nastaje pri povlačenju peska, kamenja i dr.

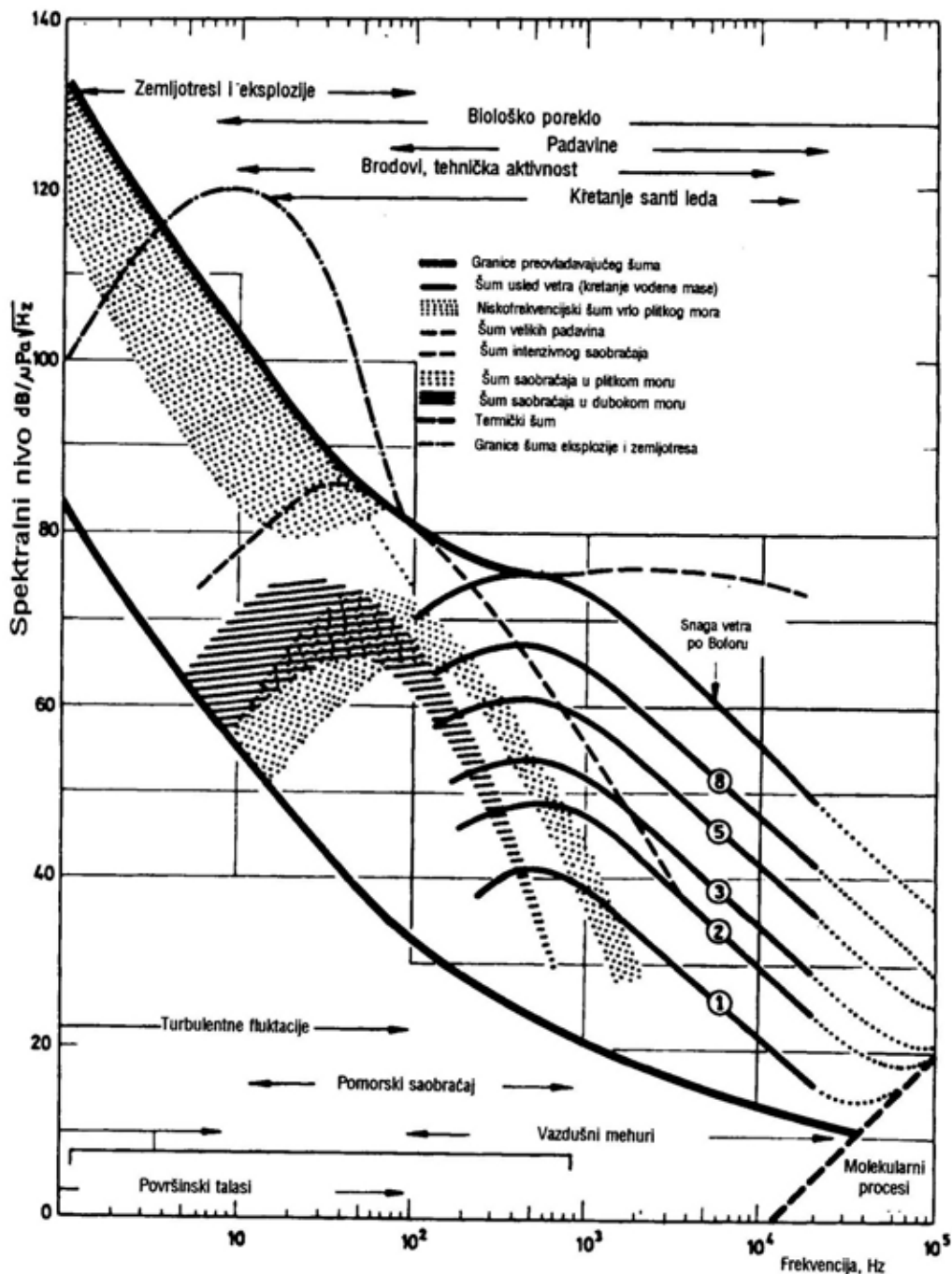
Spektar šuma morske sredine prikazan je na slici 6, a spektar šuma u zavisnosti od stanja mora na slici 7.

Svi hidroakustički šumovi mogu se označiti jednim imenom kao ambijentalni šumovi. Spektri pojedinih izvora međusobno se prekrivaju i prepliću. Ipak, spektar šuma mora, po svojim karakteristikama u odnosu na frekvenciju, moguće je podeliti na četiri osnovna dela:

- niske frekvencije (1 Hz – 100 Hz); spektar opada približno sa 10 dB/okt. U plitkom moru izražena je zavisnost nivoa spektra od brzine vetra, odnosno morskih struja. Najverovatniji izvor šuma su turbulentne fluktuacije morske vode;

- srednje frekvencije (10 Hz – 500 Hz); spektar karakteriše maksimum u području od 20 Hz do 200 Hz i oštar pad nakon maksimuma. Najverovatniji izvor šuma u tom području je daleki i bliski pomorski saobraćaj;

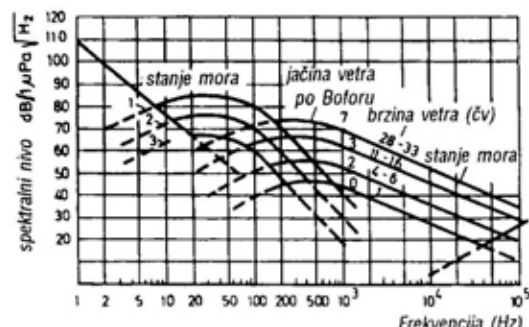
- visoke frekvencije (100 Hz – 20 000 Hz); nivo spektra zavisi od stanja mora, odnosno brzine vetra. Spektar karakteriše maksimum u području od 100 Hz do 1000 Hz i pad nivoa spektra nakon maksimuma za približno 6 dB/okt. Nivo spektra u dubokom moru približno je za 5 dB niži od nivoa spektra u plitkom moru pri istoj brzini vetra. Najverovatniji izvor šuma su mehurići i prskanje (prušavanje) površinskih talasa. U plitkom moru, u tropskim i subtropskim područjima značajan je uticaj bioloških izvora,



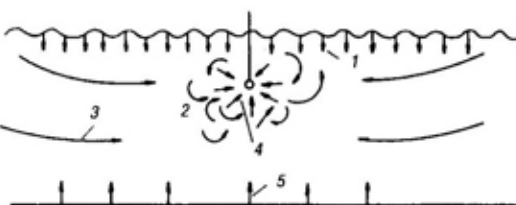
Sl. 6 - Spektar šuma morske sredine

pa spektar može imati maksimum u području od 5 do 10 kHz.

– vrlo visoke frekvencije (iznad 30 kHz); spektar je određen toplinskim šumom sa nagibom od +6 dB/okt. Naravno, u zavisnosti od vremena i lokacije, na oblik i nivo spektra utiču i svi ranije opisani izvori šuma.



Sl. 7 – Spektar šuma u zavisnosti od stanja mora



Sl. 8 – Mogući izvori šuma okoline (mora):  
1 – površinski šum, 2 – turbulencija, 3 – pomorski saobraćaj, 4 – molekularni procesi, 5 – seizmički šum

Neki od mogućih izvora šuma mora prikazani su na slici 8.

Važno je istaći da se šum mora ne može posmatrati kao jednom izmerena veličina nepromenjenog karaktera, već je potrebno da se neprekidno meri. Rezultate inostranih autora treba prihvatiti samo ukoliko su dobijeni u sličnim hidrometeorološkim, biološkim i geografskim uslovima koji vladaju i na našem moru. U suprotnom rezultati se ne mogu prihvatiti i praktično upotrebiti, već mogu služiti samo kao orijentacioni parametri.

## Zaključak

Elektromagnetski talasi se, pri širenju kroz vodu prigušuju mnogo jače od akustičkih, pa se podvodne veze i lokacija ostvaruju prvenstveno hidroakustičkim sredstvima. Osnovni izvor smetnji, za hidroakustičke uređaje na brodu, predstavljaju vlastiti podvodni akustički šumovi koje stvara brod. Istovremeno, ti šumovi predstavljaju korisni signal za pasivne hidroakustičke uređaje na drugom objektu. Poznavanje svojstava akustičkog polja broda nužno je zbog preduzimanja efikasnih zahvata radi smanjenja emitovanog šuma, s ciljem da se poboljšaju uslovi rada vlastitih uređaja i da se slabljenjem izvora signala smanji mogućnost detekcije broda.

Svaka vrsta broda ili podmornice poseduje karakterističan šum. Razlika između šumova različitih vrsta brodova – podmornica, toliko je velika da dobar operator na podvodnom elektroakustičkom lokatoru može lako da utvrdi vrstu broda.

Šumovi brodova različitih vrsta, razlikuju se ne samo po spektralnom sastavu nego i po intenzitetu. Svaki brod i podmornica imaju svoje akustičko polje koje se može smanjiti i oslabiti uz znatne troškove, ali ono ipak ostaje znatno veće od minimalnih šumova mora.

## Literatura:

- [1] Lazarević, Ž.: Tehnička hidroakustika, Beograd, 1987.
- [2] Landwehrs, H.: Das akustische Schiffeld und seine Ortung, Militartechnik, 1974., 12, str. 540-542 i 1975., 1, str. 12-15.
- [3] Vraneš, B.: Akustičko polje broda, Split, 1973.
- [4] Kurtović, H. Š.: Osnovi tehničke akustike, Beograd, 1982.
- [5] Bajić, B.: O spektrima kavitacionog šuma, Zagreb, Elektrotehnika br. 1-1972.
- [6] Bqihovskii, G., Pokrovskii, V.: Гидроакустические измерения, Leningrad, 1971.
- [7] Konstatinov, B. P.: Гидродинамическое звукообразование и распространение звука в ограниченной среде, Leningrad, 1974.

Miloš Pejanović,  
major, dipl. inž.  
Generalštab VJ,  
Beograd

## INTERNET TEHNOLOGIJA KAO OKRUŽENJE ZA RAZVOJ INFORMACIONIH SISTEMA

UDC: 007.5:621.391:681.324

### Rezime:

*U radu su prikazani razvoj i organizacija Interneta kao globalne računarske mreže, uključujući institucije koje omogućavaju koordinaciju i funkcionisanje njegovih servisa. Predstavljen je koncept Intraneta kao internog informacionog sistema zasnovanog na korišćenju Internet tehnologija i klijent-server arhitekture lokalne računarske mreže.*

*Ključne reči: računarske mreže, Internet, servisi, organizacija, Intranet.*

---

## INTERNET TECHNOLOGY AS AN ENVIRONMENT FOR INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT

### Summary:

*Development and the organization of the Internet as a global computing network have been discussed including the institutions which provide coordination and functioning of its services. The paper presents the concept of the Intranet as an internal information, system based on the use of Internet technologies and consumer-server architecture of local computing networks.*

*Key words: computing networks, Internet, services, organization, Intranet.*

---

### Uvod:

Kao obeležje određene epohe razvoja u oblasti informatike u pojedinim periodima pojavljivali su se pojmovi kao, na primer, multiprogramski, interaktivni, grafički, PC, mrežni, multimedijalni, itd. Imajući u vidu stalno nezadovoljstvo dotadašnjim načinima primene računara, kod slabije upućenih stvarao se privid da primena novih postupaka u radu ili primena novih tehničkih sredstava predstavlja konačno rešenje njihovih problema. Današnje vreme obeleženo je terminima *Internet* i *Intranet*. U ovom radu se ne polazi od pretpostavke da će se korišće-

njem Interneta i Intraneta trajno rešiti problemi u oblasti informacionih sistema, već da će se njihovom primenom ubrzati i pojeftiniti razvoj i održavanje informacionih sistema.

Pre desetak godina teško je bilo predvideti u kom smeru će se razvijati računarska tehnologija. Hardver je bio sve bolji, pouzdaniji i jeftiniji. Razvoj softvera omogućio je pogodan interfejs za korisnike, a baze podataka postajale su veće. Ono što se nije moglo predvideti, to je bio razvoj World Wide Web-a. U ovom radu prikazana je organizacija Interneta i način rešavanja problema koordinacije i standardizacije.

Internet je i dalje u razvoju. Ključni problem jeste obezbeđenje korisnosti velikog broja podataka na mreži što znači da treba rešiti problem pretraživanja podataka. U radu je prikazan deo programskih servisa koji podržavaju rad Interneta.

Internet sadrži različite podatke i informacije. Za pojedine potrebe do sada razvijeni načini pretraživanja ovakvih nestrukturiranih informacija sasvim su zadovoljavajući. Za potrebe odlučivanja potrebno je imati, pre svega, strukturirane informacije.

U većini organizacija, uključujući i vojnu, informacije se koriste u svim funkcijama, i to posebno za potrebe donošenja odluka. Kada su računari počeli intenzivno da se koriste, kasnih šezdesetih i ranih sedamdesetih godina, kompjuterski stručnjaci su tvrdili da će se u godinama koje dolaze informacije iz svih poslovnih oblasti nalaziti u velikom i globalnom informacionom sistemu. Ne tako davno, međutim, ustanovljeno je da se to neće lako realizovati, pogotovo ne u velikim organizacijama kao što je vojna. Osim toga, informacije su dinamične i brzo se menjaju, što razvoj i implementaciju jednog takvog sistema čini vrlo složenim.

Tokom osamdesetih godina veliki broj stručnjaka za strateško odlučivanje počeo je da ističe mogućnosti i značaj korišćenja informacionih tehnologija. Pre toga, donosioci odluka su generalno posmatrali računare kao sredstva za poboljšanje rada unutar organizacije.

Internet je izvršio značajan uticaj na procese u odlučivanju u većini organizacija koje ga koriste. S obzirom na to da su te promene bile pozitivne i doprinele procesima odlučivanja i upravljanja, dogodilo se da je nauka o upravljanju počela da prilagođava Internet svojim potreba-

ma. Tako su nastala različita rešenja primene Interneta, od kojih su danas najpoznatiji *Intranet* i *Ekstranet*. Razvijen je koncept „elektronskog poslovanja“ koji je doneo niz promena u odnosima organizacija – okruženje. Stvoreni su novi servisi prilagođeni osnovnim procesima koji se pojavljuju u okruženju.

U radu je prikazana mogućnost primene Intraneta kroz implementaciju Internet tehnologije u internim informacionim sistemima, zasnovanih na korišćenju lokalnih računarskih mreža. Intranet može biti posebno interesantan za zatvorene informacione sisteme, kao što su oni koji se koriste u vojnoj organizaciji.

### **Nastanak i razvoj Interneta**

Smatra se da je idejni koncept globalne računarske mreže prvi postavio J.C.R. Licklider sa MIT (Massachusetts Institute of Technology) univerziteta 1962. godine. On je u svojim radovima uveo pojam „on-line“ komuniciranja, koji se danas često koristi. Rad Lickleadera i saradnika sa MIT-a doprineo je razvoju koncepta globalnih mreža. Njihov rad zainteresovao je Agenciju za istraživanja Ministarstva odbrane SAD, tada poznatu pod nazivom ARPA (Advanced Research Project Agency). Sredinom šezdesetih godina jedan od istraživača sa MIT-a prelazi u ARPA-u i počinje rad na razvoju mreže koja bi povezivala centralne računare (host computers) određenih institucija američke armije u jedinstvenu mrežu – ARPANET [1].

Specifikacija ARPANET-a završena je krajem 1968. godine. ARPA tada raspisuje konkurs za uspostavljanje „pilot“ mreže, a posao je dodeljen firmi BBN. Na univerzitetu UCLA (University of California Los Angeles) i Stranford insti-

tutu SRI (Stanford Research Institute) izvršene su pripreme za postavljanje „pilot“ mreže i povezivanje sa čvorovima na Univerzitetu Santa Barbare UCSB (University California Santa Barbara) i Juta Univerzitetu (Utah University). Realizacija predviđena četiri čvora ARPANET mreže uspešno je završena krajem 1969. godine. Izrada protokola i softvera poverena je NWG (Network Working Group). Tokom 1970. godine NWG je objavila prvu verziju protokola koji je omogućio da bilo koja dva računara u mreži razmenjuju podatke. Protokol je nazvan NCP (Network Control Protocol) i Telnet za rad na udaljenom računaru. Prvobitna ARPANET mreža predstavljena je javnosti 1972. godine [1].

Širenje ARPANET-a ka naučnoistraživačkim institucijama širom SAD ubrzo je pokazalo sve nedostatke NCP protokola. Predloženo je da se NCP protokol zameni novom grupom protokola, kasnije nazvanom TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Izveštaj o prvoj verziji ove grupe protokola objavljan je u IEEE Transactions of Communications 1974. godine.

Novu grupu protokola TCP/IP čine dve grupe protokola TCP i IP. Verzija TCP/IP protokola, koja se danas koristi, dokumentovana je 1978. godine. Iste godine grupa istraživača sa Berkli univerziteta (Berkeley University) počela je implementaciju ovih protokola pod Unix operativnim sistemom. Pojava prvih komercijalnih lokalnih računarskih mreža početkom osamdesetih godina uslovlila je naglu ekspanziju ARPANET-a. Prelazak ARPANET-a u posebnu, odvojenu mrežu za vojne potrebe MILNET, uslovio je da se ARPANET prepusti naučnoistraživačkim aktivnostima.

Stvaranje ARPANET-a i povezivanje akademskih centara predstavlja prvu

fazu u razvoju Interneta. Sve veći broj korisnika zahtevao je ozbiljnu reformu. Nacionalna fondacija za nauku SAD – NSF (National Science Foundation) odlučila je da finansira razvoj magistralne mreže moćnih računara, kao okosnice globalne mreže. Šest najmoćnijih univerzitetskih računara u to vreme povezani su u jedinstvenu mrežu, pod nazivom NSFnet, 1986. godine. Nastanak NSFnet-a predstavlja drugu fazu u razvoju Interneta, koji karakteriše njegovu popularizaciju u akademskoj sredini SAD. Krajem osamdesetih godina skoro svi veći univerzitetski centri u SAD imali su vezu sa NCFnet-om. ARPANET je time potpuno izgubio na značaju i ugasio se 1989. godine [1].

Nakon uspeha u akademskom okruženju Internet je polako dobijao komercijalne oblike i širio se izvan granica SAD. Da bi podstakao razvoj velikih „privatnih mreža“, NSFnet je doneo odluku o zabrani korišćenja svoje mreže. Tako su nastale velike „privatne mreže“, kao što su PSI, UUNET, ANS i druge. Kada je NSFnet 1988. godine ukinuo pomenutu zabranu, pojavom specijalizovanih firmi koje su pružale usluge povezivanja na Internet počinje finalna faza u razvoju globalne mreže. Oni koji pružaju usluge povezivanja na Internet nazivaju se Internet posrednicima ili „provajderima“ (Internet Service Providers – ISP).

Finalna etapa u razvoju Interneta započela je proglašenjem Interneta globalnom informacionom magistralom (Global Information Superhighway). Tokom 1994. godine počela je planirana tranzicija akademskih centara sa NCFnet-om ka mrežama velikih provajdera, da bi se 1995. godine NCFnet potpuno ugasio.

Razvoj Interneta pratio je razvoj novih korisničkih servisa, pre svega e-mail-a

i World Wide Web-a (WWW), koji krajnjem korisniku nudi raznovrsne informacije u vidu kombinacije pisanog teksta, slike i zvuka. Pojava Web prezentacija uslovlila je porast broja korisnika mreže. Na slici 1 grafički je prikazan porast broja računara priključenih na Internet.

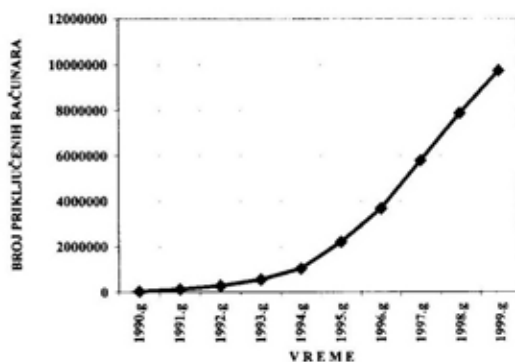
Na primer, sredinom 1998. godine broj WWW strana iznosio je 300 miliona, pri čemu se dnevno izrađivalo oko 1,5 miliona Web strana. Broj Internet provajdera u SAD i Kanadi sredinom 1997. godine iznosio je 4133, dok je broj provajdera u svetu sredinom 1996. godine iznosio 3054. Procenat saobraćaja na Internetu udvostručava se svakih 100 dana, i veći je od porasta broja hostova, je je odnos saobraćaja i hostova 14% godišnje. Broj incidenata vezano za bezbednost, prijavljeno computer Emergency Research Team Coordinator Serviceu 1995. godine iznosio je 2412, da bi tokom 1988. godine iznosio samo 6. Prodaja putem Interneta još 1998. godine dostigla je vrednost od 37,5 milijardi dolara.

Navedeni podaci u tekstu i tabeli pokazuju trend razvoja Interneta.

#### Trend korišćenja Interneta

Vreme	Hostovi	Domeni	Web strane	WXP (%) <sup>1</sup>
Jul 1998	36.739.000	4.300.000	4.200.000	12
Jan 1998	29.670.000	2.500.000	2.450.000	8,3
Jul 1997	19.540.000	1.310.000	1.200.000	6,2
Jul 1996	12.881.000	488.000	300.000	2,3
Jul 1995	6.642.000	120.000	25.000	0,4
Jul 1994	3.212.000	46.000	3.000	0,1
Jul 1993	1.776.000	26.000	150	0,01
Jul 1992	992.000	16.300	50	0,005
Jul 1989	130,00	3.900	-	-
Jul 1969	4	-	-	-

<sup>1</sup> Odnos Web strana i hostova: ovaj odnos zapravo pokazuje procenat ljudi koji krstare Webom, onih koji žele da kreiraju svoje sopstvene Web strane.



Sl. 1 - Trend rasta broja priključenih računara na Internet

### Organizacija Interneta

Internet je decentralizovani sistem međusobno povezanih mreža. Pošto vlasništvo nad Internetom ne postoji, nekoliko organizacija obavlja poslove vezane za koordinaciju aktivnosti korisnika mreže, kao što su: dodela adresa i naziva računara, registracija pojedinih mreža i dr. Svaki računar na Internetu ima svoju numeričku IP (Internet Protocol) adresu i jedinstveni alfanumerički FQDN (Fully Qualified Domain Name) naziv, odnosno jedinstveni skup adresa kada je potrebno da računar ima više adresa. Ovakav poređak obezbeđuju specijalizovane institucije, tzv. Internet registri koji se formiraju kod Internet provajdera, u većim kompanijama, i opslužuju određeni skup korisnika koji se priključuju na Internet. Rad Internet registara koordinira nekoliko regionalnih registara, kao na primer [2]:

- RIPE NCC obavlja koordinaciju za područje Evrope i Male Azije;

- APNIC obavlja koordinaciju za područje Azije i Pacifika;

- ARIN obavlja koordinaciju na svim područjima koja ne opslužuju RIPE i APNIC;

– Inter NIC-centralni Internet registar obavlja ostale globalne koordinacione poslove, koji nisu obuhvaćeni zaduženjima prva tri pomenuta registra.

Osim Internet registara određeni broj poslova vezanih za funkcionisanje Interneta obavljaju uskospecijalizovane agencije i organizacije. Najvažnije su:

– IAB (Internet Architecture Board) donosi odluke o pravilnicima, standardima, preporukama za efikasno upravljanje mrežom; odlučuje o globalnoj arhitekturi mreže;

– IETF (Internet Engineering Task Force) donosi komunikacione protokole i standarde u mreži;

– IANA (Internet Assigned Number Authority) obavlja koordinaciju adresa i naziva pojedinih računara i dodelu alfanumeričkih znakova neophodnih za implementaciju pojedinih Internet standarda.

Pored pomenutih postoje još neke specijalizovane organizacije:

– EFF (Electronic Frontier Foundation) organizacija čiji je cilj širenje Interneta i računarskih komunikacija;

– ISOC (Internet Society) bavi se društvenim aspektima razvoja Interneta u pojedinim zemljama i regionima;

– IANC (International Ad-Hoc Committee) bavi se usklađivanjem procedura za registraciju naziva domena na Internetu i tekuće pravne regulative u oblasti zaštite imena i autorskih prava;

– CERT (Computer Emergency Response Team) naziva se „Internet policijom“. Bavi se pitanjima bezbednosti računarskih sistema i mreža povezanih na Internet.

Evropski deo Interneta koordiniraju organizacije sponzorisanе od Evropske Unije i velikih kompanija. Jedna od takvih institucija je TERENA čije je delo-

vanje vezano za razvoj akademskih mreža u evropskim zemljama.

Veliku važnost ima i klasifikacija informacija na Internetu. S obzirom na njihovu brojnost one su i veoma različite. Neke od njih dostupne su svima, a druge nisu. Opšte pravilo je da su informacije na Internetu besplatne, međutim, danas je sve veći broj onih za čije posedovanje je potrebno platiti određenu cenu.

Standardizacija informacija na Internetu predstavlja problem koji zaokuplja pažnju. Ne postoji organizacija koja je direktno zadužena za standardizaciju podataka na globalnoj računarskoj mreži, već poslove vezane za tu oblast obavljaju neke od brojnih organizacija.

## Servisi Interneta

Posebnu pogodnost Interneta čine njegovi servisi. Neki od njih nastali su u vreme razvoja ARPANET-a krajem šezdesetih i početkom sedamdesetih godina. Bili su to FTP (File Transfer Protocol), protokol za prenos datoteka i Telnet, protokol za pristup udaljenim računarima. Kasnije su se pojavili elektronska pošta (e-mail), Newsgroups, a nešto kasnije i World Wide Web [2].

*Elektronska pošta (e-mail)* jeste servis Interneta koji telefonskim uspostavljanjem veze obezbeđuje prenos poruka i njihovo skladištenje. Korisnici imaju na serveru svoje „sandučke“ za elektronsku poštu u koje se smeštaju primljene poruke. Elektronska pošta prenosi se pomoću SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) protokola. Za čitanje poruka pristiglih elektronskom poštom nije potrebna stalna veza sa Internetom. Razmena se može izvršiti nekom od metoda povremenog pristupa. Elektronska pošta jedan je od najpopularnijih servisa Interneta. Na-



stala je u ranim fazama razvoja globalne računarske mreže i danas se mnogo koristi. Postala je ravnopravna sa običnom poštom i telefonskim pozivima. Elektronska pošta brža je od obične, a efikasnija nego faks. U komunikaciji putem e-maila vreme i mesto postaju nevažni. Korišćenje e-maila u svakodnevnom je porastu. Do 1998. godine preko 30% odraslih u SAD i Kanadi koristilo je ovaj servis. Po podacima Neilse NetRatingsa maja 1999. godine broj korisnika e-maila iznosio je 101 milion (izvor: [www.nua-net/surveus/xowmani-on-line/h-america.xtm](http://www.nua-net/surveus/xowmani-on-line/h-america.xtm)).

*FTP (File Transfer Protocol)* jedan je od najviše korišćenih servisa Interneta. Ovaj protokol omogućuje prenos datoteka, programa i sl., sa servera na računar korisnika. Pri tome su moguća dva načina pristupa serveru. Prvi je pristup kao anonimnog korisnika (anonimus FTP), a drugi kao redovnog korisnika, a što podrazumeva korišćenje „passworda“ korisnika.

*Telnet* omogućuje pristup udaljenim računarima i predstavlja jednu od najstarijih aplikacija na Internetu. Pojavio se ranih sedamdesetih godina. Telnet je servis koji omogućuje pristup različitim vrstama informacija koje su uskladištene na računarima koji su udaljeni od korisnika.

*News* je servis Interneta koji omogućuje grupnu komunikaciju. Slanje elektronske pošte podrazumeva da će poruku koja je poslata pročitati samo jedna osoba. Kada se pošalje pismo USENET News može ga pročitati svako ko je na Internetu. To omogućuje sukobljavanje različitih mišljenja i diskusiju o svim mogućim temama. USENET je organizovan po diskusionim grupama, a njihov broj je veliki. Svaka od grupa predstavlja konferenciju ili forum za određenu temu. Svaka

diskusiona grupa ima svoje ime i može pokrivati šira ili uža područja interesovanja.

*IRC (Internet Relay Chat)* je servis Interneta koji omogućuje komunikaciju u realnom vremenu. Brži je od elektronske pošte, a korišćenje chata zahteva poznavanje određenih pojmova. Za vreme korišćenja IRC-a potrebno je sve vreme biti na Internetu.

*Gopher* je predstavljao revolucionaran korak pri prvom pojavljivanju u razvoju Interneta. Jednostavan je za korišćenje, a služi za pretraživanje baza podataka dostupnih na mreži i lako pronalaženje informacija. Ovaj servis daje jednostavan, na menijima zasnovan interfejs za povezivanje sa serverima koji koriste Gopher. Pomoću Gophera može se pristupiti velikom broju informacija, ali se on danas manje koristi zbog toga što World Wide Web nudi bogato grafičko okruženje.

## **WWW (World Wide Web)**

Do pojave World Wide Web-a (WWW) Internet je predstavljao izvor velikog broja informacija čije pretraživanje i prikupljanje nije bilo jednostavno. Ličilo je na pretragu biblioteke u kojoj se, u mnoštvu knjiga nalazi tražena, a zatim i na čitanje cele knjige kako bi se došlo do željenog pojma. Informacije je bilo teško prikupiti i povezati sa sličnim pojmovima.

Napori za omogućavanje lakše pretrage i prikupljanje informacija započinj 1989. godine, idejom Tim Barnes Lee-a iz CERN-a, istraživačkog centra u Švajcarskoj. Počet je razvoj softvera i mrežnih protokola (protokol je skup komandi kojima se omogućuje komunikacija računara unutar mreže), koji omogućuju lakše

pretraživanje. Naponi su rezultirali nastankom softvera, 1993. godine, zvanog Web browser [2].

Nastali softver i protokoli daju mogućnost pretrage „kretanja“ dokumenata, kako po različitim dokumentima jednog računara, tako i po dokumentima različitih računara, dakle po Internetu, pomoću vrlo jednostavnih komandi. Osnovu koncepcije čine hiperlinkovi, koji omogućuju da se pozicioniranjem na podvučene reči, ostvaruje prelazak na sledeću stranu istog dokumenta, ili na drugi dokument. Ovaj princip načinio je od Interneta mrežu informacija koja povezuje svet. Web je Internet učinio svuda prisutnim i jednostavnim za korišćenje.

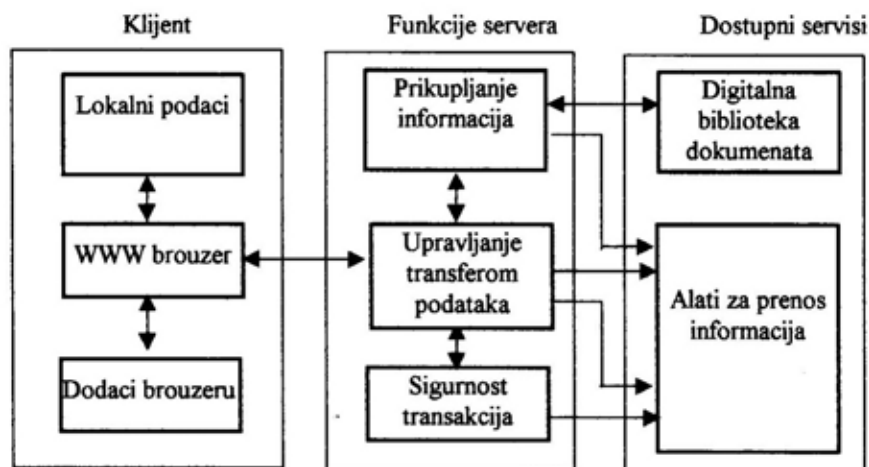
Web je jedan od najvažnijih servisa Interneta čija upotreba omogućuje:

- prikupljanje podataka i informacija;
- pretragu, pronalaženje i čitanje dokumenata na različitim računarima;
- prikupljanje softvera, slika, zvučnih zapisa, tabela, teksta i CAD crteža;
- korišćenje Internet servisa kao što su Telnet, FTP, Gopher,

- pretragu baza podataka.

Web omogućuje prelazak sa dokumenta na dokument, sa sajta na sajt po čitavom Internetu. Široko je rasprostranjen i omogućuje pristup velikom broju korisnika. Ono što ga čini posebno popularnim jeste lakoća kojom pojedinci i organizacije mogu pristupiti Webu. Web koristi dokumente koji su kreirani na osnovu HTML-a (Hyper Text Markup Language), koji omogućuje, putem linkova, prelaz sa jednog na drugi dokument, koji može biti lociran na istom ili udaljenom računaru. Pozicioniranjem na izabrani link i jednostavnim pritiskom na taster miša prelazi se na drugi sajt, pomoću HTTP (Hiper Text Transfer Protocol). Pretraga je omogućena softverom Web browser. Klijent postavlja zahtev, šalje ga Web serveru, koji pomoću CGI-a (Common Gateway Interface) preuzima različite aplikacije.

Na slici 2 predstavljen je opšti koncept arhitekture Weba [2]. Čine ga tri velika segmenta: Web klijent, Web server i dostupni servisi. Browser klijenta je u interakciji sa serverom, koji zapravo



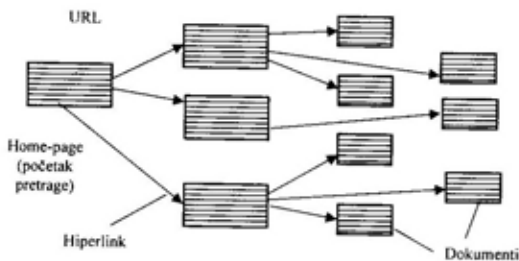
Sl. 2 – Opšti koncept arhitekture Weba

predstavlja posrednika u interakciji klijenta sa dostupnim servisima. Osnovni pojmovi vezani za Web su: HTML, HTTP, CGI, URL, Web klijent, Web server.

*HTML (Hypertext markup Language)* jeste jednostavan jezik koji čini osnovu Weba, a zasnovan je na SGML standardu (Standard Generalized Markup Language). HTML dokumenti mogu se izraditi u bilo kom standardnom tekst-editoru. Neki HTML editori mogu konvertovati običan tekst u HTML dokument. HTML omogućuje i kreiranje naslova, zaglavlja, slika i linkova, i vrlo je jednostavan.

Još jedna od prednosti ovih dokumenata je i njihova dinamička organizacija. Linkovi se biraju i menjaju proizvoljno, i čuvaju za pojedinačnog korisnika (slika 3). Ovakva koncepcija omogućuje korisnicima da kreiraju, označe, povežu, i podele informacije prezentovane u različitim oblicima, kao tekst, slike, audio i video zapise i programe.

Opisani statički HTML zamenjen je dinamičkim HTML-om. Statički HTML zahtevao je dodatno korišćenje određenih programskih jezika, kao što su C ili C++, dok dinamički HTML ima u sebi već ugrađene te mogućnosti. Posebno popularno je korišćenje JAVA-e<sup>2</sup>, program-



Sl. 3 – Mreža hipertekst dokumenata

skog jezika razvijenog za Internet. JAVA je svoju popularnost stekla činjenicom da nije zavisna od platforme i da je njeno korišćenje upravo namenjeno Web-u. JAVA je jezik opšte namene, a baziran je na objektno orijentisanom programiranju. Osnovna ideja pri formiranju JAVA bila je postizanje što veće nezavisnosti od karakteristika računarskog sistema, i omogućavanje kodiranja aplikacija koje se mogu koristiti bilo gde na Internetu.

HTTP protokol (Hypertext Transfer Protocol) jeste Internet protokol, sličan File Transfer Protocolu (FTP) ili Network News Transfer Protocolu (NNTP), koji služe prenošenju fajlova i vesti na Internetu već niz godina. HTTP je protokol zasnovan na koncepciji postavljanja zahteva – dobijanja odgovora, koji čini osnovu Word Wide Weba. To je protokol koji obezbeđuje efikasno prenošenje informacija između klijenta koji zahteva informacije i servera koji odgovara na postavljene zahteve. Podaci koji se prenose mogu biti u formi teksta, slika, audio ili video zapisa.

*Common Gateway Interface (CGI)* jeste standardni interfejs između Web servera i aplikacije (Browser-server-CGI skript-animacija). CGI se koristi uvek kada server šalje ili prima podatke od neke druge aplikacije. To je program koji usmerava kretanje podataka između Web servera i aplikacija. CGI vrši prenos HTML formi korisnika, od Web servera do baze. Podaci se mogu vratiti do korisnika pomoću CGI. CGI programi skriptovi napisani su u nekom od popularnih programskih jezika, kao što je C.

URL daje podatke o lokaciji računara na kojem se nalazi određeni fajl, ime fajla i Internet protokol koji treba koristiti kako bi mu se pristupilo. Neki primeri URL-a su:

<sup>2</sup> JAVA je programski jezik koji je 1995. godine razvio „Sun Microsystems, Inc.“.

- <http://www.vj.bg.ac.yu/index.htm>
- <telnet://www.eunet.yu>
- <FTP://FTP.imp.bg.ac.yu>
- <news://mews.vj.bg.ac.yu>

Prvi deo URL-a predstavlja metod pristupa, a u navedenom pristupu to su: Hypertext Transfer Protocol, Talnet, file Transfer Protocol, News. Nakon dve tačke slede dve kose crte, a zatim ime mašine. Posle adrese sajta sledi kosa crta, a zatim putanja do fajla ili njegov naziv.

*Web klijenti* omogućavaju korišćenje komandi Web brouzera, koje nude uspostavljanje veze i prenos zahtevanih podataka od servera. Upotrebom brouzera može se pristupiti različitim sadržajima. Na primer, ako se zahteva neki grafički fajl od Web servera, brouzer automatski započinje sa prikazom fajla određene ekstenzije. Postoje različiti formati fajla: JPEG, GIF, bmp, i dr. Brouzer raspoznaje format fajla koji se prenosi i „priprema“ za njegov prikaz.

Arhitektura Weba obezbeđuje kontakt klijenta sa mrežom, dozvoljavajući pristup udaljenim bazama i drugim resursima. Takođe, korisnicima je omogućen pregled različitih aplikacija.

*Web serveri* su hardver i softver koji „čuva“ različite sadržaje koje može ponuditi pomoću Web brouzera. Najviše korišćeni su Microsoft Internet Information Server i Netscape Communications Server. Funkcije servera mogu se podeliti u nekoliko grupa. Serveri obezbeđuju informacije, prenos podataka i informacija, a isto tako daju odgovarajuću sigurnost u radu.

Da bi se informacije publikovale mora postojati odgovarajući program na serveru. Prenos podataka između servera i klijenta vrši se putem TCP/IP mreže pomoću HTTP protokola. Sa druge strane, server je povezan sa različitim apli-

kacijama koje treba da posluže korisnicima. To su različiti dokumenti, baze podataka i sl. kojima se pristupa putem CGI-a. Server, u stvari, predstavlja posrednika između korisnika (klijenta) i aplikacija koje on zahteva.

*Multimedija* povezuje informacije sadržane na različitim medijima, na video traci, CD-u, fotografijama i sl. Popularnost Weba može se pripisati činjenici da ovaj servis Interneta podržava multimediju. Ona sadrži četiri osnovne komponente: zvuk, statične slike, video zapise i animaciju.

Editovanje zvuka moguće je pomoću odgovarajućeg hardvera (muzičke kartice) i softvera. Proizvedeni zvuk može predstavljati kombinaciju zvuka sa CD-a, zvuka snimljenog mikrofonom, kasetofonom ili prethodno snimljenim zvucima. Audio sistemi mogu biti na CD-audio, weaform audio i MIDI audio.

Statične slike mogu biti slajdovi, fotografije, ručno izrađeni crteži, CAD ili računom generisani crteži. Video kartice omogućuju prikazivanje različitih vidova statičnih slika. Odgovarajući softver omogućuje obradu i rad na ovim slikama. Zahtevi za dobrim kvalitetom slike podrazumevaju što više nijansi boja, u što većoj rezoluciji.

Uz pomoć odgovarajućeg softvera računari su našli primenu u kontroli editovanja video zapisa. Za vezu između videa i multimedije računara potrebne su specijalne računarske komponente.

## **Intranet**

Intranet predstavlja izolovani lokalni Internet, čiji su servisi organizovani za podršku odlučivanju i razmeni informacija. Intranet karakteriše klijent-server arhitektura, koja koristi brze lokalne raču-

narske mreže sa više servera i većim brojem radnih stanica za potrebe krajnjih korisnika. Server skladišti podatke i snabdeva klijente potrebnim podacima. Intranet je naziv za interne informacione sisteme zasnovane na korišćenju Internet tehnologija, sa posebnom primenom WWW tehnologije. Intranet je zaštićen zaštitnom barijerom tzv. „firewall-om“ u odnosu na okruženje (slika 4). To je kombinacija softvera i hardvera koja štiti intranet korisnike od neželjenih pristupa zaštićenim podacima organizacije.

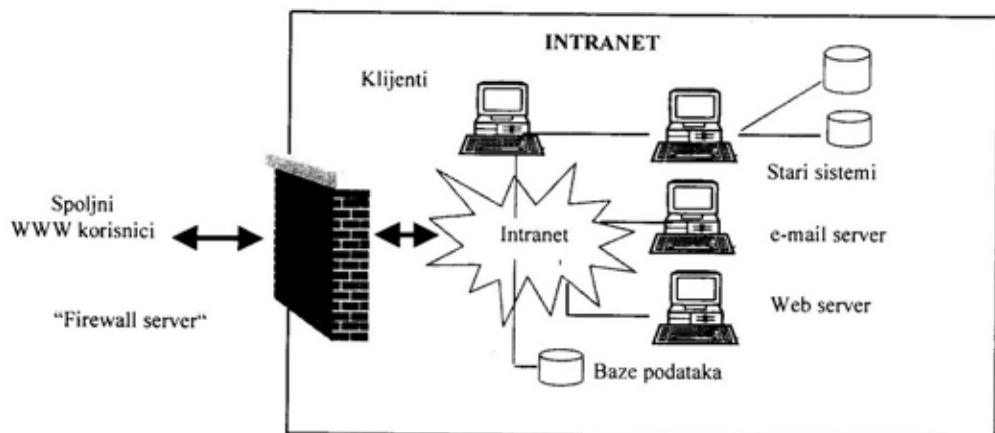
Intranet može da pruža podršku svim funkcijama nekog organizacionog sistema. Softverska podrška funkcijama organizacionog sistema obezbeđuje se korišćenjem standardnih Internet servisa koji su povezani sa lokalnom bazom podataka. Baze sadrže različito organizovane podatke, tekstualne dokumente, grafičke aplikacije, audio i video zapise. Elektronska pošta omogućuje komunikaciju između zaposlenih unutar organizacije.

WWW služi „on-line“ izdavaštvu koje obezbeđuje različite vrste informacija korisnicima u organizaciji, a dostupne su ovlašćenim korisnicima, bez posred-

nika u distribuciji i vremenskih kašnjenja uobičajenih za tradicionalni način distribucije.

Intranet prvenstveno služi kao podrška operativnom nivou odlučivanja, koji koristi informacije iz okruženja i one koje postoje unutar organizacije. Na operativnom nivou odlučivanja formulišu se operativni ciljevi i vrši organizovanje i kontrola ostvarenja operativnih ciljeva organizacije.

Poseban značaj sa stanovišta internih poslovnih komunikacija ima „groupware“. To je, u stvari, softver za timski rad, a njegov razvoj je u ekspanziji. Namenjen je timovima ljudi koji zajedno rade deleći informacije. Rad i produktivnost grupe zavise od raspoloživih resursa, prirode zadataka i procesa. „Groupware“ treba prvenstveno da podrži komunikaciju, tako da saradnja članova unutar grupe bude lakša, jeftinija i brža. „Groupware“ podrazumeva sisteme za obezbeđivanje raspodele informacija korisnicima mreže, automatizovane sisteme za filtriranje informacija i njihovu obradu, sisteme za stvaranje dokumenata, multimedijalne konferencijske sisteme i sisteme za komu-



Sl. 4 – Funkcionalna arhitektura Intraneta

nikaciju u realnom vremenu. Najviše korišćen „groupware“ je Lotus Notes.

Intranet se posebno razvija u organizacijama koje imaju zastupljenu funkciju proizvodnje. Međutim, Intranet je interesantan i za druge organizacione sisteme, kao što je vojna organizacija. Na primer, da bi se obezbedila neprekidna podrška odlučivanju u vojnoj organizaciji potrebno je da se korišćenjem postojećih baza podataka i lokalnih informacionih sistema u Intranet okruženju, omogućiti:

- obrada i prezentacija informacija o stanju, događajima i aktivnostima,
- „inteligentno upravljanje procesima“ u funkciji donošenje odluka.

Informacije se mogu pratiti korišćenjem nekog od servisa Interneta, odnosno Intraneta: e-maila, Newsa, WWW-a.

Primena servisa Interneta, odnosno Intraneta, ogleda se u primeni elektronske pošte za izdavanje zadataka i koordinaciju poslova, Talnet za praćenje realizacije u organizaciji, a FTP za transfer dokumentacije (na primer, tehničke dokumentacije i sl.).

Primena računara i komunikacionih tehnologija u administraciji omogućuje povećanje produktivnosti kancelarijskih službenika i rukovodilaca. Osnovni zadatak uvođenja Internet servisa u administrativnu funkciju jeste da se stvore uslovi za kreiranje i prenos multimedijalnih dokumenata. Ovakvi dokumenti mogu da uključuju različite tipove podataka: tekst, numeričke podatke, slike, audio i video zapise.

Najveću primenu imaju elektronska pošta koja služi informisanju zaposlenih, FTP koji služi za prenos dokumentacije, IRC za direktan kontakt između zaposlenih i WWW za različite tipove prezentacija unutar organizacije. Obezbeđenje pristupa važnim informacijama primaran

je zadatak u ovoj oblasti, a daju se u obliku jednog izveštaja ili pregleda. Posebnu pažnju treba posvetiti zaštiti ovih informacija.

Kao i u svim funkcijama organizacije Internet se može koristiti u propagandi. Pre svega, prikuplja informacije koje su potrebne za razna istraživanja, omogućava nastup u javnosti i promociju. WWW je doneo najveće mogućnosti propagandi i ovaj servis se danas koristi kao podrška velikom broju aktivnosti propagande. Elektronska pošta služi za pogodniji kontakt sa „klijentima“, a News za diskusiju sa korisnicima propagandnih poruka.

Prednosti Interneta ogledaju se u:

- olakšanom publikovanju informacija potrebnih svim funkcijama organizacije,
- čuvanju velikog broja informacija,
- smanjenim troškovima komunikacije,
- jednostavnoj promeni broja „klijenata“,
- jednostavnoj distribuciji softvera.

Nedostaci Intraneta su:

- aplikacije koje nudi nisu tako moćne kao „groupware“,
- ograničene su mogućnosti povezivanja sa drugim bazama i aplikacijama iz bezbednosnih razloga.

Perspektive Intraneta i dalji razvoj kretaće se u smeru:

- boljeg pristupa informacijama,
- jednostavnijeg korisničkog interfejsa,
- boljeg pristupa bazama podataka,
- pristupa nezavisnim aplikacijama.

Danas je upotreba elektronske pošte i Interneta u ekspanziji. Komercijalizacija Interneta naterala je mnoge da poveruju da je nastala era elektronskog poslovanja. Ipak, postoji konfuzija u shvatanjima na-

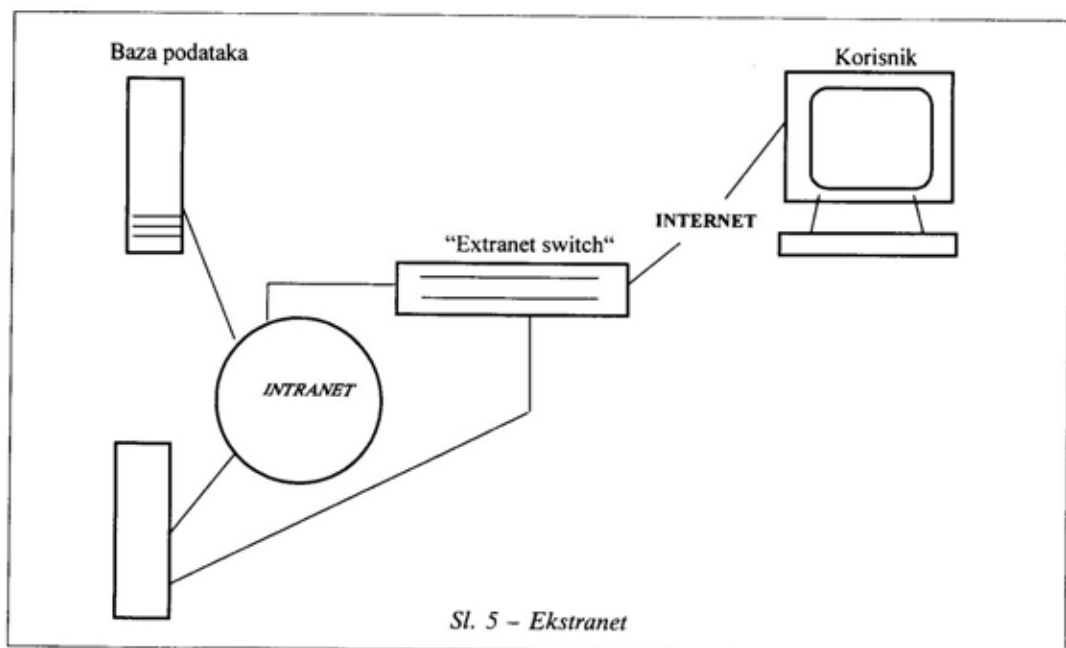
čina korišćenja ovih tehnologija i formulisanja najbolje Internet strategije [13].

*Ekstranet* je uobičajeni naziv za one Intranet sisteme koji koriste Internet kao spoljašnju komunikacionu infrastrukturu da bi komunicirali sa drugim informacionim sistemom ili drugim delovima internog informacionog sistema. Ekstranet, kao zamena za konvencionalne javne ili privatne mreže za prenos podataka, ima svoje prednosti i nedostatke. U elemente koji idu u prilog Interneta kao spoljne komunikacione mreže, pre svega, može se uvrstiti cena, koja je više puta niža nego u slučaju korišćenja javnih mreža. Drugi faktor u prilog Interneta je izuzetno jednostavna razmena informacija sa delovima organizacionog sistema, i treći, mogućnost globalne propagande, zahvaljujući mogućnosti da potencijalni korisnici lako pristupe „našem“ WWW serveru. Međutim, treba reći da rad preko Interneta nije dovoljno pouzdan, da su performanse merene propusnošću

i vremenskim kašnjenjem praktično nepredvidive, da ostaju da se reše brojni problemi koji se odnose na zaštitu od upada u sistem, „prisluškivanja“ i sl.

U teoriji su definisane tri klase aplikacija elektronskog poslovanja: propaganda orijentisana prema „klijentima“, poslovanje orijentisano ka drugim poslovnim subjektima i poslovanje unutar organizacije. Većina komercijalnih Internet aplikacija, pre svega World Wide Web, koristi se za prenos propagandnih poruka „klijentima“, ali i za distribuciju informacija unutar organizacije. Ovakve aplikacije Internet tehnologije nazivaju se Ekstranet, a njegov zadatak je da poveže Intranet organizacije sa Internetom i tako proširi trenutno usku definiciju elektronskog poslovanja.

Elektronsko poslovanje podrazumeva korišćenje mrežnih komunikacionih tehnologija za izvršenje različitih aktivnosti unutar i izvan organizacije. Elektronsko poslovanje uključuje četiri različita



Sl. 5 – Ekstranet

tipa informacionih tehnologija. To su tehnologije za prenos poruka, kao što je fax, e-mail, tehnologije za korišćenje podataka unutar preduzeća koja pomažu saradnju, tehnologije poput EDI-a (Electronic Data Interchange) i EFT-a (Electronic Funds Transfer) i, na kraju, elektronsko izdavaštvo za propagandu, oglašavanje i podršku „klijentima“.

Pošto je shvatanje potencijalne strateške važnosti elektronskog poslovanja usko i ograničeno, pomoć u prevazilaženju ovih problema može da pruži Ekstranet.

Na slici 5 prikazani su aspekti koji karakterišu Internet aplikacije. Ekstranet koji je u funkciji međusobno udaljenih delova informacionog sistema organizacije poznat je i pod nazivom virtuelna privatna mreža – VPN ili IP tunel.

## Zaključak

Navedena razmatranja pokazuju da je opravdan razvoj i implementacija internih informacionih sistema, koristeći standarde i tehnologije Interneta. Uvođenjem Intraneta ne narušavaju se postojeći informacioni sistemi i metodologija rada korisnika, a osnova za implementaciju je postojanje lokalnih računarskih mreža sa klijent-server arhitekturom. Na taj način postojeći interni informacioni sistemi postaju skup „manjih zatvorenih Internet mreža“, sa svim karakteristikama i servi-

sima koje koriste globalne računarske mreže.

Prednost ovog koncepta je u racionalnijem održavanju informacionih sistema, kao i u korišćenju multimedijске komunikacije sa korisnicima, a nedostaci su nedovoljna pouzdanost pri uspostavljanju komunikacije između Intranet mreža, odnosno pri korišćenju Ekstraneta. Bezbednost podataka u internim informacionim sistemima ne narušava se u Intranet okruženju. Intranet pruža mogućnost povećanja nivoa bezbednosti, za razliku od Ekstraneta i Interneta.

## Literatura:

- [1] Leiner, B.M., Cerf V.G.: A brief History of the Internet, Internet Society – (URL: <http://www.isoc.org/internet-history/>)
- [2] Merit USA: Internet Architecture – (URL:<http://www.merit.edu/>)
- [3] Comer, D.: Internetworking with TCP/IP, Vol. 1, Prentice Hall, 1991.
- [4] RIPE LIR Working Group: European Internet Registry Policies and Procedures, Document ripe – 159, 06/1997.
- [5] Mockapetris, P.: Domain Names – Concepts and Facilities, Network Working Group, Document RFC 1034, November 1987.
- [6] Gao, Z. J., Chen C., Toyoshima, Leung, D. K.: Engineering of The Internet for Global software production, Computer, May 1999.
- [7] James, M.: Local Area Networks, Prentice-Hall, 1994.
- [8] Netscape Communications Corporation, Intranet Deployment Guide, 1997.
- [9] Norris, M., Muschamp, P, Sim, S.: The BT Intranet-Information by Design, Computer, march 1999.
- [10] The Networked Enterprise, Intranet Redefine Corporate Infon-nacion Systems, 1997.
- [11] Intranet Redefine Corporate Informacion Systems, Intranet Deployment Guide, 1997.
- [12] Riggins, F.J., Rhe, H-S.S.: Toward a Unified View of Electronic Commerce, Communications, October 1998, Volume 41, Number 10.



**Mr Radenko I. Višnjić,**  
potpukovnik  
Vojna akademija VJ,  
Beograd

## MATEMATIČKA OSNOVA OBLIKOVANJA DIGITALNIH MODELA RELJEFA

UDC: 528.932:519.651/.652:681.322

### Rezime:

*U radu je prikazana matematička osnova oblikovanja digitalnih modela reljefa (DMR) kopnene fizičke površi Zemlje. Opisana je teorijsko-matematička osnova i dati su matematički izrazi aproksimacija linija i površinskih elemenata oblikovanja prostorno-strukturnih svojstava reljefa. Izrazi su značajni za izbor odgovarajućih rješenja pri korišćenju računarske podrške u postupku izrade DMR – zavisno od njihove primene i zahtjevane tačnosti.*

*Ključne riječi: digitalno modelovanje reljefa, matematička osnova oblikovanja DMR, funkcije interpolacije i aproksimacije.*

---

## MATHEMATICAL BASIS OF FORMATING DIGITAL MODELS OF RELIEF

### Summary:

*This paper deals with a mathematical basis used for forming the Digital Models of Relief (DMR) of the Earth's physical land surface. The theoretical and mathematical basis is described and mathematical expressions for approximation of the lines and surface elements in forming relief's space structural features are given. These expressions are significant for the selection of appropriate solutions while using computer support in the DMR making procedure. The selections depend on their application and a required accuracy.*

*Key words: digital modelling of relief, mathematical basis of forming the DMR, functions of the interpolation and approximation.*

---

### Uvod

Digitalni modeli reljefa (DMR) fizičke kopnene površi Zemlje jesu digitalni skupovi podataka u rasterskom i/ili vektorskom sistemu, o morfometrijskim i metričkim (geodetskim; sopstvenim) svojstvima prostorno-strukturnih odnosa fizičke površi Zemlje i geodetskih vertikalnih referentnih površi (po dijelovima ili u cjelini). Predstavljaju elementarne površi ili unije elementarnih površi, i skupove materijalnih tačaka različitih gu-

stina, položaja, orijentacija, međusobnih odnosa [1] i sl.

Digitalno modelovanje reljefa je složeni sistem prikupljanja, oblikovanja, objasnjanja, vrjednovanja, predstavljanja, primjenjivanja i ispitivanja saglasnosti digitalnih podataka o fizičkoj površi Zemlje i izvornih podataka. Sistem sačinjavaju: podsistem modelovanja – reljef fizičke površi Zemlje i modulujući podsistem – informatička nauka, tehnologija i stručnjaci.

Digitalno modelovanje reljefa obuhvata [2]:

- prikupljanje originalnih podataka o reljefu, uspostavljanjem odgovarajućih odnosa između rezultata različitih mjerenja i izrada osnove DMR;

- oblikovanje i uređivanje podataka (obrada i prilagođavanje, izdvajanje posrednih modela i priprema za različite postupke primjene, svođenje podataka u jedinstvene geodetske referentne sisteme, i sl.);

- interpretaciju digitalnih podataka o reljefu kvalitativno-kvantitativnim analizama, izdvajanjem skupova kontrolnih tačaka, „međumodela“, i sl.;

- predstavljanje DMR i njihovih funkcionala različitim metodama, postupcima i oblicima (tekstualno, grafički, alfanumerički, izometrijski, aksiometrijski, ortogonalno, jednobojno i višebojno, rasterski, vektorski i sl.).

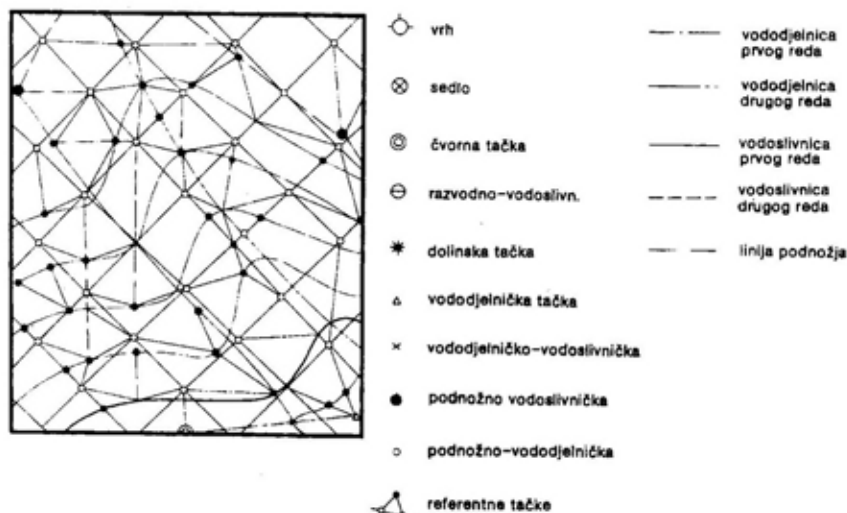
- korišćenje modela i funkcionala u različitim naučnim, teorijsko-praktičnim, praktičnim, civilnim, vojnim, inženjer-

sko-tehničkim, geodetskim, geofizičkim, geomorfološkim, kartografskim, fotogrametrijskim, geografskim i sl. oblastima djelatnosti.

Prostorna svojstva, struktura i oblast DMR (slika 1 [3]) presudno utiču na izbor parametara i veličina sistema digitalnog modelovanja reljefa fizičke površi Zemlje (zemljišta, terena, topografije) i postupak njihove primjene. Zbog toga se u cjelokupnom postupku oblikovanja DMR postavljaju potrebni i dovoljni uslovi, kao što su: gustina i raspodjela podataka, geodetski referentni sistemi, tačnost modela, način predstavljanja modela i funkcionala, sadržaj oznaka modela i koordinatnih početaka, oblast obuhvatanja modelom, mogućnosti preoblikovanja, i sl.

### Teorijsko-matematička osnova oblikovanja DMR

Predstavljanje i ostvarenje skupova digitalnih podataka, koji izražavaju prostorno-strukturalna svojstva fizičke površi



Sl. 1 - Strukturno-regularni (TIN-grid) DMR

Zemlje (slika 1) dostiže se složenim sistemom – digitalnim modelovanjem reljefa – tako da istraživanje, proučavanje, izrada i primjena DMR obezbjeđuje nove podatke – neposredno i posredno – funkcionalima DMR (ugao nagiba zemljišta, strukturne linije i tačke reljefa, zapremina masa, gravitacioni potencijal i izostatička kompenzacija masa reljefa, uticaji masa reljefa na osnovne geodetske fizičke parametre, karte do gledanja i pokrivanja EMT, itd.).

Obrada izvornih i referentnih podataka oblikovanjem DMR, predstavlja naj-složeniji i najznačajniji dio sistema digitalnog modelovanja reljefa. Prostorno-vremenska svojstva DMR: globalni, regionalni, lokalni, referentna ili proizvoljna vremenska epoha, globalni, regionalni, nacionalni ili lokalni geodetski referentni sistemi, standardizovana ili proizvoljna struktura i raspodjela podataka i sl. opredjeljujuće utiču na postupke obrade podataka i oblikovanja DMR.

Postupak oblikovanja, zavisno od obima, namjene i primjene DMR, uslovno se može podijeliti na intervale različite prema: sadržaju, načinima interpolacije podataka, aproksimaciji linija i elementarnih površi reljefa, itd.

U „uvodnom dijelu“ postupka obrađuje se referentna (osnovna) raspodjela (grid, TIN, TIN-grid [3]) i gustina (detaljni, prorijeđeni, posredne površi reljefa) – na osnovu raznovrsnih i usklađenih izvornih (originalnih) podataka.

Glavni i završni dio obuhvataju obradu izvornih podataka rutinskim programima i oblikovanje DMR – do ostvarenja potrebnih skupova podataka (oznaka osnovnih veličina, podjela na podskupove, dobijanje i predstavljanje matematičko-statističkih pokazatelja, prilago-

đavanje modela primjeni i mogućnostima informatičke podrške [1], itd.).

U opštem slučaju postupak sadrži dvije interpolacije podataka, različite i/ili jednake, ali je neophodno sljedeće:

- u prvom dijelu postupka interpolacije i aproksimacije (linija i elementarnih površi) sačuvati opšti kvalitet i tačnost izvornih podataka (npr. 95% nivoa značajnosti),

- u glavnom dijelu postupka dostići zahtjevane osobine DMR odgovarajućim metodama interpolacija (kolokacija, spline polinomi, harmonijske funkcije, itd.) i funkcijama aproksimacija (kovarijaciona funkcija, stepeni polinomi, funkcionalni redovi, konvolucije, itd.).

Metode interpolacije, nezavisno od namjene DMR, moraju zadovoljiti neophodne uslove [4]:

- neprekidnost funkcije i njenih izvoda (prvog i drugog reda) u cjelini, ili „dio po dio“, na intervalu interpolacije i aproksimacije;

- tačnost funkcija aproksimacije linija i površi, i u referentnim tačkama DMR koje pripadaju površima niskog stepena i reda (npr. ravnima) – mora biti zadovoljavajuća, tako da vrijednosti visina tačaka pripadaju takvim funkcijama;

- interpolacione funkcije moraju biti invarijantne, u pogledu promjene; parametrizacije, razmjera, translacije i rotacije DMR;

- ostvarenje (bi)linearne funkcionalne međuzavisnosti referentnih (osnovnih) tačaka DMR.

Osnivanje, obrada, oblikovanje i primjena DMR obuhvataju aproksimacije:

- linija (krivih i pravih, duž određenih ili proizvoljnih pravaca) i

- površi (u okviru osnovnih kvadratnih, trapezoidnih, trougaonih polja, ili

proizvoljnog dijela površi Zemlje), korišćenjem različitih metoda interpolacije.

Podjela metoda interpolacije može se izvršiti prema:

- brzini i tačnosti izračunavanja;
- namjeni DMR;
- zahtjevanoj tačnosti DMR i njihovih funkcionala i sl.

Interpolacija linija fizičke površi Zemlje najčešće se izvršava primjenom: polinoma i spline funkcija trećeg stepena, poligonih vlakova, linearnih polinoma, Fourierovih funkcionalnih redova, metode najmanjih kvadrata, kolokacije najmanjih kvadrata [6] i sl.

Površinski elementi reljefa Zemlje, interpoliraju se u trodimenzionalnom (3D) metričkom prostoru, prethodno navedenim metodama, korišćenjem koordinata: geocentričkih i lokalnih Cartesiusovih, državne koordinatne mreže, elipsoidnih (geodetskih) ili sfernih i sl., gdje su nadmorske ili geometrijske visine funkcije sfernih, elipsoidnih, astronomskih ili pravouglinih koordinata.

Pri aproksimaciji elementarnih površi reljefa analitičkim izrazima, nezavisno od usvojene parametrizacije, primjenjuju se metode interpolacije: bilinearna (hiperboličkim paraboloidima); bikubnim polinomima; bikubnim spline funkcijama; konačnim i graničnim elementima; 2D kovarijacionim funkcijama, i sl.

### **Aproksimacija linija prostorne strukture reljefa**

Strukturne tačke i linije prostornih i morfometrijskih svojstava fizičke površi Zemlje ne mogu se predstaviti jednostavnim matematičkim izrazima, pa se zbog toga aproksimiraju analitičkim funkcijama na osnovu skupova izabраниh, ras-

položivih i određenih tačaka, u definisanim geodetskim referentnim sistemima.

Aproksimacije linija reljefa zasnovane su, uglavnom, na interpolacijama neprekidnih funkcija polinomima i funkcionalnim redovima.

Interpolacioni polinomi, sa gledišta postupka računanja i sprovođenja računskih operacija, pogodni su analitički izrazi [5] numeričkih metoda određivanja približnih vrijednosti nesvojstvenih, neprekidnih, podintegralnih funkcija. Primjena je zasnovana na Weierstrassovoj teoremi (navodi se bez dokaza [5]):

Za svaku funkciju  $H(x)$ ,  $x \in [a, b]$  i za svako  $\varepsilon > 0$ , postoji polinom  $P(x)$ , tako da je:

$$d[H(x); P(x)] \leq \varepsilon$$

gde je:

$\varepsilon$  – greška aproksimacije;

$d[\bullet]$  – metrika na intervalu  $[a, b]$  aproksimiranja funkcije polinomom.

Aproksimacije neprekidnih, krivih i pravih linija prostorne strukture reljefa, pri izradi DMR, najčešće se zasnivaju na interpolacijama: kubnim stepenim i spline polinomima i Fourierovim trigonometrijskim redovima.

### *Kubni polinomi*

Funkcija  $H(x)$ , diferencijabilna  $\{n\}$  puta u tački  $x_0 \in [a, b]$ , može se aproksimirati Taylorovim polinomom (primjenjujući jednostavnije označavanje,  $d^n H(x_0)/dx^n = H^{(n)}(x_0)$ ):

$$T_n(H, x_0, x) = H(x_0) + H'(x_0) \frac{(x - x_0)}{1!} + \dots + H^{(n)}(x_0) \frac{x^n}{n!} \quad (1)$$

ili pri  $x_0 = 0$  Maclaurinovim stepenim polinom:

$$M_n(H, 0, x) = H(0) + H'(0) \frac{x}{1!} + \dots + H^{(n)}(0) \frac{x^n}{n!} \quad (2)$$

Neprekidna funkcija  $H(x)$  do  $(n+1)$ -og izvoda, na odsječku  $x \in [0, L]$  u tački  $x_0 \in [0, L]$ , aproksimira se polinom:

$$H(x) = T_n(x) + R_n(x)$$

koji za treći stepen ( $n = 3$ ) ima razvijeni oblik:

$$T_3(x) = H(0) + H'(0) \frac{x}{1!} + H''(0) \frac{x^2}{2!} + H'''(0) \frac{x^3}{3!} \quad (3)$$

$$R_3(x) = H^{(4)}(\xi) \frac{x^4}{4!}; \quad \xi = 0 + \theta(x - 0),$$

$$0 < \theta < 1$$

Greška aproksimacije  $\varepsilon$ , funkcije  $H(x)$ , Taylorovim polinomom  $T_3(x)$ , zavisi od stepena polinoma i klase regularnosti funkcije, pa iz prethodnog slijedi:

$$H(x) \approx T_3(x); \quad |H(x) - T_3(x)| \leq \varepsilon_H; \\ n = 3; \quad x \in [0, L]$$

i kubni Taylorov polinom  $T_3(x)$  funkcije  $H(x)$ :

$$H(x) \approx T_3(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (4)$$

gdje je:

$a_n, n \in [0, 3]$  – koeficijenti polinoma (prema izrazu (3));

$x^n, n \in [0, 3]$  – vrijednost dužine na intervalu,  $x \in [0, L]$ ;

$H(x)$  – vrijednost visine tačke na rastojanju  $x \in [0, L]$ ;

$T_3(x)$  – kubni Taylorov interpolacioni polinom.

Koeficijenti polinoma određuju se na osnovu poznatih visina tačaka, npr.  $H(0) = 300$  m i njihovih međusobnih rastojanja (intervala uzorkovanja tačka), npr.  $\Delta x = 25$  m, dosljednom primjenom teoreme odбирaka [1].

Pri interpolaciji funkcija Taylorovim polinomima  $T_n(x)$  značajni su: stepen polinoma (npr.  $n = 3$ ), dužina uzorkovanja tačaka (npr.  $L = 10$  km), interval uzorkovanja (npr.  $\Delta x = 25$  m) i greška aproksimacije visina (npr.  $\varepsilon_H = \Delta H(x) = 1$  m). Ocjenjuju se tokom cjelokupnog postupka izrade i primjene DMR, od prikupljanja izvornih podataka do primjene funkcionala DMR, a istovremeno mogu biti početni uslovi i pokazatelji za: izbor, prikupljanje, obradu, oblikovanje i obrazovanje odgovarajuće strukture podataka DMR.

### Spline polinomi

Ako je funkcija  $H(x, y)$  (slika 2 [1]) zadata na intervalu  $y \in [0, L]$ , podjeljenim čvorovima interpolacije:

$$[0, L]: 0 = y_0 < y_1 < y_2 < \dots < y_m = L \quad (5)$$

može se aproksimirati spline funkcijom  $H_{[\bullet]}(y)$ , različitog stepena  $\{m\}$ . Skup polinoma  $P_m(y)$  i funkcija  $C^{(m)}[0, L]$  realnih promjenljivih, određenih na intervalu  $y \in [0, L]$ , „povezani“ su funkcijom  $S_{[\bullet]}(y)$ , stepenim spline polinomom, defekta  $k$  ( $1 \leq k \leq m$ ) sa čvorovima (5), ako su ispunjeni uslovi:

$$(a) S_{[\bullet]}(y) \in P_m(y) \quad \forall y \in [y_i, y_{i+1}]$$

$$i \in [0, m-1] \quad (6)$$

$$(b) S_{[\bullet]}(y) \in C^{(m-k)} [0, L]$$

Ako se usvoji  $k = 1$ , tada spline  $S_m(y)$  vrši interpolaciju funkcije  $H(y)$  na rastojanju  $L$   $y \in [0, L]$ , pod sljedećim uslovima:

$$a) S_m(y) \in P_m(y) \quad \forall y \in [y_i, y_{i+1}]$$

$$i \in [0, m-1] \quad b) S_m(y) \in C^{(m-1)} [0, L]$$

$$c) S_m(y_i) = y_i = H(y_i) \quad i \in [0, m] \quad (7)$$

pri čemu su čvorovi, interpolacije i spline, podudarni.

Spline  $S_3(y)$  je kubni interpolacioni polinom funkcije  $H_{[\bullet]}(y)$ , na intervalu  $y \in [0, L]$  ako na svakom dijelu  $y_i \leq y \leq y_{i+1}$  ima vrijednost jednaku polinomima  $S_m(y) = H_{[\bullet]}(y)$  ili ako funkciji odgovara spline polinom trećeg stepena:

$$S_3(y) \approx H_{[i,i+1]}(y) = a_{0[i,i+1]} + a_{1[i,i+1]}(y - y_i) + a_{2[i,i+1]}(y - y_i)^2 + a_{3[i,i+1]}(y - y_i)^3 \quad (8)$$

pri čemu, u svim čvornim tačkama, moraju biti zadovoljene jednakosti:

$$S'(y) = H'_{[i-1,i]}(y) = H'_{[i,i+1]}(y) \quad (9)$$

$$S''(y) = H''_{[i-1,i]}(y) = H''_{[i,i+1]}(y)$$

gdje su  $(\bullet)'$   $(\bullet)''$  izvodi prvog i drugog reda polinoma i funkcija  $S_m(y)$  i  $H_{[\bullet]}(y)$ .

Koeficijenti  $a_{m[\bullet]}$ ,  $m \in [0, 3]$  za svaki pojedini dio, npr.  $[y_{i-1}, y_{i+1}]$ , određuju se na osnovu poznatih visina tačaka (slika 1), prema izrazima [6]:

$$a_{2[i-1,i]}(y_i - y_{i-1}) + 2a_{2[i,i+1]}(y_{i+1} + y_i - 1) + a_{2[i+1,i+2]}(y_{i+1} - y_i) =$$

$$= 3 \left\{ \frac{H_{i+1} - H_i}{y_{i+1} - y_i} - \frac{H_i - H_{i-1}}{y_i - y_{i-1}} \right\}$$

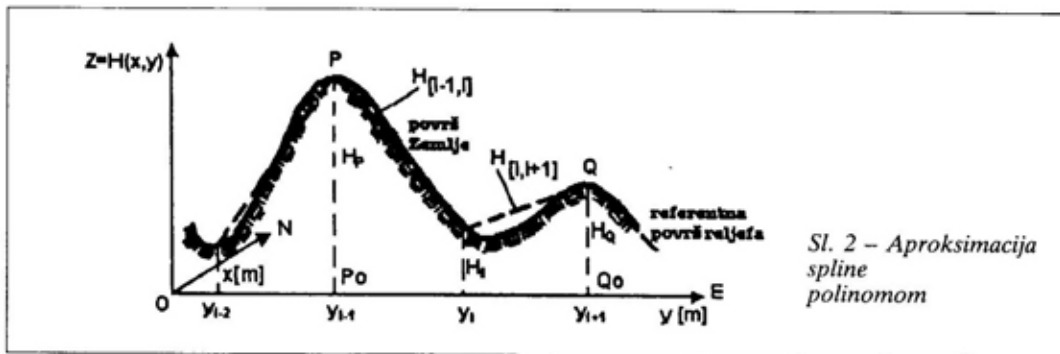
$$a_{0[i,i+1]} = H_i(y)$$

$$a_{1[i,i+1]} = -\frac{2}{3} a_{2[i,i+1]}(y_{i+1} - y_i) -$$

$$-\frac{1}{3} a_{2[i+1,i+2]}(y_{i+1} - y_i) + \frac{H_{i+1} - H_i}{y_{i+1} - y_i} \quad (10)$$

$$a_{3[i,i+1]} = \frac{1}{3} \frac{1}{(y_{i+1} - y_i)} (a_{2[i+1,i+2]} - a_{2[i,i+1]})$$

Interpolacija kubnim spline polinomom  $S_3(x, y)$ , funkcije visina tačaka  $H(x, y)$ , u neposrednoj okolini materijalnih tačaka  $P(x, y, H(x, y))$ , daje veoma dobre rezultate, ako se vrši na osnovu poznatih vrijednosti osam visina [1], pa se primjenjuje, gotovo isključivo, pri izradi nacionalnih i regionalnih DMR (slika 4).



Sl. 2 - Aproximacija spline polinomom

Funkciji  $H(x)$   $x \in [0, L]$  odgovara Fourierov red, za parno

$$H(x) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_1^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi}{L} x, \quad (11)$$

i za neparno područje definisanosti

$$H(x) \approx \sum_1^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi}{L} x \quad (12)$$

Ako funkcija  $H(x)$  zadovoljava uslove teoreme Dirichleta [7], u opštem slučaju odgovarajući Fourierov red:

$$H(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_1^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi}{L} x + b_n \sin \frac{n\pi}{L} x \right), \quad x \in [-L, L] \quad (13)$$

ima vrijednost koeficijenata

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{L} \int_{-L}^L H(x) dx, \\ a_n &= \frac{1}{L} \int_{-L}^L H(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx, \\ b_n &= \frac{1}{L} \int_{-L}^L H(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx \end{aligned} \quad (14)$$

koji su sa koeficijentima reda

$$H(x) = \sum_1^{\infty} A_n \cos \left( \frac{2\pi n x}{L} - \Phi_n \right) \quad (15a)$$

povezani funkcionalnim odnosima

$$\begin{aligned} A_n^2 &= a_n^2 + b_n^2 \quad \Phi_n = \arctan \frac{b_n}{a_n} \\ (A_n - \text{amplituda; } \Phi_n - \text{faza talasa}) \end{aligned} \quad (15b)$$

Za konačne vrijednosti  $L(x, y)$  i talasne dužine  $l_k$ , frekvencija se izražava recipročnom vrijednosti talasne dužine:

$$f_k = \frac{1}{l_k} = \frac{k}{L} \quad k \in [1, m] \quad (16)$$

pri čemu amplitudi  $A_1$  odgovara frekvencija  $1/L$ , amplitudi  $A_k$  frekvencija  $k/L$  [6], itd.

Ograničen Fourierov red konačnom vrijednosti  $k \in N$ , i bez slobodnog člana ( $a_0 = 0$ ) omogućava predstavljanje prostorno-strukturnih svojstava reljefa Zemljine površi:

$$\begin{aligned} H(x) &= \sum_1^m \left( a_k \cos \frac{2\pi k}{L} x + b_k \sin \frac{2\pi k}{L} x \right) \\ a_k &= b_k = 0, \text{ za } f_k \geq f_{\max} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} H(x) &= \sum_1^m A_k \cos \left( \frac{2\pi k x}{L} - \Phi_k \right) \\ A_k &= 0 \text{ za } f_k \geq f_{\max} \end{aligned} \quad (18)$$

Koeficijenti  $a_k$ ,  $b_k$ ,  $A_k^2 = a_k^2 + b_k^2$ , određuju se iz visina tačaka  $H_j(x)$   $j \in [1, n]$ , u postupku uzorkovanja (prikupljanja) podataka, ili dopunjavanja sadržaja DMR, visinama tačaka određenih, npr. geometrijskim nivelmanom.

Zbog posebnosti primjene Fourierovih redova, za interpolaciju linija reljefa sa izraženom morfometrijom pogodni su strmi odsjeci, kanjoni, sutjeske, itd., ali se moraju pažljivo odabirati talasne dužine, zbog moguće neprilagodjenosti prostorno-strukturnim svojstvima reljefa.

### Aproksimacija površi prostorne strukture reljefa

Fizička površ Zemlje je složena i vremenski promjenljiva funkcija, zbog

trajnih endogenih i egzogenih geodnamičkih pojava, procesa i sila. Matematički se ne može potpuno izraziti i zbog nedovoljnog poznavanja odnosa prema geoidu, ili nekoj drugoj referentnoj površi geodetskog vertikalnog referentnog sistema.

Ostvarivanje zadovoljavajućih rješenja dostiže se aproksimacijama: fizičke površi Zemlje – analitičkim izrazima, i vertikalne referentne površi – sfernom ili ravnom površi (sferna ili ravna aproksimacija) ograničenih oblasti.

Aproksimacija elementarnih površi reljefa analitičkim funkcijama ostvaruje se interpolacijom izvornih podataka i u postupku oblikovanja DMR. Raspoloživi programski paketi, npr. GRAVSOFT i TIGRIS [1], omogućavaju različite interpolacione metode, kao što su: spline funkcije, stepeni polinomi, kovarijacione funkcije, konačni elementi, Fourierovi funkcionalni redovi, itd. u 2D metričkom prostoru.

### Stepeni polinomi

U lokalnom Cartesiusovom sistemu, za funkciju  $H(x, y) = z(x, y)$  i  $(x, y) \in D$  ( $D \in \mathbb{R}^2$ ) postoji takav polinom,  $P_n(x, y)$  koji je aproksimira pod uslovom:

$$d[H(x, y) - P_n(x, y)] \leq \varepsilon$$

gdje je  $\varepsilon = \Delta H(x, y)$  greška aproksimacije.

Funkcija  $d[\bullet]$  je metrička vrijednost u 3D oblasti, a uređeni par  $\{\mathbb{R}^3; d\}$  predstavlja 3D metrički prostor. Oblast  $D \in \mathbb{R}^2$  je osnova različitih parametrizacija fizičke površi Zemlje.

Proučavanja prostorne strukture reljefa površi Zemlje pokazala su moguć-

nost zadovoljavajućih interpolacija primjenom kubnih 2D polinoma.

Neprekidna funkcija  $H(x, y)$  neprekidnih parcijalnih izvoda reda i stepena  $(n + 1)$ , u okolini tačke  $P_0(x_0, y_0)$ , može se razviti u funkcionalni red, za svaku tačku  $P(x, y)$ :

$$H(x, y) \approx P_n(P) = H(P_0) + \frac{dH(P_0)}{1!} + \frac{d^2H(P_0)}{2!} + \dots + \frac{d^nH(P_0)}{n!} + R_n \quad (19)$$

gdje je ostatak reda

$$R_n = \frac{d^{n+1}H(P^*)}{(n+1)!} P^*(x_0 + \theta \Delta x; y_0 + \theta \Delta y) \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad (20)$$

Jednostavnijim označavanjem kubnog 2D polinoma, dobija se aproksimativna funkcija:

$$H(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + a_6x^3 + a_7y^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 \quad (21)$$

čiji se koeficijenti  $a_n$   $n \in [0, 9]$ , određuju na osnovu poznatih, najmanje deset visina materijalnih tačaka.

Interpolacija visina tačaka vrši se u okviru osnovnog polja DMR, ili korišćenjem poznatih visina tačaka proizvoljne raspodjele.

Značajnu primjenu, pri interpolaciji visina tačaka, za aproksimaciju fizičke površi Zemlje imaju:

– bikvadratni polinomi:

$$H(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy, \quad (22)$$



- bilinearni polinomi (hiperbolički paraboloid):

$$H(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy, \quad (23)$$

- linearni polinomi (trougona površ):

$$H(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y \quad (24)$$

u postupku osnivanja, oblikovanja i primjene DMR i njihovih funkcionala.

### Konačni elementi

Osnovu interpolacije konačnim elementima predstavlja podjela fizičke površi Zemlje na elementarne površi ili konačne četvorougane i trougane površi.

U mreži od  $i$  tačaka može se obrazovati  $\{k = i - 2\}$  trouglova, za koje se određuju tri faktora razmjera  $s_i \in [1, 3]$  što je  $(3i - 6)$  nepoznatih vrijednosti veli-

$$Y_n(\bar{\varphi}, \lambda) = a_{n0}P_n(\sin \bar{\varphi}) + \sum_{m=1}^n (\bar{a}_{nm} \cos m\lambda + \bar{b}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \bar{\varphi}) \quad (26)$$

primjenjujući sferne geocentričke koordinate  $\bar{\varphi}, \lambda$  i Legendreove pridružene ortonormirane funkcije prve vrste  $\bar{P}_{nm}(\sin \bar{\varphi})$  [7].

Ortonormirani sfernoharmonijski koeficijenti mogu se izraziti pomoću jedinične sfere  $\sigma$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{a}_{nm} \\ \bar{b}_{nm} \end{array} \right\} = \frac{1}{4\pi} \iint_{\sigma} Y_n(\bar{\varphi}, \lambda) \left\{ \begin{array}{l} \cos m\lambda \\ \sin m\lambda \end{array} \right\} \bar{P}_{nm}(\sin \bar{\varphi}) d\sigma \quad (27)$$

gdje je  $d\sigma = \cos \varphi d\varphi d\lambda$  element sfere  $\sigma$ , poluprečnika  $R = 1$ .

čina. Funkcija  $H(x, y)$ , koja aproksimira trougaonu površ:

$$H(x,y) = \sum_1^3 s_i d(PP_i);$$

$$H(x,y) = \sum_1^3 s_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad (25)$$

u oblasti  $(x, y) \in D \subset R^2$  ima zajednička rastojanja za dva trougla, odakle slijedi i uslov:  $d(P_i P_i) = 0$ .

Tačnost aproksimacije zavisi od prostorne strukture, gustine i tačnosti izvornih podataka, koja se može poboljšati primjenom visina određenih tačnijim metodama, npr. geometrijskim ili GSP/geometrijskim nivelmanom.

### Sfernoharmonijske funkcije

Globalni reljef Zemlje (slika 3 [1]), na osnovu skupova srednjih vrijednosti nadmorskih visina, može se predstaviti sfernim funkcijama  $Y_n(\bar{\varphi}, \lambda)$ :

Pri sfernoj aproksimaciji Zemlje fizička površ  $S(R + H(\bar{\varphi}, \lambda), \bar{\varphi}, \lambda)$  može se izraziti sfernoharmonijskom funkcijom  $H_{nm}(\bar{\varphi}, \lambda)$  [8]:

$$H_{nm}(\bar{\varphi}, \lambda) = R \sum_{m=1}^n (\bar{g}_{nm} \cos m\lambda + \bar{h}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \bar{\varphi}) \quad (28)$$

koja predstavlja sfernoharmonijski razvoj reljefa površi Zemlje, u cjelini ili „dio po dio“.

Za reljef kopnene površi Zemlje, sfernoharmonijski ortonormirani koeficijenti izračunavaju se pomoću izraza:

$$\begin{Bmatrix} \bar{g}_{nm} \\ \bar{h}_{nm} \end{Bmatrix} = \frac{1}{4\pi R} \iint_{\sigma} H(\bar{\varphi}, \lambda) \begin{Bmatrix} \cos m\lambda \\ \sin m\lambda \end{Bmatrix} \bar{P}_{nm} (\sin \bar{\varphi}) d\sigma \quad (29)$$

gde je  $\sigma$  sferna aproksimacija kopnenog dijela površi.

Zemlja se može posmatrati kao „blago“ deformisana sfera koeficijenta deformacije  $\varepsilon(H)$ :

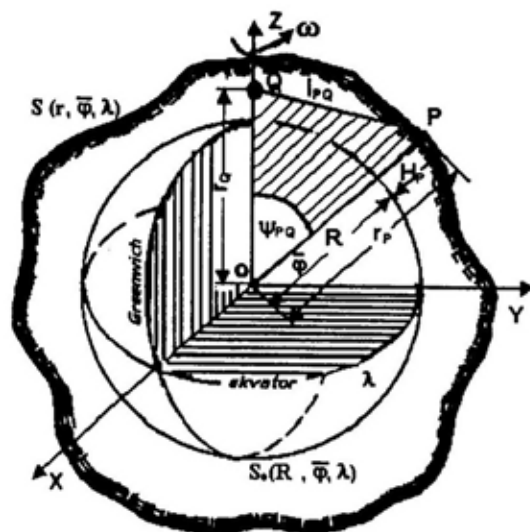
$$\varepsilon(H) = \frac{t}{R} \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n (\bar{g}_{nm} \cos m\lambda + \bar{h}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} (\sin \bar{\varphi})$$

$R = 6371 \text{ km}$  (30)

$0 \leq t \leq 100$ , (parametar visina)

Na slici 3 predstavljen je model globalnog reljefa Zemlje pri  $t = 100$  i  $\{n \times m\} = \{180 \times 180\}$ .

Za  $t = 0$  Zemlja se aproksimira sferom poluprečnika  $R = 6371 \text{ km}$ , a ako je  $t = 100$  dobija se najveća vrijednost



Sl. 3 – Sfernoharmonijski model reljefa Zemlje

nadmoorske visine površi Zemlje  $H_{nm}(\varphi, \lambda) = 8752 \text{ m}$  u oblasti Himalaja.

Kao podintegralna funkcija  $H(\varphi, \lambda)$  može se primjeniti bilo koji izraz od (1) do (10), pri sfernoj ili ravnoj aproksimaciji vertikalne referentne površi, imajući u vidu međuzavisnost elementarnih površi:

$$R^2 d\sigma = R^2 \cos\varphi d\varphi d\lambda \quad R^2 d\sigma = dx dy$$

koja proizilazi iz usvojene aproksimacije i parametrizacije oblasti numeričke integracije.

### Ostale funkcije aproksimacija

Aproksimacije fizičke površi Zemlje analitičkim izrazima, ostvaruju se, pored prethodno opisanih, i složenijim metodama interpolacije zavisno od: informatičke podrške, zahtjevane tačnosti, prostorne strukture reljefa, raspoloživih podataka, itd.

Interpolacija kolokacijom najmanjih kvadrata (LSC – Least Squares Collocation) zasniva se na linearnoj povezanosti  $\{q\}$  osnovnih (baznih) funkcija [9]:

$$H(x,y) \approx F(P_i) = \sum_1^q b_k \Phi_k(P_i) \quad k \in [1,q] \quad (31)$$

koje predstavljaju  $\{q\}$  linearnih jednačina sa  $\{q\}$  nepoznatih veličina, i imaju jedinstveno rješenje.

Ako su zadate vrijednosti funkcije  $H(P) = H(x,y)$   $q$  tačaka,  $P_i(x_i, y_i, H_i(x,y))$   $i \in [1,q]$  tada se zahtijeva da u datim tačkama  $q$  aproksimacija  $\Phi_i(P_i)$  tačno predstavlja funkciju  $H(x,y)$ . Označavajući:

$$\Phi(P_i) = H(P_i) = F_i \quad i \in [1, q] \quad (31a)$$

dobijaju se iz (31) sljedeći uslovi:

$$\sum_1^q A_{ik} b_k = F_i \quad A_{ik} = \Phi_k(P_i) \quad (32)$$

iz kojih proizilazi  $\{q \times q\}$  sistem linearnih jednačina. Rješavanjem sistema određuju se koeficijenti  $b_k$  i dobijaju funkcije  $F_i(P_i)$  koje aproksimiraju fizičku površ Zemlje.

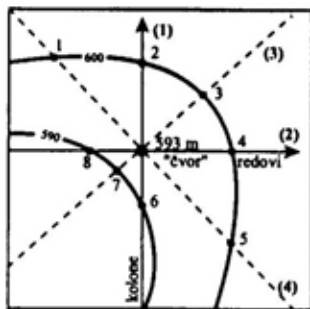
Interpolacija metodom najmanjih kvadrata omogućava predstavljanje reljefa kovarijacionim funkcijama  $C(P_i P_k)$  u okolini materijalnih tačaka:

$$C(P_i P_k) = C(0) \exp. \left\{ - \left[ \frac{d(P_i P_k)}{c} \right]^2 \right\}$$

$$C(0) = D(P_i P_k) = \sigma_{ik}^2 \text{ za } d(P_i P_k) = 0 \quad (33)$$

$$c = d(P_i P_k) / \sqrt{\ln C(0) - \ln C(P_i P_k)}$$

Interpolacija linearnim spline funkcijama, po redovima, kolonama i dijagonalama grid ili TIN-grid DMR, obezbjeđuje zadovoljavajuće funkcije aproksimacija površi, posebno ako se iskoriste četiri pravca i poznate visine osam tačaka, slika 4 [1].



Sl. 4 – Određivanje visina referentnih tačaka DMR spline funkcijama

## Zaključak

Izbor metoda interpolacije i aproksimacija linija i površinskih elemenata reljefa Zemlje, u postupku oblikovanja DMR, uslovljeni su zahtjevima primjene i tačnosti modela. Načelno, obrazovanje referentne strukture DMR vrši se primjenom tačnijih interpolacionih metoda (npr. spline i kovarijacionim funkcijama), dok se pri primjeni DMR koriste metode linearnih interpolacija.

Pri obrazovanju referentnih tačaka DMR, interpolacije i aproksimacije moraju obezbijediti očuvanje tačnosti izvornih podataka. Poboljšanja se mogu ostvariti primjenom većih skupova podataka, geometrijskog nivelmana, GPS/nivelmana, i sl.

Izbor metoda interpolacije i funkcije aproksimacije, pri primjeni DMR, prilagođava se zahtjevnoj tačnosti funkcionala DMR, raspoloživoj informatičkoj podršci, oblasti primjene modela i sl.

### Literatura:

- [1] Višnjić, R.: Digitalni model reljefa – primjena kod određivanja geoida gravimetrijskom metodom, magistarska teza, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za geodeziju, 1999.
- [2] Weibel, R., Heller, M.: Digital Terrain Modelling, GIS, Principles and Applications, 1993.
- [3] Višnjić, R.: Digitalni model reljefa, Vojnotehnički glasnik, 6/97, Beograd, 1997.
- [4] Petrović, D.: Izrada digitalnog modela reljefa, CAOP VGI, stručni izvještaj, Beograd, 1988.
- [5] Mičić, V., Trifunović, M.: Matematika I, Naučna knjiga, Građevinski fakultet, Beograd, 1988.
- [6] Kraus, K.: Photogrametrie, Band 2, Theorie und Praxis Auswerte Systeme, FDV, Bonn, 1984.
- [7] Mitrinović, S., Kečkić, D.: Jednačine matematičke fizike, Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
- [8] Rapp, R.: Degree variances of the Earth's Potential Topography and ist Isostatic compensation, Bull. Geod., 56, 1982.
- [9] Moritz, H.: Kolokacija metodom najmanjih kvadrata, Geodetski list, 4-6, Zagreb, 1988.

*Rezime:*

*Savremeni privredni eksplozivi nova su vrsta eksploziva. U radu su prikazani klasifikacija, kratak razvoj, karakteristike i primena savremenih privrednih eksploziva. Primena u vojne svrhe takođe je razmatrana, kao zamena za praškaste privredne eksplozive.*

*Ključne reči: eksplozivi, privredni eksplozivi, eksploziv ANFO, slari eksploziv.*

---

**MILITARY ASPECT OF USING MODERN BLASTING AGENTS**

*Summary:*

*Modern blasting agents are new commercial explosives. Classification, brief history of commercial explosives, characteristics and use of modern blasting agents are presented as well as their military use. Modern blasting agents could replace powder commercial explosives.*

*Key words: explosives, commercial explosives, ANFO explosives, slurry explosives.*

---

**Uvod**

Prednost savremenih privrednih sredstava za miniranje u odnosu na klasične privredne eksplozive je u izuzetno sigurnoj proizvodnji, transportu, skladištenju, rukovanju pri miniranju, kao i u ekonomičnosti.

Savremena sredstva za miniranje po strukturi mogu se uporediti sa pirotehničkim smešama ili kompozitnim barutima, a po efektu dejstva sa brizantnim eksplozivima (TNT). Savremena sredstva za miniranje (modern blasting agents) jesu smeše koje ne sadrže brizantne eksplozive kao eksplozivnu komponentu, što je slučaj kod klasičnih privrednih eksploziva. To su smeše koje se sastoje od organskih i neorganskih jedinjenja koja služe

kao oksidansi, goriva i aditivi. Savremena sredstva za miniranje razlikuju se od drugih neeksplozivnih materija po svojstvu da detoniraju tek kada se neeksplozivne materije, koje ih čine, dovedu u određene masene odnose u specijalnim, stešnjenim uslovima. Sastav savremenih sredstava za miniranje može se prilagođavati širokom dijapazonu zahteva korisnika u pogledu karakteristika, kao što su gustina, vodootpornost, osetljivost na inicijaciju (prenos detonacije, kritični prečnik, kritični pojačnik), brzina detonacije, gasna zapremina, toplota eksplozije i temperatura eksplozije.

Savremena sredstva za miniranje mogu biti sa i bez brizantnih eksploziva. Brizantni eksplozivi (na primer trinitrotoluen) koriste se kao senzibilizatori u sa-

vremenim sredstvima za miniranje. Savremena čvrsta sredstva za miniranje mogu biti zrnasta (ANFO i ANFO-t) i praškasta (ANOL). Savremena kašasta sredstva za miniranje su slari i emulzioni slari eksplozivi. Po osetljivosti na uticaj vlage mogu biti vodootporni (slari i emulzioni slari eksplozivi) ili vodoneotporni (ANFO i ANOL).

### Razvoj privrednih eksploziva

Razvoj privrednih eksploziva počinje od doba crnog baruta (od 12. veka do 1800), a nagli razvoj je dostignut sa proizvodnjom dinamita (1800. do 1950) i savremenih sredstava za miniranje [1]. Vreme dinamita označava otkriće i industrijsku proizvodnju brizantnih i inicijalnih eksploziva, kao što su nitroceluloza, nitroglicerol, tetril, trinitrotoluen, olovo azid i živin fulminat. Proizveden je sporigoreći štapin, a amonijumnitrat primenjen u eksplozivnim smešama. Primeњуju se praškasti privredni eksplozivi, smeše amonijum nitrata i brizantnih eksploziva, kao što su trinitrotoluen i nitroglicerol. Do razvoja ovih eksploziva dolazi do polovine dvadesetog veka, kada se pojavljuju savremena sredstva za miniranje.

Na razvoj savremenih sredstava za miniranje znatno je uticalo uočavanje pojave da se amonijum nitrat (AN) može učiniti osetljivim na detonaciju dodavanjem organskih jedinjenja. Proizvodnja prilovanog AN (porozno granulisanog AN) drugi je uslov za razvoj eksploziva ANFO, koji pored AN sadrže gorive komponente. Od 1955. godine velike kompanije počinju da proizvode eksploziv ANFO za potrebe miniranja u velikim bušotinama bez vode. Danas je ANFO najrasprostranjenije i najčešće korišćeno

sredstvo za miniranje, i pored relativno male gustine i vodootpornosti.

Nedostaci eksploziva ANFO uticali su na dalji razvoj savremenih sredstava za miniranje. Otkriveni su i patentirani slari eksplozivi koji su vodootporni i imaju veću gustinu od eksploziva ANFO. Patenti se odnose na pojavu da je krupniji TNT bolji senzibilizator od fino sprasćenog TNT-a u prisustvu vode, kao i da voda povećava osetljivost smeše AN sa aluminijum prahom. Najveća osetljivost smeša AN sa aluminijum prahom i vodom je sa 8 + 2% vode, 5% aluminijum praha i 87–2% AN. Slari eksplozivi su emulzija tipa ulje u vodi, jer sredstva za zgrušavanje na bazi prirodnih polisaharida daju stabilnost i vodootpornost smeši [2, 3]. Ovi eksplozivi usavršavali su se zamenom eksplozivnih senzibilizatora neeksplozivnim, odnosno unošenjem „vrućih tačaka“ – centara inicijacije u smešu. Senzibilizacija slari eksploziva, unošenjem mehurića gasa kao centara inicijacije, može biti hemijska (mehurići gasa se oslobađaju hemijskim reakcijama) ili mehanička (mehurići gasa u poroznim česticama prilovanog AN ili stakleni mikrobalozi uneti u smešu).

Sedamdesetih godina radilo se na usavršavanju slari eksploziva, tako da se došlo do emulzionih slari eksplozivnih sredstava. Oni predstavljaju emulzije tipa voda u ulju i sadrže zgušnjivače i emulgatore, površinski aktivne materije koje stabilišu visokokcentrovano emulziju [2, 4].

Pored savremenih sredstava za miniranje, poslednjih dvadesetak godina razvijena je i proizvodnja savremenih sredstava za miniranje „na licu mesta“ (NALIM), za miniranja u rudnicima što je omogućeno činjenicom da u sastav eksplozivnog sredstva ne ulazi nijedna eks-

plozivna materija, pa se ne moraju primenjivati specijalni propisi o sigurnosti i bezbednosti pri radu.

### Karakteristike savremenih sredstava za miniranje

Savremena sredstva za miniranje sadrže široku lepezu različitih tipova eksploziva, čije se karakteristike bitno razlikuju, (po vodootpornosti i osetljivosti na rudarsku kapslu). Imaju različitu gustinu i detonacione karakteristike, tako da svaki pojedinačni eksploziv kome se može menjati gustina, menja svoje detonacione osobine. Sa porastom gustine savremenih sredstva za miniranje rastu njihove minskoeksplozivne karakteristike [3]. Pored toga, može se podešavati osetljivost na inicijaciju, odnosno iniciranje rudarskom kapslom ili pentolitiskim pojačnikom od 100 do 360 g [5]. Podaci su dati u odnosu na prosečne sastave savremenih sredstava za miniranje (tabela 1), koji su najčešće u upotrebi [5, 6]. U tabeli 2 date su karakteristike

savremenih sredstava za miniranje u poređenju sa klasičnim privrednim eksplozivom amoneksom (A1). Oznaka N1 u tabelama odnosi se na ANOL, B50 i B20 na slari eksploziv sa brizantnim senzibilizatorom, M2 na slari pumpani eksploziv, a DSB i DEP na emulzivni slari eksploziv.

Sastav savremenih sredstava za miniranje tako je podešen da bilans kiseonika bude neutralan ili blago pozitivan. Tako se neutrališe negativan bilans kiseonika pentolitiskog pojačnika u ukupnom bilansu kiseonika pri miniranju.

Savremena sredstva za miniranje su smeše neorganskih oksidacionih soli ili njihovih vodenih rastvora i organskih gorivih materija – smeše tečnih i čvrstih ugljovodonika. Soli koje se najčešće koriste su amonijum nitrat, kalcijum nitrat i natrijum nitrat, a gorive materije teže frakcije rektifikacije nafte, kao što su dizel i parafinske. U tabeli 1 navedeni su karakteristični sastavi savremenih sredstava za miniranje i klasičnog privrednog praškastog eksploziva A1, radi upoređenja.

Tabela 1

Karakteristični sastavi privrednih eksploziva

Sastav (m %)	Privredni eksplozivi							
	A1	N1	ANFO	B50	B20	M2	DSB	DEP
Amonijum nitrat	80	93	95	72	72	50	52	46
Kalcijum nitrat	-	-	-	-	-	17	25	-
Natrijum nitrat	-	-	-	-	-	-	-	20
Ugljovodonici	4	5	5	6	5	6	8	7
Voda	-	-	-	12	10	18	10	20
Trinitrotoluen	15	-	-	5	5	-	-	-
Regulatori gustine	-	-	-	-	-	4	3	5
Metalni prah	-	2	-	1	3	-	-	-
PAM*	1	1	-	4	4	5	2	2

\* - Površinski aktivne materije (PAM) su za slari eksplozive zgušnjivači tipa guar brašna, a za emulzione slari eksplozive emulgatori estarskog tipa.

## Karakteristike privrednih eksploziva

Karakteristika	Privredni eksplozivi							
	A1	N1	ANFO	B50	B20	M2	DSB	DEP
Gustina (kg/m <sup>3</sup> )	1100	1020	1000	1500	1650	1100	1150	1200
Brzina detonacije (m/s)	4500	3300	2500	5250	5750	3500	4800	3700
Prenos detonacije (cm)	4-9	4	kont. <sup>1</sup>	kont.	kont.	kont.	4-6	kont.
Iniciranje minimalnim pojačnikom <sup>2</sup> (g)	№ 8	№ 8	PP 80	PP 200	PP 60	PP 100	№ 8	PP 40
Osetljivost na udar (kN)	4	10	>20	>20	>20	>20	>20	>20
Bilans O <sub>2</sub> (%)	+0,2	0	+0,1	0	0	0	0	0
Gasna zapremina (l/kg)	963	1019	925	865	584	865	847	900
Toplota eksplozije (J/g)	4148	3851	3872	5284	6300	3452	3892	3294
Temperatura eksplozije (°C)	2564	2310	2260	-	-	2480	2606	2345
Radni faktor · 10 <sup>3</sup> (kgm/kg)	433	393	375	407	662	415	442	425
Pritisak detonacije (bar)	56019	26900	-	102120	134750	82420	98060	91650
Minimalni prečnik (mm)	-	50	70	60	60	50	15	30
Vodootpornost	ne	ne	ne	da	da	da	da	da

<sup>1</sup> prenos detonacije na dodir - nema razmaka između patrona,

<sup>2</sup> PP - pentolitski pojačnik, № 8 - rudarska kapsla broj 8.

Fizičko stanje eksploziva, ili njegova struktura, više utiče na karakteristike savremenih sredstava za miniranje od sastava. Struktura se razlikuje zavisno od tipa eksploziva. Tako su ANFO i ANFO-t eksplozivi zrnaste strukture, sa veličinom čestica reda jednog milimetra. Slari eksplozivi su suspenzije ili emulzije tipa ulje u vodi, gde su veličine kapi i čestica reda veličine 0,1 mm. Emulzioni slari eksplozivi su emulzije tipa voda u ulju, sa veličinom čestica reda jednog mikrona.

Povećanje dodirne površine između neorganskih soli i ugljovodonika poboljšava detonacione karakteristike eksplo-

ziva. Tako ANFO ima manju površinu dodira od slari eksploziva, zbog veličine čestica, i slabije detonacione karakteristike, kao što je brzina detonacije (tabela 2). Površina dodira je najrazvijenija kod emulzivnih slari eksploziva, čije se karakteristike mogu uporediti sa brizantnim eksplozivima.

Eksploziv ANFO nema veću gustinu od privrednog eksploziva A1, ali zbog bolje popunjenosti bušotine, što je posledica fizičkog stanja eksploziva ANFO, njegove minskoeksplozivne karakteristike su ravne praškastom A1. Manja osetljivost eksploziva ANFO na inicijaciju zahteva primenu pojačnika, ali pove-

ćava bezbednost pri rukovanju, dok nje-gova zrnasta struktura omogućava mehanizovano – pneumatsko punjanje bušotina.

U odnosu na eksploziv A1, praškasti eksploziv koji sadrži 15% TNT, slari (M2) i emulzioni slari eksplozivi (DSB i DEP) imaju istu ili nešto veću gustinu, približno istu brzinu detonacije i radni faktor, ali pri miniranju pokazuju bolje karakteristike zbog maksimalne popunjenosti bušotina. Vodootporni su za razliku od A1 koji to nije. Osetljivost na iniciranje slari i emulzivnih slari eksploziva može se menjati. Podešavanjem gustine oni mogu postati osetljivi na rudarsku kapslu ili im se osetljivost može smanjiti tako da se iniciraju pojačnikom od 100 g pentolita. Tečni su ili kašasti, tako da se mogu upumpavati u bušotine, a kako ne sadrže TNT potpuno su bezbedni za rad. Najveću gustinu i brzinu detonacije imaju eksplozivi B50 i B20, koji sadrže TNT kao senzibilizator. Eksploziv A1, i pored 15% TNT, ima manju brzinu detonacije zbog manje gustine.

### **Primena savremenih sredstava za miniranje**

Savremeno eksplozivno sredstvo za miniranje postaje sposobno za detonaciju nakon upumpavanja u bušotinu, a iniciranje se obavlja uz pomoć dodatnih sredstava za inicijaciju – pojačnika, koji se umeće između inicijatorske kapsle i upumpanog eksploziva. Pri direktnom upumpavanju ovih eksploziva, bušotine se potpuno popunjavaju, tako da je mnogo manja mogućnost prekida detonacije usled prekida stuba eksploziva ili proširenja bušotine zbog pukotina, što nije slučaj sa klasičnim privrednim eksplozivima pakovanim u polietilensko

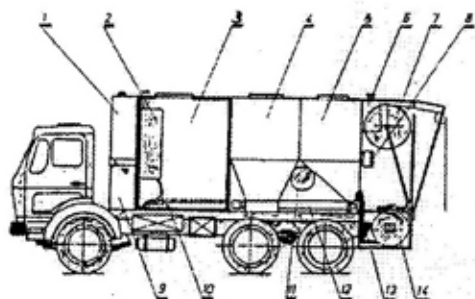
crevo ili papirne omote. Zbog potpune popunjenosti bušotine gustina eksploziva u njoj jednaka je gustini eksplozivnog sredstva, a efekti miniranja su bolji [1]. Podešavanjem gustine i sastava ovi eksplozivi mogu u potpunosti da zamene klasične privredne eksplozive.

Savremena sredstva za miniranje koriste se za sva miniranja u rudarstvu, u građevinarstvu, za specijalna miniranja kao što je miniranje u šumarstvu ili obrada metala eksplozivom. Miniranja u rudarstvu mogu biti podzemna ili površinska. U površinskoj eksploataciji rude savremeni privredni eksplozivi primenjuju se u sistemu NALIM. Ovaj sistem proizvodnje eksploziva na mestu potrošnje predstavlja postrojenje za proizvodnju eksploziva ugrađeno na vozilo [1, 5]. Sirovine za proizvodnju nalaze se u zasebnim rezervoarima na vozilu, a do njihovog mešanja tj. obrazovanja eksplozivne smeše dolazi u mešaču (takode na vozilu) u kojem se ejektorski dozira odgovarajući sastav. Smeša se direktno sa vozila ubacuje u bušotinu. Sigurnost i bezbednost primene eksploziva za miniranje u sistemu NALIM je najveća u poređenju sa svim ostalim postupcima miniranja. Postupak punjenja bušotine vrši se direktno sa vozila – eksplozivi se mogu upumpavati u bušotine sa udaljenosti od 10 m. Zahvaljujući robustnoj konstrukciji vozila su pogodna za korišćenje i na teško dostupnim terenima. Postoji više tipova vozila, zavisno od tipa savremenog sredstva za miniranje koji se proizvodi – ANFO, slari ili njihove modifikacije – za emulzivni slari i ANFO-t eksplozive [4].

U podzemnoj eksploataciji za mehanizovano punjenje bušotina eksplozivom ANFO i ANFO-t koriste se pneumatske punilice ili sistem pneumatskog transporta kroz cevovode od skladišta do



mesta miniranja. To su ekonomični, brzi i sigurni načini upumpavanja eksploziva u bušotine. Oni skraćuju vreme pripreme za miniranje od 5 do 10 puta, a povećavaju bezbednost u radu.



*Vozilo sa postrojenjem za proizvodnju eksploziva:*

1 - rezervoar za gorivo, 2 - rezervoar za vodu, 3 - rezervoar za rastvor oksidanata, 4 - rezervoar za čvrste oksidanse, 5 - rezervoar za čvrsta goriva, 6 - rezervoar za aditive, 7 - crevo za upumpavanje eksploziva, 8 - komandna tabla, 9 - posuda za hidroulje, 10 - ventil, 11 - kompresor, 12 - pužni transporter, 13 - mešać, 14 - pumpa

Za miniranja u građevinarstvu koristi se sistem NALIM sa vozilima kao kod površinskog miniranja u rudarstvu. To je pogodno za pripremu terena za radove niskogradnje, kao što su tuneli ili useci. Za miniranje u građevinarstvu na klasičan način koriste se emulzivni slari eksplozivi. Miniranje zgrada i visokih objekata na malom prostoru vrši se emulzivnim slari eksplozivom osetljivom na rudarsku kapslu u kombinaciji sa usporačima. Specijalna miniranja manjeg obima specifična su i nisu predmet ovog rada.

Savremena sredstva za miniranje mogu se inicirati na isti način kao i klasični privredni eksplozivi - rudarskom kapslom. Kod onih sredstava koja su, zbog povećane bezbednosti, neosetljiva na kapslu, između kapsle i eksploziva ubacuje se pojačnik. Utvrđeno je da su pentolitski pojačnici najpogodniji za iniciranje savremenih sredstava za miniranje [1, 6]. Pored ovog načina, iniciranje sa-

vremenih sredstava za miniranje vrši se i sistemom inicijacije NONEL, koji obuhvata inicijalni lanac u kojem je detonirajući štapin na bazi pentrita zamenjen plastičnim cevčicama laborisanim aluminijumom u prahu. Sa sistemom inicijacije NONEL savremena sredstva za iniciranje imaju eksplozive samo u inicijalnim kapslama, koje se nalaze u inicijalnom lancu pobuđivanja detonacije savremenih sredstava za miniranje [7].

### **Mogućnosti primene savremenih sredstava za miniranje u vojne svrhe**

Mogućnosti primene savremenih sredstava za miniranje u vojne svrhe proističu iz njihove primene u mirnodopskim uslovima. To znači da se ovi eksplozivi mogu koristiti kod inženjerskih radova, umesto klasičnih privrednih eksploziva. Posebnu prednost predstavlja velika bezbednost i sigurnost pri radu sa njima, kao i ekonomičnost savremenih sredstava za miniranje. Korišćenje NALIM sistema skraćuje vreme pripreme za miniranje. Mogu se koristiti za punjenje horizontalnih, kosih i vertikalnih bušotina. Zbog energije kojom raspolažu ovi privredni eksplozivi, u bušotinama većeg prečnika i na većem rastojanju, postižu iste efekte kao pri miniranju sa klasičnim eksplozivima u bušotinama sa manjim prečnicima na manjem rastojanju. Kako su bušački radovi skuplji deo radova pri miniranju, korišćenje savremenih sredstava za miniranje u manjem broju bušotina dodatno doprinosi ekonomičnosti.

NALIM sistem proizvodnje eksploziva na licu mesta, pogodno je alternativno rešenje. Pokretljivost, lako dostupne i jeftine sirovine, veliki kapacitet i mogućnost podešavanja detonacionih karakteristika, promenom sastava i gu-

stine eksploziva, čine ovaj sistem interesantnim za korišćenje u Vojsci Jugoslavije.

Karakteristike emulzionih slari eksploziva mogu se uporediti sa trinitrotoluenom (TNT). TNT se upotrebljava u punjenjima municije liven ili presovan, sam ili u smeši sa drugim brizantnim eksplozivima (heksogen, oktogen, pentrit), neorganskim oksidacionim solima ili metalnim prahovima. Liveni TNT se inicira pojačnikom, a presovani detonatorskom kapslom. Toplota eksplozije TNT je 4519 kJ/kg, specifična zapremina gasova 730 l/kg, a brzina detonacije je 6900 m/s pri gustini 1600 kg/m<sup>3</sup> [5].

Emulzivni slari eksplozivi imaju toplotu eksplozije 3900 kJ/kg, specifičnu zapreminu gasova 850 l/kg, a brzinu detonacije 4800 m/s pri gustini 1150 kg/m<sup>3</sup>. Mogu se koristiti umesto plastičnih eksploziva i pod vodom pošto su voodootporni. Poznati proizvođači ovog eksploziva svoje proizvode obeležavaju zrnima, različitog oblika i boje, od termootpornih polimera koji se prilikom detonacije razlete. Njihovo nalaženje na mestu eksplozije ukazuje na vrstu savremenog sredstva za miniranje kao i njihovog proizvođača.

## Zaključak

Postoji mogućnost da se savremena sredstva za miniranje mogu koristiti u Vojsci Jugoslavije, kao zamena do sada korišćenom praškastom amoneksu, a posebno je pogodan emulzivni slari eksploziv. Korišćenjem ovih eksploziva povećala bi se bezbednost minera – rukovaoca eksplozivom, a dobio bi se eksploziv boljih karakteristika uz istu, pa čak i manju cenu.

### Literatura:

- [1] Cook, M. A.: The science of industrial explosive, Ireco Chemicals, South Lake City, 1974.
- [2] Lissant, K.: Emulsions and emulsion technology I, Marcel Dekker, INC, New York, 1974.
- [3] Meyers, S., Shanlay E. S.: Industrial Explosives – A Brief History Of Their Development And Use, Journal of Hasardous Materials 23 (1990.), 183–201.
- [4] Matejić, M.: Prilog proučavanju karakteristika ANFO-t eksploziva, njegovih konstituenata i mogućnosti primene u savremenoj eksploataciji u rudnicima, magistarski rad, TMF, Beograd, 1995.
- [5] Hristovski, M.: Eksplozivne materije – rečnik, NIU Vojska, Beograd, 1994.
- [6] Matejić, M.: Određivanje kritičnog prečnika punjenja savremenih privrednih sredstava za miniranje, NTP, Beograd, 1996.
- [7] Matejić, M. Grgurić, Anđelković M. Lukić: Karakteristike ANFO-T eksploziva, Zbornik radova sa Treće konferencije Društva za istraživanje materijala JUKOMAT 99, septembar 1999, Herceg Novi.

**Dr Dragutin Jovanović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**Mr Milorad Opsenica,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## PUTNI PRELAZI PREKO ŽELEZNIČKE PRUGE KAO USKA GRILA

UDC: 625.746.1

### Rezime:

*Putni prelazi preko železničke pruge, odnosno mesta gde se ukrštaju železnički i putni saobraćaj u nivou, predstavljaju uska grla sa stanovišta protoka vozila kao jednog od osnovnih parametara za opisivanje saobraćajnog toka. Za železnički saobraćaj to su oslabljena mesta u koloseku, zbog izloženosti šina dinamičkom uticaju drumskih vozila.*

*Radi očuvanja bezbednosti saobraćaja moraju se obezbediti adekvatni trouglovi preglednosti, kako za kolosek u pravcu, tako i za kolosek u krivini i blagom useku. Učesnici u putnom saobraćaju znatno su ugroženiji od učesnika u železničkom saobraćaju. Na putnim prelazima sa izraženijom dinamikom železničkog saobraćaja dolazi do vremenskih i materijalnih gubitaka u okviru putnog saobraćaja.*

*U radu se razmatraju svi aspekti ovih specifičnih uskih grla, njihov uticaj na odvijanje vojnog putnog saobraćaja i daju osnovne postavke njegovog pravilnog regulisanja na putnim prelazima.*

*Ključne reči: putni prelaz, usko grlo, železnički saobraćaj, putni saobraćaj, vremenski gubici.*

---

## LEVEL CROSSINGS AS BOTTLENECKS

### Summary:

*Level crossings represent bottlenecks from the aspect of vehicle capacity as one of basic parameters for traffic flow. From the railway traffic aspect, they represent weak points on railway tracks due to rails exposure to the dynamic influence of road vehicles.*

*In order to protect traffic safety, appropriate triangles ought to be provided for railway tracks in direction as well as for tracks in curves and low trenches. Participants in road traffic are more in danger than participants in railway traffic. On level crossings with intensive dynamic of railway traffic time and material losses in road traffic are more significant.*

*All aspects of these specific bottlenecks are treated in this paper as well as their effects on military road transportation.*

*Key words: level crossing, bottleneck, railway transportation, road transportation, time losses.*

---

### Uvod

Putni prelazi preko železničke pruge jesu mesta ukrštanja železničkog i putnog saobraćaja u nivou, na kojima je data prednost kretanju vozova. U ovu kategoriju spadaju i ukrštaji puta i tramvajskog saobraćaja, kao i utopljeni koloseci i

skretnice koji se javljaju kod industrijskih koloseka. Posmatrano sa stanovišta odvijanja putnog saobraćaja putni prelazi predstavljaju uska grla.

Na prugama na kojima je predviđena velika brzina kretanja putni prelazi u nivou su zabranjeni. Pri građenju novih pruga i puteva problem ukrštanja u nivou

često se izbegava, a rešenja traže u izgradnji podvožnjaka i nadvožnjaka, čime se u potpunosti izbegava usko grlo. Međutim, ponekad je neizbežna gradnja putnih prelaza u nivou.

Na davanje prednosti kretanju vozova uticali su sledeći elementi:

- karakteristike voznih sredstava (železničkih i drumskih),
- dužina zaustavnih puteva vozova i drumskih vozila,

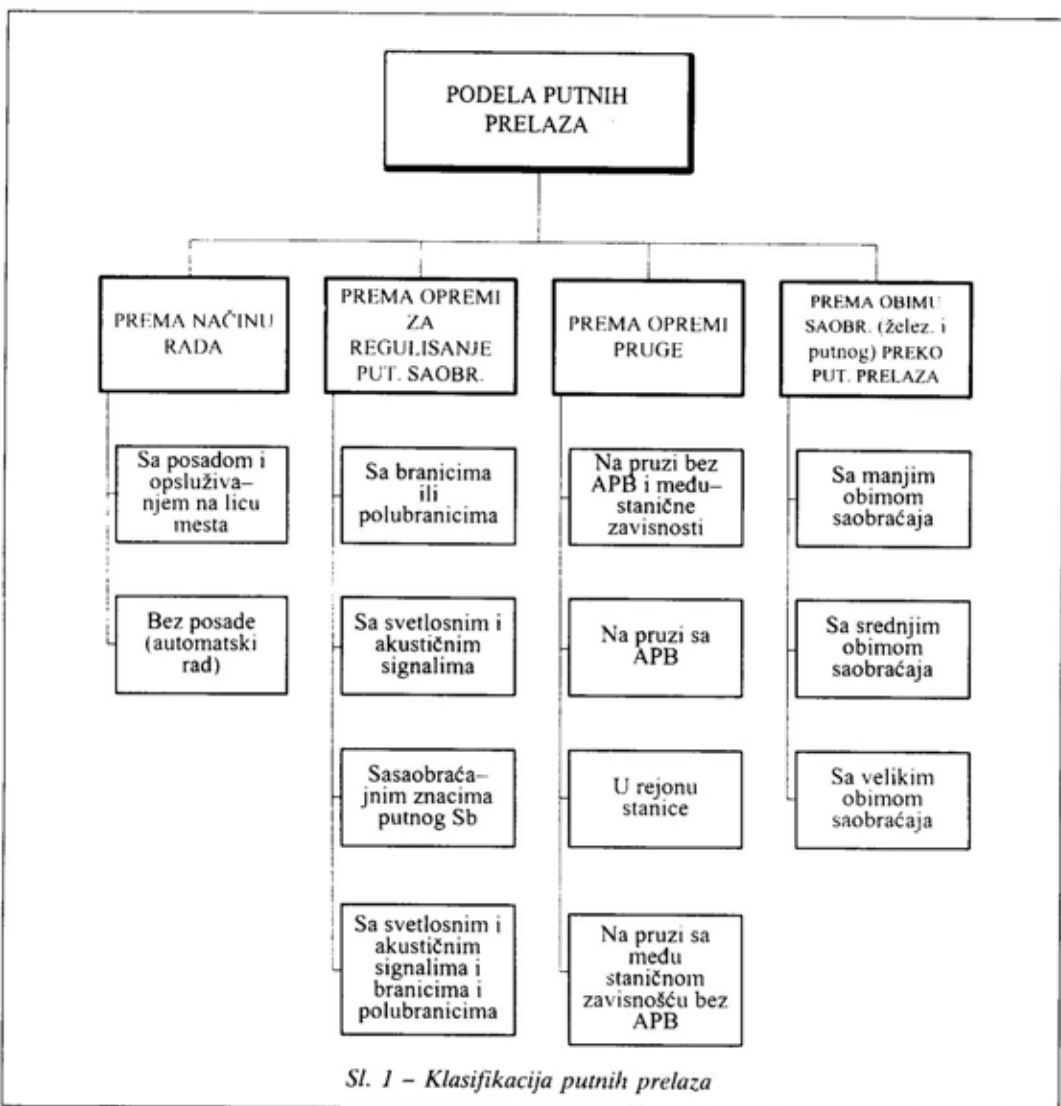
- intenzitet korišćenja putnih prelaza,

- drugi elementi vezani za karakteristike železničkog i putnog saobraćaja.

### Vrste putnih prelaza

Putni prelazi mogu se klasifikovati prema sledećim kriterijumima (slika 1):

- načinu rada,



Sl. 1 - Klasifikacija putnih prelaza

- opremi za regulisanje putnog saobraćaja,
- opremi pruge,
- obimu saobraćaja (železničkog i putnog) preko putnih prelaza.

Na postojećim prugama i putevima, došlo je do višestrukog povećanja obima saobraćaja, pogotovo drumskog. Najbolja mera za rešavanje nastalih problema je pretvaranje putnih prelaza na mestima ukrštanja opterećenih pruga i puteva u podvožnjake ili nadvožnjake, što je i najskuplje rešenje. Jeftinije, mada ne sasvim zadovoljavajuće, rešenje predstavlja svodenje više putnih prelaza u nivou na jedan osigurani putni prelaz sa automatskom regulacijom saobraćaja.

Ukrštanja u nivou mogu da budu različitog oblika i veličina – uski pešački prelazi, putni prelazi pod pravim uglom i dijagonalni putni prelazi na putevima sa više traka. Širina putnog prelaza mora da bude jednaka širini puta uvećana za po 0,5 m sa svake strane. Ukoliko postoje i pešačke staze, računaju se i one.

Putni prelazi u nivou prema rangu ukrštajnog puta, mogu biti predviđeni za lak saobraćaj, težak saobraćaj i pešački saobraćaj.

Ovakva podela prema saobraćajnom opterećenju prvenstveno utiče na tip kolovozne konstrukcije za putni prelaz. Brzina ne utiče na izbor kolovozne konstrukcije, jer se za sva drumska vozila na putnom prelazu smanjuje. Naime, u zavisnosti od tipa kolovoza i stanja putnog prelaza brzina drumskih vozila iznosi najviše 30 km/h. Putni prelazi za pešački saobraćaj najčešće se nalaze pored glavnog puta ili u stanicama.

Putni prelazi predstavljaju oslabljeno mesto u koloseku, jer su šine izložene dinamičkom uticaju drumskih vozila. Problem je, takođe, i odvodnjavanje koje

je, po pravilu, teško potpuno sprovesti, usled čega često dolazi do razmekšavanja planuma. Na elektrificiranim prugama mora se voditi računa o elektrootpornosti koloseka i preduzeti odgovarajuće mere.

U principu, putni prelazi u nivou treba da budu takvi da uslovi saobraćaja i na putu i na pruzi ne budu bitno poremećeni u odnosu na otvoreni deo pruge ili puta, uz najveću moguću bezbednost saobraćaja.

### **Preglednost na putnim prelazima**

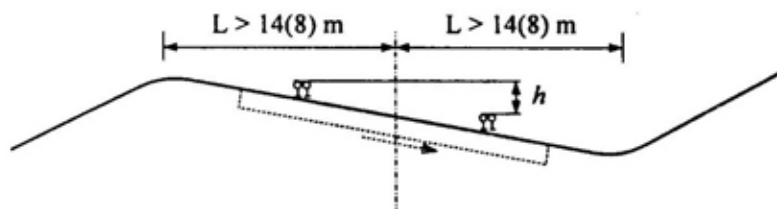
Radi bezbednosti saobraćaja, na mestima ukrštanja javnog puta sa železničkom prugom u istom nivou, moraju se obezbediti tzv. trouglovi preglednosti. Oni su karakteristični kada je kolosek u pravcu, u krivini i blagom useku.

Kolosek u pravcu omogućava podjednaku preglednost za vozila koja dolaze iz oba smera. Propisano je da trouglovi preglednosti imaju dužine stranica 120 m, računajući od tačke preseka ose puta i ose železničke pruge.

Ukoliko je kolosek u krivini, vozilo koje dolazi na ukrštaj sa spoljne strane krivine ima, po pravilu, bolju preglednost nego vozilo koje dolazi iz pravca unutrašnje strane krivine, pa je neophodno povećati stranicu njegovog trougla preglednosti.

Putni prelazi u useku izbegavaju se zbog mnoštva problema koji se pri tom javljaju, kao što su odvodnjavanje, zavejavanje zimi i loša preglednost. Međutim, ako je neophodna izgradnja putnog prelaza u blagom useku, potrebno je nagibe kosina prilagoditi tako da pruže dobru preglednost.

Put treba da se ukršta sa prugom pod pravim uglom, a ako to nije moguće ugao ukrštanja može da bude i oštar, ali



Sl. 2 – Železnička pruga u krivini sa nadvišenjem spoljne šine

ne manji od  $45^\circ$ . Ukrštanja pod ostrim uglom mogu da budu veoma opasna, prvenstveno zbog preglednosti.

Kod pojedinih putnih prelaza pod uglom, naročito kod prelaza sa montažnim betonskim pločama, neophodna je veća širina putnog prelaza od širine puta. Ivica puta ne sme da bude na ivici ploča, jer bi točkovi vozila nailazili na ivice ploča, nesimetrično ih opterećivali i izazivali nejednako sleganje oštećenja.

Prelaz puta preko pruge treba da bude po pravcu i po horizontali na najmanje 14 m sa obe strane ose pruge, a kod sporednih puteva najmanje 8 m. U slučaju da je železnička pruga u krivini i da postoji nadvišenje spoljne šine, put treba na dužini od 8 m sa obe strane ose pruge da bude u istom nagibu kao što je nadvišenje pruge (slika 2).

Ukoliko je pruga u krivini, a to se ne može izbeći, onda ona ne sme imati poluprečnik manji od  $r = 400$  m, a putni prelaz ne sme da se nađe u zoni prelaznih krivina.

### Građevinsko-tehničke karakteristike putnih prelaza

Na delu putnog prelaza u nivou, uređenje gornjeg stroja mora da bude takvo da može da prihvati i prenese na donji stroj opterećenja koja su ovde, za razliku od otvorenog dela pruge, uvećana

zbog delovanja drumskog saobraćaja. To se posebno odnosi na ukrštanje pruge i puteva sa teškim saobraćajnim opterećenjem. Zbog toga je na putnim prelazima neophodna upotreba šina sa aluminotermitskim varom van putnog prelaza. Ako se upotrebljavaju drveni pragovi, oni moraju biti oštrobriđni, i kod klasičnih putnih prelaza postavljeni sa razmakom od 0,5 m. Kod novijih putnih prelaza, sa površinskim slojem od gumenih ploča, primenjuju se i betonski pragovi, čije međusobno rastojanje može iznositi 0,6 m. Kalemovi koji obezbeđuju propisano odstojanje između vozne šine i kontrašine, postavljaju se na svaki drugi prag, a kolosečni pribor mora biti posebno zaštićen od korozije.

Za stabilan putni prelaz u nivou potreban je određeni kvalitet podloge. Donji stroj mora da bude takav da prihvati sva opterećenja usled dinamičkih udara koji se preko gornjeg stroja prenose na posteljicu.

Izgradnja putnog prelaza u zoni skretnica dozvoljava se samo kod sporednih pruga, dok je kod pruga višeg ranga zabranjena zbog mogućnosti oštećenja skretnica. Kolovoz od asfalta izbegava se na takvim prelazima, jer je njegovo razaranje zbog održavanja skretnice teško i komplikovano. U principu, izbegava se izgradnja putnog prelaza u zoni skretnica, zbog zapadanja stranih tela u žlebove

krilne šine, kao i otežanog održavanja skretnica.

Znatno komplikovaniji putni prelazi u nivou, javljaju se pri ukrštaju puta sa više železničkih koloseka. Ovakvi prelazi često se nalaze u urbanim sredinama kod dvokolosečnih i višekolosečnih pruga. Putni prelazi preko više koloseka imaju niz nedostataka. Oni ponekad zahtevaju složeno usaglašavanje niveleta, složeno održavanje i posebno osiguranje. Naime, na ovakvim putnim prelazima obavezno je postavljanje rampi, koje su često spuštene, što rezultira kratkim periodima za prelazak vozila preko ukrštaja. Da bi se to izbeglo, i period prelazaka povećao, neophodna je regulacija saobraćaja zasnovana na brzinama i periodima nailaska vozova na različitim kolosecima. Putni prelazi preko više koloseka mogu se javiti i u zoni stanica, pa treba voditi računa da prolaze između skretničkih lica. Međutim, i ovde je vreme prolaska kratko, a održavanje putnih prelaza složeno.

Na putnim prelazima kod elektrificiranih pruga postoji opasnost da visoki tereti na drumskim vozilima ugroze živote ljudi zbog mogućeg kontakta tereta i kontaktne mreže. Da bi se izbegla ta mogućnost, postavljaju se tzv. „zaštitne kapije“, radi kontrole visine tereta na vozilima.

Stubovi zaštitne kapije mogu da budu izvedeni od šina ili kao stub kontaktne mreže, i moraju da budu udaljeni od najbližeg koloseka najmanje 10 m (izuzetno 7 m).

Da bi se vozači drumskih vozila upozorili na nailazak na putni prelaz preko elektrificirane pruge, neophodan je saobraćajni znak koji se postavlja na 20 m (ili manje) ispred zaštitne kapije.

Slobodna visina zaštitne kapije iznosi od 4,2 do 4,5 m. U slučaju da je ova

visina manja od 4,5 m, na saobraćajnom znaku mora biti naznačena odgovarajuća smanjena vrednost, uvek za jedan metar manja od visine kontaktnog provodnika.

Na elektrificiranim prugama mora se voditi računa o elektrootpornosti koloseka i, shodno tome, preduzeti odgovarajuće mere.

### **Putni prelaz – usko grlo na putu**

Sa stanovišta protoka vozila, kao jednog od osnovnih parametara za opisivanje saobraćajnog toka, putni prelaz predstavlja usko grlo na putu. Naime, na putnom prelazu dolazi do pojave tzv. povremeno prekinutih saobraćajnih tokova, kod kojih na uslove kretanja vozila, pored njihove međusobne interakcije, utiče i potreba da istu saobraćajnu površinu koriste motorna vozila i sredstva železničkog saobraćaja.

Putni prelaz preko železničke pruge predstavlja usko grlo čak i kad je izveden po opisanim saobraćajno-tehničkim standardima. Međutim, ukoliko ti standardi nisu ispoštovani, što je u praksi čest slučaj, tada putni prelazi predstavljaju ne samo uska grla nego i opasna mesta na putu.

Svaki funkcionalni deo putne mreže (pa i segment puta sa uskim grlom) karakteriše određena maksimalna vrednost protoka vozila pri preovlađujućim uslovima puta, saobraćaja i ambijenta. Vrednost protoka vozila predstavlja kapacitet funkcionalnog elementa putne mreže.

Kako usko grlo predstavlja odsek puta sa najmanjim mogućim protokom, kapacitet te deonice ograničen je na vrednost maksimalno mogućeg protoka na uskom grlu.

U određenim uslovima, i putni prelaz na definisanoj saobraćajnoj deonici

može predstavljati usko grlo sa najnepovoljnijom vrednošću maksimalno mogućeg protoka, što predstavlja kapacitet celokupne deonice. Posmatrano u dužem periodu (npr. u toku jednog časa), na putnom prelazu, zbog potreba železničkog saobraćaja, u više navrata dolazi do povremenog prekida kontinuiteta kretanja u saobraćajnom toku. Dužina perioda prekida, odnosno „blokade“ za putni saobraćaj, kao i njihova učestalost, zavise od karaktera železničkog saobraćaja na posmatranoj deonici pruge. Očito je da će duži i češći prekidi usloviti jači uticaj putnog prelaza kao uskog grla na kapacitet deonice na kojoj se nalazi, odnosno na mogući protok vozila tom deonicom.

Prema teoriji saobraćajnog toka, pod protokom vozila ( $q$ ) podrazumeva se broj vozila koja prođu određeni presek, odnosno odsek na putu u jedinici vremena:

$$q = V \cdot g \text{ (voz/h)} \quad (1)$$

gde je:

$V$  – brzina saobraćajnog toka (km/h),  
 $g$  – gustina saobraćajnog toka (voz/km).

Posmatrano u dužem periodu, protok vozila na putnom prelazu kao uskom grlu može se definisati prema sledećem:

$$q_{UG} = k \cdot q \text{ (voz/h)} \quad (2)$$

gde je:

$q_{UG}$  – protok vozila na uskom grlu (voz/h),

$q$  – protok vozila pre uskog grla (voz/h),  
 $k$  – faktor umanjenja protoka na uskom grlu.

Faktor umanjenja protoka ( $k$ ) može se definisati kao odnos efektivnog vremena koje je na raspolaganju motornim vozilima ( $T_e$ ) i ukupnog posmatranog vremenskog perioda ( $T$ ):

$$k = T_e/T \quad (3)$$

Efektivno vreme raspoloživo za motorna vozila čini razlika između ukupnog perioda posmatranja ( $T$ ) i vremenskih gubitaka ( $G$ ) sa aspekta motornog saobraćaja.

Vremenski gubici nastali u saobraćajnom toku zbog prekida kontinuiteta kretanja ( $d_i$ ) zavise od dužine vremena za koje je putni prelaz blokiran za motorni saobraćaj ( $t_i$ ), kao i parametara saobraćajnog toka pre putnog prelaza i posle njega (brzina i gustina saobraćajnog toka pre putnog prelaza, odnosno brzina i gustina saobraćajnog toka pri pokretanju zaustavljenog niza vozila).

Vremenski gubici mogu se izraziti prema sledećem:

$$G = \sum_{i=1}^n d_i \text{ (h)} \quad (4)$$

Uz prikazanu analizu vremenskih gubitaka u saobraćajnom toku, izraz za protok vozila na uskom grlu glasi:

$$q_{UG} = q \{1 - [\sum d_i/T]\} \text{ (voz/h)} \quad (5)$$

Vreme zauzetosti putnog prelaza ( $t_i$ ) zavisi od dinamike i ostalih karakteristika železničkog saobraćaja (dužina i brzina vozne kompozicije, operativne karakteristike signalno-sigurnosnih elemenata i sl.).

Kada se izmene uslovi puta i okruženja ili dođe do priliva, odnosno odlivanja vozila iz saobraćajnog toka, saobraćajni tok prelazi iz jednog kvalitativnog stanja ( $q_1, g_1$ ) u drugo ( $q_2, g_2$ ).

Pri promeni stanja dolazi do pojave talasa koji se kreću duž saobraćajnice u pravcu kretanja saobraćajnog toka, su-

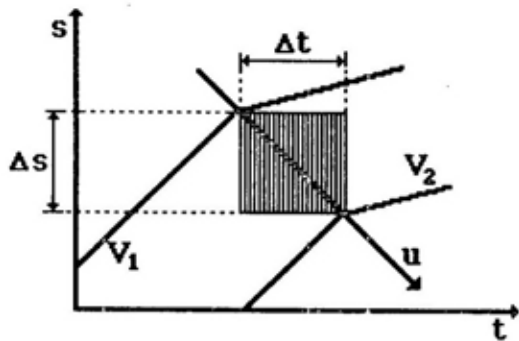


protino od njegovog kretanja, ili unazad u odnosu na saobraćajnicu. Skokovita promena osnovnih parametara saobraćajnog toka (brzine i gustine toka) duž saobraćajnice praćena je tzv. „šok talasom“ (udarnim, odnosno odbojnim talasom). Osnovne karakteristike talasa su brzina i smer prostiranja (slika 3).

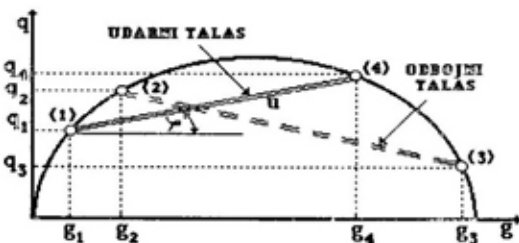
Brzinu talasa moguće je odrediti i sa dijagrama koji opisuje zavisnost protoka vozila od gustine toka (tzv. q-g dijagram), prikazan na slici 4.

Vrednost brzine talasa u saobraćajnom toku, koji prelazi iz stanja (1) u stanje (4), predstavlja količnik razlike veličina protoka vozila i razlike gustina toka za data stanja, a izračunava se prema obrascu:

$$u_{1,4} = \operatorname{tg} \varphi = (\Delta q / \Delta g) = (q_1 - q_4) / (g_1 - g_4) = [(V_1 g_1) - (V_4 g_4)] / (g_1 - g_4) \quad (6)$$



Sl. 3 – Prikaz talasa u saobraćajnom toku: u – brzina talasa (km/h), V<sub>1</sub> – brzina saobraćajnog toka pre promene stanja (km/h), V<sub>2</sub> – brzina saobraćajnog toka posle promene stanja (km/h)



Sl. 4 – Udarni i odbojni talasi

gde je:

$\varphi$  – ugao „nagiba“ brzine talasa pri prelazu iz stanja (1) u stanje (4) (°),

$\Delta q$  – razlika protoka vozila pri prelazu iz stanja (1) u stanje (4) (voz/h),

$\Delta g$  – razlika gustina toka pri prelazu iz stanja (1) u stanje (4) (voz/km),

$q_1$  – protok vozila u stanju (1) (voz/h),

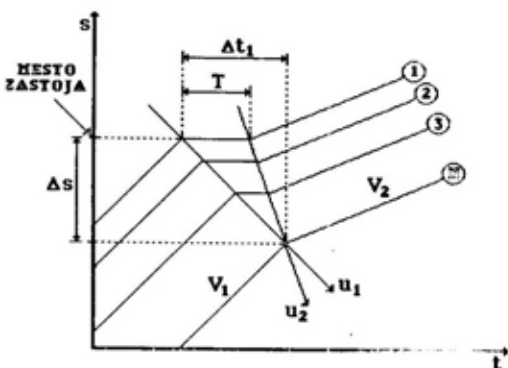
$q_4$  – protok vozila u stanju (4) (voz/h),

$g_1$  – gustina toka u stanju (1) (voz/km),

$g_4$  – gustina toka u stanju (4) (voz/km),

$V_1$  – brzina toka u stanju (1) (km/h),

$V_4$  – brzina toka u stanju (4) (km/h).



Sl. 5 – Prikaz zastoja vozila u saobraćajnom toku

Pri zastoju vozila u saobraćajnom toku (tipičan primer je zaustavljanje vozila ispred putnog prelaza) sa gledišta pojedinačnog učesnika u saobraćaju, posebno su značajni vremenski gubici nastali zbog stajanja, čekaanja i kašnjenja.

Na slici 5 prikazano je zaustavljanje vozila u saobraćajnom toku pri nailasku na putni prelaz koji je blokiran za saobraćaj (vreme blokade na slici označeno je sa T).

Prema slici 5 brzine talasa koji se javljaju u saobraćajnom toku pri zaustavljanju, odnosno pokretanju zaustavljenog niza su:

$$u_1 = \Delta S / \Delta t_1, \quad (7)$$

$$u_2 = \Delta S / \Delta t_2 = \Delta S / (\Delta t_1 - T) \quad (8)$$

Veličina  $\Delta t_1$  predstavlja vreme proteklo od trenutka nastanka blokade za saobraćaj do trenutka kada blokada više nema uticaja na vozila koja pristižu na putni prelaz. Očigledno da je to vreme veće od stvarnog vremena postojanja blokade.

Veličina  $\Delta S$  predstavlja dužinu puta na kojem se vozila zaustavljaju.

Iz relacija za brzine talasa proizilazi da je:

$$\Delta t_1 = (T u_2) / (u_2 - u_1) \quad (\text{min}) \quad (9)$$

gde je:

$T$  - vreme stajanja prvog vozila u nizu, odnosno vreme trajanja blokade (min),  
 $u_1$  - brzina talasa u saobraćajnom toku pri zaustavljanju vozila (m/min),  
 $u_2$  - brzina talasa u saobraćajnom toku pri pokretanju vozila (m/min).

Broj vozila prinuđenih na zaustavljanje određen je izrazom:

$$N = \Delta S / X_{\min} \quad (10)$$

gde je  $X_{\min}$  odstojanje između čela zaustavljenih vozila (m).

S obzirom na to da maksimalna gustina vozila pri zaustavljenom nizu ( $g_m$ ) odgovara recipročnoj vrednosti odstojanja između čela zaustavljenih vozila, vrede sledeće relacije:

$$N = \Delta S g_m, \quad (11)$$

odnosno

$$N = u_1 \Delta t_1 g_m \quad (12)$$

Zamenom za  $\Delta t_1 = (T u_2) / (u_2 - u_1)$  dobija se da je:

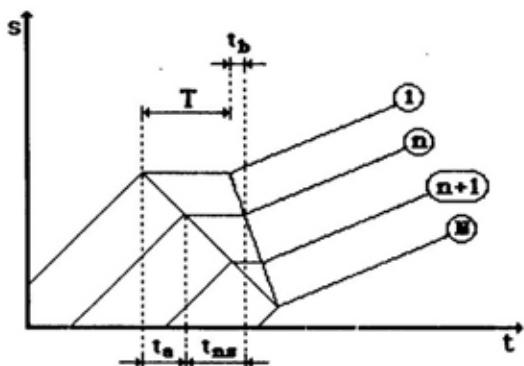
$$N = (u_1 T u_2 g_m) / (u_2 - u_1) \quad (\text{vozila}) \quad (13)$$

Ako stanje (1) predstavlja stanje saobraćajnog toka pre nailaska na prelaz, a stanje (2) posle pokretanja zaustavljenog niza vozila, a imajući u vidu da je u stanju zaustavljenog niza vozila protok jednak nuli, tada obrasci za brzinu talasa pri zaustavljanju, odnosno pokretanju niza glase:

$$u_1 = [q_1 / (g_m - g_1)], \quad (14)$$

odnosno

$$u_2 = [q_2 / (g_m - g_2)]. \quad (15)$$



Sl. 6 - Vreme stajanja

Broj vozila prinuđenih na zaustavljanje u funkciji osnovnih parametara toka (protoka vozila i gustina), iznosi:

$$N = (T q_1 q_2 g_m) / [q_2 (g_m - g_1) - q_1 (g_m - g_2)] \quad (\text{vozila}). \quad (16)$$

Sa slike 6 očigledno je da sva vozila prinuđena na zaustavljanje neće stajati jednak period.

Vreme stajanja  $n$ -tog vozila u zaustavljenom nizu računa se prema obrascu:

$$t_{ns} = T - [(n - 1) t_a - (n - 1) t_b] = T - [(n - 1) (t_a - t_b)], \quad (17)$$

gde je:

$T$  – vreme stajanja prvog vozila u nizu ( $s$ ),  
 $n$  – redni broj zaustavljenog vozila u odnosu na prvo u nizu,

$t_a$  – interval između dva uzastopna zaustavljanja vozila ( $s$ ),

$t_b$  – interval između polazaka dva uzastopna vozila ( $s$ ).

S obzirom na to da je:  $X_{min} = 1/g_m$  i uz  $u_1 = 1/(g_m t_a)$  i  $u_2 = 1/(g_m t_b)$ , sledi:

$$t_{ns} = [(n-1)/g_m] [(1/u_1) - (1/u_2)]. \quad (18)$$

Zamenom obrazaca za vrednosti brzina odbojnih talasa  $u_1$  i  $u_2$  dobija se vreme stajanja  $n$ -tog vozila u nizu:

$$t_{ns} = T - \{[(n-1)/g_m] [(g_m - g_1)/q_1 - (g_m - g_2)/q_2]\} \quad (19)$$

Vreme stajanja svih vozila u toku (tzv. totalno vreme stajanja) proizilazi iz uslova:

$$T_H = \sum_{i=1}^N t_{ns} = N T_n \quad (20)$$

gde je:

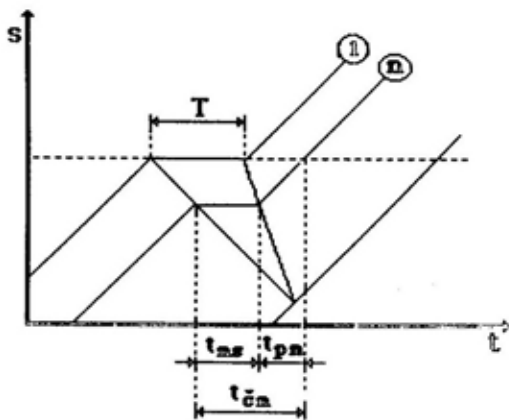
$T_n$  – prosečno vreme stajanja vozila, izračunava se prema obrascu

$$T_n = T - \{0,5 [(N-1)/g_m] [(1/u_1) - (1/u_2)]\} \quad (21)$$

Dakle, totalno vreme stajanja je:

$$T_H = N T - \{[N(N-1)/2 g_m] [(g_m - g_1)/q_1 - (g_m - g_2)/q_2]\} \quad (22)$$

Pored vremena stajanja ( $t_{ns}$ ) u vreme čekanja uključeno je i vreme potrebno za dolazak vozila sa njegove pozicije u zaustavljenom nizu na putni prelaz, odnosno na presek puta koji je uslovio zaustavljanje vozila ( $t_{pn}$ ).



Sl. 7 – Vreme čekanja

Prema slici 7, vreme čekanja  $n$ -tog vozila iz zaustavljenog niza izračunava se prema obrascu:

$$t_{čn} = t_{ns} + t_{pn}, \quad (23)$$

odnosno

$$t_{čn} = T - \{[(n-1)/g_m] [(1/u_1) - (1/u_2)]\} + t_{pn} \quad (24)$$

Vreme  $t_{pn}$  iznosi:

$$t_{pn} = [(n-1) X_{min}]/V_2 = [(n-1) g_2]/(q_2 g_m) \quad (25)$$

Vreme čekanja  $n$ -tog vozila je:

$$T_n = T - [(n-1)/g_m] \{[(g_m - g_1)/q_1 - (g_m - g_2)/q_2] - (g_2/q_2)\} \quad (26)$$

odnosno

$$t_{čn} = T - [(n-1)/g_m] \{[(g_m - g_1)/q_1 - (g_m/q_2)]\} \quad (27)$$

Totalno vreme čekanja (zbirno vreme čekanja svih zaustavljenih vozila) je:

$$T_c = T_H + T_{pn} \quad (28)$$

Pri tome je:

$$T_{pn} = [(N - 1) N g_2] / (2 g_m q_2) \quad (29)$$

Zamenom se dobija da je:

$$T_c = N T - \{ [N(N - 1) / 2 g_m] [(g_m - g_1) / q_1 - (g_m / q_2)] \} \quad (30)$$

Prosečno vreme čekanja vozila u nizu iznosi:

$$T_c = T - \{ [(N - 1) / g_m] [(g_m - g_1) / q_1 - (g_m / q_2)] \} \quad (31)$$

Od posebnog značaja je stvarno izgubljeno vreme zbog zastoja u saobraćajnom toku, što predstavlja tzv. vreme kašnjenja, odnosno, period koji protekne od trenutka kada bi n-to vozilo iz zaustavljenog niza prošlo putni prelaz da on nije bio blokiran za saobraćaj.

Prema slici 8 vreme kašnjenja n-tog vozila, iz niza zaustavljenih vozila, izračunava se prema sledećem:

$$t_{kn} = t_{cn} - t_{dn} \quad (32)$$

$$t_{dn} = [(n - 1) g_1] / (g_m q_1) \quad (33)$$

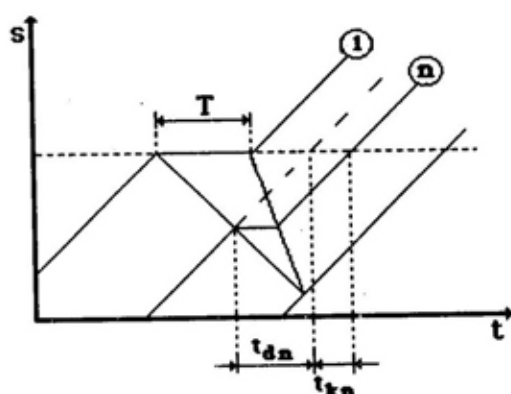
$$t_{kn} = T - \{ [(n - 1) / g_m] [(g_m / q_1) - (g_m / q_2)] \} \quad (34)$$

Totalno vreme kašnjenja je:

$$T_k = T_c - T_{dn} \quad (35)$$

$$T_{dn} = \Sigma t_{dn} = [N(N - 1) g_1] / (2 g_m q_1) \quad (36)$$

$$T_k = N T - \{ [N(N - 1) / 2] [(1/q_1) - (1/q_2)] \} \quad (37)$$



Sl. 8 - Vreme kašnjenja

Prosečno vreme kašnjenja je:

$$T_k = T - \{ [(N - 1) / 2] [(1/q_1) - (1/q_2)] \} \quad (38)$$

Primenom odgovarajućih koeficijenata moguće je formirati jedinstvene opšte obrasce za totalna i prosečna vremena stajanja, čekanja i kašnjenja.

Totalna vremena su:

$$T_t = N T - \{ [N(N - 1) / 2 g_m] [(g_m - a g_1) / q_1 - (g_m - b g_2) / q_2] \} \quad (39)$$

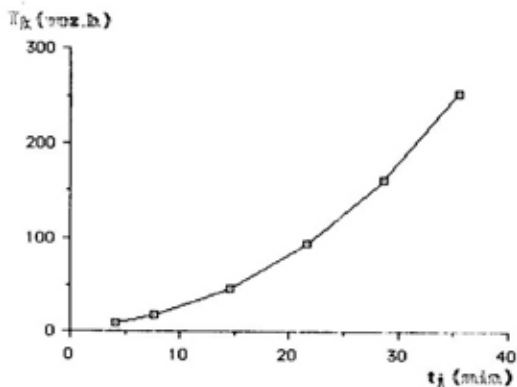
Prosečna vremena su:

$$T_{pros.} = T - \{ [(N - 1) / 2 g_m] [(g_m - a g_1) / q_1 - (g_m - b g_2) / q_2] \} \quad (40)$$

Pripadajući koeficijenti iznose:

- za vreme stajanja  $a = 1$   $b = 1$ ,
- za vreme čekanja  $a = 1$   $b = 0$ ,
- za vreme kašnjenja  $a = 0$   $b = 0$ .

Na slici 9 prikazani su ukupni vremenski gubici u saobraćajnom toku, u zavisnosti od dužine trajanja blokade putnog prelaza (simulirano je vreme kašnjenja).



Sl. 9 – Ukupni vremenski gubici u zavisnosti od vremena trajanja blokade

nja<sup>1</sup>). Može se uočiti značajan porast ukupnih vremenskih gubitaka svih vozila na čije kretanje je ispoljen uticaj blokade putnog prelaza ( $T_k$ ) u zavisnosti od dužine trajanja blokade ( $t_i$ ).

Izloženi analitički prikaz stanja i vremenskih gubitaka u saobraćajnom toku zasnovan je na tzv. determinističkom pristupu, koji podrazumeva operacije sa prosečnim vrednostima osnovnih parametara saobraćajnog toka (brzina, gustina, intervali između vozila i sl.). Međutim, u realnim putnim, saobraćajnim i ambijentalnim uslovima nailazak vozila na određeni presek puta, dakle i putni prelaz, predstavlja pojavu slučajnog karaktera.

Za saobraćajne tokove relativno niskog intenziteta, odnosno gustine, i uz neznatne varijacije intenziteta u vremenu (stacionarnost), protok vozila koja pristižu na određeni presek puta može se uspešno opisivati Pausonovom raspodelom.

<sup>1</sup> Ulazni podaci:

- protok vozila pre nailaska na putni prelaz  $q_1 = 900$  voz/h,
- protok vozila pri pokretanju niza vozila  $q_2 = 1800$  voz/h,
- maksimalna gustina vozila u zaustavljenom nizu  $g_m = 100$  voz/km,
- vreme trajanja blokade menjano je od 3 do 35 minuta.

Verovatnoća pojave jednog vozila na intervalu  $\Delta t$  proporcionalna je dužini tog intervala:

$$P_1 = P_1(\Delta t) = \lambda(\Delta t) = (N/T) (\Delta t) \quad (41)$$

gde je:

$N$  – broj vozila koja su se pojavila u vremenu  $T$  (vozila),

$T$  – vreme u kojem je osmatrano pojavljivanje vozila ( $h$ ).

Odnos  $\lambda = (N/T)$  predstavlja prosečan broj vozila koja su prošla određeni presek na putu.

Verovatnoća  $P_0(t)$ , da se u okviru intervala ( $t$ ) ne pojavi nijedno vozilo, tj. verovatnoća da interval sleđenja među uzastopnim vozilima bude jednak intervalu ( $t$ ), računa se prema obrascu:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (42)$$

Verovatnoća  $P_x(t)$ , da se u okviru intervala ( $t$ ) na preseku puta pojavi  $x$  vozila, računa se prema obrascu:

$$P_x(t) = [(\lambda t)^x / x!] e^{-\lambda t} \quad (43)$$

Binomnoj raspodeli pokorava se protok vozila na preseku puta najčešće u slučajevima kada se javlja nagomilavanje vozila na preseku, tj. pri pojavi stvaranja kolona na određenim deonicama. Kada se vozila nagomilavaju na određenoj deonici puta, odnosno ispred određenog preseka, verovatnoća da će se u određenom intervalu pojaviti vozilo veoma je velika.

Obrazac za izračunavanje verovatnoće pojave vozila na preseku glasi:

$$p_x = \binom{n}{x} p^x q^{(n-x)} = [n! / x!(n-x)!] p^x q^{(n-x)} \quad (44)$$

gde je:

$n$  – maksimalan broj vozila koja mogu da

produ posmatranim presekom puta u posmatranom intervalu,

$p$  – verovatnoća da će jedno vozilo proći presekom puta u posmatranom intervalu.

Negativna binomna raspodela pogodna je za opisivanje protoka značajnih disperzija. Takvi se uslovi u saobraćajnom toku javljaju na putnom prelazu sa većom učestalošću blokade. Naime, u tim uslovima protok vozila na prelazu u jednakim intervalima ima čas veliku, a čas malu vrednost.

Obrazac za izračunavanje verovatnoće pojave  $x$  vozila na preseku glasi:

$$P(X = x) = \binom{x+k-1}{k-1} p^k (1-p)^x = \frac{(x+k-1)!}{[(k-1)!(x)!]} p^k (1-p)^x \quad (45)$$

gde je:

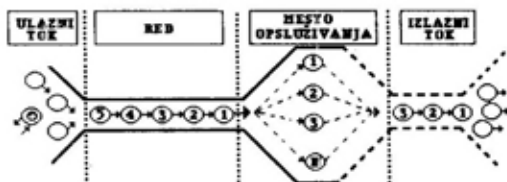
$(x+k)$  – maksimalan broj vozila koji može da prođe kroz presek puta u intervalu  $t$ ,

$p$  – verovatnoća da će jedno vozilo da prođe kroz presek puta u posmatranom intervalu.

Pogodnost opisivanja osnovnih parametara saobraćajnog toka nekom od izloženih raspodela predstavlja indikaciju koja terminologijom stohastike govori o vladajućim uslovima u saobraćajnom toku na posmatranoj deonici, odnosno preseku.

Pri nailasku vozila na blokiran putni prelaz dolazi do njihovog zaustavljanja, obrazovanja reda i čekanja vozila „na opsluživanje“.

U takvim uslovima saobraćajni tok se može posmatrati i kao tok (potok) klijenata koji zahtevaju „opslugu“ u slučajevima postojanja uskih grla na saobraćajnici (slika 10).



Sl. 10 – Putni prelaz kao sistem masovnog opsluživanja

Tada dolazi do formiranja redova ispred uskih grla, a time i do stanovitih vremenskih, odnosno materijalnih gubitaka.

Da bi se sagledale važne komponente ovakvog sistema masovnog opsluživanja sa čekanjem, potrebno je poznavati sledeće parametre:

$q$  – protok vozila pre uskog grla (voz/min),

$C$  – maksimalni protok (kapacitet) pre uskog grla (voz/min),

$q_{ug}$  – protok uskim grlom<sup>2</sup> za vreme blokade (voz/min),

$t_{ug}$  – vreme trajanja blokade (min),

$t_0$  – vreme normalizacije (nestajanje reda) (min),

$t_q$  – vreme trajanja reda<sup>3</sup> (min).

Na osnovu istraživanja Maya<sup>4</sup> uspostavljene su sledeće relacije:

– vreme trajanja reda

$$t_q = t_{ug} \left[ \frac{C - q_{ug}}{C - q} \right] \quad (46)$$

<sup>2</sup> Veličina protoka vozila kroz usko grlo jednaka je nuli ( $q_c = 0$ ) kada je put potpuno blokiran, što je slučaj sa prelazom preko železničke pruge kada je branik spušten, odnosno ima neku realnu vrednost ( $q_c < q$ ) u slučaju kada je put delimično blokiran (havarisano vozilo, odron na putu i sl.).

<sup>3</sup> To je vreme proteklo od momenta nastanka prepreke do momenta nestajanja reda nakon uklanjanja prepreke, odnosno to je zbir vremena trajanja blokade i vremena potrebnog za nestajanje reda:  $t_q = t_{ug} + t_0$ .

<sup>4</sup> Veoma značajan rad u kojem je posebno obrađen pomenuti problem je: May A.D., „Traffic flow theory – the traffic engineers challenge“, Proc. Inst. Traffic Eng. (1965). U radu: May A.D., Jr., and Keller H.E.M., „A deterministic queueing model“, Transportation Research, 1, 1967., primenjen je poseban metod pri analizi karakteristika redova vozila u tzv. špicovima, gde je pretpostavljeno da za konstantan kapacitet puta ( $C$ ) zahtevi za prevoženjem mogu premašiti vrednost kapaciteta ( $q > C$ ).

– broj vozila na koja je uticalo postojanje uskog grla

$$N = qt_q \text{ (vozila)} \quad (47)$$

– maksimalan broj vozila u redu

$$N_m = t_{ug} (q - q_{ug}) \text{ (vozila)} \quad (48)$$

– prosečan broj vozila u redu

$$N_r = N_m/2 \text{ (vozila)} \quad (49)$$

– ukupno vreme čekanja

$$D = [t_{ug} t_q(q - q_{ug})]/2 \text{ (vozilo-minuta)} \quad (50)$$

– prosečno vreme čekanja po jednom vozilu

$$d = (t_{ug}/2) [1 - (q_{ug}/q)] \text{ (min)} \quad (51)$$

– maksimalno vreme čekanja jednog vozila

$$d_{max} = t_{ug}[1 - (q_{ug}/q)] \text{ (min)} \quad (52)$$

Primenom ovih obrazaca na uslove iz primera simulacije vremena kašnjenja, dobijaju se rezultati prikazani u tabeli,

*Rezultati simulacije vremena kašnjenja na putnom prelazu*

$t_{ug}$ (min)	$t_g$ (min)	N (voz)	$N_m$ (voz)	$N_r$ (voz)	D (voz-h)	d (min)	$d_{max}$ (min)
7	14	210	105	53	12	3,5	7
14	28	420	210	106	49	7	14
21	42	630	315	159	110	10,5	21
28	56	840	420	212	196	14	28
35	70	1050	525	265	306	17,5	35

Ukupno vreme čekanja D izraženo je u jedinici vozila – časova, radi lakše komparacije sa rezultatima dobijenim iz primera simulacije vremena kašnjenja vozila u zavisnosti od dužine trajanja blokade

koji su saglasni sa rezultatima simulacije<sup>5</sup> prikazanim na dijagramu na slici 9.

Rezultati iz tabele govore o značajnim vremenskim gubicima u saobraćajnom toku većeg intenziteta ( $q = 900$  voz/h) i za veće vrednosti vremena trajanja blokade (npr. za trajanje blokade od 14 minuta prosečni vremenski gubitak po svakom vozilu, koje je bilo prinuđeno da se zaustavi, iznosi 7 minuta, što ukupno čini čak 49 vozilo-časova, odnosno oko dva vozilo-dana).

### Bezbednost i regulisanje saobraćaja na putnim prelazima

Bezbednost saobraćaja na putnim prelazima podrazumeva bezbednost i putnog i železničkog saobraćaja zajedno. Naročito je ugrožen putni saobraćaj, zbog dugih čekanja na putnim prelazima kada se očekuje nailazak voza i kada je rampa spuštena, ako je putni prelaz osiguran, ili bar zbog smanjenja brzine vozila, čak i kada je putni prelaz slobodan. Održavanje putnih prelaza predstavlja brigu železničke organizacije, u šta se ulažu materijalna sredstva i ljudski rad.

Faktori bezbednosti saobraćaja na putnim prelazima prikazani su na slici 11.

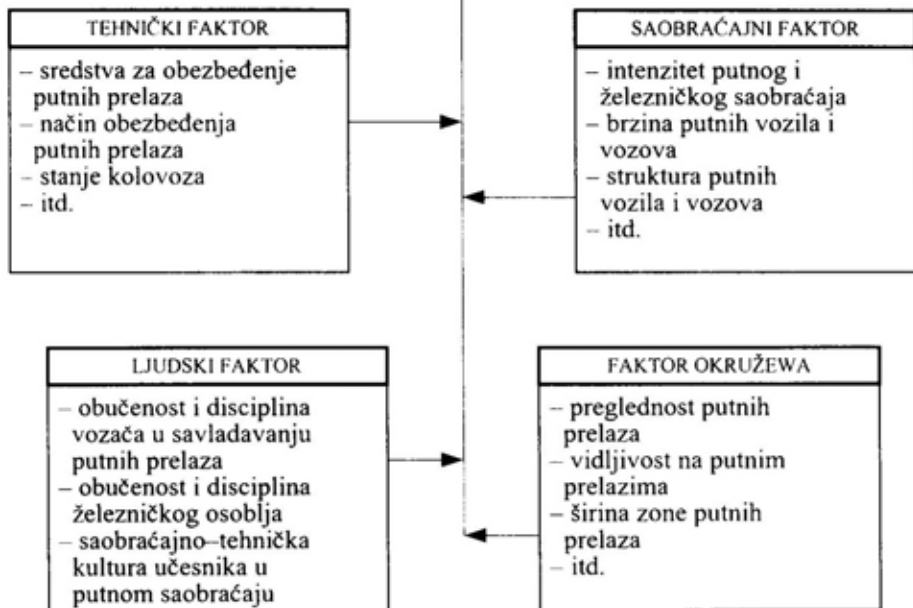
Bezbednost saobraćaja na putnim prelazima u velikoj meri zavisi od tehničkog faktora, koji podrazumeva stepen opremljenosti putnih prelaza odgovarajućim sredstvima za regulisanje saobraćaja, način obezbeđenja putnih prelaza i stanje kolovoza preko putnih prelaza.

Na nivo bezbednosti saobraćaja na putnim prelazima znatno utiče saobra-

<sup>5</sup> Rezultati u tabeli dobijeni su na osnovu podataka iz primera simulacije:

– protok vozila pre putnog prelaza  $q = 900$  voz/h = 15 voz/min,  
– kapacitet pre putnog prelaza  $C = 1800$  voz/h = 30 voz/min,  
– vreme trajanja blokade ( $t_{ug}$ ) menjano je od 7 do 35 minuta.

**BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA NA  
PUTNIM PRELAZIMA**



*Sl. 11 – Faktori bezbednosti saobraćaja na putnim prelazima*

ćajni faktor, izražen preko intenziteta putnog i železničkog saobraćaja, brzine vozila i vozova, i njihove strukture.

Obučenosť i disciplina vozača vozila u savladavanju putnih prelaza, obučenosť i disciplina železničkog osoblja, i saobraćajnotehnička kultura učesnika u putnom saobraćaju, ključni su elementi bezbednosti saobraćaja na putnim prelazima, a svi zajedno pripadaju grupi ljudskog faktora.

Okruženje sa svojim elementima (preglednosť i vidljivosť na putnim prelazima, širina zona putnih prelaza, i sl.), takođe bitno utiče na nivo bezbednosti saobraćaja na putnim prelazima.

Na putnim prelazima nastaje znatan broj saobraćajnih nezgoda. Takve saobraćajne nezgode spadaju, prema posledicama, u kategoriju najtežih (obično s ljudskim žrtvama i s velikom materijalnom štetom).

Od ukupnog broja železničkih saobraćajnih nezgoda, odnosno vanrednih događaja, u 1984. godini, 32% odnosi se na saobraćajne nezgode nastale u konfliktu sa putnim saobraćajem, a od tih nezgoda 44% se dogodilo na putnim prelazima a 56% na otvorenoj pruzi.

Na putnim prelazima u nivou, radi izbegavanja saobraćajnih nezgoda, mora



se obezbediti kvalitetno regulisanje putnog i železničkog saobraćaja.

Za regulisanje saobraćaja na putnim prelazima koriste se odgovarajuća tehnička sredstva. Ona se mogu, u osnovi, podeliti na dve grupe, i to:

- sredstva namenjena učesnicima u putnom saobraćaju,
- sredstva namenjena učesnicima u železničkom saobraćaju.

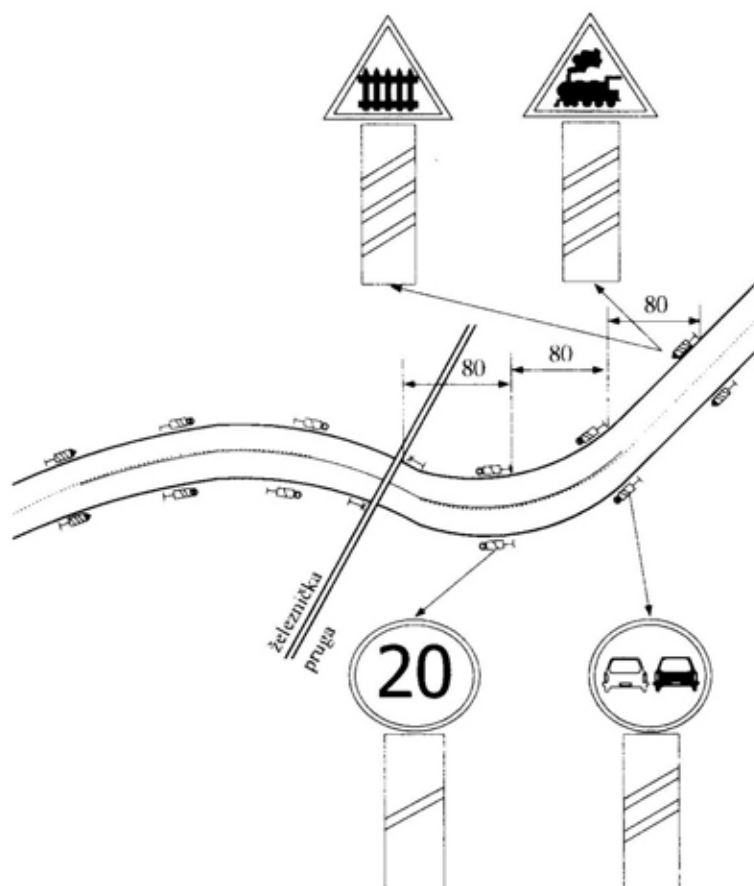
Učesnicima u putnom saobraćaju namenjeni su saobraćajni znaci – signali koji mogu davati nepromenljive i promenljive znake. Nepromenljivi ili stalni znaci

postavljaju se na tačno određenim mestima pored puta, kao što je prikazano na slici 12.

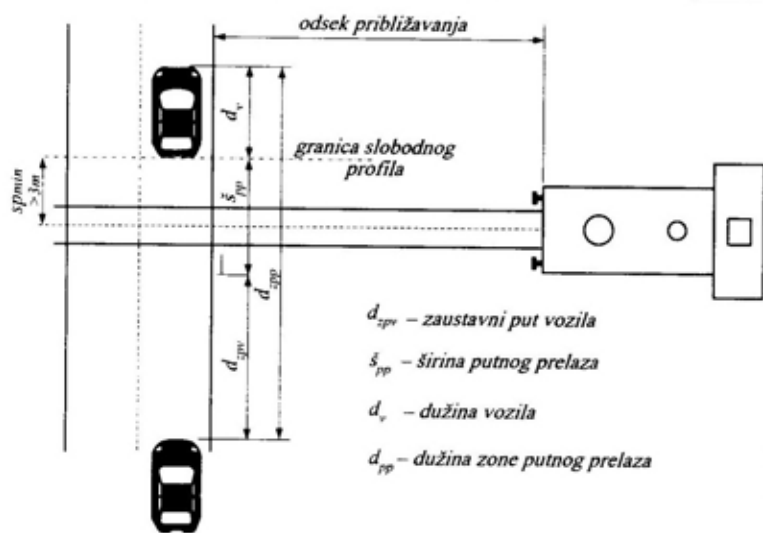
Kao dopuna stalnim znacima ugrađuju se signali koji daju povremene znake, to su putni svetlosni signal-treptać i akustični (zvučni) signal.

Neposredno do železničke pruge nalaze se branci ili polubranici koji služe za zatvaranje saobraćaja.

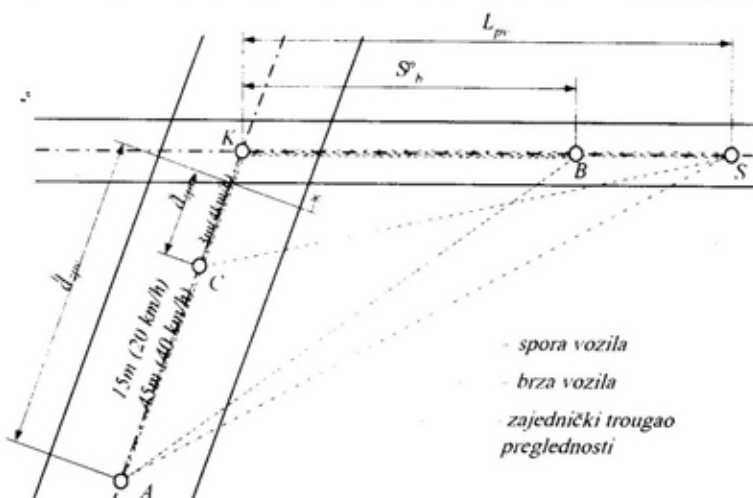
Učesnicima u železničkom saobraćaju namenjeni su signali koji daju promenljive i nepromenljive signalne znake. Signalni stub, označava početak zaustav-



Sl. 12 – Lokacija saobraćajnih znakova na putnom prelazu



Sl. 13 – Zona putnog prelaza



Sl. 14 – Trougao preglednosti putnog prelaza

nog puta voza ispred putnog prelaza, a postavlja se ispred putnih prelaza na daljini zaustavnog puta voza. Vozno osoblje obaveštava se o postojanju i obezbeđenju putnog prelaza pomoću kontrolnog signala na automatskom uređaju. Ispred ovog signala pored koloseka postavlja se nepromenljivi signal koji daje informaciju da treba očekivati kontrolni signal.

Radi pravilnog postavljanja signala, odnosno saobraćajnih znakova, moraju se poznavati određeni elementi putnog prelaza, a to su:

- zona putnog prelaza,
- granica približavanja,
- trougao preglednosti.

Zonu putnog prelaza čini put koji vozilo mora preći kada se nađe na daljini svog zaustavnog puta do mesta bezbed-

nog zaustavljanja ispred granice slobodnog profila pruge (slika 13).

Dužina zone putnog prelaza zavisi od ugla koji zatvaraju ose puta i železničke pruge. Temena trougla preglednosti nalaze se u sledećim tačkama: početku zaustavnog puta vozila, početku odseka približavanja voza ( $L_{pv}$ ) i tački preseka ose puta i ose pruge (slika 14).

Dužina odseka približavanja određena je zaustavnim putem voza. U trouglu preglednosti ne bi trebalo da se nađe bilo koja prepreka koja bi onemogućila dobru vidljivost sa puta na prugu i obratno.

## Zaključak

Svako ukrštanje železničkog i putnog saobraćaja u nivou predstavlja usko grlo za odvijanje putnog saobraćaja. Putni prelaz preko železničke pruge je usko grlo čak i kada je izveden po propisanim standardima, a ukoliko ti standardi nisu ispoštovani, što je u praksi čest slučaj, tada putni prelazi predstavljaju ne samo uska grla nego i opasne tačke na putnoj mreži.

Sa stanovišta bezbednosti saobraćaja na tim mestima putni saobraćaj je znatno ugroženiji, jer su i mase železničkih vozila znatno veće, sa višestruko dužim zaustavnim putevima, što je jedan od osnovnih razloga davanja prednosti saobraćaju vozova.

Sa stanovišta efikasnosti putnog saobraćaja, na funkcionalnom elementu putne mreže koji sadrži putni prelaz u nivou, dolazi do smanjenja kapaciteta deonice, odnosno do povećavanja vremenskih i materijalnih gubitaka. Ti gubici su značajniji što je veći intenzitet železničkog i putnog saobraćaja na putnom prelazu.

Poznavanjem relevantnih parametara železničkog i putnog saobraćaja za

dati putni prelaz, i njihovim usklađivanjem, mogu se postići značajne uštede, naročito u okviru putnog saobraćaja.

Sa stanovišta vojnog putnog saobraćaja, pogotovo kolonskog, za organe nadležne za planiranje i realizaciju kretanja od posebnog je značaja dobro poznavanje karakteristika, železničkog i ostalog putnog saobraćaja na datom putnom pravcu.

Bezbednost saobraćaja na putnim prelazima predstavlja stalnu brigu celokupne železničke organizacije i putnih saobraćajnih organizacija. Vojska Jugoslavije kod organizovanog ili pojedinačnog kretanja svojih drumskih vozila tom pitanju poklanja zasluženu pažnju.

Jedna od osnovnih mera izbegavanja putnih prelaza kao uskih grla jeste denivelacija putnih prelaza, odnosno njihovo pretvaranje u podvožnjake ili nadvožnjake. To je jedna od najskupljih tehničkih mera, pa se u poslednje vreme pribegava ukidanju pojedinih prelaza i njihovom svodenju na manji broj prelaza osiguranih savremenim automatskim uređajima visoke pouzdanosti.

## Literatura:

- [1] Kuzović, Lj.: Teorija saobraćajnog toka, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [2] Leutzbach, W.: Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Berlin, 1972.
- [3] Jovanović, G.: Saobraćajni tokovi, CVTŠ, KoV, Zagreb, 1988.
- [4] Siljanov, V. V.: Teorija transportnih potokova u projektovanju dorozi organizaciji dviženja, Transport, Moskva, 1977.
- [5] Vukadinović, S.: Elementi verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1978.
- [6] Vukadinović, S.: Elementi teorije masovnog opsluživanja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1983.
- [7] Miličević, M.: Tehnički sistemi za regulisanje i bezbednost železničkog saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1982.
- [8] Jovanović, D.: Faktori bezbednosti železničkog saobraćaja, Zbornik radova savetovanja Bezbednost putnog i železničkog saobraćaja u oružanim snagama, Zagreb, 1989.
- [9] Jovanović, D.: Stanje bezbednosti železničkog saobraćaja, Zbornik radova savetovanja Bezbednost putnog i železničkog saobraćaja u oružanim snagama, Zagreb, 1989.

## **44. JUGOSLOVENSKA KONFERENCIJA ETLAN-a**

– prikaz naučnog skupa –

Društvo za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku (ETLAN) i Elektronski fakultet iz Niša, u saradnji sa Sekcijom IEEE za Jugoslaviju, uz pokroviteljstvo Saveznog ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu, Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije i Ministarstva za više i visoko obrazovanje Srbije, a uz sponzorstvo više privrednih organizacija, od 26. do 29. juna organizovalo je u Sokobanji 44. jugoslovensku konferenciju ETLAN.

Za ovogodišnji ETLAN prihvaćeno je ukupno 380 radova (sa 723 autora) koji su prošli strogu stručnu recenziju. Za vreme konferencije održana je jedna plenarna sednica, 54 sednice, 15 stručnih komisija (sekcija) Konferencije, obeležen jubilej 35 godina Univerziteta i 40 godina Elektronskog fakulteta iz Niša i održano više radnih sastanaka organa ETLAN-a.

Na plenarnoj sednici izloženo je više radova po pozivu jugoslovenskih stručnjaka koji su se bavili problemima šumova u elektrotehnici (elektronski i kvantni šumovi, šum u mikrosistemima i poluprovodničkim detektorima, šum u optičkim telekomunikacijama, šum u mikrotalasnoj tehnici, šum preslišavanja i šum interferencije u xDSL telekomunikacionim sistemima i šum u digitalnoj obradi signala i slike).

Danas ETLAN ima 16 sekcija za sledeća naučna i stručna područja, od kojih su mnoga veoma značajna i interesantna za vojsku:

– *elektronika*: razvoj elektronskih kola; modelovanje elektronskih sistema; simulacija i projektovanje elektronskih kola i sistema; razvoj elektronskih metoda i sistema merenja; prikupljanje i obrada mernih podataka; obrada signala; virtuelna instrumentacija; energetska elektronika; sistemi napajanja;

– *telekomunikacije*: radio-sistemi, telekomunikacione i računarske mreže; digitalne telekomunikacije; teorija informacija i kodovanje; komutacioni sistemi;

– *računarstvo*: arhitektura računarskih sistema; softverske tehnike i alati; informacioni sistemi; operativni sistemi, programski jezici i prevodioci; strukture baza podataka; sigurnost i zaštita informacija; lokalne računarske mreže; mikro-računari i VLSI tehnika; računarsko upravljanje procesima; računarska grafika i obrada slike; računarska simulacija; multimedija;

– *automatika*: multivarijabilni sistemi upravljanja pogonima i industrijskim procesima; upravljački računarski sistemi; modelovanje i simulacija dinamičkih sistema; stohastički sistemi, estimacija i adaptivno upravljanje;

– *nuklearna tehnika*: nuklearna tehnika i neutronska fizika; reaktorska fizika; fizika i termika energetskih nuklearnih reaktora; sigurnost nuklearnih elektrana;

– *akustika*: fizička akustika; generisanje zvuka i prostiranje zvučnih talasa; ultrazvuk; hidroakustika; seizmički talasi; bioakustika; fiziološka i psihološka akustika; analiza, sinteza i obrada govora; govorne komunikacije; akustika prostora; zaštita od buke i vibracija; građevinska akustika; muzička akustika; obrada akustičnih signala; elektroakustički pretvarači; audiouređaji i sistemi;

– *antene i prostiranje*: elektrostatika; elektromagnetna polja; antene; jonosfera i prostiranje;

– *bio-medicinska tehnika*: biofizika; obrada biosignala; biomedicinska instrumentacija;

– *veštačka inteligencija*: teorijski i praktični aspekti kodifikacije i reprezentacije znanja, inteligentnih korisničkih interfejsa, mehanizama zaključivanja, mašinskog učenja, heurističkih pretraga i sistema za rešavanje tradicionalno teških problema; sistemi za prepoznavanje oblika – analiza i sinteza; neuronske mreže; arhitekture, algoritmi obučavanja i evaluacija; hibridni sistemi;

– *elektroenergetika*: sistemi za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije; planiranje, upravljanje i zaštita elektroenergetskih sistema; informacione tehnologije u elektroenergetici; električne mašine, energetski pretvarači i elektromotorni pogoni; elektrotermija; oprema, merenja i merni pretvarači;

– *električna kola, električni sistemi i obrada signala*: opšta teorija električnih kola i sistema; analogni i digitalni filtri, digitalna obrada signala; sistemi i algo-

ritmi digitalne obrade slike; analiza i sinteza električnih kola; projektovanje i realizacija električnih kola; simbolička analiza kola primenom računara; veštačke neutralne mreže;

– *metrologija*: realizacija osnovnih i izvedenih veličina SI sistema jedinica; zakonska metrologija, standardi, metode kalibracije i komparacije etalona; statistička obrada rezultata merenja i procena merne nesigurnosti; apsolutna merenja električnih i neelektričnih veličina; razvoj jugoslovenskog metrološkog sistema;

– *mikroelektronika i optoelektronika*: fizička elektronika; poluprovodničke i mikrosistemske tehnologije; modelovanje i simulacija; projektovanje; merenje i karakterizacija; kvalitet i pouzdanost; diskretne komponente; integrisana kola; senzori i aktuatori; optokomponente; inteligentne komponente;

– *mikrotalasna i submilimetarska tehnika*: sistemi za vođenje talasa; antene, modelovanje, simulacija i projektovanje podsklopova i sistema; satelitska i kablovska televizija; radio-difuzni sistemi; brzi pristup INTERNET-u; merenja u radio-frekventnom, mikrotalasnom, milimetarskom i optičkom opsegu;

– *novi materijali*: opšti fenomeni; oksidna i neoksidna keramika; tankoslojne strukture; fulereni; ugljenični materijali; kompoziti; metalurgija praha; fizička metalurgija;

– *robotika i fleksibilna automatizacija*: kinematika i dinamika robota; upravljanje robotima; razvoj robota i robotizovanih sistema; razvoj i upravljanje fleksibilnim proizvodnim sistemima.

I ove godine na ETRAN-u je učestvovalo više pripadnika Vojske Jugoslavije iz Vojnotehničkog instituta, Vojno-

tehničke i Vojne akademije VJ i Tehničkog opitnog centra, sa više radova. Zapaženi su sledeći radovi po komisijama i tematskim oblastima:

Komisija za telekomunikacije, radar-ski sistemi

– Bojan Zrnić, Igor Simić: Uticaj efekta zamračenja na odziv kompresionog filtra u dijagnostičkim ultrazvučnim medicinskim uređajima;

Komisija za antene i prostiranje, primenjena elektromagnetika

– Ivan Pokrajac, Milan Šunjevarić, Bojan Zrnić: Poređenje RLS i MLS algoritma za adaptivno uobličavanje antenskog snopa na baznoj stanici mobilnog komunikacionog sistema;

Komisija za biomedicinsku tehniku, medicinska fizika

– Branko Livada: Kriterijumi izbora pri projektovanju, izradi i ugradnji stakla za naočare;

– Radiša Stefanović, Mladen Arnautović, Alojz Žibert: Analiza štetnosti zračenja mobilnog telefona na ljudski organizam;

Komisija za mikroelektroniku i optoelektroniku, optoelektronske komponente, strukture i metode

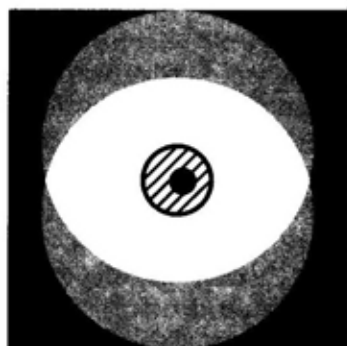
– Ljubiša Tomić, Branko Livada: Detekcija defekata u materijalu primenom termovizije;

– Slavko Pokorni: Predikcija emisivnosti materijala;

Komisija za mikrotalasnu i submilimetarsku tehniku

– Goran Dikić, Nikola Lekić, Alojz Žibert, Radiša Stefanović: Automatsko merenje radarske površine.

Treba napomenuti da su mnogi radovi realizovani u saradnji sa istraživačima iz drugih zemalja, što ovoj stručnoj smotri daje značaj koji prevazilazi jugoslovenske okvire.



## prikazi iz inostranih časopisa

### VEĆA VATRENA MOĆ TENKA LEOPARD-2\*

Nemačka armija očekuje da će vrlo brzo dobiti novi tenkovski 52-kalibarski glatkocevni top 120 mm, koji je razvijen u nemačkoj kompaniji Rheinmetall.

Novi top KWS L/55, koji će zameniti 44-kalibarski, glatkocevni top 120 mm obezbediće veću vatrenu moć osnovnim borbenim tenkovima LEOPARD-2.

Prvi proizvodni ugovor očekuje se krajem 2000. godine. Očekuje se da će ove godine biti isporučeno četiri oruđa, tokom 2001. godine 34, u toku 2002. 47, a 2003. godine 70 oruđa.

Kada se uvedu u naoružanje, modernizovani tenkovi LEOPARD 2A5 imaće oznaku – LEOPARD 2A6.

Španska armija odabrala je novu cev L/55 za svoje tenkove LEOPARD-2, a armija SAD kupila je tri tenka radi ispitivanja. Glatkocevni top 120 mm M256, na američkim tenkovima M1A1 AB-RAMS, jeste Rheinmetallov top L/44 opremljen američkim zatvaračem.

Top L/55 može da gađa sa svim postojećim vrstama municije 120 mm, a biće sposoban da gađa i sa novom municijom, čak i sa većim pritiskom barutnih

gasova. Novi projektil APFSDS-T, oznake DM53, ima energiju na ustima cevi oko 11 mJ, kada se gađa topom L/44, odnosno 13 mJ kada se gađa topom L/55. Kada se gađa topom L/55 brzina projektila DM53 na ustima cevi iznosi 1750 m/s.

Prvi kupac municije DM53 je švajcarska armija, koja je naručila 20 000 projektila. Isporuke su počele krajem 1999. godine i kontinuirano će se obavljati do sredine 2001. godine. Očekuje se da će do kraja godine i Holandija naručiti određenu količinu municije.

Protivtenkovski višenamenski projektil DM12A1 (HEAT-MP-T) takođe se koristi u nemačkim tenkovima LEOPARD-2. On ima ograničenu efikasnost protiv najnovijih oklopa i ostalih ciljeva.

Rheinmetall je razvio novi modularni razorni projektil (HE-T) koji može da pogađa ciljeve na daljinama od 5000 metara sa povećanom efikasnošću i tačnošću. Razvoj je počeo krajem 1999. godine, a očekuje se da će se završiti do sredine 2001. godine. Da bi se smanjili troškovi vezani za odeljak za propulziju, gde god je moguće koriste se odgovarajuće, već potvrđene komponente. Procenjuje se da će ukupna masa projektila iznositi 19 do 21 kg, sa sadržajem eksploziva 2,3 do 2,5 kg.

Projektil se karakteriše balističkom kapom iza koje se nalaze kuglice od

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 3. maj 2000.

volframa i razorni eksploziv. Na dometu 2500 metara projektil HE-T ima efikasnost veću od 90% u odnosu na projektil HEAT-MP-T.

Rheinmetall je proizveo pet vrsta municije 120 mm APFSDS-T: DM13, DM23, DM33, DM43 i DM54 (poznat i kao LKE II). Municija DM13, DM23 i DM33 uvedena je u naoružanje nemačke armije. Projektil DM43 proizveden je u kooperaciji sa francuskom kompanijom Giat Industries.

V. Radić



## NOVI PROJEKTIL 30 mm OERLIKON\*

Švajcarska kompanija Oerlikon Contraves Defence razvila je nove projektele 30 mm × 173 mm ABM (Air-Bursting Munition), poznate kao PMC 308.

Projektil PMC 308 zasnovan je na ranijem projektilu Oerlikon 35 mm × 228 mm AHEAD (Advanced Hit Efficiency And Destruction – povećane efikasnosti pogađanja i uništenja), koji se koristi na dvocevnom topu 35 mm GDF-005 vučnog PVO sistema, i proizvodi već nekoliko godina. Kao i AHEAD projektil, PMC 308 ima elektronski tajmerski modul induktivno programabilan za različite brzine na ustima cevi, što obezbeđuje precizno vođenje „korisnog tereta“ u pravcu cilja. „Koristan teret“ sastoji se od 135 cilindričnih potprojektila od legure volframa, svaki mase po 1,5 grama. Oni se oslobađaju malim izbacnim eksplozivnim punjenjem ispred cilja, sa udaljenosti oko 6 metara.

\* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 3. maj 2000.

Individualni potprojektili formiraju letalni (ubitačni) konus fragmenata koji znatno povećavaju verovatnoću pogađanja, posebno na većim dometima. Projektil ABM ima sigurnosno rastojanje od usta cevi 60 m, i samouništenje nakon perioda od 8,19 sekundi (oko 4 km).

Ubojni efekat ABM projektila može se podesiti na različita rasturanja na kojima se oslobađaju potprojektili u pravcu cilja. Projektili ABM mogu uništiti različite ciljeve na bojištu, kao što su borbena vozila pešadije, posade – posluge protivoklopnih oruđa, pešadija na bojištu i helikopteri.

Projektil je efikasan u temperaturnom dijapazonu od -30°C do +50°C, a prelazi 1 km za 1,1 sekundu i 2 km za 2,71 sekundu. Sa ovim projektilima mogu da gađaju dve vrste topova: Boing 30 mm Bushmaster II (na upotrebi u Norveškoj, Švajcarskoj i pomorskodesantnim snagama SAD) i Mauser 30 mm Mk30-2 (koji je odabrala Austrija, a u upotrebi je u Španiji).

Pre gađanja municijom PMC 308 potrebno je izvršiti određene modifikacije oruđa i vozila, koje se odnose na ugradnju sistema za upravljanje vatrom (SUV) u kupoli i uređaja za merenje brzine projektila na ustima cevi topa.

Uređaj za merenje brzine projektila na ustima cevi šalje SUV-u potrebne informacije koji zatim te informacije koristi za programiranje upaljača.

### Karakteristike projektila PMC 308

Kalibar (mm)	30 mm × 173
Dužina projektila (mm)	290
Masa metka (g)	830
Masa „korisnog tereta“ (g)	206
Masa projektila (g)	362
Brzina na ustima cevi (m/s)	1080
Čaura projektila	čelična



Komplementi projektilu PMC 308 su nedavno razvijeni protivoklopni projektili 30 mm APFSDS-T (Armour Piercing Fin-Stabilized Discharging Sabot-Tracer), kao i FAPDS-T (Frangible Armour-Piercing Discharging Sabot-Tracer). Pomorskodesantne snage SAD već su ispitale projektil APFSDS-T za eventualnu upotrebu na topu 30 mm Boing Bushmaster II (Mk 44), koji se ugrađuje na poboljšana amfibijska ofanzivna vozila AAV.

V. Radić



## POBOLJŠANJA TENKA LEOPARD 2\*

Nemački proizvođač tenkova LEOPARD 2, kompanija Krauss-Maffei-Wegmann (KMW), investira u njegova dalja poboljšanja kako bi se obezbedila kontinuirana efikasnost u 21. veku.

LEOPARD 2A5 novija je verzija ranijeg modela LEOPARD 2A4 koji se koristio u Nemačkoj i Holandiji. Osnovna poboljšanja su:

- električni sistemi za upravljanje i stabilizaciju topa zamenjeni su hidrauličkim;

- poboljšan je sistem trzanja na topu 120 mm, koji će obezbediti da se ugradi Rheinmetallov top 120 mm L/55 sa glatkom cevi;

- komandirov nišan PERI R17A2 ima termalni kanal sa prenosom slike na monitor u kupoli;

- novi oklopni poboljšani paket ugrađen je sa prednje strane kupole što znatno povećava oklopnu zaštitu i rezultiralo je ugradnjom novog kliznog otvora za vozača;

- na zadnjem delu ugrađena je TV kamera sa monitorom;

- ugrađen je hibridni navigacioni sistem zasnovan na fiberoptičkoj tehnolo-



Tenk LEOPARD 2A5 sa topom 120 mm L/55

- giji i GPS sistemu podrške koji je povezan sa sistemom za upravljanje;

- ugrađen je modifikovani procesor podataka laserskog daljinomera.

Nemačka armija dobila je prvu seriju od 225 tenkova LEOPARD 2A5, a naručila je još 125 tenkova. Holandskoj armiji biće isporučeno 180 naručenih tenkova do 2002. godine.

LEOPARD 2A5 bio je osnova za švedski tenk STRV 122. Da bi ga uvela u naoružanje Švedska planira dalja poboljšanja, koja se odnose na:

- pasivni oklop sa većom zaštitom od dejstva oružja iz gornje polusfere;

- novi laserski daljinomer sa Raman Nd-YaG tipom lasera u nišanu nišandžije EMES 15;

- najmoderniji švedski radio i modularni sistem za kontrolu i upravljanje (TCCS).

Kompjuter za upravljanje vatrom biće modifikovan za municiju 120 mm koja se proizvodi u Švedskoj, instaliraće se francuski sistem za lansiranje granata

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 8. mart 2000.

Galix i modifikovani pogonski agregat i poboljšano ogibljenje kao na STRV 122 mase 62 tone.

LEOPARD 2A5 karakteriše se i novim Rheinmetallovim topom 120 mm L/55 sa glatkom cevi, koji će se ugraditi naknadno na nemačke i holandske tenkove. Duža cev L/55 obezbeđuje efikasnost protiv ciljeva na većim daljinama i kada se gađa sa najmodernijom municijom Rheinmetall DM53 (APFSDS).

Ostala poboljšanja uključuju električni sistem za klimatizaciju instaliran u kupoli i pomoćni dizel agregat.

Očekuje se da druga demonstracija tenka LEOPARD 2A5 bude izvršena 2001. godine. Taj tenk imaće nemački motor MTU Euro Powr Pack od 1104 kW (1500 KS) sa istim odnosom masa/snaga obezbediće više prostora u oklopnom telu, koji se može iskoristiti za postavljanje dodatnih rezervoara za gorivo ili skadištenje municije. Ostala poboljšanja uključuju sistem za identifikaciju, poboljšane senzore i sadašnji pogonski agregat sa direktnim ubrizgavanjem, koji će imati najmanje 1500 kW (2038 KS). Međutim, to će zahtevati, novu transmisiju. Novi model opremiće se i novim paketom oklopne zaštite, što će dovesti do veće mase tenka.

V. Radić



## NOVA KINESKA PROTIVTENKOVSKA VOĐENA RAKETA\*

Detalji koji se odnose na novu protivtenkovsku vođenu raketu Red Arrow 9 (crvena strela) objavio je kineski proizvođač NORINCO (China North Industries Corporation). Oružje je prvi put

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 26. april 2000.

prikazano na paradi u Pekingu 1999. godine.

Raketa Red Arrow 9 prvi put je primenjena na oklopnom transporteru 4 × 4 WZ 551 firme NORINCO. Ta šasija se, takode, koristi kao osnova za stariji protivtenkovski sistem Red Arrow 8, koji je u upotrebi u armiji Kine već nekoliko godina.

Nova raketa Red Arrow 9 razlikuje se od prethodnog sistema, dok je bojna glava slična američkom sistemu TOW sa dometom 3750 metara. U odnosu na TOW, koji se vodi žicom, Red Arrow 9 se vodi laserski. Laser ima domet veći od 5,5 km i radi u talasnom području 0,9 μm.

Sistem Red Arrow 9 na vozilu 4 × 4 ima borbenu masu od 13,75 tona sa komandrom i vozačem smeštenim napred, pogonskim agregatom u sredini i raketnim sistemom pozadi. Rakete su smeštene u četiri lansera u poziciji za lansiranje, dve sa svake strane, sa elektrooptičkim paketom u centru postolja. Lanser se može zaokretati za 200° ulevo i udesno sa elevacijom i depresijom do 10°. Ostalih 8 raketa smešteno je u telu vozila, a mogu se ubacivati u lanser automatski ili ručno.

Metod vođenja je upravljanje na liniji nišanja. Postoje dve verzije Red Arrow 9: Red Arrow 9A sa vođenjem u milimetarskom talasnom domenu i Red Arrow 9B sa laserskim vođenjem. Pored standardnog dnevnog nišanskog sistema ugrađen je i termalni nišan koji omogućava da se ciljevi prate u uslovima magle i dima. On funkcioniše u domenu 8 do 12 μm i može detektovati ciljeve na daljini 4000 metara i prepoznati cilj na 2500 metara.

Raketa kalibra 152 mm sa lansirnom cevi je mase 37 kg. Ima četiri stabilizatora koji se šire nakon lansiranja iz cevi.

Maksimalna brzina gađanja je ograničena na dve rakete u minuti zbog praćenja ciljeva na maksimalnom dometu. Minimalni domet raketa je 100 metara, a maksimalni 5000 metara.

Osnovna protivtenkovska razorna bojna glava može da probije 320 mm valjanog homogenog čelika pod uglom od 68° zaštićenog eksplozivnim reaktivnim oklopom (ERA). Na prednjem delu rakete ugrađeno je kumulativno pretpunjenje koje aktivira ERA, omogućavajući osnovnom punjenju da penetrira cilj.

Raketa Red Arrow 9 može da se ugradi na brojne platforme, uključujući i gusenična oklopna vozila, kamione i helikoptere, te obalska vozila. Korporacija NORINCO izradila je i raketni paket za obuku i podršku.

V. Radić



## **ELEKTRONSKI UPALJAČI ZA VIŠECEVNE RAKETNE SISTEME\***

Razvoj višecevnih raketnih sistema bio je usmeren na povećanje njihove borbene efikasnosti, vatrenog dometa, tačnosti i ostvarenje grupisane vatre. Pojava novih višecevnih raketnih sistema zahtevala je i razvoj novih upaljača, posebno tempirnih i tempirno-udarnih.

Tempirni upaljač 9E260 projektovan je za višecevni raketni sistem Prima. Kod ovih raketnih sistema, radi povećanja efikasnosti bojnih glava one se posle odvajanja padobranom spuštaju na cilj. Njihov upaljač ima tok pripale i detonujućí tok. Na delu za pripalu nalazi se barutni upaljač koji je namenjen za odvajanje bojne glave od rakete. Detonujućí

tok aktivira detonator koji obezbeđuje dalje kretanje bojne glave. Radi postizanja fragmentacionog efekta upaljač proizvodi pripalni impuls koji pali punjenje bojne glave u određeno vreme, i detonujućí impuls radi detonacije bojne glave kada se susretne sa preprekom. Bojna glava eksplodira nakon udara u prepreku sa izvesnim vremenskim usporanjem.

Upaljači sadrže elektronske tempirne delove (ETD), izvor energije, inercioni prekidač opaljenja, reaktivne i inercione senzore cilja, prstenasti detonator i barutni upaljač.

Vreme dejstva upaljača postavlja se pomoću daljinskog upravljača 9P612, koji radi preko kontaktnih prstenova smeštenih u suženom delu upaljača.

ETD sadrže specijalni namenski čip koji sa velikom preciznošću odbrojava vreme, bez upotrebe preciznih elemenata u pogonskom generatoru. Fizički, ETD je ugrađen na fleksibilnu štampanu ploču koja je otporna na fizička opterećenja, a ispunjena je poliuretanom i pokrivena metalnim štitnikom. U otvoru unutar ETD, uzduž ose upaljača, ugrađen je inercioni prekidač opaljenja. ETD se napaja termičkom baterijom napunjenom elektrolitom koji se topi pod određenim uslovima. Baterija radi u širokom temperaturnom dijapazonu i dugotrajna je. Sigurnosni mehanizam je integralnog tipa sa obrtnim diskom, i izveden je iz mehanizma za zabavljanje.

Obrtni disk se postavlja u operativni položaj nakon završetka pogonske faze putanje rakete i utvrđivanja g-opterećenja.

Kontaktni senzor reaktivnog tipa smešten je u sekciji na vrhu upaljača. On ostaje zatvoren jakom metalnom pločom sve dok ne istekne utvrđeno vreme dejstva upaljača. To obezbeđuje visoku oset-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2000.

ljivost i zaštitu senzora cilja od smetnji, ali i isključuje aktiviranje šuma pre nego što se bojna glava odvoji.

Za postizanje fragmentacionog efekta, u toku pripreme za opaljenje putem opreme za daljinsko upravljanje, pre samog opaljenja rakete, komandni signali se šalju na upaljač preko kontaktnih prstenova koji su smešteni na suženom delu upaljača. Komandni signali aktiviraju izvor energije. Uz to signali, koji nose informaciju u zahtevanom vremenu dejstva upaljača, takođe su generisani. Kada je raketa ispaljena inercioni prekidač proradi i počinje odbrojavanje vremena. Ako veličina g-opterećenja i trajanje pogonske faze putanje prelazi dozvoljene granice, sigurnosni mehanizam priprema postavljanje obrtnog diska u njegov operativni položaj na kraju linearnog ubrzanja, radi aktiviranja upaljača po završetku pogonske faze na putanji rakete. Nakon odvajanja, ETD daje prethodnu elektrokomandu za punjenje kondenzatora, što sprečava generisanje signala za prerano odvajanje bojne glave. Nakon završetka odbrojavanja ETD generiše komandu za spajanje napunjenog kondenzatora sa električnim upaljačima. Rad jednog od njih aktivira lanac pripale sa barutnim upaljačem, obezbeđujući tako užareni impuls za odvajanje bojne glave. Dejstvo drugih upaljača dovodi do eksplozije i odvajanja metalne ploče kojom se sprečava ranije dejstvo kontaktnog senzora. Kada bojna glava udara u cilj, reaktivni senzor cilja generiše signal za aktiviranje detonacionog lanca upaljača, kojim se ostvaruje eksplozija bojne glave. Zahvaljujući upotrebi padobranskog sistema, bojna glava se približava prepreci skoro pod normalnim uglom, čime se znatno povećava fragmentacioni efekat dejstva bojne glave.

Da bi se postigao eksplozivni efekat, signali se ne šalju opremom za daljinsko upravljanje upaljačem, izvor elektroenergije nije aktiviran, ETD ne odbrojava vreme dejstva upaljača, bojna glava nije odvojena i reaktivni kontaktni senzor ostaje neaktivan. U tom slučaju, posle armiranja upaljača nakon udara u prepreku, proradi inercioni senzor cilja i bojna glava eksplodira sa usporenjem i pojačanim efektom eksplozije.

Po glavnim karakteristikama performansi, tempirni i udarni upaljač 301V sličan je upaljaču 9E260. Njegove specifične karakteristike su da ne koristi kontaktno prstenove, a informacija se prenosi putem induktivne spojne linije i umesto termičkog izvora energije koristi kondenzatorski izvor.

Kondenzatorski izvor energije smešten je ispod kontaktnog senzora cilja i puni se opremom za daljinsko upravljanje neposredno pre opaljenja raketa.

ETD je zasnovana na specijalnom namenskom mikrosposju Dzot-2, koji ima malu potrošnju električne struje i obezbeđuje snabdevanje strujom iz kondenzatora.

Operativni algoritmi upaljača 301V i 9V260 su identični.

Tempirni upaljač 328V namenjen je za stvaranje impulsa za paljenje nakon određenog vremena dejstva upaljača. Upravljanje i ulazna vremenska informacija obezbeđuju se putem induktivne spojne linije iz iste opreme za daljinsko upravljanje, koja je ugrađena na borbenom vozilu, a kojom se upravlja upaljačem 301V.

Upaljač ima dva nivoa osiguranja. Za njegovo deaktiviranje šalje se elektrokomanda putem daljinskog upravljanja, u momentu kada je raketa ispaljena. Na pogonskoj fazi putanje rakete sigurnosni

nivoi se deaktiviraju delovanjem mase rakete. Upaljač sadrži ETD, kondenzatorski izvor energije, inercioni prekidač, prijemni kalem, sigurnosne i inicirajuće delove i barutnu pripalu. ETD ima dva kanala. Prvi kanal izrađen je oko mikrospoja Dzot-1, koji je urađen u pseudointegralnom kolu koji generiše izlazni signal ako preopterećenje štetno utiče na raketu u pogonskoj fazi putanje njenog leta, za fiksni period vremena. On odbrojava daljinski utvrđeno vreme. Drugi kanal je na mikrospoju Dzot-2 i odbrojava vreme dejstva upaljača. Inercioni prekidač namenjen je da oformi komandu za početak odbrojavanja vremena i slanje komande prvom kanalu ETD, ukoliko je raketa još pod velikim opterećenjima.

Uređaj za osiguranje i paljenje izrađen je u vidu obrtne čaure, a projektovan je da prekine lanac paljenja. Takođe, uređaj ima električni upaljač i inercioni zatvarač. Čaura se stavlja u radni položaj pomoću deaktiviranja sigurnosnih nivoa, kada električne komande dolaze do električnog upaljača izlaznog kanala ETD. Inercioni zatvarač „registruje“ dolazak elektrokomande za armiranje. Ukoliko je ta komanda poslata u pogonskoj fazi putanje, zatvarač ne sprečava čauru da zauzme radni položaj, inače, zatvarač onemogućava čauri da se okrene. Impuls pripale, kojeg generiše upaljač nakon završetka vremena odbrojavanja, može se koristiti za otvaranje kasetne bojne glave, za odvajanje bojne glave, itd.

Povećanje tačnosti gađanja sistema višecevni bacača raketa Smerč ostvareno je korišćenjem sistema za stabilizaciju ugla i korekciju dometa, koji sadrži elektronski sklop 9B174 i ETD 9B172.

Sklop 9B174 sastoji se od elektronskog podsklopa za stabilizaciju ugla, akcelometra i kompjutera. Elektronski

podsklop obrađuje signale koji dolaze do njega sa žiroskopa, koji je deo sistema na raketi, i daje signale do pokretača za izmenu ugla stabilizacije rakete. Sistem za stabilizaciju ugla funkcioniše unutar rotirajuće rakete, što je bio težak naučni i tehnički problem za rešavanje.

Koncept korekcije dometa može se objasniti na sledeći način. Pomoću ETD 9B172 uračunato je vreme dejstva upaljača, koje je uneto daljinskim upravljanjem za vreme pripreme rakete pred lansiranje. To vreme determiniše zahtevani domet i proračunato je u skladu sa dinamičkim parametrima rakete.

Kada je raketa ispaljena, ETD počinje odbrojavanje. Za vreme leta sklop 9B174, akcelometar i kompjuter, određuju realne vrednosti trajanja pogonske faze i brzine rakete na kraju njenog leta. Zavisno od aktuelnih parametara, kompjuter izračunava korekciju usporenja vremena u skladu sa utvrđenim algoritmom, uzimajući u obzir dinamičke parametre rakete. Proračunate korekcije se upućuju do ETD 9B172, koji odbrojava vreme dejstva upaljača. Ako je aktuelna brzina rakete na kraju pogonske faze na putanji leta ispod procenjene vrednosti, smanjenje mogućeg dometa kompenzira se pomoću uređaja pozitivne korekcije i povećanja vremena usporenja upaljača. Ukoliko je aktuelna brzina veća, povećanje mogućeg dometa se eliminiše uvođenjem negativne korekcije i smanjenjem vremena dejstva upaljača.

Brzina rakete je određena integrisanjem signala koji dolaze sa akcelometra u pogonskoj fazi putanje leta. Ti signali su proporcionalni ubrzanju rakete. Stanje akcelometra pre nego je raketa ispaljena, određeno je gravitacionim komponentama koje deluju u akcelometru, i unešeno je u računar za vreme pripreme

rakete za opaljenje. Projektanti akcelerometra uspjeli su da postignu visoku tačnost merenja linearnog raketnog ubrzanja, pri obrtanju pod uticajem visokih vibracija nastalih zbog rada raketnog motora. Stabilizacija visokih vibracija akcelerometra, postignuta je upotrebom složenog damping sistema, koji filtrira korisne signale u sklopu vibracija visokih amplituda. Signali akcelerometra obrađuju se u kompjuteru koji takođe, očitava vreme korekcije koristeći metod digitalno-frekventne obrade informacija.

Pored vremena dejstva upaljača, ETD generiše i druge komande kao što je: otvaranje kasetnih bojnih glava, razvijanje padobranskih sistema i dr. Korekcija vremena koje dolazi iz sklopa 9B174, analizira se u ETD po određenom algoritmu i unosi, ukoliko je rezultat analize zadovoljavajući. Mikročipovi specijalne namene Dzot-1 i Dzot-2 izračunavaju vremenske intervale, i izvršavaju matematičke operacije digitalnofrekventnom metodom.

M. Krbavac

<<<◇>>>

## SNAJPERSKO NAORUŽANJE ZA SPECIJALNE NAMENE\*

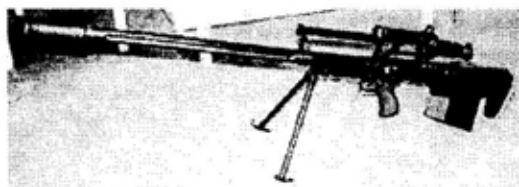
Dugi period nakon Drugog svetskog rata oružane snage SSSR bile su opremljene, uglavnom, standardnim snajperom 7,62 mm model 1981/30 i 7,62 mm SVD. Međutim, nastale promene postavile su sasvim nove zahteve za snajpersko naoružanje, kako u okviru armije, tako i za potrebe ostalih oružanih snaga. Razvoj specijalnih snaga namenjenih za operacije u neprijateljevoj pozadini, zahtevao je i

razvoj novog lakog snajperskog naoružanja.

Snajper za specijalne namene VSS Vintorez bio je jedan od prvih te vrste koji su razvijeni u Rusiji. Koristio je novoproduzvedenu municiju SP-5 9 × 39 mm, a uveden je u upotrebu 1987. godine. Puška je opremljena dnevno-noćnim nišanom koji je obezbeđivao preciznu vatru na udaljenostima do 400 m, i ugrađeni prigušivač koji je obezbeđivao precizno efikasno gađanje bez šuma i plamena. Osim municije SP-5 puška može koristiti i pancirnu municiju SP-6 i SP-9, kojom se može probiti čelična ploča debljine 8 mm na rastojanju do 100 m. Veliko iskustvo u borbenoj upotrebi bešumnih snajperskih pušaka pokazalo je njihovu visoku efikasnost.

Izvanredne karakteristike municije SP-5 i SP-6 omogućile su razvoj male automatske puške 9A-91, a zatim i snajperske puške VSK-94. Ta puška može, takođe, koristiti municiju SP-5, SP-6 i PAB-9, i biti opremljena dnevno-noćnim nišanom. Međutim, za razliku od VSS, puška VSK-94 ne koristi ugrađeni prigušivač. Umesto njega, na usta cevi se montira skidajući prigušivač. Bez tog prigušivača VSK-94 se može koristiti kao mali automat.

Drugi tipovi snajperskog oružja za specijalne namene razvijeni su u Rusiji u nekoliko proteklih godina. Tu spadaju i snajperske puške velikog kalibra, koje



Sl. 1 – Snajperska puška KSVK

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2000.



Sl. 2 – Snajperska puška SV-99

koriste municiju 12,7 mm × 108 mm. Ovo oružje namenjeno je za onesposobljavanje žive sile na udaljenostima od 1200 do 1300 metara, i većih ciljeva, kao što su motorna vozila, radari, raketni i artiljerijski sistemi, avioni i helikopteri na zemlji, na daljinama do 2000 metara. Zrno B-32 od 46 grama ima dovoljno energije da probije standardnu pancirnu odeću na maksimalnom vatrenom dometu. Na kraćim rastojanjima ovo oružje može se koristiti za borbu protiv lakooklopljenih ciljeva.

Prvi modeli ovog naoružanja bili su puška sa automatskim punjenjem OSV-96 (originalna oznaka V-94), opremljena dnevnim optičkim nišanom velike uveličavajuće sposobnosti. Optronički nišan korišćen je za noćno gađanje na udaljenostima do 600 m. Radi olakšanja prenošenja puška je snabdevena preklopnim kundakom kojim se smanjuje ukupna dužina sa 1690 mm na 1100 mm. Prednja kočnica i amortizujući kundak efikasno smanjuju trzanje. Magazin sa 5 metaka i automatsko punjenje municije omogućavaju, ukoliko je potrebno, visok režim vatre.

Drugi model snajperskog naoružanja je snajperska puška KSVK, sa magazinom od 5 metaka i kliznim zatvaračem.

Za razliku od snajpera OSV-96, puška KSVK ima „bulpap“ konfiguraciju i dužinu od 1350 mm. Masa puške KSVK je 11 kg i lakša je od OSV-96, čija je masa 12,7 kg. Nova puška ima deblju hladnovajlanu cev, koja povećava tačnost pogađanja u odnosu na klasične cevi pušaka.

Novim projektom izrađena je tzv. „plivajuća“ cev koja po celoj svojoj dužini nema kontakt s drugim delovima puške. Dvonožac je pričvršćen za specijalni nosač koji je fiksiran za usadnik cevi, što takođe, utiče na povećanje tačnosti gađanja.

Zbog ugrađenih mehaničkih nišana ova puška koristi standardni dnevni optički i noćni oprtonički nišan. Radi prikladnijeg držanja prednji deo magazina je izrađen od specijalne zaštitne ploče. Otvor za izbacivanje čaura je zatvoren u neradnom položaju opružnim poklopcem za punjenje. Kočnica na ustima cevi ne samo da smanjuje trzanje, već i plamen i prasak iz puške. Radi amortizacije trzanja ploča kundaka je pokrivena sunderastim materijalom. Nova municija je vrlo efikasna kada je koristi ova puška.

Unikatna snajperska puška SV-99, koja koristi municiju 5,6 mm, razvijena je na osnovu biatlon puške Bi-7. Efikasan vatreni domet joj je 50 do 70 m. Međutim, mali vatreni domet i ubojnost malokalibarske municije kompenzira se vrlo visokom tačnošću pogađanja. Da bi se obezbedile visoke mehaničke karakteristike i dobro grupisanje pogodaka puščana cev je izrađena od čelika velike čvrstoće hladnim radijalnim kovanjem. Unutrašnjost cevi ima 6 žlebova i nije hromirana, što poboljšava grupisanje pogodaka. Uzdužnoklizeći zatvarač potiče sa sportske puške i omogućava brzo punjenje. Municija se smešta u magazin za 5 metaka, koji je kompletno utisnut u kundak puške. Sila okidanja se održava u granicama od 0,5 do 1,0 kg pomoću specijalnog mehanizma. Optički nišan PO 6 × 42 ugrađen je na gornji deo cevi, dok mehanički nišan ne postoji. Puška ima ergonomski oblikovan sklapajući kundak, sa podešavajućim delovima za rame i lice. U donji

deo kundaka, ispod skidajućeg poklopca, mogu da se smeste dva rezervna magazina. Na prednjem delu kundaka nalazi se žleb za učvršćivanje lakopodešavajućeg dvonošca. Kompletan prigušivač, dužine oko 150 mm, smešten je na ustima cevi radi smanjenja jačine zvuka opaljenja do nivoa vazdušne puške. Dužina puške sa čvrstim kundakom iznosi 1000 mm, a masa joj je 4 kg.

Jedna od novorazvijenih snajperskih pušaka je SV-98, projektovana na osnovu sportske puške Rekord. Puška koristi rusku municiju 7,62 × 51 mm (.308 Winchester) i .338 Lapua Magnum. „Plivajuća“ hladnokovana cev pričvršćena je u usadnik cevi, izolovana je sa 6 žlebova i nije hromirana, kao što je slučaj sa većinom sportskih modela, što povećava grupisanje pogodaka. Međutim, prema zahtevu cev se može i hromirati. Grupisanje pogodaka je za 1,5 do 2 puta bolje od grupisanja ostvarenog puškom SVD. Usta cevi podešena su za ugradnju skrivača plamena i prigušivača. Cev se zatvara rotacionim zatvaračem sa tri simetrično postavljena završivača. Sila okidanja se podešava na 1,5 do 2,0 kg. Magazin ima 10 metaka i ceo je umetnut u kundak puške. Nišanski delovi sadrže mehanički nišan i optički nišan PKS-07 7×, koji je učvršćen sa gornje strane usadnika cevi. Radi smanjenja uticaja toplog vazduha na nišanjenje, puška je opremljena trakom protiv optičkih varki. Kundak je izrađen od šperploče, ali se planira izrada od staklom punjenog poliamida. Potkov kundaka i naslon za lice podešavaju se horizontalno i vertikalno. Na kundak se pričvršćuje podešavajući dvonožac.

Ovakvo snajpersko naoružanje omogućava izvršenje različitih zadataka, ali se

i dalje može očekivati povećanje dometa, tačnosti i, u isto vreme, održavanje dovoljne ubojnosti zrna.

M. Krbavac



## F/A-18E/F SUPER HORNET\*

Protivrečni zahtevi, visoki troškovi i ambicije američke mornarice da projekat aviona A-12 Avenger II (Osvetnik) poleti pre USAF programa F-22 Raptor, doveli su 1991. godine do obustavljanja daljeg razvoja Avengersa. Kao adekvatno i ekonomično rešenje, mornarici i marinskom korpusu je 1992. godine, umesto Avengersa, ponuđena usavršena varijanta palubnog lovca-bombardera F/A-18. Potencijalna nadogradnja F/A-18 ispitana je još 1987. godine. Nova varijanta dobila je oznaku F/A-18E/F (E-jednosed, F-dvosed) i naziv Super Hornet (Super stršljen). U prvim godinama narednog veka ovi avioni će na palubama nosača aviona zameniti starije varijante Horneta, koji se u operativnoj upotrebi nalazi od 1983. godine. Dosad je proizvedeno oko 1500 primeraka Horneta u verzijama A, B, C i D, i oni trenutno čine udarne snage osam vazduhoplovstava.

Prvi Super Hornet varijante E poletio je novembra 1995. godine, a prvi proizvodni kontingent koji je usledio brojao je sedam aviona – pet jednoseda F/A-18E i dva dvoseda F/A-18F. Kasnije je izrađeno još osam primeraka neophodnih za opsežna ispitivanja. Zadnja, šestomesečna provera operativnih mogućnosti (Operational Evaluation – OPEVAL) pred uvođenje u naoružanje, završena je

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 4/2000.



krajem 1999. godine, nakon čega je usledilo pozitivno mišljenje o uvođenju F/A-18E/F u naoružanje. Iako rezultati ispitivanja dobrim delom još nisu dostupni, poznato je da Super Hornet, u poređenju sa ranijim varijantama, ima znatno veću moć preživljavanja na bojištu, oko 25% veće gabaritne dimenzije, 33% više goriva u unutrašnjim rezervoarima, 41% veći dolet, 35% jači potisak motora, širu primenu kompozita a donekle i stelt karakteristike. Ojačana struktura krila i dve dodatne ose naoružanja (ukupno jedanaest) omogućavaju nošenje za oko jednu tonu veće količine ubojnih sredstava, uključujući i najnovija „pametna“ oružja poput JDAM i JSOW.



*F/A-18F Super Hornet*

Kokpit je vrlo sličan prethodnim verzijama Horneta. Izbacivo sedište je tipa Martin-Baker SJU-5/6, „0-0“ karakteristika, dok je avionika oko 90% identična verziji C/D. Radar je i dalje AN/APG-73, ali je na instrument tabli postavljen novi veći višefunkcionalni kolor prikazivač. Upravljanje sa gornjim prikazivačem HUD – Head Up Display vrši se tastaturom osjetljivom na dodir (tzv. touch-sensitive), a uveden je i novi praktičniji prikazivač količine goriva. Podvesni kontejner FLIR sistema (IC uređaja za osmatranje prednje polusfere) takođe je već viđen na ranijim varijantama Horneta, ali je spektar uređaja za elektronske protiv-

mere nešto širi. U te uređaje spadaju: dispenzer radarskih i IC mamaca AN/ALE-47 (broj mamaca na F/A-18E/F je 120 naspram nekadašnjih 60), tegljeni mamac ALE 50 i signalizator radarskog ozračenja AN/ALR-67(V)3. Svi oni upravljani su putem integrisanog odbrambenog sistema za elektronske protivmere (IDECM – Integrated Defensive Countermeasure System).

Jedno od suštinskih poboljšanja je i motor F-414-GE-400, firme General Electric, prvenstveno razvijan za avion A-12. Iako u suštini predstavlja derivativ ranijeg modela GE F404, pruža 35% veći potisak na forsazu. Takve performanse zahtevaju i povećan maseni protok vazduha, zbog čega je uvodnik vazduha dobio sasvim drugačiji oblik, na osnovu kojeg se najlakše vizuelno prepoznaje E/F varijanta. Umesto ranijeg D-oblika, novi uvodnik ima izgled pravougaonika (između ostalog i zbog smanjenog radarskog odraza). U njemu se nalazi rešetka premazana RAM materijalom (Radar Absorbent Material) pošto su kanali uvodnika prekratki da bi sprečili refleksiju radarskog signala. Prema navodima proizvođača, ugradnjom rešetke nije značajno smanjena efikasnost motora. Oko 70 kg RAM maziva primenjeno je i na ostalim delovima konstrukcije koji bitnije reflektuju radarske signale. Međutim, glavni problem i dalje predstavlja teret na spoljnim nosačima koji je izrazito demaskirajući faktor, što je moralo biti rešeno posebnim oblikovanjem novih ubojnih sredstava poput JSOW.

Sadašnji planovi govore da će se prvi operativni skvadron opremljen avionima F/A-18E/F, naći na nosaču aviona Abraham Lincoln (CVN-72) 2002. godine. Iako svi detalji o serijskoj proizvodnji, čiji je nosilac firma Boeing, nisu poznati

	F/A-18C/D	F/A-18E/F
Motori	2 × F-404-GE-402 od po 78 kN sa DS	2 × F-414-GE-400 od po 98 kN sa DS
Maks. brzina	1,8 M	1,6 M
Brzina prilaza	230 km/h	230 km/h
Dimenzije:		
dužina	17,07 m	18,31 m
visina	4,66 m	4,82 m
razmah krila	11,43 m	12,76 m
površina krila	37,16 m <sup>2</sup>	46,45 m <sup>2</sup>
Masa:		
prazan	10455 kg	13387 kg
normalna poletna	16652 kg	22030 kg
maks. poletna	25401 kg	29937 kg
unut. količina goriva	4926 kg	6531 kg
maks. korisna	7031 kg	8051 kg

– radar sa elektronskim skeniranjem Raytheon AESA;

– integrisani sistem za elektronska protivdejstva AN/ALQ-214 IDECM (Integrated Defensive Contermeasure System);

– raketu AIM-9X Sidewinder,

– sistem za projektovanje podataka na pilotskoj kacigi.

Čak i ako se ostvare sve planirane etape naknadnih modernizacija, američka mornarica će, posmatrano u celini, dobiti verovatno manje u odnosu na ono što je očekivala s obzirom na uložena sredstva.

S. Vlačić



pretpostavlja se da će biti proizvedeno 548 primeraka od toga 288 dvoseda. Međutim, da sve ne ide lako svedoče i kritike upućene na račun celokupnog programa koje nisu nimalo beznačajne, i idu do zahteva za njegovim odgađanjem. Kako se navodi, postoji mnoštvo zamerki na račun letnih osobina novog vazduhoplova. Dolet, iako povećan, manji je od očekivanog, maksimalna brzina (1,6 naspram 1,8 Maha), ubrzanje i odnos potisak/masa osetno su slabiji u odnosu na poslednje serije varijante C/D opremljene motorima F404-GE-402. Smatra se da ove osobine ne spadaju u ovom momentu u grupu presudnih, naročito zbog preporučene taktike vazdušnih borbi sa velikih udaljenosti (stand-off tactics). Zagovornici programa tvrde da se veliki potencijal letelice nalazi u narednim etapama modernizacije. Njihovim sprovođenjem F/A-18 E/F treba da dobije:

– novi podvesni kontejner sa IC sistemom za otkrivanje i označavanje ciljeva ATFLIR;

## BORBENI AVIONI GRAČ I SUPER GRAČ\*

Eksperimentalni projektni biro Suhoj obeležio je februara ove godine 25. godišnjicu prvog leta aviona T-8 ili Su-25, popularno nazvanog „grač“ (vrana). Taj avion nije impresionirao posmatrača aviomitinga akrobacijama u vazduhu, a nije postavljao ni pojedinačne rekorde. Umesto toga isticao se u borbi, u onome za šta je praktično namenjen, a njegove su performanse bile najbolja preporuka.

Avion „grač“ poseduju oružane snage mnogih zemalja Evrope, Srednjeg Istoka, Afrike, Latinske Amerike i Azijsko-pacifičkog regiona, a operativni su i u bivšim sovjetskim republikama.

Jurišni avion Su-25 je posle 1980. godine učestvovao u devet ratova i vojnih sukoba, a najintenzivnije je korišćen u Avganistanskom ratu, kada je izvršeno oko 60 000 borbenih letova. Od početka

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2000.

maja 2000. godine Su-25 je obavio 6000 borbenih letova u Čečeniji.

Projektirano Suhoj do sada je razvio nekoliko verzija osnovnog aviona Su-25. Među njima su palubni trenajni avion Su-25UTG, koji je danas u sastavu vazduhoplovnih snaga baziranih na nosaču aviona „Admiral Kuznjecov“, zatim jurišni avion Su-25T i višenamenski avion Su-25TM. Avioni Su-25T i Su-25TM uspešno se koriste protiv tačkastih ciljeva, uključujući i pokretne, danju i noću i po svakom vremenu. Avion Su-25TM može se koristiti protiv pomorskih ciljeva i ciljeva sa malim brzinama leta, kao i protiv neprijateljevih radara.

U odnosu na standardno naoružanje novi avion Su-25T može da nosi televizijski vođene rakete KAB-500KR, laserski vođene rakete KAB-500, samonavođene bombe i protivtenkovske rakete visoke efikasnosti „vihor“, dok Su-25TM nosi najnovije rakete vazduh-vazduh R-27R i R-77 i protivtenkovske rakete Kh-58 i Kh-31P.

Avion Su-25T poseduje savremeni automatski nišanski i navigacioni sistem, a vođene rakete „vihor“ uspešno se koriste po bilo kojem vremenu, i sa verovatnoćom od 0,8 do 0,9.

Nišansko-navigacioni sistem optičkog radara omogućava povećanje 23× pri snimanju ciljeva i terena, a obezbeđuje se sistemom za određivanje cilja za rakete „vihor“ i laserski samonavođeno oružje na cilj sa tačnošću od 0,6 m. Tako se, na primer, kuće mogu lako prepoznati sa rastojanja od 15 do 25 km.

Avion može da nosi 16 protivtenkovskih vođenih raketa „vihor“, 12 do 36 avio-bombi opšte namene od 500 do 100 kg, 8 kompleta nevođenih raketa raznih kalibara (40 do 160 raketa), do 6 bombi KAB-500KR i drugo naoružanje, uklju-

čujući vođene rakete vazduh-vazduh Kh-25ML i Kh-29L. Avion ima top GSh-3C sa kompletom od 200 metaka kalibra 30 mm.

Kvalitet savremenih nišansko-navigacionih sistema i asortiman naoružanja, čine ovaj avion supertlačnim oružnim sistemom koji može nanositi udare po uočenim ciljevima u jednom naletu.

Osim ovih zadataka avion se može koristiti i kao izviđački i za pokazivanje ciljeva za artiljerijske sisteme koji koriste laserski vođene granate tipa „krasopolj“. Izviđački podaci prenose se do jedinica u realnom vremenu, što znatno povećava efikasnost artiljerijske vatre i smanjuje gubitke izviđačkih aviona, koji moraju biti u blizini linije dodira.

Jasan video snimak i visoka rezolucija omogućavaju raspoznavanje kuća, vozila i ljudi, i obezbeđuju efikasnu upotrebu ovog aviona na ispresecanom zemljištu i nad gusto naseljenim mestima.

Velika izdržljivost, visoka borbena efikasnost, lakoća održavanja i obučavanja posade razlog su velike popularnosti ovog aviona, kako u Rusiji tako i na inostranom tržištu.

M. Krbavac

<<<◇>>>

## VIŠENAMENSKI RAKETNI BESPILOTNI SISTEMI\*

U vojnim sukobima pokazalo se da su masovni udari iz vazdušnog prostora odlučujući u rešavanju borbenih zadataka. Osim toga, dok su u ne tako dalekoj prošlosti ovakvi udari izvršavani prvenstveno pilotiranim letelicama, danas oni služe za izviđanje, kao platforme za si-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2000.

steme naoružanja i kao centri za navođenje. Danas se neposredno uništenje zemaljskih ciljeva obično obezbeđuje oružjem velike preciznosti. Objekti PVO su prioritetni ciljevi udara iz vazdušnog prostora.

Kako savremeni sistemi PVO imaju višestruke mogućnosti za uništavanje ciljeva, proveravanje i uvežbavanje njihovih borbenih posada zahteva uslove vazdušnih udara sa višestrukim opasnostima. To je vrlo važno za sisteme PVO opremljene raketama sa bojnim glavama sa ograničenim samonavođenjem.

Jedna od opcija za simuliranje višestrukih ciljeva u vazdušnom prostoru jeste korišćenje bespilotnih letelica izvedenih iz raketnih sistema PVO. Ruska mašinska industrija Avitek nudi višekanalni bespilotni sistem koji koristi modifikovane raketne sisteme PVO sa raketama S-125 i Osa.

Masovni udari iz vazdušnog prostora mogu se simulirati u obliku kinematičkih parametara (kretanje, visina i domet), redosleda opasnosti i efektivne radarske slike za razne tipove ciljeva. Glavni razlozi za korišćenje raketnih sistema PVO kao bespilotnih letelica, jesu njihova prihvatljiva cena i jednostavnost upotrebe. Simuliranje masovnih udara postiže se upotrebom modifikovanih raketnih sistema RM-5V27A (od raketnog sistema PVO S-125) i 9F841A (od raketnog sistema OSA-AK) u vidu autonomnih bespilotnih letelica, kao i odgovarajuća oprema sa lansirnom jedinicom 5P73. Kako je taj lanser transportno mobilan, višestruka situacija može se simulirati na svakom dometu i za svaki tip sistema PVO.

Po karakteristikama leta, balističkim karakteristikama i karakteristikama radarske slike, autonomni raketni bespilotni sistem RM-5V27A može simulirati:

- BGM-109D krstareće rakete Tomahawk;

- HARM, SRAM, ALARM, anti-radarske i udarne rakete vazduh-zemlja Martel;

- minijaturne letelice RPV Tacit i Rainbow.

Bespilotna letelica RM-5V27A ima efektivnu radarsku sliku od 0,07 do 0,3 m<sup>2</sup>. Njena vidljivost u IC spektru i frekvencija vidljivog spektra postiže se pogonskim perom i traserom. Ova bespilotna letelica može simulirati i balističke i programske putanje leta.

Balističke opasnosti simuliraju se u dijapazonu od 35 do 102 km po dometu i po visini od 7,5 do 38 km u vremenu od 75 do 190 s, zavisno od ugla elevacije pri lansiranju.

Programirane putanje cilja simuliraju se u dometu između 12 i 30 km i po visini 5 do 7 km. Dve bespilotne letelice RM-5V27A mogu se lansirati u intervalu od 5 s, simulirajući dvostruki cilj. Za postavljanje četiri bespilotne letelice RM-5V27A na lanser 5P73 koristi se standardna oprema raketnog sistema PVO S-125. Lansiranje se obavlja po utvrđenom postupku uz korišćenje pripadajuće lansirne table.

Bespilotni raketni sistem 9F841A može se koristiti za simuliranje protivradarskih raketa tipa Shrike. Postoje tri verzije ovih bespilotnih sistema sa različitim efektivnom radarskom slikom: 0,09 m<sup>2</sup>, 0,51 m<sup>2</sup> i 1,03 m<sup>2</sup>. To se postiže sa tri konfiguracije nosnog dela bespilotne letelice: sa nemodifikovanim standardnim opaljenjem; standardnim opaljenjem sa unutrašnjim ugaonim reflektorom i ugaonim reflektorom smeštenim u okrugli deo nosa rakete. Vidljivost letelice u IC vidljivom frekventnom pojasu ostvarena je u toku leta pomoću modernizovanog motornog punjača 9D15 koji

omogućava posadi sistema PVO da prati letelicu i vizuelno i preko sistema merenja putanje cilja.

Za lansiranje bespilotne letelice 9F841A(B) razvijeni su i uspešno testirani sistemi za pripremu i lansiranje. Bespilotna letelica smešta se na lanser 5P73 od rakete S-125, uz korišćenje specijalnog adaptera NEF.0177.0.

Konfiguracija bespilotne letelice omogućava veliku pouzdanost (sva lansiranja bila su uspešna) i jednostavnost lansiranja. Razvoj autonomnog raketnog bespilotnog sistema 9F841A(B), iz raketnog sistema PVO 9M33M2, zahteva minimalne troškove i postupke.

Situacija u vazдушnom prostoru s višestrukim pretnjama može se simulirati bespilotnom letelicom 9F841A(B) lansiranom u minimalnim intervalima od 3 do 5 s. Četiri letelice sa različitim efektivnim radarskim odrazima mogu se lansirati u vidu salve jednim lanserom. Balistički ciljevi mogu se simulirati preko maksimalnog dometa od 24 km i maksimalne visine od 10,5 km. Vreme opaljenja balističke bespilotne letelice iznosi 100 sekundi.

Nekoliko lansera 5P73, opremljenih bespilotnim raketnim sistemima RM-5V27A i 9F841A, koristiće se za simulaciju višestrukih opasnosti za vreme održavanja združenih vežbi Borbeni savez-2000 i Odbrana-2000 koje treba da se održe krajem 2000. godine.

M. Krbavac



## **RAKETNI BROD KATRAN\***

Raketni brodovi naoružani protivbrodskim raketama mogu se suprotstaviti brodovima klase fregata, iako su njihova

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2000.

konstrukcija i operativna cena za 50 do 75% niže od onih koje imaju veći ratni brodovi. Pored toga, na zatvorenim morima, u tesnacima i plitkim vodama, brzi raketni brodovi imaju više prednosti u odnosu na veće brodove. To su, pre svega, brzina, bolja manevarska sposobnost i lakše prikrivanje, što su i odlučujuće prednosti za zemlje koje ne mogu posedovati flotu sa većim ratnim brodovima. Zbog toga brzi jurišni raketni čamci čine okosnicu površinskih pomorskih snaga Norveške, Danske, Grčke, Turske, Izraela, Egipta, Južne Koreje, zemalja bivšeg Varšavskog pakta, kao i preko 40 zemalja Azije, Afrike i Južne Amerike. U mirnodopsko vreme ti se brodovi koriste za brze patrolne zadatke.

Raketni brodovi, koji su na upotrebi u navedenim zemljama (izuzev Norveške, Danske i Izraela) najčešće su iz Francuske, Nemačke, Velike Britanije, Švedske, Kine, SAD i SSSR-a, i datiraju iz perioda od 1970. do 1985. godine. Kako imaju vek upotrebe od 20 do 25 godina, biće potrebno da se vrlo brzo zameni 60 do 70% ovih brodova.

Glavni graditelji raketnih brodova, kao što su Vosper Thornycroft (V. Britanija), Lurssen (Nemačka), Construction Mecaniques de Normandie (Francuska), već su razvili nove projekte, među kojima su Combattante IV-NG, NES-300, Vita-klasa i dr.

Između 1970. i 1985. godine SSSR je izveo oko 150 brzih jurišnih raketnih brodova klase Osa-1 i Osa-2 (Projekat 205 i 205ER), koji pokazuju izvanredne mogućnosti u redovnoj upotrebi i borbenim zadacima. Danas se nudi modernizacija ovih brodova, kao i novi brod KATRAN (Projekat 20970), koji je specijalno građen za izvoz.

Brod KATRAN je zadržao sve prednosti brzih jurišnih brodova Osa-1 i Osa-2

(jednostavnost, pouzdanost održavanja, visoka operativnost), a ima znatno veću vatrenu moć, savremene mogućnosti samoodbrane i nove radare.

U poređenju sa brodovima Osa-1 i Osa-2 ovaj brod ima tri puta veću vatrenu moć, zbog uvođenja raketnog sistema Uran-E sa osam protivbrodskih raketa 3M-24E (X/25) postavljenih na dva lansera. Nišanje se podržava radarom 3Ts-25E u aktivnom i pasivnom režimu.

Dometi otkrivanja cilja u aktivnom režimu (površina cilja = 10000 m<sup>2</sup>) jesu: 40 do 45 km (standardni uslovi za radarsko osmatranje), 85 do 90 km (dobri uslovi za radarsko osmatranje) i 260 km (odlični uslovi refrakcije).

Domet otkrivanja cilja u pasivnom režimu iznosi do 350 km, zavisno od snage zračenja cilja.

Radar može da prati do 15 ciljeva, a istovremeno zahvata šest ciljeva. Sa poprečnim uglom lansera od 180° i okretom rakete od 90° po kursu, sistem može da uništi šest ciljeva u sektoru nišanja od 360° i sa dometom izvan horizonta.

Top Kaštan-1 i raketni sistem PVO namenjeni su za uništavanje aviona,

krstarećih raketa i vođenih aviobombi, i to raketama na dometima od 1000 do 10000 m i visinama od 15 do 6000 m, a topom na dometima od 500 do 4000 m i visinama od 5 do 3000 m. Podaci za nišanje obezbeđuju se pomoću trodimenzionalnog aktivnog radara Pozitiv-ME1.1, koji ima domet otkrivanja cilja od 15 do 110 km i može da prati istovremeno do 30 ciljeva.

Površinski i obalski ciljevi mogu se, takođe, uništavati pomoću topovskog i raketnog sistema Vihor-K, koji može efikasno da uništava ciljeve danju i noću, kako raketama (domet preko 10 km), tako i topom kalibra 30 mm GSh-6-30L (domet preko 4 km i verovatnoća pogadanja 0,75 do 0,9).

Brod se pogoni sa tri dizel motora od po 3533kW (4800 KS) uz obezbeđenje maksimalne brzine broda od 35 čvorova i daljine plovidbe od 2200 milja pri brzini od 14 čvorova.

Konstrukcija i arhitektura čeličnog trupa broda obuhvataju najnovija dostignuća u stelt tehnologiji, što je rezultiralo minimalnim radarskim i IC odrazom.

M. Krbavac





## tehničke novosti i zanimljivosti

### LAKA HAUBICA 155 mm XM777\*

Prvu od osam projektovanih i proizvedenih lakih vučnih haubica 155 mm XM777 predstavio je sistem BAE za potrebe KoV i mornarice SAD. Formalna predaja predviđena je za avgust tekuće godine, a ostalih sedam trebalo bi da budu isporučene krajem januara 2001. godine.

Haubica XM razvijena je prema zahtevima mornarice SAD, koja planira nabavku 470 sredstava. KoV SAD planira nabavku 273 automatizovane varijante ove haubice, ali već i sada pokreće akciju za povećanje tog broja na 388, uzimajući u obzir potrebe formiranja novih borbenih brigada.

Armije Velike Britanije i Italije su takođe planirale nabavku po 70 primeraka ovih haubica.

U poređenju sa prototipom ovaj model lake haubice ima pojednostavljeno rešenje vuče, šire ašove lafeta i pojačano sedlo, tako da klasični optički nišan ostaje usmeren pod velikim uglovima, čak i kada se haubica kreće bočno po teškim terenima.

Planirano je da se prve haubice isporuču u 2003. godini, mada proizvodni aranžmani u SAD još nisu utvrđeni.

M. K.



### VEĆI DOMET TOPOVA 130 mm M-46\*

Iran je razvio novu municiju kako bi povećao domet topova 130 mm M-46, koji su ekvivalentni kineskim topovima Type 59-1, a nalaze se na upotrebi u iranskoj armiji.

Grupa za municiju iranske odbrambene organizacije (DIO) razvila je i pustila u proizvodnju novi projektil parčadnog dejstva 130 mm, sa generatorom gasa od kompozita. Gađanjem standardnim projektilom 130 mm OF-482 i odgovarajućim punjenjem ostvarivao se maksimalni domet od 27 150 metara. Ovaj projektil ima masu 33,4 kg i sadrži 4,63 kg eksploziva (TNT), a maksimalna brzina na ustima cevi iznosi 930 m/s.

Novi projektil ima masu 35,5 kg i sadrži 3,7 kg eksploziva. Količina eksploziva je manja nego u standardnom projek-

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 8/2000.

\* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 10. maj 2000.

tilu OF-482, zbog dodatne mase generatora gasa. Novi projektil se ispaljuje kao i standardni, a kada se aktivira generator gasa moguće je ostvariti domet od 37000 metara.

Top 130 mm M-46 prvo je uveden u sovjetskoj armiji 1950. godine i mada već dugo nije u upotrebi u Rusiji, mnoge zemlje ga još uvek koriste kao pouzdano sredstvo. Može se modernizovati (konvertovati) u top 155 mm sa 39- ili 45-kalibarskom cevi radi povećanja performansi.

V. R.



## NOVI RADAR ZA AVION F-22\*

Vazduhoplovne snage SAD javno su prikazale radar AN/APG-77, firme Lokid Martin, namenjen za avion F-22. Prva upotreba na prototipu aviona bila je planirana za juli 2000.

Antena AN/APG-77 omogućava radaru elektronsko skeniranje i da „vidi na raznim mestima i u različitim vremenima gotovo istovremeno“, mada ostaje nepokretna u nosu aviona. Kompanija Boing je odgovorna za integrisanje ovog radara u avioniku aviona zajedno sa firmom Northrop Grumman koja ga je razvila.

Ova mogućnost pojavljuje se po prvi put za potrebe taktičkog lovca, iako je do sada već primenjena kod bombardera B-1B.

Mada domet radara nije obelodanjen špekuliše se podatkom da je sposoban da identifikuje ciljeve na rastojanju do 400 km. Po performansama i dometu radar bi trebalo da bude sličan radaru AN/APY-1/2, firme Northrop Grumman koji ima procenjeni domet do 480 km, a

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 12. juli 2000.

ugrađen je u sistem za upravljanje i uporenje aviona Boing E-3.

Radar AN/APG-77 predstavlja stub avionike aviona F-22. Integrisani sistem, kombinovan sa malom vidljivošću aviona i superkrstarećim svojstvima biće karakteristike budućeg najsavremenijeg lovca.

Buduća usavršavanja radara AN/APG-77 mogla bi da se odnose na uvođenje sintetičkog radara, automatskog usmeravanja na cilj i mogućnosti uočavanja ciljeva koji se kreću po zemlji.

M. K.



## KINESKI KRSTAREĆI PROJEKTILI\*

Iako nema zvaničnih potvrda pretpostavlja se da programi razvoja kineskih krstarećih projektila napreduju brže nego što se očekivalo.

Prvi nagoveštaji o postojanju kineskog programa razvoja krstarećeg projektila sa nuklearnom bojnom glavom pojavili su se u pojedinim ruskim dokumentima 1995. godine, u kojima se pominje i prebacivanje ruske proizvodne linije za izradu krstarećih projektila u fabriku pokraj Šangaja. Premda se pretpostavljalo da se u tim dokumentima radilo o projektilima H-15 (NATO oznaka AS-16 Kickback), kasniji podaci su ukazivali na projekte H-55 (NATO oznaka AS-15 Kent). Izveštaji iz 1995. godine već su govorili o prvim letnim ispitivanjima bespilotne nadzvučne letelice, što je dalo povoda za pretpostavku da se radi o krstarećem projektilu ili letećoj meti.

Prethodni kineski programi razvoja krstarećih projektila vezivani su za Akademiju elektrotehnike i mehanike Hai

\* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.



Ying, a obuhvatali su protivbrodske projekte Hai Ying-1/2 (verzija sovjetske rakete P-15/SS-N-2), Hai Ying-3 (projektil sa ramdžet pogonom) i Hai Ying-4 (projektil sa turbomlaznim pogonom). Sredinom osamdesetih godina osnovan je kineski Istraživački institut za razvoj krstarećih projektila.

Masovna upotreba krstarećih projektila u vojnim operacijama koje su preduzimale Sjedinjene Države od 1991. godine verovatno je omogućila Kini da u nekoliko navrata dođe do projektila koji su se neoštećeni prizemljili. Na taj način postali su dostupni proizvodi tehnologije bazirani na GPS/inercijalnim sistemima navigacije, zmaj projektila, turboventilatorska pogonska grupa, sistem za napajanje gorivom, kompjuterska oprema i softver. Ukoliko su ove pretpostavke tačne, kineski programi razvoja krstarećih projektila dobili su novi zamah.

Prvi program kineskog krstarećeg projektila X-600 pokrenut je još 1977. godine, a 1985. godine ispitan je mali turboventilatorski motor i ugrađen u prvi serijski projektil Hong Niao-1, dometa 600 kilometara, koji je uveden u naoružanje 1992. godine. Ovaj projektil spoljnjim izgledom podseća na ruski H-55 (dva trapezasta preklapajuća krila na srednjem delu trupa, sklopivi rep i horizontalni stabilizator na zadnjem delu trupa). Ukupna dužina projektila je 6,4 m, prečnik 520 mm, raspon krila 3 m i masa oko 1400 kg. Korisna masa od 400 kg ukazuje na mogućnost nošenja nuklearne bojne glave od 90 kt ili konvencionalne potkalibarne bojne glave. Vođenje na središnjem delu putanje obavlja se pomoću inercijalnog navigacijskog sistema sa upoređivanjem reljefa terena. U završnom delu putanje takođe se vrši upoređenje sa reljefom terena, radi konačnog navo-

đenja na tačku udara (koristi se TV kamera). Projektil leti na visini 20 m pri čemu se za određivanje visine leta koristi radio-visinomer. Procenjuje se da verovatno kružno skretanje od zadate tačke udara iznosi 5 m.

Ugradnjom novog motora povećan je domet projektila na 1500 do 2000 km. Taj projektil dobio je oznaku Hong Niao-2 i u upotrebu je uveden 1996. godine.

Sledeća etapa razvoja biće projektil Hong Niao-3 dometa 2500 km. Svi ovi projektili za sada se mogu lansirati samo sa zemaljskih lansirnih rampi uz pomoć startnih motora na čvrsto gorivo, a pripremaju se varijante za lansiranje sa brodova, podmornica (Type 093) i vazduhoplova (Shenyang JH-7, J-8 II ili J-11/Su-27).

S. V.



## **BRITANSKI ZAHTEVI ZA ARTILJERIJSKE RAKETNE SISTEME\***

Britanska agencija za snabdevanje pozvala je na nadmetanje 6 međunarodnih kompanija za pokretni artiljerijski sistem male mase (LIMAW-S), sa raketnom platformom. Sistem uključuje tri elementa: top 155 mm male mase, pokretni artiljerijski sistem (LIMAWS-R) i radar za lociranje oruđa (WLR). Osnovna karakteristika sistema jeste da se može prenositi sredstvima vazdušnog transporta.

Ovim oruđima opremiće se lake formacije snaga za brzo reagovanje. Top na sistemu biće 155 mm 39-kalibarski XM777, a izradiće ga kompanija BAE Systems.

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 23. februar 2000.

Britanski zahtevi odnose se na 65 sistema, a uvođenje u operativnu upotrebu očekuje se oko 2006. godine. Očekuje se da će u drugoj polovini 2000. godine 6 ugovarača dobiti ugovor za fazu demonstracije. Ta faza uključuje projektovanje, simulaciju, proizvodnju kao i eksperimente.

Očekuje se, takođe, da će raketa koja će ispuniti postavljene zahteve biti Polyphem, koju razvijaju Francuska, Nemačka i Italija. Ona je kompatibilna sa višecevnim raketnim sistemom (MLRS) koji se sada nalazi u upotrebi.

Zahteva se da LIMAWS-R bude prenosiv avionom C-130 Hercules, helikopterima CH-47 Chinook kao i brodovima, kao što su, na primer, Landing Craft Utility.

Armija SAD opremljena je visokopokretnim artiljerijskim raketnim sistemom (HIMARS), koji je na kamionu Stewart & Stevenson 6 x 6, sa jednim kontejnerom sa 6 raketa kalibra 227 mm za MLRS. Sa masom preko 13 tona ovaj sistem ne ispunjava zahteve koje je postavila Velika Britanija.

V. R.



## NOVI RUSKI NISKOPROFILNI TENK T-95\*

Ruski ministar odbrane maršal I. Sergejev izjavio je da je Rusija razvila radikalno novi osnovni borbeni tenk pod oznakom T-95.

Svi tehnički podaci, izgled i karakteristike konfiguracije tenka T-95 još nisu objavljeni. Međutim, predstavnici proizvođača iz Uralvagonzavoda izjavili su da

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 29. mart 2000.

tenk ima potpuno novi dizajn u odnosu na sve postojeće tenkove. Imaće masu oko 50 tona, a dužina i širina biće, verovatno, isti kao kod serije tenkova T-72, T-80 i T-90. Osnovne karakteristike tenka T-95 su njegova radikalno nova konfiguracija sa osnovnim naoružanjem smeštenim u maloj kupoli bez posade, koje se puni automatskim punjačem smeštenim ispod kupole. Sedišta za vozača, komandira i nišandžiju nalaze se u specijalnoj oklopnj kapsuli, odvojenoj oklopnom pregradom od automatskog punjača i kupole. Ovakav dizajn obezbeđuje smanjenje siluete tenka, čineći ga manje vidljivim na bojištu i povećavajući sigurnost posade. Ta konfiguracija razrešava osnovnu dilemu savremenog koncepta tenka kombinovanu sa adekvatnom zaštitom i pokretljivošću, kao i mogućnošću prenošenja.

Tenk T-95 naoružan je topom 135 mm za koji se veruje da će biti sa glatkom cevi i opremljen novim sistemom za upravljanje vatrom. Informacije o cilju obezbeđivače se preko optičkih, termalnih i IC kanala. Sistem za upravljanje vatrom uključivaće laserski daljinomer a moguće i radar.

V. R.



## POBOLJŠANJA PAKISTANSKOG TENKA TYPE 59\*

Pakistanska armija prikazala je prvi put na paradi u Islamabadu marta 2000. godine, prototip poboljšanog tenka Al Zarrar (eng. Striker – udarač) Type 59.

Tenk Type 59, kupljen od Kine, čini okosnicu oklopnih snaga Pakistana, sa

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 29. mart 2000.

procenom da ih ima 1200 na upotrebi. Tenk Type 59 bio je modernizovan u tri etape tokom poslednjih nekoliko godina. Osim poboljšanja oklopa, pokretljivosti i vatrene moći, tenk Type 59 imaće veću pouzdanost i smanjeno održavanje.

Faza I modernizacije uključuje instaliranje topa 105 mm sa ožlebljenom cevi, kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom, dvoosnostabilisani sistem za osnovno naoružanje, nišane za komandira, nišandžiju i vozača sa intenzifikacijom.

Faza II uključuje instaliranje još snažnijeg dizel motora i opreme za noćno termalno osmatranje.

Faza III uključuje instaliranje dizel motora snage 515 kW (700 KS), zamenu topa 105 mm novim topom 135 mm sa glatkom cevi, poboljšani sistem elastičnog oslanjanja, poboljšanu oklopnu zaštitu i sistem za upravljanje vatrom, novu opremu za kontrolu topa i termalni sistem osmatranja.

Povećano preživljavanje na bojištu podrazumeva ugradnju eksplozivnog reaktivnog oklopa (ERA) sa kosim pločama sa gornje i prednje strane kupole. To je rešenje slično kao i na novom pakistanskom tenku Al Khalid. Sa strane će se ugraditi 6 električnopokretanih lansera dimnih granata, a novi veći spremnik municije biće pozadi kupole.

Tri prototipa iz faze III ispituju se sa različitim podsistemima. Prvi prototip ima kineski top 120 mm, motor snage 515 kW (700 KS) i sistem za upravljanje vatrom, dok drugi ima ukrajinski motor 5TDF i top 125 mm. Detalji trećeg prototipa nisu otkriveni.

Top 125 mm sa glatkom cevi u prvom prototipu istovetan je kao na tenku Type

85-II-AP, koji je u koprodukciji proizveden u Pakistanu, kao i novi tenk Al Khalid ili tenk 2000, koji će zajedno razvijati Pakistan i Kina.

V. R.



## JORDANSKE VARIJANTE BORBENIH VOZILA\*

Jordanski biro KADDB razvio je nove serije tenkova sa poboljšanjima, namenjenim domaćem i izvoznom tržištu. Oni su prikazani na izložbi SOFEX 2000 krajem aprila 2000. godine.

KADDB je ustanovljen krajem avgusta 1999. godine kao nezavisna civilna struktura u jordanskim oružanim snagama, koja treba da konsoliduje vojna istraživanja i razvojne napore u Jordanu.

Od 1996. godine ostvarene su mnogobrojne istraživačko-razvojne aktivnosti. One uključuju prepravku oklopnih vozila i vozila za izvlačenje AB1 M47, oklopnih transportera AB2, vozila opšte namene AB3, vozila specijalne namene AB5 Land Rover i modernizaciju tenka M60A1 nazvanog AB9.

Jordanska armija ima 354 tenka M60A1/A3 u upotrebi. Tenk AB9, prvi put prikazan 1999. godine, poboljšan je i sada se označava kao AB9B1. Standardni tenk M69 ima top 105 mm sa izoliranim cevi, koji je zamenjen novim glatkocevnim topom 120 mm L50 Compact Tank Gun, koji je nabavljen iz Švajcarske korporacije SW. Novi Raytheon dnevno-noćni integrisani sistem za upravljanje vatrom, koji će se instalirati, ima IC sistem druge generacije FLIR, laserski

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 5. april 2000.

daljinomer i digitalni kompjuter. Model AB9B1, koga karakteriše laserski sistem za javljanje Avimo, ispituje se od juna 2000. godine u Jordanu.

Više od 280 bivših britanskih tenkova Challenger 1 uvedeno je u jordansku armiju, a namera je da se više od 300 poboljšanih tenkova Centurion, nazvanih Tariq, proglasi viškom. Pod projektom AB9C4 nova kompaktna kupola Falcon, biće projektovana za Tariq, na koji će se ugraditi top 120 mm Compact Tank Gun, kao i za AB9B1. Top će dobiti i automatski punjač. Komandir, vozač i nišandžija smešteni su ispod kupolnog prstena.

Falcon će karakterisati optronička oprema iz britanske kompanije Pilkington Optronics. Vozilo će, takođe, imati sistem demaskiranja Trilom, defanzivne pomoćne sisteme Helio Cerebus, itd.

Ostali tenkovi Tariq biće modernizovani u teško borbena vozila pešadije AB13, uz podršku ukrajinske fabrike Mališev. Ono će imati posadu od tri člana i prevoziće 7 opremljenih vojnika. Vozilo AB13 biće opremljeno kupolnim naoružanjem 30 mm Mališev tipa 99A: mitraljezom 7,62 mm, lanserom granata 30 mm AGS-19 i lanserom dimnih granata 81 mm.

Radi se i na drugim projektima, koji podrazumevaju: pomoćni pogon tenkova AB8; hoverkraft AB10; nosač srednje pokretljivosti AB12; termalni sistem i sistem za upravljanje vatrom AB16 MITHRAS firme Pilkington Optronics. AB 16 će se razviti kao mogući paket za modernizaciju tenka Al Khalid, za koji se očekuje da bude okosnica jordanskih oklopnih snaga.

V. R.



## PROTOTIP OKLOPNOG VOZILA PANDUR 8 × 8\*

Austrijska kompanija Steyr-Daimler-Puch razvila je novu familiju oklopnih vozila Pandur 8 × 8, koja su komplementarna sa vozilom Pandur 6 × 6. Prototip će biti spreman za ispitivanje u drugom tromesečju 2001. godine.

Potencijalni kupci, uključujući armije Poljske i SAD, informisani su o vozilu Pandur 8 × 8, koje će ispunjavati zahteve KoV SAD za oklopnim vozilom (MAV). Još pet zemalja prihvatilo je vozilo Pandur 6 × 6 i adaptiralo ga u oklopni transporter ili vozilo za podršku.

Novo vozilo Pandur 8 × 8 razvija se već nekoliko godina, a mnoge komponente zajedničke su sa verzijom 6 × 6. Verzija vozila 8 × 8 imaće maksimalnu masu od 19 tona i biće prenosiv avionom C-130 Hercules.

Telo vozila izrađeno je od zavarenog čeličnog oklopa koji obezbeđuje zaštitu od pancirnih zrna 7,62 mm. Kao opcija postoji mogućnost ugradnje većeg nivoa zaštite. Vozilo će biti otporno i na dejstvo protivtenkovskih mina koje detoniraju ispod tela vozila. Šasija može da se opremi velikim brojem različitih kupola i oružnih sistema, sve do kalibra 105 mm. Kada se koristi kao oklopni transporter, vozilo je naoružano mitraljezom i ima dva člana posade (komandir i vozač), a može da prevozi 12 potpuno opremljenih vojnika.

Vozilo Pandur 8 × 8 pokreće turbo-punjeni dizel motor hlađen tečnošću, snage 261 kW (355 KS), sa automatskom transmisijom sa 6 stepeni prenosa za kretanje napred i jednim za kretanje unazad i hidrauličkim konvertorom. Ma-

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 16. februar 2000.

ksimalna brzina kretanja po putu iznosiće 105 km/h, a operativni radijus kretanja iznosiće 900 km pri brzini od 70 km/h.

U vozilo će biti ugrađen integrisani dijagnostički sistem, koji će uključivati, pored ostalog, centralni sistem za regulaciju pritiska u pneumaticima i automatski sistem za podršku u vožnji.

Radi povećanja pokretljivosti po terenu, ogibljenje vozila Pandur 8 × 8 biće nadograđeno poluaktivnim amortizerima. Osnovno vozilo neće biti amfibijsko, ali će nakon modifikacija moći da savlađuje vodene prepreke dubine 1,5 m.

U poređenju sa vozilom Pandur 6 × 6, vozilo 8 × 8 imaće mnogo bolju zaštitu, veću unutrašnju zapreminu, veći odnos snaga/masa, veću pokretljivost, biće udobnije za vožnju i prilagodljivije za izvršenje širokog dijapazona borbenih zadataka.

V. R.



## ZGLOBNO OKLOPNO VOZILO Bv 206 S ZA FRANCUSKU ARMIJU\*

Švedska kompanija Hagglands Vehicle kompletirala je prvo zglobno oklopno vozilo (transporter) Bv 206 S za francusku armiju, za manje od 6 meseci od kada je naručeno.

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 16. februar 2000.

Pre nekoliko godina agencija za snabdevanje francuske armije dodelila je 5,87 miliona dolara švedskoj kompaniji za nabavku 12 vozila Bv 206 S. Očekuje se da će svih 12 vozila biti isporučeno u toku ove godine, i da će se najveći broj vozila dodeliti francuskom kontingentu snaga na Kosovu.

Francuska armija biće prvi značajan korisnik oklopne verzije standardnog vozila Bv 206, a biće izrađeno oko 11000 za švedsko i izvozno tržište.

Nemačka armija je 1999. godine odobrila za upotrebu vozilo Bv 206 S, a traživala je 100 vozila za opremanje svojih snaga za brzo reagovanje. Prva nemačka narudžbina, za koju se pretpostavlja da će se realizovati do kraja 2000. godine, odnosi se na 30 vozila.

Kompanija Hagglands isporučiće vozila nemačkoj kompaniji MaK, koja će ih opremiti za specijalne namene transportera, oklopnog komandnog i ambulantnog vozila. Očekuje se da će u Nemačkoj na osnovu ovog vozila biti razvijena verzija nosača minobacača 120 mm. Takođe, od Velike Britanije očekuje se narudžbina 10 vozila Bv S, koja će ispuniti zahteve mornarice Velike Britanije za zaštićenim terenskim vozilom. Prvobitni zahtev odnosio se na 127 vozila, u varijantama oklopnog transportera i komandnog vučnog vozila, ali je zbog budžetskih ograničenja zahtev smanjen na 100 vozila.

V. R.



## VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Balkanska 53

Telefoni: (011) 36-12-506 i 36-04-190, lok.: 33-190

Telefaks: (011) 36-12-506

Žiro račun: 40818-637-9-6319 ("963")

## NARUDŽBENICA

Pretplaćujemo se na časopise za 2001. godinu:

primeraka

### 1. Vojnotehnički glasnik

(stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 450,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963

.....

### 2. Novi glasnik

(vojnostručni intervidovski časopis) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 700,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 053/963

.....

### 3. Vojno delo

(opštevojni teorijski časopis) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 500,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 051/963

.....

Pretplatne cene važe do 31. 03. 2001. godine.

Broj primeraka izdanja koje se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu:  
VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate  
na žiro-račun broj **40818-637-9-6319 RC Topčider - za VIZ (sa pozivom na broj za  
svaki časopis)** i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac ..... tel.: .....

Mesto ..... Ulica ..... br. ....

Dana .....

Potpis naručioca

M.P. ....

.....

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

**REDAKCIJA**

*Tehničko uređenje*  
Branko Marković

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 55,00 dinara  
Tiraž 1200 primeraka

---

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)