

## SADRŽAJ

<b>Dr Radun Jeremić,</b> pukovnik, dipl. inž.	RAZVOJ NOVE METODE ZA PRORAČUN PRITISKA I BRZINE DETONACIJE BRIZANTNIH EKSPLOZIVA TIPA CHNO .....	5
<b>Sc Danko Jovanović,</b> pukovnik, dipl. inž.	RAD UPRAVNIH ORGANA LOGISTIČKE PODRŠKE U PRIPREMI OPERACIJE .....	13
<b>Veselin Gredić,</b> potpukovnik, dipl. inž. <b>mr Zoran Filipović,</b> pukovnik, dipl. inž.	PREDLOG TEHNOLOŠKOG UNAPREĐENJA TELEMETRIJSKOG I TEODOLITSKOG SISTEMA SA OSVRTOM NA SOFTVERSKA REŠENJA .....	23
<b>Gordana Jurin,</b> dipl. inž. <b>Milorad Pavlović,</b> dipl. inž.	ODREĐIVANJE BUKE RADI SERTIFIKACIJE MLAZNIH AVIONA .....	36
<b>Jelena Opačić,</b> dipl. inž.	PRISTUPI PROJEKTOVANJU NAPREDNIH RADIO-FREKVENCIJSKIH I FIBER-OPTIČKIH APLIKACIJA .....	51
<b>Mr Goran Šimić,</b> major	MODELOVANJE KORISNIKA U SISTEMIMA ZA UPRAVLJANJE SADRŽAJEM .....	59
<b>Sc Miroslav Stojanović,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Milan Milovanović,</b> potpukovnik, dipl. inž. <b>Aleksandar Janković,</b> dipl. inž.	REALIZACIJA RAČUNARSKE MREŽE VOJNOMEDICINSKE AKADEMIJE .....	69
<b>Dr Boban Đorović,</b> major, dipl. inž. <b>Srdan Ljubojević,</b> poručnik, dipl. inž. <b>Srdan Dimić,</b> poručnik, dipl. inž.	OPTIMIZACIJA REALIZACIJE TRANSPORTNIH PROCESA PRIMENOM RUTING-MODELA .....	76
<b>Mr Radosav Nikolić,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>mr Živojin Petrović,</b> kapetan I klase, dipl. inž. <b>mr Dragan Trifković,</b> kapetan I klase, dipl. inž.	IZVORI ŠUMOVA NA BRODOVIMA I PUTEVI NJIHOVOG RASPROSTIRANJA UNUTAR BRODSKIH KONSTRUKCIJA .....	86

---

**SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA**

---

Novi samohodni artiljerijski sistem – M. K. ....	94
Nove ruske rakete Bulava – M. K. ....	95
Modularni artiljerijski sistem 155 mm ATMOS – M. K. ....	95
Laki minobacački sistem ADAMS – M. K. . ....	97
Pokretni sistem PVO Poprad – M. K. . ....	97
Veće mogućnosti PVO borbenih vozila – M. K. ....	98
Vatrena ispitivanja municije STAR – M. K. ....	101
Zrna sa smanjenim rikošetom – M. K. ....	102
Inteligentna submunicija – M. K. ....	103
Nesmrtonosna tenkovska municija – M. K. ....	104
Savremeni nišani – M. K. ....	105
Centauro – točkaš sa vatrenom moći tenka – M. K. ....	106
Modernizovano poljsko borbeno vozilo Puma – M. K. ....	108
Vazdušnodesantno vozilo BMD-4 – M. K. ....	109
Novi borbeni tenk XK-2 – M. K. ....	110
Poboljšano vozilo Iguana FV4 4×4 – M. K. ....	110
Sistem za zaštitu vozila LEDS – M. K. ....	111
Avionske bombe za duboko ukopane ciljeve – M. K. ....	112
Program oružja usmerene energije za mornaricu SAD – M. K. ....	113
Poboljšanja na borbenom avionu A-10 – M. K. ....	114
Bespilotna letelica Bateleur – M. K. . ....	115
Tehnologija tečnih gorivnih ćelija za kompjutere – M. K. ....	115
Crna kutija za lake avione – M. K. ....	116

**Dr Radun Jeremić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## **RAZVOJ NOVE METODE ZA PRORAČUN PRITISKA I BRZINE DETONACIJE BRIZANTNIH EKSPLOZIVA TIPRA CHNO**

UDC: 662.215.1 : 519.673

### *Rezime:*

*Na osnovu eksperimentalnih vrednosti detonacionih parametara većeg broja eksploziva i različitih eksplozivnih sastava, a u skladu sa teorijom detonacije, razvijen je jednostavan poluempirijski model za proračun pritiska i brzine detonacije eksploziva tipa CHNO. Model je zasnovan na Avakjanovoj metodi za proračun sastava gasovitih produkata detonacije i primenljiv je u širokom opsegu gustina. U odnosu na poznatu Kamletovu metodu i numerički model zasnovan na BKW jednačini stanja, dobijena su znatno manja odstupanja izračunatih vrednosti pritiska i brzine detonacije od eksperimentalnih vrednosti.*

*Ključne reči: modeliranje detonacije, brzina detonacije, pritisak detonacije, CHNO eksplozivi.*

---

### **DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR CALCULATING DETONATION PRESSURE AND VELOCITY IN CHNO BLAST EXPLOSIVES**

#### *Summary:*

*A simple semi-empirical model for calculating detonation pressure and velocity in CHNO explosives has been developed on the basis of experimental values of detonation parameters of a number of explosives and various explosive compositions and in accordance with the theory of detonation. The model is based on Avacian's method for calculating the content of gaseous detonation products and it can be applied to a wide range of densities. When compared to the well-known Komlet's method and the numerical model based on the BKW equation of state, this method gives significantly smaller deviations of calculated values of detonation pressure and density from experimental values.*

*Key words: detonation modeling, detonation velocity, detonation pressure, CHNO explosives.*

---

### **Uvod**

Mogućnost pouzdanog predviđanja detonacionih karakteristika znatno ubrzava i pojednostavljuje proces osvajanja novih eksploziva i različitih eksplozivnih sastava. U rešavanju ovog problema zastupljena su dva pristupa. Prvi se zasniva na numeričkom modeliranju procesa detonacije, a drugi na mnogo jednostavnijim empirijskim i poluempirijskim modelima.

Laboratorije razvijenih zemalja, posebno SAD, razvile su prve kompjuterske programe za numeričko modeliranje detonacije još pre 40 godina. Poslednjih godina rade na usavršavanju modela za numeričko modeliranje nestacionarne detonacije.

Mader i saradnici, iz istraživačke laboratorije Los Alamos, godine 1961. razvili su program za proračun detonacionih parametara pod nazivom STRETCH

BKW [1, 2], koji se odlikovao velikom brzinom rada i davanjem zadovoljavajućih rezultata uz korišćenje samo jednog niza konstanti u BKW jednačini stanja, za sve eksplozivne materije. Razrađene su i druge varijante programa koji koriste BKW jednačinu stanja. Tako su npr., Cheret i saradnici izradili programe pod nazivima ARPAGE i LA MINEUR [1, 2]. Cowperthwaite i saradnici izradili su program TIGAR [3] koji se zasniva na JCZ jednačini stanja. Mader je 1967. godine izradio program pod nazivom FORTRAN BKW koji je veoma zastupljen u istraživačkim institucijama mnogih zemalja, a koji je do danas više puta usavršavan i prilagođavan savremenim softverskim paketima [1, 2].

Kod nas nema značajnijih radova iz ove oblasti. Jedan od retkih modela bio je program EXPLO5 [4], koji je imao problem konvergencije rešenja za neke eksplozivne sastave i sastave za male gustine (ispod 1 g/cm<sup>3</sup>). Ovi nedostaci otklonjeni su programom PASCAL BKW na čijem usavršavanju se i dalje radi [5]. Međutim, zbog svoje složenosti, numerički modeli nisu pogodni za inženjerske potrebe zbog čega su razvijene različite poluempirijske metode koje su jednostavnije za praktičnu upotrebu. Jedna od najpoznatijih je Kamletova metoda koja daje zadovoljavajuće rezultate za eksplozive tipa CHNO, čije su gustine veće od 1 g/cm<sup>3</sup> [6].

U ovom radu prikazana je nova jednostavna poluempirijska metoda za predviđanje detonacionih parametara eksploziva tipa CHNO koja daje znatno manja odstupanja od eksperimentalnih vrednosti u odnosu na Kamletovu metodu.

## Teorijske osnove modela

Iz hidrodinamičke teorije detonacije poznate su sledeće jednačine koje povezuju pritisak detonacije (u C-J tački),  $p$ , brzinu detonacije,  $D$ , gustinu eksploziva,  $\rho_0$ , i toplotu detonacije,  $Q$ :

$$D = \sqrt{2(\gamma^2 - 1)Q} \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{\rho_0} \sqrt{\frac{p}{\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_{CJ}}}} \quad (2)$$

$$p = \frac{1}{\gamma + 1} \rho_0 D^2 \quad (3)$$

$$\frac{\rho_{CJ}}{\rho_0} = \frac{\gamma + 1}{\gamma} \quad (4)$$

gde je  $\gamma$  – eksponent politrope.

Uvrštavanjem jednačine (1) u jednačinu (3) dobija se:

$$p = \frac{2(\gamma^2 - 1)}{\gamma + 1} \rho_0 Q \quad (5)$$

Uzevši u obzir činjenicu da eksperimentalni rezultati pokazuju da je eksponent politrope proporcionalan gustini eksploziva [1, 2], te da na osnovu jednačine stanja gasova sledi da je pritisak proporcionalan broju molova gasovitih produkata detonacije,  $n$ , izraz (5) može se u opštem obliku prikazati na sledeći način:

$$p = A \rho_0^x n Q$$

gde su  $A$  i  $x$  – empirijske konstante.

Na analogan način, uvrštavanjem ovog izraza u jednačinu (2) i uzevši u obzir jednačinu (4), može se doći do sledećeg izraza za proračun brzine detonacije:

$$D = B \rho_0^y \sqrt{nQ} \quad (6)$$

gde su  $B$  i  $y$  – empirijske konstante.

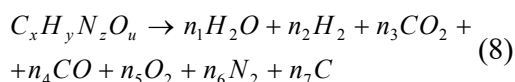
Empirijske konstante u (5) i (6) određuju se regresionom analizom eksperimentalnih podataka zavisnosti pritiska i brzine detonacije od gustine eksploziva.

Broj molova gasovitih produkata detonacije,  $n$ , može se izračunati pomoću jednostavne Avakjanove metode [8]. Prema Avakjanovim eksperimentalnim podacima ustanovljeno je da je koeficijent realizacije ( $K$ ) povezan sa koeficijentom kiseonika ( $K_k$ ) preko sledeće relacije:

$$K = 0,32 K_k^{0,24} \quad (7)$$

Pri tome se koeficijent kiseonika izražava u procentima.

Ako se zanemari prisustvo amonijaka u produktima detonacije, reakcija eksplozivnog razlaganja može se napisati u sledećem obliku:



Pri proračunu sastava polazi se od pretpostavke da koeficijent  $K$  označava stepen oksidacije vodonika do vode. Drugim rečima, pretpostavlja se da se iz maksimalnog broja molova  $y/2$ , u uslovi- ma eksplozije, dobija  $K \cdot y/2$  molova vo- de, a  $(1-K) \cdot y/2$  molova ostaje u obliku  $H_2$ . U tom slučaju je:

$$n_1 = K \cdot y/2, \text{ a } n_2 = (1-K) \cdot y/2.$$

Broj molova azota biće:

$$n_6 = z/2$$

Da bi se odredio broj molova ostalih produkata detonacije potrebno je da se zajedno reše jednačine materijalnog i energetskog bilansa. Pri sastavljanju tih jednačina neophodno je uzeti u obzir odnos kiseonika, ugljenika i vodonika u molekulu eksplozivne materije. U zavisnosti od tog odnosa mogu se izdvojiti tri slučaja.

1. slučaj:  $K_k > 100\%$ . Pretpostavlja se da slobodnog ugljenika nema u konačnim produktima, tj.  $n_7 = 0$ .

Za proračun  $n_3$ ,  $n_4$  i  $n_5$  koriste se sledeće relacije:

$$n_3 = (1,4K - 0,4)x$$

$$n_4 = x - n_3 = 1,4x(1-K)$$

$$n_5 = (x - 2n_3 - n_4 - n_1)/2$$

2. slučaj:  $K_k < 100\%$ . Pretpostavlja se da u sastavu produkata eksplozije nema kiseonika, tj.  $n_5 = 0$ . Ostale nepoznate izračunavaju se pomoću sledećih jednačina:

$$n_3 = 1,16u(K - 0,568) - 0,5n_1$$

$$n_4 = u - (2n_3 + n_1) = u [1 - 2,32(K - 0,568)]$$

$$n_7 = x - (n_3 + n_4)$$

3. slučaj:  $K_k < 100$ , ali je  $O > (C + H/2)$ . Formule za proračun sastava imaju sledeći oblik:

$$n_3 = 0,7(u - y/2)K - 0,4x$$

$$n_4 = 1,4x - 0,7(u - y/2)K$$

Na osnovu ovako određenog sastava produkata detonacije može se izračunati njihova sumarna toplota obrazovanja i toplota eksplozije pomoću Hesovog zakona na osnovu izraza:

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta U_{f_i^{prod}}^0 - \sum_{j=1}^m \Delta U_{f_j^{EM}}^0 \quad (9)$$

gde  $i = 1, n$  predstavlja broj produkata detonacije, a  $j = 1, m$  – broj komponenata koje ulaze u sastav eksplozivne materije.

Podaci o toplotama formiranja eksploziva i produkata detonacije mogu se naći u termohemijskim tabelama. Treba naglasiti da Avakjanova metoda daje sastav konačnih produkata detonacije, posle njihovog širenja i hlađenja.

### Provera primenljivosti modela

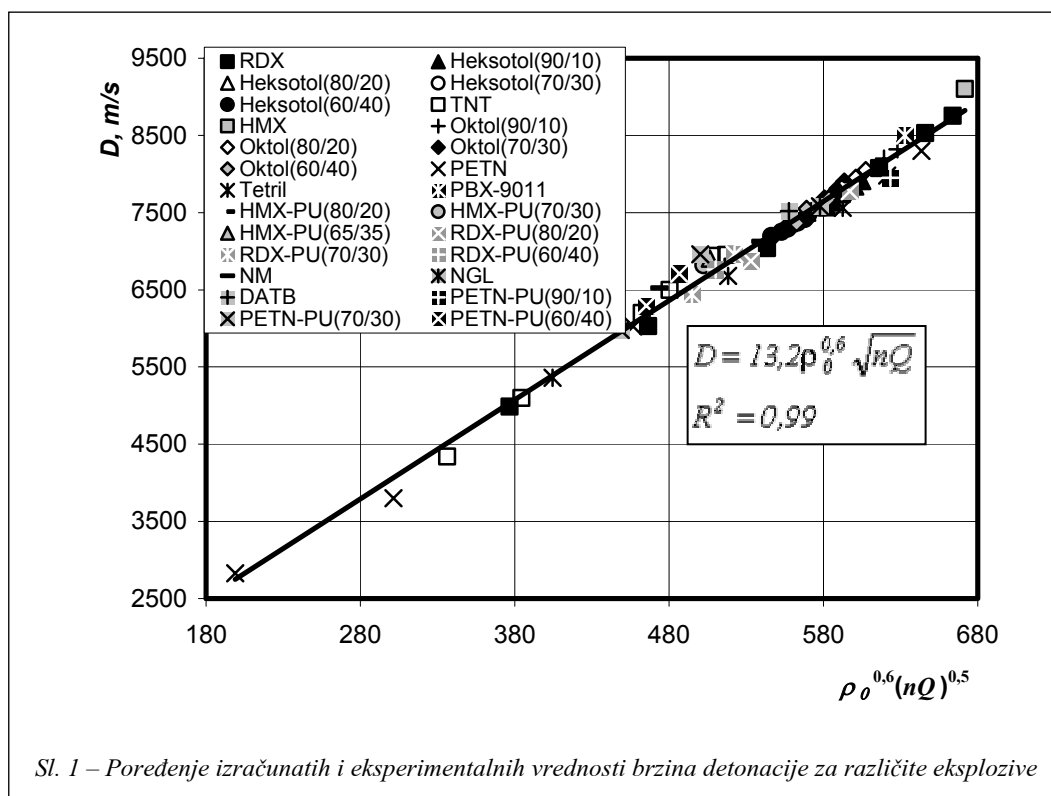
Testiranje primenljivosti i ocena pouzdanosti izvedenog modela za proračun

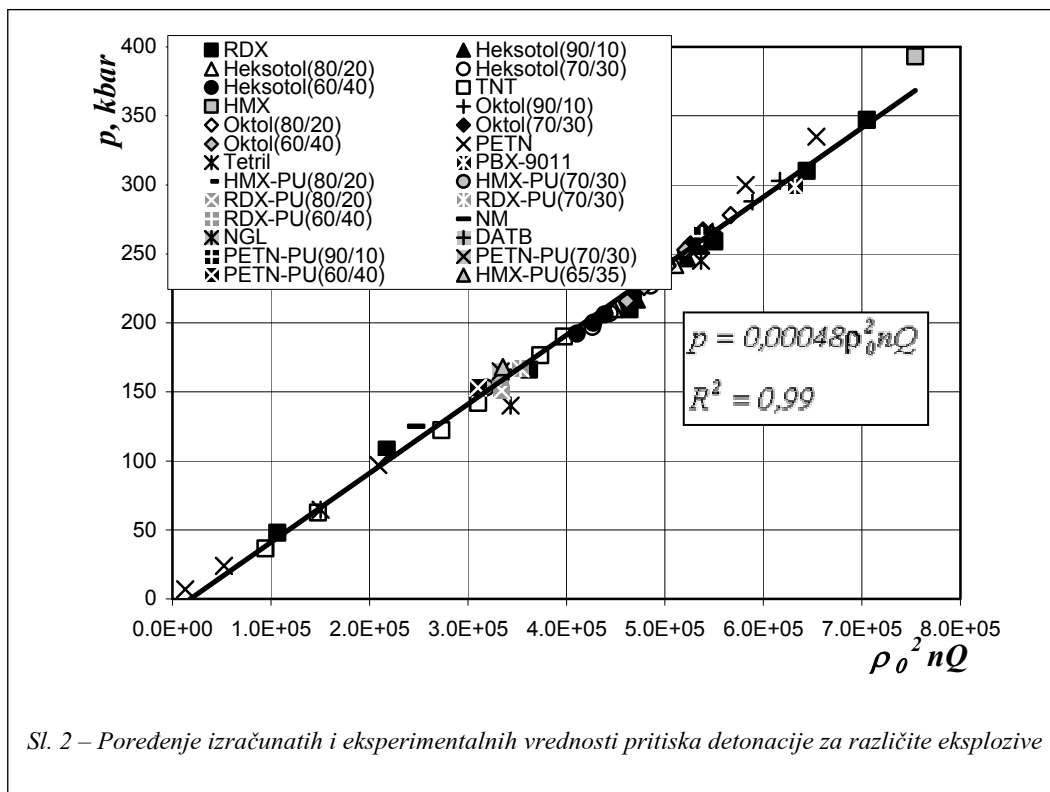
detonacionih parametara izvršena je na 72 eksplozivna sastava (25 eksploziva i eksplozivnih smeša različitih gustina) za koje se raspolagalo eksperimentalnim vrednostima pritiska i brzine detonacije (tabela 1). Za navedene eksplozivne sastave najpre su pomoću Avakjanove metode izračunati brojevi molova gasovitih produkata detonacije i toplote eksplozivnog pretvaranja.

Regresionom analizom rezultata određene su vrednosti empirijskih konstanti u izrazima (5) i (6) (slike 1 i 2) koji u eksplicitnom obliku glase:

$$p = 0,00048 \rho_0^2 nQ, \text{ kbar} \quad (10)$$

$$D = 13,2 \rho_0^{0,6} \sqrt{nQ}, \text{ m/s} \quad (11)$$





Sl. 2 – Poređenje izračunatih i eksperimentalnih vrednosti pritiska detonacije za različite eksplozive

gde je gustina,  $\rho_0$ , u  $\text{g/cm}^3$ , broj molova gasovitih produkata,  $n$ , po 1 kg EM, a toplota eksplozije,  $Q$ , u kJ/kg.

Visoke vrednosti koeficijenta korelacije ( $R^2 = 0,99$ ) za 72 testirana sastava potvrđuju primenljivost predloženog modela za proračun teorijskih vrednosti detonacionih parametara.

U tabeli 1 dat je i uporedni prikaz prosečnih odstupanja izračunatih vrednosti detonacionih parametara dobijenih različitim metodama u odnosu na eksperimentalne vrednosti.

Prema novom modelu dobijeno je prosečno odstupanje vrednosti pritiska detonacije od 3,7% i brzine detonacije od 1,4%, što je približno duplo manje u odnosu na odstupanja po Kamletovoj

metodi. Odstupanje je manje i u odnosu na rezultate numeričkog modela koji koristi BKW jednačinu stanja za opisivanje ponašanja gasovitih produkata detonacije. Pored toga, za razliku od Kamletove metode, model je primenljiv za bilo koju gustinu eksploziva.

Primenljivost modela dodatno je testirana sa nekoliko različitih eksplozivnih sastava (tabela 2). Odstupanja eksperimentalnih i izračunatih vrednosti su mala i nalaze se u granicama eksperimentalne greške. Treba naglasiti da se podaci iz literature o eksperimentalnim vrednostima pritiska detonacije prilično razlikuju, jer se njegova vrednost teško pouzdano meri.

Tabela 1

Poređenje vrednosti detonacionih parametara dobijenih različitim metodama

Red. br.	Eksploziv	$\rho_{0,3}$ g/cm <sup>3</sup>	Eksperiment		BKW		Kamlet		Model		Greška BKW		Greška Kamlet		Greška modela	
			<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	$\Delta p$ , %	$\Delta D$ , %	$\Delta p$ , %	$\Delta D$ , %
1.	Heksogen <sup>a,b</sup>	0,7	59,9	4989	60	5222	51,7	5026	50,8	4968	25,3	4,7	13,6	0,7	15,1	0,4
2.		1,0	108,0	6030	104	6044	105,6	6052	103,7	6159	3,3	0,2	2,2	0,4	3,9	2,1
3.		1,29	166,2	7036	168	6922	175,7	7044	172,6	7175	0,8	1,6	5,7	0,1	3,9	2,0
4.		1,46	209,8	7626	215	7491	225,1	7626	221,1	7729	2,6	1,8	7,3	0,0	5,4	1,3
5.		1,59	259,0	8077	263	7962	267,0	8071	262,3	8134	1,5	1,4	3,1	0,1	1,3	0,7
6.		1,72	310,0	8528	311	8467	312,4	8515	306,9	8527	0,3	0,7	0,8	0,1	1,0	0,0
7.		1,8	347,0	8754	339	8795	342,2	8789	336,1	8763	2,3	0,5	1,4	0,4	3,1	0,1
8.	Oktogen <sup>a</sup>	1,9	393,0	9100	391	9288	380,5	9123	359,3	8867	0,5	2,1	3,2	0,2	7,9	2,6
9.	TNT <sup>a,b</sup>	0,8	36,4	4340	55	4806	48,6	4551	45,1	4438	51,4	10,7	33,4	4,9	24,7	2,3
10.		1,0	62,5	5100	81	5319	75,9	5131	70,4	5074	29,3	4,3	21,4	0,6	13,5	0,5
11.		1,36	122,2	6200	146	6310	140,4	6175	130,2	6102	19,5	1,8	14,9	0,4	7,3	1,6
12.		1,45	142,0	6500	166	6576	159,6	6436	148,0	6341	16,9	1,2	12,4	1,0	5,0	2,4
13.		1,59	176,5	6940	198	7010	191,9	6842	178,0	6702	12,2	1,0	8,7	1,4	1,6	3,4
14.		1,64	190,0	6950	215	7169	204,1	6987	189,4	6827	13,2	3,2	7,4	0,5	0,4	1,8
15.	Pentrit <sup>a</sup>	0,25	7,0	2830	11	3414	6,6	3493	6,2	2625	50,0	20,6	5,4	23,4	10,6	7,3
16.		0,5	24,0	3800	30	4692	26,5	4349	24,9	3978	26,3	23,5	10,4	14,5	4,3	4,7
17.		1,0	97,0	6025	107	6026	106,0	6063	99,4	6030	10,3	0,0	9,2	0,6	3,3	0,1
18.		1,67	300,0	7980	279	8050	295,5	8358	277,3	8203	7,0	0,9	1,5	4,7	6,9	2,8
19.		1,77	335,0	8300	318	8424	332,0	8701	311,6	8494	5,1	1,5	0,9	4,8	6,3	2,3
20.	Tetrit <sup>b</sup>	0,9	64,6	5360	76	5316	71,0	5203	71,7	5340	16,9	0,8	9,9	2,9	11,8	0,4
21.		1,36	140,0	6680	160	6616	162,2	6637	163,7	6841	14,3	1,0	15,8	0,6	17,8	2,4
22.		1,7	245,0	7560	253	7750	247,5	7634	249,8	7766	3,3	2,5	1,0	1,0	2,7	2,7
23.	NM <sup>a</sup>	1,13	125,0	6523	138	6590	130,2	6383	118,0	6255	10,4	1,0	4,1	2,1	4,9	4,1
24.	NGL <sup>a</sup>	1,59	246,0	7580	245	7641	281,6	8289	230,6	7627	0,4	0,8	14,5	9,3	5,6	0,6
25.	DATB <sup>a</sup>	1,79	259,0	7520	239	7637	253,3	7574	236,2	7362	7,7	1,6	2,2	0,7	8,2	2,1
26.	Heksotol 90/10 <sup>c</sup>	1,51	217,0	7570	230	7599	234,1	7687	224,7	7686	6,0	0,4	7,9	1,5	4,3	1,5
27.		1,55	231,0	7740	240	7744	245,5	7805	236,7	7808	3,9	0,1	6,3	0,8	3,2	0,9
28.		1,59	247,0	7840	251	7892	243,6	7709	249,1	7928	1,6	0,7	1,4	1,7	1,6	1,1
29.		1,61	256,0	7910	264	7967	242,3	7657	255,4	7987	3,1	0,7	5,3	3,2	0,5	1,0
30.	Heksotol 80/20 <sup>c</sup>	1,5	210,0	7500	223	7494	223,7	7532	213,7	7517	6,2	0,1	6,5	0,4	2,5	0,2
31.		1,53	222,0	7570	231	7601	232,7	7632	222,4	7607	4,1	0,4	4,8	0,8	0,9	0,5
32.		1,56	231,0	7675	238	7709	242,0	7731	231,2	7696	3,0	0,4	4,7	0,7	0,8	0,3
33.		1,6	242,0	7745	256	7858	254,5	7864	243,2	7813	5,8	1,5	5,2	1,5	1,2	0,9
34.		1,49	197,0	7290	210	7386	213,9	7382	203,3	7350	6,6	1,3	8,6	1,3	3,9	0,8
35.	Heksotol 70/30 <sup>c</sup>	1,52	207,0	7370	224	7492	222,6	7480	211,5	7438	8,2	1,7	7,5	1,5	2,9	0,9
36.		1,55	216,0	7460	231	7600	231,5	7578	220,0	7526	6,9	1,9	7,2	1,6	2,6	0,9
37.		1,59	227,0	7580	242	7747	243,6	7709	231,4	7642	6,6	2,2	7,3	1,7	2,7	0,8



Red. br.	Eksploziv	$\rho_0$ , g/cm <sup>3</sup>	Eksperiment		BKW		Kamlet		Model		Greška BKW		Greška Kamlet		Greška modela	
			<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	<i>p</i> , kbar	<i>D</i> , m/s	$\Delta p$ , %	$\Delta D$ , %	$\Delta p$ , %	$\Delta D$ , %
38.	Heksotol 60/40 <sup>e</sup>	1,49	192,0	7195	206	7312	207,5	7271	195,7	7212	7,3	1,6	8,1	1,1	2,7	0,2
39.		1,52	200,0	7250	213	7420	216,0	7368	203,6	7298	6,5	2,3	8,0	1,6	2,6	0,7
40.		1,54	206,0	7300	224	7490	221,7	7432	209,0	7356	8,7	2,6	7,6	1,8	2,2	0,8
41.		1,59	219,0	7415	237	7675	236,3	7593	222,8	7498	8,2	3,5	7,9	2,4	2,5	1,1
42.	Oktol 90/10 <sup>e</sup>	1,6	247,0	7850	263	7967	262,4	7984	245,7	7854	6,5	1,5	6,2	1,7	0,2	0,1
43.		1,65	266,0	8000	278	8157	279,0	8153	261,3	8001	4,5	2,0	4,9	1,9	1,0	0,0
44.		1,71	288,0	8200	305	8390	299,7	8355	280,7	8174	5,9	2,3	4,1	1,9	1,8	0,3
45.		1,75	303,0	8320	318	8550	313,9	8490	294,0	8288	5,0	2,8	3,6	2,0	2,3	0,4
46.	Oktol 80/20 <sup>e</sup>	1,61	242,0	7730	261	7928	257,3	7891	239,4	7733	7,9	2,6	6,3	2,1	0,4	0,0
47.		1,64	251,0	7820	270	8042	267,0	7991	248,4	7819	7,6	2,8	6,4	2,2	0,3	0,0
48.		1,68	265,0	7950	282	8197	280,2	8123	260,7	7933	6,4	3,1	5,7	2,2	0,9	0,2
49.		1,71	278,0	8050	299	8314	290,3	8223	270,1	8018	7,6	3,3	4,4	2,1	2,1	0,4
50.	Oktol 70/30 <sup>e</sup>	1,6	227,0	7520	247	7815	246,5	7738	227,3	7554	8,8	3,9	8,6	2,9	0,9	0,5
51.		1,64	243,0	7680	265	7965	258,9	7869	238,8	7667	9,1	3,7	6,6	2,5	1,0	0,2
52.		1,68	257,0	7810	277	8119	271,7	7999	250,6	7778	7,8	4,0	5,7	2,4	1,8	0,4
53.		1,7	267,0	7900	283	8197	278,2	8065	256,6	7834	6,0	3,8	4,2	2,1	3,2	0,8
54.	Oktol 60/40 <sup>e</sup>	1,6	216,0	7360	242	7737	239,0	7621	219,8	7428	12,0	5,1	10,7	3,5	2,5	0,9
55.		1,63	226,0	7550	257	7850	248,1	7717	228,1	7512	13,7	4,0	9,8	2,2	1,7	0,5
56.		1,67	241,0	7590	268	8000	260,4	7846	239,5	7622	11,2	5,4	8,1	3,4	0,1	0,4
57.		1,7	253,0	7680	278	8118	269,8	7942	248,1	7704	9,9	5,7	6,7	3,4	1,2	0,3
58.	PBX-9011 <sup>d</sup>	1,77	299,0	8500	331	7700	301,9	8297	301,2	8352	10,7	9,4	1,0	2,4	1,5	1,7
59.	HMX/PU 80/20 <sup>e</sup>	1,35	165,0	6880	175	7026	165,0	6712	161,9	6823	6,1	2,1	0,0	2,4	1,2	0,8
60.		1,43	188,0	7126	193	7335	185,1	6966	181,6	7063	2,7	2,9	1,5	2,3	2,7	0,9
61.	HMX/PU 70/30 <sup>e</sup>	1,33	153,0	6818	164	6920	149,4	6423	151,8	6647	7,2	1,5	2,3	5,8	0,1	2,5
62.	HMX/PU 65/35 <sup>e</sup>	1,39	168,0	6906	182	6831	156,4	6466	159,8	6701	8,3	1,1	6,9	6,4	4,2	3,0
63.	RDX/PU 80/20 <sup>e</sup>	1,3	151,0	6870	157	6802	154,2	6579	159,2	6870	4,1	1,0	2,1	4,2	6,2	0,0
64.		1,57	234,0	7778	242	7870	224,9	7438	232,3	7694	3,4	1,2	3,9	4,4	0,0	1,1
65.	RDX/PU 70/30 <sup>e</sup>	1,26	136,0	6441	143	6612	131,5	6146	140,4	6531	5,1	2,7	3,3	4,6	4,0	1,4
66.		1,38	167,0	7339	173	7090	157,7	6510	168,4	6898	3,6	3,4	5,6	11,3	1,5	6,0
67.	RDX/PU 60/40 <sup>e</sup>	1,36	161,0	6765	172	7201	139,5	6156	158,7	6736	6,8	6,4	13,3	9,0	0,7	0,4
68.	PETN/PU90/ 10 <sup>e</sup>	1,65	263,0	7950	269	8027	268,5	7997	256,1	7920	2,3	1,0	2,1	0,6	1,9	0,4
69.	PETN/PU70/ 30 <sup>e</sup>	1,16	115,0	6218	119	6110	117,4	5999	110,6	5994	3,5	1,7	2,1	3,5	3,1	3,6
70.		1,39	165,0	6957	174	6870	168,6	6714	158,9	6681	5,5	1,3	2,2	3,5	3,0	4,0
71.	PETN/PU60/ 40 <sup>e</sup>	1,28	129,0	6294	140	6428	128,1	6032	127,1	6177	8,5	2,1	0,7	4,2	0,7	1,9
72.		1,38	153,0	6708	164	6787	148,9	6326	147,8	6462	7,2	1,2	2,7	5,7	2,7	3,7
PROSEČNO ODSTUPANJE, %											8,9	2,9	6,5	2,9	3,7	1,4

a) Referenca [2]; b) Referenca [8]; c) Referenca [9]; d) Referenca [10]; e) Referenca [4]

Tabela 2

Rezultati testiranja modela na nekoliko eksplozivnih sastava

Red. br.	Eksploziv	$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	$p$ , kbar			$D$ , m/s		
			Eksper.	Model	Greška, %	Eksper.	Model	Greška, %
1.	HMX	$\rho=1,77$	323	327	1,2	8500	8668	2,0
2.	DATB	$\rho=1,21$		109		5880	5820	1,0
3.	RDX/TNT (60/40)	$\rho=1,05$		97,9		5904	5847	1,1
		$\rho=1,67$	264	248	6,1			
4.	PETN/TNT(50/50)	$\rho=1,68$	245	236	3,7	7662	7517	1,9
5.		$\rho=1,28$		137		6400	6390	0,1
6.	RDX/TNT (75/25)	$\rho=1,76$		293		8300	8219	1,0
		$\rho=1,65$	276	258	6,5			
7.	DB barut balistiti	$\rho=1,58$	199	204	2,5	710	7082	1,0

Napomena: podaci na red. br. 1–5 su prema ref. [10], a na red. br. 7 prema ref. [8]

### Zaključak

U radu je predstavljen nov jednostavan poluempirijski model za predviđanje vrednosti pritiska i brzine detonacije eksploziva tipa CHNO koji ima teorijsku osnovu, a za proračun sastava gasovitih produkata detonacije koristi Avakjanovu metodu. Slaganje eksperimentalnih i izračunatih vrednosti detonacionih parametara u širokom intervalu gustina eksploziva je dobro i nalazi se u granicama greške eksperimentalnih merenja. Dobijeno prosečno odstupanje rezultata je približno duplo manje u odnosu na rezultate Kamletove metode, što potvrđuje ispravnost modela. Model je potvrđen i dodatnim testiranjem sa nekoliko različitih eksploziva.

### Literatura:

- [1] Mader, C. L.: Numerical modeling of detonations, University of California Press, Los Angeles, 1979.
- [2] Mader, C. L.: Numerical modeling of Explosives and Propellants, CRC Press, New York, 1998.
- [3] Hobbs, M. L. i dr.: Extension of the JCZ Product Species Data Base, 11. internacionalni simpozijum o detonaciji, Snowmass, Colorado, 1998.
- [4] Sućeska, M.: Reološka i detonaciona svojstva livenih kompozitnih eksploziva sa polimernim vezivom, doktorska disertacija, VVTS, Zagreb, 1991.
- [5] Jeremić, R.: Numeričko modeliranje detonacije, VTG, 2, 2002.
- [6] Kamlet, M. J.; Jacobs, S.: Chemistry of Detonation. I A Simple Method for Calculating Detonation Properties of CHNO Explosives, J. Chem. Phys., 48, 1, 1968.
- [7] Dimitrijević, R.: Ponašanje malodimnih baruta u uslovima detonacije, Magistarski rad, VTA VJ, Beograd, 1996.
- [8] Baum, F. A. i dr.: Fizika vzriva, Nauka, Moskva, 1975.
- [9] Azdejković, M.: Korelacije između fizičko-hemijskih i detonacionih parametara granuliranih eksplozivnih smeša heksotola i oktola, specijalistički rad, TVA KoV JNA, Zagreb, 1983.
- [10] Dobratz, B. B.: LLNL Explosives Handbook, Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants, UCRL-52997, Lawrence Livermore National Laboratory, 198



Sc Danko Jovanović,  
pukovnik, dipl. inž.  
VP 5055, Beograd

## RAD UPRAVNIH ORGANA LOGISTIČKE PODRŠKE U PRIPREMI OPERACIJE\*

UDC: 355.133.4 : 355.41 : 355.42/.43

### Rezime:

*U radu su navedeni osnovni zadaci komande operativnog nivoa, kao i organa logističke podrške u pripremi operacije. Istaknut je značaj procene situacije, poznavanje snaga neprijatelja, mogući uticaj dejstva neprijatelja na sopstvene snage, snage za logističku podršku i infrastrukturu. Prikazan je praktičan podsetnik za rad, sa proračunom vremena za podnošenje predloga, pri sektorskom metodu rada komande korpusa.*

*Ključne reči: operacija, procena situacije, odluka, zapovest, plan, gotovost.*

---

## FUNCTIONING OF LOGISTIC SUPPORT MANAGEMENT BODIES IN OPERATION PLANNING

### Summary:

*The study presents basic tasks of a command at the operating level and logistic support bodies in operation planning. It stresses out the importance of estimating a situation, gathering information on enemy forces and possible effects on one's own forces, supply support and infrastructure. It also contains a useful memo with a help in calculating time needed for submitting proposals and intended for planning sector work at the corps command level.*

*Key words: operation, estimation of a situation, decision, order, plan, readiness.*

---

### Uvod

Uspešnost rada vojnih komandi zavisi, u velikoj meri, i od uspostavljene organizacije rada na komandnom mestu. Komandno mesto može biti na svakodnevnoj lokaciji (mirnodopskoj) ili na posebno uređenom prostoru za rad. Prema nameni komandno mesto može biti [10]:

– osnovno (OKM) – sastoji se od komandne grupe, pomoćne grupe i centra veze, a organizuju ga komande svih nivoa. Na njemu se obavljaju aktivnosti rukovođenja i komandovanja potčinjenim jedinicama u toku priprema i izvođenja

borbenih dejstava. OKM se razmešta na težištu borbenih dejstava, na prostoru koji obezbeđuje potrebne uslove za rad i adekvatnu zaštitu ljudstva i sredstava;

– logističko (LoKM) – sastoji se od operativno-logističke grupe, opšte grupe, pomoćne grupe i centra veze, a organizuju ga komande združenih taktičkih jedinica i viši sastavi. Na LoKM se razmešta deo komande koji je namenjen za realizaciju logističke podrške, a ono može da preuzme ulogu osnovnog komandnog mesta u određenim uslovima, zbog čega se ojačava odgovarajućim kadrovima. Načelno razmešta se u rejonu rasporeda logističkih jedinica;

– rezervno (RKM) – uređuju i po potrebi posedaju jedinice višeg ranga,

---

\* Rad je saopšten na simpozijumu „Teorijski i praktični aspekti savremenih operacija“ 20. aprila 2004. u Beogradu.

kada za to postoji potreba. Ono mora da obezbedi sve neophodne uslove kao i OKM;

– istureno (IKM) – organizuje se u uslovima kada je otežano komandovanje sa OKM, i kada je potrebno da se ispolji jači uticaj na tok borbenih dejstava. IKM može biti i na KM (osmatračnici) potčinjene jedinice ili u njegovoj blizini;

– objedinjeno (ObKM) – uređuje se i formira kada je potrebno organizovati rad različitih komandi ili njihovih predstavnika na jednom mestu (KoV, RV, RM, MUP,...);

– lažno (LKM) – organizuje se u sklopu operativnog maskiranja.

Za sve vrste komandnih mesta predviđa se i planira naredni rejon razmeštaja.

Osnovni uslov za uspešnu realizaciju zadataka je dobro osmišljena i postavljena organizacija rada komandi i njenih sastava. Zbog toga je potrebno stalno preduzimati neophodne mere za iznalaženje najboljeg oblika rada svake celine. Svaki deo komande mora usmeriti svu svoju energiju na realizaciju osnovnog zadatka koji je nametnut komandi kao celini. Osnovni elementi organizacije rada svake komande su ciljevi i zadaci postavljeni pred ljudstvo koje sačinjava komandu, sredstva, prostor i vreme za koje treba realizovati postavljene zadatke.

Ciljevi su definisane vrednosti koje treba sačuvati ili postići, i u tom smislu mogu biti opšti i posebni. Zadaci su planirane i normativno regulisane aktivnosti kojima se ostvaruju postavljeni ciljevi. Za savremen i efikasan rad komande presudnu ulogu ima kvalifikaciona struktura

kadrova i uspostavljena organizacija rada. Kvalifikaciona struktura komande određena je formacijom, ali od umešnosti pojedinaca na rukovodećim mestima zavisi stepen realizacije postavljenih zadataka.

Svaka komanda mora da ima razrađena osnovna organizaciona dokumenta, a posebno:

– pregled prioriternih zadataka;

– razrađenu šemu organizacione strukture, sa prikazanim odnosima između svih elemenata komande;

– pravilnik o opštim i posebnim dužnostima komande, usklađen sa važećim pravilima i propisima;

– šemu razmeštaja organa komande;

– podsetnik za rad komande posle prijema zadatka, sa razrađenim postupcima za sve organe komande;

– pregled normi za realizaciju pojedinih zadataka i izradu dokumenata;

– pregled stanja ljudstva i sredstava.

Pored navedenih dokumenata svako lice na svojoj formacijskoj dužnosti treba da koristi i određen broj akata koje obrađuje i ažurira u svakodnevnom radu. Prikupljanje i obrada podataka u velikoj meri zavisi od razvijenosti i funkcionisanja informacionih tokova u svakoj komandi. Nadležni rukovodilac na određenom nivou komande određuje metod rada i grupisanje delova komande, radi ostvarenja sledećih osnovnih funkcija:

– upravljanja, kao funkcije kojom se određuju ciljevi, odlučuje o svim pitanjima i postavljenim zadacima u skladu sa propisanom regulativom;

– rukovođenja, kao delatnosti kojom se usmeravaju pojedinci, organizacijske celine i vojna organizacija u celini, u realizaciji ciljeva i zadataka. Rukovođenje ostvaruju pojedinci i organizacijske celine na određenom nivou, sa osnovnim karakteristikama društvenog odnosa (odnos pretpostavljeni–potčinjeni) i procesa rada čoveka ili komande, pri čemu se ispoljavaju tri vrste odnosa:

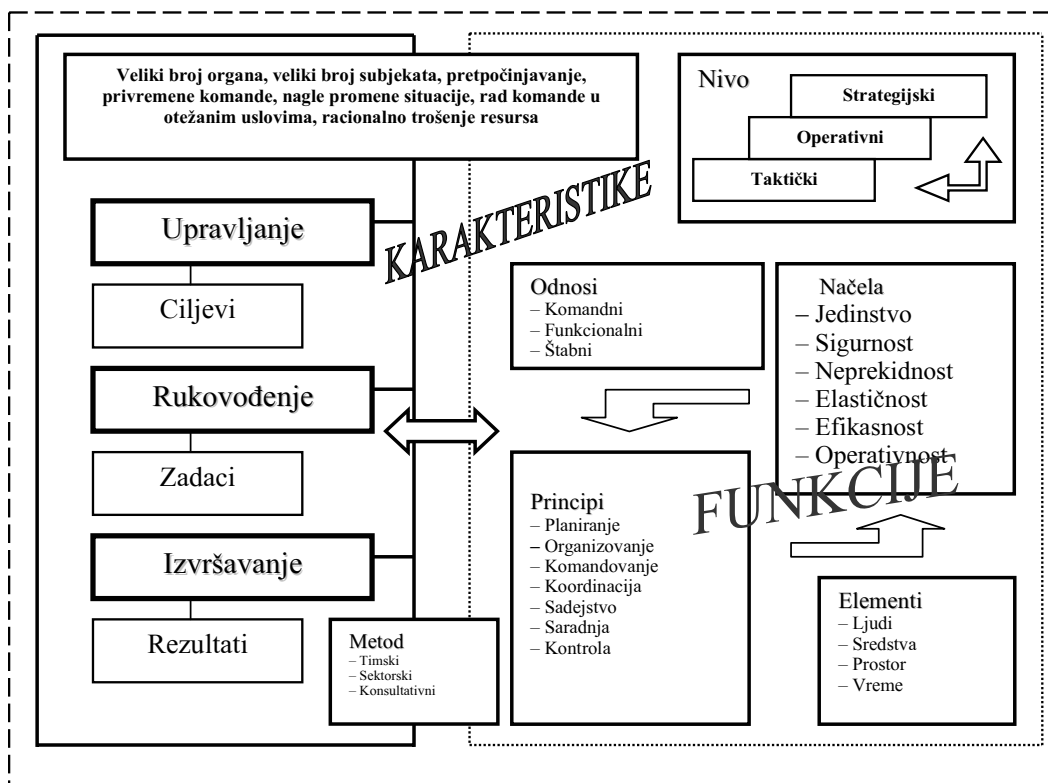
– komandni odnos, koji predstavlja suštinu odnosa u vojsci čime se postiže neophodna hijerarhijska struktura. Svako narušavanje linije komandovanja predstavlja neorganizovanost koja može izazvati posledice;

– funkcionalni odnos, koji se uspostavlja radi skladnog izvršavanja zadataka;

– štabni odnos, koji predstavlja ustaljeni način rada i odnosa između donosioca odluke i ostalih organa komande koji obavljaju odgovarajuće analize (procene), predlažu način realizacije i prate izvršenje zadatka;

– izvršavanja, kao procesa kojim se materijalizuju postavljeni ciljevi i zadaci. U sistemu rukovođenja i komandovanja funkciju izvršavanja ostvaruju svi pripadnici vojne organizacije.

Rukovođenje i komandovanje realizuje se na tri nivoa: strategijskom, operativnom i taktičkom. Kao proces rada zasniva se na načelima: jedinstva, sigurnosti, neprekidnosti, elastičnosti, efikasnosti, operativnosti i principima štabnog rada i



Sl. 1 – Karakteristike rukovođenja i komandovanja

međusobno povezanim funkcijama kojima se izvršava zadatak, a to su: planiranje, organizovanje, komandovanje, koordinacija, sadejstvo, saradnja i kontrola.

Podela rada u komandama obavlja se u skladu sa opštim načelima organizacije štabnog rada. Procesi rada i nametnuta situacija osnova su za grupisanje i razmeštaj organa komande. Štabni metod rada je okvirni metod i osnova za primenu drugih posebnih metoda, koji mogu biti:

- timski – način rešavanja složenih problema radom više lica organizovanih u timsku grupu;

- sektorski – oblik štabnog rada pri čemu se proces rada na donošenju i realizaciji odluke odvija odvojeno u organima (organizacijskim celinama – sektorima), (predlozi se podnose u vidu referata);

- konsultativni – sprovodi se kada su učesnici ranije upoznati sa zadatkom, pa na zahtev nadležnog lica iznose svoje mišljenje o načinu realizacije postavljene zadatka.

### **Sažeti prikaz rada organa logističke podrške**

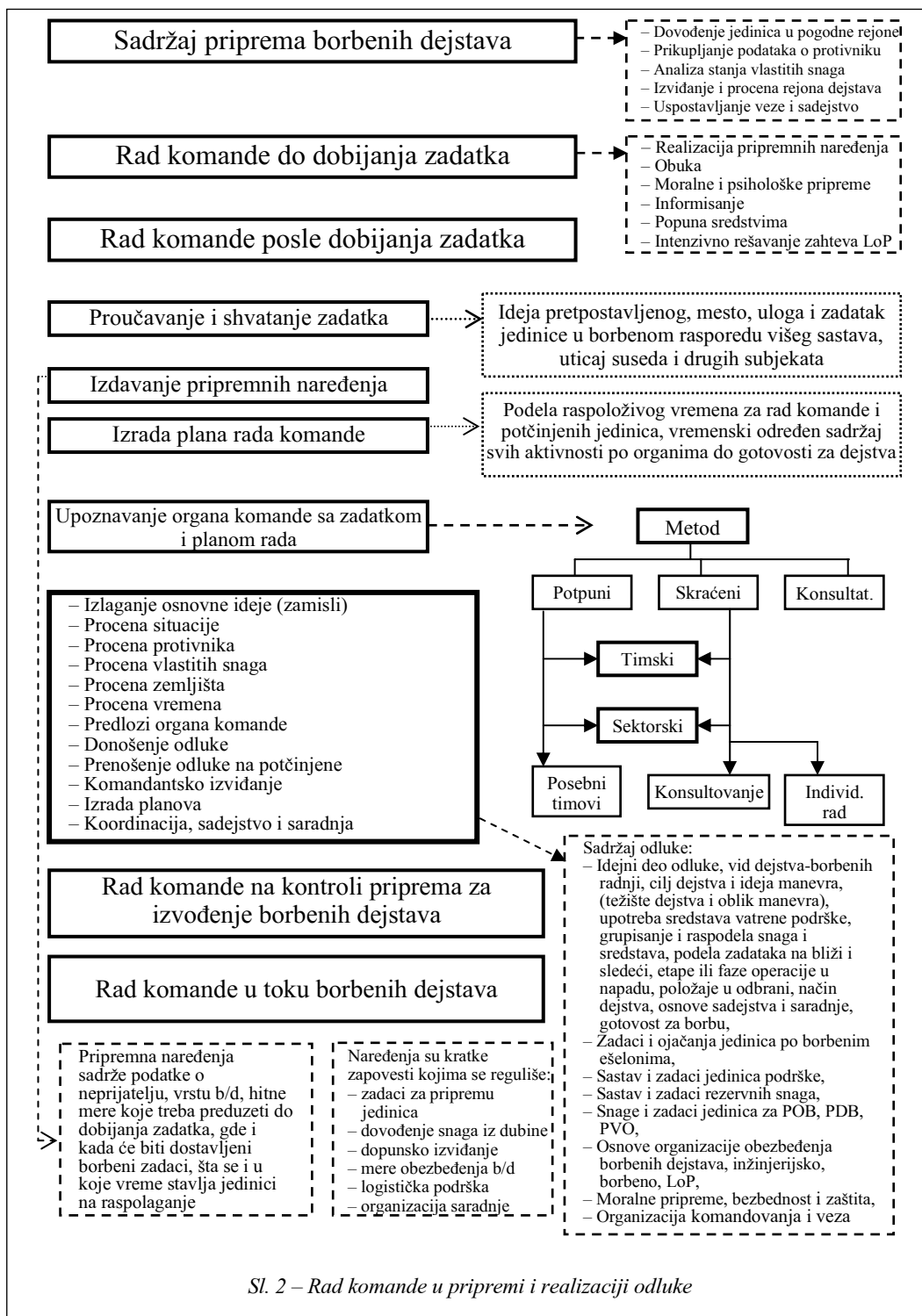
Svaka komanda teži efikasnom radu. Komande na operativnom nivou, zbog svoje specifičnosti, moraju da regulišu radnje pisanim aktima, a u isto vreme da budu efikasne i racionalne u utrošku vremena, kako bi preostalo što više vremena jedinicama za adekvatnu pripremu za izvođenje borbenih dejstava. Umešnost za uspostavljanje pravilne organizacije rada u velikoj meri doprinosi da organi komande brzo i pravilno shvate situaciju i aktivno učestvuju u donošenju odluke.

Logistička podrška (LoP) u savremenim borbenim dejstvima dobija sve veći značaj, zbog velike uloge tehničkog faktora i sve izraženije potrebe za efektivnim obezbeđenjem, uz što manje troškove. Organi logističke podrške uvek moraju raspolagati adekvatnim pokazateljima koji treba da budu dostupni svim licima koja učestvuju u procesu donošenja odluka. Na slici 1 prikazane su karakteristike i funkcije vojnog sistema. Ističe se princip komandovanja, kao alat za ostvarenje ciljeva realizacijom postavljenih zadataka koji se ostvaruju elementima sistema, a koji su adekvatno, na više nivoa, uspostavili odnose poštujući predviđena načela sistema rukovođenja i komandovanja.

Na slici 2 prikazan je rad komande u fazi pripreme, donošenja i realizacije odluke. Navedeni prikaz je načelani i predstavlja pokušaj da se na skraćeni način i sažeto prikaže na jednom mestu rad komande operativnog nivoa.

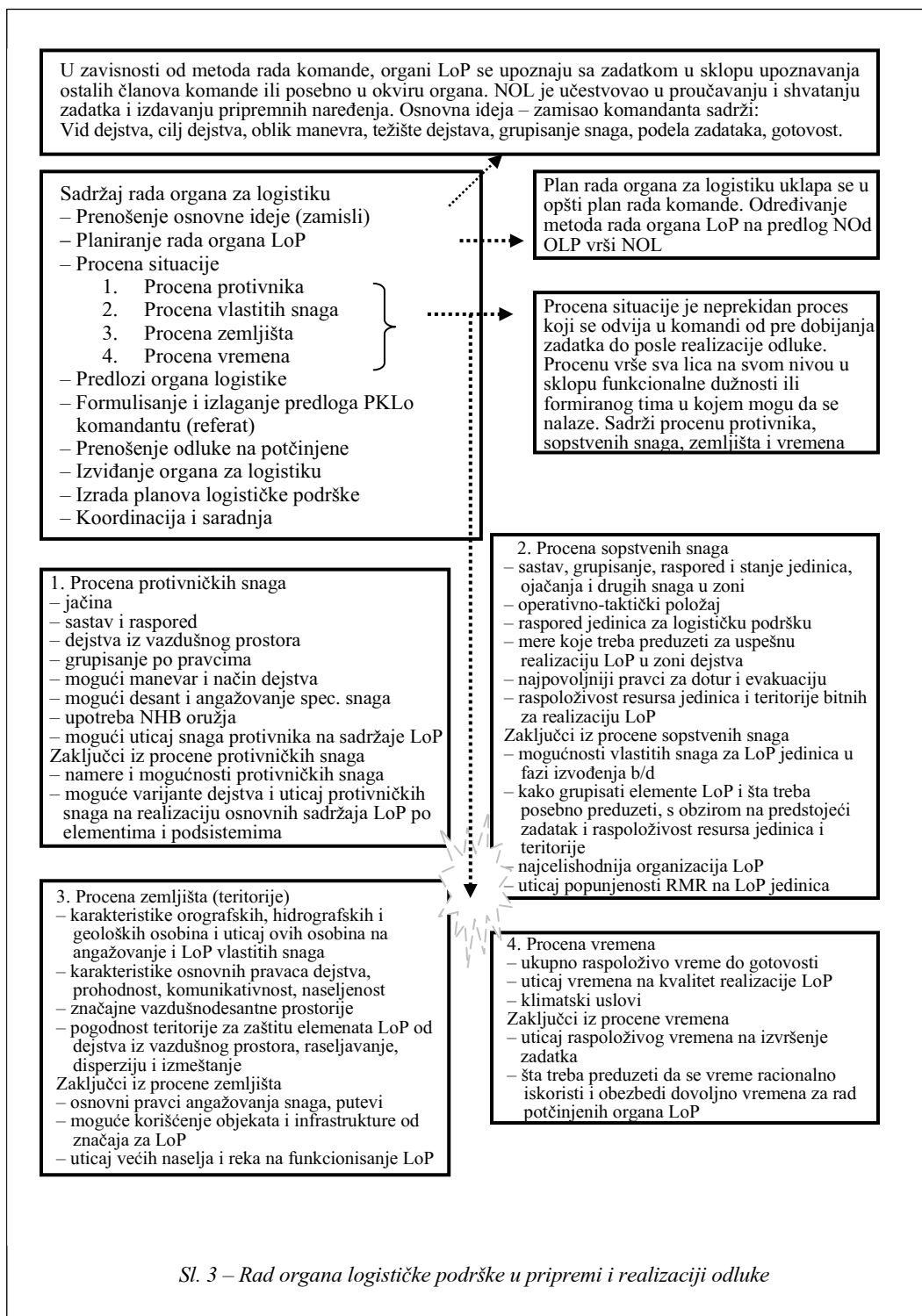
Na slikama 4 i 4a prikazan je rad organa logističke podrške u pripremi predloga koje pomoćnik komandanta za logistiku treba da izloži komandantu usmeno ili da podnese pisani referat, u zavisnosti od uspostavljene metodologije rada komande. Od pravilnog rada organa logističke podrške u velikoj meri zavisi pravilno angažovanje izvršnih organa LoP, kao i adekvatna i blagovremena popuna i utrošak materijalnih rezervi koje jedinicama stoje na raspolaganju.

Nakon podnetih predloga i donošenja odluke sledi njena realizacija prenošenjem zadataka na potčinjene i sačinjavanjem adekvatnih planova koje treba realizovati.



Sl. 2 – Rad komande u pripremi i realizaciji odluke





Redosled podnošenja predloga organa  
LoP

	Redosled
1.	NOLP
2.	NTP
3.	NInP
4.	NSnP
5.	NVtP
6.	NSbP
7.	NGrP
8.	NFnP

2. Predlog načelnika tehničke podrške

2.1. Snabdevanje TPS

- organizacija snabdevanja sredstvima energije boja (municija, gorivo,...) po etapama (periodima, fazama)
- prioritet dotura po jedinicama i sredstvima – organizacija korišćenja izbora za snabdevanje preko državnih organa,
- način prikupljanja i korišćenja ratnog plena

2.2. Održavanje TPS

- organizacija održavanja i remont TPS formacijskim, pridodatim i kapacitetima teritorije
- prioriteti u remontu i mere za ubrzanje remonta, organizaciji prikupljanja i izvlačenja oštećenih TPS

- postupak sa TPS koja se ne mogu blagovremeno popraviti

- organizacija i način snabdevanja i nabavke rezervnih delova

- 2.3. Ostali predlozi i zahtevi  
raspored izvršnih organa, način dotura i evakuacije, predlog za popunu nedostajućim sredstvima, raseljavanje i izmeštanje

1. Predlog načelnika odseka za OLP

1.1. Grupisanje i raspored logističkih jedinica i ustanova

- početno grupisanje, rejoni razmeštaja
- vreme gotovosti za rad
- naredni rejoni razmeštaja, način, vreme, pravci premeštanja
- organizacija oslanjanja na elemente LoP pretpostavljene komande, ustanove i preduzeća

1.2. Organizacija logističke podrške

- težište LoP
- prioritet po jedinicama i sredstvima etape (periodi, faze) LoP
- organizacija i putevi dotura i evakuacije
- način LoP pridodatih jedinica u zoni dejstva
- pravci dotura i evakuacije
- saradnja sa organima vlasti i MUP

1.3. Ostale mere LoP

- sprovođenje osnovnih mera zaštite
- asanacija bojišta
- prikupljanje i preraspodela ratnog plena
- LoP ratnih zarobljenika

3. Predlog načelnika intendantske podrške

3.1. Organizacija snabdevanja InPS

- način dotura
- organizacija korišćenja vlastitih resursa, kapaciteta pretpostavljene komande i teritorije

3.2. Organizacija ishrane ljudi i životinja

- planiranje i organizacija ishrane
- obezbeđenje pekarskih i dr. proizvoda
- klanje stoke i obrada mesa
- organizacija ishrane životinja
- sanitarno-bezbednosne mere u ishrani

3.3. Obezbeđenje vodom i energentima

- planiranje, organizacija i realizacija obezbeđenja vode, kupanje ljudstva, zagrevanje prostorija

3.4. Uslužne delatnosti

- radioničko održavanje InPS
- pranje rublja, hemijsko čišćenje

3.5. Ostali predlozi i zahtevi

- raspored izvršnih organa, način dotura i evakuacije, predlog za popunu nedostajućim sredstvima, raseljavanje i izmeštanje

*Sl. 4 – Podnošenje predloga načelnika službi pomoćniku komandanta za logistiku*

<p>4. Predlog načelnika sanitetske podrške</p> <p>4.1. Organizacija preventivno-medicinske zaštite  – Organizacija mera opšte i lične higijene  – Sprovođenje kontrole ishrane i vode  – Sprovođenje mera za sprečavanje pojave straha i panike, širenja zaraznih i profesionalnih oboljenja  – Organizacija sanitetskog radiološko-hemijskog izviđanja i osmatranja</p> <p>4.2. Zbrinjavanje povređenih i obolelih  – Organizacija rada i razmeštaj sanitetskih stanica i ustanova  – Način trijaže, evakuacije i lečenja povređenih i obolelih  – Oslanjanje na kapacitete teritorije</p> <p>4.3. Organizacija snabdevanja SnPS</p> <p>4.4. Ostali predlozi i zahtevi  Raspored organa i korišćenje resursa teritorije, objedinjavanje i pretpočinjavanje kapaciteta, način evakuacije ranjenika iz dubine teritorije, predlog za popunu nedostajućim sredstvima, premeštanje, ...</p>	<p>5. Predlog načelnika veterinarske podrške</p> <p>5.1. Organizacija sprovođenja veterinarsko-sanitarnog nadzora nad namirnicama životinjskog porekla</p> <p>5.2. Zdravstvena zaštita životinja  – Primena profilaktičkih, protivepizootioloških i veterinarskih mera RHB zaštite  – Mere zbrinjavanja povređenih i obolelih životinja, trijaž, evakuacija, lečenje, izolacija  – Oslanjanje na kapacitete teritorije</p> <p>5.3. Organizacija snabdevanja VtPS</p> <p>5.4. Ostali predlozi i zahtevi  Raspored organa i korišćenje resursa teritorije, objedinjavanje i pretpočinjavanje kapaciteta, popuna nedostajućim VtPS</p>
<p>6. predlog načelnika saobraćajne podrške</p> <p>6.1. organizacija saobraćaja  – planski režim putnog saobraćaja  – kontrola i regulisanje saobraćaja</p> <p>6.2. organizacija transporta  – putni transport  – železnički transport  – plovidbeni i vazdušni transport</p> <p>6.3. mere bezbednosti i zaštite u saobraćaju i transportu</p> <p>6.4. ostali predlozi i zahtevi  Raspored organa i korišćenje resursa teritorije, objedinjavanje i pretpočinjavanje kapaciteta, predlog za popunu nedostajućim sredstvima, premeštanje, ...</p>	<p>7. predlog načelnika građevinske podrške</p> <p>– upotreba izvršnih organa  – prostorno uređenje infrastrukture  – prilagođavanje prirodnih i veštačkih objekata potrebama jedinica  – raščišćavanje ruševina  – upravljanje, opravka i održavanje nepokretnosti  – saradnja sa organima teritorije  – primopredaja objekata</p>
<p>8. Predlog načelnika finansijske podrške  – organizacija finansijskog poslovanja  – način obezbeđenja jedinica gotovim novcem  – organizacija materijalnog knjigovodstva</p>	<p>– prenošenje odluke  – izviđanje  – izrada planova  – kontrola realizacije</p>
<p><i>Sl. 4a – Podnošenje predloga načelnika službi pomoćniku komandanta za logistiku</i></p>	

Pri izradi planova još uvek se koriste zastarele metode i šablonizirani obrasci. Na primer, u uputstvu za vođenje radne karte nalazi se preko 700 simbola raznih dimenzija i preko 1000 skraćeni- ca, a svaka promena situacije iznova se nanosi na kartu. Dinamika odvijanja borbenih dejstava na određenim pravcima uočava se tek kada se upoređi novonastala situacija sa prethodnom. Zbog sporog i ponekad nefunkcionalnog priliva informacija iz nižih nivoa ka višim, ucrtani podaci na karti bitno se razlikuju od situacije na terenu.

Istraživanja pokazuju da komande na višim nivoima uspevaju da obrade oko 30% prispelih informacija, dok u svom radu koriste manje od 30% obradenih informacija. Ovakva situacija prouzrokuje prikupljanje velikog broja informacija koje se ne koriste u sistemu, čime se bespotrebno iscrpljuju organi na nižim nivoima komandovanja. U pojedinim situacijama na višim nivoima komandovanja, izrađuje se veliki broj karata (jedna za komandanta i preko 20 karata raznih organa komande).

Otklanjanje uočenih nedostataka u klasičnom sistemu vođenja radne karte uspešno se rešava uvođenjem informacionog sistema za vođenje radne karte na računaru. Pod tim se podrazumeva prenos, obrada i prikaz veće količine informacija, čime se omogućava praćenje situacije u realnom vremenu, donošenje i distribucija pravovremenih i kvalitetnih odluka. To uslovljava klasifikaciju elemenata snaga, definisanje procedura i standardizaciju podataka u procesu vođenja radne karte. Ovako postavljeni informacioni sistemi razvijaju se po metodo-

logiji razvoja geografskih informacionih sistema.

Geografski informacioni sistem (GIS) može se shvatiti kao racionalno organizovan skup hardvera, geografskih podataka i korisnika, koji je projektovan tako da omogućava efikasno prikupljanje, čuvanje, ažuriranje, analizu i prostorno prikazivanje geografskih i svih drugih informacija koje su od interesa za korisnika [4].

Ovako organizovan sistem čine dve grupe podataka – sa učestalom promenom i sa sporom promenom. Učestalu promenu podataka vrše korisnici sistema u jedinicama. Oni ažuriraju podatke u vezi s elementima snaga i njihovo grafičko predstavljanje u prostoru. Sporo promenljive podatke, koji se koriste za analizu i prikaz prostornih veličina, ažuriraju pojedini profesionalni sastavi vojske (VGI...).

Vođenje elektronske karte ima višestruku korist za organe logistike, posebno zbog mogućnosti povezivanja podataka sa karte i pripremljenih baza podataka koje treba da budu ažurne i čiji se podaci neposredno koriste pri donošenju odluke. Organi logističke podrške imaju izraženu potrebu da u miru regulišu lokacije za raseljavanje i disperziju ratnih materijalnih rezervi i izmeštanje remontnih, proizvodnih i uslužnih kapaciteta. Formiranjem baza podataka i njihovim uvezivanjem u informacioni sistem na mnogo lakši način bi se blagovremeno donosile adekvatne odluke. Po potrebi, i u zavisnosti od raspoloživog vremena, korišćenjem podataka iz ovih baza mogla bi da se vrši i višekriterijumska optimizacija ili ekspertska analiza.

## Zaključak

Rad komande zahteva visoku stručnost, dobru organizaciju i izbor pravilnog metoda rada u nametnutoj situaciji. Prikupljanje i efikasna obrada podataka u velikoj meri utiču na kvalitet odluke. U vreme kada se teži upravljanju svih procesa, neophodno je preduprediti događaje pravilnim procenama, a najteža varijanta je da se otklanjaju posledice. Zbog toga informacionim tokovima treba dati prioritetan značaj, jer bez upotrebljivih informacionih tokova upravljačka funkcija u sistemu logističke podrške može iskazati slabosti. Uvid u stanje sistema je osnovni preduslov za pravilnu postavku organizacije, preduzimanje mera za poboljšanje elemenata sistema, pravilno grupisanje snaga i sredstava i racionalno korišćenje resursa.

Prikupljanje podataka treba da se vrši za jedan logistički lanac, a ne za više lanaca ili sistema. Jedan podatak prikuplja se na jednom definisanom mestu, a koristi se u celom lancu ili sistemu.

Za efikasnu logističku podršku i stalno upravljanje njenim procesima neophodno je definisati, standardizovati i koristiti baze podataka u jedinstvenom informacionom sistemu. Na taj način rad komande, donošenje odluka i upotreba snaga biće optimalni.

### Literatura:

- [1] Andrejić, M. i dr.: Definisane kriterijuma za izbor reiona razmeštaja tehničkih jedinica za održavanje, VTG 1/1996, (str. 14–18).
- [2] Grupa autora: Iskustva iz rada bataljona remontne podrške, 1999.
- [3] Uputstvo za raseljavanje, disperziju i zaštitu pokretnih stvari (privremeno) – nacrt, GŠ, SL, OUL, 2003.
- [4] Vojne softverske aplikacije nad digitalnom kartom, radni mat., 2004 (str. 9–16).
- [5] Cakić, A.: Logistički kontroling u savremenim logističkim sistemima, VTG 1/2003 (str. 49–50).
- [6] Nikolić, M. i dr.: Kvantifikacija osnovnih kriterijuma logistike, VGT 1/2004 (str. 27–29).
- [7] Jovanović, D.: Mogućnost poboljšanja tehničkog održavanja u realnom sistemu, 1998.
- [8] Stanojević, P. i dr.: Strategije održavanja tehničkih sistema, VTG 6/2003 (str. 543–545).
- [9] Grupa autora: Iskustva iz rada bataljona remontne podrške u toku rata 1999. godine, 1999 (str. 4–11).
- [10] Uputstvo za rad komandi – štabova (nacrt), GŠ, 1983 (str. 46–74).
- [11] Prilozi uz uputstvo za rad komandi – štabova (nacrt), 1983 (str. 7–16).
- [12] Stojiljković, M.: Organizacija rada kao naučna disciplina (lekcije), CVVTŠ-TŠC 1973.
- [13] Borović, S.: Organizacija rada (lekcije), CVVTŠ-TŠC 1973.
- [14] Miladinović, V.: Sistemski prilaz optimalnom planiranju armijskog transporta (doktorski rad), TVA KoV JNA, 1980.
- [15] Mišić, R. Ž.: Strategija, VINC, 1993 (str. 646–658).

Veselin Gredić,  
potpukovnik, dipl. inž.  
mr Zoran Filipović,  
pukovnik, dipl. inž.  
Vazduhoplovni opitni centar,  
Beograd

## PREDLOG TEHNOLOŠKOG UNAPREĐENJA TELEMETRIJSKOG I TEODOLITSKOG SISTEMA SA OSVRTOM NA SOFTVERSKA REŠENJA

UDC: 004.4 : 681.783.2 : 681.883.45

### Rezime:

*U ovom radu prikazan je sveobuhvatan pristup razvoju softverskog projekta na konkretnom primeru projekta tehnološkog unapređenja telemetrijskog i teodolitskog sistema. Istaknuta je potreba i značaj modeliranja sa posebnim osvrtom na objektnoorijentisani pristup. Kroz proces Rational Unified obezbeđena je kontrola iterativnog i inkrementacionog životnog ciklusa kroz širi skup uputstava koja se odnose na tehničke i organizacione aspekte, usmerene na analizu zahteva i dizajn. Detaljno su prezentovani zahtevi za tehnološka poboljšanja ova dva sistema, sa posebnim osvrtom na softverska rešenja.*

*Ključne reči: telemetrijski sistem, teodolitski sistem, modeliranje, UML, proces razvoja, objekti, klase, sistem za rad u realnom vremenu.*

---

## PROPOSAL FOR TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF TELEMETRY AND TEODOLITE SYSTEMS BASED ON SOFTWARE SOLUTION

### Summary:

*Through this paper we try to give a comprehensive approach of a software development process based on technological improvement of telemetry and teodolite systems. Modeling is focused on an objective-oriented approach. Control for an iterative and incremental life cycle is provided in the rational Unified Process – an extensive set of guidelines that address the technical and organizational aspects of software development, focusing on requirements analysis and design. We present in detail all requests for technological improvement of telemetry and teodolite systems with a special software solution approach.*

*Key words: telemetry system, teodolite system, modeling, UML, development process, object, classes, real-time system.*

---

### Uvod

Nakon više od decenije rada svi mini računari zasnovani na VAX/VMS platformama postaju problem zbog relativno visoke cene i održavanja. Na početku rada ove opreme nije postojala efikasna zamena za ovakve sisteme, naročito ako se uzme u obzir razvoj softvera koji je bio potreban za pouzdano funkcionisanje ovakvih sistema. Raz-

vojem IT (PC platformi) PC hardver je postajao sve dostupniji i po ceni znatno povoljniji.

Potreba za tehnološkim unapređenjem uslovljena je činjenicom da održavanje mini računara postaje znatno otežano i skupo, grafička okruženja korisnika i aplikacija su sve raširenija u takvom okruženju, a zastareli PCM hardver u jednom trenutku neće se moći više održavati.

Osnovni ciljevi tehnološkog unapređenja su sledeći:

- smanjenje troškova održavanja (zamenom mini računara);
- povećanje produktivnosti opitnih letova (upotrebom naprednih softverskih alata koji pružaju veću fleksibilnost);
- povećanje operacione sigurnosti rada (zamenom PCM hardvera koji nema nikakvu tehničku podršku).

### **Pristup pri sagledavanju sistema i osvrt na modeliranje sistema**

Jedinstveni i skupoceni sistemi kao što su telemetrijski sistem i optoteodolitski sistem, kompleksni su, kako po rešenjima, tako i po obimu upotrebljene tehnologije. Za njihov opis neophodno je bilo napraviti modele sistema sa potrebnim nivoom detalja. Sistem je modeliranjem sistematičnije i brže shvaćen, a sve faze razvoja mogu biti kontrolisane upotrebom softverskog alata.

Metodologija vezana za ovaj projekat objektno je orijentisana i sledi pozitivna iskustva iz prakse.

U sistemima za rad u realnom vremenu potrebno je modelirati paralelne pojave, odvojene tokove podataka i kontrole, kao i kontinualne i diskretne pojave.

U zavisnosti od stepena razvoja određene tehnologije, postoje dva osnovna pristupa u rešavanju konkretnog problema: pristup uslovljen postojećom tehnologijom i pristup uslovljen problemom. Što se tiče sistema za rad u realnom vremenu, iskustva pokazuju da je, u razvoju takvih sistema, često moguće dosledno koristiti pristup uslovljen problemom.

Organizacija za upravljanje objektnim metodima (OMG), usvojila je UML kao standard tako da će verovatno postati ne samo službeno prihvaćeni standard već i glavni mehanizam za modelovanje softvera.

UML je jezik za izražavanje sastavnih delova i relacija u složenim sistemima. Kompletniji je od ostalih metoda za podršku u modelovanju složenih sistema i veoma je pogodan za ugrađene sisteme koji rade u realnom vremenu.

### **Metodologija, praksa razvoja i alat za modeliranje**

U [2] se navode tri komponente koje su neophodne za uspešan projekat, nazivajući ih trougao uspeha: proces, alat i notacija.

Notacija ima značajnu ulogu u bilo kom modelu, jer predstavlja „vezivno tkivo“ kompletnog procesa. Notacija ima tri uloge [3]:

- služi kao jezik odluke za slučajeve koji nisu očigledni i koji se ne mogu jasno izvesti iz samog koda,
- obezbeđuje semantiku koja je dovoljno bogata da obuhvati sve značajne strategijske i taktičke odluke,
- nudi dovoljno konkretnu formu i alat za manipulisanje.

Iterativni i inkrementacioni životni ciklus, koji je prikazan na sl. 1, prolazi kroz niz iteracija koje vode ka traženom sistemu. U duhu našeg jezika ovakav životni ciklus mogao bi se opisati kao ciklus sa više prolaza kroz koje se vrši poboljšanje. Dobro upravljane iteracije u životnom ciklusu obezbeđuju neophodnu

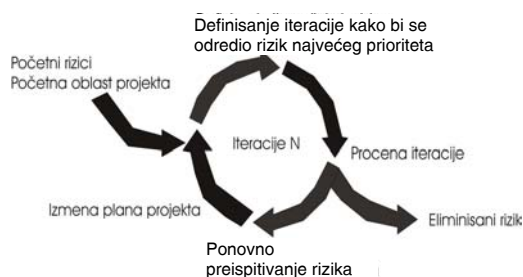
kontrolu bez „gušenja“ kreativnosti. Svaka iteracija sastoji se od jedne ili više komponenti: modeliranja poslovnih procesa, zahteva, analize, dizajna, implementacije, testiranja i uvođenja. Ovakav razvoj ne podrazumeva da su svi zahtevi poznati na početku životnog ciklusa već da se promene anticipiraju kroz sve faze.

Ovakav tip životnog ciklusa umanjuje rizik. Tehnički rizici se prioritarno ispituju ranije u životnom ciklusu i vrši se njihova revizija pri svakoj sledećoj iteraciji. Rizici su vezani za sve iteracije. Uspešnost iteracije se ogleda u eliminisanju rizika koji je za nju vezan. Projektovanjem sistema na ovaj način rizici se otkrivaju i smanjuju ranije u životnom ciklusu, što utiče na smanjenje investicija.

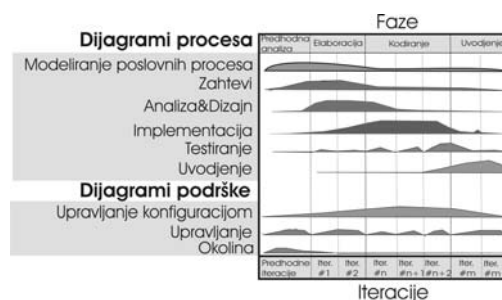
Kontrola interaktivnog i inkrementacionog životnog ciklusa podržana je procesom Rational Unified koji predstavlja skup uputstava i preporuka koje se odnose na tehničke i organizacione aspekte softverskog razvoja usmerenih, pre svega, na analizu zahteva i dizajn.

Rational Unified Process (RUP) raspeoređen je unutar dve dimenzije:

- vremenskoj – predstavljen fazama u iteracijama (prolazima),
- komponentama procesa – skup ulaza/izlaza u definisanim aktivnostima.



Sl. 1 – Iterativni i inkrementacioni životni ciklus



Sl. 2 – Proces razvoja

Na sl. 2 prikazano je kako se primenjuju komponente procesa kroz vremensku dimenziju.

Svaka aktivnost iz komponenti procesa ima svoju primenu u svakoj fazi u vremenskoj dimenziji. Međutim, stepen u kojem se pojedina komponenta procesa primenjuje zavisi od faze razvoja. Dijagram na slici 2 treba da predstavlja vodič kroz životni ciklus projekta.

Bilo kakav razvoj softvera trebalo bi da bude podržan odgovarajućim alatom. Grupa proizvoda Rational Rose je takva da obezbeđuje razvoj robustnih, efikasnih rešenja za potrebe poslovanja u klijent/server, distribuiranoj i real-time okolini sistema.

### Funkcionalni zahtevi za tehnološki unapredene komponente telemetrijskog sistema

Tehnološko poboljšanje komponenti telemetrijskog sistema odnosi se na postojeće ulazno-izlazne računare (front-end), VAX osnovne računare (host), VAX radne stanice i njihove programe. Prema tome, unapredene komponente telemetrijskog sistema su:

- novo rešenje ulazno-izlaznog računara (front-end) na bazi industrijskog



PC računara, priključenog na lokalnu mrežu, i novorazvijene kartice za sprezanje sa PCM dekomutatorom;

- novo rešenje osnovnog računara (host) na bazi industrijskog PC računara, koji ima funkciju servera datoteka (file server) u lokalnoj mreži;

- novo rešenje radne stanice na bazi industrijskog PC računara, koji je priključen na lokalnu mrežu, a na koji se opciono može priključiti komercijalno raspoloživ EPROM programator;

- komercijalno raspoloživ laserski štampač, koji se priključuje na lokalnu mrežu.

Ciljevi ovog projekta, u pogledu poboljšanja telemetrijskog sistema, jesu modernizacija postojeće mobilne telemetrijske stanice (MGTS – Mobile Telemetry Station) i stanice za proveru na pisti (FTS – Flight Line Check-Out Station), koja se trenutno koristi i na pisti, ali i u postojećem računskom centru, radi prebacivanja snimaka sa avionske na računarsku traku.

Tehnološko poboljšanje telemetrijskog sistema treba da rezultira:

- zamenom postojećeg ulazno-izlaznog računara (front-end), osnovnog računara (host) i postojeće dve radne stanice, u mobilnoj telemetrijskoj stanici, MGTS, poboljšanim komponentama;

- zamenom postojećeg ulazno-izlaznog računara (front-end) i osnovnog računara (host), u stanici za proveru na pisti, FTS, unapređenim komponentama: industrijski PC povezan u lokalnu računarsku mrežu i kartica IRAMDIM za spregu na EMR8330 dekomutator. Prednosti zamene su: modularna arhitektura, lakše i jeftinije održavanje;

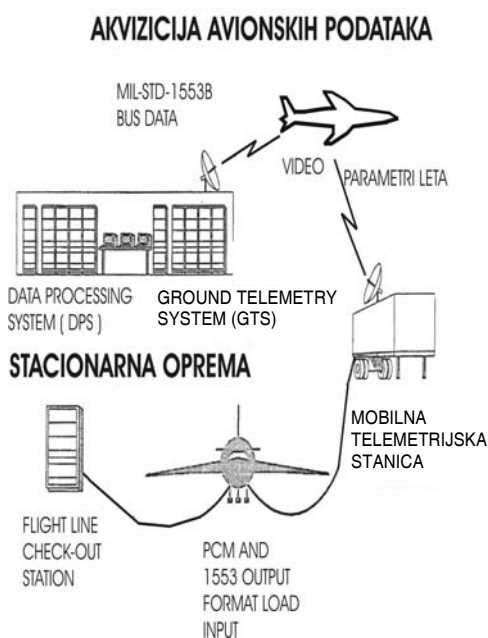
- zamenom VAX radne stanice sa starim EPROM programatorom, u računarskom centru, sa poboljšanom komponentom: industrijski PC, sa komercijalno raspoloživim EPROM programatorom i adekvatnom programskom podrškom za formiranje sadržaja EPROM memorija;

- poboljšanim matematičkim modelom transformacije izvornih podataka u inženjerske jedinice (baždarenje fizičkih veličina). Omogućeno je modelovanje veličina sa više polinoma koji odgovaraju adekvatnim podopsezima. Novi način baždarenja povećaće tačnost sistema.

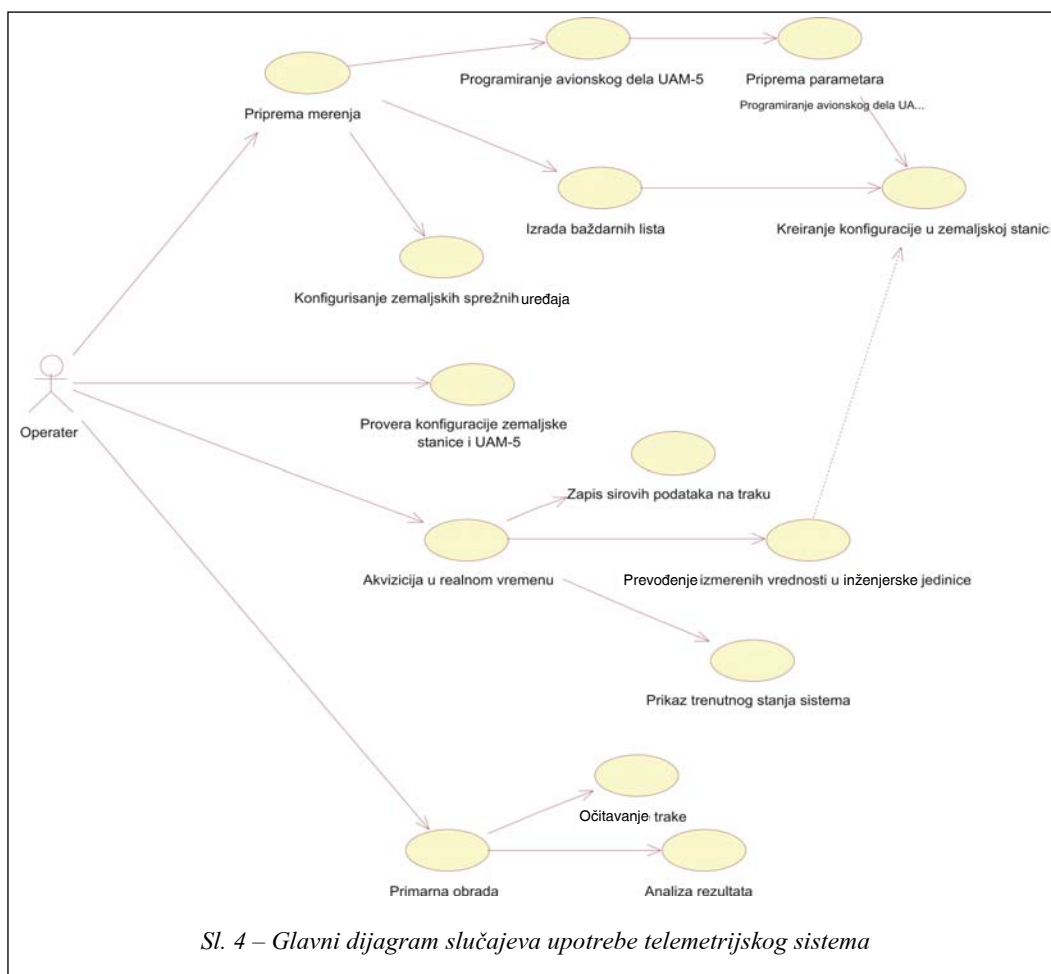
## Opis sistema

### Opis telemetrijskog sistema

Savremena ispitivanja letelica zahtevaju merenje i obradu velikog broja električnih i neelektričnih veličina. Pre-



Sl. 3 – Prikaz telemetrijskih sistema VOC-a



nos izmerenih veličina sa letelice do prijemne telemetrijske stanice na zemlji vrši se telemetrijskim multikanalnim akvizicionim sistemima čiji se rad zasniva na impulsno-kodnoj modulaciji.

Na sl. 3 prikazan je tehnološki proces tokom ispitivanja vazduhoplova u letu upotrebom različitih podsistema u okviru VOC-a.

U toku opitnog leta prijem informacije o izmerenim veličinama može se vršiti pomoću mobilne telemetrijske stanice ili/i sa stacionarnom telemetrijskom stanicom.

Na sl. 4 prikazan je glavni dijagram slučajeva upotrebe telemetrijskog sistema iz kojeg se vide njegove osnovne funkcije.

Upotrebom sistema Flight Line Check-Out može se izvršiti baždarenje parametara avionskog dela sistema UAM-5 (faza provera konfiguracije zemaljske stanice).

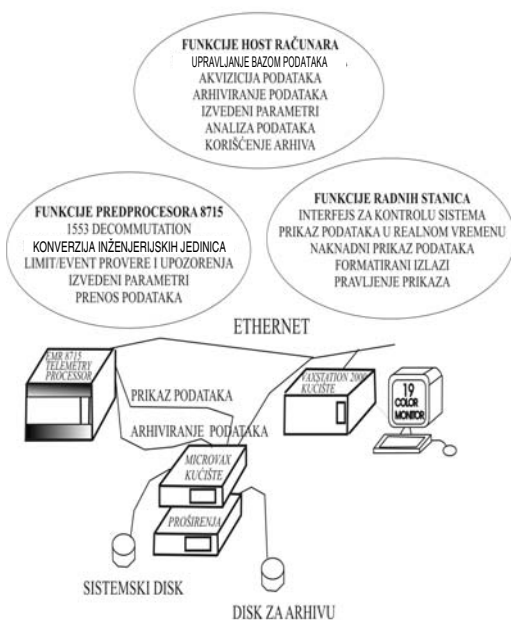
Primarna obrada podrazumeva prvenstveno očitavanje podataka sa avionske trake, pretvaranje u inženjerske jedinice i analizu rezultata. Mobilnom zemaljskom telemetrijskom stanicom (MGTS)

mogu se pratiti i letovi na udaljenim lokacijama. Na glavnom dijagramu slučajeva upotrebe i funkcionalnosti ovog dela sistema kratko je prikazana, kao faza aktivizacije u realnom vremenu. Tri primarna računarska systemska resursa su preprocesor (EMR 8715), host računar i radne stanice. Obrada podataka i sve softverske funkcije raspodeljene su među ovim resursima. Detaljni prikaz dat je na sl. 5.

Preprocesor EMR 8715 (pun naziv EMR 8715 Multiplex Processor) jeste 32-bitni procesor u pokretnom zarezu. On prihvata podatke u formatu 32-bitnog komplementa dvojke, transformiše ih u pokretni zarez IEEE formata i zatim vrši konverziju u inženjerske jedinice pomoću odgovarajućih algoritama. Rezultat se šalje preko PCD (Priority Command Data) magistrale na dalju obradu. EMR 8715 raspolaže sa 256 KB RAM za po-

datke (organizovane u 64K lokacija dužine 32 bita) i 64 KB RAM rezervisanog za instrukcije – Instruction Memory (organizovanih u 4K lokacija dužine 128 bita, ali od kojih se koristi samo 96 prvih bita, tj. 6 reči). Procesor EMR 8715 može izvršavati protočnu obradu podataka (pipeline operation mode).

Algoritmi za EMR 8715 procesor napisani su u takozvanom mikrokodu koji se izvršavaju na ovom procesoru kao nezavisni programski paket. Mikrokod se sastoji od monitora, skupa algoritama i prekidnih rutina. Algoritmi se organizuju u takozvane algoritamske lance (algorithm chains), koji omogućavaju grupisanje više algoritama i obradu ulaznih parametara u više koraka. Algoritmi se dele na standardne funkcije i algoritme koje su definisali korisnici. Svi standardni algoritmi su smešteni u instrukcijsku zonu RAM memorije, tako da svaki standardni algoritam ima svoju jedinstvenu adresnu lokaciju, bez obzira na to koliko se puta pojavljuje u algoritamskim lancima. Algoritamski lanac definiše se algoritamskom argument listom (AAL) koja se smešta u parametarsku zonu RAM-a. AAL je organizovana kao jednostruko spregnuta lista i sastoji se od ulančanih pokazivača veze (Link Pointer). Svaki pokazivač veze sadrži adresu algoritma u instrukcijskoj zoni RAM-a, pokazivača na sledeći AAL u lancu i liste argumenata prethodnog algoritma. Algoritmi u lancu međusobno razmenjuju podatke (rezultat jednog algoritma predstavlja ulazni podatak za naredni algoritam u nizu) putem globalnih promenljivih, koje su dostupne svim algoritmima. Standardni algoritmi se dele, po funkcijama, na 8 podgrupa.



Sl. 5 – Raspodela funkcija sistema MGTS

Procesor EMR 8715 podržan je programskim okruženjem Microcode Development Environment (MDE paket). Pomoću MDE paketa moguće je izvršiti modifikacije postojećih algoritama ili dodavanje novih. Izvorni kod algoritma može biti formiran u assembleru (datoteke .src) ili direktno u mikrokodu (datoteke .mal).

Sistemska softver na DEC opremi radi pod operativnim sistemom DEC VMS. Na host računaru se nalaze funkcije upravljanja bazom podataka, kontrole akvizicionih podataka, arhiviranja proračuna izvedenih parametara, analize i distribucije podataka.

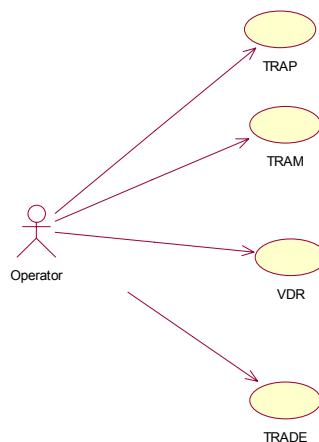
Originalna VMS aplikacija za merenje i snimanje sirovih PCM podataka urađena je na Digital MicroVAX II platformi, jer je integracija Decom kutija i Q-bus DMA interfejsa bila relativno laka. Najznačajni delovi aplikacije pisani su uz konsultacije VOC-a u VAX FORTRAN-u sa značajnim delovima I/O rutina i DMA Device Driver-a koji su pisani u VAX Assembleru.

### Opis teodolitskog sistema

Precizna merenja putanje objekata u letu, zapisivanje merenih podataka i naknadna grafička i numerička analiza zahtevaju real-time sisteme za obradu i računar koji će osigurati što manju grešku merenja. Sve ove zahteve ispunjava optoteodolitski Skytrack Trajectory Measuring System.

Dijagram slučajeva upotrebe koji prikazuje osnovni meni aplikacije dat je na sl. 6.

Optoteodolitski sistem Skytrack služi za merenje položaja tela u vazдушnom prostoru u funkciji vremena. Sastoji se od dve



Sl. 6 – Dijagram slučajeva upotrebe za osnovni meni

stanice – glavne (teodolitska stanica 1) i pomoćne (teodolitska stanica 2). Svaka stanica u svom sastavu ima jedan podvoz sa teodolitom na kome se nalaze senzori za praćenje, jedan podvoz sa kabinom u kojoj se nalazi upravljačka stanica sa pratećim uređajima i pokretni izvor napajanja – agregat snage 32 kW. Sistem može da meri koordinate objekta u vazдушnom prostoru metodom triangulacije i metodom merenja uz pomoć laserskog daljinara.

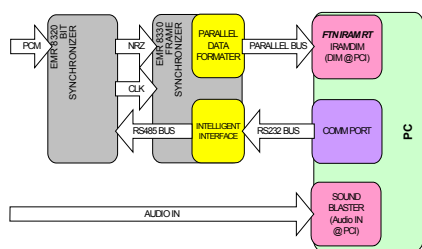
### Predlog koncepta rešenja za tehnološki unapredene komponente telemetrijskog i teodolitskog sistema

#### PREDLOG KONCEPTA REŠENJA ZA TELEMETRIJSKI SISTEM

##### Hardver front-end računara telemetrijskog sistema

Fizička realizacija poboljšanog ulazno-izlaznog računara podrazumeva zamenu postojećeg  $\mu$ VAX i EMR8715 računara sa jednim industrijskim PC raču-

narom (sl. 7). Pored toga vrši se zamena DIM kartice EMR8715 sa *FTN IRAM RT* IRAMDIM karticom, kao i dodavanje zvučne kartice (Sound-blaster).



Sl. 7 – Strukturna šema novog ulazno-izlaznog računara

RAMDIM kartica poseduje sledeće osobine:

- zauzima jedan PCI konektor po standardu 2,1 (33 MHz, 32 bita);
- brzine prenosa do 5 Mb/s – 1000 ns za 32 bitnu reč;
- otvorena i lakoizmenjiva fizička arhitektura zasnovana na sekvencijalnim programabilnim mrežama tima FPGA;
- programski i prekidni U/I prenos;
- programabilni kontrolni signali i vremenski oblici signala za rukovanje prenosom;
- opciono memorijsko proširenje koje obezbeđuje privremeno čuvanje podataka kod veće brzine prenosa;
- jedan konektor sa 80 priključaka (AMP 787190-8), sa prilagodnim priključcima na EMR8330.

#### *Rešenje funkcionalnosti procesora EMR 8715*

Procesorska jedinica EMR 8715 prevashodno je namenjena za predobradu velikog broja podataka u realnom vremenu. Raspolaze sa stotinak standardnih

funkcija i više algoritama koje su definisali korisnici. Najvažniji zadatak standardnih funkcija, pored funkcija pripremnog i internog tipa, jeste prijem i transformisanje ulaznih podataka u inženjerske jedinice. Nakon toga, na osnovu algoritama koje su formirali korisnici, vrše se dodatni proračuni i transformacije radi dobijanja izvedenih veličina (npr. izračunavanje Mahovog broja). Novo rešenje, takođe, zahteva postojanje ulazno-izlaznog računara (front-end).

Postojale su dve mogućnosti: ostavljanje postojećeg uređaja EMR 8715 ili njegova zamena sa PC računarom.

U novom rešenju procesor EMR 8715 se isključuje iz sistema, a njegova funkcionalnost se prepušta odgovarajućoj programskoj podršci na front-end industrijskom PC računaru.

#### *Prijem PCM sistema*

Ulazno-izlazni računar (front-end) priključuje se na paralelnu magistralu iz bloka za dekomutaciju (EMR8330). Kartica IRAMDIM podatke po standardu IRIG-106 (merene veličine) smešta u radnu (operativnu) memoriju PC-a (DMA prenos) i generiše signal prekida (interrupt) PC-u. Na osnovu iskustva, u praksi se u VOC-u koristi uvek isti format PCM okvira. Ekvivalentna brzina prenosa podataka je 32 kw/s (32 hiljade reči u sekundi) ili 2048 merenih veličina u sekundi. Pred unapređeni sistem se postavlja funkcionalan zahtev da podrži postojeći oblik okvira, kao i da omogući definisanje drugih oblika okvira sa brzinom prenosa podataka do 80 kw/s. Ulazno-izlazni računar (Front-end) priklju-

čuje se na izlaz bloka za vremensku sinhronizaciju (amplitudnomodulisan ton u koji je utisnut podatak o datumu i vremenu sa rezolucijom od jedne sekunde).

#### *Akvizicija podataka*

Da bi se obezbedila ova funkcija, na početku je potrebno da se akvizicionom sistemu, preko stalne TCP/IP veze, pošalje konfiguraciona datoteka od klijentske aplikacije zadužene za njeno formiranje. Akvizicioni sistem, preko stalne TCP/IP višeutične veze (multicasting), šalje podatke file serveru i drugim klijentima, odnosno, radnim stanicama. Prvi korak, pri pokretanju programa za akviziciju, jeste inicijalizacija koja podrazumeva čitanje konfiguracione datoteke i, na osnovu nje, formiranje strukture procesnih veličina potrebnih za izvršavanje zadataka akvizicije. Posle toga program je spreman za prijem i obradu podataka. U procesu praćenja program za akviziciju izvršava sledeće zadatke uz poštovanje odgovarajućih prioriteta. Redosled izvršavanja zadataka je sledeći: preuzimanje PCM tok podataka sa ulaznih uređaja (posredstvom PCM kartice); provera fizičkih granica merenih procesnih veličina; pretvaranje sirovih podataka u inženjerske jedinice; provera granica alarma – upozorenja procesnih veličina (merenih i izvedenih); prosleđivanje obrađenih podataka radnim stanicama preko stalne TCP/IP veze (broadcasting) radi prikazivanja operateru; arhiviranje PCM toka podataka (opciono); arhiviranje podataka procesnih veličina u odgovarajućem formatu (za ograničeni skup veličina ili za sve – opciono).

Ovaj program treba da omogući istovetni način rada i u slučaju da se podaci očitavaju sa trake aviona ili iz već formiranih arhiva (PCM okvira – izvornih podataka).

#### *Konverzija fizičkih u inženjerske jedinice*

Dekomutirane podatke iz ulaznog bafera PC preuzima u svojoj radnoj memoriji, pretvara ih u inženjerske jedinice „provlačeći“ ih kroz baždarne (kalibracione) liste, koje su predstavljene polinomima do 5. reda (u praksi najčešće polinomima 2. ili 3. reda) i smešta rezultate u izlazne bafere. Biće omogućeno kalibrisanje sa više polinoma, raspodeljenih po podopsezima date veličine.

Funkcije za transformisanje podataka u inženjerske jedinice vrše, u osnovi, dva tipa proračuna. U prvom slučaju se, za neki ulazni podatak, vrši njegova transformacija na bazi polinomijalne zavisnosti između ulaznog podatka (nezavisna promenljiva) i izlaza (zavisna promenljiva). Pri tome ova zavisnost može biti opisana polinomom prvog, drugog, trećeg, ..., ili  $N$ -tog reda. Radi povećanja preciznosti, opseg date veličine će moći da bude podeljen na nekoliko podopsega, od kojih je svaki opisan drugim koeficijentima polinoma. Definisane vrednosti koeficijenata polinoma vrši se u toku procesa baždarenja date veličine. U drugom slučaju koristi se predefinisana tabela tačaka (od 2 do 256 tačaka) koje odgovaraju nezavisnoj ulaznoj veličini. Kada se pronađe prva tačka u tabeli koja je veća ili jednaka ulaznom argumentu – podatku, ona se koristi kao nezavisna veličina za proračun izlaza. Pri tome se koristi samo polinom prvog reda.

### *Provere granica/događaja i generisanje upozorenja*

Preprocesorski PC proverava da li su merene veličine u zadatim granicama, i da li su zadati događaji prisutni. U slučaju da postoji povreda nekog od zadatih uslova sistem generiše odgovarajuća upozorenja ili alarme. Pored kompletnog mernog opsega, veličine zadate prilikom baždarenja moguće je i definisati, proveravati i obavestavati o povredi graničnih vrednosti opsega od posebnog interesa (provera definisanih podopsega).

### *Proračun izvedenih parametara*

Izvedene parametre računa PC primenjujući zadate formule na više zadatih mer-nih veličina (npr. proračun Mahovog broja). Dobijene rezultate smešta u izlazne bafere.

### *Prenos podataka do osnovnog računara (file server) i radnih stanica*

PC iščitava izlazne bafere i šalje podatke osnovnom računaru (file server) i radnim stanicama preko stalno uspostavljene višeutične (multicasting) TCP/IP veze. Osnovni računar (file server) upisuje primljene podatke u bazu podataka, a uključene radne stanice putem klijentskih aplikacija prikazuje u realnom vremenu (grafički ili tabelarni prikazi u realnom vremenu).

### *Softver host računara telemetrijskog sistema*

#### *Upravljanje bazom podataka*

Baza podataka je organizovana u obliku hijerarhijskog sistema datoteka

(file system). Ovaj sistem logički se predstavlja kao stablo čiji su čvorovi katalozi (directory ili u novije vreme folder) a listovi datoteke (file) – prazan katalog je čvor bez listova. U bazi podataka smešteni su svi konfiguracioni podaci i svi podaci snimljeni u toku misija. Podaci koji se primaju u toku misije dolaze od ulazno-izlaznog računara (front-end), preko stalne TCP/IP višeutične veze (multicasting), i zapisuje primljene podatke u odgovarajuće datoteke, u realnom vremenu.

Zapisivanje podataka vrši se simultano u dva formata: izvornom, PCM formatu i u ASCII formatu kao inženjerske jedinice. Zapisivanje u ASCII formatu omogućava kasniji direktan pristup korisničkim aplikacijama za sekundarnu analizu podataka. Da bi se obezbedila funkcionalnost upravljanja bazom podataka, potrebno je da file server računar i radne stanice imaju instaliran TCP/IP protokol.

#### *Arhiviranje podataka*

Funkcija arhiviranja datoteke o konfiguraciji, kalibraciji i instrumentaciji, kao i datoteka sa izvornim PCM tokom može se obaviti na dva načina, sa i bez korišćenja programa za sažimanje. Pokretanjem odgovarajućih programa za sažimanje (komprimovanje) datoteka (npr. ZIP) i kopiranjem komprimovanih datoteka sa diska na CD/DVD medijum završava se prvi način. Drugi način se sastoji samo od kopiranja navedenih datoteka koje definišu dati projekat na pripremljeni medijum za arhiviranje. Ako je izbor CD medijum, zbog njegove znatno niže cene, dovoljno je na jedan CD arhivirati podatke samo o jednom projektu. Pri to-

me nema potrebe koristiti kompresiju podataka. Sama operacija formiranja arhivskog CD/DVD može biti i na nekoj od radnih stanica. Projekat iz stare arhive prenosi se i unosi u novu arhivu po odgovarajućoj proceduri.

### *Analiza podataka*

U novom sistemu analiza podataka izvodiće se uglavnom na radnim stanicama, ali je u principu moguće potrebne programe za primarnu i sekundarnu analizu (grafički prikazi i numeričke obrade) instalirati i na osnovni računar (file server).

### *Korišćenje arhiva*

U slučaju korišćenja rutina za komprimovanje datoteka, ova funkcija se obavlja pokretanjem odgovarajućih programa za kopiranje komprimovanih datoteka sa CD/DVD medijuma na disk i dekomprimovanje komprimovanih datoteka (npr. ZIP).

### *Softver radne stanice telemetrijskog sistema*

Korisnička sprega (interfejs) podeljena je u odvojene programske celine za pojedine korake pripreme i izvršavanja telemetrijskog procesa. To su priprema – konfigurisanje avionskog dela sistema merenja, konfigurisanje elemenata zemaljske stanice, priprema prikaza, punjenje EPROM-a, konfigurisanje dodatnih uređaja (EMR 8320 PCM bit synchronizer, EMR 8330 PCM frame synchronizer), priprema grafičkog prikaza telemetrijskog procesa, izvršavanje akvizicije i

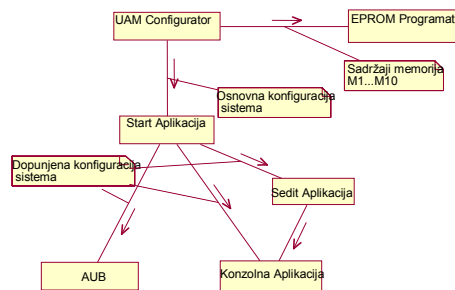
grafički prikaz procesa akvizicije. Programske celine koje izvršavaju ove korake prikazane su na sl. 8.

Konfigurator UAM ima zadatak da omogući unos i izmenu konfiguracije avionskog dela telemetrijskog sistema. Na osnovu ovako definisane konfiguracije formiraju se datoteke za punjenje EPROM memorije. Drugi zadatak ovog programa je da se na osnovu konfiguracije avionskog dela sistema automatski kreira osnovna konfiguracija zemaljske stanice. Za to je neophodno da program omogući povezivanje parametara sistema sa odgovarajućim baždarnim listama i sadržajem baze parametara.

Start ima zadatak da omogući prikaz i dopunu dodatnim elementima osnovne konfiguracije formirane u prethodnom koraku. To se, pre svega, odnosi na dodavanje računatih veličina i definisanje načina njihovog izračunavanja.

Sedit treba da omogući definisanje načina prikaza akvizicionih podataka u procesu akvizicije.

Program za akviziciju, na osnovu definisane konfiguracije, vrši prijem, obradu, zapisivanje i distribuciju podataka u realnom vremenu, u toku leta ili sa trake ili diska u slučaju naknadne obrade podataka.



Sl. 8 – Komponente programske podrške radne stanice telemetrijskog sistema



Program radne stanice ima zadatak da na osnovu definisane konfiguracije i načina prikaza, prima i prikazuje prikupljene podatke, kao i da automatski generiše upozorenja operateru.

*Naknadni prikaz podataka i formatirani izlazi za štampu* moguć je sa svih radnih stanica. Ova funkcija se obavlja putem TCP/IP protokola između osnovnog računara (file server) i radne stanice. Prikaz je grafičkog ili tabelarnog tipa, putem izgleda prozora (templates) koji definiše korisnik. Rad ove funkcije oslanja se na prethodno definisan grafički templates od korisnika u okviru grafičkog editora.

#### *Generisanje prikaza (grafički editor)*

Grafički editor omogućava korisniku generisanje sopstvenih prikaza merenih podataka. Prikazi predstavljaju kombinaciju alfanumeričkih podataka, tabela i grafikona. Generisani prikazi mogu se zapamtiti i naknadno koristiti (templates).

Grafički editor omogućava korisniku definisanje sopstvenih prikaza merenih podataka. Prikazi su organizovani u šeme. Svaka šema predstavlja grupu podataka koji se prikazuju u jednom trenutku (na odvojenom prozoru). Ovu aplikaciju karakteriše fleksibilno grafičko okruženje sa različitim objektima.

#### *Konfigurisanje sistema merenja (definisanje parametara baze podataka)*

Novi pristup omogućuje korisniku da interaktivno, putem korisničke sprege, generiše konfiguraciju sistema, proveri odgovarajuću popunjenost PCM okvira i, po potrebi, izvrši korekciju konfiguraci-

je, a zatim zapiše konfiguraciju sistema u novom formatu. Sistem istovremeno treba da obezbedi kompatibilnost sa postojećim sistemom, čitanjem konfiguracionih UAM datoteka i njihovim prevodnjem u novi format zapisa. Grafički podržana korisnička sprema omogućuje korisniku definisanje svih komponenti sistema: kutija UAM-a, kartica i parametara, tj. mernih veličina. Na osnovu toga će u sledećem koraku moći da se formiraju i pune EPROM memorije.

#### *PREDLOG KONCEPTA REŠENJA TEODOLITSKOG SISTEMA*

Fizička realizacija novog upravljačkog bloka teodolitskog sistema podrazumeva zamenu postojećeg  $\mu$ VAX računara sa industrijskim kompatibilnim računom Pentium, kao i DEC DR11-WA ploča priključenih na  $\mu$ VAX računare, karticama EDT PCI11W.

Aplikacija će se izvršavati na osnovnom računaru, a predviđena je za rad pod Windows 2000/XP operativnim sistemom. Imaće iste mogućnosti kao aplikacija koja je dosad korišćena. Uvažavajući sugestije korisnika koji su radili na starom sistemu, poboljšaće se funkcionalnost aplikacije. Zadržaće se mogućnost učitavanja datoteka koje su sačinjene na starom sistemu, kao što su „testrange“, „preparation“, „mission“ datoteka i druge. U novoj aplikaciji uvešće se novi format zapisa podataka.

#### **Zaključak**

Migracija aplikacija i podataka predstavlja značajan proces koji je tražen od različitih subjekata (velikog broja

kompanija i organizacija) koje su spremne i žele da unaprede svoju IT strukturu, kako bi poboljšale poslovanje. Ovaj proces je izazovan i zbog velikog broja tehničkih i tehnoloških problema koje treba rešiti u kratkom vremenu. Tehnološko unapređenje telemetrijskog i teodolitskog sistema predstavlja primer jednog takvog procesa zahvaljujući kojem se smanjuju troškovi i poboljšava održavanje i unapređenje koje bi povećalo ekonomičnost i efikasnost procesa ispitivanja NVO.

Svrha razvijanja modela je skraćivanje vremena razvoja, odnosno brže rešavanje problema. Model mora da bude dovoljno bogat da omogući predstavljanje svih željenih osobina sistema i dovoljno jednostavan da uz minimalan napor, koji čovek mora da uloži da bi usvojio model, omogući lako uočavanje suštine problema kroz simbole modela.

Metodologija i proces razvoja ovog projekta sledili su Rational Unified Pro-

ces, gde je obezbeđena kontrola interaktivnog i inkrementacionog životnog ciklusa, kroz širi skup uputstava koja se odnose na tehničke i organizacione aspekte, usmerene na analizu zahteva i dizajn. Ovakav pristup je neophodan pri razvoju složenih i obimnih projekata.

Decenija razvoja informatičke tehnologije omogućila je da namenski i veoma skup hardver bude zamenljiv povoljnim komercijalnim i lako dostupnim platformama. Reinženjering real-time softvera nameće se kao značajan problem, pa su pozitivna iskustva postavila standarde čija primena je neophodna.

*Literatura:*

- [1] G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson, The Unified Modeling Language, User Guide, Addison Wesley, 1998.
- [2] Terry Quatrani, Visual Model With Rational Rose 2002 and UML, Addison Wesley
- [3] Booch, Grady, Object Solution. Redwood City, CA: Addison Wesley, 1995.

**Gordana Jurin,**  
dipl. inž.  
**Milorad Pavlović,**  
dipl. inž.  
Vazduhoplovni opitni centar,  
Beograd

## ODREĐIVANJE BUKE RADI SERTIFIKACIJE MLAZNIH AVIONA

UDC: 534.6 : [621.45 : 623.746]

### *Rezime:*

*U radu su prikazane osnovne teorijske postavke i matematički modeli koji su značajni za obradu akustičkih i neakustičkih podataka u procesu određivanja buke mlaznih aviona prema međunarodnom standardu ICAO, Annex 16, za potrebe sertifikacije. Proces obuhvata i postupak eliminacije efekata ambijentalnog šuma iz signala avionske buke. Kao primer, data je praktična primena navedenog postupka na rezultate merenja za avion G-2A.*

*Ključne reči: mlazni avion, avionska buka, ambijentalni šum, metoda merenja, sertifikacija, primena.*

---

## PROCEDURES IN THE NOISE CERTIFICATION OF JET AIRCRAFT

### *Summary:*

*This paper presents a basic theoretical scheme and a mathematical model that is used to calculate jet aircraft noise level for certification purposes in accordance with the international standard ICAO Annex 16. In this process acoustic and nonacoustic data are used. The process also includes the procedure for eliminating ambient noise effects out of the aircraft noise signal. This procedure was applied in the case of noise measurement results for the G-2A jet aircraft.*

*Key words: jet aircraft, aircraft noise, ambient noise, noise measurement, certification, application.*

---

### **Uvod**

Porocedura za sertifikaciju svih vazduhoplova u civilnom saobraćaju po pitanju buke, kao uslov za izdavanje plovidbene dozvole, definisana je međunarodnim i nacionalnim standardima. Glavni međunarodni standard je ICAO, Annex 16, Volume I (International Civil Aviation Organization) čiji je potpisnik i naša zemlja, ponovo od 2001. godine. U ovom standardu date su metode merenja pri sertifikaciji vazduhoplova, dozvolje-

ne maksimalne vrednosti i preporuke za način kontrole nivoa buke u okolini aerodroma. Na osnovu ovih preporuka ažuriraju se svi standardi koji se bave ovom problematikom – JAR 36, FAR Part 36 i svi ostali nacionalni standardi.

Prema našim vazduhoplovnim propisima sertifikacija civilnih letelica koja se odnosi na nivo buke je obavezna, ali su merenja ovog tipa kod nas još uvek retka. Za rad je odabrana kompletna procedura merenja buke mlaznih aviona (kategorija Chapter 3) i rezultati merenja za

avion G-2A ostvareni sa PC kompatibilnim mernim sistemom nove generacije za merenje i obradu akustičkih signala

### **Određivanje nivoa buke mlaznih aviona**

#### *Deskriptori avionske buke*

Krajem šezdesetih godina prošlog veka ICAO je kao standardnu mernu jedinicu za izražavanje nivoa avionske buke, tj. efektivnog nivoa percipirane buke (*Effective Perceived Noise Level – EPNL*), usvojio EPNdB. Ovaj nivo predstavlja meru subjektivnog doživljaja avionske buke u koji su, osim jačine, inkorporirani i bučnost, njeno iritirajuće dejstvo i vreme trajanja.

Nivo EPNL određuje se proračunom PNL (*Perceived Noise Level*, jedinica PN dB), PNLT (*Perceived Noise Level Tone-Corrected*, jedinica TPN dB) i perioda trajanja buke u toku preleta aviona. PNL uzima u obzir varijaciju čujnosti u funkciji frekvencije, PNLT doprinos tonova ili diskretnih frekvencija često prisutnih u ovako kompleksnom zvuku kao što je avionska buka, a EPNL i period trajanja buke.

#### *Uslovi merenja i merenje*

Za potrebe sertifikacije, buka mlaznih aviona se meri u toku faze poletanja

i sletanja, na tri lokacije u okolini aerodroma, sl. 1. Razmeštaj ovih tačaka je sledeći:

– lateralna tačka u fazi poletanja (K1): 450 m bočno od linije poletanja, na poziciji gde je buka maksimalna. Ova tačka se određuje serijom probnih merenja na raznim pozicijama duž merne linije;

– tačka preleta u fazi poletanja (K2): nalazi se na produženoj osi piste na 6,5 km od polazne tačke na pisti;

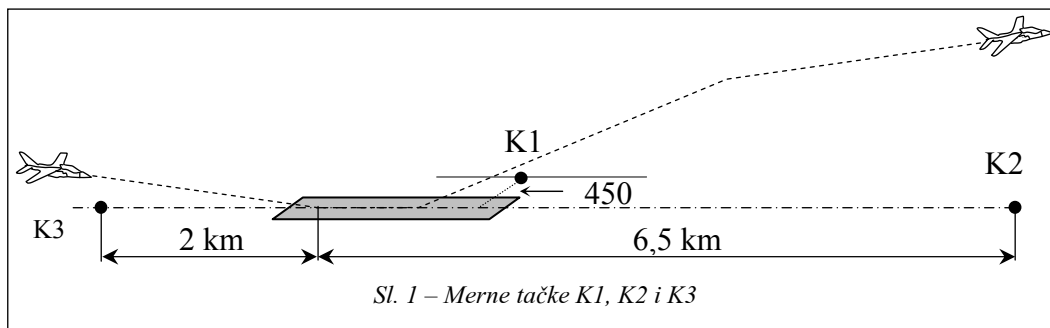
– tačka preleta u fazi sletanja (K3): nalazi se na produženoj osi piste na 2 km od praga piste.

Poletanje se vrši punom snagom motora, a nakon odvajanja aviona od piste prelazi se u penjanje sa konstantnim uglom i brzinom. Po dostizanju visine od 300 m, snaga motora se smanjuje na onu koja obezbeđuje gradijent ugla penjanja od 4%, uz održavanje konstantne brzine. U toku ovog leta konfiguracija aviona se ne menja i jedino je dozvoljeno uvlačenje stajnog trapa.

Sletanje se vrši po standardnoj ILS proceduri. Prelet merne tačke K3 vrši se na visini 120 m, a ugao prilaza je 3° sa dozvoljenim odstupanjem od  $\pm 0,5^\circ$ .

Merenje zahteva opsežnu pripremu koja obuhvata:

– proračun dozvoljenih maksimalnih vrednosti nivoa buke za sve tri tačke



na osnovu relacija datih u standardu i podataka za masu i broj ugrađenih motora na avionu;

– proračun putanje i parametara leta za referentne i uslove merenja, na osnovu podataka datih u standardu i uputu za avion;

– pronalaženje tačne pozicije lateralne tačke K1;

– određivanje mase i centra mase aviona.

Na navedenim mernim mestima pre i nakon snimanja avionske buke obavezno se snima i ambijentalni šum u trajanju od minimalno 10 sekundi koji se kasnije obrađuje na isti način kao i avionska buka. Pored snimanja akustičkih signala, snimaju se i parametri leta (visina, putna brzina, instrumentalna brzina, snaga na poletanju i pri preletu mernog mesta), putanja leta (X, Y, Z koordinate) i meteorološki podaci u vreme merenja (pritisak, temperatura, relativna vlažnost, brzina i smer vetra). Snimanje svih navedenih grupa podataka je istovremeno, sem meteoroloških za koje se uzimaju petnaestominutne srednje vrednosti.

Merenja se vrše u uslovima bez padavina i temperaturnih inverzija, kada je u prostoru između merne tačke i izvora zvuka temperatura u granicama  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $35^{\circ}\text{C}$ , a relativna vlažnost 20% do 95%. Dozvoljena prosečna brzina vetra je 5 m/s maksimalno, a bočna komponenta 3 m/s, mereno na visini 10 m iznad tla. Dozvoljeno atmosfersko slabljenje je 12 dB/100 m maksimalno, na frekvenciji 8 kHz. Razlika nivoa avionske buke i ambijentalnog šuma mora da bude veća od 20 PNdB, a u svim posmatranim tercima ne manja od 3 dB u periodu 10 dB ispod nivoa maksimalne buke.

Minimalan broj merenja je 6 za svaku mernu tačku, pri čemu rezultati moraju zadovoljiti statističke uslove. Dozvoljeno odstupanje je  $\pm 1,5$  EPN dB za granicu poverenja 90%.

#### *Tercna analiza akustičkih signala*

Analiza signala buke i šuma ambijenta vrši se u vremenskom i frekvencijskom domenu.

Za svako merenje zapisi buke se filtriraju tercnim filtrima čije su centralne frekvencije od 50 Hz do 10 kHz, tj. u frekvencijskom opsegu 40 Hz do 11,2 kHz. Ovako filtrirani signali zatim se vode na detektor efektivne vrednosti sa dinamičkom karakteristikom „SLOW“ i linearnom frekvencijskom karakteristikom da bi se dobili signali nivoa zvučnog pritiska *SPL* u funkciji vremena. Zatim se pristupa analizi u vremenskom domenu radi dobijanja podataka o trenutnoj vrednosti *SPL* na svakih 0,5 s, i to za svaku pojedinačnu tercu.

Isti postupak obrade primenjuje se na vremenski zapis signala avionske buke i ambijentalnog šuma.

#### *Proračun EPNL*

Proračun nivoa *EPNL* vrši se po *simplified* ili *integrated* metodi. Po prvoj metodi, koja je u ovom radu prezentirana, normalizovanje na standardne operative i atmosferske uslove (referentni uslovi) vrši se samo u tački detekcije maksimalne buke, nivo *PNLTM*, a po drugoj u svim vremenskim intervalima izračunatog nivoa *PNLTK*.

Prvi korak u proračunu *EPNL* je konverzija dobijenih *SPL(i,k)* vrednosti u percipiranu bučnost – *n(i,k)* [noy] preko matematičkih relacija ili tabela datih u standardu. Za svaki vremenski snimak ove vrednosti se kombinuju za sve tercne opsege po formuli:

$$N(k) = n(k) + 0,15 \cdot \left[ \sum_{i=1}^{24} n(i,k) - n(k) \right] \quad (1)$$

gde je:

*i* – redni broj frekvencijskog opsega (1, 2, ..., 24),

*k* – redni broj vremenskog intervala,

*n(k)* – maksimalna vrednost u *k*-tom vremenskom intervalu,

$\sum_{i=1}^{24} n(i,k)$  – suma vrednosti u svim opsezima.

Ukupna percipirana bučnost *N(k)* zatim se konvertuje u nivo percipirane buke, *PNL(k)*, preko jednačine:

$$PNL(k) = 40,0 + \frac{10}{\log_{10} 2} \cdot \log_{10} N(k) \quad (2)$$

Za spektar avionske buke karakteristična je pojava spektralnih neregularnosti, odnosno izraženih diskretnih tonova čije prisustvo izaziva dodatnu subjektivnu smetnju. Uticaj ovih neregularnosti određuje se u procesu koji se naziva tonska korekcija. Njen koncept zasniva se na analizi nagiba amplituda između susednih terci u posmatranom spektru radi pronalaženja tona sa maksimalnom amplitudom. Identifikacija spektralnih neregularnosti je još jedna ekstremno kompleksna procedura, a dobijeni faktor tonske korekcije *C(k)* koji je frekvencijski zavisian dodaje se vrednosti *PNL(k)*, čime

se dobija tonski korigovani percipirani nivo buke *PNLT(k)* i izražava u TPNdB, relacija (3):

$$PNLT(k) = PNL(k) + C(k) \quad (3)$$

Tonska korekcija primenjuje se samo na tonske neregularnosti koje potiču od posmatranog izvora – aviona, pa se zbog toga vrše dodatna testiranja, koja obuhvataju identifikaciju izvora ovih neregularnosti i njihovu eliminaciju kada izvor nije avion.

U okviru procesa tonske korekcije proverava se i da li je identifikovani diskretni ton istovremeno prisutan u dva opsega. To se događa kada je frekvencija tona granična frekvencija dva opsega, usled čega se njegova energija proširuje na oba opsega, a posledica je prigušeni pik. Ova provera se primenjuje samo u intervalu u kojem je detektovana maksimalna buka, nivo *PNLTM*. Problem se rešava zamenom prvobitno izračunatog *C(k)* sa usrednjenom vrednošću za 5 uzastopnih intervala, dva pre i dva posle maksimuma.

Kako ukupan subjektivni osećaj jačine buke vazduhoplova zavisi ne samo od maksimalnog nivoa i spektralnog sastava, već i od njenog trajanja, uvodi se i uticaj vremena. Ukupni subjektivni osećaj jačine buke vazduhoplova označava se kao efektivni percipirani nivo buke *EPNL* i definiše kao:

$$EPNL = 10 \log \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{PNLT}{10}} \cdot dt \quad (4)$$

Integracija se vrši u intervalu  $t_1 - t_2$  u kojem je nivo  $PNLT(k) \geq PNLTM - 10$  dB.

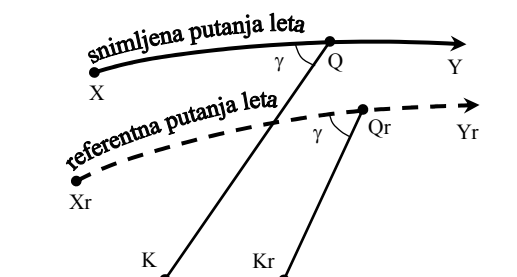
Najzad se, uz korišćenje podataka o temperaturi, vlažnosti, pritisku i ostalih

neakustičnih podataka, vezanih za putanju i parametre leta, izračunata vrednost *EPNL* normalizuje na standardne operativne i atmosfere uslove. Ovaj postupak naziva se korekcija.

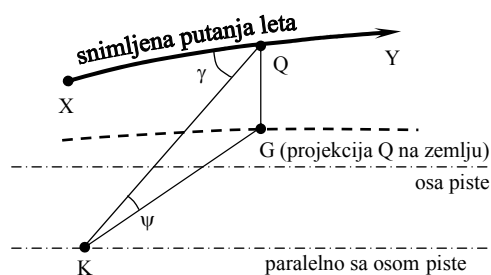
### Korekcija

Nivo slabljenja zvuka pri prostiranju kroz atmosferu zavisi od mnogobrojnih faktora koji se različito odražavaju na njegov spektralni sadržaj. Među njima su najznačajniji udaljenost izvora, stanje atmosfere, karakteristike podloge. Iz navedenih razloga standardom su definisani referentni uslovi i uslovi merenja, kao i način korekcije izmerenog nivoa buke, kada navedeni uslovi nisu identični u pogledu stanja atmosfere, putanje leta, relativne brzine aviona u odnosu na merno mesto i parametara motora kao generatora buke. Efekat navedenih odstupanja direktno se odražava na stepen slabljenja i period trajanja buke.

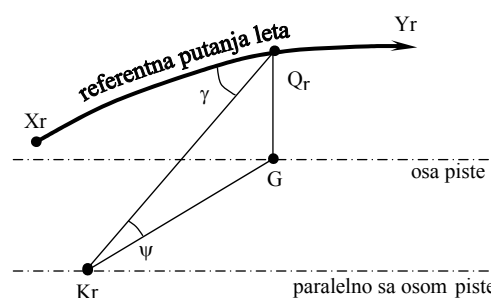
Korekciji se pristupa nakon obrade zapisa signala buke i proračuna *EPNL* u uslovima merenja. Postupak obuhvata izračunavanje korekcija koje se algebarski dodaju na *EPNL*, da bi se kao rezultat dobila vrednost *EPNL* u referentnim operativnim i atmosferskim uslovima, relacija (4):



Sl. 2 – Šematski prikaz putanja leta i pozicija aviona u trenutku detekcije maksimalne buke, za tačku K2 ili K3



a) putanja leta u uslovima merenja



b) referentna putanja leta

Sl. 3 – Šematski prikaz putanja leta i pozicija aviona u trenutku detekcije maksimalne buke za lateralnu tačku K1

$$EPNLr = EPNL + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \quad (5)$$

gde je:

*EPNLr* – nivo buke u referentnim uslovima,

*EPNL* – nivo buke u uslovima merenja,

$\Delta_1$  – korekcija za meteorološke i propagacione uslove,

$\Delta_2$  – korekcija za period trajanja pojave,

$\Delta_3$  – korekcija za motor kao izvor buke.

Ovaj postupak se primenjuje za svako pojedinačno merenje.

Za proračun korekcija  $\Delta_1$  i  $\Delta_2$  potrebno je prethodno odrediti udaljenost izvora od tačke prijema u momentu detekcije maksimalne buke, i u uslovima merenja i referentnim uslovima. Na sl. 2 i sl. 3 dat je šematski prikaz snimljene i referentne putanje leta, kao i položaj avi-

ona (Q) u odnosu na merno mesto (K) u vreme kada je buka maksimalna, za tačku preleta K2 ili K3 i lateralnu tačku K1, respektivno. Udaljenosti  $QK$  i  $QrKr$  predstavljaju propagacione puteve zvučnih talasa u uslovima merenja i referentnim uslovima, respektivno.

Kod proračuna ovih udaljenosti polazi se od pretpostavke da  $QK$  i  $QrKr$  formiraju iste uglove sa putanjama leta, ugao  $\gamma$ . To važi za sva merna mesta, dok se u slučaju lateralnog merenja buke uzima da  $QK$  i  $QrKr$  formiraju i iste uglove sa površinom zemlje –  $\psi$ .

Korekcijom  $\Delta_1$  obuhvaćen je uticaj atmosferskih uslova i putanje leta, tj. njihova odstupanja od referentnih uslova. Navedena korekcija se primenjuje na vrednosti nivoa zvučnog pritiska –  $SPL(i)$  u svim tercama u opsegu od 40 Hz do 12,5 kHz u intervalu u kome je detektovana maksimalna buka, nivo  $PNLTM$ . Proračun se vrši prema relaciji (5). Drugi član ove relacije odnosi se na efekat promene koeficijenta atmosferskog slabljenja, treći na uticaj standardnog atmosferskog slabljenja na promenu dužine propagacionog puta i četvrti na zakonitost da je nivo buke obrnuto srazmeran kvadratu rastojanja.

$$SPL(i)_C = SPL(i) + 0,01 \cdot [\alpha(i) - \alpha(i)_0] \cdot QK + 0,01 \cdot \alpha(i)_0 \cdot (QK - QrKr) + 20 \cdot \log \left( \frac{QK}{QrKr} \right) \quad (6)$$

gde je:

$i$  – redni broj terce,

$SPL(i)_C$  – korigovani nivo zvučnog pritiska,

$SPL(i)$  – izmereni nivo zvučnog pritiska,

$\alpha(i)$ ,  $\alpha(i)_0$  – koeficijent atmosferskog slabljenja u uslovima merenja i referentnim, respektivno, u dB/100m,

$QK$ ,  $QrKr$  – udaljenost avion – mikrofona u uslovima merenja i referentnim, respektivno, u metrima.

Koeficijenti atmosferskog slabljenja  $\alpha(i)$  i  $\alpha(i)_0$  izračunavaju se za svaku pojedinačnu tercu na osnovu relacija (7) i (8) i podataka datih u standardu, pri čemu se za ulazne podatke uzimaju temperatura ( $\theta$ ) izražena u °C i relativna vlažnost vazduha ( $h$ ) u procentima u vreme merenja i referentnim uslovima, respektivno.

$$\alpha(i) = 10^{\left[ 2,05 \log \left( \frac{f_0}{1000} \right) + 1,1394 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 1,916984 \right]} + \eta(\delta) \cdot 10^{\left[ \log(f_0) + 8,42994 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 2,755624 \right]} \quad (7)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1010}{f_0}} \cdot 10^{\left( \log h - 1,328924 + 3,179768 \cdot 10^{-2} \cdot \theta \right)} \times 10^{\left( -2,173716 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 + 1,7496 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 \right)} \quad (8)$$

Nakon izvršene korekcije ponovo se izračunava nivo maksimalne buke ( $PNLTr$ ) sa novim korigovanim vrednostima  $SPL(i)_C$ . Razlika nivoa  $PNLTr$  i  $PNLTM$  predstavlja vrednost korekcije  $\Delta_1$  u (4):

$$\Delta_1 = PNLTr - PNLTM \quad (9)$$

Pri primeni ove metode (simplified), da bi se izbegle moguće greške u određivanju  $EPNL$  nivoa u referentnim uslovima, primenjuju se i dodatne  $\Delta_1$  korekcije na sve pikove nivoa  $PNLTM$  – 2 dB u intervalu  $PNLTM$  – 10 dB. U svim ovim pikovima vrši se korekcija  $SPL(i, k_{pik})$ , nakon čega se izračunavaju



$PNLTr(k_{pik})$  vrednosti. Ukoliko je korigovani  $PNLTr(k_{pik})$  veći od korigovanog  $PNLTr$  u maksimumu, tada se ta razlika dodaje izmerenom nivou  $EPNL$ . Kada ima više pikova uzima se maksimalna razlika.

Iznos  $\Delta_2$  predstavlja korekciju za razliku u dužini trajanja pojave u uslovima merenja i referentnim uslovima, što je posledica odstupanja putanje leta i putne brzine od referentnih vrednosti. Proračun se vrši samo za podatke u tački maksimuma, tj. kada je ostvaren  $PNLTM$  nivo, prema relaciji:

$$\Delta_2 = -7,5 \cdot \log(QK/QrKr) + 10 \cdot \log(V/Vr) \quad (10)$$

gde je:

$V$  (km/h) – putna brzina aviona u vreme merenja,

$Vr$  (km/h) – putna brzina aviona u referentnim uslovima.

Korekcija  $\Delta_3$  obuhvata uticaj emisisonog parametra motorske buke  $\mu$ , kao i svih relevantnih parametara (masa aviona, brzina i visina, spoljna temperatura) koji utiču na motor kao izvor buke, ukoliko znatno odstupaju od referentnih vrednosti. Maksimalno dozvoljena odstupanja su: 28 km/h za brzinu, 1 EPNdB za masu na poletanju i 2 EPNdB za masu na sletanju.

### **Eliminacija efekata ambijentalnog šuma**

Podaci o nivou ambijentalnog šuma u vreme merenja avionske buke izuzetno su značajni za ocenu validnosti rezultata merenja. Rezultati se smatraju validnim samo kada je ambijentalni šum najmanje za 20 PN dB ispod maksimuma avionske

buke i kada je nivo zvučnog pritiska avionske buke u svim tercama (50 Hz do 10 kHz) i u svim vremenskim intervalima (korak 0,5 s) za period 10 dB ispod maksimuma avionske buke ( $PNLTM$  nivo) bar 3 dB iznad srednje vrednosti ambijentalnog šuma. Pri tome je važno da u ovom periodu ne dođe do maskiranja pojedinih spektralnih komponenti avionske buke, a samim tim i netačnog konačnog rezultata. Prvi uslov je lako ostvariti, ali ne i drugi. U tom slučaju neophodno je primeniti neku od metoda za njegovu eliminaciju koja obuhvata:

- identifikaciju maskiranih podataka,
- podešavanje nemaskiranih podataka na vrednosti koje bi bile bez prisustva ambijentalnog šuma,
- zamenu i rekonstrukciju maskiranih nivoa postupkom frekvencijske ili vremenske ekstrapolacije.

Navedenom procesu pristupa se nakon terčne analize avionske i ambijentalne buke i dobijanja  $SPL(i, k)$  vrednosti i pre primene bilo koje korekcije vezane za mernu opremu, atmosfersko i propagaciono slabljenje.

### *Pojava i uzroci maskiranja*

Poznato je da sa porastom frekvencije amplituda zvučnog pritiska u spektru avionske buke merene na zemlji opada, a u spektru električnog šuma merne opreme raste. Posledica toga je pojava maskiranih podataka i to u višem delu spektra avionske buke. Verovatnoću njihovog pojavljivanja povećava i ambijentalni šum prisutan u vreme merenja.

Glavni uzrok slabljenja spektralnih komponenti akustičkog signala je atmosferska apsorpcija energije zvučnog talasa u

toku njegove propagacije od izvora do primjenika. Stepenn ovog slabljenja zavisi od trenutnih meteo uslova. Pored atmosferskog značajno je i propagaciono slabljenje koje je direktno srazmerno kvadratu rastojanja od izvora i ne može se zanemariti kada je ta udaljenost veća od 200 m.

Navedena slabljenja imaju manji uticaj na određivanje buke aviona sa klipnoelisnim pogonskim grupama, jer su u spektru buke ovih aviona više izražene spektralne komponente u nižem delu spektra, za razliku od mlaznih aviona gde su izraženije komponente u višem delu.

Uticaj atmosferskog i propagacionog slabljenja ne samo da nije isti za različite tipove aviona, već nije isti ni na mernim mestima za isti tip aviona. Odnosi nivoa ambijentalnog šuma i maksimalne buke istog aviona za standardom propisana merna mesta K1, K2 i K3 se međusobno razlikuju, čak i pod pretpostavkom da je nivo ambijentalnog šuma isti. Razlike u detektovanoj maksimalnoj buci su očekivane i posledica su razlika u režimu rada avionskog motora, udaljenosti aviona od mernog mesta, ugla putanje leta i ugla propagacije zvučnih talasa.

#### *Identifikacija maskiranih podataka i kriterijumi maskiranja*

Identifikacija maskiranih podataka vrši se na osnovu odgovarajućeg kriterijuma koji se definiše za svaki pojedinačni opseg u posmatranom spektru avionske buke. Kriterijum maskiranja utvrđuje se na osnovu podataka za pre-detection i post-detection šum, koji predstavljaju dve komponente background šuma ustanovljene tokom merenja avionske buke.

Background šum predstavlja kombinovani šum u mernom sistemu, koji uključuje sve izvore izuzev aviona koji se testira i koji ima različit uticaj na spektralni sadržaj avionske buke. Tipični elementi background šuma su: ambijentalni šum i analitički šum mernog sistema. Prvi se kategoriše i kao pre-detection šum, jer ima energetski uticaj na komponente spektra avionske buke, dok drugi kategorisan kao post-detection šum, nema navedeni uticaj ali može da naruši svojstva izmerenog signala. Post-detection šum predstavlja i minimalni nivo ispod kojeg se izmereni nivoi buke smatraju neupotrebljivim.

Standardom je propisano da se reprezentativna svojstva pre-detection šuma dobijaju merenjem u trajanju od minimalno 10 s, a optimalno 30 s neposredno pre i nakon ispitnih letova. Ovi snimci treba da reprezentuju akustičku buku pozadine i električni šum, kao sastavne komponente pre-detection šuma u vreme merenja avionske buke. Konfiguracija i postavljeni parametri na mernom sistemu u toku snimanja i postupka obrade moraju biti identični uslovima snimanja i obrade avionske buke. Dobijeni podaci u snimljenom intervalu usrednjavaju se po tercima i kao takvi se koriste u postupku identifikacije.

Pre utvrđivanja kriterijuma maskiranja, proverava se validnost svih terčnih podataka pre-detection šuma. Za ovu proveru koriste se podaci za post-detection šum koje najčešće daje proizvođač zbog složenosti njegovog određivanja. Uslov validnosti pre-detection šuma jeste da je njegov nivo viši od nivoa post-detection šuma u posmatranom opsegu. Kada je

ovaj uslov ispunjen, kriterijum za utvrđivanje da li je podatak u avionskom spektru maskiran ili ne jeste nivo pre-detection šuma uvećan za 3 dB, a u suprotnom nivo post-detection šuma uvećan za 1 dB.

U procesu identifikacije, za maskirani podatak u avionskom spektru se proglašava vrednost  $SPL(i, k)$  koja je jednaka ili manja od vrednosti definisane navedenim kriterijumom. Pozicija maskiranog podatka, odnosno vremenski interval i opseg memorišu se radi predstojećih koraka korekcije.

Pojava prvog maskiranog podatka u višem delu frekvencijskog opsega (jedna od terci sa centralnom frekvencijom od 800 Hz do 10 kHz), obično je indikacija da su i podaci u svim narednim tercama maskirani. Ova pretpostavka zasnovana je na činjenici da atmosfersko i propagaciono slabljenje raste sa porastom frekvencije akustičkog signala. Međutim, nije isključena ni pojava nemaskiranih podataka kao posledica varijacije akustičkog šuma pozadine ili diskretnih tonova čiji je izvor avion. Prvi slučaj se zanemaruje, a drugi se prijavljuje nadležnim institucijama za sertifikaciju aviona po pitanju buke.

Pozicija prvog maskiranog podatka u višem delu spektra važna je za definisanje „poslednjeg dobrog opsega“ (LGB – Last Good Band), a samim tim i izbora načina korekcije ovih podataka. Za LGB se usvaja opseg pre opsega sa prvim maskiranim podatkom, dok se svi naredni opsezi, bez obzira na rezultate testiranja, prema prethodnom objašnjenju smatraju maskiranim.

Svi navedeni postupci primenjuju se na spektralne zapise avionske buke u svim intervalima, korak 0,5 s, značajnim za proračun *EPNL*.

### *Proces podešavanja*

Za svaki nemaskirani opseg do LGB, uključujući i njega, gde je istovremeno validan i pre-detection šum, vrši se podešavanje izmerene vrednosti zvučnog pritiska avionske buke –  $SPL_{avion+šum}(i, k)$  na one koje bi bile bez prisustva navedenog šuma –  $L_{pre-detection}(i)$ . Procedura se zasniva na utvrđivanju njihove razlike na energetske osnovi:

$$10 \cdot \log \left[ 10^{(SPL_{AVION+ŠUM}(i,k)/10)} - 10^{(L_{pre-detection}(i)/10)} \right] \quad (11)$$

Na ovako korigovane  $SPL(i, k)$  vrednosti dalje slede frekvencijski zavisna podešavanja diktirana karakteristikama merne opreme, poput frekvencijskog odziva sistema, free-field odziva mikrofona i uticaja štitnika za vetar. Time se formira osnova za rekonstrukciju maskiranih podataka u svim intervalima. Sam postupak rekonstrukcije zavisi od lokacije maskiranog podatka u spektru.

### *Rekonstrukcija maskiranih podataka*

U postupku rekonstrukcije vrši se zamena onih izmerenih podataka koji su identifikovani kao maskirani sa vrednostima koje bi bile izmerene u uslovima bez pre-detection šuma. Ove vrednosti određuju se računskim putem. Postupak izračunavanja zavisi od pozicije maskiranog podatka u spektru.

Za niže frekvencijske opsege (50 Hz – 630 Hz) rekonstrukciji podležu samo pojedinačni maskirani podaci, ukoliko su okruženi validnim, pri čemu se za novu vrednost dodeljuje njihova aritmetička sredina. U protivnom standard ne propi-

suje drugi način rekonstrukcije, tako da više uzastopnih maskiranih podataka ostaje i dalje markirano kao maskirani.

Pri rekonstrukciji maskiranih podataka u višim frekvencijskim opsezima (800 Hz – 10 kHz), u zavisnosti od spektralnog položaja LGB-a, primenjuju se dve metode:

– frekvencijska ekstrapolacija, kada je LGB u opsezima 2 kHz do 8 kHz,

– vremenska ekstrapolacija, kada je LGB u opsezima 630 Hz do 1,6 kHz.

Za proračun rekonstruisanih vrednosti primenom ovih metoda potrebni su i podaci za atmosfersko slabljenje i rastojanje avion – mikrofona u vreme detekcije maskiranog signala.

Svi rekonstruisani i podaci koji su i dalje ostali maskirani u nižim i višim frekvencijskim opsezima se markiraju radi predstojećih koraka tonske korekcije i validacije rezultata merenja.

#### *Frekvencijska ekstrapolacija*

Frekvencijska ekstrapolacija primenjuje se u slučaju kada je frekvencija LGB opsega jednaka ili veća od 2 kHz i obuhvata rekonstrukciju svih opsega iznad njega u posmatranom spektru.

Metoda je bazirana na pretpostavci da je na rastojanju 60 m od izvora u referentnim atmosferskim uslovima (25°C i 70% relativna vlažnost) spektar avionske buke ravan u opsezima 2 kHz do 10 kHz.

Analitički izraz za proračun rekonstruisanih vrednosti svih maskiranih signala u opsezima iznad LGB opsega dat je sledećom relacijom:

$$SPL_C(i,k) = SPL(j,k) + [\alpha(j) - \alpha(i)] \cdot \frac{R(k)}{100} + [\alpha(i)_{ref} - \alpha(j)_{ref}] \cdot \frac{60}{100} \quad (12)$$

gde je:

$i$  – redni broj terce sa maskiranim podatkom,

$k$  – redni broj vremenskog intervala za maskirani podatak,

$j$  – redni broj LGB terce u trenutku  $k$ ,

$SPL_C(i,k)$  – rekonstruisani nivo maskiranog signala, u dB,

$SPL(j,k)$  – LGB nivo sa unetim korekcijama za atmosferske uslove, pre-detection šum, mernu opremu,

$\alpha(i)$ ,  $\alpha(i)_{ref}$  – koeficijent atmosferskog slabljenja za  $i$ -tu tercu u uslovima merenja i referentnim, respektivno, u dB/100 m,

$\alpha(j)$ ,  $\alpha(j)_{ref}$  – koeficijent atmosferskog slabljenja za LGB opseg u uslovima merenja i referentnim, respektivno, u dB/100 m,

$R(k)$  – rastojanje avion – mikrofona u trenutku  $k$ , u metrima.

#### *Vremenska ekstrapolacija*

Vremenska ekstrapolacija primenjuje se u slučaju kada je pozicija LGB opsega u rasponu od 630 Hz do 1,6 kHz i obuhvata rekonstrukciju svih maskiranih podataka u opsezima iznad njega. Metoda je bazirana na pretpostavci da je tokom preleta avionski spektar omnidirekcionalan. Za ovu metodu je karakteristično da se analizira pozicija maskiranog podatka u odnosu na vremenski najbliži validan podatak u istom opsegu. Formula za proračun data je relacijom (13) uz napomenu da je nivo  $SPL$  validnog podatka prethodno podešen za uticaj pre-detection šuma i karakteristika merne opreme.

$$SPL_C(i,k) = SPL(i,m) + \left[ \frac{R(m)}{100} - \frac{R(k)}{100} \right] \cdot \alpha(i) + 20 \log \left[ \frac{R(m)}{T(k)} \right] \quad (13)$$

gde je:

$i$  – redni broj terce maskiranog i 1. validnog podatka,

$k$  – redni broj vremenskog intervala u kome je detektovan maskirani podatak,

$m$  – redni broj najbližeg vremenskog intervala sa validnim podešenim nivoom,

$SPL_C(i,k)$  – rekonstruisan nivo maskiranog signala, u dB,

$SPL(i,m)$  – validan i podešen nivo u  $m$ -tom intervalu, najbliži maskiranom u istoj terci, u dB,

$\alpha(i)$  – koeficijent atmosferskog slabljenja u uslovima merenja, u dB/100 m,

$R(k)$  – rastojanje avion – mikrofona u intervalu  $k$ , u metrima,

$R(m)$  – rastojanje avion – mikrofona u intervalu  $m$ , u metrima.

Za primenu vremenske ekstrapolacije važno je napomenuti da najniža frekvencija LGB opsega može biti 630 Hz. U slučaju kada su maskirani opsezi 630 Hz i 800 Hz, rekonstrukcija maskiranih podataka se ne može izvršiti.

Nakon podešavanja i rekonstrukcije podataka slede koraci proračuna do dobijanja vremenski zavisnog nivoa  $PNLT(k)$  – tonski korigovani nivo percipirane buke, pri čemu su uključeni podaci iz svih opsega, bilo da sadrže validne, rekonstruisane ili maskirane podatke. Ovi podaci su uključeni i u postupak svodenja konačnog rezultata na referentne atmosferske i propagacione uslove.

### Zahtevi i ograničenja

Rekonstrukcijom maskiranih podataka uklonjeni su efekti ambijentalnog šuma iz signala avionske buke.

Rezultati prethodno opisanih procedura su podešeni, rekonstruisani i maskirani podaci, čije pozicije i vrednosti su značajne za proračun konačnog rezultata, nivoa  $EPNL$ . Zbog i daljeg prisustva maskiranih podataka, proračun faktora tonske korekcije,  $C(k)$ , usložava se.

Vrednost jednog od rekonstruisanih podataka u višim frekvencijskim opsezima može biti identifikovana kao ton sa maksimalnom amplitudom u posmatranom spektru. Međutim, pošto je ovaj ton lažan i izračunata vrednost za faktor tonske korekcije  $C(k)$  je netačna. Ovaj problem se ne može rešiti jednostavnim izjednačavanjem  $C(k)$  sa nulom. Eliminacija uticaja ovih podataka na proces tonske korekcije može se rešiti na jedan od sledeća dva načina:

– tonska korekcija se vrši samo do terce identifikovane kao LGB, pri čemu su obuhvaćeni i svi rekonstruisani i maskirani podaci do LGB opsega,

– faktor  $F$  (međukorak u procesu proračuna  $C(k)$ ) izjednačava se nulom, kada se utvrdi da je maksimalan ton identifikovan u terci sa maskiranim ili rekonstruisanim podatkom, nakon čega se postupak proračuna  $C(k)$  ponavlja.

Prisustvo rekonstruisanih i maskiranih podataka u intervalu  $PNLTM - 10$  dB koji je važan za proračun  $EPNL$  utiče na ocenu validnosti merenja. Rezultati merenja se odbacuju ukoliko je samo jedan spektar nevažeci u pomenutom intervalu, a to podrazumeva da su:

– postojali zahtevi za rekonstrukcijom u više od četiri treće u jednom od intervala  $k$  u periodu  $PNLTM \pm 1s$  (5 intervala od 0,5 s) ili je LGB lociran u terca ma sa centralnim frekvencijama do 4 kHz, uključujući i nju;

– podaci i dalje maskirani nakon primenjenog postupka rekonstrukcije u više od četiri treće.

### Rezultati merenja

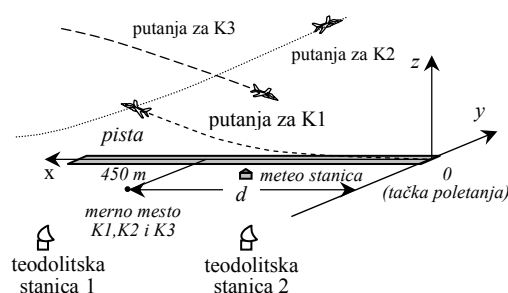
Navedena metoda proračuna nivoa buke *EPNL* uz eliminaciju efekata ambijentalnog šuma primenjena je na rezultate merenja buke aviona G-2A. Zbog obimnosti podataka, po 6 merenja za merna mesta K1, K2 i K3, rezultati su prezentirani samo za jedan od letova u mernoj tački K3 (tačka preleta u fazi slentanja).

Avion G-2A, prikazan na sl. 4, dozvučni je mlazni avion sa jednim ugrađenim motorom, tipa VIPER 22-6. Ovaj avion je u sastavu našeg ratnog vazduhoplovstva i ne podleže sertifikaciji koja se odnosi na nivo buke. Međutim, pošto se od nedavno koristi u civilnom saobraćaju ovaj sertifikat je neophodan.

Buka aviona G-2A za propisana merna mesta K1, K2 i K3, iz organizaci-



Sl. 4 – Avion G-2A



Sl. 5 – Scenario merenja buke G-2A

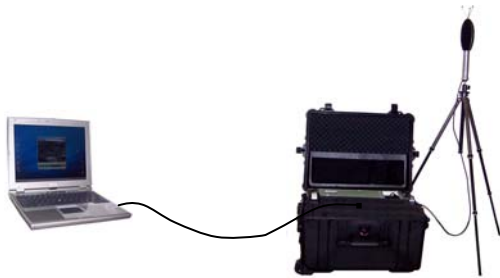
onih razloga snimana je na lokaciji koja odgovara lateralnoj mernoj tački K1 uz simulaciju standardom predviđenih putanja za K2 i K3 (sl. 5).

Merenja su realizovana u vreme kada u zoni ispitivanja nije bilo letenja, niti pokretanja motora vazduhoplova. Za akustičku proveru mernog sistema korišćen je kalibracioni signal pistonfona, nivoa 124 dB (re 20  $\mu$ Pa) na 250 Hz. Mikrofonski je postavljen na propisanu visinu 1,2 m iznad tla, pod uglom incidencije od  $90^\circ$  u odnosu na pravac prostiranja zvučnih talasa.

Za merenje i analizu avionske buke i ambijentalnog šuma korišćena je oprema firme Brüel & Kjær, sistem za monitorisanje buke, tip NMT 3637B, u čijem sastavu je:

- mikrofonska jedinica za spoljašnju upotrebu sa kablom dužine 10 m, tip 4198 (mikrofon tip 4189, pretpojačavač tip 2669 i štitnik od vetra tip UA1404),
- stalak za mikrofon, tip UA 0801,
- analizator nivoa buke, tip 4441,
- sistem kontroler, tip UL 0219,
- GPS prijemnik sa antenom, tip ZD 0871.

Softverom 7802 Brüel & Kjær sistem je setovan za rad sa linearnom frekvencijskom skalom, SLOW dinamičkom karakteristikom i tercnim filtrima za



Sl. 6 – Konfigurisanje i transfer podataka sa NMT na PC

dobijanje nivoa zvučnog pritiska sa ekvivalentnim razmacima od 0,5 s (sl. 6). Frekvencijska analiza je vršena filtriranjem detektovanih signala buke sa digitalnim filtrima u on-line postupku (analyzer 4441). Izmerene vrednosti za ekvivalentni nivo buke i rezultati terčne analize u realnom vremenu memorisani su na disk računara (sistem kontroler UL 0219) sa korakom 1 s i 0,5 s, respektivno. Svi snimljeni i obrađeni podaci merenja preneti su sa NMT sistema na notebook računar pomenutim softverom. Računska obrada terčnih podataka za avionsku buku i pre-detection šum obavljena je u MatLab paketu.

Putanja aviona snimana je optoteodolitskim sistemom „SKYTRACK“, firme Contraves iz Švajcarske, koji čine dve teodolitske stanice na međusobnom rastojanju od 2 km. Izračunavanje koordinata sa korakom 0,5 s vrši se rešavanjem mreže trouglova metodom triangulacije.

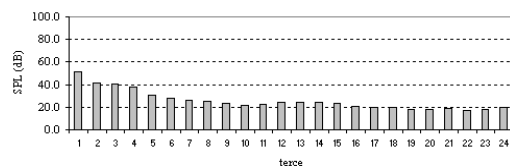
Meteorološki podaci u vreme merenja preuzeti su od aerodromske meteo službe. Snimanje avionske buke sinhronizovano je sa snimanjem putanje leta.

Za potrebe računске obrade podataka za buku u paketu MatLab, proračunati

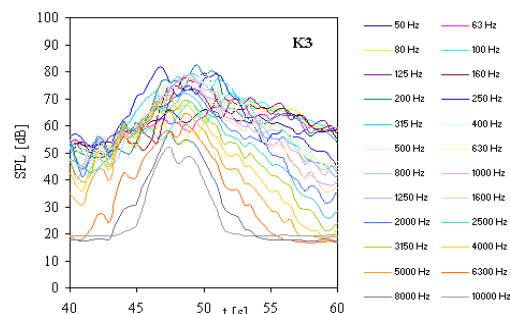
su i putanja leta i parametri aviona za referentne uslove i uslove merenja na osnovu podataka datih u standardu i uputstvu za upravljanje avionom.

U zapisima avionske buke identifikovani su maskirani podaci. Identifikacija je vršena po kriterijumu + 3 dB u odnosu na prosečnu vrednost pre-detection šuma koji je snimljen pre i nakon ispitnog leta u trajanju od 30 s. Na sl. 7 prezentirane su srednje vrednosti ovog šuma po tercama, a na sl. 8 za avionsku buku. Validnost pre-detection šuma utvrđena je u procesu poredenja njegovih terčnih podataka sa podacima za post-detection šum koji su preuzeti od proizvođača.

Nakon identifikacije maskiranih podataka izvršena su podešavanja validnih podataka, koja podrazumevaju oduzimanje energije pre-detection šuma i unošenje korekcija za mikrofonsku jedinicu 4198 pri uglu incidencije 90°. Svi identifikovani maskirani podaci su rekonstruisani metodom frekvencijske ekstrapolacije.



Sl. 7 – Pre-detection šum



Sl. 8 – Snimljeni terčni podaci za avionsku buku

Tabela 1

## Raspored rekonstruisanih i maskiranih podataka

Granice posmatranih perioda	LGB	Zahtevi za rekonstrukciju u periodu PNLTM – 10 dB		Maskirani i posle rekonstrukcije u periodu PNLTM – 10 dB		Metoda rekonstrukcije
	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>i</i>	
$k_1 \div (k_{max}-2)$	24	-	-	-	-	-
$k_{max} \pm 2$	24	-	-	-	-	-
$(k_{max}+2) \div k_2$	23	47, 48	24	-	-	frekvencijska

Tabela 2

## Parametri aviona i uslova okoline

Merno mesto	<i>QK</i> (m)	<i>QrKr</i> (m)	<i>H</i> (m)	<i>Hr</i> (m)	<i>V</i> (km/h)	<i>Vr</i> (km/h)	Meteo podaci	
							u vreme opita	referentni
K3	196,9	230,4	90,6	109,7	217,2	229,0	28,2°C, 38%, vetar 2,5 do 3 m/s	25°C, 70 %, vetar 0 m/s

Tabela 3

## Konačni rezultati merenja

Primenjena metoda eliminacije šuma	<i>C</i> (dB)	<i>PNLTM</i> (TPNdB)	<i>k<sub>1</sub></i>	<i>k<sub>max</sub></i>	<i>k<sub>2</sub></i>	$\Delta_1$ (dB)	$\Delta_2$ (dB)	Pozicija aviona u toku opita			<i>EPNL</i> (EPNdB)	<i>EPNL<sub>r</sub></i> (EPNdB)
								<i>QK</i> (m)	$\gamma$ (°)	$\psi$ (°)		
ne	1,9208	98,74219	33	38	48	-1,3355	0,3269	196,9	153,3	28,2	94,3	93,3
da	1,9209	98,74048	33	38	48	-1,3357	0,3269				94,3	93,3

Gde je:

*H, Hr* (m) – visina leta u uslovima merenja i ref. uslovima, *k<sub>1</sub>* i *k<sub>2</sub>* – red. br. intervala na granicama perioda *PNLTM*-10dB, *k<sub>max</sub>* – red. br. intervala za *PNLTM*,  $\gamma$  (°) – ugao emisije zvučnih talasa,  $\psi$  (°) – elevacioni ugao prijema zvučnih talasa.

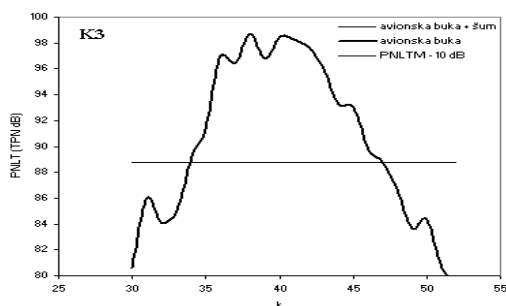
Izračunate su vrednosti PNL(*k*) za avionsku buku i pre-detection šum, pri čemu su uključeni podaci iz svih opsega, bilo da sadrže validne, rekonstruisane ili maskirane podatke. Poređenjem maksimalnih vrednosti utvrđeno je da je ova razlika veća od minimalno dozvoljenih 20 PN dB.

U vremenskim intervalima, gde su u višim opsezima identifikovani maskirani podaci, tonska korekcija je vršena do LGB. Time je eliminisan jedan od mogućih izvora lažnih tonova što je potvrđeno vrednostima *C(k)* koje variraju u rasponu većem od indikativnih 0,2 dB do 0,6 dB i njihovim neznatnim razlikama sa i bez eliminacije šuma.

Ishod procesa tonske korekcije je tonski korigovani nivo percipirane buke *PNLT(k)*, sl. 9, nakon čega je izračunat nivo *EPNL* za uslove merenja. Efekat eliminacije *pre-detection* šuma nije se odrazio na konačan rezultat, nivo *EPNL*, jer je mali broj podataka bio maskiran, a zatim rekonstruisan, a 2 podatka su u spektrima na granici perioda *PNLTM* – 10 dB (tabela 1).

Potvrda uspešnosti primenjenog procesa eliminacije efekata pre-detection šuma, a istovremeno i validnosti uslova merenja, je broj podataka koji su ostali maskirani, broj zahteva za rekonstrukcijom i pozicija LGB u spektru u periodu *PNLTM* – 10 dB. Za ovu mernu tačku





Sl. 9 – PNLTM(k) nivo sa i bez pre-detection šuma

propisani zahtevi u potpunosti su zadovoljeni, jer nijedan podatak nije ostao maskiran u periodu PNLTM – 10 dB, broj zahteva za rekonstrukcijom manji je od 4 i lokacije svih LGB su u tercama iznad 4 kHz (redni broj terce je veći od 20) u periodu PNLTM ± 1 s (tabela 1).

Za proračun EPNL u referentnim uslovima korišćeni su meteo podaci, putna brzina i udaljenost aviona od mernog mesta. Vrednosti ulaznih parametara potrebnih za svodjenje na referentne operative i ambijentalne uslove dati su u tabeli 2. Konačni rezultati merenja sa svim relevantnim međurezultatima proračuna, sa i bez primene procesa eliminacije efekata ambijentalnog šuma, dati su u tabeli 3.

Primenom izloženog postupka proračuna EPNL, proces određivanja ovog nivoa za posmatranu mernu tačku nije završen. Za dobijanje konačnog rezultata potrebno je najmanje šest merenja, pri čemu rezultati moraju zadovoljiti statističke uslove. Traženi nivo je srednja vrednost ovako dobijenih rezultata.

## Zaključak

Radi zaštite životne okoline važno je poznavanje nivoa buke svih učesnika u civilnom vazдушnom saobraćaju. Na primeru određivanja nivoa buke za avion G-2A, primenom složene procedure definisane standardom ICAO Annex 16, pokazuje se da kod nas postoji raspoloživa merna oprema, da se mogu sprovesti zahtevane procedure leta, obezbediti zapisi buke aviona i putanje leta aviona, kao i realizovati njihova kompletna obrada i analiza. To otvara mogućnost šire primene ovog standarda kod nas radi zaštite okoline, posebno prostora oko aerodroma.

### Literatura:

- [1] ICAO Annex 16, Environmental Protection, Volume I – Aircraft Noise, Third Edition, 1993.
- [2] Doc. 9501 – ICAO Committee on Aviation Environmental Protection, 1993.
- [3] Advisory Circular AC No: 36-4C – U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 15. 07. 2003.
- [4] Kurtović, H. Š.: Osnovi tehničke akustike, Naučna knjiga, Beograd, 1982.
- [5] Bošković, V., Zeljković, V., Jurin, G.: Merenje buke vazduhoplova prema standardu ICAO, Annex 16, Konferencija za ETRAN, Teslić, Sveska II, str. 291–293, jun 2002.
- [6] Zeljković, V., Bošković, V., Jurin, G.: Postupak korekcije izmerenog nivoa avionske buke kada uslovi merenja i referentni uslovi nisu identični, Konferencija za ETRAN, Teslić, Sveska II, str. 294–297, jun 2002.
- [7] Jurin, G., Pavlović, M., Jankuloski, Đ.: Avionska buka i uticaj ambijentalnog šuma na tačnost merenja, Konferencija za ETRAN, Čačak, Sveska II, str. 401–404, jun 2004.
- [8] Jurin, G., Pavlović, M.: Problem eliminisanja ambijentalnog šuma u procesu određivanja nivoa avionske buke, Naučnotehnička informacija, 2005.



Jelena Opačić,  
dipl. inž.  
Vojnotehnički institut,  
Beograd

## PRISTUPI PROJEKTOVANJU NAPREDNIH RADIO-FREKVENCIJSKIH I FIBER-OPTIČKIH APLIKACIJA

UDC: 621.3.049.77-03

### Rezime:

U radu su prikazane osnovne karakteristike savremenih materijala: silicijum-germanijuma (SiGe), galijum-arsenida (GaAs) i indijum-fosfida (InP), tehnika i tehnologija koje sa svojim osobinama predstavljaju podršku razvoju savremenim i budućim radio-frekvencijskim (RF) i fiber-optičkim (FO) aplikacijama koje rade na sve višim frekvencijama i radnim brzinama. Zahtevi tržišta, mogućnosti savremenih materijala i tehnologija diktiraju projektantima usavršavanje pristupa projektovanju sklopova, koje se ogleda kroz više nivoe integracije kola, nova pakovanja i testiranja integrisanih kola (IC).

*Ključne reči:* projektovanje, silicijum-germanijum, galijum-arsenid, indijum-fosfid, radio-frekvencijske aplikacije, fiber-optičke aplikacije, ekstremno visoke frekvencije.

---

## DESIGN OF ADVANCED RADIO FREQUENCY AND FIBER OPTICS APPLICATIONS

### Summary:

This paper contains elementary characteristics of materials such as silicon-germanium (SiGe), gallium-arsenide (GaAs) and indium-phosphide (InP), procedures and technologies which support development of modern and future Radio Frequency (RF) and Fiber Optics (FO) applications operating at ever-higher frequencies and speeds. Market requirements, possibilities of modern materials and technologies dictate to designers improvement of the product design the access through higher levels of circuit integration, new packaging and testing of integrated circuits (IC).

*Key words:* design, silicon-germanium, gallium-arsenide, indium-phosphide, radio-frequency applications, fiber-optics applications, ultra high frequencies.

---

### Uvod

U ovom radu je dat prikaz savremenog trenda razvoja RF (Radio Frequency) i FO (Fiber Optics) tehnologija s kojim se menja pogled i pristup projektovanju novih i budućih RF i FO aplikacija, sa ciljem da se čitaocima skrene pažnja na aktuelan pristup projektovanju sklopova i tendencije.

Iz ekspanzije širokopojasnog prenosa i bežičnih telekomunikacija proistekao

je rad na sve višim frekvencijama EHF (Extremely-High Frequencies) i radnim brzinama. Uporedo s tim razvijala su se i saznanja o materijalima, tehnikama i tehnologijama koje mogu biti podrška razvoju naprednih RF i FO komunikacionih sistema. S obzirom na mogućnosti savremenih materijala i tehnologija i zahteve tržišta, od projekatana naprednih sistema zahtevaće se posedovanje širih znanja i iz oblasti materijala, tehnika i tehnologija, jer se samo kroz njihovu interakciju u

procesu projektovanja i izrade sklopova može doći do odgovora na zahteve tržišta za novim proizvodima.

U polju žičanog prenosa teži se da se razvije nova generacija FO opreme koja će raditi na brzinama protoka od 40 Gb/s i obezbediti infrastrukturu za uvođenje isplative širine propusnog opsega koja je potrebna za tekući video, video konferenciju u punom duplesu i druge multimedijalne aplikacije. U polju bežičnog prenosa širokopojasni sistemi rade u Ka opsegu (20 do 30 GHz) frekvencija i višem. V i W opsezi (60 GHz i više), prvenstveno jedini domen vojnih komunikacionih aplikacija, pojavljuju se kao alternativa za komercijalnu primenu.

Delovanje tržišta i mogućnosti koje pruža tehnologija diktiraju postavljanje zahteva za širim propusnim opsegom, manjim džiterom, snabdevanjem napajanjem i potrošnjom snage novih kola. Tako će se od projekatata novih kola naprednih RF sistema zahtevati da razumeju i koriste veliki broj novih tehnologija i tehnika uključujući i nove materijale, kao što su SiGe i InP, više nivoa integracije kola, nova pakovanja i testiranja. Projektantima će biti potrebno da razumeju jaku interakciju između izbora materijala, projekta čipa i efekata pakovanja, što sve zajedno utiče na osobine proizvoda.

RF zahtevi i potrebe tržišta pružaju projektantima budućih visokobrzinskih kola i dalje korišćenje mogućnosti koje pruža silicijum, najčešće upotrebljavani poluprovodnik u današnjim komunikacionim aplikacijama. Sledeća generacija uređaja većinom će biti zasnovana na jedinjenjima poluprovodničkih materijala među kojima će biti SiGe, GaAs i InP. Svaki od materijala pruža i prednosti i nedostatke za projektante RF uređaja.

Sadržaj rada čine: kratak pregled materijala SiGe, GaAs i InP, sa osvrtom na integraciju kola i komponenti, pakovanja i testiranja integrisanih kola sa novim pristupom, i na razvojni program evropske komisije vezan za evoluciju CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor – komplementaran metal-oksud-poluprovodnik) tehnologije.

### Silicijum-germanijum ( SiGe )

SiGe je silicijumski derivat u kome se SiGe legura koristi da poboljša prenos nosioca u bazi standardnih silicijumskih bipolarnih tranzistora. Ovo umanjuje otpornost baze i poboljšava prolazno vreme (transit time) baze tranzistora. Time se poboljšavaju frekvencijske osobine u poređenju sa standardnim silicijumskim elementima iste geometrije. Takođe, veliki deo kompleksnih kola i troškova proizvodnje strukture silicijuma mogu se proširiti na komponente za više frekvencije. SiGe poseduje visokofrekvencijske osobine koje se ogledaju u smanjenju veličine, uvećanju unutrašnjih polja i gustine struje i značajnom smanjenju probojnog (breakdown) napona. Tako je radni napon SiGe tipično ograničen na 1 VDC ili manje za aplikacije iznad 30 GHz.

Kako sa unapređenjima tehnološkog procesa nastavlja da se smanjuje zapremina geometrije SiGe tranzistora i povišava njegova granična (cutoff) frekvencija ( $f_T$ ), dolazi se do fundamentalnih fizičkih granica za ovu tehnologiju. Sadašnji nivo SiGe tehnološkog procesa ograničava efektivnu radnu frekvenciju negde u opsegu od 30 do 40 GHz.

Današnji troškovi vezani za proizvodnju RF kola u mobilnom terminalu su

glavna barijera za najširu primenu bežičnih komunikacionih sistema i personalnih komunikacionih uređaja. Odkorašnje uvođenje SiGe legura u proizvodnju dovede do zamene mnogo skupljih GaAs RF kola sa SiGe kolima koja imaju uporedive osobine i koja se proizvode po značajno nižoj ceni uz normalnu proizvodnju silicijuma. SiGe je poluprovodnička tehnologija razvijena za bežične aplikacije. Karakterišu je visoka brzina, visokofrekvencijske osobine potrebne za bežične komunikacije i poseduje potencijal za integrisanje analognih, RF i digitalnih funkcija u jednom integrisanom kolu (IC).

Primena SiGe je: u prednjem (front-end) dizajnu (DECT, CDMA, Bluetooth, ...), 5,8 GHz WLAN, u novim pojačavačima snage (WCDMA, 802.11, za proširen opseg Bluetooth-a, itd.), za GPS IC, za optičko umrežavanje do OC192 i dalje, i gotovo bilo koji tip bežičnih i RF komponenti.

Nadalje, 3G standard će usloviti povećavanje zahteva za minijaturizacijom RF kola, kao i ostalih delova poluprovodničkih kola unutar ručnog uređaja. Novi zahtevi za takvim proizvodima su niža cena i što viši nivo integracije kola, manja snaga ili veća brzina na manjoj struji, CMOS i RF pasivne komponente za RF CMOS pristup i uključivanje SiGe kao opcije sa minimumom dodatnih maski i kompatibilnošću sa 0,25  $\mu\text{m}$  standardnim CMOS procesom.

Na tržištu se mogu, između ostalog, pronaći 0,35 Micron SiGe BiCMOS proizvodi, čiji je radni napon 3,3 V. Kod ovog proizvođača optimizovan proces se odnosi na 3 NPN bipolarne elemente sa pojačanjem frekvencije ( $f_T$ ) po jedinici

62/40/25 GHz (HS/ST/HV) i pojačanjem snage frekvencije ( $F_{\text{max}}$ ) po jedinici 70/60/40 GHz na različitim probojnim  $BV_{\text{ceo}}$  naponima ( $>2/3/5$  V). Duboka kanalna izolacija obezbeđuje superiornu imunost na šum u bipolarnim elementima, kritične karakteristike u RF dizajnu.

### Galijum-arsenid ( GaAs )

Sa efektivnom masom elektrona koja je samo delić iste od silicijuma, GaAs poseduje bolje prenosne osobine. GaAs primenjen u realnim sklopovima postiže radne frekvencije i veće od 100 GHz. Dok silicijum ima prednosti pri primeni kod minijaturnih sklopova, GaAs može da radi na mikrotalasnim frekvencijama koje su daleko od  $f_T$  za silicijum.

GaAs HBTs (heterojunction bipolar transistors – heterospojni bipolarni tranzistori) standardno se primenjuju kod pojačavača snage u današnjim ćelijskim telefonima dok se GaAs HEMTs (high-electron mobility transistors – tranzistori visoke elektronske pokretljivosti) standardno primenjuju kod pojačavača snage u Ka opsegu u ćelijskim infrastrukturama.

Kao primer može poslužiti galijum-arsenidno monolitno mikrotalasno IC (GaAs MMIC) CGY 92. Sa njim se značajno povećava vreme rada u rezervnom (stand-by) režimu mobilnih telefona. Uređaj obezbeđuje izlaznu snagu od 32 dBm na 3 V do 35 dBm na 5 V. Može se koristiti u ručnim uređajima napravljenim za GSM (global system for mobile communications – globalni sistem mobilnih komunikacija) i svetski AMPS (advanced mobile phone service – napredni mobilni telefonski servis) standard.

Za razliku od uobičajenih silicijumovih IC-a koji rade u režimu C klase, novi 25-GHz uređaj, CGY 92, radi u režimu AB klase. Ovim se povećava opšta efikasnost sistema za 2 dB, jer sistemi koji rade u režimu AB klase ne zahtevaju filtriranje između RF izlaznog stepena snage i antene sistema (što sistemi koji rade u režimu C klase zahtevaju). Svaki put kada se signal filtrira, gubi se snaga.

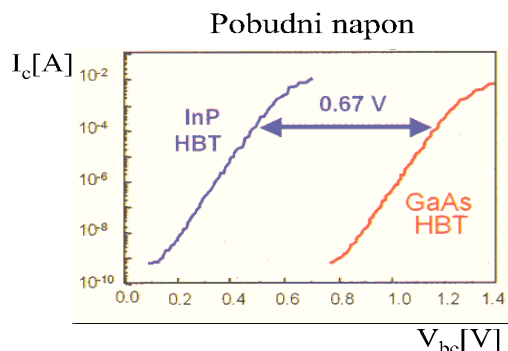
S obzirom da IC radi na nižim naponima do 2,7 V može se napajati sa samo tri baterijske ćelije. Ulazna impedansa je 50  $\Omega$ , a izlazna snaga se može podešavati.

IC je smešteno u MW12 pakovanje, koje je pogodna radio-frekvencijska modifikacija SOT 223 pakovanja.

### Indijum-fosfid ( InP )

Sklopovi InP poseduju prednosti u odnosu na GaAs kod mnogih aplikacija i dostižu radne frekvencije iznad 300 GHz. Materijali bazirani na InP sastoje se od InP i legura InGaAs i InAlAs, podešenih na InP podlogu. Korišćenjem ovih materijala različiti slojevi strukture sklopa mogu biti optimizovani za pojedinačne parametre, što je ključno za sklopove visokih performansi. Kako InP ima nešto veću efektivnu masu, njegov opseg provodnosti strukture omogućava veće brzine kretanja elektrona na mnogo većim poljima u poređenju sa GaAs i InGaAs. To ima za posledicu da se InP koristi u sklopovima gde deluju velika polja, što značajno poboljšava osobine uređaja.

Jedan od kritičnih parametara kod HBT tranzistora u GaAs i InP je pobudni (turn-on) napon, prikazan na slici 1. HBT-i u InP imaju niži pobudni napon, što omogućava povećanje efikasnosti rada pojačavača i manju snagu disipacije. Dok nije

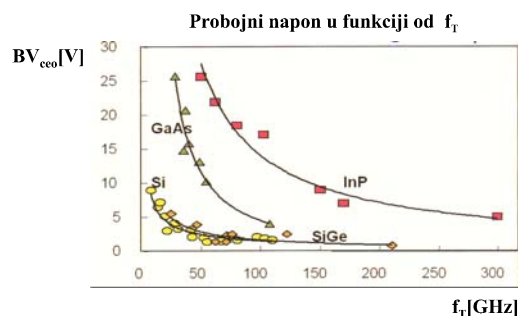


Sl. 1 – Struja kolektora  $I_c(A)$  u zavisnosti od napona baza – emiter  $V_{be}(V)$

kritičan kod aplikacija sa optičkim vlaknima, manji pobudni napon smanjuje zahtev baterijskog napajanja (produžava vreme rada) za ručne bežične aplikacije.

U slučaju probojnog napona i GaAs i InP imaju značajne prednosti u odnosu na SiGe, kao što se vidi sa slike 2. GaAs može imati od 10 do 12 VDC probojni napon na graničnoj frekvenciji iznad 50 GHz. Ovo je idealna karakteristika za pojačavače snage i visokobrzinska digitalna kola koja se koriste u današnjim RF sistemima i proizvodima, kao i za njihovu primenu u uređajima budućnosti.

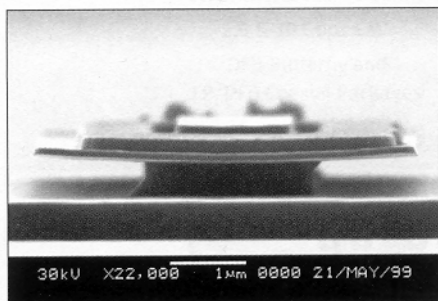
Ključna karakteristika kod naprednih visokoeffikasnih pojačavača kod mikrotalasa i digitalnih kola za aplikacije sa optičkim vlaknima biće probojni napon.



Sl. 2 – Probojni napon  $BV_{ceo}(V)$  u zavisnosti od granične frekvencije  $f_T(GHz)$

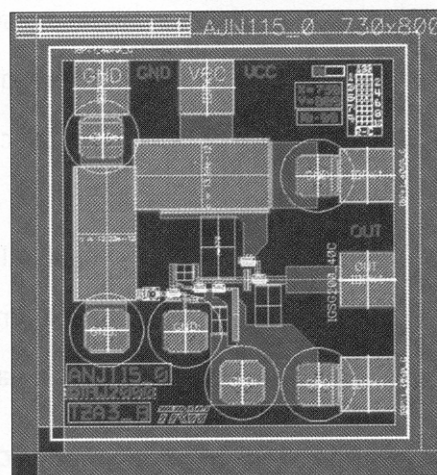
InP je jedini poluprovodnički materijal za optičke komponente koji detektuje i emituje svetlost na 1,3 do 1,5 mikrona talasnim dužinama kod većine telekomunikacionih sistema sa optičkim vlaknima. Kao rezultat, InP HBT tranzistor može biti konstruisan sa integrisanim PIN fotodiodama, laserima i modulatorima. Ova osobina će olakšati proizvodnju monolitnih jedinstvenih čipova FO pod sistema (kao što su prijemnici ili primopredajnici) kojima se dostižu brzine protoka od 40 ili čak 80 Gb/s. Kako montaža i pakovanje tipično čine 60 do 80% od cene poluprovodničkih optoelektronskih sklopova, monolitni primopredajnici nude mogućnost bitnog smanjenja cene kod budućih visokobrzinskih infrastruktura.

Uticaj parazitne kapacitivnosti na sveukupnu električnu impedansu unutar kola na ovim radnim frekvencijama može biti značajan i tako uticati na opšte osobine uređaja i njihovu efikasnost. S obzirom na ovo, razvijena je tehnika za minimizaciju parazitnih kapacitivnosti spoja baza – kolektor u InP HBT tranzistoru, kojom se značajno povećava njegova granična ( $f_T$ ) frekvencija i unapređuju visokobrzinske digitalne osobine, kao što je prikazano na slici 3.



Sl. 3 – Slika spoja baza – kolektor u InP HBT tranzistoru

Kod novih kola za pojačavače snage susreće se sa sličnim izazovima. Ovde je obezbeđenje većeg propusnog opsega direktno povezano sa održavanjem linearnosti i poboljšanjem karakteristika za otklanjanje šuma. Tipičan dizajn novih kola karakteriše InP SHBT tranzistor sa InGaAs kolektorom koji radi kao PIN dioda sa širokopojasnim InP HBT raspodeljenim transimpedansnim pojačavačem. Ovim se uspešno održava ravnoteža između postignutih osobina i novih pakovanja, što se ogleda kroz nižu cenu za 40 Gb/s optičke aplikacije, kao što je prikazano na slici 4. Ovakav monolitni fotoprijemnik obezbeđuje propusni opseg od 47 GHz sa 38 dB-Ω transimpedansom.



Sl. 4 – Matrica integrisanog InP SHBT fotoprijemnika

### Integracija kola i komponenti

Savremeni projektanti RF uređaja rade na tome da izgrade kompletan 40 Gb/s OE (Opto-Electronics – optička elektronika) prijemnik uključujući fotodiodu, transimpedansni pojačavač (TIA) i ograničavajući pojačavač na jednom čipu.

pu koristeći InP. Ovakva integracija kola zahteva od projektanta da je kvalifikovan za analognu, digitalnu tehniku i tehniku mešovitim signalima. Modulacija signala pomoću optičkog nosioca u FO aplikacijama je analogna po prirodi, sa analognim signalom koji se konvertuje od digitalnog u predajniku i vraća u digitalan u prijemniku. RF komponente se nalaze sa obe strane veze, što zahteva projektovanje mešovitim signalima. InP je podesan za aplikacije sa mešovitim signalima zbog svog visokog probojnog napona, propusnog opsega i ujednačenosti praga osetljivosti.

Optičke komponente će obezbeđivati propusni opseg 3 dB, dostižući radnu frekvenciju 48 GHz, pouzdanost u odnosu na šum manju od  $12 \text{ pA}/(\text{Hz})^{1/2}$  i izlazni napon 0,5 VDC od vrha do vrha. Za modulatorske pokretače (drivers) specifikacije su oštrije i zahtevaju propusne opsege veće od 48 GHz, izlazne napone veće od 3 V od vrha do vrha, vreme porasta (rise time) od najmanje 7 ps, pri čemu je u nekim konfiguracijama na raspolaganju samo jedan napon napajanja, dok je DC snaga ograničena.

Navedene osobine predstavljaju značajan izazov za projektante novih kola sa optičkim vlaknima kojima bi se postigle brzine protoka od 40 Gb/s i veće. Uticaj parazitne kapacitivnosti na sveukupnu električnu impedansu unutar kola na ovim radnim frekvencijama je takav da može značajno da utiče na opšte osobine uređaja i njegovu efikasnost. S obzirom na to, razvijene su tehnike procesiranja kojima se minimizuju parazitne kapacitivnosti i povećava granična frekvencija.

Obezbeđenje većeg propusnog opsega kod novih kola za pojačavače snage je direktno povezano sa održavanjem linearnosti i poboljšanjem karakteristika za otklanjanje šuma. Korišćenjem poboljšanih pobudnih karakteristika InP HBT sa specijalno projektovanim kolektorom već sada se mogu primeniti u uređajima za mikrotalasne aplikacije sa  $f_T$  od 80 GHz ili više na  $70 \text{ kA}/\text{cm}^2$  sa  $B_{V_{ce0}} > 18 \text{ VDC}$ . Ovo je daleko od mogućnosti dostupnih GaAs sklopova i više nego dovoljno za primenu kod aplikacija pojačavača snage u Ka-opsegu.

### **Pakovanje sklopova**

Kod pakovanja nove generacije visokobrzinskih sklopova projektant mora obratiti posebnu pažnju na projekat pakovanja da bi se smanjile induktivnosti veza čipa i pri kontroli pakovanja, indukovana rezonansa. Otežavajuća okolnost pri projektovanju pakovanja koja sadrže optičke komponente je termički menadžment. Izazovnije od termičkog menadžmenta su RF osobine upakovanog dela. Umešnost u elektromagnetnom modelovanju pomoću simulacionog softvera je obavezna za optimizaciju osobina gotovog sklopa zbog međusobnog uticaja pakovanja, čipa i veza čipa. Da bi se optimizovale veze za visoke brzine induktivne parazitivnosti moraju biti minimizovane. To se postiže minimizacijom i odgovarajućim podešavanjem dužine veza. Kompenzacija kapacitivnih struktura dodatno može redukovati induktivnost. Sve to mora biti potpuno izvedeno u pakovanju, što omogućava nižu cenu tehnika asembliranja.



## Testiranje kola

Testiranje monolitnih mikrotalasnih integrisanih kola (MMIC), koja rade na najvišim granicama mogućnosti, približava rad RF projekatata radu inženjera specijalizovanih za testiranja. Instrumenti koji su danas komercijalno dostupni mogu da podrže prekidačka kola na radnim frekvencijama do 40 GHz, s tim da su vreme porasta (rise time) i vreme opadanja (fall time) mnogih InP sklopova često brža od istih vremena ispitne opreme. Da bi se direktno izmerila vremena porasta i opadanja ovakvih sklopova potrebna je ispitna oprema koju karakterišu četiri puta brža vremena porasta i opadanja od istih vremena sklopa koji se testira. S obzirom na navedeno, razvijene su tehnike testiranja sa kojima se ovakvi problemi pri ispitivanju sklopova prevazilaze. Jedna od ovih tehnika je opisana u radu [1].

## Evolucija CMOS tehnologije u Evropi

Da bi se Evropa zadržala na pravcu prednjačenja u poluprovodničkoj tehnologiji, evropska komisija (Europien Commission) će zasnovati integralni projekat nazvan NANOCMOS. Cilj projekta je pionirski, a odnosi se na neophodne promene vezane za materijale, procese, arhitekturu sklopova i spojeve, da bi se nastavilo pomeranje granica vezanih za osobine poluprovodnika i njihovu gustinu.

Učesnici projekta će se obavezati da demonstriraju mogućnosti 45 nm CMOS logičke tehnologije u 2005. godini, dok će istovremeno započeti istraživanja no-

ve generacije 32 i 22 nm tehnoloških čvorišta. Današnja manja tehnološka čvorišta se nalaze u granicama postojećih tehnologija, ali se očekuje da rezultati NANOCMOS projekta otvore put ka potpuno novim aplikacijama za informaciono društvo.

Partneri u ovom projektu su tri najveće evropske kompanije koje se bave poluprovodničkom tehnologijom: Infineon, Philips i STMicroelectronics; dva najveća evropska instituta za tehnološka istraživanja: CEA Leti (Francuska) i IMEC (Belgija); tri istraživačke laboratorije koordinisane od FhG (Nemačka); osam istraživačkih laboratorija koordinisanih od CNRS (Francuska); jedna istraživačka laboratorija sa Tehničkog univerziteta Chemnitz (Nemačka); tri kompanije: Ion Beam Services (Francuska), ISILTEC (Nemačka) i Magwel (Belgija); i ACIES Europe (Francuska), koji će preuzeti neke aspekte menadžmenta projekta. Drugi partneri bi mogli da se uključe u konzorcijum u budućnosti.

Očekuje se da će prva faza rada na projektu trajati 27 meseci i mobilisaće veliki istraživački potencijal. Sa dodatnih 24 M eura, koji će biti podrška od evropske komisije, partneri će, takođe, investirati napredne istraživačke resurse da bi ispunili ciljeve projekta.

## Zaključak

S obzirom na zahteve tržišta, mogućnosti savremenih materijala i tehnologija od projekatata naprednih RF i FO sistema zahtevaće se posedovanje i korišćenje širih znanja i iz oblasti novih materijala, kao što su SiGe i InP, tehnika i

tehnologija, kao i korišćenje viših nivoa integracije kola, novih pakovanja i testiranja, jer se samo kroz njihovu interakciju u procesu projektovanja i izrade sklopova može doći do odgovora na zahteve tržišta za novim proizvodima.

Razvoj tehnologije u 21. veku biće određen interakcijom između zahteva tržišta za novim aplikacijama i tehnologije. RF projektanti se nalaze pred izborom mnogih tehnoloških procesa i materijala koji bi mogli da odgovore tim zahtevima

i koje bi trebalo na svrsishodan način kombinovati radi napretka.

*Literatura:*

- [1] Striet, D.: The changing landscape of RF and fiber optics, RF Design, march 2002.
- [2] www.sige, decembar 2003.
- [3] www.sige.com, decembar 2003.
- [4] Droinet, Y.: Advanced RF Technologies for the Wireless Market, Microwave Journal, september 2001.
- [5] Vollmer, A.: Siemens GaAs MMIC keeps mobile phones operating longer, ELECTRONICS, vol. 67, 24 oktober 1994.
- [6] Europe Sows Seeds for CMOS Technology Evolution, Microwave Journal, vol. 47, No. 5, may 2004.

Mr Goran Šimić,  
major,  
VP 4522, Batajnica

## MODELOVANJE KORISNIKA U SISTEMIMA ZA UPRAVLJANJE SADRŽAJEM

UDC: 004.78 : 025.4.036

### Rezime:

*Sistemi za upravljanje informacionim sadržajima, zahvaljujući različitim funkcionalnim mogućnostima, vrlo su rasprostranjeni na Webu kao globalnoj mreži, i u lokalnim mrežama institucija i organizacija različitih namena. Oni omogućavaju potpuno administriranje informacionim sadržajima i njihovo dinamičko komponovanje i distribuciju. Iako postoje tehnološki preduslovi, ovi sistemi su fokusirani na sadržaje i nemaju podršku za njihovo personalizovano predstavljanje. Ovaj materijal opisuje mogućnosti proširivanja funkcionalnosti navedenih sistema radi adaptacije sadržaja koji se isporučuje korisnicima.*

*Ključne reči: modelovanje korisnika, sistemi za upravljanje informacionim sadržajem, Fazi logika, Web tehnologije, arhitekture, dizajn i aplikacija.*

---

## THE USER MODELING ISSUES IN THE CONTENT MANAGEMENT SYSTEMS

### Summary:

*Owing to different functional possibilities, there are many content management systems (CMS) on the Web and in the local networks of different organizations. They provide administering of different information content (delegation of content authoring and content using grants), as well as dynamical content composing and distribution. They are focused on their content. Although there are technology prerequisites, these systems lack content personalization. This paper describes the possibility of the CMS functional extending to adjust data structure and content with particular users' skills, interests and demands.*

*Key words: user modelling, content management systems, fuzzy logic, Web technologies, architectures, design, application.*

---

### Uvod

U savremenim informacionim sistemima, zahvaljujući objektno orijentisanom dizajnu i implementaciji, postavljeni su standardi koje softver mora da zadovolji, kako bi se iz faze razvoja mogao preneti u fazu korišćenja. Zbog toga aplikacije koje se nalaze u operativnoj upotrebi zadovoljavaju osnovne funkcionalnosti, specificirane projektnim zadacima.

Novi kvalitet, koji proizvođači nastoje da dostignu jeste adaptibilnost softvera prema mogućnostima, interesovanjima i potrebama korisnika. U tom smislu, model korisnika (*user model* – UM) predstavlja eksplicitnu reprezentaciju svojstava individualnog korisnika. Najveći broj aplikacija sadrži implicitni korisnički model. Sistemi koji obavljaju edukativne zadatke, kao što su inteligentni tutorski sistemi – ITS (*Intelligent Tutoring Systems* –

ITS), ili sistemi sa adaptivnim hipermedijalnim sadržajima (*Adaptive Hypermedia* – AH) obično sadrže eksplicitni korisnički model (najčešće zvan *studentski model*). Ovaj model predstavlja jednu od najznačajnijih komponenti systemske arhitekture. Navedeni sistemi su stručno (domenski) usko specijalizovani, tako da su njihovi korisnički modeli takođe specijalizovani i prilagođeni potrebama systemskog zaključivanja (zaključivanja o korisniku).

S druge strane, postoji veliki broj domenski nezavisnih sistema kao što su sistemi za upravljanje učenjem (*Learning Management System* – LMS), sistemi za upravljanje sadržajem (*Content Management Systems* – CMS, objašnjeni u daljem tekstu) i sistemi za informacioni menadžment (*Information Management Systems* – IMS). Većina navedenih sistema nije fokusirana na edukaciju (izuzev LMS), niti na potrebe konkretnog korisnika. Njihovi administracioni (upravljanje sadržajem, dodela grupama i pojedincima prava pristupa i korišćenja Web servisa), autorizacioni (kreiranje i editovanje sadržaja) i kolaboracioni alati (saradnja grupa i pojedina bazirana na zajedničkim interesovanjima) boljeg su kvaliteta od alata u inteligentnim i adaptivnim sistemima. Ista situacija je i u vezi struktuiranosti i standardizovanosti sadržaja. Domenski nezavisni sistemi su većinom fokusirani na sadržaj, zbog čega se šire koriste u edukaciji zasnovanoj na Web tehnologijama nego ITS i AH sistemi.

Danas postoji veliki broj sistema za upravljanje sadržajem (u daljem tekstu CMS). Oni su transparentni i dizajnerima obezbeđuju mogućnost nadgradnje funkcionalnosti, ali još uvek poseduju nedo-

statak adaptibilnosti. Isti sadržaji isporučuju se različitim korisnicima na isti način. Ova ograničenja postoje iz dva razloga – jedan je slaba struktuiranost sadržaja (dekompozicija) a drugi je u vezi s modelovanjem korisnika. CMS ne sadrže korisnički model sa andragoškom i pedagoškom podrškom i sa mogućnošću rezonovanja. Postoje različite mogućnosti i prepreke u ugrađivanju korisničkog modela u postojeće CMS, kako bi se omogućila personalizacija sadržaja.

### **Klasifikacija modela korisnika**

U sistemima kao što su ITS i AH korisnički model predstavlja eksplicitnu komponentu systemske arhitekture. Nivo inteligencije (adaptibilnosti) navedenih sistema direktno je proporcionalan mogućnostima korisničkog modela da opiše sposobnosti, interesovanja i znanje realnog korisnika.

Sadržaj koji sistem dostavlja korisniku zasnovan je na karakteristikama modela. Ako model sadrži netačan ili nekompletan profil korisnika, akcije sistema će zakomplikovati korisnikove napore da se upozna, informiše ili nauči sadržaj.

Ne postoji univerzalan adaptibilan model korisnika, niti univerzalno prepoznatljiva ontologija za njegovo modelovanje. Nasuprot tome, postoje brojne različite klasifikacije korisničkih modela [1], koje se zasnivaju na načinu ažuriranja (statičko ili dinamičko), na osnovu sadržaja koje model podržava (specifični trenutni podaci ili opšti podaci dobijeni u procesu zaključivanja o korisniku) i na osnovu izvora informacija (upitnici i/ili testovi koje korisnik popunjava ili systemsko rezonovanje o ponašanju na

osnovu praćenja aktivnosti korisnika). Pojedini sistemi sadrže korisnički model koji nije namenjen postizanju adaptibilnosti. Takav model naziva se *kanoničkim* i u njemu su podaci o korisniku postojani onoliko koliko traje korisnička sesija sa sistemom.

Drugi način klasifikacije zasnovan je na znanju korisnika. Dva osnovna tipa su *prekrivajući* model i *stereotipski* model. Ova kategorizacija se učestalo koristi u sistemima za učenje [2]. Prekrivajući model je ograničen na ekspertsko znanje ugrađeno u sistem, i korisnika modeluje na osnovu razlike njegovog i sistemskog znanja iz konkretne naučne oblasti. Prekrivajući model je tipično implementiran u ITS (npr. ELM ART [3]) i AH sistemima (npr. KN-AHS [4]). Modelovanje pomoću stereotipova predstavlja svrstavanje korisnika u različite kategorije prema različitim kriterijumima (npr. u sistemu za preporučivanje na Amazon.com sajtu – prema interesovanjima ili u KNO-ME sistemu [5] – na osnovu nivoa znanja korisnika).

Postoje poteškoće u određivanju tipa stvarnih korisnika, jer ne postoje jasne granice između različitih tipova modela. Isti model može sadržati statičke i dinamičke podatke. Korisnički modeli mogu koristiti podatke direktno dobijene od korisnika, ali i podatke na osnovu zaključivanja o korisniku (implicitno, na osnovu podataka iz više korisničkih sesija).

### Ontologija modela korisnika

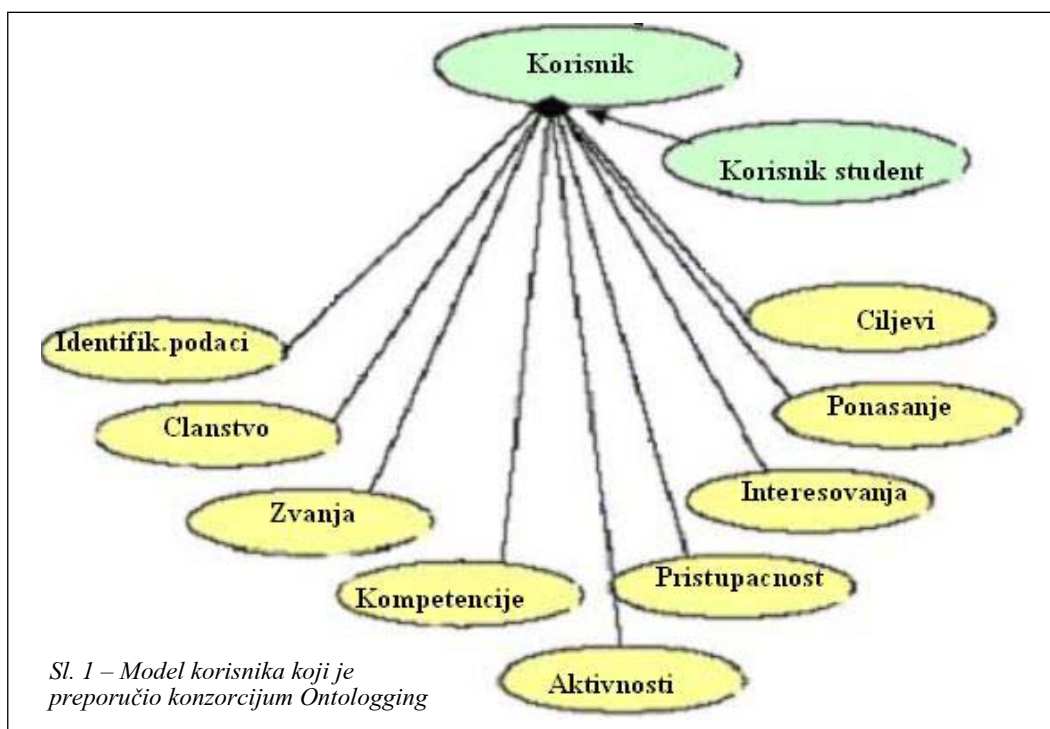
Kod sistema koji su domenski nezavisni ne postoji generalno opredeljenje u razvoju korisničkih modela. Ovi sistemi mogu imati različite namene (LMS –

edukativnu, IMS – informativnu, CMS – edukativnu i/ili informativnu). Zbog toga korisnički modeli domenski nezavisnih sistema moraju da podržavaju različite profile i različite podatke o korisniku. Ti podaci mogu se klasifikovati na različite načine. Autori obično specificiraju dve vrste podataka: o mentalnom stanju korisnika i o njihovim akcijama (tabela 1). Lični podaci o korisniku prikupljaju se eksplicitno (posredstvom upitnika i preliminarnih testova). Frekventnost i redosled korisničkih akcija (selektovanje materijala, vreme zadržavanja na pojedinačnim stranicama, navigacione putanje) predstavljaju implicitne izvore korisničkih podataka. Čest je slučaj da sistemi implicitno zaključuju o tome koju akciju, ili koji stereotip je najbolje primeniti na specificiranog korisnika.

Tabela 1  
Struktura modela korisnika prema Kobsi, Kenemanu i Polu [6]

Model korisnika		
Podaci korisnika	Podaci o korišćenju sadržaja	
	Podaci iz posmatranja	Pravilnosti u korišćenju
Demografski podaci	Izbor sadržaja	Učestanost korišćenja
Znanje	Ponašanje pri povremenom pregledanju	Korelacija situacija – akcija
Veštine i sposobnosti	Brzina	Redosled akcija
Iskustvo u korišćenju sistema	Ostale afirmativne akcije	
Lične crte		
Interesovanja i prioriteta		
Ciljevi i planovi		

Drugi primer ontologije modela korisnika predstavljen je preporukama *Ontologging konzorcijuma* (slika 1) [2]. Ova ontologija sadrži više od dve grupe podataka, a to su: identifikacioni podaci (ime, adresa, datum rođenja, lični identifikacioni broj, pol i sl.), afilatorni podaci (zvanje, pripadnost timu, grupi, odeljenju, organizaciji i sl.), QCL (kvalifikacije, sertifikati i licence), podaci o radnom



Sl. 1 – Model korisnika koji je preporučio konzorcijum Ontologging

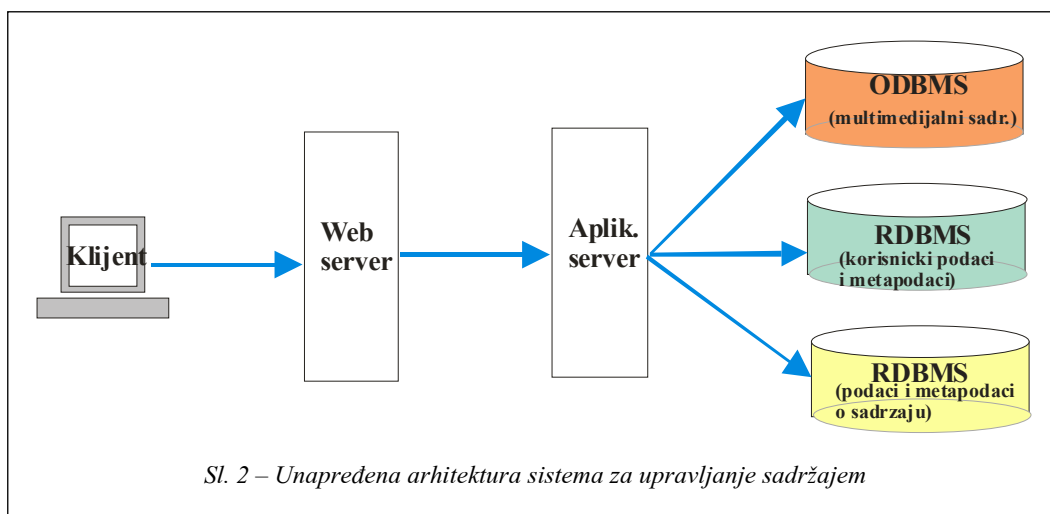
iskustvu, učestvovanje u aktivnostima, pristupačnost (jezici koje poznaje, stručne oblasti koje poznaje i područja od šireg interesovanja), hobiji, ponašanje (načini učestvovanja u različitim aktivnostima i spremnost da podeli znanje sa drugima) i ciljevi (lični ciljevi i aspiracije).

Kao u prethodnom primeru, model Ontologging sadrži podatke koji se eksplicitno dobijaju od korisnika (identifikacioni podaci, QCL, afilacija) i podatke koji se prikupljaju u toku korišćenja sistema i u procesu zaključivanja (aktivnosti, ponašanje, interesovanja). Eksplicitni podaci se, obično, predstavljaju korišćenjem literala (numerička i tekstualna reprezentacija), dok se implicitni podaci predstavljaju u vidu koncepata. Navedeni podaci mogu se razmatrati i prema postojanosti: perzistentni (statički) podaci

(osnovni lični podaci) i tranzijentni (dinamički) podaci (prihvatanje preporuka, praćenje navigacije, stanje sesije, karakteristične greške) [7].

### Sistemi za upravljanje sadržajem

Sistemi za upravljanje sadržajem predstavljaju Web aplikacije usmerene ka dva cilja: autorima obezbeđuju mesto na računarskoj mreži za smeštanje kreiranih sadržaja (lokalnoj ili globalnoj), a korisnicima omogućavaju pristup istim sadržajima radi ostvarivanja različitih zadataka (edukacija, informisanje, kupovina i sl.). Sadržaj može biti predstavljen u tekstualnom formatu ili u vidu različitih multimedijalnih sadržaja (fotografije, audio zapisi, video zapisi ili kompoziti). Nova generacija sistema za upravljanje



sadržajem omogućava komponovanje sadržaja u realnom vremenu, što je omogućeno specifičnom arhitekturom (slika 2).

Ovi sistemi razvijani su u različitim tehnologijama. Među njima su dve dominantne: sistemi zasnovani na Java tehnologijama i *Microsoft .NET (DOT NET)* komponente. Sistemi zasnovani na Javi obično su implementirani kao JSP (*Java Servlet Pages – JSP*) ili Servleti, sa *Apache* Web serverom kao distributorom sadržaja na prednjem kraju (npr. *Apache Lenya* [8], *Ariadne LKP* [9]). Kao alternativa postoje i sistemi za upravljanje sadržajem kao samostalni Web serveri u kojima je integrisana i aplikaciona logika (npr. *OpenCMS* [10]). S druge strane, *.NET* tehnologija integriše dobro poznate *Microsoft Web* proizvode u skalabilan model zasnovan na komponentama. Sistemi za upravljanje sadržajem mogu biti implementirani i u drugim tehnologijama: *PHP* jezik kombinovan sa *MySQL* sistemom za upravljanje bazama podataka (npr. *Absolute Engine*, *phpWCMS* i *PHP Nuke*), sistemi zasnovani na *Payton* jeziku i *DTML-u (Document Template*

*Modelling Language – DTML)*, (npr. *Plone* server, *Zope* server sa objektnom bazom podataka).

Sistemi za upravljanje sadržajem mogu izvršavati različite administrativne zadatke, ali su isključivo fokusirani na sadržaj koji pohranjuju. Ponašanje aplikacione logike nije ograničeno, tako da postoje mogućnosti za implementaciju različitih Web servisa.

### Funkcija korisničkog modela u sistemima za upravljanje sadržajem

Iako najveći broj sistema za upravljanje sadržajem ima mogućnost isporučivanja dinamički komponovanog sadržaja, to ne znači da je on (sadržaj) prilagođen individualnom korisniku. Da bi se omogućila personalizacija Web servisa, neophodno je da sistem sadrži model korisnika kao softversku komponentu. Korisnički model ima ugnježdenu strukturu u kojoj se prikupljaju podaci iz tekuće sesije, smeštaju podaci iz prethodnih sesija i čuvaju podaci dobijeni na osnovu zaključivanja sistema o korisniku. Siste-

mi za upravljanje sadržajem smeštaju i manipulišu domenski različitim sadržajima. Različite (naučne) oblasti zahtevaju različite vrste podataka o korisniku i različite načine zaključivanja na osnovu stanja korisničkog modela. Na primer, potpuno se razlikuju zahtevi modelovanja u domenu matematike u odnosu na domen muzičke umetnosti. Da bi korisnički model zaista bio koristan u sistemima za upravljanje sadržajem, potrebno je da podržava podatke za vrlo različite oblasti, što je teško izvodljivo.

Drugi problem modelovanja korisnika u razmatranim sistemima je akvizicija podataka. Ovi sistemi ne mogu u potpunosti predvideti sve moguće vrste (profile) korisnika. Korisnici sadržaja imaju različite ciljeve, motivaciju, interesovanja i sposobnosti. Zaključivanje o tome mora biti vrlo fleksibilno. Za razliku od prethodno pominjanih edukacionih sistema (sa adaptivnim hipermedijalnim sadržajima, inteligentni tutorski sistemi i sistemi za upravljanje učenjem), sistemi za upravljanje sadržajem ograničeni su na prikupljanje uglavnom implicitnih podataka u toku korisničkih interakcija sa sistemom. Rezonovanje se, uglavnom, zasniva na izboru sadržaja, praćenju navigacije, vremenu provedenom na svakoj pojedinačnoj stranici (sadržaj se isporučuje u vidu dinamički kreiranih HTML stranica) i akcijama koje dozvoljavaju isporučene stranice (korišćenje pomoći, slanje elektronske pošte, učestvovanje u diskusionim grupama, izbori iz lista, unos teksta, promena izgleda sadržaja i sl.).

Danas postoje mnogobrojni robustni i domenski uskospecijalizovani korisnički modeli. Za razmatrane sisteme su, nasuprot tome, potrebni generički modeli koji

bi predstavljali agregaciju malog broja tzv. univerzalnih prenosivih modela koji su specijalizovani za različite zadatke. Činjenica da su sistemi za upravljanje sadržajem fokusirani na deklarativno (a ne proceduralno) znanje donekle ublažava probleme dizajna i implementacije korisničkog modela. Model mora omogućiti traganje za odgovarajućim profilom korisnika (*model tracing*, kao što je analitičko modelovanje studenta u *LISP Tutor-u*) i indukciju zasnovanu na pravilima i stablu odlučivanja (kao što je sintetičko modelovanje u *Debuggy* ili *ACM*).

Pored navedenih tipologizacija, postoji klasifikacija modela na osnovu definisanja korisničkog znanja. Prekrivajući model je domenski zavisn i zahteva precizno definisano ekspertsko (domensko) znanje. Ovaj tip modela pogodan je za domenski ograničene sisteme (AH sistemi, ITS, ili generalnije *Knowledge Management System* – KMS). Prekrivajući model, zbog specijalizovane namene, nije odgovarajući i za sisteme za upravljanje sadržajem. Model zasnovan na stereotipima omogućava kategorizaciju korisnika zasnovanu na različitosti domena (nauka, sport, muzika, itd.), što je u skladu sa činjenicom da razmatrani sistemi skladište multidomenske sadržaje.

### Moguće rešenje problema

U sistemima za upravljanje sadržajem korisnički model treba da bude fokusiran na moguća unapređenja funkcionalnosti, kako bi se dobila adaptibilnost u procesu komponovanja sadržaja koje je zahtevao korisnik (*HTTP request*). Moguće rešenje zasniva se na konceptu ra-

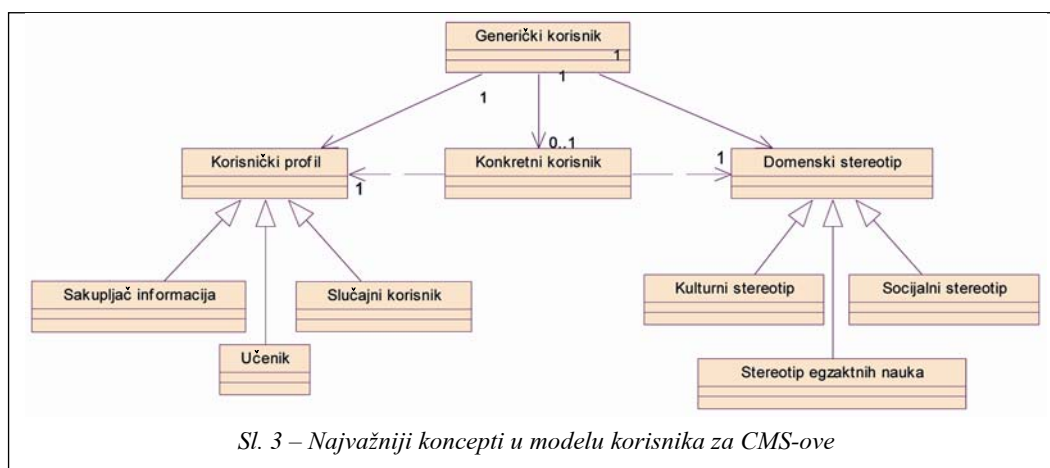


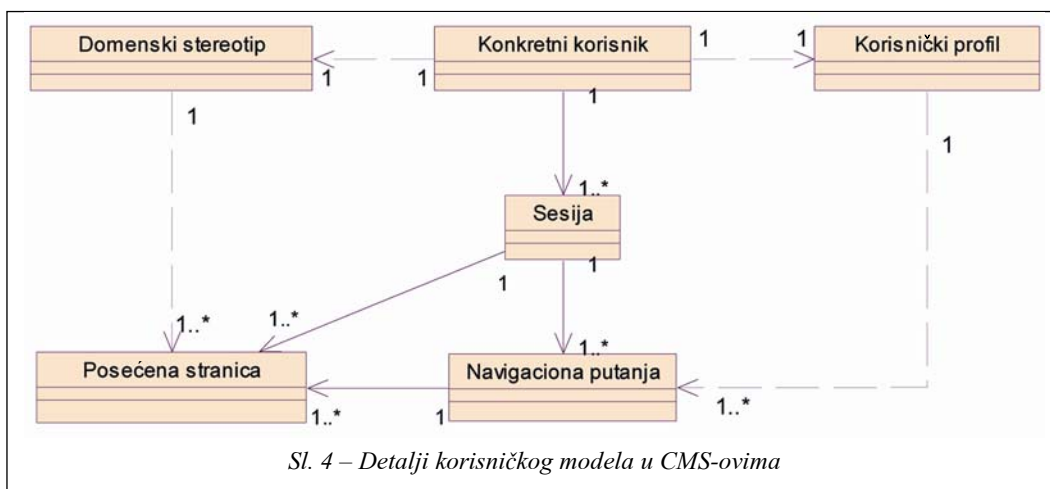
slojenog korisničkog modela. Slično modelima korišćenim u sistemima za učenje, u kojima su socijalni koncepti predstavljeni na različitim nivoima – individualni, timski (grupni), klasni (generacijski), smer (specijalnost), u sistemima za upravljanje sadržajem može se izvršiti raslojavanje u smislu generalizacije – specijalizacije. Na primer, identifikacioni podaci mogu se razmatrati na višem nivou opštosti (generalije), dok pristupačnost pripada mnogo specijalizovanijem nivou. Raslojen model omogućava profilisanje korisnika sa najmanjim skupom podataka. Počevši od prve korisničke sesije, sistem gradi korisnički model sloj po sloj – praktično *izučava korisnika*.

Slično modelu *Ontologging* konzorcijuma predloženo rešenje za razmatrane sisteme sadrži koncept generičkog korisnika (*Generic User*) u korenu stabla ontologije korisničkog modela (slika 3).

Ovaj koncept predstavlja podrazumevajući model koji se može izgraditi sa minimalnim setom podataka (identifikacioni podaci). Koncept domenskog stereotipa (*DomainStereotype*) jeste apstraktna komponenta modela koja enkapsulira

potencijalno ponašanje korisnika na osnovu selekcije sadržaja. Trenutni model podržava tri domenski zasnovana korisnička stereotipa. Kulturni stereotip (*Cultural*) fokusiran je na umetnost, sport i slične sadržaje. Socijalni (*Social*) sadrži domene kao što su istorija, sociologija, psihologija, marketing, dok je stereotip zvan *ExactScience* usmeren na proceduralna znanja (matematika, fizika, programiranje i sl.). Sistemi za upravljanje sadržajem koriste stereotipove u konjukciji sa drugim konceptom – korisničkim profilom (*User Profile*). Profil, takođe, predstavlja apstraktnu komponentu. Sistem profiliše korisnika tokom sesija. U trenutnim implementacijama korisnik može biti u ulogama studenta – učenika (*Learner*), sakupljača informacija (*Information Collector*) ili se razmatra kao slučajni korisnik (*OccasionalUser*). Prvi profil je dizajniran za najnaprednije (najzainteresovanije) korisnike, a slučajni korisnik predstavlja drugu krajnost profilisanja. Kriterijumi za određivanje profila su vreme potrošeno na zahtevane sadržaje i navigacija tokom više sesija korisnika i sistema (slika 4).





Dizajn konkretnog modela zahteva brojne dodatne koncepte (klase). U CMS-ovima glavni izvor podataka su korisničke sesije. Dodatne klase su kreirane upravo da smeste i ažuriraju podatke iz korisničkih sesija. Klasa sesije enkapsulira navigacionu putanju i informacije o posećenim sadržajima. Sistemski modul za zaključivanje koristi podatke sesije radi određivanja stereotipa i profila korisnika. Konkretni korisnik uvek se svrstava u jedan od prethodno opisanih (predefinisanih) profila i stereotipova. Konkretno klase izvedene iz klasa profila i stereotipova takođe mogu biti proširene novim konkretnim tipovima i podtipovima (klasama). Inteligencija sistema je predstavljena njegovom mogućnošću da prepozna novi stereotip – profil i ugradi ga u sistem.

### Rezonovanje

U praksi nema jasnih granica između pojedinih profila i stereotipova. Isti korisnik se ne ponaša uvek isto u različitim sesijama. Često sistem ne može da prepozna nastojanja korisnika na osnovu njegovih akcija. Informacioni šum kom-

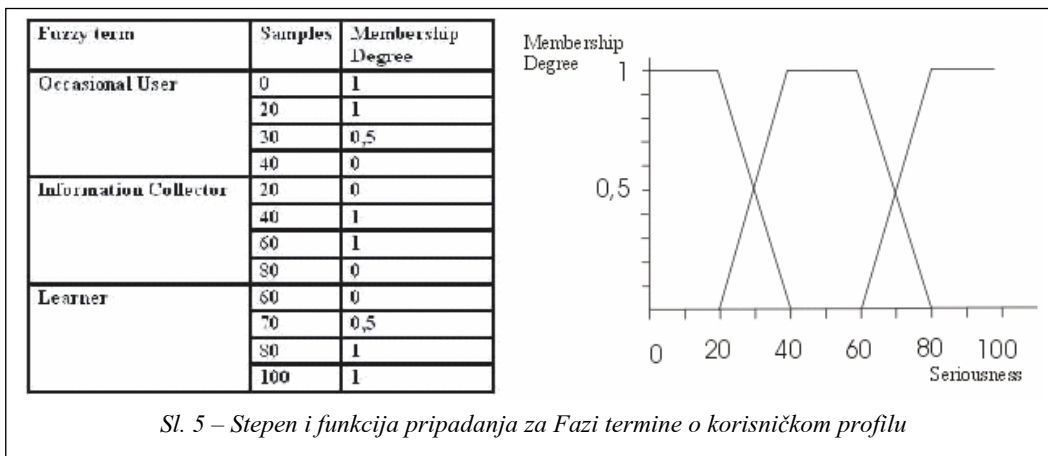
plicuje zaključivanje o korisniku samo na osnovu pravila (*Rule Based Reasoning* – najpopularnija tehnika zaključivanja). Navigaciona statistika i merenje vremena može proizvoditi dvosmislene i iracionalne rezultate. Mogući način rešavanja ovog problema je korišćenje teorije Fazi skupova (*Fuzzy set theory*), koja dozvoljava rezonovanje uz prisustvo neodređenosti u podacima. Da bi se navedena teorija implementirala u konkretnom sistemu, potrebno je da se ontologija korisničkog modela proširi dodatnim Fazi konstrukcijama.

To bi značilo da su koncepti *Domain-Stereotype* i *UserProfile* predstavljeni odgovarajućim Fazi varijablama (tabela 2).

Tabela 2  
Implementacija Fazi teorije u korisničkom modelu CMS-a

Fazi varijable	Fazi termini	Fazi skupovi
Korisnički profil	Slučajni korisnik	(0,40)
	Sakupljač informacija	(20,80)
	Učenik	(60,100)

Svaka varijabla je opisana sopstvenim setom mogućih vrednosti (*universe of discourse* – UOD) i skupom Fazi ter-



Sl. 5 – Stepen i funkcija pripadanja za Fazi termine o korisničkom profilu

mina. Konkretni korisnički stereotipovi i profili korišćeni su kao Fazi termini. Svaki pojedinačni Fazi termin je opisan posebnim Fazi skupom (slika 5). Fazi logika je u konkretnom primeru CMS-a korišćena radi merenja *ozbiljnosti* konkretnog korisnika sistema. Učenik (*Learner*) je najozbiljniji korisnik, dok slučajni korisnik (*OccasionalUser*) ima najmanje ozbiljne namere.

Uzorci predstavljani u tabelama i na dijagramu odslikavaju raspodelu rezultata korisnika tokom sesije. Fazi skupovi (tabela 1) predstavljaju intervale odlučivanja dizajnirane za određivanje profila korisnika. Na taj način sistem može konstruisati distribuciju individualnih termina (primenjenih na pojedinačnu Fazi varijablu). Podaci prikupljeni tokom više

sesija mapirani su u stepene pripadanja Fazi terminima, kako bi se dobila njihova lingvistička reprezentacija. Kombinovanje Fazi termina sa logičkim operatorima omogućava lingvističko predstavljanje Fazi koncepata. Te konstrukcije mogu se koristiti kao premise (uslovi) Fazi pravila (slika 6). Ova pravila mogu se interpretirati u modulima za zaključivanje na bazi pravila (*Rule engine*).

Akcioni deo pravila generiše podatke koji se mogu tumačiti kao diskretne vrednosti koje se dalje mogu procesirati na konvencionalan način (tzv. proces *defazifikacije*). Iz predstavljenog opisa izuzet je koncept korišćenja modifikatora, koji dodatno poboljšavaju mogućnosti nelinearnog zaključivanja sistema sa Fazi logikom.

```
FuzzyVariable outProfile=new FuzzyVariable("seriousness", 0,100, "Degree seriousness");
outProfile.addTerm("OccasionalUser", new ZFuzzySet(0,40));
outProfile.addTerm("InformationCollector", new TrapezoidFuzzySet(20,40,60,80));
outProfile.addTerm("Learner", new SFuzzySet(60,100));
//create rule
FuzzyRule esciencelearner=new FuzzyRule();
//add premise
esciencelearner.addAntecedent(new FuzzyValue(outProfile,"Learner"));
esciencelearner.addAntecedent(new FuzzyValue(outStereotype,"ExactScience"));
//add action
esciencelearner.addConclusion(new FuzzyValue(concreteUser,"ProceduralCUser"));
```

Sl. 6 – Prikaz konstrukcije Fazi pravila u alatu FuzzyJess

## Zaključak

Modelovanje korisnika u sistemima za upravljanje sadržajem razlikuje se od modelovanja učenika – studenata u edukativnim sistemima. U inteligentnim tutorskim, adaptivnim hipermedijalnim sistemima i sistemima za upravljanje znanjem, sadržaj je dizajniran isključivo za edukativne namene. Sadržaji u sistemima za upravljanje sadržajem nisu namenjeni samo učenju. Zbog toga je u njima znatno složenije modelovanje korisnika.

Složenija je i akvizicija podataka o korisniku. Pokušaji sa zadavanjem obimnih upitnika pri prvoj sesiji samo su odbijali korisnike da koriste sistem. Inicijalno testiranje, radi procene sposobnosti konkretnog korisnika, nemoguće je ako sistem ne poznaje namere korisnika (npr. da li želi da uči, ili samo da bude informisan). Zbog navedenih ograničenja, a da bi se korisnik uspešno modelovao u sistemima za upravljanje sadržajem, potrebno je prikupljanje mnogobrojnih implicitnih podataka (detalja) iz višestrukih sesija. Ti podaci dalje su korišćeni u procesu zaključivanja o konkretnom profilu i stereotipu korisnika. Prisustvo nepreciznih i dvosmislenih podataka nametnulo je potrebu korišćenja Fazi logike. Korišćeni koncepti za modelovanje korisnika sadrže vrednosti koje se preklapaju, a služe kao osnova za odlučivanje o profilu i stereotipu. Sistem mapira sakupljene podatke i određuje stepen pripadanja definisanih Fazi termina, dajući im lingvističku reprezentaciju koja se koristi u rezonovanju na osnovu pravila. Ovaj pro-

ces je iterativan i inkrementalan, tako da se modelovanje korisnika nikada ne završava.

Drugi problem personalizacije sadržaja je njegovo predstavljanje. Različiti CMS-ovi strukturiraju sadržaj na različite načine. Neki od njih koriste ugnježdene SCORM editore (*Sharable Content Object Reference Model – SCORM*), koji ostavljaju autorima da sami opisuju svoje sadržaje. Mnogo veći broj sistema ne koristi standarde za eksplicitni opis sadržaja. Dobro dekomponovan sadržaj je pogodan za personalizaciju. Ako fragmenti nisu formalno opisani korišćenjem metapodataka, ili rečnika podataka, kao što su XSD (*XML Schema*), RDFS (*Resource Definition Framework Schema*), sistem neće moći da odredi pogodne sadržajne fragmente i da ih koristi u dinamičkom komponovanju.

### Literatura:

- [1] Ross, E.: *Intelligent User Interfaces: Survey and Research Directions*. University of Bristol. United Kingdom, (2000).
- [2] Ontologging consortium: *User modeling issues in the context of Knowledge Management Systems*, resumed from <http://www.ontologging.com/project/> (2004).
- [3] ELM-ART (2003), <http://www.psihologie.uni-trier.de:8000/project/ELM/elmart.html>
- [4] Kobsa, A.; Miller, D. and Nill, A. KN-AHS: An Adaptive Hypertext Client of the User Modeling System BGP-MS. *Proceedings of the Fourth International Conference on User Modeling*, Hyannis, MA, pp. 99–105, 1994.
- [5] Chin, D.: KNOPE: Modeling What the User Knows in UC. In A. Kobsa and W. Wahlster (Eds.), *User Models in Dialog Systems*, Berlin: Springer-Verlag, (Symbolic Computation Series edited by D. W. Loveland), (1989) pp. 74–107.
- [6] Kobsa, A.; Koenemann, J. and Pohl, W.: Personalized Hypermedia Presentation techniques for Improving Online Customer Relationships. *The Knowledge Engineering Review* 16(2), (2001) 111–155.
- [7] Šimić, G.; Devedžić, V.: Building an intelligent system using modern Internet technologies, *Expert Systems With Applications Journal*, Elsevier, Vol. 25 (2003) 231–246.
- [8] Apache Lenya <http://cocoon.apache.org/lenya/>
- [9] ARIADNE: <http://www.ariadne-eu.org/index.html>
- [10] Open CMS: <http://www.opencms.org/opencms/opencms/>

**Sc Miroslav Stojanović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**Milan Milovanović,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Aleksandar Janković,**  
dipl. inž.  
Vojnomedicinska akademija,  
Beograd

## REALIZACIJA RAČUNARSKE MREŽE VOJNOMEDICINSKE AKADEMIJE

UDC: 004.738.4 : 355.721 (497.1)

### Rezime:

*Vojnomedicinska akademija (VMA) u Beogradu danas se ne može zamisliti bez kvalitetnog informacionog sistema, koji se najčešće razvija u sistemu računarske mreže. Cilj ovog rada je da prikaže smernice i definiše neka rešenja u implementaciji buduće računarske mreže VMA. Težište rada je na implementaciji prva tri nivoa OSI modela jedne složene i kompleksne mreže kakva bi trebalo da bude računarska mreža VMA.*

*Ključne reči: informacioni sistem, računarska mreža, projektovanje, softver, Web.*

---

### MEDICAL MILITARY ACADEMY INFORMATION SYSTEM MENAGEMENT

#### Summary:

*The Medical Military Academy (MMA) in Belgrade cannot be imagined without a high-quality information system implemented in a corresponding computer network. The aim of this study is to show guidelines and possible solutions in implementing a computer network in to the MMA in the future. The main part of this study describes the implementation of the first three levels of the OSI model into the complex MMA computer network.*

*Key words: information system, computer network, design, software, Web.*

---

### Uvod

Kada se projektuje infrastruktura jedne računarske mreže mora se uzeti u obzir više zahteva. Neki od njih su: broj korisnika u sistemu (broj priključaka, prostorni raspored priključaka i organizacionih jedinica), karakteristike saobraćaja u sistemu (karakteristike mrežnih aplikacija i zahtevi koje te aplikacije postavljaju pred mrežu), protokoli koji će biti implementirani, veze koje je potrebno ostvariti sa drugim sistemima i slično. Da bi se ovi zahtevi ispunili potrebna je saradnja na svim

nivoima u okviru VMA u funkciji definisanja projektnog zadatka mrežne infrastrukture i informacionog sistema u celini. Pošto takav zadatak ne postoji, ovaj rad definiše neke osnovne principe implementacije, polazeći od opštih karakteristika ustanove, njene organizacije i delatnosti kojom se bavi. U skladu s tim predložena su rešenja realizacije mreže, ali se ona mogu korigovati, u zavisnosti od konkretnih zahteva, ali uvek sa jasno definisanim principima. Ipak, neka konkretna rešenja, kao što je realizacija kičme same mreže, prikazana su u ovom radu.

## Opšta struktura mreže

Vojnomedicinska akademija je ustanova sastavljena od klinika i instituta koji su nosioci osnovne delatnosti ustanove, i administrativnih organa koji se sastoje od pratećih službi neophodnih za uspešno funkcionisanje celog sistema. Svaka od ovih celina ima svoje specifične funkcije i zadatke, pa u skladu s tim i različite potrebe prema odgovarajućem informacionom sistemu. Pored toga, postoji i potreba za međusobnom razmenom informacija između pojedinih delova sistema. Naravno, svaki od ovih sistema ima potrebu da vrši razmenu informacija sa „spoljnim svetom“.

Ako se ovakva organizacija VMA prenese na strukturu računarske mreže neophodne za implementaciju informacionog sistema, dolazi se do zaključka da mreža, takode, mora da bude hijerarhijski organizovana. Hijerarhijska struktura podrazumeva da se mreža sastoji od logičkih celina, koje odgovaraju organizacijskim jedinicama VMA. Svaka od ovih logičkih celina je mreža za sebe, koja je projektovana u svemu prema funkcijama organizacione jedinice u kojoj je implementirana. Na osnovu toga, implementacija računarske mreže može se sagledati u dva osnovna dela. Prvi deo čine računarske mreže samih klinika, instituta i administrativnih organa VMA, dok drugi deo čini jezgro same mreže, tj. mrežni backbone koji omogućava međusobno povezivanje klinika i instituta u jednu, jedinstvenu mrežu. Ova dva dela mreže opisana su pojedinačno u narednim poglavljima.

Polazeći od OSI modela sve funkcije na mreži mogu se podeliti u sedam ni-

voa. U ovom radu prikazana je realizacija mreže na prva tri nivoa OSI modela, tj. na fizičkom nivou, nivou prenosa podataka i mrežnom nivou. Zahvaljujući svojoj popularnosti, širokoj rasprostranjenosti i fleksibilnosti TCP/IP stek protokola nameće se i rešenje za implementaciju prva četiri nivoa računarske mreže. U skladu s tim, u ovom radu je prikazana sledeća realizacija mreže: na prvom i drugom nivou opisana je Ethernet struktura mreža, dok je na trećem nivou implementiran IP protokol.

Logičke celine u mreži predstavljaju posebne virtuelne Lanove u sistemu, tj. posebne podmreže. Svaka od ovih celina ima različit broj računara, pa je, u skladu s tim, potrebno svakom delu dati odgovarajući opseg IP adresa.

Računarske mreže klinika predstavljaju, posmatrajući celokupnu računarsku mrežu VMA, pristupnu i distributivnu ravan jedne kompleksne računarske mreže. Naravno, na klinikama će biti primenjena različita rešenja, ali je princip koji je ovde izložen uvek isti. Kada je u pitanju mrežna kičma, u radu je dato konkretno rešenje njene realizacije.

## Mreže klinika

Osnovna zamisao jeste da se računarska mreža VMA implementira u dva dela. Prvi nivo predstavljaju računarske mreže organizacionih jedinica VMA, tj. klinika, instituta i administrativnih organa. Ove računarske mreže treba implementirati tako da se na njima uspešno mogu izvršavati aplikacije neophodne za uspešno funkcionisanje samih klinika, ali i da omoguće povezivanje klinika u jedinstvenu mrežu VMA.

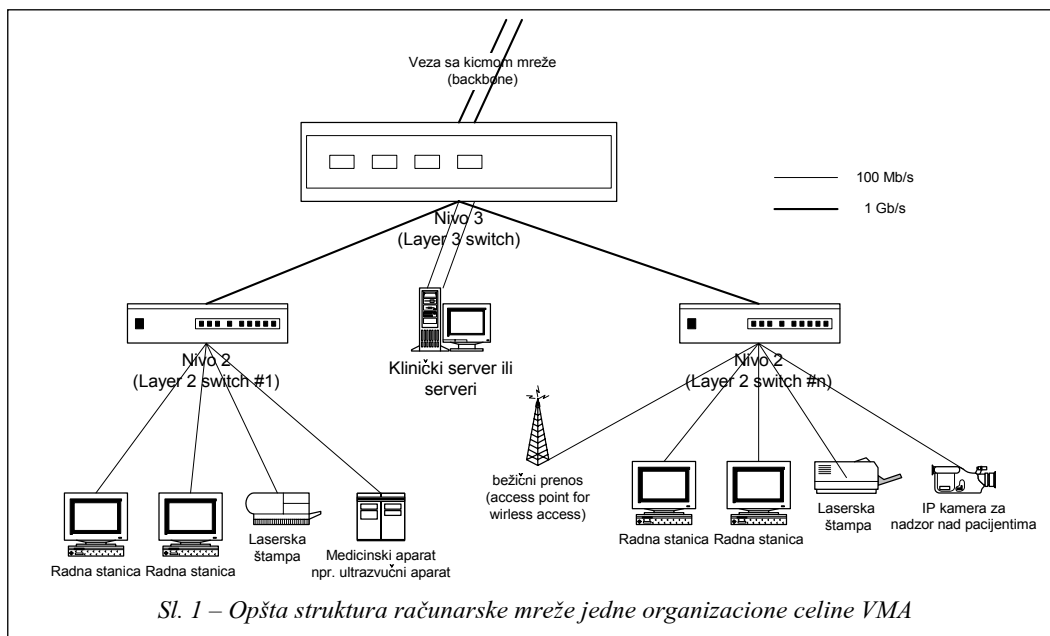
Opšta šema računarske mreže jedne klinike prikazana je na slici 1. Kao što se uočava, mreža ima dve osnovne ravni. Prvu ravan predstavljaju Layer 2 switchevi na koji se povezuju radne stanice, štampači, medicinski aparati sa Ethernet portovima, IP kamere, uređaji za bežični pristup, i sl. Drugi nivo predstavlja Layer 3 switch na koji se povezuju Layer 2 switchevi prethodne ravni. Ovaj switch omogućava međusobno povezivanje Layer 2 switcheva sa jedne strane i povezivanje celokupne mreže klinike na kičmu mreže sa druge strane.

Layer 2 switchevi treba da zadovolje sledeće uslove:

- dovoljan broj portova za povezivanje računara i ostalih uređaja;
- upravljivost, tj. mogućnost upravljanja i konfigurisanja mreže. Ovaj zahtev je značajan za buduće administratore mreže, jer im omogućava da se sa jedne lokacije upravlja mrežnim uređajima;

- implementacija virtuelnih LAN-ova (VLAN). Ova osobina omogućava da se mreža segmentira na logičke celine, tako da komunikacija između računara u jednom VLAN-u ne ugrožava računare u drugom. To je bitno sa stanovišta bezbednosti na mreži. Da bi komunikacija između VLAN-ova ipak bila moguća, u aplikacijama koje to zahtevaju, Layer 3 switch omogućava rutiranje paketa koji potiču iz različitih VLAN-ova. Zbog toga agregatni portovi na switchu tj. portovi ka Layer 3 switchu treba da budu konfigurisani tako da podržavaju standard 802.1.q. Ovim standardom definiše se tzv. Virtual Bridged LAN arhitektura, servisi, protokoli i metode kojima se implementira QoS. Ovim standardom se LAN mreža može podeliti – premostiti na nekoliko nezavisnih segmenata koji se odvojeno mogu posmatrati kao posebne LAN;

- implementacija QoS (Quality of Service), korišćenjem standarda 802.1. p, pruža mogućnost davanja prioriteta poje-



dinim paketima na mreži. Odgovarajućim korisnicima, odnosno aplikacijama, rezerviša se dogovoreni propusni opseg, u slučaju zagušenja na mreži. Korisnicima sa nižim prioritetom može se čak i prekinuti prenos, kako bi se održao ugovoreni kvalitet servisa prioriternim korisnicima. To je naročito bitno za glasovne i video aplikacije na mreži koje su naročito osetljive na gubitke paketa u mreži i kašnjenje, pa je to jedan od načina da se ti problemi reše. S obzirom na to da računarska mreža VMA treba da obuhvati prenos slike i glasa, ovaj uslov je važan u njenoj implementaciji.

Layer 3 switch treba da zadovolji iste uslove kao i prethodni, i još sledeće:

- rutiranje paketa između različitih VLAN-ova;

- kompatibilnost sa standardom 802.1q i 802.1p, čime se opisuju najvažnije metode za uspostavljanje QoS na MAC nivou TCP/IP modela mrežne arhitekture, kao što su klase saobraćaja i dinamičko filtriranje;

- mogućnost implementacije link agregation grupa (LAG), tj. mogućnost da se više fizičkih linkova ugradi u jedan logički link, što omogućava veći kapacitet. To je važno, jer veze ka serverima na klinici, naročito ka onim serverima koji su najviše opterećeni, treba da budu implementirane na ovaj način, jer se pored povećanja kapaciteta omogućava i redundantnost serverske veze ka mreži (na slici 1 prikazano dvostrukom vezom od servera ka switchu). Ova osobina može biti interesantna i za interswitch povezivanje.

Kapaciteti linkova u mreži odabrani su tako da zadovolje sve potrebne zahteve za propusnim opsegom, a uzimajući u obzir karakteristike samog saobraćaja u mre-

ži. Naime, polazi se od pretpostavke da će se više od polovine saobraćaja, koji se generiše u samoj mreži neke klinike, u njoj i terminirati. Naime, manji deo saobraćaja biće odlaznog karaktera, tj. namenjen drugim klinikama, odnosno centralnim serverima na VMA. Kapaciteti linkova od switcheva do računara su 100 Mb/s. Ovi linkovi treba da budu realizovani UTP kablovima najmanje kategorije 5e. Implementacija kablovima ove kategorije omogućava kasnije i prelazak na gigabitni ethernet u pristupnoj ravni, bez upotrebe optičkih kablova. Linkovi između Layer 2 i Layer 3 switcheva su kapaciteta 1 Gb/s i mogu se realizovati upotrebom multimodnih optičkih vlakana. Implementacija gigabitnih linkova optičkim vlaknima omogućava, u budućnosti, nadogradnju sistema na 10 Gb/s vezu promenom modula na aktivnoj opremi bez ulaganja u fizičku infrastrukturu. Pored toga, upotreba optičkih vlakana omogućava veze između switcheva na većim rastojanjima od onih koja se mogu postići upotrebom UTP kablova. Link prema kičmi mreže naročito je značajan, jer predstavlja vezu klinike sa ostatkom mreže. Iako će većina saobraćaja koji se generiše na klinici na njoj i biti terminiran, ipak se ne može zanemariti i komponenta odlaznog saobraćaja, jer su neki serveri značajni za poslovanje ustanove, predviđeni da budu u samoj kičmi mreže, kao što su mail, web serveri, ali i baze podataka. Pored toga, preko kičme mreže sve klinike ostvaruju i vezu sa Internetom i eventualno drugim klinikama u zemlji i inostranstvu. Zbog toga je predviđeno da ovaj link bude kapaciteta 2 Gb/s, odnosno realizovan je kao LAG od dva gigabitna linka. Na taj način nije postignuto samo povećanje kapaciteta, već i redundantnost ovog značajnog linka. Tako-



de, ovaj link treba realizovati optičkim vlaknima. Većini klinika dovoljan je jedan link ovog kapaciteta ka kičmi mreže, jer će se saobraćaj koji se generiše na mreži klinike uglavnom i terminirati na samoj klinici. Međutim, za dva organizaciona sistema VMA predviđa se implementacija dva ovakva linka ka kičmi mreže. To je slučaj instituta za radiologiju i instituta za medicinsku biohemiju (laboratorija). Ova dva sistema odstupaju od pravila da je interni saobraćaj veći od eksternog, jer će upravo druge klinike najviše pristupati serverima ovih sistema. Zbog tog će opterećenje ovih linkova biti veće, pa je potrebno i povećati njihov kapacitet. Način na koji su ova dva linka povezana na kičmu, objašnjen je u opisu kičme mreže, a suština je da se, pored povećanog kapaciteta, omogući i redundantnost same veze, imajući u vidu njen značaj.

Pored ovih elemenata mreža može da sadrži i uređaje za bežični pristup, tj. wireless access points, koji omogućavaju implementaciju Wireless LAN-a u sistemu. To je bitno za korisnike notebook računara, kojima se na ovaj način omogućava povezivanje na mrežu bežično, čime se dobija na modularnosti mreže i mobilnosti.

Na kraju, na slici 1 naznačena je i IP kamera, čime se želi istaći ideja da se računarska mreža može uspešno upotrebiti za prenos slike. Živa slika koja se prenosi kroz računarsku mrežu može biti slika iz sistema nadzora objekta ili sistema nadzora bolesničkih soba. Pored toga, kroz računarsku mrežu može se prenositi slika iz operacione sale, čime se omogućava prenos toka neke operacije kroz mrežu, što je naročito značajno za VMA kao edukativnu i naučnoistraživačku ustanovu. Svi ovi sistemi prenosa slike sastoje se, u suštini, od dva dela. Jedan

deo čine video serveri na koje se vezuju kamere, a drugi deo su računari na kojima se izvršavaju namenski softveri koji omogućavaju pristup video serverima i posmatranje sadržaja koji se snima. Implementacija ovih sistema zajedno sa realizacijom informacionih sistema klinika i informacionog sistema VMA u celini povećava stepen iskorišćenja mrežne infrastrukture, što povećava njenu isplativost.

### Kičma računarske mreže

Kičma računarske mreže VMA prikazana je na slici 2. Ovaj deo mreže sastoji se od dva Layer 3 switcha, koja su međusobno povezana sa dva gigabitna linka. Ova veza može se ostvariti upotrebom optičkih kablova. Na dva switcha povezane su sve mreže organizacionih jedinica VMA, kao i centralni serveri u sistemu, web server, mail server i ruteri koji omogućavaju vezu računarske mreže VMA sa Internetom, javnom telefonskom mrežom i eventualno drugim klinikama u zemlji, inostranstvu, NATO-u, Partnerstvu za mir i mirovnim misijama, preko WAN linkova.

Layer 3 switchevi treba da zadovolje iste karakteristike kao i opisani switchevi i još:

- dovoljan broj gigabitnih portova na koje bi se povezale klinike i serveri sistema;
- Layer 3 funkcionalnost, uz implementaciju QoS, policy routinga, pristupnih lista, kao i podržavanje dinamičkih protokola rutiranja kao što je OSPF;
- kompatibilnost sa standardima 802.1q i 802.1p;
- SPT (Spanning Tree Protocol) po VLAN-u. Ovim protokolom sprečava se

kruženje paketa kroz virtuelnu LAN mrežu, tako što se određuje samo jedan switch koji usmerava pakete;

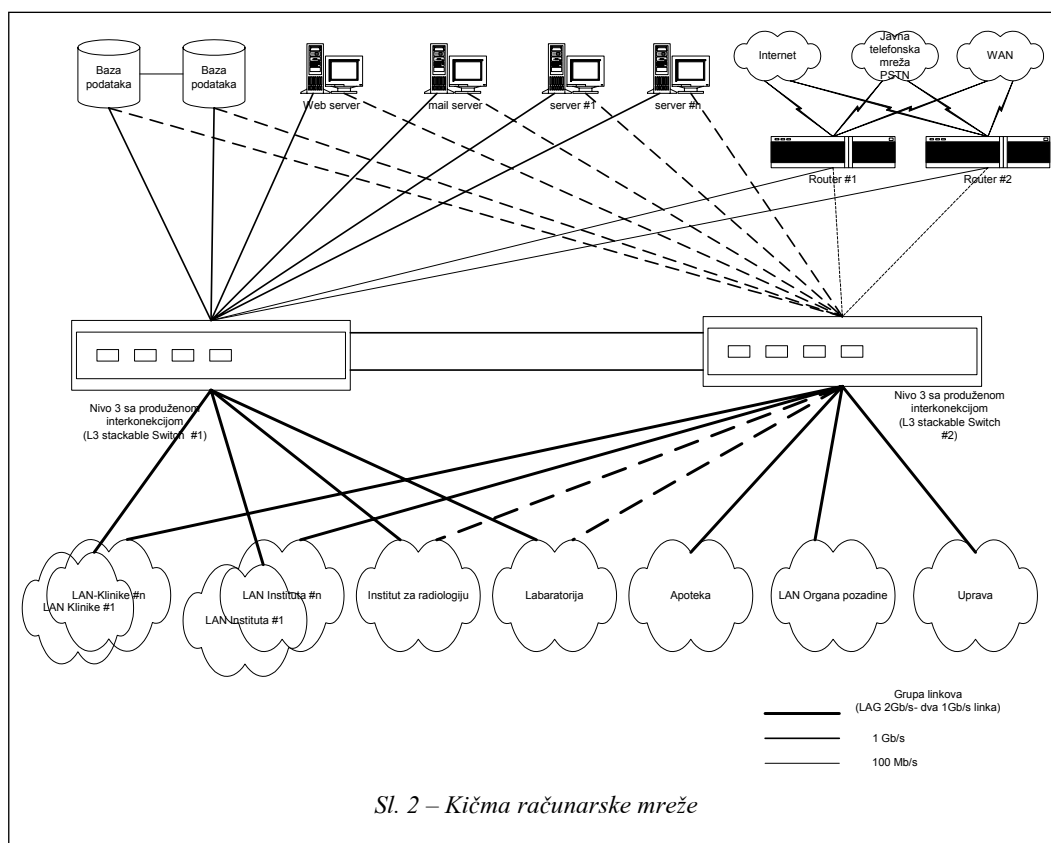
- upravljivost, kompatibilnost sa SNMP protokolom.

S obzirom na to da se radi o kičmi jedne kompleksne i složene mreže, linkovi u ovom delu mreže definisani su tako da zadovolje dva osnovna kriterijuma: dovoljan kapacitet i redundantnost, jer se radi o temelju sistema, koji mora uvek da funkcioniše. Zbog toga je predložena šema veza u kičmi mreže kao na slici 2.

Sve mreže klinika, instituta, administrativnih organa i drugih organizacionih sistema VMA, vezane su na ova dva switcha, linkovima kapaciteta 2 Gb/s, tj. pomoću LAG-a od dva gigabitna linka.

Svaka klinika vezana je ili na jedan ili na drugi switch. Na koji će se switch klinika vezivati zavisi od rastojanja i prostornog rasporeda klinika, ali je takođe bitno da se switchevi podjednako optereće. Podjednako opterećenje odnosi se prevažno na saobraćajno opterećenje, a ne na to da podjednak broj klinika bude na oba servera. Neke mreže klinika generišu više saobraćaja od drugih, pa o tome treba voditi računa. To je sada teško definisati, jer je potrebno poznavati preciznije karakteristike saobraćaja, ali se kasnije praćenjem saobraćaja na mreži može i odraditi prekonfiguracija.

Dve mreže odstupaju od ovog načina povezivanja. To su mreže Instituta za radiologiju i medicinsku biohemiju. Za



Sl. 2 – Kičma računarske mreže

ove dve mreže karakteristično je da će generisati veliki eksterni saobraćaj, pa su linkovi ovih mreža ka kičmi povezani tako da se obezbedi dodatni kapacitet. Naime, svaka od ovih mreža vezana je na oba switcha, sa po 2 Gb/s, što daje ukupan kapacitet od 4 Gb/s. Ove dve veze podjednako se koriste ako su switchevi podjednako opterećeni, ali i jedna drugoj predstavljaju redundantnost.

Kao što se sa slike 2 vidi svaki od servera u sistemu povezan je sa oba switcha linkovima kapaciteta od 1 Gb/s, koji se mogu realizovati upotrebom optičkih kablova ili upotrebom UTP kablova, što zavisi od rastojanja između switcha i servera. Na taj način ostvaren je i dovoljan kapacitet serverskih veza, ali i njihova redundantnost. Naime, saobraćaj na server dolazi i po jednom i po drugom linku, u zavisnosti od klinike sa koje potiče, kao i switcha na koji je povezana. U slučaju da dođe do oštećenja jednog od linkova, zbog veze između switcheva, saobraćaj će biti preusmeren na drugi switch, tako da sistem i dalje funkcioniše.

Ceo sistem može se povezati i sa drugim mrežama, pre svega na Internet ili sa mrežama drugih ustanova Vojske SCG, odnosno sa drugim klinikama ili institutima u zemlji, inostranstvu, NATO-u, Partnerstvu za mir i mirovnim misijama. U tu svrhu predviđena je ugradnja rutera u mrežu. Ruteri su vezani na switcheve 100 Mb/s vezama. Sa druge strane, svaki od rutera ima vezu na Internet mrežu, čime je ostvarena redundantnost Internet konekcije. Internet konekcija može se ostvariti upotrebom DSL tehnologije i veze sa nadređenim provajderom Internet usluga. Kapaciteti ovih linkova mogu biti do 2 Mb/s. Obe veze na

Internetu mogu se istovremeno koristiti, odnosno saobraćaj se podjednako može usmeravati na jedan ili drugi link.

Pored ovih veza može se predvideti više WAN linkova ka drugim mrežama. Ovi linkovi mogu biti, takođe, realizovani upotrebom DSL tehnologije ili Frame Relay mreže Telekoma Srbije. Šta će biti korišćeno zavisi od konkretnog slučaja i geografskog rasporeda mreža sa kojima se ovo povezivanje ostvaruje. Na kraju, postoji i veza ka telefonskoj mreži, koja omogućava dial-in pristup na mrežu, tj. mogućnost da se zaposleni od kuće ili sa neke udaljene lokacije mogu vezivati na mrežu. Naravno, ove veze mogu se upotrebiti i za telefonski saobraćaj.

### Zaključak

Polazeći od opštih karakteristika Vojnomedicinske akademije, njene organizacije i delatnosti kojom se bavi, u radu su prikazane smernice u implementaciji računarske mreže VMA u Beogradu. Prikazana su rešenja realizacije dva nivoa mreže. U prvom delu rada prikazana je generalna realizacija računarskih mreža organizacionih jedinica VMA. Konkretno mreže klinika, instituta i drugih organizacionih jedinica VMA razlikovaće se, ali principi koji su ovde izloženi biće im zajednički. U drugom delu rada prikazano je konkretno rešenje realizacije mrežne kičme.

#### Literatura:

- [1] (MSCE00) MSCE Training Kit-Microsoft Windows 2000.
- [2] Network Infrastructure Administration, Microsoft Corporation, 2000.
- [3] Komar, B.: TCP/IP, Kompjuter biblioteka, Čačak.
- [4] (Cisco Press) Interconnecting Cisco Network Devices.
- [5] Muller, S.: Nadogradnja i popravka PC, prevod, 8. izdanje, CET biblioteka, Beograd, 1998.

**Dr Boban Đorović,**  
major, dipl. inž.  
**Srdan Ljubojević,**  
poručnik, dipl. inž.  
**Srdan Đimić,**  
poručnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## OPTIMIZACIJA REALIZACIJE TRANSPORTNIH PROCESA PRIMENOM RUTING-MODELA

UDC: 355.69 : 519.863

### *Rezime:*

*U radu je prikazan pristup optimizaciji realizacije transportnih procesa primenom ruting-modela. Za rešavanje problema optimizacije transporta izložen je algoritam ušteda i njegova modifikovana varijanta, koja uzima u obzir i fiksne troškove transportnih sredstava.*

*Ključne reči: transportni procesi, troškovi transporta, optimizacija, algoritam, ruting model.*

---

## OPTIMIZING TRANSPORTATION PROCESSES USING THE ROUTE MODEL

### *Summary:*

*This paper shows an approach to optimizing transportation processes by using the route model. For solving a problem of transportation proces optimization we present a savings algorithm and its modifications, with a special emphasis on fixed costs of transportation means.*

*Key words: transportation proceses, transportation costs, optimization, algorithm, route model.*

---

### **Uvod**

Transport je logistička funkcija koja omogućava zadovoljenje raznovrsnih zahteva ostalih logističkih funkcija. Značaj transporta, kao integrativne funkcije u sistemu logističke podrške, apostrofiran je i njegovim izdvajanjem u posebnu funkciju sistema. S obzirom na to da transport, kao funkcija, obezbeđuje prevoz ljudstva i materijalnih sredstava radi ispunjenja zahteva i obaveza odgovarajućih elemenata sistema logističke podrške, to i njegovo učešće, sa aspekta logističkih troškova sistema, nije zanemarljivo. U pristupu analizi i značaju transporta u logističkoj podršci, sa bilo kog aspekta i

nivoa, neophodno je sagledati neke od njegovih bitnih elemenata: transportnu mrežu, prevozne kapacitete, transportne troškove i dr.

U upravljanju transportom, kao logističkom funkcijom, potrebno je permanentno rešavati niz kompleksnih problema, među kojima su primarni optimalni izbor vida transporta i optimizacija korišćenja transportnih sredstava. U okviru grupe problema vezanih za optimizaciju korišćenja transportnih sredstava dominantni su problemi izbora optimalnih ruta kretanja transportnih sredstava, optimizacije iskorišćenja kapaciteta transportnih sredstava i minimizacije transportnih troškova [1].

## Optimizacija transporta u logističkoj podršci

Optimizacija sistema transporta se, sa aspekta logističkog pristupa upravljanju transportom, prvenstveno ostvaruje optimizacijom transportnih tokova roba i korišćenja transportnih sredstava.

Kada je u pitanju upotreba transportnih sredstava, proces optimizacije svodi se na rešavanje problema koji su zasnovani na osnovnim karakteristikama rutin-problema, tj. problema određivanja optimalne rute (putanje kretanja) transportnih sredstava koja vrše uslugu na transportnoj mreži, u smislu minimizacije pređenog puta, vremena putovanja ili troškova usluge (transporta).

U teoriji i praksi prisutan je veliki broj modela za rešavanje problema ovakve i slične prirode. Prepoznatljiva su dva osnovna pristupa rutingu transportnih sredstava: „ruting-zoniranje“ i „zoniranje-ruting“ [2].

Pristup „ruting-zoniranje“ podrazumeva formiranje jedinstvene rute za celu mrežu i njenu naknadnu podelu na zone, dok se u pristupu „zoniranje-ruting“ najpre transportna mreža izdela na zone, pa se u svakoj zoni posebno projektuju rute transportnih sredstava.

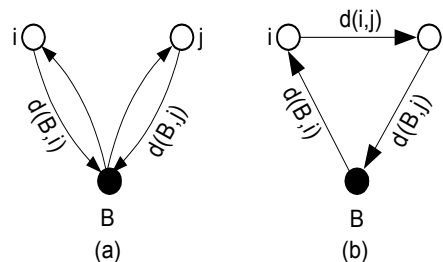
Rute se, u skladu sa raspoloživim vremenom, projektuju upotrebom heurističkih ili egzaktnih algoritama (modela). Heurističkim algoritmima se, relativno brzo, dolazi do „dovoljno dobrih“ (prihvatljivih) rešenja, dok egzaktni modeli daju optimalno rešenje, ali zahtevaju i veće vremenske resurse. To je posebno indikativno u transportnim mrežama sa velikim brojem čvorova (lokacije u kojima se javlja potražnja za uslugom).

## Clarke-Wrightov algoritam ušteda

U nizu modela kojima se rešavaju rutin-problemi posebno je interesantan, s obzirom na specifičnost vojnog transporta, tzv. Clarke-Wrightov algoritam „ušteda“.

Osnovna ideja Clarke-Wrightovog algoritma zasnovana je na uštedi u pređenom putu, vremenu putovanja, utrošku goriva, ukupnim transportnim troškovima, koja se ostvaruje pri opsluživanju čvorova transportne mreže različitim putanjama transportnih sredstava. Ako je B (baza) čvor iz kojeg transportno sredstvo polazi i u koji se vraća na kraju opsluživanja, onda bilo koji par čvorova (i,j) to transportno sredstvo može da opsluži na dva načina: da krene iz baze, opsluži čvor i, vrati se u bazu, opsluži čvor j i ponovo se vrati u bazu (slika 1a), ili da krene iz baze, opsluži čvor i, opsluži čvor j i vrati se u bazu (slika 1b).

Veličina  $d(i,j)$  predstavlja najkraći put između čvorova i i j ili najmanje vreme transporta od čvora i do čvora j ili najmanju količinu goriva utrošenu na putu od čvora i do čvora j, itd., zavisno od suštine konkretnog problema. U opštem slučaju  $d(i,j) \neq d(j,i)$ , tako da utrošak goriva na putu od čvora i do čvora j, kada je u pitanju uspon, nije isti kao utrošak goriva pri povratku, na spustu, itd.



Sl. 1 – Izračunavanje „ušteda“

Ako se veličina  $d(i,j)$  posmatra kao ukupni trošak od čvora  $i$  do čvora  $j$ , tada, za slučaj sa slike 1a, ukupni transportni troškovi iznose:

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,B) + d(B,j) + d(j,B) \quad (1)$$

a za slučaj sa slike 1b:

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,j) + d(j,B) \quad (2)$$

Ukupni transportni troškovi su u drugom slučaju manji za veličinu:

$$T'(i,j) = d(i,B) + d(B,j) - d(i,j) \quad (3)$$

Zaključak je da, što je ušteda  $T'(i,j)$  veća, to je ekonomičnije čvorove  $i$  i  $j$  spojiti u jednu rutu. Pri tome je ograničavajući faktor kapacitet transportnog sredstva. Naime, da bi se čvorovi  $i$  i  $j$  spojili u jednu rutu, kapacitet transportnog sredstva mora biti veći od ukupnih zahteva za opslugu, koji se javljaju u ova dva čvora.

Clarke-Wrightov algoritam „ušteda“ za projektovanje ruta transportnih sredstava sastoji se od sledećih algoritamskih koraka [2]:

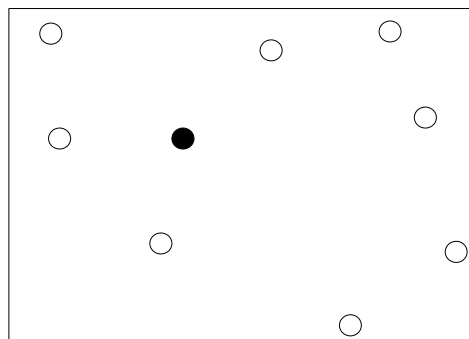
*Korak 1:* izračunati uštede  $T(i,j) = d(B,i) + d(B,j) - d(i,j)$ , za svaki par  $(i,j)$  čvorova koji treba opslužiti.

*Korak 2:* izvršiti rangiranje svih ušteda i poredati ih po veličini. Napraviti listu ušteda koja započinje najvećom uštedom.

*Korak 3:* pri razmatranju uštede  $T(i,j)$  odgovarajuću granu  $(i,j)$  uključiti u delimičnu rutu ako se pri tome ne krše operativna ograničenja i:

a) ukoliko ni čvor  $i$  ni čvor  $j$  nisu bili uključeni ni u jednu delimičnu rutu;

b) ukoliko je jedan od čvorova  $i$  ili  $j$  već uključen u neku postojeću delimičnu rutu, i ako taj čvor nije unutrašnji čvor u rutu;



Sl. 2 – Čvorovi koje treba opslužiti

c) ukoliko su oba čvora  $i$  i  $j$  uključena u dve različite delimične rute i nijedan od tih čvorova nije unutrašnji u tim rutama, pa je moguće spojiti delimične rute u jednu.

*Korak 4:* kada je lista ušteda potrošena do kraja treba završiti algoritmom.

Primena algoritma „ušteda“ prikazana je na primeru transportne mreže sa slike 2.

Troškovi transporta, u novčanim jedinicama, između svih parova čvorova u datoj transportnoj mreži prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1  
Troškovi transporta između parova čvorova

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	40	30	58	32	52	28	67	55
2	40	-	43	81	29	87	63	106	94
3	30	43	-	37	53	46	57	70	70
4	58	81	37	-	88	27	77	57	67
5	32	29	53	88	-	84	40	96	80
6	52	87	46	27	84	-	62	30	43
7	28	63	57	77	40	62	-	62	40
8	67	106	70	57	96	30	62	-	25
9	55	94	70	67	80	43	40	25	-

Zahtevi za opslugom, koji se javljaju u čvorovima, prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2  
Zahtevi za opslugom po čvorovima

Čvor $i$	2	3	4	5	6	7	8	9
Potražnja u čvorovima	4	7	3	2	6	3	2	3

Opsluga (transport) vrši se sredstvom kapaciteta  $V = 12$  jedinica tereta. Prema Clarke-Wrightovom algoritmu u prvom koraku treba izračunati uštede za svaki par čvorova koji treba opslužiti. Na primer, za par čvorova (2,3) to bi bilo:  $T(2,3) = d(1,2) + d(1,3) - d(2,3) = 40 + 30 - 43 = 27$

Po istoj metodologiji određuju se uštede za svaki par čvorova (i,j), a u drugom koraku obavlja se rangiranje ušteda po veličini (tabela 3).

Tabela 3

Vrednosti ušteda

Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)	Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)	Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)
(8,9)	97	(7,8)	33	(2,6)	5
(6,8)	89	(3,8)	27	(2,7)	5
(4,6)	83	(2,3)	27	(5,8)	3
(4,8)	68	(5,7)	20	(4,5)	2
(6,9)	64	(6,7)	18	(3,7)	1
(3,4)	51	(2,4)	17	(2,8)	1
(4,9)	46	(3,9)	15	(2,9)	1
(7,9)	43	(4,7)	9	(5,6)	0
(2,5)	43	(3,5)	9		
(3,6)	36	(5,9)	7		

U trećem koraku vrši se projektovane rute, pri čemu najveću uštedu ima grana (8,9). Zahtevi za opslugom koji se javljaju u čvorovima 8 i 9 su  $V_8 + V_9 = 2 + 3 = 5 < 12 = V$ . Kako jedno transportno sredstvo može svojim kapacitetom da opsluži oba čvora, formira se prva delimična ruta 1-8-9-1. Sledeća po vrednosti je ušteda na grani (6,8). Kako je čvor 8 spoljašnji čvor u postojećoj delimičnoj ruti (susedni čvor bazi – čvoru 1), moguće je čvor 6 uključiti u rutu upravo preko čvora 8, a i kapacitet transportnog sredstva može da zadovolji ukupnu potražnju za opslugom na tako formiranoj ruti (ruta 1-6-8-9-1, potražnja:  $V_6 + V_8 + V_9 = 6 + 2 + 3 = 11 < 12 = V$ ). Naredna ušteda u

nizu je na grani (4,6). U ovom slučaju nije moguće proširenje postojeće delimične rute 1-6-8-9-1 čvorom 4, preko čvora 6, jer bi ukupna potražnja za opslugom na tako proširenoj ruti bila veća od kapaciteta transportnog sredstva ( $V_4 + V_6 + V_8 + V_9 = 3 + 6 + 2 + 3 = 14 > 12 = V$ ). Kada je u pitanju ušteda na grani (4,8), proširenje rute čvorom 4 nije moguće jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u delimičnoj ruti 1-6-8-9-1. Ušteda na grani (6,9) ne razmatra se, jer su oba čvora već uključena u postojeću delimičnu rutu. Međutim, kada se posmatra grana (3,4) ni čvor 3 ni čvor 4 nisu uključeni u postojeću delimičnu rutu, pa se formira nova delimična ruta 1-3-4-1. Kako je ukupna potražnja na ovoj ruti  $V_3 + V_4 = 7 + 3 = 10$  manja od kapaciteta transportnog sredstva ( $V = 12$ ), formiranje rute je moguće. Zatim sledi ušteda na grani (4,9). Spajanje dve postojeće delimične rute u jednu, preko čvorova 4 i 9, nije moguće, jer bi se time uveliko premašili kapaciteti transportnih sredstava ( $V_3 + V_4 + V_6 + V_8 + V_9 = 21 > 12 = V$ ). Zbog toga nije moguće ni proširenje delimične rute 1-6-8-9-1 čvorom 7, preko čvora 9. Ušteda na grani (2,5) ostvarljiva je, jer ni čvor 2 ni čvor 5 nisu uključeni ni u jednu postojeću delimičnu rutu, pa je moguće formirati novu delimičnu rutu 1-2-5-1, a i kapacitet transportnog sredstva je dovoljan da zadovolji zahteve za opslugom na ovoj ruti ( $V_2 + V_5 = 4 + 2 = 6 < 12 = V$ ). Uštede na granama (3,6), (7,8), (3,8) i (2,3) nisu ostvarljive. Na granama (3,6) i (2,3) kapacitet transportnog sredstva je manji od potražnje za opslugom na rutama nastalim spajanjem ruta 1-3-4-1 i 1-6-8-9-1 (preko čvorova 3 i 6), i ruta 1-3-4-1 i 1-2-5-1 (preko čvorova 2 i 3). Na granama

(7,8) i (3,8) uštede nisu ostvarljive, jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti, pa nije moguće preko njega spojiti dve rute. Sledeća u nizu je ušteda na grani (5,7). Kako je čvor 5 spoljašnji čvor u postojećoj delimičnoj ruti 1-2-5-1, a i kapacitet transportnog sredstva je dovoljno veliki da zadovolji zahtev za opslugom koji bi se javio na ruti 1-2-5-7-1, opravdano je proširenje rute 1-2-5-1 čvorom 7, preko čvorova 5. Ušteda na grani (6,7) nije ostvarljiva, jer se postojeće delimične rute 1-6-8-9-1 i 1-2-5-7-1 ne mogu spojiti u jednu, zbog nedovoljnog kapaciteta transportnog sredstva za podmirivanje zahteva za opslugom na tako velikoj ruti. Isti je slučaj i sa uštedama na granama (2,4), (3,9) i (4,7). Kod ušteda na grani (3,5) nije moguće spojiti dve rute, jer čvor 5 nije spoljašnji čvor u „svojoj“ ruti. Ista je situacija i sa uštedom na grani (5,9). Za ostvarenje uštede na grani (2,6) ograničavajući faktor je neodgovarajući kapacitet transportnog sredstva ukupnim zahtevima za opslugom na ruti koja bi nastala spajanjem ruta 1-2-5-7-1 i 1-6-8-9-1. Ušteda na grani (2,7) ne razmatra se, jer su i čvor 2 i čvor 7 već uključeni u istu delimičnu ruti. Ušteda na grani (5,8) neostvarljiva je, jer se postojeće delimične rute ne mogu spojiti (čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti). Spajanje ruta 1-2-5-7-1 i 1-3-4-1, radi ostvarenja uštede na grani (4,5), takođe nije moguće zbog ograničenja u kapacitetu. Isti je slučaj i za uštedu na grani (3,7). Ušteda na grani (2,8) nije ostvarljiva, jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti, a ni ušteda na grani (2,9), jer bi spajanjem dve rute (preko čvorova 2 i 9) zahtevi za opslugom prevazišli kapacitet transportnog sredstva. Ušteda na grani (5,6) nije ostvarljiva, jer čvor 5 nije spoljašnji čvor rute.

Kako su uštede na svim granama razmotrene, konačne rute prikazane su na slici 3, i glase:

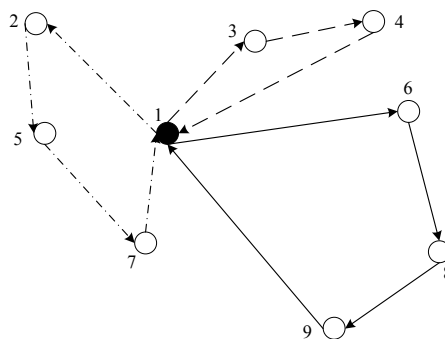
(I  $\equiv$  1-6-8-9-1; II  $\equiv$  1-2-5-7-1; III  $\equiv$  1-3-4-1)

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose  $T_{uk1} = 424$  novčane jedinice.

Ako se na istoj transportnoj mreži (slika 2), opsluga vrši transportnim sredstvom kapaciteta  $V = 8$  jedinica tereta, nakon primene Clarke-Wrightovog algoritma za projektovanje ruta, dobijene rute bi glasile: (I  $\equiv$  1-4-8-9-1; II  $\equiv$  1-2-5-1; III  $\equiv$  1-3-1; IV  $\equiv$  1-6-1; V  $\equiv$  1-7-1)

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose  $T_{uk2} = 516$  novčanih jedinica.

Ovako primenjen Clarke-Wrightov algoritam ušteda odnosi se na projektovanje ruta transportnih sredstava homogenog voznog parka. S obzirom na to da se ovim algoritmom rute transportnih sredstava proširuju sve dok to dozvoljava kapacitet transportnog sredstva, to je, u slučaju primene na heterogen vozni park, najčešća upotreba transportnog sredstva



Sl. 3 – Rute dobijene primenom Clarke-Wrightovog algoritma „ušteda“



najvećeg kapaciteta. Međutim, na ovaj način ne razmatraju se fiksni troškovi transportnih sredstava. Pošto je vozni park vojne organizacije specifičan, kao i transportni zadaci koji se realizuju, za upravljanje vojnim transportom potrebno je i razmatranje fiksnih troškova. Shodno tome, adekvatnija je primena modifikovanog algoritma ušteda, kojim se projektuju rute u slučaju različitih tipova transportnih sredstava u voznom parku.

#### Modifikovani algoritam ušteda za projektovanje ruta u slučaju različitih tipova transportnih sredstava

Da bi se modifikovani algoritam ušteda mogao primeniti na transportnu mrežu sa slike 2, potrebno je, pored već postojećih pretpostavki, uvrstiti još dve:

1. da se transport ne vrši samo sa jednim tipom transportnog sredstva, već sa dva tipa kapaciteta  $V_1 = 8$  i  $V_2 = 12$  jedinica tereta.

2. da funkcija  $F(x)$ , koja predstavlja fiksne troškove (kupovine ili iznajmljiva-

nja) po kapacitetu najmanjeg transportnog sredstva koje je u stanju da opsluži potražnju  $x$ , izgleda kao na slici 4.

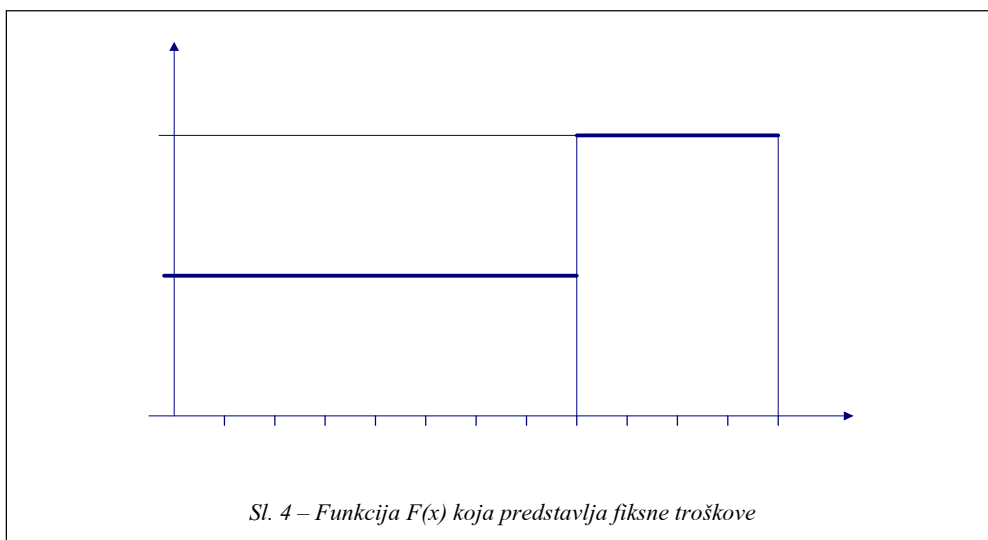
Ako se uvažava vrednosti fiksnih troškova onda veličine ušteda dobijenih primenom Clarke-Wrightovog algoritma neće imati istu vrednost, već će u opštem slučaju biti [2]:

$$\bar{T}(i, j) = T(i, j) + F(V_i) + F(V_j) - F(V_i + V_j) \quad (4)$$

Tako, na primer, za granu (8,9) vrednost „modifikovane“ uštede iznosi:

$$\begin{aligned} \bar{T}(8,9) &= T(8,9) + F(V_8) + \\ &+ F(V_9) - F(V_8 + V_9) = T(8,9) + \\ &+ F(2) + F(3) - F(2 + 3) = \\ &= 97 + 50 + 50 - 50 = 147 \end{aligned}$$

Opslugu na toj grani bi, s obzirom na zahteve na njoj ( $V_8 + V_9 = 5$ ), vršilo transportno sredstvo tipa 1 ( $V_1 = 8$ ), jer ono po kapacitetu zadovoljava, a ima i niže fiksne troškove od transportnog sredstva tipa 2. Analogno tome, izraču-



Sl. 4 – Funkcija  $F(x)$  koja predstavlja fiksne troškove

nate su sve „modifikovane“ uštede  $\bar{T}(i, j)$ , za sve parove čvorova  $(i, j)$  koje treba opslužiti, i svakoj grani privremeno je dodeljeno transportno sredstvo odgovarajućeg tipa. Ove uštede, rangirane po veličini, i tip transportnog sredstva, privremeno dodeljen konkretnoj grani, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4  
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen grani 1 ( $V_1 = 8$ ) 2 ( $V_2 = 12$ )	Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen grani 1 ( $V_1 = 8$ ) 2 ( $V_2 = 12$ )
(8,9)	147	1	(4,7)	59	1
(6,8)	139	1	(5,9)	57	1
(4,8)	118	1	(2,7)	55	1
(4,9)	96	1	(5,8)	53	1
(7,9)	93	1	(4,5)	52	1
(2,5)	93	1	(3,4)	51	2
(4,6)	83	2	(2,8)	51	1
(7,8)	83	1	(2,9)	51	1
(3,8)	77	2	(5,6)	50	1
(2,3)	77	2	(3,6)	36	2
(5,7)	70	1	(3,9)	15	2
(6,7)	68	2	(3,5)	9	2
(2,4)	67	1	(2,6)	5	2
(6,9)	64	2	(3,7)	1	2

Evidentno je da se nakon novog rangiranja redosled ušteda promenio.

Kako je najveća ušteda na grani (8,9), prva delimična ruta glasi 1-8-9-1. Ovu rutu moguće je proširiti jednim od preostalih čvorova (2,3,4,5,6 ili 7). Ako je u pitanju proširenje rute čvorom 2, preko čvora 8, onda je vrednost nove uštede:

$$\begin{aligned}\bar{T}(2,8) &= T(2,8) + F(V_8 + V_9) - \\ &- F(V_2 + V_8 + V_9) = 51 + F(4) + G(2+3) - \\ &- F(4+2+3) = 51 + 50 + 50 - 100 = 51\end{aligned}$$

Ovako proširenoj ruti bi, s obzirom na zahteve za transportom koji bi se na njoj javili, bilo dodeljeno transportno sredstvo tipa 2. Kada se na identičan način izračunaju uštede i za ostale moguć-

nosti proširenja ove rute, preko čvora 8 i čvora 9, kao najekonomičnije će se ispostaviti proširenje rute uključivanjem čvora 4 preko čvora 8 (ova varijanta proširenja ima najveću vrednost uštede, a i ukupni zahtevi za transportom na takvoj ruti ne prevazilaze kapacitete raspoloživih transportnih sredstava). Pregled novonastalih ušteda za sve mogućnosti proširenja rute i tipova transportnih sredstava koja bi bila dodeljena „proširenim“ rutama, prikazan je u tabeli 5.

Tabela 5  
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,2,8,9,1)	$\bar{T}(2,8) + 0 = 51$	2
(1,3,8,9,1)	$\bar{T}(3,8) + 0 = 77$	2
(1,4,8,9,1)	$\bar{T}(4,8) + 50 = 168$	1
(1,5,8,9,1)	$\bar{T}(5,8) + 50 = 103$	1
(1,6,8,9,1)	$\bar{T}(6,8) + 0 = 139$	2
(1,7,8,9,1)	$\bar{T}(7,8) + 50 = 133$	1
(1,8,9,2,1)	$\bar{T}(9,2) + 0 = 51$	2
(1,8,9,3,1)	$\bar{T}(9,3) + 0 = 15$	2
(1,8,9,4,1)	$\bar{T}(9,4) + 50 = 146$	1
(1,8,9,5,1)	$\bar{T}(9,5) + 50 = 107$	1
(1,8,9,6,1)	$\bar{T}(9,6) + 0 = 64$	2
(1,8,9,7,1)	$\bar{T}(9,7) + 50 = 143$	1

Nakon proširenja prvobitne delimične rute u rutu 1-4-8-9-1 potrebno je razmotriti mogućnosti daljeg proširenja, na isti način. I tom prilikom proširenje neće biti moguće ukoliko ukupni zahtevi za transportom ne budu u granicama kapaciteta raspoloživih tipova transportnih sredstava. Pregled mogućnosti daljeg proširenja prikazan je u tabeli 6, uz napomenu da su iz tabele izostavljena moguća proširenja koja prevazilaze ograničenja kapaciteta (npr. 1-3-4-8-9-1, jer su ukupni zahtevi  $V = V_3 + V_4 + V_8 + V_9 = 15 > 12$ ).

Tabela 6  
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,2,4,8,9,1)	$\bar{T}(2,4) + 0 = 67$	2
(1,5,4,8,9,1)	$\bar{T}(5,4) + 0 = 52$	2
(1,7,4,8,9,1)	$\bar{T}(7,4) + 0 = 59$	2
(1,4,8,9,2,1)	$\bar{T}(9,2) + 0 = 51$	2
(1,4,8,9,5,1)	$\bar{T}(9,5) + 0 = 57$	2
(1,4,8,9,7,1)	$\bar{T}(9,7) + 0 = 93$	2

Najveću uštedu, prema tabeli 6, ima varijanta uključivanja čvora 7 u rutu, preko čvora 9. Kako je vrednost ukupnih zahteva na takvoj ruti u granicama kapaciteta transportnog sredstva tipa 2, novoprojektovana ruta glasi 1-4-8-9-7-1. Dalja proširenja ove rute nisu moguća, jer dodeljeno transportno sredstvo više nema resursa po kapacitetu. Čvorovi koji pripadaju projektovanoj ruti isključuju se iz daljeg razmatranja, a od preostalih se formira nova ruta, analogno izloženom postupku projektovanja prve rute. „Pročišćena“ tabela 3 (bez grana koje sadrže čvorove 4,7,8 i 9) poprima izgled tablele 7:

Tabela 7  
Uštede i tipovi transportnih sredstava nakon formiranja prve rute

Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(2,5)	93	1
(2,3)	77	2
(5,6)	50	1
(3,6)	36	2
(3,5)	9	2
(2,6)	5	2

S obzirom na to da grani (2,5) pripada najveća vrednost uštede  $\bar{T}(i,j)$ , druga delimična ruta glasi 1-2-5-1. Moguća proširenja ove rute, odgovarajuće uštede i tip transportnog sredstva, privremeno dodeljen ruti, prikazani su u tabeli 8.

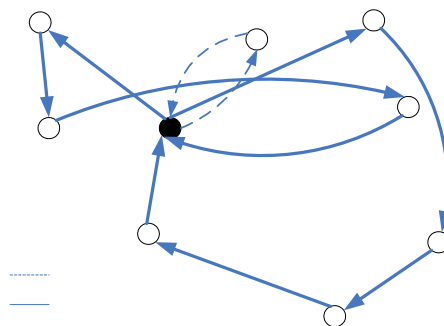
Tabela 8  
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,6,2,5,1)	$\bar{T}(6,2) + 0 = 5$	2
(1,2,5,6,1)	$\bar{T}(5,6) + 0 = 50$	2

Proširenje rute 1-2-5-1 uključivanjem čvora 3, bilo preko čvora 2, bilo preko čvora 5, nije moguće zbog nedovoljnog kapaciteta transportnog sredstva u odnosu na ukupne zahteve za transportom na takvim rutama. Na osnovu tablele 8, proširenje se vrši uključivanjem čvora 6, preko čvora 5.

Novoformiranu rutu 1-2-5-6-1 opslužuje transportno sredstvo tipa 2, čiji je kapacitet jednak ukupnim zahtevima za opslugom na njoj. Kako je formirana i druga ruta (zbog kapaciteta nema više mogućnosti proširenja), a preostao je samo još jedan neopslužen čvor – čvor 3, njega će opslužiti transportno sredstvo tipa 1. Čvor 3 je moguće opslužiti i transportnim sredstvom tipa 2, ali su fiksni troškovi upotrebe transportnog sredstva tipa 1 manji. Treća ruta glasi 1-3-1.

Projektovane rute transportnih sredstava prikazane su na slici 5.



Sl. 5 – Projektovane rute u slučaju dva tipa transportnih sredstava dobijene primenom modifikovanog algoritma „ušteda“

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose  $T_{uk3} = 723$  novčane jedinice (473 novčane jedinice za troškove kretanja i 250 novčanih jedinica za fiksne troškove, jer su za transport upotrebljena dva transportna sredstva tipa 2 i jedno transportno sredstvo tipa 1, a fiksni troškovi njihove upotrebe prikazani su na slici 4).

Ako se u ukupne troškove transporta u prethodne dve varijante opsluživanja (kada je na raspolaganju homogen vozni park) uvrste i fiksni troškovi, njihove vrednosti će biti:

*varijanta 1* – samo transportna sredstva kapaciteta  $V = 12$ :

$T_{uk1} = 724$  novčane jedinice (424 novčane jedinice za troškove kretanja i 300 novčanih jedinica za fiksne troškove upotrebe tri transportna sredstva tipa 2);

*varijanta 2* – samo transportna sredstva kapaciteta  $V = 8$ :

$T_{uk2} = 766$  novčanih jedinica (516 novčanih jedinica za troškove kretanja i 250 novčanih jedinica za fiksne troškove upotrebe pet transportnih sredstava tipa 1).

Upoređivanjem ovih vrednosti sa varijantom opsluživanja u kojoj učestvuju transportna sredstva oba tipa, očigledno je gde su troškovi najmanji:  $723 < 724 < 766$  novčanih jedinica ( $T_{uk3} < T_{uk1} < T_{uk2}$ ).

### Zaključak

Primenom postojećih teorijskih modela, njihovim modifikovanjem i stvaranjem novih ostvaruju se značajni ekonomski efekti i poboljšava kvalitet tran-

sportnih usluga. Sem toga, primenom naučnih metoda iz oblasti teorije transportnih mreža postiže se: smanjenje broja ruta, manji broj angažovanih sredstava, smanjenje dužine ruta, smanjenje koeficijenta nultih vožnji, smanjenje potrošnje goriva, povećanje koeficijenta iskorišćenja puta, povećanje koeficijenta iskorišćenja rada ...

Aspekt ekonomičnosti u upravljanju vojnim transportom bio je neopravdano zanemaran. Primenom modifikovanog modela ušteda „otvaraju se vrata“ za ulazak fiksni troškova u proces projektovanja ruta. Time, ni u kom slučaju, nisu obuhvaćeni svi faktori koji utiču na ekonomičnost funkcionisanja vojnog transporta. Nisu sa gledane, pre svega, odgovarajuće pojave stohastičke prirode, koje se neminovno javljaju u procesu transporta.

U većini modela razvijenih za projektovanje ruta transportnih sredstava pretpostavlja se da su vremena putovanja, rastojanja i transportni troškovi između pojedinih parova čvorova u mreži konstantne veličine, koje su unapred poznate. S druge strane, neophodno je istaći da je sa vrednošću vremena putovanja između dva čvora u mreži povezana određena neizvesnost koja je uzrokovana uslovima pod kojima se odvija transport, načinom vožnje, meteorološkim uslovima, izborom pojedinih puteva (ulica), itd.

Modeli za projektovanje ruta transportnih sredstava u koje su ugrađene i neizvesnosti u pogledu troškova transporta, vremena izvršenja transporta i uopšte odvijanja transporta uglavnom su

zasnovani na upotrebi zakonitosti fuzzy-aritmetike. Ovakav pristup vodi detaljnijoj analizi faktora relevantnih za smanjenje ukupnih troškova transporta, a u konačnom i ka ekonomičnijoj i efikasnijoj realizaciji transporta.

U svakom slučaju, u optimizaciji realizacije transportnih procesa primena routing-modela u bilo kom obliku (standardnom, modifikovanom,...) neophodna je.

*Literatura:*

- [1] Božić, V.; Novaković, S.: Ekonomija saobraćaja sa elementima logistike, Ekonomski fakultet, Beograd, 2002 (str. 497–527).
- [2] Teodorović, D.: Transportne mreže, algoritamski pristup, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996 (str. 169–175).
- [3] Đorović, B.; Dimić, S.: Model za rešavanje problema rutin-ga saobraćajnih sredstava u vojsci, SYM-OP-IS 2001, Zbornik radova, Beograd, 2001.
- [4] Đorović, B.; Ljubojević, S.: Primena modela transportnih mreža za organizaciju prevoza spoljnih saradnika na vojno-tehničkoj akademiji, SYM-OP-IS 2000, Zbornik radova, Beograd, 2000.
- [5] Đorović, B.; Ljubojević, S.; Dimić, S.: Primena modifikovanog modela „ušteta“ u rešavanju zadataka saobraćajne podrške vojske, SYM-OP-IS 2004, Zbornik radova, Fruška gora, 2004.

**Mr Radosav Nikolić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**mr Živojin Petrović,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
**mr Dragan Trifković,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## IZVORI ŠUMOVA NA BRODOVIMA I PUTEVI NJIHOVOG RASPROSTIRANJA UNUTAR BRODSKIH KONSTRUKCIJA

UDC: 623.82 : 534.23

### *Rezime:*

*U radu su opisani izvori šumova na brodovima i putevi njihovog rasprostiranja unutar brodskih konstrukcija. Obraden je uticaj oscilacija konstrukcija na intenzitet šumova. Prikazane su spektralne karakteristike šuma koje proizvode motori na brodovima, norme šumnosti na brodovima, zaštitna sredstva od buke (opšta, lokalna i individualna), kao i osnovne metode za smanjenje šumova na brodovima.*

*Ključne reči: brod, brodska konstrukcija, šumovi, buka, prenos zvuka, zaštitna sredstva, izolacija.*

---

## NOISE SOURCES ON SHIPS AND NOISE DISTRIBUTION INSIDE THE SHIP STRUCTURE

### *Summary:*

*This paper presents noise sources on ships and the ways of its distribution inside the ship structure. The influence of structure oscillations on the noise intensity has been also explained. There is a review of noise spectrum characteristics of common ship engines, marine noise standards, noise protection equipment (overall, local and individual) as well as basic methods of noise prevention.*

*Key words: ship, ship structure, noise, transfer of sound, protection means, isolation.*

---

### **Uvod**

Osnovni izvori šumova na brodovima nastaju kao posledica rada glavnih i pomoćnih brodskih mašina (pogonski motori, parne i gasne turbine, pumpe, kompresori, ventilatori, separatori goriva i maziva i drugi). Šumovi se javljaju pri radu opšte brodske i mašinske ventilacije, brodskih sistema za pretakanje goriva, klima uređaja i uređaja opšte namene kod velikih brodova (liftovi, sanitarni čvorovi i sl.). Postoje i drugi izvori šumova koji se uslovno mogu smatrati sekundarnim, a nastaju kao posledica trenja

slabo spojenih podnica, cevovoda i drugih metalnih delova i konstrukcija, kod kojih se javljaju oscilacije pri kretanju broda. Oscilacije se mogu javljati u oblasti infrazvučnih frekvencija, kao zveckanje, lupanje i brujanje.

Na putničkim brodovima, na putnike, pored šumova nastalih od mašinskih uređaja i mehanizama, negativan uticaj imaju i šumovi nastali zbog prisustva drugih putnika, koji se manifestuju preko: glasnog razgovora i smeha u susednim prostorijama, dečje vriske, bata koraka po hodnicima i palubama i sl. Svi navedeni izvori šumova nalaze se unutar broda.

Šumovi mogu nastati pri radu brodskih propelera, posebno u uslovima pojave kavitacije ili zbog tonalnog oglašavanja usled oscilacija krila propelera. U krmnim prostorima broda šumovi mogu nastati zbog oscilacija krmene oplata, periodičnog zapljuskivanja pogonskih propelera, kao i zbog sopstvenog šuma propelera izazvanog oscilacijama i implzijama vazдушnih kaverni na krilima propelera u uslovima kavitacije. Poseban uticaj ispoljavaju šumovi koji nastaju zbog kavitacije pogonskih uređaja u toku manevrisanja broda [1].

Na brodovima sa podvodnim krilima (hidrokrilni brodovi) šumovi su vrlo izraženi, a nastaju zbog udara talasa o dno i trup broda, a na ledolomcima zbog udaranja trupa broda o led. Na brodovima sa vazдушnim jastukom šumovi nastaju kao posledica rada snažnih ventilacionih mašina i vazдушnih propelera (elisa).

### Šumovi na brodovima

Na brodovima su moguća dva različita puta za prenos zvuka od izvora do mesta prijema. Prvi je vazdušni put, kod koga zvuk ne menja sredinu kroz koju se prostire, a drugi put je kroz čvrsta tela (brodska konstrukcija) koja osciluju, pri čemu se buka prenosi putem oscilacija. Za ovu buku upotrebljava se i termin „strukturna buka“ [3]. Na mestu prijema ovih oscilacija stvaraju se zvučni talasi u vazдушnom prostoru tako da ih čulo sluha može registrovati. Izuzetak predstavljaju oscilacije koje na članove posade brodova deluju neposredno, na primer tako što pod (paluba i sl.) na kome oni stoje osciluje. Uticaj ovih oscilacija naročito dolazi do izražaja u oblasti infrazvuka.

One su neprijatne, ometaju članove posade brodova i, u mnogo čemu, njihovo dejstvo je slično dejstvu buke [3].

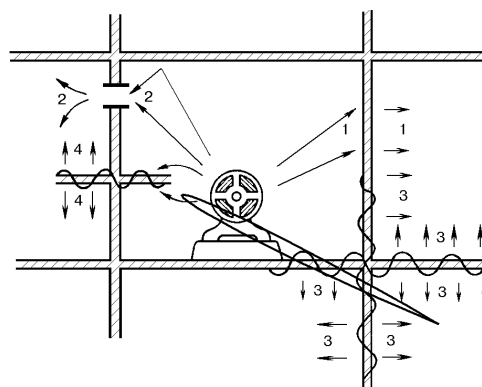
Na brodovima su mogući sledeći putevi prenosa zvuka (prikazani na slici 1):

1. Prenos zvuka kroz zidove, podove, pregrade i palube, oscilovanjem konstrukcija (slično oscilovanju membrana) i ima talasni karakter.

2. Prenos zvuka kroz prozorske otvore, palubne otvore, ventilacione kanale, proreze, slabo zaptivena vrata i sl.

3. Prenos akustičkih oscilacija preko fundamenata i brodskih konstrukcija može izazvati pojavu buke u susednim i udaljenim prostorijama. Prenos zvuka u susedne prostorije, koji nastaje od pobudnih oscilacija raznih zaštitnih konstrukcija, smatra se sekundarnim. Pošto je to obično mala zvučna energija, pri dobro izvedenoj zvučnoj izolaciji može se smanjiti nivo šuma u susednim prostorijama.

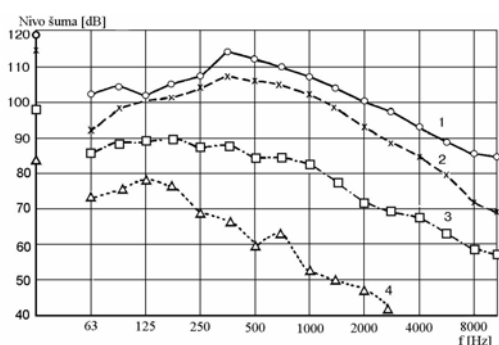
Odnos između nivoa šuma koji se prenosi raznim putevima, zavisi od karaktera njegovog izvora i konstrukcije akustične zaštite prostora. Za uređaje sa velikim nivoom šuma (ventilatori), koji



Sl. 1 – Putevi prenosa zvučnih oscilacija od izvora zvuka do susedne prostorije:  
1 – kroz pregrade; 2 – kroz otvore u pregradama;  
3 – na temelj i konstrukciju mašinskog prostora;  
4 – pomoću uzbude (nadražaja) pregrada ili obloga

su ugrađeni u slabo izolovane prostore ili prostore sa velikim brojem otvora, osnovni putevi prenosa zvuka svrstani su pod 1 i 2. Pri radu takvih mehanizama, kod kojih se oscilujuća energija pretvara prvenstveno u zvučne oscilacije (dizel motori, pumpe, kompresori) šum u susjednim i udaljenim prostorima prenosi se uglavnom trećim načinom. To se posebno odnosi na mehanizme bez amortizera, koji su postavljeni na lake temelje, i u prostorima sa dobrom zvučnom izolacijom. U brodskim prostorima, koji su udaljeni od izvora oscilacija, šum se uvek javlja kao posledica zvučnih oscilacija koje se prenose putem brodske konstrukcije. Na osnovu toga može se zaključiti da u brodskim prostorima koji su udaljeni od izvora šumova i oscilacija nije svrsishodno izvoditi kvalitetnu izolaciju od šumova koji se prenose vazдушnim putem, nego naprotiv – težište treba da bude na izolaciji zvučnih oscilacija.

Na slici 2 prikazan je spektrogram u prostorima pogonskog kompleksa. Specijalne mere za smanjenje šuma na brodu u prikazanom slučaju nisu predviđene.



Sl. 2 – Spektar i nivoi šuma u prostorima pogonskog kompleksa:

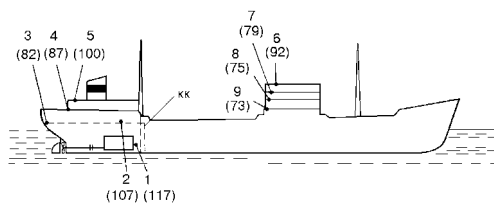
- 1 – u mašinskom prostoru između dizel generatora 2 i 3;
- 2 – na donjoj rešetki ventilacionog otvora;
- 3 – u centralnom upravljačkom pultu (vrata mašinskog prostora zatvorena);
- 4 – u ambulanti

Kako se vidi iz grafikona (markacije na vertikalnoj osi) nivo šuma u nekim prostorima dostiže znatnu vrednost. U mašinskom prostoru nivo šuma iznosi 115 do 118 dB (re 20  $\mu$ Pa) [3], a na izlazu ventilacione cevi za ubacivanje vazduha u prostorije premašuje prag ljudskog bola (u zavisnosti od frekvencije nivo šuma kreće se u granicama od 110 do 130 dB) [3]. U brodske ambulanti (i nekim drugim kabinama) nivo šuma dostiže 81 do 83 dB. Spektralne krive prikazuju da maksimalni nivo šuma u mašinskom prostoru zauzima oblast od treće do pete oktave, što znači da definisana norma šumnosti za brodove nije ispunjena. Van mašinskog prostora najviši nivo u spektru šuma susreće se na nižim frekvencijama, što je uslovljeno oscilacijama na nižim frekvencijama koje se slabije izoluju i amortizuju pri rasprostiranju kroz brodske konstrukciju.

Nivo šuma na brodu sa dizel pogonom, pri promeni režima plovidbe od „lagano“ do „punom snagom“, unutar brodskih prostorija menja se za 4 do 5 dB. Ako je brod na vezu, kada rade samo pomoćni dizel motori (generatori), nivo šuma je, takođe, visok i premašuje nivo pogonskih motora pri režimu plovidbe „lagano“. U mašinskom prostoru uvek se javlja šum visokog nivoa, zbog rada glavnih motora (slika 3). Na mostovima i palubama srednjeg nadgrađa, koji su od mašinskog prostora odvojeni nepropusnim međuprostorima i izduženim konstrukcijama trupa, nivo šuma je za 30 do 40 dB niži nego u mašinskom prostoru.

Motori zauzimaju relativno mali deo površine mašinskog prostora, zbog čega postoji velika mogućnost ugradnje kon-





Sl. 3 – Nivo šuma (brojevi u zagradama) u mašinskom prostoru, na palubama i mostu tankera:

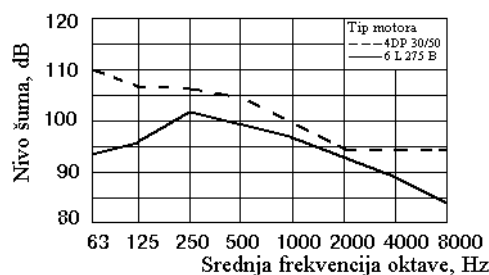
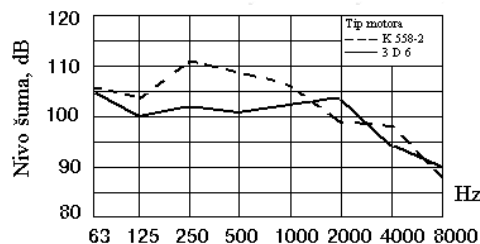
1 – u mašinskom prostoru; 2 – na krmenoj palubi iznad pogona; 3 – u krmenom delu gornje palube; 4 – u krmenom delu iznad pogona; 5 – na gornjoj krmenoj palubi; 6 – na otvorenom delu donjeg mosta; 7 – u donjem mostu; 8 – na centralnom mostu; 9 – na gornjoj neprekidnoj palubi; KK – u krmenom vodonepropusnom međuprostoru

strukcija za izolaciju i apsorpciju zvuka. S obzirom na to da takve konstrukcije u razmatranom slučaju nisu ugrađene, prisutan je bio visoki nivo šuma kako blizu dizel motora (110 do 117 dB) tako i na mestu za upravljanje (105 do 110 dB).

Nivo šuma dizel generatora u prostorijama tegljača – gurača u zavisnosti od vrste amortizera

Naziv prostorije	Nivo šuma, [dB], pri radu:	
	Levog dizel generatora (postavljenog na gumene amortizere)	Desnog dizel generatora (postavljenog na opružne amortizere)
Prostor dizel generatora	105	106
Salon	85	74
Kabina prvog mašinste	93	79
Kabina drugog mašinste	88	72
Kabina trećeg mašinste	88	74
Kabina kapetana	75	72
Radio-kabina	81	71
Navigaciona kabina	81	69

U tabeli je prikazan nivo šuma na snažnom rečnom tegljaču – guraču. Prikazani podaci pokazuju da na malim brodovima šumovi u svim prostorijama, osim mašinskog prostora, nastaju kao posledica zvučnih oscilacija konstrukcije



Sl. 4 – Spektralne karakteristike šuma koji se prenosi vazдушnim putem i zvučnih oscilacija nekih tipova brodskih dizel motora

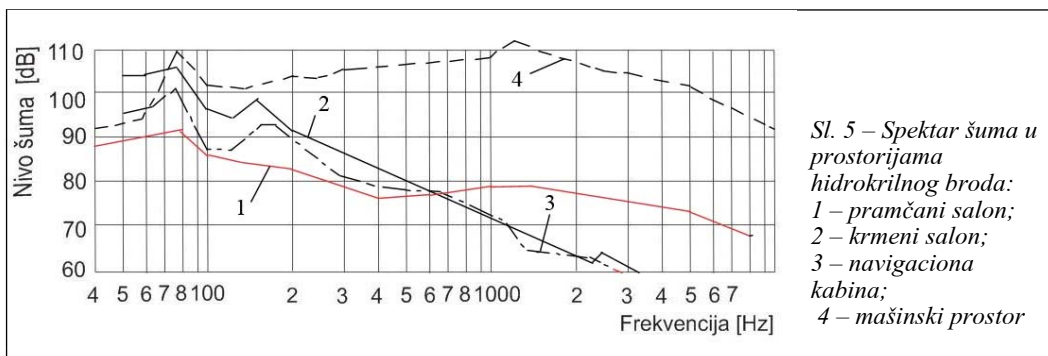
trupa. Promenom karakteristika amortizera moguće je smanjiti nivo oscilovanja motora, pri čemu se šumovi u svim prostorijama znatno smanjuju, mada šum motora koji se prenosi vazдушnim putem ostaje nepromenjen.

Na slici 4 prikazane su spektralne karakteristike šuma i zvučnih oscilacija nekih tipova brodskih dizel motora, dobijene na osnovu rezultata izbora i proračuna malošumnih amortizujućih sklopova.

Na slici 5 prikazan je spektrogram šuma u prostorima broda sa podvodnim krilima. Primećuju se znatni nivoi šuma, naročito na niskim frekvencijama.

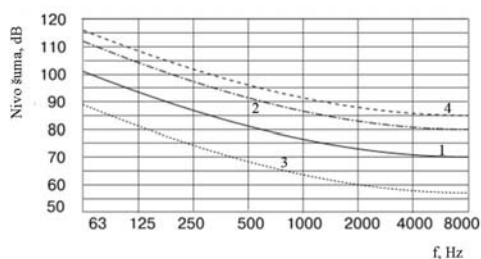
### Norme šumnosti na brodovima

Danas u svetu postoje norme dozvoljenog nivoa šuma na brodovima. Krive dozvoljenih nivoa šuma opadaju sa povećanjem frekvencije (slika 6), što odgovara zahtevima za smanjenje štetnih viso-

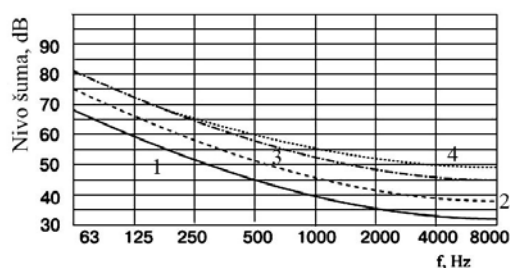


kofrekventnih komponenti šuma. Norme su ustanovljene za mašinske i službene prostore, kao i prostore za stanovanje, na osnovu vremena trajanja šuma. Pri periodičnom delovanju šuma dozvoljena spektralna kriva je za 10 dB viša nego kod njegovog neprekidnog delovanja (slika 6a). Treba napomenuti da se na brodovima, kod kojih nivo šuma prelazi granične vrednosti (kriva 1), moraju koristiti lična zaštitna sredstva (antifoni, čepovi za uši, šlemovi i sl.), radi zaštite pri obilasku mašinskog prostora, kada su pogonske mašine u radu.

U prostorima za stanovanje i službenim prostorima najviši dozvoljeni nivoi šuma su kod brodova sa podvodnim krilima (kriva 4 slika 6b), što je uslovljeno nizom teškoća vezanim za smanjenje šumova na tim brodovima. Za neke kategorije brodova dozvoljeno je i premašivanje norme, ali ne za više od 3 dB u bilo kojoj oktavi ili poluoctavi opsega. Pri merenju nivoa šuma u poluoctavnom opsegu, krive opadaju za 3 dB, a pri merenju u jednotrećinskom oktavnim opsegu za 5 dB u odnosu na podatke prikazane na grafikonima.



Sl. 6a – Granične vrednosti dozvoljenih nivoa šumova u mašinskim prostorima i izolovanim prostorima za upravljanje:  
 1 – pri radu u mašinskom prostoru u toku cele smene (7 ili više časova); 2 – pri periodičnom radu u mašinskom prostoru u toku smene (opšte vreme delovanja šuma najviše 120 minuta u toku dana); 3 – u izolovanim prostorima za upravljanje; 4 – u mašinskim prostorima brodova koji su opremljeni sredstvima kompleksne automatizacije



Sl. 6b – Granične vrednosti dozvoljenih nivoa šumova u ličnim, zajedničkim i službenim prostorijama broda:  
 1 – na morskim brodovima koji plove više od 24 časa; 2 – na morskim i rečnim brodovima koji plove do 24 časa; 3 – na morskim i rečnim brodovima koji plove do 8 časova; 4 – na morskim i rečnim brodovima i komandnim prostorima i putničkim salonima hidrokrilnih brodova

Normama su obuhvaćeni način merenja šuma na brodovima, kao i određena pravila vezana za sprečavanje štetnog dejstva šuma na brodsku posadu, kao što su: postavljanje, gde god je to moguće, daljinskog upravljanja radom glavnih i pomoćnih mašina; promena režima rada i odmora posade, radi smanjenja vremena neprekidnog izlaganja buci.

Za svakog člana pogonskog brodske kompleksa vodi se tzv. slušni karton. Kada se kod lica između dva godišnja medicinska pregleda ustanove odstupanja u slušnom pragu, ili pogoršanje opšteg zdravstvenog stanja organizma, oni se moraju obavezno premestiti na radna mesta gde nema štetnog uticaja buke.

#### **Zadaci, metode i sredstva za smanjenje šumova na brodovima**

Postoje dva praktična zadatka brodske akustike vezana za smanjenje šumova na brodovima, a to su: smanjenje neprijatnog osećaja i jačine šuma i povećanje razgovetnosti verbalne komunikacije.

Rešenje prvog zadatka zahteva, pre svega, slabljenje za percepciju najneprijatnijih oscilacija visoke frekvencije. Pri izdavanju i prijemu komandi, i pri telefonskim razgovorima između članova posade i putnika, treba obezbediti dovoljno dobru razumljivost govora. To spada u teži zadatak, jer zahteva smanjenje šuma u oblasti osnovnih komponenti govora (300 do 3000 Hz) a po mogućnosti i u oblastima nižih frekvencija. Za povećanje razumljivosti telefonskih razgovora u uslovima šuma primenjuju se elektroakustičke metode, kao što je rezanje maskiranih oscilacija niske frekvencije.

Pri projektovanju brodova velike tonáže pojavljuju se konstrukciono-akustični problemi, koje treba rešavati slično prethodno navedenim. Takav zadatak susreće se pri rešavanju problema optimalnog vremena reverberacije i stvaranja ravnomerne čujnosti u muzičkim salonima, amfiteatrima za nastavu i bioskopskim salama. Jedan od načina rešenja problema je akustična obrada unutrašnjih površina prostorija, koja istovremeno omogućava i smanjenje šuma. Treba imati u vidu da nanošenjem na zidove prostorija velikog broja slojeva prigušivača zvuka, radi smanjenja nivoa šumnosti, za posledicu može imati pogoršanje reverberacionog režima. Problem se može rešiti uvođenjem veštačke reverberacije.

Osnovne metode za rešavanje problema šumova su: smanjenje šumova i oscilacija na izvorima njihovog postanka i izolacija i gušenje šumova koji se prenose vazдушnim putem kao i zvučnih oscilacija.

Pozitivni efekti, takođe, mogu se postići racionalnim rasporedom prostorija i opreme koja predstavlja izvor šuma u njima, i izborom tipova i uređaja koji najbolje ispunjavaju akustičke zahteve.

Pored navedenih postupaka treba imati u vidu i principe koji imaju direktan uticaj na proces stvaranja i rasprostiranja zvuka i oscilacija. Oni se odnose na sprečavanje ili otklanjanje oscilacija konstrukcija i dodirivanja metalnih elemenata, smanjenje emisionih površina šuma, promenu impedance pobuđivača i emitira oscilacija i sl.

Najefikasnije mere za smanjenje štetnog uticaja buke i zvučnih oscilacija odnose se na otklanjanje uzroka njihovog nastajanja. Međutim, ovo je često

nemoguće praktično izvesti. Preduzete mere mogu biti: opšte, lokalne ili individualne [4]. U opšte profilaktičke mere spadaju izbor tehnološkog procesa i mašina koje emituju manje buke, izolovanje svih izvora zvuka oblaganjem njihovih unutrašnjih površina materijalima koji apsorbuju buku, merenje i kontrola svih vrsta buke i oscilacija. Opšta zaštita može nekada da snizi nivo buke i za 20 dB sa relativno skromnim ulaganjima. U drugu grupu spadaju presvlake za zvučnu izolaciju mehanizama, postavljanje raznih vrsta akustičnih kabina, apsorbujućih ekrana, pregrada i štitova. U ovu grupu može se svrstati i akustična obrada ventilacionih kanala, postavljanje specijalnih ventilacionih prigušivača, prigušenje izduvne i usisne grane motora, ugradnja prigušivačkih uređaja u prostorima za boravak i odmor, kao i na putevima unutar broskog transporta. Primena navedenih apsorbujućih sredstava za posledicu može imati promenu arhitekture i akustičnog režima prostora u celini. U sličnim slučajevima ta sredstva je svrsishodnije usmeriti na razvoj opštih zaštitnih sredstava od buke. Individualne preventivne mere zaštite sastoje se u upotrebi zaštitnih sredstava (čepova za uši, štitnika ili kaciga) koje, ako su dobro izrađene, mogu imati izolacioni efekat i preko 30 dB.

Najefikasnija sredstva za izolaciju zvučnih oscilacija konstrukcija su amortizeri, elastični spojevi i priključci, elastični umeci i podloške sa malim akustičnim otporom. U posebnim slučajevima, za izolaciju oscilacija nastalih zbog ugiba relativno tankih ploča mogu se koristiti mase za ublažavanje oscilacija. One mogu biti formirane ne samo u obliku stvar-

ne sopstvene mase, nego i u obliku konstrukcionih brodskih elemenata – podebljanja palubnih otvora, rebara i sl.

Smanjenje zvučnih oscilacija, u širokom dijapazonu frekvencija, moguće je postići pomoću specijalnih pokrivača za apsorpciju oscilacija koji se nanose na fundamente i konstrukcije trupa. Slični pokrivači danas se sve više primenjuju u automobilskoj i avio industriji. Za apsorpciju intenzivnih niskofrekventnih oscilacija sve veću primenu nalaze antivibratori, koji se postavljaju na određenim mehanizmima, ležajima glavnog pogonskog vratila, palubi i sl. Antivibracioni sistemi sastoje se od elemenata mase, elastičnosti i trenja, a mogu se koristiti za apsorpciju i izolaciju oscilacija nastalih zbog ugiba ploča na zvučnim frekvencijama (apsorberi strukturnog zvuka). Fiziološko dejstvo intenzivnih oscilacija smanjuje se upotrebom antivibracionih uložaka koje brodska posada stavlja u obuću.

Za prigušenje šumova motora primenjuju se, pored konstruktivnih mera koje ublažuju pojavu kavitacije i „penjenja“ propelera, i akustična sredstva izolacije. Potrebe za sredstvima za zaštitu od buke određuju se već u fazi projektovanja broda. Željeni akustični efekat postiže se, po pravilu, samo pri istovremenoj primeni svih raspoloživih mera za smanjenje akustičnog šuma. Znatno broj lokalnih zaštitnih sredstava može na brodu biti ugrađen naknadno u toku remonta ili modernizacije. Metode zvučne izolacije i izolacije zvučnih oscilacija i njihove apsorpcije, promene impedancije i smanjenje oscilujućih sila primenjuju se i neposredno kod konstrukcije brodskih mehanizama i sistema, radi smanjenja šumova i zvučnih oscilacija pri njihovom radu [1].

## Zaključak

Pored osnovnih šumova, na brodovima se često javljaju i sekundarni šumovi, kao posledica trenja i oscilacija slabo spojenih metalnih elemenata konstrukcije broda. Ovi šumovi često se nalaze u oblasti infrazvučnih frekvencija. Na brodu se zvuk prenosi kroz pregrade, podove i palube na nižim frekvencijama, i putem oscilacija konstrukcija na višim frekvencijama. Na prenos zvuka posebno utiče konstrukciono rešenje ugradnje mašina i mehanizama koji predstavljaju izvor zvučnih oscilacija. Ugradnjom odgovarajućih amortizera između mašine, odnosno mehanizma i fundamenta broda, na kojem su oni montirani, smanjuje se prenos zvuka preko konstrukcije kao i njene zvučne oscilacije, ali ostaje zvuk koji se prenosi vazдушnim putem. Radi smanjenja buke potrebno je izvršiti dodatnu zvučnu izolaciju ugradnjom odgovarajućih apsorpcionih materijala, kako

bi se postigle odgovarajuće norme šumnosti na brodu. Pri tome koriste se odgovarajuće metode za smanjenje šuma i oscilacija na izvorima njihovog nastanka. Za zaštitu članova posade od buke neophodna je upotreba zaštitnih sredstava (opštih, lokalnih i individualnih).

Metode za izolaciju buke, prigušenje oscilacija, povećanje apsorpcije zvuka i promene impedancije, koriste se pri projektovanju brodske konstrukcije i izboru brodskih mašina i mehanizama. Međutim, nemoguće je potpuno eliminirati pojavu šumova, odnosno buke, ali ih je moguće ublažiti, tj. smanjiti za nekoliko desetina decibela (10 do 30 dB).

### Literatura:

- [1] Клюкин, И. И.: Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах, Ленинград, 1971.
- [2] Зинченко В. И., Захаров, В. К.: Снижение шума на судах, Ленинград, 1968.
- [3] Kurtović, H.: Osnovi tehničke akustike, Beograd, 1990.
- [4] Simonović, M.; Kalić, D.; Pravica, P.: Buka, štetna dejstva, merenja i zaštita, Niš, 1982.

### *Uputstvo saradnicima*

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Vojske Srbije i Crne Gore, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije i Crne Gore.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: prpratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U prpratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozima originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazača (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro račun banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

*REDAKCIJA*

*Tehničko uređenje*  
Mirko Obradović

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 200,00 dinara  
Tiraž 900 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)