

**IZDAVAČKI SAVET:**

- General-potpukovnik  
mr VLADAN SLJIVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik)
- General-major  
dr ALEKSANDAR RADOVIĆ, dipl. inž.
- General-major  
dr MILORAD DRAGOJEVIĆ, dipl. inž.
- General-major  
mr MILAN ZAKLAN, dipl. inž.
- Pukovnik  
DORĐE ĐUKIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
LJUBODRAG PAVLOVIĆ, dipl. inž.
- Profesor  
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.
- Profesor  
dr ZORAN STOJILJKOVIĆ, dipl. inž.
- Profesor  
dr JOSIP LENASI, dipl. inž.
- Pukovnik  
dr DOBRICA PETRIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
dr VLADIMIR VOLAREVIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
BORIS JURKOVIĆ-PERIŠA, dipl. inž.
- Pukovnik  
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
mr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
dr ZAHARIJE VLASKALIN, dipl. inž.
- Pukovnik  
JOVAN MARKOVIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
mr VIDOJE PANTELIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
mr MILISAV ARSIĆ, dipl. inž.
- Pukovnik  
mr TOMISLAV ŠTULIĆ, dipl. inž.  
(sekretar)
- Pukovnik  
IVAN SLAVKOV, dipl. inž.
- Potpukovnik  
ZIVOTÁ ILIĆ, dipl. inž.

- Major  
RADOLJUB DOŠIĆ, dipl. inž.
- Kapetan I klase  
MESUD HADŽIALIĆ, dipl. inž.
- FRANJO BRKIĆ, dipl. inž.

●

**GLAVNI I ODGOVORNI  
UREDNIK**

Pukovnik  
mr TOMISLAV ŠTULIĆ, dipl. inž.

●

**SEKRETAR REDAKCIJE**

BRANKA STOJAKOV

**ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK** — Beograd, Svetozara Mar-  
kovića 70, VE-1, Telefoni: centrala  
658-122, lokali: odgovorni urednik 22-976,  
sekretar 23-158, pretplata 32-837, žiro-  
račun: Vojnotehnički i novinski centar  
(za Vojnotehnički glasnik) 80823-849-2393  
Beograd, Godišnja pretplata: za pojedini-  
ca — 150 dinara, a za ustanove, orga-  
nizacije udruženog reda i druge orga-  
nizacije — 450 dinara. Rukopisi se ne  
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —  
Beograd, Generala Zdenova 40 b.

YU ISSN 0042-8469

IZDAJE  
SAVEZNI SEKRETARIJAT ZA NARODNU ODBRANU

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
JUGOSLOVENSKE NARODNE  
ARMIJE

**VOJNOTEHNIČKI  
glasnik**



**3**

GODINA XXXIX ● MAJ—JUNI 1991.



## S A D R Ź A J

- Željko Dobrović**, kapetan, dipl. inž. 245 Analitički pristup opisu radionice za tehničko održavanje kao sistema masovnog opsluživanja
- Mr Vasilije Mišković**, kapetan I klase, dipl. inž., 260 Izbor lokacije poljskog skladišta
- Mr Radomir Đukić**, kapetan I klase, dipl. inž., 271 Monoimpulsna mrežasta mikrostrip antena
- Mr Zmago Kerec**, major, dipl. inž.
- Prof. dr Milan Bajić**, dipl. inž. 278 Rezultati istraživanja mogućnosti proizvodnje mikrovalnog dijela protivradarske glave
- Mr Aljoša Božković**, potpukovnik, dipl. inž. 284 Vremenski odziv homogenog RC lanca
- Mr Mirko Dozet**, dipl. inž. 291 Pokretna laboratorija za mjerenja u putnom saobraćaju
- Prof. dr Jurij Kolenc**, pukovnik, dipl. inž. 296 Pješak u cestovnom prometu
- Mr Zdravko Happ**, major, dipl. inž. 308 Vojna lica kao pešaci u saobraćaju
- Mr Milivoje Đurković**, major, dipl. inž. 316 Analitičko definisanje hidrauličkih protivudarnih ventila sa armiranom membranom
- Mr Dragan Knežević**, potpukovnik, dipl. inž. 323 Određivanje količine eksploziva pri obradi metala eksplozijom
- Mr Vlado Radić**, kapetan I klase, dipl. inž.

## PRIKAZI IZ INOSTRANIH CASOPISA

- 331 Pozadinsko obezbeđenje združenih jedinica italijanske armije (italijanske oružane snage) — M.N.
- 343 Lično odbrambeno oružje P90 5,7×28 mm — P.M.
- 348 Kandidat firme COLT za poboljšanu borbenu pušku (ACR) — P.M.
- 351 Tenkovski topovi budućnosti, Deo 2: Elektromagnetski i elektrotermički topovi — P.M.
- 359 Neurokompjuteri i veštačke neuronske mreže — L.B.

## TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 363 Austrijska protivoklopna puška »AMR«
- 364 Konvertovani mitraljez »50/12 TSW« firme PEREGRINE INDUSTRIES
- 364 Prototip pištolja kalibra 9 mm američke firme KNIGHT'S ARMAMENT COMPANY

- 365 Uređaj za hranjenje »C-MAG« kapaciteta 100 metaka za američku automatsku pušku »M-16«
- 365 Razvoj protivraketnih oružja u SAD
- 366 Treća faza razvoja višestrukog artiljerijskog raketnog sistema »MLRS«
- 368 Američka dvorežimska glava za samonavođenje
- 368 Izraelski taktički izviđački sistem »ATLAS«
- 369 Noćni podvodni nišan »M 921« američke firme LITTON
- 369 Noćni nišan »KITE« britanske firme PILKINGTON za streljačko oružje
- 370 Senzor za protivhelikopterska dejstva (patent nemačke firme MBB)
- 370 Nove varijante američke rakete »HELLFIRE«
- 371 Švedski protivvazdušni projektil »RBS 3« (»BAMSE«)
- 372 Kasetna artiljerijska granata »BONUS« švedske firme BOFORS
- 373 Zapadnonemački tenk sa laserskim oružjem
- 373 VF primopredajni radio-uređaj »RF-5000T« američke firme HARRIS CORPORATION
- 374 Fleksibilni mikrotalasni prijemni sistem »R70« američke firme LNR COMMUNICATIONS
- 374 VF primopredajnik »XK 510« zapadnonemačke firme ROHDE & SCHWARZ
- 375 Operacioni pojačavač »OPE 115SM/883B« američke firme BURR-BROWWN CORP
- 375 GaAs FET tranzistor »ATF-13170« američke firme AVANTEK
- 376 Počinje razvoj radara »COBRA«
- 376 Američki MODULARNI RADAR za višestruke namene
- 377 Francuski radar za letelice sa smanjenom refleksnom površinom
- 377 Evropska regionalna mreža naučnih i tehničkih informacija »INTERNET«
- 378 Radna stanica u boji »CWS« američke firme RAYTHEON
- 378 Nova generacija francuskih mobilnih stanica za ispitivanje i održavanje
- 379 Italijanski univerzalni punjač električnih baterija »CBU-825«

**Željko Dobrović,**  
kapetan, dipl. inž.

## **Analitički pristup opisu radionice za tehničko održavanje kao sistema masovnog opsluživanja**

### **Uvod**

Radionica za održavanje tehničkih sredstava dio je šireg sistema održavanja koji se razvija za potrebe određenog poduzeća ili neke specifične institucije, npr. vojne. Sistem održavanja je, općenito, tehnološki i organizacijski složen sistem i njegova analiza zahtjeva složen pristup s nizom slučajnih elemenata.

U ovom stručnom, originalnom radu analiziran je rad radionice za tehničko održavanje radio-uređaja u sistemu održavanja tehničkih sredstava JNA.

Pri matematičkom rješavanju ovakve vrste problema postoje dvije metode: analitička i simulaciona. Obje koriste opis radionice kao sistema masovnog opsluživanja (SMO). Rješenje simulacijom zasniva se na statističkoj obradi izlaznih rezultata višestruko ponavljane simulacije, dok se ovo drugo, analitičko rješenje, bazira na matematičkom modelu dobivenom analitičkom formulacijom problema (rad radionice). Iako složenije, analitičko rješenje predstavlja osnovu ovog rada. Odabrana je upravo ova metoda, jer se ona mnogo rjeđe koristi pri rješavanju ovakvih problema, a ukoliko je, usprkos potrebnim pojednostavljenjima, problem dobro opisan, analitičko rješenje je pouzdanije. Cilj analitičkog opisa radionice, koji je dat u ovom radu, jeste određi-

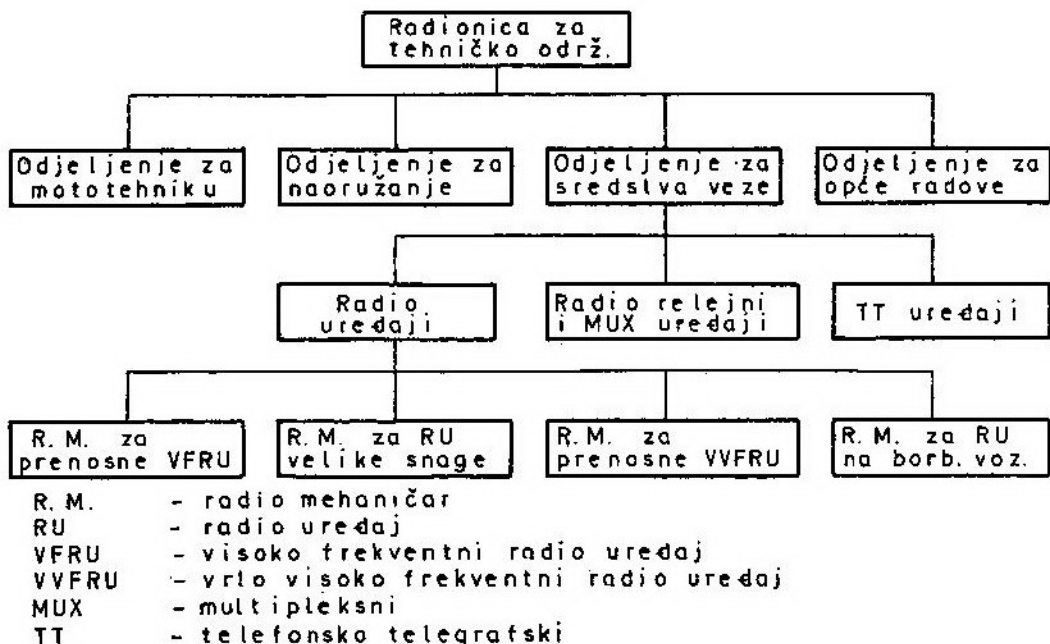
vanje vjerojatnosti stanja u kojima se radionica (promatrana kao SMO) može naći. Dobivene vjerojatnosti mogu se iskoristiti za određivanje vjerojatnosti složenijih događaja (zauzetost pojedinih kanala opsluživanja, dobivanje otkaza od opsluživanja, ...), uz čije korištenje se mogu izvršiti različite analize kao što je, na primer, analiza troškova neophodnih za normalno funkcioniranje radionice.

U drugom poglavlju rada dat je funkcionalni opis radionice za održavanje radio-uređaja neophodan za razumijevanje analitičke formulacije rada radionice dobivene korištenjem teorije masovnog opsluživanja. Ovo analitičko rješenje detaljno je opisano u trećem i četvrtom poglavlju. Peto poglavlje posvećeno je verifikaciji rezultata dobivenih predloženim matematičkim modelom. Ova verifikacija ostvarena je usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima nekih klasičnih SMO (teorijski obrađenih).

### **Organizacijska struktura radionice za održavanje radio-uređaja**

Radionica za održavanje tehničkih sredstava (na II nivou) namijenjena je održavanju sredstava različitog asortimana i može se prikazati organizacijskom shemom prikazanom na slici 1.

Odjeljenje za održavanje radio-uređaja može se promatrati neovisno od



Sl. 1 Organizacijska shema radionice (II nivo)

ostala četiri odjeljenja. Uočava se da u ovom odjeljenju rade četiri različita profila mehaničara. Ovoliki broj profila je potreban, jer se radio-uređaji mogu podijeliti u četiri grupe: prenosni visokofrekventni radio-uređaji (VFRU), RU velike snage, prenosni vrlo visokofrekventni RU (VVFRU) i RU na borbenim vozilima.

Rad navedenih profila mehaničara nije u potpunosti međusobno neovisan. Obično je mehaničar za RU velike snage osposobljen da može pružiti ispomoc mehaničaru za prenosne VFRU, a mehaničar za RU na borbenim vozilima može pružiti ispomoc mehaničaru za prenosne VVFRU.

Uzimajući ove mogućnosti ispomoci, odjeljenje (možemo ga zvati i radionicom) za održavanje radio-uređaja može se prikazati funkcionalnom shemom kao na slici 2.

Uočava se da se na prvom radnom mjestu održavaju sredstva tipa A, B, C, D, i E, na drugom sredstva N i O, na trećem sredstva F, G, H, I i J i na

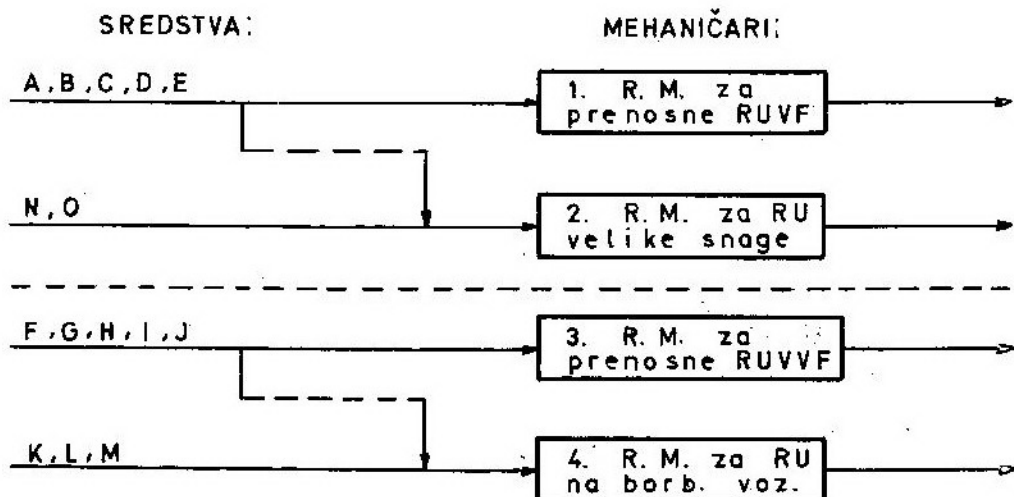
četvrtom sredstva K, L i M. Isprekidane strelice označavaju mogućnost ispomoci koju mogu pružiti drugi, odnosno četvrti mehaničar prvom, odnosno trećem mehaničaru, respektivno.

Prva dva radna mjesta (1—2) tehnološki su neovisna od druga dva (3—4), što je na slici prikazano isprekidanim linijama. Ovakva funkcionalna shema je odraz funkcionisanja stvarne radionice.

### Formalni opis potoka sredstava koja dolaze na održavanje u radionicu

Prije svega, treba napomenuti da analitička formulacija problema iz područja masovnog opsluživanja zahtijeva uvođenje određenih pretpostavki zbog složenosti načina rješavanja.

Na slici 2 prikazana je radionica za tehničko održavanje radio-uređaja. Kako prva dva radna mjesta predstavljaju tehnološku cjelinu, neovisno o druga dva, u analitičkom opisu će se



Sl. 2 Odeljenje za održavanje radio-uređaja

osvrnuti posebno na njih, a iz dobivenog opisa slijedit će rješenje i za rad druge grupe radnih mjesta.

Na radnom mjestu za prenosne VFRU održavaju se sredstva tipa A, B, C, D, i E, a na radnom mjestu za RU velike snage sredstva N i O kao osnovna sredstva, a sredstva A, B, C, D i E kad se pruža ispomoc prvom radnom mjestu. Potoci korisnika, koji dolaze u SMO su, u stvari, potoci sredstava navedenih tipova koja pristižu u radionicu na održavanje. Svaki tip sredstva formira svoj potok, pa imamo sedam ulaznih potoka za sedam različitih tipova sredstava. Pretpostavlja se da je radionica nadležna za izvođenje preventivnih tehnoloških programa održavanja PO-3 (periodični pregled) i PO-5 (tehnički pregled), te korektivnih programa KO-3 (laki remont) i KO-4 (popravak sredstva zamjenom blokova). Ulazni potok svakog tipa sredstva može se promatrati kao zbroj četiri nezavisna potoka, i to:

- 1) potok sredstava koja dolaze na preventivni pregled PO-3;
- 2) potok sredstava koja dolaze na preventivni pregled PO-5;
- 3) potok sredstava koja dolaze na korektivno održavanje KO-3;

4) potok sredstava koja dolaze na korektivno održavanje KO-4.

Navedeni preventivni (PO-3 i PO-5) i korektivni (KO-3 i KO-4) programi uzeti su iz skupa 11 preventivnih i 11 korektivnih programa koji obuhvaćaju sve radnje održavanja u sistemu održavanja sa više nivoa, koji je opisan u [1].

Prema tome, imamo ukupno 28 (4×7) ulaznih potoka sredstava koja dolaze na održavanje na prva dva radna mjesta.

Pretpostavljamo da su ulazni potoci jednog tipa sredstva međusobno nezavisni, a isto tako su nezavisni potoci sredstava različitih tipova.

Idući korak je razmatranje karakteristika navedena četiri potoka koje formira svako od sredstava. Dva su potoka za preventivno, a dva za korektivno održavanje. Potoke za korektivni pregled možemo smatrati ordinarnima, jer je, s obzirom na broj sredstava, mala vjerojatnoća da će dva ili više sredstava doći na održavanje u istom trenutku.

Za preventivne potoke situacija je malo složenija. Ukoliko je vremenski period između dva preventivna pregleda PO-3 višekratnik ili djelitelj vremenskog perioda između dva preven-

ktivna pregleda PO-5, može se desiti da dva ili više sredstava istovremeno dođu na održavanje u radionicu i tada bi uvjet ordinarnosti bio narušen. No, to se, po pravilu, ne dešava, jer sredstva rijetko dolaze u tačno zakazanom danu na preventivne preglede. Zbog toga ćemo pretpostaviti da je uvjet ordinarnosti potoka ispunjen.

Pretpostavka odsustva posljedice je trivijalno ispunjena, jer dolazak jednog sredstva na održavanje ne povlači za sobom dolazak drugog sredstva (ni istog, a pogotovo ne različitog tipa).

Pod uvjetom da su ispunjene prethodne pretpostavke ordinarnosti i odsustva posljedica, potoci sredstava su Poissonovi i vrijedi svojstvo stabilnosti, tj. zbrajanjem Poissonovih potoka dobivamo opet Poissonove potoke.

Promatramo li potoke sredstava u određenim vremenskim periodima, možemo smatrati da su oni i stacionarni, pošto ta pretpostavka dovodi do zadovoljavajućih rješenja.

Na kraju, iz svega navedenog proizlazi da je realna pretpostavka da su potoci sredstava, koja dolaze na održavanje, prosti potoci.

Neka je  $\lambda_{xk}$  intenzitet potoka koji formira sredstvo X dolazeći na korektivno održavanje u radionicu, a  $\lambda_{xp}$  intenzitet potoka koji formira sredstvo X dolazeći na preventivno održavanje. Ukupan intenzitet ( $\lambda_x$ ) potoka koji formira sredstvo X dolazeći na održavanje u radionicu može se, zbog svojstva stabilnosti, izraziti kao:

$$\lambda_x = \lambda_{xk} + \lambda_{xp} \quad (h^{-1}) \quad (1)$$

U proračune intenziteta  $\lambda_{xk}$  i  $\lambda_{xp}$  ulaze intenziteti  $\lambda_{x1}$  i  $\lambda_{x2}$  otkaza sredstva X u radu, odnosno u periodu dok sredstvo ne radi, kao i broj sredstava tipa X, te funkcije preventivnih pregleda (PO-3 i PO-5) za promatrano sredstvo X i koeficijent eksploatacije sredstava.

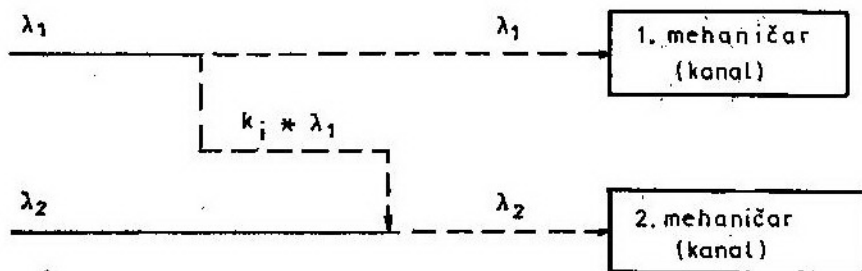
Već je napomenuto da na prvo radno mjesto dolaze na održavanje sredstva A, B, C, D i E, a na drugo radno mjesto sredstva N i O. Svako od ovih sredstava formira svoj ulazni potok, a zbog svojstva stabilnosti ove potoke možemo međusobno zbrojiti, tako da je intenzitet sume potoka sredstava koja dolaze na održavanje kod prvog mehaničara (prvi kanal opsluživanja) jednak sumi intenziteta potoka pojedinih sredstava koja čine sumarni potok. Formalno, to možemo izraziti kao:

$$\lambda_1 = \sum_{i \in S1} \lambda_i, \quad S1 = \{A, B, C, D, E\} \quad (2)$$

Isto tako, intenzitet potoka sredstava koja dolaze na održavanje na drugo radno mjesto je:

$$\lambda_2 = \sum_{j \in S2} \lambda_j, \quad S2 = \{N, O\} \quad (3)$$

Intenzitet  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  imaju ovakve vrijednosti samo u slučaju da je koeficijent ispomoći drugog kanala prvom jednak nuli, tj. u slučaju da mehaničar na drugom radnom mjestu ne pomaže prvom primajući jedan dio »njegovih«



Sl. 3 Općenita situacija kod međusobne ispomoći mehaničara



sredstava na održavanje. Općenita situacija prikazana je na slici 3.

Intenzitet ( $\lambda_1'$  i  $\lambda_2'$ ) stvarnih potoka sredstava koja dolaze na održavanje na pojedina radna mjesta mogu se izraziti na sljedeći način:

$$\begin{aligned}\lambda_1' &= (1 - k_1) \cdot \lambda_1, \\ \lambda_2' &= \lambda_2 + k_1 \cdot \lambda_1.\end{aligned}\quad (4)$$

Ukoliko nema ispomoći drugog kanala prvom ( $k_1 = 0$ ), vrijedi:

$$\lambda_1' = \lambda_1 \quad \lambda_2' = \lambda_2. \quad (5)$$

S druge strane, ukoliko, iz bilo kojeg razloga, sva sredstva prvog radnog mjesta idu na održavanje na drugo radno mjesto, vrijedi:

$$\lambda_1' = 0, \quad \lambda_2' = \lambda_1 + \lambda_2. \quad (6)$$

### Formalni opis rada radionice kao sistema masovnog opsluživanja

Nakon što su u prethodnom poglavlju opisani potoci sredstava koja se održavaju u radionici, može se pristupiti formalnom opisu rada same radionice. Potrebno je, prije svega, uvesti neke pretpostavke rada radionice:

— radionici su data u nadležnost izvođenja određenih preventivnih i korektivnih tehnoloških programa;

— četiri su kanala opsluživanja (četiri radna mjesta) od kojih su po dva povezani u cjeline (sl. 2);

— vrijeme opsluživanja je slučajna varijabla s eksponencijalnom distribucijom vjerojatnosti, a period između dvije pojave sredstva je, također, slučajna varijabla s eksponencijalnom distribucijom vjerojatnosti (prosti potoci);

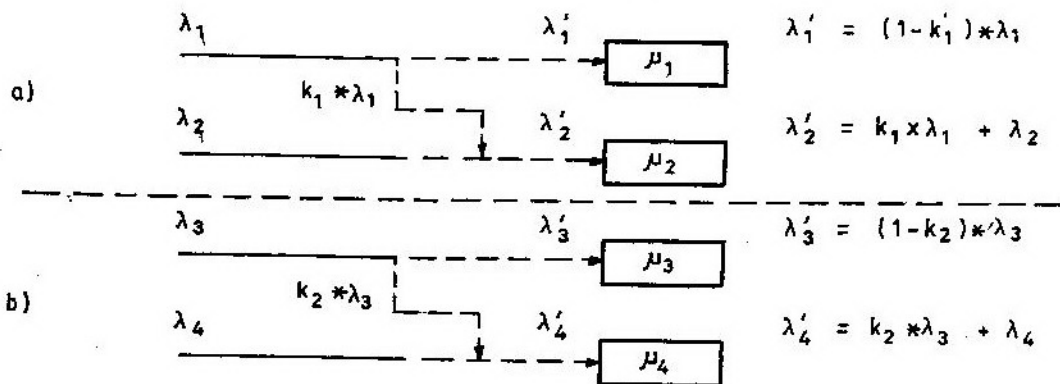
— postoji jedno mjesto u redu čekanja, što znači da svako sredstvo, koje dođe u radionicu u trenutku kad su kanali i mjesto u redu čekanja zauzeti, dobiva otkaz;

— dva kanala, koja čine tehnološku cjelinu u radionici, imaju takve karakteristike da jedan od njih može pružiti ispomoć u održavanju drugom, prihvaćajući dio »njegovih« sredstava na održavanje. Veličina ovog dijela sredstava ovisi o koeficijentu ispomoći, čija se vrijednos kreće od nula (nema ispomoći) do jedan (sva sredstva kanala kojem se pruža pomoć idu u kanal koji pruža pomoć (sl. 3));

— u radionici postoje dvije tehnološke cjeline (međusobno neovisne i svaka sa po dva kanala opsluživanja), koje se mogu analitički odvojeno opisati;

— svako radno mjesto predstavlja jedan kanal opsluživanja i dodavanje novog mehaničara istog profila predstavlja povećavanje intenziteta opsluživanja ( $\mu$ );

— proces koji protiče u radionici, opisanoj kao SMO, diskretan je Markovljev stohastički proces s kontinuiranim parametrom (vremenom).



Sl. 4 Detaljna shema funkcioniranja radionice

Slika 4 prikazuje detaljnu shemu funkcionisanja radionice. Kako je proces koji se odvija u radionici, po pretpostavci, diskretan stohastički proces s kontinuiranim vremenom, može se pristupiti definiranju stanja u kojima se SMO može naći. Sva stanja sistema prikazana su u tabeli 1.

Tabela 1

|     |    | 1. kanal | 2. kanal | čekanje |                           |
|-----|----|----------|----------|---------|---------------------------|
| S * | Y1 | 0        | 0        | 0       | ← nemo-<br>guće<br>stanje |
|     | Y2 | 0        | 0        | 1       |                           |
| T   | Y3 | 0        | 1        | 0       |                           |
| A   | Y4 | 0        | 1        | 1       |                           |
| NJ  | Y5 | 1        | 0        | 0       |                           |
| A * | Y6 | 1        | 0        | 1       | ← nemo-<br>guće<br>stanje |
|     | Y7 | 1        | 1        | 0       |                           |
|     | Y8 | 1        | 1        | 1       |                           |

U tabeli stanja sistema pojavljuju se prvi i drugi kanal opsluživanja iz već navedenih razloga, a to je njihova tehnološka povezanost i tehnološka neovisnost o trećem i četvrtom kanalu. Osim ova dva kanala, pojavljuje se i jedno mjesto u redu čekanja. Pri analizi će se opredijeliti za cjelinu (a) (sl. 4), a ista analiza će se koristiti za cjelinu (b), zbog funkcionalne sličnosti ovih cjelina.

Potrebno je razmotriti svako od navedenih stanja u tabeli 1, jer se može desiti da neko od stanja nije moguće.

Y1... Sistem je u ovom stanju kad nema sredstava na održavanju niti u prvom niti u drugom kanalu, a mjesto u redu čekanja je prazno, tj. nema sredstava u SMO.

Y2... Stanje u kojem su oba kanala slobodna, a jedno sredstvo je u redu čekanja, nije moguće stanje, jer se sredstva uzimaju odmah na održavanje.

Y3... Ovo stanje označava zauzetost drugog kanala održavanja, dok su prvi kanal i mjesto u redu čekanja slobodni.

Y4... Ukoliko je drugi kanal zauzet i na održavanje dođe sredstvo koje može biti održavano samo u drugom kanalu (sredstva N i O), tada će ono čekati u redu, bez obzira na to što je prvi kanal slobodan.

Y5... Ovo je stanje u kojem je prvi kanal zauzet, a drugi i mjesto u redu čekanja slobodni.

Y6... Prvi je kanal zauzet, drugi slobodan i jedno je sredstvo u redu čekanja. Ovo stanje se može smatrati nemogućim, jer je drugi kanal osposobljen da prima sredstva koja se normalno održavaju u prvom kanalu (koliko god koeficijent ispomoći drugog kanala prvom bio mali, ipak će biti dovoljan da drugi kanal preuzme sredstvo u ovakvoj situaciji).

Y7... Oba su kanala zauzeta i nema sredstava u redu čekanja.

Y8... Oba su kanala zauzeta i jedno je sredstvo u redu čekanja.

Eliminiranjem stanja Y2 i Y6, dobivamo skup od šest stanja koja se međusobno isključuju i u potpunosti opisuju promatranu radionicu kao SMO. Sada će tabela stanja izgledati kao na tabeli 2.

Tabela 2

|    | 1. kanal | 2. kanal | čekanje |
|----|----------|----------|---------|
| Y1 | 0        | 0        | 0       |
| Y2 | 0        | 1        | 0       |
| Y3 | 0        | 1        | 1       |
| Y4 | 1        | 0        | 0       |
| Y5 | 1        | 1        | 0       |
| Y6 | 1        | 1        | 1       |

Jedan od važnijih zadataka u analizi SMO predstavlja pronalaženje vjerojatnosti da se sistem u određenom trenutku nađe u nekom od svojih stanja. Kad bi se poznavale ove vjerojatnosti, mogle bi se odrediti i vjerojatnosti slijedećih složenih događaja:

a) vjerojatnost da sredstvo dobije otkaz: sredstvo koje dođe na održavanje u radionicu dobit će otkaz ukoliko se sistem, u trenutku dolaska sredstva,

nalazi u jednom od stanja Y3 ili Y6 (stanja otkaza). Ako je sistem u stanju Y3, tada će otkaz dobiti ono sredstvo koje može biti održavano samo u drugom kanalu (sredstva N i O). Pod pretpostavkom da su događaji »sistem se nalazi u stanju Y3« i »na održavanje je došlo ili sredstvo tipa N ili sredstvo tipa O« međusobno nezavisni, vjerojatnost složenog događaja koji nastaje istovremenim odvijanjem navedena dva događaja jednaka je produktu vjerojatnosti ovih događaja. Ako je pak, sistem u stanju Y6, tada će bilo koje sredstvo, ako naiđe, dobiti otkaz. Prema tome, vjerojatnost stanja Y6 je, ujedno, i vjerojatnost otkaza. Ukupna vjerojatnost da će sredstvo dobiti otkaz, može se, zbog isključivosti stanja Y3 i Y6, izraziti formulom:

$$P_{\text{otk}} = \frac{NN + NO}{NA + NB + NC + ND + NE + NN + NO} \cdot (P(Y3) + P(Y6)) \quad (7)$$

gde je:

NI ... broj sredstava tipa I;

b) vjerojatnost da je zauzet prvi kanal opsluživanja jednaka je sumi vjerojatnosti stanja Y4, Y5 i Y6, jer je u tim stanjima prvi kanal stvarno i zauzet, a stanja se međusobno isključuju:

$$P_{z1} = P(Y4) + P(Y5) + P(Y6); \quad (8)$$

c) vjerojatnost da je zauzet drugi kanal opsluživanja jednaka je:

$$P_{z2} = P(Y2) + P(Y3) + P(Y5) + P(Y6); \quad (9)$$

d) vjerojatnost da u radionici (SMO) nema sredstava na održavanju (slobodna su oba kanala i nema sredstava na čekanju) jednaka je:

$$P_0 = P(Y1) \quad (10)$$

Isto tako, poznavajući vjerojatnosti stanja sistema, možemo odrediti vje-

rojatnost da je prvi kanal zauzet, a drugi slobodan i obrnuto, itd. Ova i vjerojatnosti stanja ostalih događaja koji nastaju formiranjem podskupova (ima ih 2<sup>6</sup>) iz skupa svih mogućih stanja SMO, manje su bitna u analizi rada promatrane radionice.

Nakon što su određena sva moguća stanja u kojima se SMO može naći, pristupa se slijedećem koraku u određivanju vjerojatnosti mogućih stanja, a to je definiranje mogućih prelaza iz stanja u stanje i crtanje grafa stanja i prelaza.

Neka su  $\lambda_1'$  i  $\lambda_2'$  intenziteti potoka sredstava koja dolaze na održavanje u prvi, odnosno drugi kanal opsluživanja, respektivno, a  $\mu_1$  i  $\mu_2$  intenziteti opsluživanja odgovarajućih kanala (sl. 4).

Iz stanja Y1 sistem može preći u:

- stanje Y2 s intenzitetom  $\lambda_2'$ ;
- stanje Y4 s intenzitetom  $\lambda_1'$ .

Iz stanja Y2 sistem može preći u:

- stanje Y1 s intenzitetom  $\mu_2$ ;
- stanje Y3 s intenzitetom  $\lambda_2'$ ;
- stanje Y5 s intenzitetom  $\lambda_1'$ .

Iz stanja Y3 sistem može preći u:

- stanje Y2 s intenzitetom  $\mu_2$ ;
- stanje Y6 s intenzitetom  $\lambda_1'$ .

Iz stanja Y4 sistem može preći u:

- stanje Y1 s intenzitetom  $\mu_1$ ;
- stanje Y5 s intenzitetom  $\lambda_2'$ .

Iz stanja Y5 sistem može preći u:

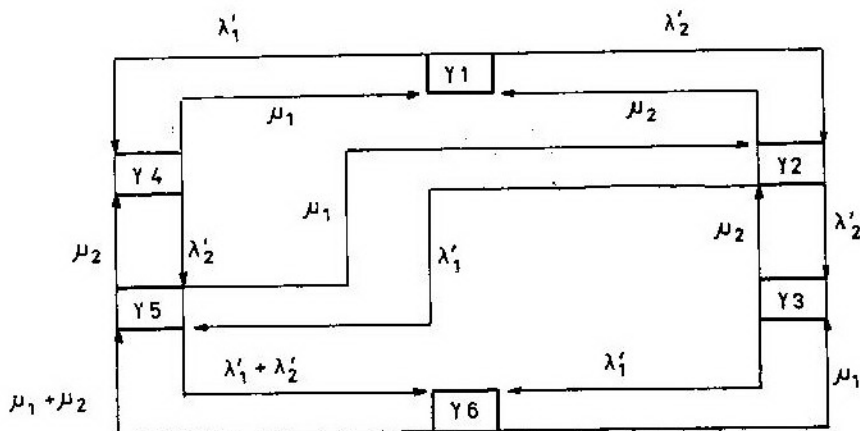
- stanje Y2 s intenzitetom  $\mu_1$ ;
- stanje Y4 s intenzitetom  $\mu_2$ ;
- stanje Y6 s intenzitetom  $\lambda_1' + \lambda_2'$ .

Iz stanja Y6 sistem može preći u:

- stanje Y3 s intenzitetom  $\mu_1$ ;
- stanje Y5 s intenzitetom  $\mu_1 + \mu_2$ .

Nakon što su definirani mogući prelazi stanja, može se izraditi graf stanja (sl. 5).

$$Y6' = -(2 \cdot \mu_1 + \mu_2) \cdot Y6 + (\lambda_1' + \lambda_2') \cdot Y5 + \lambda_1' \cdot Y3 \quad (11)$$



Sl. 5 Graf. stanja sistema

Pod pretpostavkom da su svi potoci korisnika, koji prevode sistem iz jednog stanja u drugo, prosti, vjerojatnosti stanja se mogu odrediti sistemom linearnih diferencijalnih jednadžbi. Osim toga, iz slike 5 vidi se da sistem nema niti jedno stanje bez izlaza i bez ulaza, što znači da je proces koji protiče u sistemu ergodičan, tj. postoji stacionarni režim rada (nakon određenog vremena vjerojatnosti stanja sistema se stabiliziraju i postaju konstante). Iz grafa stanja na slici 5 može se formirati sistem od šest linearnih diferencijalnih jednadžbi (sistem ima šest stanja) s konstantnim koeficijentom ( $\lambda = \text{const.}$ ,  $\mu = \text{const.}$ ). Primjenjujući pravila ove metode (Kolmogorov-Chapman), dolazi se do slijedećeg sistema jednadžbi:

$$Y1' = -(\lambda_1' + \lambda_2') \cdot Y1 + \mu_1 \cdot Y4 + \mu_2 \cdot Y2$$

$$Y2' = -(\lambda_1' + \lambda_2' + \mu_2) \cdot Y2 + \lambda_2' \cdot Y1 + \mu_2 \cdot Y3 + \mu_1 \cdot Y5$$

$$Y3' = -(\lambda_1' + \mu_2) \cdot Y3 + \lambda_2' \cdot Y2 + \mu_1 \cdot Y6$$

$$Y4' = -(\mu_1 + \lambda_2') \cdot Y4 + \mu_2 \cdot Y5 + \lambda_1' \cdot Y1$$

$$Y5' = -(\lambda_1' + \lambda_2' + \mu_1 + \mu_2) \cdot Y5 + \lambda_1' \cdot Y2 + \lambda_2' \cdot Y4 + (\mu_1 + \mu_2) \cdot Y6$$

Da bi se ovaj sistem mogao riješiti nekom od numeričkih metoda, moraju se zadati i početni uvjeti, tj. vjerojatnosti stanja sistema u trenutku  $t=0$ . Logično je prihvatiti da se sistem u trenutku  $t=0$  nalazio u stanju  $Y1$ , pa imamo:

$$P_{t=0}(Y1) = 1, \quad P_{t=0}(Yi) = 0, \quad i=2,3,4,5,6.$$

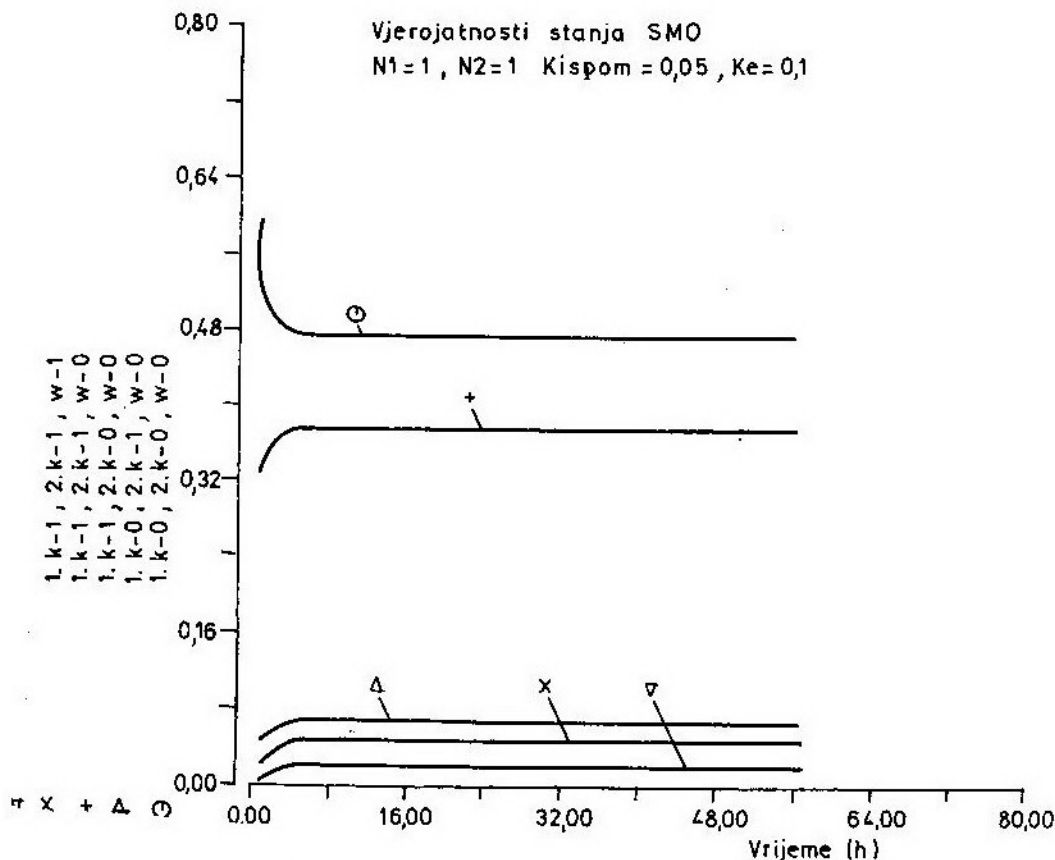
Osim toga, pošto se stanja sistema međusobno isključuju i u potpunosti opisuju sistem, u svakom trenutku  $t$  vrijedi normirajući uvjet:

$$\sum_{i=1}^6 P_t(Yi) = 1. \quad (12)$$

*Napomena* u sistemu diferencijalnih jednadžbi, koji je gore izveden, vjerojatnost da se sistem nađe u stanju  $Yi$  ima upravo oznaku  $Yi$ .

Navedeni sistem diferencijalnih jednadžbi je riješen uz upotrebu računara, jednom od numeričkih metoda, tako da će jedan od računarskih »listinga« biti vrijednosti  $Yi$  ovisne o vremenu (sl. 6 i 7 i tab. 3 i 4).

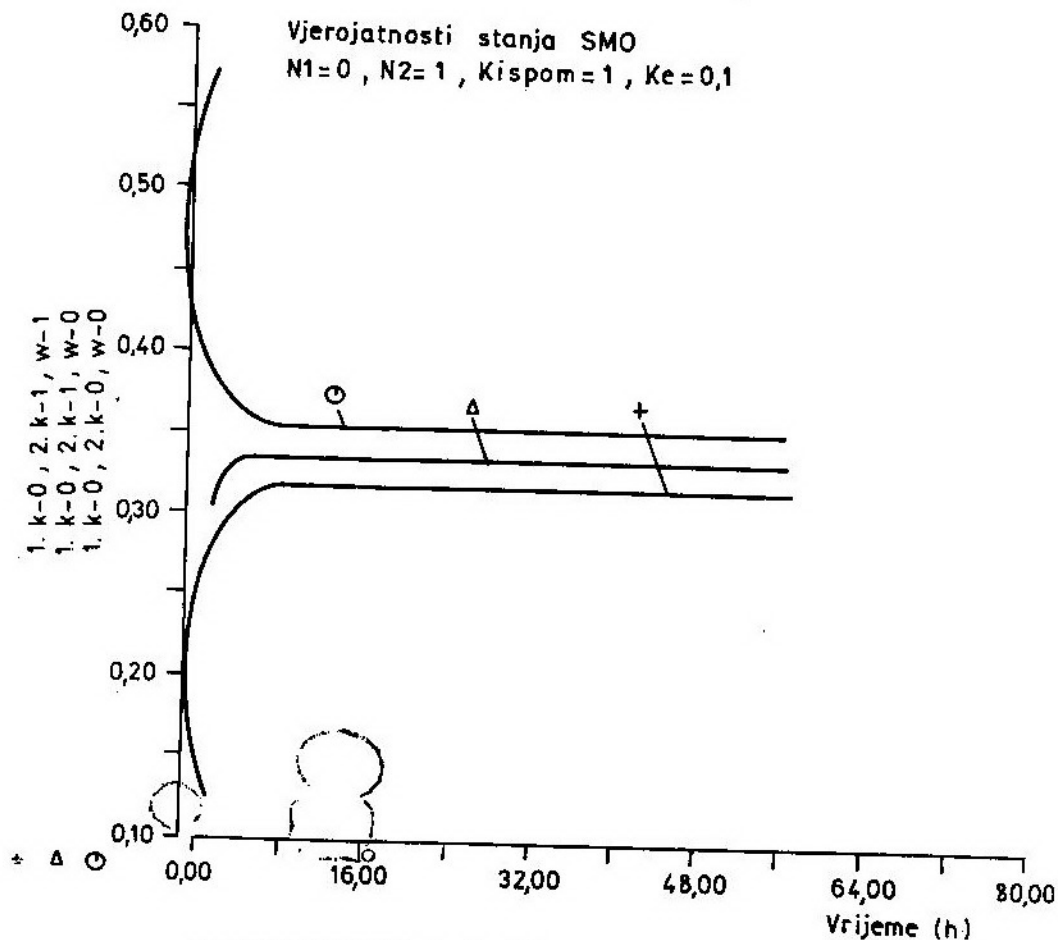
Pri rješavanju je korištena Adamsova »prediktor-korektor« metoda.



Sl. 6 Vjerojatnosti stanja sistema masovnog opsluživanja;  
 $N_1=1; N_2=1; K_{ispom}=0,05; K_e=0,1.$

Vjerojatnosti pojedinih stanja sistema (uz zadani koeficijent eksploatacije, koeficijent ispomoći, broj radnika po kanalu i broj pojedinih tipova sredstava) označene su sa  $Y_i$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) i kratkim opisom stanja. Tako, na primjer,  $Y_{3-011}$  je oznaka vjerojatnosti da se sistem nađe u stanju  $Y_3$  u kojem je prvi kanal slobodan (0), drugi zauzet (1) i mjesto u redu čekanja zauzeto (1). Obuhvaćen je period od 1 do 58 vremenskih jedinica (sati), jer je on dovoljan za dolazak sistema u stacionarno stanje. U stvari, nakon devetnaest sati rada, SMO dolazi u stacionarno stanje i vjerojatnosti pojedinih stanja postaju konstantne:  $Y_1 = 0,41789, Y_2 = 0,06735, Y_3 = 0,01623, Y_4 = 0,37532,$

$Y_5 = 0,04936, Y_6 = 0,01983.$  Suma ovih vjerojatnosti je 1, što je dokaz da je sistem dobro opisan, tj. stanja se međusobno isključuju i u potpunosti opisuju rad radionice. Pretpostavili smo da iz nepromjenjivosti prvih pet znamenaka iza decimalnog zareza možemo izvesti zaključak o konstantnosti vjerojatnosti pojedinih stanja. Na slikama 6 i 7 dat je i grafički prikaz stabilizacije vjerojatnosti stanja. Tabela 4 i slika 7 daju prikaz vjerojatnosti istih stanja sistema, kao i tabela 3 i slika 6, ali s nešto drugačijim ulaznim podacima. U prvom kanalu opsluživanja nema mehaničara ( $N_1=0$ ), a u drugom se nalazi jedan mehaničar ( $N_2=1$ ). Posljedica toga je da su vjerojatnosti onih stanja



Sl. 7 Vjerojatnosti stanja sistema masovnog opsluživanja;  
 $N_1=0$ ;  $N_2=1$ ;  $K_{ispom}=1$ ;  $K_e=0,1$ .

u kojima je zauzet prvi kanal opsluživanja jednake nuli (Y4, Y5 i Y6), dok ostala stanja u potpunosti opisuju SMO (radionicu), pošto je sada suma njihovih vjerojatnosti jednaka 1.

Na ova dva primjera može se sagledati opterećenje mehaničara u pojedinim kanalima. Prvi kanal je zauzet u stanjima Y4, Y5 i Y6, pa suma vjerojatnosti ovih stanja predstavlja i njegovo opterećenje. Opterećenje drugog kanala bit će suma vjerojatnosti stanja Y2, Y3, Y5 i Y6. Iz priloga 2 i 3 mogu se izračunati konkretna opterećenja za svaki kanal pri odgovarajućim koeficijentima eksploatacije:

Iz tabele 3: opterećenje prvog kanala = 0,444 (44% vremena radi); opterećenje drugog kanala = 0,15 (15% vremena radi).

Iz tabele 4: opterećenje prvog kanala = 0 (nema mehaničara); opterećenje drugog kanala = 0,649 (65% vremena radi).

Iz tabele 4 je primjetno povećanje opterećenja drugog mehaničara za 50%, jer sva sredstva prvog mehaničara dolaze kod njega na održavanje (koeficijent ispomoci = 1).

Interesantno je pogledati i parametre opsluživanja ( $\rho_1$  i  $\rho_2$ ) pojedinih kanala u oba primjera:

LGO

- UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA A( 75) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA B( 85) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA C( 15) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA D( 25) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA E( 45) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA N( 25) :  
?  
UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA O( 7) :  
?  
UPIŠI KOEFICIJENT ISPOMOĆI DRUGOG KANALA PRVOM (0, ) :  
? .05  
UPIŠI KOEFICIJENT EKSPLOATACIJE SREDSTAVA (0,1) :  
?  
UPIŠI BROJ RADNIKA U 1. KANALU(1) :  
?  
UPIŠI BROJ RADNIKA U 2. KANALU(1) :  
?

STABILIZACIJA VJEROJATNOSTI STANJA SISTEMA ZA  
SLIJEDEĆE VRIJEDNOSTI PARAMETARA:

$$L11K=0,7097678 \quad MI1UK=0,8869354691499 \quad KOEKS =0,1$$

$$L22K=0,1202542 \quad MI2UK=0,8728786353732 \quad KISPOM=0,05$$

| X       | Y1-000  | Y2-010  | Y3-011  | Y-4100  | Y5-110  | Y6-111  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1,0000  | 0,59537 | 0,04685 | 0,00330 | 1,32631 | 0,02311 | 0,00506 |
| 4,0000  | 0,47858 | 0,06380 | 0,01385 | 0,37956 | 0,04645 | 0,01775 |
| 7,0000  | 0,47278 | 0,06682 | 0,01588 | 0,37604 | 0,04894 | 0,01954 |
| 10,0000 | 0,47202 | 0,06728 | 0,01618 | 0,37543 | 0,04930 | 0,01979 |
| 13,0000 | 0,47191 | 0,06734 | 0,01623 | 0,37534 | 0,04935 | 0,01983 |
| 16,0000 | 0,47190 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37533 | 0,04936 | 0,01983 |
| 19,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 22,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 25,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 28,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 31,0000 | 0,47189 | 0,06736 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 34,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 37,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 40,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 43,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 46,0000 | 0,47189 | 0,06736 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 49,0000 | 0,47189 | 0,06736 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 52,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |
| 55,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04937 | 0,01983 |
| 58,0000 | 0,47189 | 0,06735 | 0,01623 | 0,37532 | 0,04936 | 0,01983 |

PAUSE SLIJEDEĆI IZLAZ

LGO  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA A( 75) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA B( 85) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA C( 15) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA D( 25) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA E( 45) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA N( 25) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ SREDSTAVA TIPA O( 7) :  
 ?  
 UPIŠI KOEFICIJENT ISPOMOĆI DRUGOG KANALA PRVOM (0, ) :  
 ? 1.  
 UPIŠI KOEFICIJENT EKSPLOATACIJE SREDSTAVA (0,1) :  
 ?  
 UPIŠI BROJ RADNIKA U 1. KANALU(1) :  
 ? 0  
 UPIŠI BROJ RADNIKA U 2. KANALU(1) :  
 ?

STABILIZACIJA VJEROJATNOSTI STANJA SISTEMA ZA  
 SLIJEDEĆE VRIJEDNOSTI PARAMETARA:

L11K=0. M11UK=0. KOEKS =0,1

L22K=0,830022 M12UK=0,8728786353732 KISPOM=1.

| X       | Y1-000  | Y2-010  | Y3-011  | Y-4100  | Y5-110  | Y6-111  |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1,0000  | 0,57078 | 0,30294 | 0,12628 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 4,0000  | 0,36642 | 0,33264 | 0,30094 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 7,0000  | 0,35151 | 0,33301 | 0,31548 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 10,0000 | 0,35035 | 0,33305 | 0,31660 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 13,0000 | 0,35026 | 0,33304 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 16,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 19,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 22,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 25,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 28,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 31,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 34,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 37,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 40,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 43,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 46,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 49,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 52,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 55,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| 58,0000 | 0,35025 | 0,33305 | 0,31670 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |

PAUSE SLIJEDEĆI IZLAZ

?



iz tabele 3:

$$\rho_1 = L11K/MI1UK = 0,80;$$

$$\rho_2 = L22K/MI2UK = 0,138;$$

iz tabele 4:

$$\rho_1 = 0;$$

$$\rho_2 = L22K/MI2UK = 0,951.$$

U drugom primjeru se drugi kanal približio zagušenju, jer se vrijednost intenziteta ulaznog potoka sredstava približila po vrijednosti intenzitetu opsluživanja.

Kako je sistem opisan sa šest stanja, moguće je konstruirati  $2^6 - 1 = 63$  događaja za koja se može tražiti vjerojatnost dešavanja. Međutim, samo mali podskup ovog skupa događaja je interesantan za primjenu. Jedan od događaja iz tog podskupa je stanje Y1-000, tj. vjerojatnost da se u sistemu ne nalazi niti jedno sredstvo. Isto tako, interesantan je događaj u kojem sredstvo koje dođe u SMO dobije otkaz. Ovaj događaj realiziraju stanja Y3 i Y6.

### Usporedba dobivenih rezultata s rezultatima nekih klasičnih SMO

Rezultate dobivene analitičkim opisom radionice, kao sistema masovnog opsluživanja, pogodno je verificirati na određeni način radi odluke o primjenjivosti modela. Model je verificiran usporedbom rezultata opisanog SMO s rezultatima nekih klasičnih SMO, čije se karakteristike mogu eksplicitno izraziti algebarskim formulama [3]. Izabrana su dva takva sistema: jednokanalni SMO s čekanjem (M/M/1/1) i dvokanalni SMO s čekanjem i potpunom uzajamnom pomoći među kanalima (M/M/2/1). Iz oznaka spomenutih sistema vidi se da imaju po jedno mjesto u redu čekanja.

### Jednokanalni SMO s čekanjem

Oznaka ovog sistema je M/M/1/1, što znači da su interval između nailazaka sredstava i srednje vrijeme opsluživanja slučajne varijable s eksponencijalnom distribucijom vjerojatnosti, te postoji jedan kanal opsluživanja i jedno mjesto u redu čekanja.

Vjerojatnost da će sredstvo dobiti otkaz u ovakvom sistemu izražava se formulom:

$$P_{\text{otk}} = \frac{\rho^{m+1} \cdot (1-\rho)}{1-\rho^{m+2}} \quad (13)$$

gde su:

$m$  — broj mjesta u redu čekanja;

$\rho$  — parametar kanala ( $\lambda/\mu$ ).

Vjerojatnost da nema sredstava u sistemu izračunava se formulom:

$$P_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+2}}, \text{ za } \rho < > 1; \quad (14)$$

$$P_0 = \frac{1}{m+2}, \text{ za } \rho = 1, \quad (15)$$

gdje  $m$  i  $\rho$  imaju isto značenje kao u prethodnoj formuli.

Da bi se mogao usporediti analitički opisan SMO iz rada s ovim klasičnim i jednostavnijim SMO, potrebno je koeficijent ispomoći drugog kanala prvom postaviti na vrijednost 1. Tada će sva sredstva namijenjena prvom kanalu opsluživanja ići u drugi kanal, koji će time biti jedini u sistemu. U tabeli 5 dati su usporedni rezultati dvaju naznačenih sistema za različite vrijednosti intenziteta potoka sredstava ( $\lambda$ ) i intenziteta opsluživanja ( $\mu$ ), pa, prema tome, i za različite vrijednosti  $\rho$ .

Uspoređujući ove rezultate, uz pretpostavku da je rezultat dobiven formulom korektan do na treću decimalu, maksimalna greška je 0,1%.

| $\lambda$<br>(h <sup>-1</sup> ) | $\mu$<br>(h <sup>-1</sup> ) | $\rho$ | Potk    |         | P <sub>o</sub> =Y1 |         |
|---------------------------------|-----------------------------|--------|---------|---------|--------------------|---------|
|                                 |                             |        | računar | formula | računar            | formula |
| 0.1                             | 0.9                         | 0.111  | 0.0109  | 0.0109  | 0.890              | 0.890   |
| 0.3                             | 0.9                         | 0.333  | 0.0768  | 0.0767  | 0.692              | 0.693   |
| 0.9                             | 0.9                         | 1.000  | 0.3333  | 0.3333  | 0.333              | 0.333   |
| 0.1                             | 1.8                         | 0.055  | 0.0029  | 0.0029  | 0.945              | 0.945   |
| 0.3                             | 1.8                         | 0.167  | 0.0230  | 0.0230  | 0.837              | 0.836   |
| 0.9                             | 1.8                         | 0.500  | 0.1420  | 0.1430  | 0.571              | 0.571   |

*Dvokanalni SMO s čekanjem i potpunom uzajamnom pomoći među kanalima*

Oznaka ovog SMO je M/M/2/1, a analitički izraz za vjerojatnost opsluživanja u ovom sistemu je:

$$P_{ops} = \frac{1 - \alpha^{n+m}}{1 - \alpha^{n+m+1}}, \text{ za } \alpha < > 1; \quad (16)$$

$$P_{ops} = \frac{n + m}{2}, \text{ za } \alpha = 1, \quad (17)$$

gdje su:

$\alpha = \rho/2 = \lambda / (2 \mu)$  — propusna moć sistema;

n — broj kanala opsluživanja;

m — broj mjesta u redu čekanja.

U tabeli 6 date su neke usporedne vrijednosti vjerojatnosti opsluživanja ovih dvaju modela za različite intenzitete potoka sredstava. Ako rezultate dobivene formulom uzmemo kao tačne, maksimalna greška (zadnji red tabele)

iznosi 5,6%. Ovdje je greška veća nego u prethodnom primjeru, jer je teže odrediti vrijednost intenziteta opsluživanja ( $\mu$ ) koja se uzima kao ulazna veličina u predloženom modelu. Naime, ukoliko u SMO s potpunom uzajamnom pomoći među kanalima postoje dva kanala, mogući su slijedeći događaji:

— ako su kanali opsluživanja slobodni i naiđe jedno sredstvo na održavanje, preuzimaju ga oba kanala i tada je intenzitet opsluživanja kanala jednak  $2 \cdot \mu$ ;

— ako se jedno sredstvo već održava u oba kanala i naiđe još jedno sredstvo, tada jedan od kanala preuzima dospjelo sredstvo i intenzitet opsluživanja kanala je  $\mu$ .

Prema tome, srednja vrijednost intenziteta opsluživanja kanala je  $(2 \cdot \mu + \mu)/2$ , odnosno  $1,5 \cdot \mu$ . Ovakva vrijednost se uzima kao ulazna veličina u predloženi model i na osnovu toga se dobivaju rezultati prikazani u tabeli 6.

Tabela 6

| $\lambda$<br>(h <sup>-1</sup> ) | $\mu$<br>(h <sup>-1</sup> ) | P <sub>ops</sub> |         |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|---------|
|                                 |                             | računar          | formula |
| 0.1                             | 0.5                         | 0.995            | 0.999   |
| 0.2                             | 0.5                         | 0.984            | 0.994   |
| 0.3                             | 0.5                         | 0.978            | 0.980   |
| 0.4                             | 0.5                         | 0.967            | 0.960   |
| 0.5                             | 0.5                         | 0.948            | 0.933   |
| 0.6                             | 0.5                         | 0.920            | 0.900   |
| 0.7                             | 0.5                         | 0.900            | 0.870   |
| 0.8                             | 0.5                         | 0.880            | 0.830   |

## Zaključak

U radu je analitički opisan rad radionice za održavanje radio-uređaja primjenom teorija masovnog opsluživanja. Korištenu metodu čini matematičko modeliranje, zasnovano na analitičkoj formulaciji rada radionice. Ovaj model, realiziran na računaru, može se primjeniti za više različitih analiza, kao što je proračun potrebnog broja i strukture radnih mjesta za održavanje zadanog skupa sredstava različitog tipa i količine.

Uz određenu doradu može se izvesti i proračun troškova radne snage za održavanje.

Da bi dobiveni matematički model bio upotrebljiv, zahtijeva se rješavanje odgovarajućeg sistema linearnih diferencijalnih jednažbi. Jedini mogući način rješavanja ovog sistema u praksi jeste upotreba računarskih resursa, što je u ovom radu i ostvareno upotrebom biblioteke matematičkih rutina IMSLIB na računaru CYBER 170/825.

Za analizu radionice u ovom radu bilo je zadovoljavajuće da u redu čekanja postoji samo jedno mjesto. U slučaju da je potrebno razmatrati više mjesta u redu čekanja (uz iste ulazne podatke), neophodno je formirati novi sistem diferencijalnih jednažbi, jer do-

davanje svakog novog mjesta u redu čekanja povećava broj mogućih stanja sistema, a time i broj diferencijalnih jednažbi (svakom stanju sistema odgovara jedna diferencijalna jednažba). Olakšavajuća okolnost, pri povećanju broja stanja sistema, jeste što se istovremeno povećava i broj nemogućih stanja, koja se mogu odbaciti.

Konačno, treba primijetiti da upotreba predloženog matematičkog modela, zasnovanog na analitičkom opisu, nije ograničena na analizu rada ovdje razmatrane radionice. Što više, tipovi sredstava, označeni s A, B, C, D, N i O, mogu biti bilo koja sredstva, za koje je potrebno znati intenzitet otkaza i srednje vrijeme aktivnog održavanja. Osim toga, isto tako uspješno kako opisuje rad radionice s dva kanala opsluživanja, model može opisati i slučaj prisutnosti samo jednog kanala.

## Literatura:

- [1] Barković M.: »Održavanje tehničkih materijalnih sredstava u sistemu održavanja s više nivoa«, Vojnotehnički glasnik 2/1989 s. 151—160.
- [2] Dobrović Ž.: »Minimalizacija utroška sredstava u sistemu održavanja«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet sveučilišta u Zagrebu, 1991.
- [3] Stojiljković M., Vukađinović S.: »Operaciona istraživanja«, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1984.
- [4] — FORTRAN 77 Reference Manuel Revision 02, Data General Corporation, October 1983.
- [5] — IMSL LIBRARY — Fortran Subroutines for Mathematics and Statistics, Vol. 1, Chapter D, IMSL, Houston, 1984.

**Mr Vasilije Mišković,**  
kapetan I klase, dipl. inž.,

**Mr Radomir Đuklć,**  
kapetan I klase, dipl. inž.,

**Mr Zmago Kerec,**  
major, dipl. inž.

## Izbor lokacije poljskog skladišta

### Uvod

Lokacija za razvoj poljskog skladišta treba da ima određene karakteristike radi smeštaja, transporta i manipulacije i obezbeđenja materijalnih sredstava. Veoma je teško jednim kvantitativnim pokazateljem vrednovati neku lokaciju prema njenoj pogodnosti za razvijanje poljskog skladišta. Te teškoće se ogledaju u nemogućnosti izražavanja pojedinih karakteristika lokacije u nekim mernim jedinicama, pa se najčešće pribegava proceni. Zbog toga se vrši upoređenje lokacija, jedne u odnosu na drugu, odnosno, o lokaciji se odlučuje izborom od više ponuđenih ili mogućih varijanti na osnovu postavljениh kriterijuma.

Međutim, ni ovaj izbor nije jednostavan. Kriterijumi, na osnovu kojih se donosi odluka, često su egzaktno nemerljivi, složeni i međusobno neuporedivi. Za rešavanje ovakvih i sličnih problema mogu se primenjivati metode višekriterijumskog rangiranja, kao što su ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, itd. Njihova namena nije da donesu odluku, već da donosiocu odluke pomognu pri donošenju odluke. Često će rezultati primene metode potvrditi ono što donosilac odluke na osnovu iskustva i intuicije »vidi i oseća« kao rešenje, ali, isto tako, često se njihovom primenom razotkrivaju i neki drugi odnosi do ko-

jih se zdravorazumskim zaključivanjem ne može doći.

U ovom stručnom radu biće opisane karakteristike lokacije za razvoj poljskog skladišta i na osnovu toga će se postaviti kriterijumi i pokazati primena metode MENOR. Ova metoda ima prednost u odnosu na ostale, za ovu klasu problema, gde su kriterijumi složene strukture. Metoda MENOR je izabrana, jer omogućava razlaganje kriterijuma na teoretski proizvoljan broj nivoa. Na jednom primeru biće pokazana njena primena.

Karakteristike lokacije za razvoj poljskog skladišta i na osnovu njih postavljени kriterijumi, u ovom radu, neće biti vezivani za neke posebne vrste skladišta, nego će se obraditi lokacija poljskog skladišta uopšte. To znači da za izbor lokacije poljskog skladišta municije, pogonskih sredstava ili neko drugo, kao i za konkretne slučajeve, kriterijumi moraju biti doručeni i drugačije vrednovani nego što primer u ovom radu pokazuje.

### Značaj i uslovi raseljavanja skladišta TMS

Činjenica da će se zemlja braniti nalaže potrebu da se tehničko materijalna sredstva (TMS) skladište tako da ispune svoju funkciju, bez obzira na to sa koje strane agresor dolazi. Pri tome

se uzimaju u obzir i ekonomski pokazatelji koji deluju u vreme mira. U ratu se može pojaviti potreba za određeno pregrupisavanje rezervi TMS i u sasvim različite reone u odnosu na ranija skladišta.

U okviru priprema jedinica i ustanova za prelazak iz mirnodopskog u ratno stanje, u nekim skladištima TMS vrše se pripreme za raseljavanje određenog dela uskladištenih rezervi.

Raseljavanje rezervi TMS je aktivnost koja obuhvata izvlačenje ovih rezervi iz stacionarnih tehničkih skladišta na unapred određene i u potrebnoj meri pripremljene rejone. Na taj način smanjuje se verovatnoća uništenja rezervi TMS.

Pregrupisavanje rezervi TMS radi povoljnijeg rasporeda, približavanja potrošačima ili evakuacije iz ugroženih područja može se vršiti po frontu i u dubinu. Premeštanjem rezervi iz dubine teritorije u reone bliže potrošačima skraćuje se put dotura TMS i obezbeđuje blagovremenost popune potrošača.

Uzimajući u obzir sve uticajne faktore na osnovu plana angažovanja snaga i plana snabdevanja određenim TMS, komande određenog nivoa donose odluku o tome da li će se neko skladište raseljavati ili neće i koje će se rezerve, po vrstama i količinama, raseljavati. Već pri izgradnji skladišta, prema izboru lokacije i vrstama objekata za smeštaj, praktično je predodređeno, u izvesnoj meri, da li će se objekti i koji od njih raseljavati. S vremenom, radi promene situacije, svakako se menjaju prvobitno procenjeni faktori.

Raseljavanje dela uskladištenih TMS može se realizovati u skladu sa planovima, ali pri tome, takođe, može doći i do manjih ili većih odstupanja, zavisno od situacije. Ako se raseljavanje TMS realizuje pre mobilizacije, za vreme povišene borbene gotovosti ili potpune borbene gotovosti za određene delove oružanih snaga, tada raseljavanje dela uskladištenih TMS teče po planovima, bez većih odstupanja.

Oružane snage ili samo pojedini vidovi, rodovi i jedinice, dovode se u stanje povišene i potpune borbene gotovosti u uslovima zaoštrene vojno-političke situacije, kada postoji opasnost od agresije i u vanrednim situacijama. U zavisnosti od procena, može se doneti odluka i narediti raseljavanje skladišta u skladu s pripremama za izvršenje borbenih zadataka jedinica OS.

Ako se raseljavanje skladišta realizuje u toku mobilizacije, situacija je komplikovanija i uslovi izvođenja teži u odnosu na period pre mobilizacije jedinica. Raspoloživi ljudski i materijalni resursi koriste se u skladu sa konkretnim uslovima, infrastrukturom teritorije, posebno komunikacijama. Vreme korištenja komunikacija je u tom slučaju strogo određeno, pa se planovi moraju, po potrebi, korigovati. Do punog izražaja dolazi samoinicijativa i obučenosť starešina i vojnika u rešavanju zadataka u složenim uslovima. Što su planovi raseljavanja kvalitetniji, a obučenosť ljudstva veća, to će biti manje problema u realizaciji delimičnog ili potpunog raseljavanja skladišta određenih TMS u toku mobilizacije jedinica.

Najteža situacija za realizaciju raseljavanja TMS je izvršenje ovog zadatka u uslovima agresije. Agresoru je, pre svega, stalo do toga da onemogući mobilizaciju i razvoj oružanih snaga. Zbog svog značaja, skladišta TMS veoma su rentabilan cilj.

Zbog toga, veoma je značajno da se lokacije za raseljavanje skladišta unapred pripreme u miru, kako bi se skratila vremena za pripreme i zadatak raseljavanja što brže izvršio.

### **Karakteristike lokacije poljskog skladišta**

Pri izboru lokacije za poljsko skladište treba razmatrati složen skup uticajnih parametara, pre svega, sa stanovišta mogućnosti realizacije uspešnog funkcionisanja poljskog skladišta.

Za prezentaciju metode uzeti su parametri među kojima su najbitniji:

a) saobraćajne mogućnosti:

— uslovi za direktan pristup transportnih sredstava do tih rejlona radi prevoza TMS i obezbeđenja jednosmernog kružnog toka saobraćaja,

— planirani razmeštaj odeljaka i tehnološka celina skladišta treba da omogućuje korištenje postojeće putne mreže. Ako svi ostali faktori odgovaraju za poljsko skladište, moguće je da se pojavi potreba za izradom novih saobraćajnica,

— teren treba da je pogodan za korištenje motornih vozila veće nosivosti;

b) klimatski, orografski i petrografske uslovi rejlona:

— temperaturne promene, padavine, vlažnost vazduha,

— osobine tla, suvo i ocedito,

— konfiguracija terena u odnosu na mogućnost manevra vozilima pri raseljavanju i u toku funkcionisanja skladišta,

— pogodnost terena za prirodno i veštačko maskiranje, neposredno obezbeđenje i odbranu;

c) položaj lokacije u odnosu na ostale elemente infrastrukture teritorije, a u sklopu toga i u odnosu na jedinstvene mere borbenog obezbeđenja poljskog skladišta:

— uslovi snabdevanja vodom,

— uslovi smeštaja ljudi u objekte na teritoriji,

— snabdevanje artiklima hrane i korištenje zdravstvenih kapaciteta.

Na odabranom rejlonu, uvek kada je moguće, treba koristiti prirodne objekte za zaštitu TMS od nepovoljnih uticaja okruženja, a u toku priprema lokacije treba izgrađivati i veštačke objekte.

Teritorija za formiranje poljskog skladišta mora biti takve veličine da se mogu rastresito i bezbedno uskladištiti sva planirana TMS, smestiti ljudstvo, motorna vozila, mehanizacija, da se manipulacija može nesmetano vršiti i da

se uspešno može vršiti utovar i istovar u ratnim uslovima. Teritorija poljskog skladišta deli se na tehnički i opšti deo koji su međusobno udaljeni najmanje 200 metara.

Na osnovu ovih uslova mogu se definisati kriterijumi za izbor lokacije poljskog skladišta.

### Definisanje kriterijuma za izbor lokacije poljskog skladišta

#### Kriterijumi nultog ranga

$K_1^0$  — Saobraćajne mogućnosti:

$K_2^0$  — klimatski, orografski i petrografske uslovi;

$K_3^0$  — pogodnost položaja u odnosu na infrastrukturu;

$K_4^0$  — uslovi za život i rad ljudstva.

#### Potkriterijumi prvog ranga

$K_1^0$  — Saobraćajne mogućnosti:

$K_{1,1}^1$  — mogućnost direktnog pristupa transportnih sredstava;

$K_{1,2}^1$  — mogućnost manevra transportnih sredstava;

$K_{1,3}^1$  — mogućnost korištenja postojeće putne mreže;

$K_{1,4}^1$  — pogodnost terena za vozila veće nosivosti;

$K_{1,5}^1$  — povezanost sa glavnim komunikacijama;

$K_2^0$  — Klimatski, orografski i petrografske uslovi:

$K_{2,1}^1$  — pogodnost klime;

$K_{2,2}^1$  — pogodnost tla;

$K_{2,3}^1$  — pošumljenost terena.

$K_3^0$  — Pogodnost položaja u odnosu na infrastrukturu:

$K_{3,1}^1$  — blizina unosnih ciljeva

$K_{3,2}^1$  — markantni objekti za orijentaciju plavog;

$K_{3,3}^1$  — mogućnost desanta;

$K_{3,4}^1$  — mogućnost rastresitog rasporeda stokova (1—5);

$K_{3,5}^1$  — mogućnost maskiranja;

$K_{3,6}^1$  — mogućnosti borbenog osiguranja lokacije.

$K_4^0$  — Uslovi za život i rad ljudstva:

- $K_{4,1}^1$  — mogućnost snabdevanja vodom;
- $K_{4,2}^1$  — mogućnosti smeštaja ljudstva u objekte na terenu;
- $K_{4,3}^1$  — mogućnost snabdevanja — hranom;
- $K_{4,4}^1$  — mogućnost korištenja zdravstvenih kapaciteta (1—5).

### Potkriterijumi drugog ranga

#### Kriterijum $K_1^0$

##### a) Potkriterijum $K_{1,1}^1$ :

- $K_{1,1,1}^2$  — prosečna širina puteva [m];
- $K_{1,1,2}^2$  — prosečni kvalitet puteva [ocena: 1—5].

##### b) Potkriterijum $K_{1,2}^1$ :

- $K_{1,2,1}^2$  — dužina puteva unutrašnjeg transporta [km];
- $K_{1,2,2}^2$  — broj kružnih saobraćajnica [broj];
- $K_{1,2,3}^2$  — broj mesta proširenja [broj];
- $K_{1,2,4}^2$  — broj parkirnih mesta [broj];

##### c) Potkriterijum $K_{1,3}^1$ :

- $K_{1,3,1}^2$  — dužina postojeće putne mreže [km];
- $K_{1,3,2}^2$  — dužina puteva za izgradnju [km].

##### d) Potkriterijum $K_{1,4}^1$ :

- $K_{1,4,1}^2$  — širina puteva [m];
- $K_{1,4,2}^2$  — tvrdoća podloge [ocena: 1—5];
- $K_{1,4,3}^2$  — broj uskih grla koja treba proširiti [broj].

##### e) Potkriterijum $K_{1,5}^1$ :

- $K_{1,5,1}^2$  — broj prilaznih puteva [broj];
- $K_{1,5,2}^2$  — mogućnost protoka vozila [broj vozila na sat];
- $K_{1,5,3}^2$  — prosečna udaljenost od glavnih komunikacija [km].

#### Kriterijum $K_2^0$

##### a) Potkriterijum $K_{2,1}^1$

- $K_{2,1,1}^2$  — raspon promena temperature [ocena: 1—5];
- $K_{2,1,2}^2$  — relativna vlažnost vazduha [ocena: 1—5];
- $K_{2,1,3}^2$  — maksimalna temperatura [ocena: 1—5];
- $K_{2,1,4}^2$  — minimalna temperatura [ocena: 1—5].

##### b) Potkriterijum $K_{2,2}^1$ :

- $K_{2,2,1}^2$  — tvrdoća tla [ocena: 1—5];
- $K_{2,2,2}^2$  — oceditost [ocena: 1—5].

##### c) Potkriterijum $K_{2,3}^1$ :

- $K_{2,3,1}^2$  — visina drveća [m];
- $K_{2,3,2}^2$  — gustina šume [ocena: 1—5];
- $K_{2,3,3}^2$  — starost šume [godine].

#### Kriterijum $K_3^0$

##### a) Potkriterijum $K_{3,1}^1$ :

- $K_{3,1,1}^2$  — broj unosnih ciljeva [broj];
- $K_{3,1,2}^2$  — udaljenost najbližeg cilja [km];
- $K_{3,1,3}^2$  — prosečna udaljenost ciljeva [km].

##### b) Potkriterijum $K_{3,2}^1$ :

- $K_{3,2,1}^2$  — broj markantnih objekata [broj];
- $K_{3,2,2}^2$  — prosečna udaljenost markantnih objekata [km].

##### c) Potkriterijum $K_{3,3}^1$ :

- $K_{3,3,1}^2$  — veličina desantne prostorijske [km<sup>2</sup>];
- $K_{3,3,2}^2$  — udaljenost od lokacije [km].

##### d) Potkriterijum $K_{3,4}^1$ :

- $K_{3,4,1}^2$  — broj pogodnih prirodnih objekata [broj];
- $K_{3,4,2}^2$  — kvalitet prirodnog maskiranja [ocena: 1—5].

##### e) Potkriterijum $K_{3,5}^1$ :

- $K_{3,5,1}^2$  — optimalan broj stražarskih mesta [broj];
- $K_{3,5,2}^2$  — broj angažovanog ljudstva za obezbeđenje [broj].

## Kriterijum $K_4^0$

### a) Potkriterijum $K_{4,1}^1$ :

$K_{4,1,1}^2$  — prosečna udaljenost do snabdevačkih mesta [km];

$K_{4,1,2}^2$  — prosečan protok vode na snabdevačkim mestima [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

### b) Potkriterijum $K_{4,2}^1$ :

$K_{4,2,1}^2$  — kapacitet objekata za smeštaj ljudstva [broj];

$K_{4,2,2}^2$  — kvalitet objekata za smeštaj ljudstva [ocena: 1—5].

### c) Potkriterijum $K_{4,3}^1$ :

$K_{4,3,1}^2$  — udaljenost snabdevačkih mesta [km];

$K_{4,3,2}^2$  — kapacitet snabdevačkih mesta [dani rata].

## Izbor i opis metode

Donošenje odluke o izboru lokacija poljskih skladišta vezano je sa protivrečnim zahtevima. Obuhvatanje svih relevantnih činilaca istovremeno logičkim i intuitivnim putem veoma je složeno, a negativne posledice pogrešno donetih odluka mogu biti veoma teške.

Razvoj određenih područja operacionih istraživanja omogućuje da se iz oblasti višekriterijumske analize odaberu dosta pouzdane metode za višekriterijumsko odlučivanje (ELECTRE I do IV, IKOR, PROMETHEE I do IV, i dr.). Ove metode su razrađene za jedan nivo rangiranja i ne uvode direktno u model vrednosti parametara složenih karakteristika varijanti, već ih intuitivnim putem objedinjuju (npr. karakteristika varijanti »klimatski uslovi« objedinjuje: temperaturu, vlažnost vazduha, vetrove, padavine i sl.), ili se u modelu javlja prevelik broj kriterijuma (čak i preko 30).

Mada u teorijskom smislu za većinu metoda višekriterijumske analize nije ograničen broj kriterijuma, a savremena informatička tehnologija o-

moćuje brzo dobijanje rezultata, poteškoće nastaju pri vrednovanju uticaja velikog broja kriterijuma i određivanju njihovih relativnih važnosti. Zato se preporučuje da ne bude više od 12 osnovnih kriterijuma [1], što usložava postupak dobijanja rang-liste varijanti prema njihovom kvalitetu.

Ako se definišu osnovni kriterijumi za izbor najpovoljnije varijante, svaki od njih obuhvata niz bitnih karakteristika i parametara. Zato je potrebno sve te parametre, izražene u kvantitativnom ili kvalitativnom obliku, na adekvatan način vrednovati i uključiti u matematički model za određivanje najpovoljnije varijante (ili skupa najpovoljnijih varijanti) po zadanim kriterijumima.

Za rešavanje ovakvih problema može se primeniti METoda NORMALIZACIJE kriterijumskih funkcija na više nivoa (MENOR), koja je nastala iz potrebe da se postupak rangiranja varijanti pojednostavi, kako bi se donosiocima odluka pomoglo u pravilnom izboru najpovoljnije varijante, uz istovremeno uvažavanje velikog broja karakteristika i parametara. U ovakvom pristupu problemu rangiranja javlja se više nivoa. Na svakom nivou se određuju koeficijenta značajnosti kriterijuma, a time i više nivoa rangiranja prema tim kriterijumima — potkriterijumima (preporučuje se da to ne bude više od 3 nivoa). jenti relativnih važnosti kriterijuma — potkriterijuma, koji ispoljavaju svoj uticaj na dalji tok rangiranja.

Za provođenje postupka rangiranja varijanti metodom MENOR formira se početna matrica  $C^{(r)}$  sa elementima  $c_{i,j}^{(r)}$  koji predstavljaju vrednosti potkriterijumskih funkcija na r-tom nivou rangiranja. To su vrednosti bitnih karakteristika i parametara ili ekspertnih ocena kvalitativnih karakteristika varijanti  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ).

Nivoi rangiranja  $d = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, r$ , određuju se zavisno od vrste, značaja i složenosti karakteristika koje uslovljavaju kriterijumi  $K_j^{(0)}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) na nultom nivou rangiranja.



Broj nivoa rangiranja ne mora biti isti za sve kriterijume, ali postupak obuhvata sve nivoe.

Relativne važnosti svakog kriterijuma  $K_j^{(o)}$  i potkriterijuma  $K_{j,s,j,k}^{(k)}$  date su preko koeficijenata relativne važnosti  $W_j^{(o)}$  i  $W_{j,s,j,k}^{(k)}$  sa pripadnim predznakom »+« ili »-«, zavisno od toga da li je za donosioca odluke povoljnije ako je vrednost kriterijumske — potkriterijumske funkcije veća ili manja.

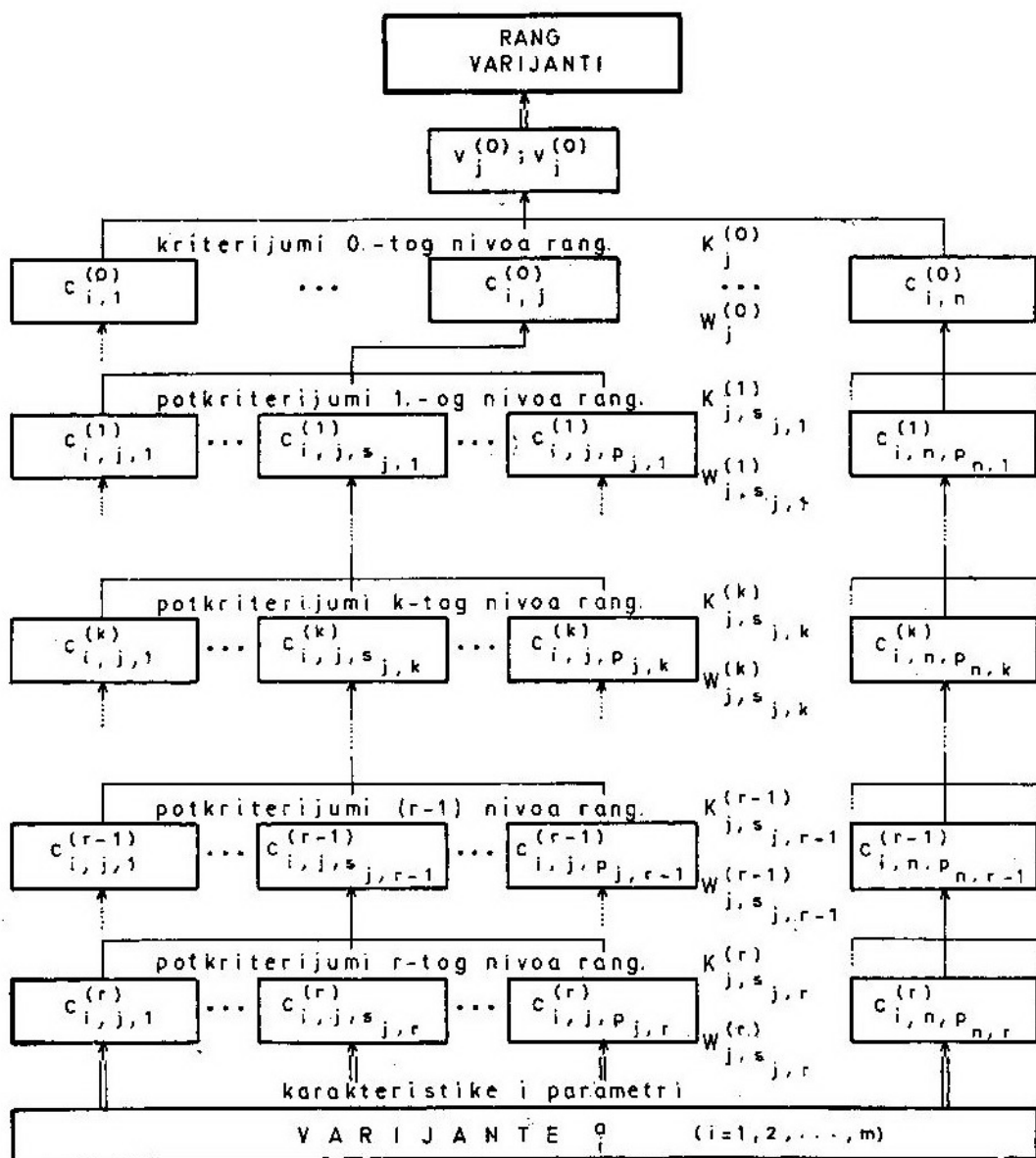
Indeks » $s_{j,k}$ « ( $s_{j,k} = 1, 2, \dots, p_{j,k}$ ) predstavlja oznaku parametra — potkriterijumske funkcije u okviru kriterijuma  $K_j^{(o)}$ , gde je:

—  $p_{j,k}$  — ukupan broj potkriterijuma  $K_{j,s,j,k}^{(k)}$  na k-tom nivou rangiranja. Broj potkriterijuma u početnoj matrici  $C^{(o)}$  i matrici  $C^{(r)}$  određen je prema ukupnom broju bitnih karakteristika varijanti obuhvaćenih kriterijuma.

Tabela 1

| Nivoi kriter. — potkrit. |                     |      |                     | Alternative           |      |                       | Rel. važ. krit. — potkrit. |      |                   |             |                     |
|--------------------------|---------------------|------|---------------------|-----------------------|------|-----------------------|----------------------------|------|-------------------|-------------|---------------------|
| 0                        | 1                   | '''' | r                   | $a_1$                 | '''' | $a_m$                 | $W_{i,s_j}^{(r)}$          | '''' | $W_{i,s_j}^{(l)}$ | $W_j^{(o)}$ |                     |
| $K_1^{(o)}$              | $K_{1,1}^{(1)}$     | '''' | $K_{1,1}^{(r)}$     | $S_{1,1,1}^{(r)}$     | '''' | $C_{m,1,1}^{(r)}$     | $W_{1,1}^{(r)}$            | '''' | $W_{1,1}^{(l)}$   | $W_1^{(o)}$ |                     |
|                          |                     |      | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          |                     |      | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          | ''                  | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          | $K_{1,p_1,1}^{(1)}$ | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   | ''                |             | $W_{1,p_1,1}^{(1)}$ |
|                          |                     |      | $K_{1,p_1,r}^{(r)}$ | $C_{1,1-p_1r}^{(r)}$  | '''' | $C_{m,1,p_1r}^{(r)}$  | $W_{1,p_1,r}^{(r)}$        | '''' | ''                |             |                     |
| ''                       | ''                  | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   | ''                | ''          |                     |
| ''                       | ''                  | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | '''' | ''                | ''          |                     |
| ''                       | ''                  | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   | ''                | ''          |                     |
| $K_n^{(o)}$              | $K_{n,1}^{(1)}$     | '''' | $K_{n,1}^{(r)}$     | $C_{1,n,1}^{(r)}$     | '''' | $C_{m,n,1}^{(r)}$     | $W_{n,1}^{(r)}$            | '''' | $W_{n,1}^{(l)}$   | $W_n^{(o)}$ |                     |
|                          |                     |      | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          |                     |      | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          | ''                  | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   |                   |             |                     |
|                          | $K_{n,p_n,1}^{(1)}$ | '''' | ''                  | ''                    | ''   | ''                    | ''                         | ''   | ''                |             | $W_{n,p_n,1}^{(1)}$ |
|                          |                     |      | $K_{n,p_n,r}^{(r)}$ | $C_{1,n,p_n,r}^{(r)}$ | '''' | $C_{m,n,p_n,r}^{(r)}$ | $W_{n,p_n,r}^{(r)}$        | '''' | ''                |             |                     |

Fomalizovani zapis početne matri- ce dat je u tabeli 1, a vizuelni prikaz postupka provođenja metode na slici 1.



Vrednosti potkriterijumskih funkcija izražavaju se različitim mernim jedinicama ili su to ocene kvalitativnih karakteristika.

Sa postojećim vrednostima elementa matrice  $C^{(r)}$  metoda MENOR provodi se u četiri osnovna koraka.

## 1. KORAK

Određuje se matrica  $C^{(r)} = [c_{i,j,s}^{(r)}]_{i,r}$  sa elementima koji predstavljaju korigovane vrednosti potkriterijumskih funkcija na  $r$ -tom nivou po svim varijantama i kriterijumima — potkriterijumima:

$$c_{i,j,s}^{(r)} = \frac{c_{i,j,s}^{(r)} \cdot W_{i,s}^{(r)}}{\sum_{i=1}^m c_{i,j,s}^{(r)}} \quad (1)$$

Time je izvršena normalizacija kriterijumskih funkcija na  $r$ -tom nivou, njihovo svođenje na bezdimenzionalne veličine i korekcija s obzirom na koeficijente relativne važnosti potkriterijuma  $W_{i,s}^{(r)}$ .

Primenom izraza (1) dobijene su korigovane vrednosti  $c_{i,j,s}^{(2)}$ , tako da je zadovoljena jednačina:

$$\sum_{i=1}^m c_{i,j,s}^{(r)} = W_{i,s}^{(r)} \quad (2)$$

## 2. KORAK

Određuje se matrica normalizovanih indeksa  $V^{(r)}$  sa elementima čije su vrednosti:

$$v_{i,j,s}^{(r)} = \sum_{s_{j,r}=1}^{p_{j,r}} c_{i,j,s}^{(r)}, \text{ za } s_{j,r} : p_{j,r} > 1 \dots (3)$$

Normalizovani indeksi su elementi skupa realnih brojeva (0, pozitivni ili negativni).

U opštem slučaju, kada je  $r = 1$  i  $(r-1) = 0$ , indeks  $s_{j,r-1}$  nije potrebno posebno prikazivati, jer je:

$$s_{j,r-1} = s_{j,1-1} = s_{j,0} = j.$$

S obzirom na to da se rešenje rangiranja varijanti po predloženoj metodi MENOR zasniva na odnosima normalizovanih indeksa  $v_i^{(0)}$  i  $v_i^{(r)}$  na nultom nivou rangiranja, moguće je od svih

elemenata bilo kog reda matrice  $V^{(r)}$  oduzeti proizvoljan realan broj  $b_j \leq 0$ , čijim se pravilnim izborom dobijaju ne-negativne vrednosti normalizovanih indeksa i olakšava provođenje metode. Ako se izabere da je  $b_j = \min v_{i,j,s}^{(r-1)}$

i ta vrednost oduzme od svih vrednosti  $v_{i,j,s}^{(r)}$  u redu  $s_{j,r-1}$  u kojem postoji makar jedna negativna vrednost  $v_{i,j,s}^{(r)}$ , dobije se apsolutna razlika vrednosti svakog elementa i najmanje vrednosti u tom redu. Vrednosti  $v_{i,j,s}^{(r)}$  u ostalim redovima ostaju nepromenjene ( $b_j = 0$ ), odnosno:

$$v_{i,j,s}^{(r)} = \begin{cases} v_{i,j,s}^{(r-1)}, & \text{za } s_{j,r-1} : v_{i,j,s}^{(r-1)} \geq 0, \\ v_{i,j,s}^{(r-1)} - \min_i v_{i,j,s}^{(r-1)}, & \text{za ostala } s_{j,r-1} \end{cases} \quad (4)$$

Vrednosti potkriterijumskih funkcija na  $(r-1)$  nivou rangiranja su:

$$c_{i,j,s_{j,r-1}}^{(r-1)} = v_{i,j,s_{j,r-1}}^{(r)} \quad (5)$$

## 3. KORAK

Koraci 1. i 2. ponavljaju se  $r$  puta, uz neznatne razlike. Tako se u sledećem ponavljanju određuju korigovane vrednosti potkriterijumskih funkcija:

$$c_{i,j,s_{j,r-1}}^{(r-1)} = W_{i,s_{j,r-1}}^{(r-1)} = \frac{c_{i,j,s_{j,r-1}}^{(r-1)}}{\sum_{i=1}^m c_{i,j,s_{j,r-1}}^{(r-1)}} = W_{i,s_{j,r-1}}^{(r-1)}$$

gde je:

$$W_{i,s_{j,r-1}}^{(r-1)} \text{ — faktor korekcije.}$$

Njime se postiže ravnomerni uticaj svih kriterijuma — potkriterijuma sa pripadnim relativnim važnostima na rang-varijanti. Onemogućava promenu uticaja na rang alternativa onih kriteriju-

ma — potkriterijuma za koje vredi da je makar jedna vrednost  $v_{i,j,s_j,r-1}^{(r)} < 0$ . Faktor korekcije ima vrednost:

$$w_{i,j,s_j,r-1}^{(r-1)} = \begin{cases} 1, & \text{za } s_{j,r-1}: v_{i,j,s_j,r-1}^{(r)} \geq 0, \\ 1 + \frac{\min v_{i,j,s_j,r-1}^{(r)}}{\sum_{i=1}^m v_{i,j,s_j,r-1}^{(r)}}, & \text{za ostala } s \end{cases} \quad (7)$$

Izraz (2) se, takođe, neznatno menja:

$$\sum_{i=1}^m c_{i,j,s_j,r-1}^{(r-1)} = w_{i,j,s_j,r-1}^{(r-1)} \cdot W_{i,j,s_j,r-1}^{(r-1)} \quad (8)$$

pa je:

U r-tom ponavljanju koraka 1. i 2. dobiju se vrednosti  $v_i^{(0)}$  i  $v_i^{(0)r}$  kao osnova za rangiranje varijanti  $a_i$ .

Svi izrazi dati za r-ti nivo rangiranja važe i za sve k-te nivoe rangiranja, uvažavajući faktor korekcije, a primenom izraza (4) za  $k = 0$  olakšava se grafička interpretacija rezultata rangiranja varijanti.

#### 4. KORAK

Rangiranje varijanti vrši se prema nizu padajućih vrednosti  $v_i^{(0)}$ . Rang »1« pridružen je alternativni  $a_i$  za koju je  $v_i^{(0)} = \max v_i^{(0)}$ , rang »2« alternativni  $a_i$  sa sledećom manjom vrednošću  $v_i^{(0)}$  itd., a rang »m« alternativni  $a_i$  za koju je  $v_i^{(0)} = \min v_i^{(0)}$ .

Donosiocu odluke stavljaju se na dalju obradu tri skupa alternativa:

- skup povoljnih alternativa A;
- skup prihvatljivih alternativa B;
- skup nepovoljnih (rizičnih) alternativa C.

Ako se radi o izboru povoljnije alternative iz skupa A, moguće je uraditi još jednu komparativnu analizu sa mogućnošću preispitivanja objektivnosti relativnih važnosti kriterijuma — pot-

kriterijuma ili razmatranjem »dopunskih« kriterijuma (potrebne su i neke nove informacije).

#### Primena metode

Primena ove metode je dosta komplikovana, jer zahteva veliki broj operacija koje treba izvršiti, naročito kada postoji veći broj kriterijuma i veći broj varijanti za koje se određuje rang. Pravu upotrebnu vrednost ova metoda ima tek kad je automatizovana, odnosno kad se ceo postupak provodi na elektronskom računaru. U tom slučaju, zadatak korisnika je da definiše kriterijume, odredi vrednosti kriterijumskih funkcija po varijantama i proceni relativne važnosti kriterijuma po nivoima. Primenom automatizovane metode MENOR, rešenja se dobijaju veoma brzo.

U ovom radu razmatrane su tri varijante, odnosno tri lokacije za razvijanje poljskog skladišta koje se rangiraju po napred navedenim kriterijumima. Vrednosti kriterijumskih funkcija po varijantama i relativnoj važnosti kriterijuma date su u tabeli 2.

Iz ove tabele se vidi da vrednosti relativne važnosti kriterijuma imaju različite predznake. Predznak težine kriterijuma na određenom nivou određuje se u odnosu na to kako taj kriterijum na tom nivou utiče na neposredno viši kriterijum, a ne prema tome kako se odnosi prema objektu ocenjivanja. Na primer, težina kriterijuma  $K_{3,2,1}^2$  — broj markantnih objekata, za orijentaciju plavog, ima pozitivan predznak, jer pozitivno utiče na neposredno viši kriterijum  $K_{3,2,1}$ , mada smanjuje vrednost same lokacije.

Pri određivanju vrednosti pojedinih kriterijuma mora se pribeći ocenjivanju, bez obzira na to što je za dati kriterijum moguće odrediti kvantitativne pokazatelje — vrednosti kriterijumskih funkcija. Kad se vrednosti kriterijumskih funkcija menjaju tako da je njegov uticaj na neposredno viši kriterijum do određene vrednosti pozitivan,

| Rang                            |                                 |                                 | Vrednosti varijanti             |                |                | Težine         |                |                |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0                               | 1                               | 2                               | A <sub>1</sub>                  | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | W <sub>2</sub> | W <sub>1</sub> | W <sub>0</sub> |
| K <sub>1</sub> <sup>0</sup>     | K <sub>1,1</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>1,1,1</sub> <sup>2</sup> | 2,6                             | 3,2            | 2,8            | 3              | 2,5            | 2,5            |
|                                 |                                 | K <sub>1,1,2</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 4              | 3              | 1,5            |                |                |
|                                 | K <sub>1,2</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>1,2,1</sub> <sup>2</sup> | 10                              | 22,5           | 16             | 2              | 2,5            |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,2,2</sub> <sup>2</sup> | 1                               | 3              | 3              | 2,5            |                |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,2,3</sub> <sup>2</sup> | 3                               | 8              | 4              | 1              |                |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,2,4</sub> <sup>2</sup> | 15                              | 60             | 40             | 1              |                |                |
|                                 | K <sub>1,3</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>1,3,1</sub> <sup>2</sup> | 10                              | 22,5           | 16             | 2              | 2              |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,3,2</sub> <sup>2</sup> | 4                               | 0              | 1              | -3             |                |                |
|                                 | K <sub>1,4</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>1,4,1</sub> <sup>2</sup> | 2,6                             | 3,2            | 2,8            | 2,5            | 1,5            |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,4,2</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 4              | 3              | 2              |                |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,4,3</sub> <sup>2</sup> | 8                               | 1              | 5              | -2,5           |                |                |
|                                 | K <sub>1,5</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>1,5,1</sub> <sup>2</sup> | 1                               | 3              | 3              | 2              | 1,5            |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,5,2</sub> <sup>2</sup> | 30                              | 100            | 70             | 1,5            |                |                |
|                                 |                                 | K <sub>1,5,3</sub> <sup>2</sup> | 22                              | 30             | 17             | -1,5           |                |                |
|                                 | K <sub>2</sub> <sup>0</sup>     | K <sub>2,1</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>2,1,1</sub> <sup>2</sup> | 30             | 35             | 31             | -1             |                |
| K <sub>2,1,2</sub> <sup>2</sup> |                                 |                                 | 3                               | 4              | 4              | 1              |                |                |
| K <sub>2,1,3</sub> <sup>2</sup> |                                 |                                 | 5                               | 3              | 4              | 2              |                |                |
| K <sub>2,1,4</sub> <sup>2</sup> |                                 |                                 | 5                               | 2              | 3              | 2              |                |                |
| K <sub>2,2</sub> <sup>1</sup>   |                                 | K <sub>2,2,1</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 3              | 3              | 2              | 2,5            |                |
|                                 |                                 | K <sub>2,2,2</sub> <sup>2</sup> | 4                               | 2              | 2              | 3              |                |                |
| K <sub>2,3</sub> <sup>1</sup>   |                                 | K <sub>2,3,1</sub> <sup>2</sup> | 10                              | 30             | 25             | 2              | 2              |                |
|                                 |                                 | K <sub>2,3,2</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 5              | 5              | 1,5            |                |                |
|                                 | K <sub>2,3,3</sub> <sup>2</sup> | 15                              | 100                             | 80             | 2              |                |                |                |
| K <sub>3</sub> <sup>0</sup>     | K <sub>3,1</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>3,1,1</sub> <sup>2</sup> | 1                               | 2              | 0              | 3              | -2             |                |
|                                 |                                 | K <sub>3,1,2</sub> <sup>2</sup> | 19                              | 21             | 0              | -2,5           |                |                |
|                                 |                                 | K <sub>3,1,3</sub> <sup>2</sup> | 19                              | 36             | 0              | -2             |                |                |
|                                 | K <sub>3,2</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>3,2,1</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 3              | 1              | 2,5            | -2             |                |
|                                 |                                 | K <sub>3,2,2</sub> <sup>2</sup> | 7                               | 8              | 4              | -1,5           |                |                |
|                                 | K <sub>3,3</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>3,3,1</sub> <sup>2</sup> | 2                               | 1              | 3              | 2              | -2             |                |
|                                 |                                 | K <sub>3,3,2</sub> <sup>2</sup> | 25                              | 14             | 30             | -2             |                |                |
|                                 | K <sub>3,4</sub> <sup>1</sup>   |                                 | 2                               | 5              | 4              |                | 2,5            |                |
|                                 | K <sub>3,5</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>3,5,1</sub> <sup>2</sup> | 4                               | 3              | 4              | 2              | 2              |                |
|                                 |                                 | K <sub>3,5,2</sub> <sup>2</sup> | 3                               | 4              | 4              | 2              |                |                |
| K <sub>3,6</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>3,6,1</sub> <sup>2</sup> | 6                               | 4                               | 4              | -2             | 1              |                |                |
|                                 | K <sub>3,6,2</sub> <sup>2</sup> | 25                              | 18                              | 18             | -2             |                |                |                |
| K <sub>4</sub> <sup>0</sup>     | K <sub>4,1</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>4,1,1</sub> <sup>2</sup> | 28                              | 31             | 40             | -2             | 3              |                |
|                                 |                                 | K <sub>4,1,2</sub> <sup>2</sup> | 12                              | 15             | 11             | 1,5            |                |                |
|                                 | K <sub>4,2</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>4,2,1</sub> <sup>2</sup> | 60                              | 40             | 80             | 1,5            | 1              |                |
|                                 |                                 | K <sub>4,2,2</sub> <sup>2</sup> | 3                               | 4              | 2              | 1              |                |                |
|                                 | K <sub>4,3</sub> <sup>1</sup>   | K <sub>4,3,1</sub> <sup>2</sup> | 28                              | 31             | 35             | -1,5           | 2,5            |                |
|                                 |                                 | K <sub>4,3,2</sub> <sup>2</sup> | 25                              | 35             | 14             | 1              |                |                |
|                                 | K <sub>4,4</sub> <sup>1</sup>   |                                 | 4                               | 5              | 3              |                | 1,5            |                |

a nakon toga negativan, ili obratno, ili da čak tih tačaka promene predznaka ima više, pribegava se oceni.

Za primer čije su vrednosti date u tabeli 2, rezultati dobijeni metodom MENOR nalaze se u tabeli 3. Iz ove tabele se vidi da je varijanta 2 najbolja.

## Zaključak

U ovom članku predstavljen je postupak izbora lokacije za razmeštaj poljskog skladišta primenom metode MENOR. Definisani kriterijumi su opšteg karaktera, tako da za svaki konkretan slučaj ove kriterijume treba redefinisati. Obrada kriterijuma u konkretnom slučaju mora biti vezana za vrstu poljskog skladišta i njegovu konkretnu namenu. Određivanje relativnih važnosti kriterijuma takođe zavisi od toga koji kriterijum u konkretnom slučaju ima veći značaj za donosioca odluke.

Dobijena rang-lista varijanti metodom MENOR omogućuje donosiocu odluke da se opredeli za jednu ili skup varijanti koje su najbolje u smislu ispunjavanja traženih kriterijuma. Naravno, odluka se uvek prepušta donosiocu, ali on sada ima kao podlogu metodu koja je obuhvatila veliki broj relevantnih činilaca sa njihovim pripadnim relativnim važnostima po nivoima značajnosti. Jasno je da su varijante koje ne ispunjavaju određene »kritične kriterijume« ranije odbačene [2].

Predložena metoda ima te prednosti da se ne zahteva prethodna provera nezavisnosti kriterijuma, olakšava se određivanje relativne važnosti kriterijuma i potkriterijuma, koje donosilac odluke razmatra odvojeno i moguća je jednostavna automatizacija postupka na svim personalnim (naravno i na moćnijim) računarima.

## Literatura:

- [1] Borović S., Đukić R.: »Priprema odluke o nabavci tehničkih sredstava primenom familije metoda PROMETHEE«, Vojnotehnički glasnik br. 4/88, TU SSNO, Beograd, 1988.
- [2] Zelenović D.: »Projektovanje proizvodnih sistema«, Naučna knjiga, Beograd, 1967.
- [3] Martić Lj. (redaktor): »Višekriterijumsko programiranje«, Informator, Zagreb, 1978.
- [4] Đukić R.: »Rangiranje alternativa metodom normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa«, NTP 6/89, str. 27-32.
- [5] Petreski D.: »Definisanje kriterijuma za izbor lokacije poljskog skladišta«, diplomski rad VVTB Kov JNA, Zagreb, 1989.

Tabela 3

Tabela normaliziranih indeksa posle 2. ranga

|      | A1   | A2   | A3   | Težina |
|------|------|------|------|--------|
| K 1  | 1240 | 1783 | 1477 | 3      |
| K 2  | 1100 | 3054 | 2346 | 1,5    |
| K 3  | 0    | 2915 | 2047 | 2      |
| K 4  | 0    | 1869 | 816  | 2,5    |
| K 5  | 32   | 955  | 1013 | 1      |
| K 6  | 1794 | 899  | 1307 | 1      |
| K 7  | 1833 | 1417 | 1750 | 2      |
| K 8  | 712  | 2574 | 2215 | -3     |
| K 9  | 0    | 257  | 878  | 2,5    |
| K 10 | 281  | 618  | 101  | 2      |
| K 11 | 14   | 0    | 203  | -2,5   |
| K 12 | 2    | 5    | 4    | 2      |
| K 13 | 1273 | 1273 | 1455 | 1,5    |
| K 14 | 0    | 515  | 515  | -1,5   |
| K 15 | 282  | 340  | 0    | -1     |
| K 16 | 833  | 778  | 889  | 1      |
| K 17 | 260  | 348  | 0    | 2      |
| K 18 | 2    | 5    | 4    | 2      |

Tabela normaliziranih indeksa posle 1. ranga

|     | A1   | A2   | A3   | Težina |
|-----|------|------|------|--------|
| K 1 | 1136 | 4599 | 3419 | 2,5    |
| K 2 | 1848 | 1981 | 2171 | 2,5    |
| K 3 | 1636 | 1938 | 0    | 2      |
| K 4 | 2146 | 2934 | 1147 | 1,5    |

Tabela normaliziranih indeksa posle 0. ranga

|             | A1   | A2   | A3  | Težina |
|-------------|------|------|-----|--------|
| K 1         | 310  | 1256 | 934 | 2,5    |
| K 2         | 462  | 495  | 543 | 1,5    |
| K 3         | 839  | 995  | 0   | 2,5    |
| K 4         | 345  | 471  | 184 | 1      |
| Ukupno 1956 | 3217 | 1661 |     |        |

### Vrednost normalizovanih indeksa

$$A 2 = 3217 \quad A 1 = 1956 \\ A 3 = 1661$$

### Varijante

|     |       |
|-----|-------|
| A 2 | ***** |
| A 1 | ****  |
| A 3 | *     |

### Uvod

U okviru istraživanja mogućnosti razvoja mikrovalne glave koordinatora protivradarske letjelice, antena predstavlja poseban problem. Ako se ima u vidu namjena protivradarske letjelice i ograničenja dimenzija i težine, slijedi da prednost imaju jeftinije antene, pogodne za serijsku proizvodnju u smislu reproducibilnosti elektromagnetskih karakteristika.

Razmatranje je ograničeno na monoimpulsno određivanje smjera, te, osim dijagrama sume, treba osigurati dva dijagrama razlike za azimut i elevaciju. Napajanje antene treba da bude što je jednostavnije, s mogućnošću da se kasnije integrira s mikrovalnim dijelom monoimpulsnog komparatora.

Rješenje antene treba biti takvo da elektromagnetski ekranira pozadinu antene, a istovremeno antena treba da osigura efikasnu kontrolu bočnih snopova, prvenstveno kod dijagrama razlike (za oba kanala). Obrnuto je kod monoimpulsne radarske antene, gdje je veoma važna kontrola bočnih snopova dijagrama usmjerenosti sume.

Na temelju ovako izvedenih zahtjeva procjenjeno je da bi bila prikladna mrežasta antena realizirana u mikrostrip tehnici, s metalnom pozadinom, sa četiri segmenta koji se odvojeno napajaju. Rješenje u [1] poslužilo je kao polazno, s tim da se umjesto Taylorove

pobude, kojom se kontrolira potiskivanje bokova dijagrama sume odabere Baylissova pobuda [2], koja je inače namenjena za kontrolu dijagrama razlike.

U ovom izvorno znanstvenom radu su dati neki osnovni rezultati eksperimentalnog istraživanja monoimpulsne mrežaste mikrostrip antene s Baylissovom pobudom, iste antene s promjenljivim nagibom polovica antene, te antene s uniformnom pobudom (ova je služila kao kontrolna).

Ako se razmotri upotreba protivradarske letjelice, slijedi da bi antena trebala osigurati smjerenje za sve vrste polarizacije. U ovoj fazi istraživanja to nije zadovoljeno, jer razmatrane antene imaju linearnu polarizaciju. Osim toga, logičan je zahtjev da bi antena trebala pokriti veoma širok frekventijski opseg, što, takođe, nije moguće zadovoljiti razmatranom mrežastom antenom. Kao prikladna antena, koja ispunjava zahtjeve za veoma širokim frekventijskim opsegom i ima kružnu polarizaciju, u [3] se navodi Arhimedova spiralna planarna antena sa četiri spirale napajane u centru. S obzirom na raniji uspješan razvoj planarnih Arhimedovih antena u VVTŠ KoV, postojali su izgledi i za uspješan razvoj četverozavojne Arhimedove spiralne antene. Međutim, za monoimpulsni režim takve antene neophodno je ubaciti širokopojasne zakretnice faze između antene i monoimpuls-

nog komparatora. S obzirom na poteškoće u razvoju širokopojasnih zakretača, ova vrsta antena je isključena iz daljih razmatranja.

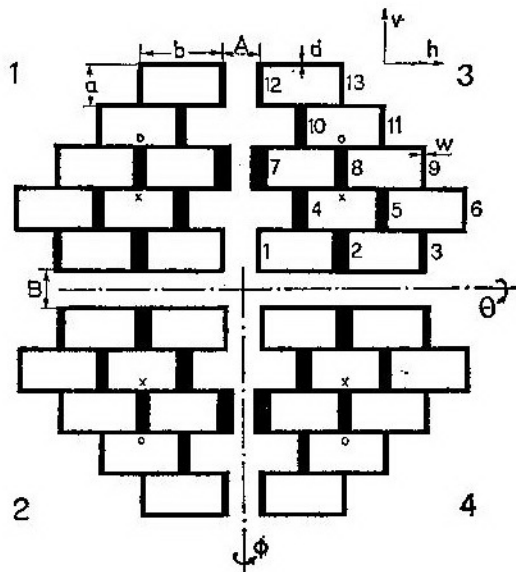
### Monoimpulsna mrežasta antena s Baylissovom pobudom

U [1] je načelno opisan postupak proračuna i konstrukcije mrežastih mikrostrip antena, temeljen na analizi antene kao složene mikrostrip strukture posredstvom CAD tehnike. Uz analizu razdiobe impedancija, napona i struja na mikrostrip strukturi, spominje se poteškoća da se u model uvedu efekti zračenja. Nadalje se iznosi, a rezultati iz [1] to pokazuju, da model antenske grupe daje konzervativne rezultate (predskazuje veće nivoe bočnih snopova nego što se dobiju u realizaciji).

S obzirom na navedeno, proračunate su dimenzije antene za centralnu frekvenciju  $f = 9000$  MHz, za materijal RT 5870, s relativnom dielektričnošću 2,23 i debljinom dielektrika 1,57 mm, polazeći od stava da su stranice osnovnog elementa antene (sl. 1)  $b = \lambda_g$ ,  $a = \lambda_g/2$ , gdje je  $\lambda_g$  valna duljina u dielektriku.

Iz tehnoloških ograničenja u izradi u laboratorijama VVTŠ KoV, odabrana je širina horizontalnih dijelova (koji služe za napajanje),  $d = 1,29$  mm. Širine vertikalnih-zračećih elemenata su izabrane tako da se dobije karakteristična impedancija i-tog elementa  $Z_i$  iz odnosa  $Z_i = Z_0(I_7/I_i)$ , gdje je  $I_7$  struja elementa 7,  $Z_0$  je karakteristična impedancija elementa broj 7 (odabrana 47 oma),  $I_i$  je struja i-tog elementa određena iz dijagrama (sl. 2), prema [2].

Budući da je razmatrana antena diskretna grupa, dolazi do grešaka u pobudi jer se ne može rekonstruirati kontinuirana Baylissova funkcija. Nije moguće primijeniti postupak korekcije prema [2], jer bi to zahtijevalo kontrolu faze pobude svakog elementa. Krajnji efekat ovakve situacije je manje efikasna kontrola potiskivanja bočnih



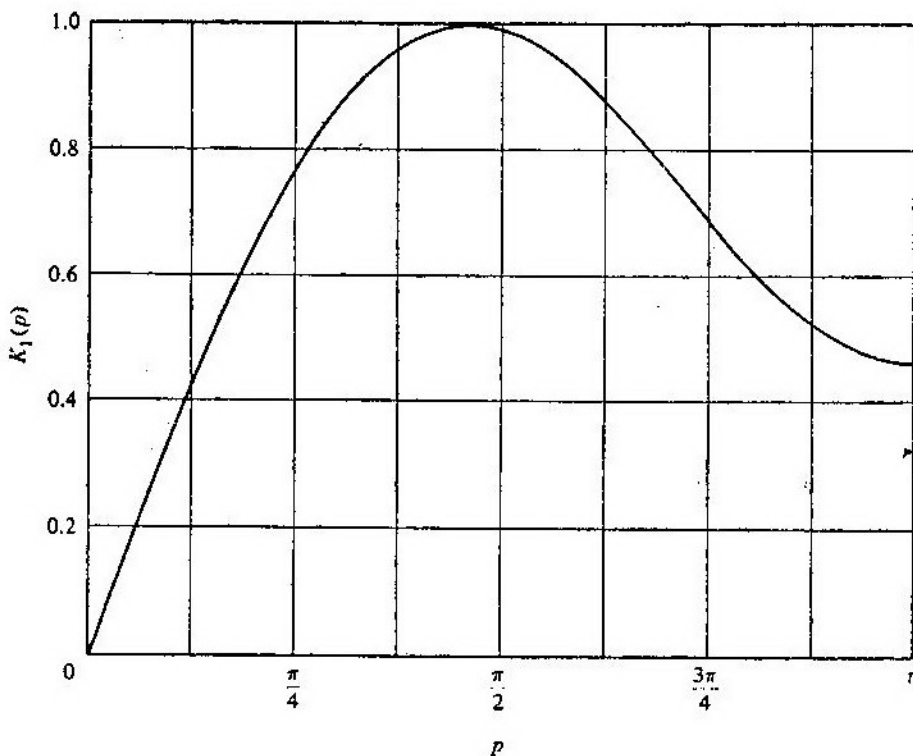
Sl. 1 Mrežasta antena s Baylissovom pobudom. Sektori (kvadranti) antene su 1, 2, 3, 4. Zračeći elementi su vertikalni, širina  $w$  im je promjenjiva, elementi za napajanje su horizontalni i svi imaju istu širinu  $d$ . Antena je simetrična oko vertikalne i horizontalne osi. Redni brojevi elemenata, 1, 2, ..., 12, 13, dati za jedan kvadrant odnose se i na elemente drugih kvadranta. Razmaci A i B bitno utječu na dijagram sume i dijagrame razlike, na širinu frekvencijskog opsega te su varirani. Polarni kut je  $\Theta$  a azimut  $\Phi$ , oba se mjere od osi koja je okomita na centar antene. Nominalna polarizacija je vertikalna a ortogonalna horizontalna.

snopova nego što bi to bio slučaj kod kružne kontinuirane pobude.

### Sprega i prilagođenje sektora 1, 2, 3, 4 antene

Antena je proračunata za centralnu frekvenciju 9,0 GHz, ali zbog navedene nepreciznosti u proračunu, realizirane antene smo analizirali u opsegu od 8,6 do 9,6 GHz. Rezultati mjerenja sprege između sektora 1—2, 1—3, 1—4 odnosno između sektora 3—4, 3—2, prikazani na slici 3 i slici 4 sadrže informaciju o širini frekvencijskog opsega u kojem antena radi zadovoljavajuće. Opsežnim mjerenjima dijagrama usmjerenosti antene i odvojeno sektora





Sl. 2 Radijalna funkcija Baylissove pobude  $K_1(p)$ ,  $p = \pi\rho/a$ , gdje je  $\rho$  radijus mjerjen od centra antene, a je radijus antene, [2].

1, 2, 3, 4 utvrđene su granice frekven-  
cijskog opsega na temelju neprihvatlji-  
vog porasta bočnih snopova ili cjepanja  
glavnog snopa. Ovako utvrđene grani-  
ce frekvenzijskog opsega, poklapaju se  
s onima koje su date na slikama 3 i 4.

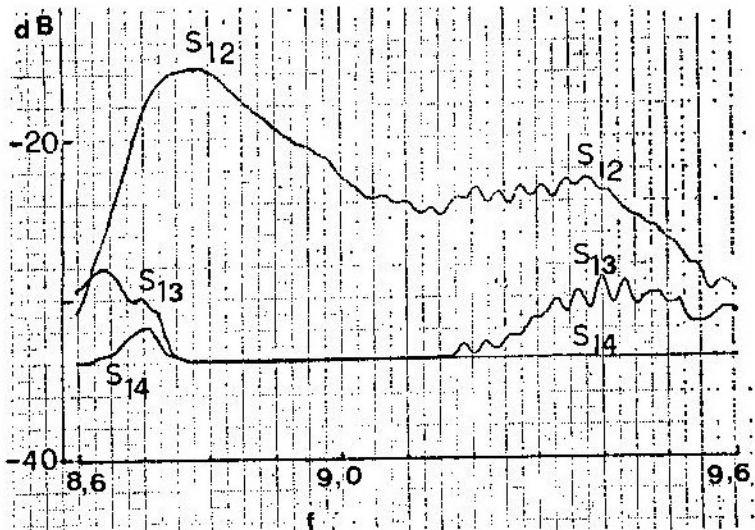
Tok frekvenzijske zavisnosti prilago-  
đenja sektora 1, 2, 3, 4 prikazan je  
na slici 5, iz koje se vidi da sektori nisu  
jednako prilagođeni. Greške su najvjero-  
jatnije nastale pri realizaciji spoja  
napajanja, na slici 1 označeno s  $x$  odno-  
sno s  $o$ . Svi dati rezultati odnose se na  
napajanje na mjestu  $x$ , tj. na dnu ele-  
menta broj 8.

#### Dijagrami usmjerenosti antene s Baylissovom pobudom

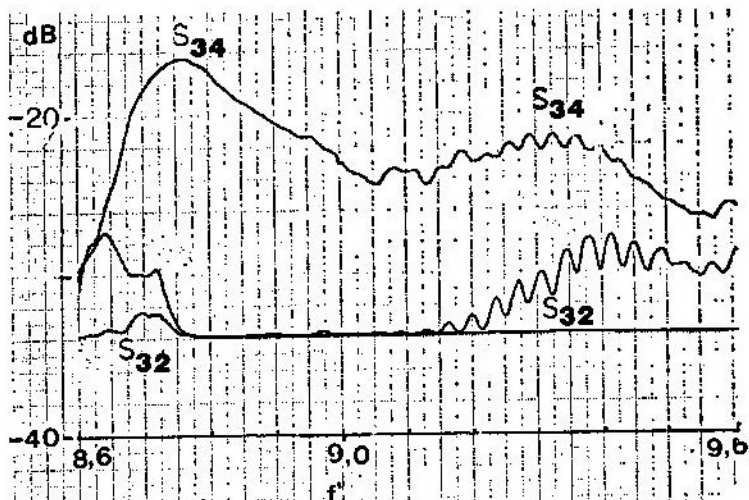
Usmjerne karakteristike mrežaste  
mikrostrip antene sa slike 1, s Baylis-

sovom pobudom, iscrpno su mjerene, i  
to za svaki sektor odvojeno, za kombi-  
naciju dva i dva sektora i, naravno, u  
spoju s mikrovalnim komparatorom sa  
četiri hibridna spreznika 3 dB,  $180^\circ$ ,  
tip PN 2031-6329-00, Omni Spectra (ko-  
ji je opisan u [4]) i to dijagram sume,  
dijagrami razlike (za azimut odnosno za  
elevaciju). Mjerenje je provedeno u op-  
segu frekvencija od 8,6 do 9,6 GHz, za  
nominalnu (vertikalnu) i ortogonalnu  
(horizontalnu) polarizaciju. Za ilustra-  
ciju su prikazani tipični primjeri na sli-  
ci 6, odnosno na slici 7.

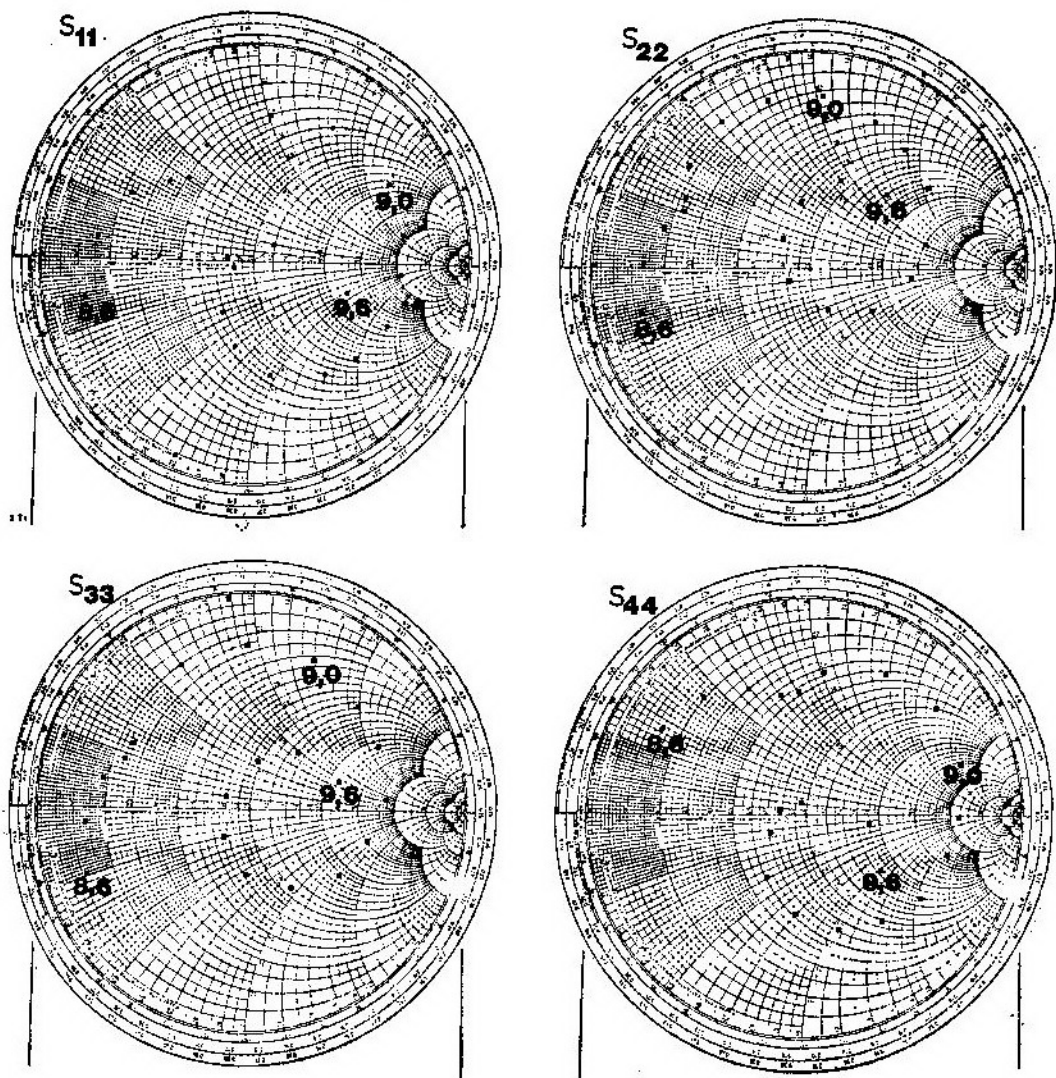
Dubina minimuma u dijagramima  
razlike za azimut odnosno za elevaciju,  
bila je u frekvenzijskom opsegu od 8,6  
do 9,6 GHz barem 50 dB. Ispod cca 9,0  
GHz dijagrami usmjerenosti su posta-  
jali neprihvatljivo izobličeni, rasli su  
bočni snopovi, širio se glavni snop di-



Sl. 3 Frekvencijska zavisnost sprege između sektora 1—2, 1—3, 1—4 antene sa sl. 1.  $S_{12}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{14}$  su apsolutne vrijednosti koeficijentata matrice raspršenja. Razmaci sektora antene su bili:  $A = 10,83$  mm,  $B = 3,36$  mm.



Sl. 4 Frekvencijska zavisnost sprege između sektora 3—4 i 3—2 antene sa sl. 1.  $S_{34}$ ,  $S_{32}$  su apsolutne vrijednosti koeficijentata matrice raspršenja. Razmaci sektora antene su bili:  $A = 10,83$  mm,  $B = 3,36$  mm.



Sl. 5 Frekvencijska zavisnost prilagođenja sektora 1, 2, 3, 4, antene sa sl. 1. Ovdje su  $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{33}$  i  $S_{44}$  koeficijenti matrice raspršenja, prikazanih na svakih 50 MHz od 8,6 do 9,6 GHz

jagrama sume, rasli su bokovi dijagrama razlike. Zbog toga je odabran kao radni frekvencijski opseg 9,0 do 9,5 GHz.

Najvažnije usmjerne karakteristike monoimpulsne mrežaste antene sa slike 1 ostvarene su kako slijedi:

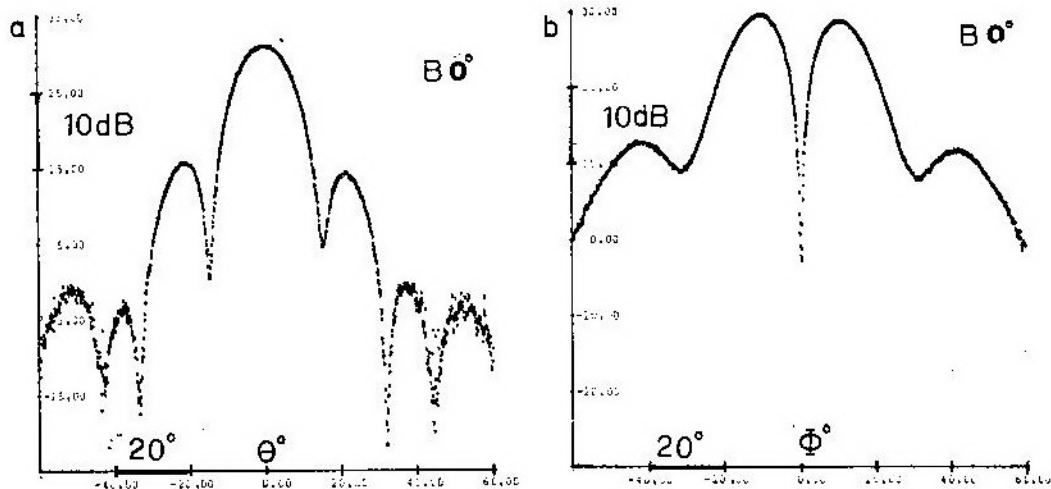
— potiskivanje bokova dijagrama sume od 12,5 do 16 dB;

— potiskivanje bokova dijagrama razlike od 20 do 26 dB, elevacija;

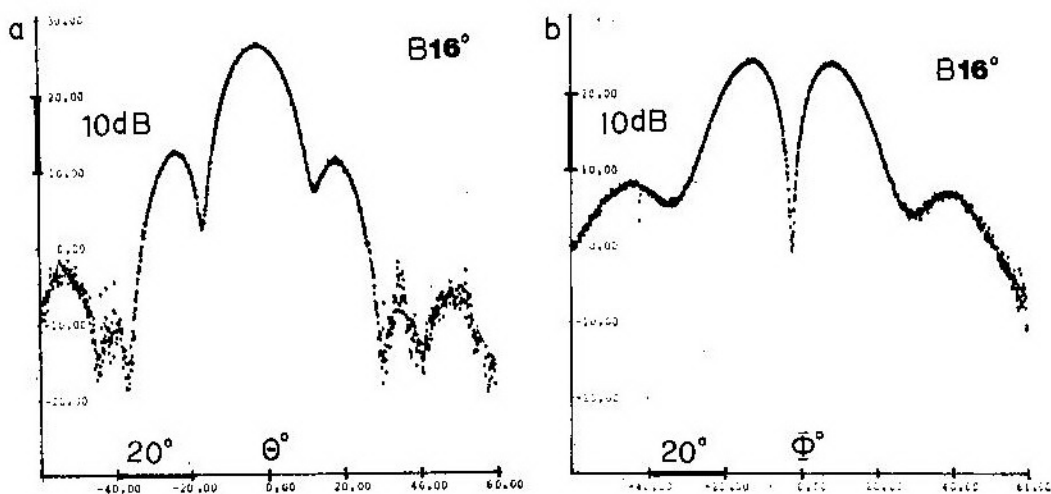
— potiskivanje bokova dijagrama razlike veće od 17,5 dB, azimut;

— potiskivanje ortogonalne polarizacije veće od 21 dB.

Promjenom nagiba polovina antene koje sačinjavaju sektori 1 i 3, te 2 i 4 za  $16^\circ$ , smanjuje se radarska povr-



Sl. 6 Dijagrami usmjerenosti antene sa sl. 1, s Baylissovom pobudom:  
 a) elevacioni dijagram sume  $F(\theta)$ , b) azimutni dijagram razlike  $F(\Phi)$ .



Sl. 7 Dijagrami usmjerenosti antene s Baylissovom pobudom ali polovinama (sektori 1 i 3 te 2 i 4) nagnutim  $16^\circ$  prema ravnini crtanja sa slike 1:

a) elevacioni dijagram sume  $F(\theta)$ , b) azimutni dijagram razlike  $F(\Phi)$ .

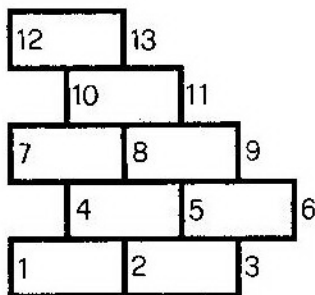
antene u cjelom kutnom intervalu je prikazan na slikama 6 i 7, za višak od 6 dB na račun promjene oblika i nagnutosti, ali ne i većeg degradiranja karakteristika.

Radi kontrole realizirana je antena s uniformnom pobudom, prikazana na slici 8. Ona je poslužila za analizu svih utjecajnih faktora i detaljno su izmjerene usmjerne karakteristike u razli-

čitim varijantama. Njezina svojstva ilustriraju slijedeći podaci:

- potiskivanje bokova dijagrama sume od 14 do 16 dB;
- potiskivanje bokova dijagrama razlike od 18 do 20 dB, elevacija;
- potiskivanje bokova dijagrama razlike od 10,7 do 14,5 dB, azimut;
- potiskivanje ortogonalne polarizacije veće od 17 dB.

Antena s Taylorovom pobudom, opisana u [1], ima slijedeće karakteristike:



Sl. 8 Mrežasta antena s uniformnom pobudom

- potiskivanje bokova dijagrama sume veće od 20 dB;
- potiskivanje bokova dijagrama razlike veće od 17 dB za oba kanala, za elevaciju i za azimut;
- potiskivanje ortogonalne polarizacije veće od 25 dB.

U odnosu na ovu antenu i na antenu s uniformnom pobudom ostvareno je veće potiskivanje bočnih snopova dijagrama razlike za oba kanala u slučaju razmatrane mrežaste antene s Baylissovom pobudom. Sigurno je da će precizniji proračun i izrada antene s Baylissovom pobudom dati još bolje rezultate.

## Zaključak

Analizirana je mogućnost realizacije monoimpulsne mrežaste antene u mikrostrip tehnici za X opseg, s naglaskom na kontroli potiskivanja bočnih snopova dijagrama razlike. Ostvareni su prihvatljiviji rezultati, bolje potiskivanje bočnih snopova kod dijagrama razlike nego što je to slučaj s antenom iz [1] s Taylorovom pobudom i s uniformnom pobudom, dok su druge karakteristike slične.

## Literatura:

- [1] R. Conti i dr.: »The wire grid microstrip antenna«, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-29, No. 1, januar 1981, str. 157–166.
- [2] R. S. Elliot: »Antenna theory and design«, Prentice — Hall, New Jersey, 1981.
- [3] R. Mc Lenon, C. Turner: »Broadband sensors for lethal defense suppression«, Microwave Journal, septembar 1983, str. 85–102.
- [4] A. Božiković: »Rezultati istraživanja mogućnosti proizvodnje mikrovalnog dijela glave protivradarske rakete«, Vojnotehnički glasnik, br. 3/91.

## Uvod

Zadatak ovog izvorno znanstvenog istraživanja je bio realizirati odabrano rješenje mikrovalnog dijela protivradarske glave na osnovu rezultata datih u [1], koristeći profesionalne sklopove, te istražiti mogućnost proizvodnje odabranih sklopova. Za realizaciju je odabrano rješenje protivradarske glave s monoimpulsnim koordinatorom.

Pod mikrovalnim dijelom protivradarske glave u odabranom rješenju podrazumijevaju se četiri ulaza od antenskog sistema komparator, mješač, oscilator i međufrekventni izlazi. U ovom radu se razmatra samo komparator.

Izvršeno je mjerenje i analiza karakteristika širokopojasnog komparatora PN 2960-6025-00, i širokopojasnog hibrida 3 dB/180° PN 2031-6339-00 firme Omni Spectra.

Radi ispitivanja mogućnosti proizvodnje razvijen je uskopojasni hibrid 3 dB/180° za frekvencijski opseg od 8,4 do 9,6 GHz za formiranje komparatora. Za razvoj je odabran uskopojasni sklop zbog jednostavnijeg projektiranja i lakše realizacije. Za razvoj su korištene raspoložive metode CAD/CAM u mikrovalnoj tehnici (programi COMPACT i MCAP), te vlastiti razvijeni programi. Vrednovanje realiziranih sklopova izvršeno je mjerenjem odabranih karakteristika sklopova i njihovom uspored-

bom s karakteristikama profesionalnih sklopova. Za vrednovanje raspoložive tehnologije korištena je analiza efekata tolerancije realiziranih mikrotrakastih vodova.

## Monoimpulсни komparator

Monoimpulсни komparator je mikrovalni sklop, koji ima zadatak da od signala sa četiri antene formira signale pomoću kojih se može odrediti položaj izvora mikrovalnog zračenja.

Monopulсни komparator se sastoji od tri ili četiri hibridna spreznika 3 dB/180°, koji su spojeni tako da daju tri izlazna signala. Ti signali su signal razlike u azimutnoj ravnini, signal razlike u ravnini elevacije, te signali sume u azimutnoj ravnini i ravnini elevacije. Kod komparatora sa četiri hibrida u formiranju signala razlike učestvuju sve četiri antene, a kod komparatora sa tri hibrida samo po dvije. Na taj način, komparator sa četiri hibrida ima osjetljivije karakteristike po kanalima razlike.

### 1. Monoimpulсни komparator PN 2960-6025-00

Prema podacima proizvođača Omni Spectra, monoimpulсни komparator PN 2960-6025-00 je sastavljen od tri hibri-

dna spreznika 3 dB/180° i radi u frekvencijskom opsegu 8,0—12,4 GHz.

Proizvođač za navedeni frekvencijski opseg daje slijedeće karakteristike:

kanal razlike:

- gubici 0,8 dB,
- odstupanje amplitude  $\pm 0,5$  dB,
- odstupanje faze  $\pm 6^\circ$ ,

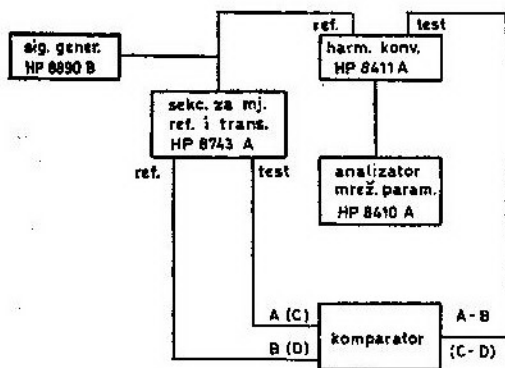
Kanal sume:

- gubici 1,7 dB,
- odstupanje amplitude  $\pm 0,9$  dB,
- odstupanje faze  $\pm 7^\circ$ .

Izolacija:

- minimum 15 dB.

Polazeći od namjene komparatora, dati podaci nisu dovoljni za procjenu valjanosti sklopa. Stoga je provedeno mjerenje osjetljivosti oba kanala razlike u ovisnosti o promjeni faze signala na ulazu sklopa. Mjerenje je izvedeno prema spoju na slici 1.



Sl: 1 Spoj za mjerenje osjetljivosti kanala razlike

Kako se nije mogla ostvariti istovremena kontrolirana promjena faze za sva četiri ulaza komparatora, provedena su dva mjerenja. U prvom mjerenju dovedeni su signali na ulaze A i B, a mjeren je signal na izlazu razlike  $\nabla(A - B)$  u ovisnosti o promjeni faze

signala na ulazu, uz prilagođenje na ostalim prolazima. Promjena faze je ostvarena promjenom dužine voda u sekciji za mjerenje transmisije i refleksije HP 8743A. Drugo mjerenje je provedeno tako da su signali dovedeni na ulaze C i D, a mjeren je signal na izlazu razlike  $\nabla(C - D)$  u ovisnosti o promjeni faze signala na ulazu, uz prilagođenje na ostalim prolazima. Mjerenje je provedeno na više diskretnih frekvencija iz radnog opsega za promjenu faze signala na ulazu od  $-180^\circ$  do  $+180^\circ$  [2].

Od komparatora se očekuje da za provedeno mjerenje na izlazima razlike ima veliku dinamiku signala. Iz rezultata se vidi da komparator ne daje željene rezultate, jer je dinamika neujednačena po frekvenciji i po izlazima. Tako, na primjer, na frekvenciji 8,5 GHz pri promjeni faze signala između  $-180^\circ$  i  $180^\circ$  na ulazu A—B, signal na izlazu razlike  $\nabla(A - B)$  je između 0 i  $-20$  dB (dinamika 20 dB). Uz iste uvjete na ulazu C—D, na izlazu razlike  $\nabla(C - D)$  signal je između  $-6$  i  $-9$  dB (dinamika 3 dB). Bolji rezultati, kako po dinamici, tako i po ujednačenosti izlaznog signala, pri datim uvjetima na ulazu, ima izlaz  $\nabla(A - B)$  (dinamika od 25 dB na 11,5 GHz, do 8 dB na 12,5 GHz) od izlaza  $\nabla(C - D)$  (maksimalna dinamika 4 dB na 10,5 i 11,5 GHz).

Dobijeni rezultati pokazuju da ovaj monopulсни komparator nema tražene karakteristike.

Cijena ovog komparatora je reda 2000 \$.

## 2. Hibridni spreznik 3 dB/180° PN 2031-6339-00

Prema podacima proizvođača, hibridni spreznik 3 dB/180° PN 2960-6025-00 radi u frekvencijskom opsegu 7,0—18,0 GHz. Za ovaj frekvencijski opseg proizvođač daje slijedeće podatke:

- odstupanje amplitude  $\pm 0,6$  dB,
- unešeno slabljenje 1,2 dB,
- izolacija minimalno 12 dB,

— koeficijent stojnih valova (KSV) maksimalno 1,7,

— odstupanje faze  $\pm 8^\circ$ .

Na raspolaganju je bilo pet ovakvih hibridnih spreznika. Prije sklapanja monoimpulsnog komparatora izmjerene su prenosne karakteristike svih pet hibridnih spreznika [2]. Iz rezultata se može vidjeti da su karakteristike četiri hibridna spreznika u granicama koje daje proizvođač, osim za sprežnik PN 2031-6339-00 [7], koji daje fazni zakret od  $90^\circ$ , umjesto  $180^\circ$ , što ga čini nepotrebljivim za formiranje monoimpulsnog komparatora.

Cijena jednog ovakvog hibridnog spreznika je reda 500\$.

### 3. Monoimpulsni komparator od tri hibridna spreznika 3 dB/180° PN 2031-6339-00

Od tri hibridna spreznika 3 dB/180° PN 2031-6339-00 sastavljen je monoimpulsni komparator, na kojem je provedeno mjerenje osjetljivosti oba kanala razlike u ovisnosti o promjeni faze signala na ulazu sklopa prema spoju na slici 1. Proveden je isti postupak kao i pri mjerenju monoimpulsnog komparatora PN 2960-6025-00. Mjerenja su provedena na nizu diskretnih frekvencija u opsegu od 7 do 12 GHz za promjenu faze signala na ulazu od  $-180^\circ$  do  $180^\circ$  [2].

Iz rezultata se vidi da je dinamika ovog komparatora ujednačena, kako po frekvenciji, tako i po izlazima. Može se reći da je dinamika po oba kanala i skoro u cijelom frekvencijskom opsegu reda 30 dB, što znači da ovakav komparator ima dobre karakteristike.

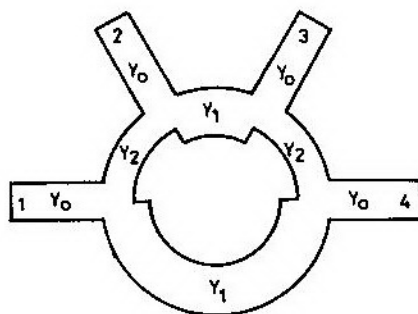
### 4. Monoimpulsni komparator sa četiri hibridna spreznika 3 dB/180° PN 2031-6339-00

Od četiri hibridna spreznika 3 dB/180° PN 2031-6339-00 sastavljen je monoimpulsni komparator. Proveden je isti postupak kao i pri mjerenju prethodnih monoimpulsnih komparatora.

Rezultati pokazuju da je dinamika po oba kanala i skoro u cijelom frekvencijskom opsegu reda 30 dB, što znači da ovakav komparator ima dobre karakteristike.

### Projektovanje hibridnog prstena 3 dB/180°

Hibridni prsten je element za dijeljenje snage koji ima osobine da su mu dva izlaza međusobno izolirana, a ulaz prilagođen, dok je četvrti izlaz zaključan karakterističnom, impedancijom. Konfiguracija hibridnog prstena je prikazana na slici 2.



Sli. 2 Konfiguracija hibridnog prstena 3 dB/180°

Karakteristične admitancije četiri prolaza su  $Y_0$ . Promjenljive admitancije  $Y_1$  i  $Y_2$  predstavljaju karakteristične admitancije dva voda prstena. One određuju stupanj sprege izlaznih prolaza i uvjete prilagođenja ulaza, tako da je odnos signala na izlazima proporcionalan odnosu karakterističnih admitancija (ili impedancija) prenosnih vodova koji čine prsten [3].

Da bi hibridni prsten podjednako dijelio signale s jednog ulaza na dva izlaza, potreban je uvjet [4, 5]  $Z_1 = Z_2 = = 70,7107 \Omega$  ako je  $Z_0 = 50 \Omega$ .

Za projektiranje hibridnog prstena odabrana je tehnika mikrotrakastih vodova na laminatu Cu Clad K-6098 tip Lx-1001, koji ima dielektričnu konstantu 2,48, visinu dielektrika 0,256 mm i debljinu vodiča 0,03556 mm. Na osnovu



zahtjeva, koji definiraju osnovne parametre hibridnog prstena i parametara odabranog laminata, izvršena je analiza projektiranog sklopa pomoću računarskog programa COMPACT [6]. Rezultati su dati u [2]. Na osnovu rezultata može se zaključiti:

a) u razmatranom frekvencijskom opsegu prilagođenje na svakom od prolaza je dobro;  $|S_{11}|$  i  $|S_{22}|$  je između 0,0 i 0,03;

b) prenos sa ulaza na dva susjedna izlaza je u razmatranom frekvencijskom opsegu od  $-2,98$  do  $-3,05$  dB, uz izolaciju na četvrtom prolazu od  $-32$  do  $-166$  dB;

c) fazni pomak izlaznih signala pri napajanju prolaza sume je  $0^\circ$ , a pri napajanju prolaza razlike je  $180^\circ$ .

Uticaj diskontinuiteta mikrotrakte strukture je razmotren analizom hibridnog prstena pomoću računarskog programa MCAP [7] u frekvencijskom opsegu 8,6 do 9,4 GHz [2]. Iz rezultata se može zaključiti da u slučaju kada se uticaj diskontinuiteta razmatra:

a) u razmatranom frekvencijskom opsegu prilagođenje prolaza je dobro; KSV se kreće od 1,01296 na centralnoj frekvenciji do 1,05159 na krajevima opsega;

b) prenos sa ulaza na dva susjedna izlaza kreće se između  $-3,07$  i  $-2,95$  dB;

c) fazni pomak između izlaznih signala pri napajanju prolaza sume je reda  $0^\circ$ , a pri napajanju prolaza razlike je reda  $180^\circ$ .

Na osnovu ovih rezultata se može reći da, u ovom frekvencijskom opsegu, prisustvo diskontinuiteta neznatno utiče na prilagođenje i prenos snage.

Na osnovu izračunatih dužina i širina vodova nacrtana je maska hibridnog prstena. Da bi se smanjile pogreške u crtanju, nacrtana je deset puta uvećana maska, na podlozi koja ima male promjene dimenzija pod uticajem promjene temperature i vlažnosti okoline. Nakon smanjenja crteža maske izrađen

je hibridni prsten. Karakteristike izrađenog sklopa mjerene su reflektometrom u vremenskoj domeni i analizatorom mrežnih parametara [2]. Rezultati pokazuju:

a) KSV na sva četiri prolaza u frekvencijskom opsegu od 8,4 do 9,6 GHz je manji od 1,5;

b) prenos snage sa ulaza na izlaze je u granicama  $-3$  dB, uz odstupanje do 0,5 dB;

c) izolacija je od  $-28$  do bolje od  $-30$  dB;

d) fazni odnos signala na izlazima, pri napajanju prolaza sume, je  $0^\circ$ , uz maksimalno odstupanje od  $10^\circ$ , a pri napajanju prolaza razlike fazni odnos je  $180^\circ$ , uz maksimalno odstupanje od  $10^\circ$ .

Da bi se ispitala ponovljivost izrade sklopa, izrađena su četiri hibridna prstena i istim postupkom izmjerene karakteristike [2]. Rezultati pokazuju da je ponovljivost sklopa dobra, jer je odstupanje izmjerenih parametara neznatno. Ni jedan od prolaza nema KSV lošiji od 1,5, ali rezultati prilagođenja ovise o preciznosti montiranja konektora. Prenosne karakteristike pokazuju vrlo dobro slaganje i prenos snage se ostvaruje s  $-3$  dB uz odstupanje od 0,5 dB. Izolacija pokazuje veće odstupanje, tako da je minimalna reda  $-24$  dB. Fazni odnosi pri napajanju kanala sume ili razlike sačuvani su uz odstupanje do  $10^\circ$ .

Radi ispitivanja primjenljivosti, ovako realizirana četiri hibridna prstena su spojena u monoimpulsni komparator. Ispitana je osjetljivost oba kanala razlike u funkciji promjene faze na ulazima u frekvencijskom opsegu od 8,4 do 9,6 GHz. Rezultati mjerenja pokazuju da se za promjenu faze signala na dva ulaza na kanalima razlike dobije signal između  $-3$  dB do bolje od  $-30$  dB, što se u potpunosti slaže s rezultatima dobijenim za komparator sastavljen od četiri hibridna spreznika 3 dB/180° PN 2031-6339-00.

## Analiza uticaja tolerancija

Karakteristike mikrotrakastog voda, karakteristična impedancija  $Z_0$  i efektivna dielektrična konstanta  $\epsilon_{re}$  prvenstveno su funkcija širine trake voda  $w$  i parametara supstrata — relativna dielektrična konstanta  $\epsilon_r$  i visina supstrata  $h$ . Prisutni su još uticaj faktora kao što je debljina trake, radna frekvencija, oklapanje, itd. Bilo kakva promjena vrijednosti  $w$ ,  $\epsilon_r$  ili  $h$  daje odgovarajuće promjene  $Z_0$  i  $\epsilon_{re}$ .

Svojstva supstrata, kao što su obrada površine, debljina metalizacije, način proizvodnje, i dr., određuju tačnost izrade širine trake. Pored tačnosti izrade širine trake, debljina i dielektrična konstanta supstrata imaju neku toleranciju u proizvodnji. Svi ovi faktori imaju uticaja na promjenu  $Z_0$  i  $\epsilon_{re}$  mikrotrakaste strukture. Međutim, za razliku od parametara, kao što su disperzija, debljina trake, itd., efekt tolerancije se ne može ugraditi egzaktno zbog nepouzdanosti  $Z_0$  i  $\epsilon_{re}$ , koja proizilazi iz tolerancija.

Efekt tolerancija na karakteristike mikrotrakaste strukture može se analizirati koristeći pristup preko osjetljivosti. Ovakav pristup je najjednostavnija metoda predviđanja najgoreg slučaja koji pripada datom skupu tolerancija i ne zahtjeva stvarnu statističku distribuciju tolerancija, već je potrebna samo njihova maksimalna apsolutna vrijednost [8]. Analiza osjetljivosti je primjenljiva u situacijama gdje se odstupanje parametara može smatrati inkrementnim. To znači da će karakteristika sklopa biti sporo promjenljiva funkcija u domeni promjene parametara oko stvarne vrijednosti parametara [9].

Osjetljivost parametara može se koristiti za određivanje promjena karakteristika sklopa za date tolerancije parametara. Karakteristike sklopa mogu biti KSV, unešeno slabljenje, izolacija, i drugo. Obično se daje promjena karakteristične impedancije  $\nabla Z_0$  u funkciji KSV, koji se dobije kada se vod spoji na prenosni vod tačnih dimenzija.

Prednost se daje predstavljanju  $\nabla Z_0$  preko KSV, jer su tolerancije tako predstavljene u  $Z_0$ .

U [2] je napravljen program koji za date karakteristike prenosne strukture računa pojedine osjetljivosti, a za date tolerancije računa maksimalni koeficijent stojnog vala.

Za odabrani laminat proizvođač daje slijedeće karakteristike i tolerancije:

- $\epsilon_r = 2,48 \pm 0,05$ ;
- $h = 0,256 \text{ mm} \pm 0,02286 \text{ mm}$ .

Tačnost izrade mikrotrakaste strukture ovisi o tačnosti izrade maske i o postupku jetkanja. Kako crtalo ima mogućnost najmanjeg koraka 0,025 mm i ponovljivost zauzimanja iste koordinate 0,1 mm, to je maksimalna pogreška u crtanju  $\pm 0,125 \text{ mm}$ . Kako je crtež maske povećan deset puta, pogreška nakon smanjenja je  $\pm 0,125 \text{ mm}$ . U postupku jetkanja, ovisno o stanju kupke, može se postići tačnost  $\pm 0,05 \text{ mm}$ . Prema tome, širina trake može se napraviti s tolerancijom od  $\pm 0,0625 \text{ mm}$ .

Rezultati pokazuju da veličina  $KSV_{max}$ , koja ovisi o tolerancijama prenosne strukture, za vod karakteristične impedancije 50  $\Omega$  iznosi 1,14, a za vod karakteristične impedancije 70,71  $\Omega$  iznosi 1,158, što nije zanemarivo, pa prema tome utiče na prilagođenje prolaza sklopa.

## Zaključak

Rezultati pokazuju da se uspješno može realizirati hibridni sprežnik 3 dB/180° s karakteristikama koje odgovaraju karakteristikama profesionalnog hibrida. Realizirani hibrid u frekvencijskom opsegu od 8,4 do 9,6 GHz ima karakteristike prenosa koje ostupaju od projektiranih do 0,5 dB po amplitudi i do 10° po fazi, a ostvareno je prilagođenje koje daje KSV na svim prolazima

bolji od 1,5. Monoimpulsni komparator sastavljen od četiri ovakva hibrida ima minimum u kanalima razlike koji je vrlo dubok i prelazi  $-30$  dB.

Analiza profesionalnih hibrida i komparatora pokazuje da je moguće dobiti i sklop s karakteristikama koje znatno odstupaju od onih koje je dao proizvođač.

Analiza efekata tolerancije mikrotrakastih vodova pokazuje da se za laminat datih karakteristika i tolerancija raspoloživom tehnologijom mogu dobiti takve tačnosti izrade da za vod karakteristične impedancije od  $50 \Omega$  KSV iznosi 1,14, a za vod karakteristične impedancije od  $70 \Omega$  1,158.

#### Literatura:

- [1] Bogdanović M.: »Izbor glave protivradarske rakete«, Izveštaj NIR zadatak 480F, CVTS, Zagreb 1989.
- [2] Božković A.: »Razvoj monoimpulsnog komparatora«, Izveštaj, NIR zadatak 480F, CVTS, Zagreb 1989.
- [3] Hamadallah M.: »Microstrip Power Dividers at mm-Wave Frequencies«, Microwave Journal, July 1988., pp. 115-127.
- [4] Edwards T. C.: »Foundation for Microstrip Circuit Design«, John Wiley, 1981.
- [5] Agrowal A. K., Mihucki G. F.: »A printed circuit Hybrid Ring Directional Coupler for Arbitrary Power Divisions«, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-34, No. 12, December 1986., pp. 1401-1407.
- [6] »COMPACT«, uputstvo za rad.
- [7] Gupta K. C., ...: »Computer Aided Design of Microwave circuits«, Artech H., 1981.
- [8] Gupta K. C., ...: »Microstrip Lines and slotlines«, Artech H., 1979.
- [9] Garg R.: »The Effect of Tolerances on Microstripline and Slotline Performances«, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-26, No. 1, Jan., 1978., pp 66-19.

### Uvod

U radovima koji su navedeni u opisu literature, analiza ljestvičastih mreža provodi se na različite načine. Tako se u radu [1] analiza provodi postupkom indukcije i pokazuje veza s Fibonaccijevim nizom brojeva. Autor rada [2] analizu provodi određivanjem ulazne impedancije u obliku verižnog razlomka. Postupak analize metodom kombiniranja jednadžbi prvog i drugog Kirchhoffovog zakona pokazan je u radu [3]. U radu [4] pokazano je da su polinomi Chebysheva i Fibonaccijev niz brojeva vezani za analizu ljestvičastih mreža. Kako se dolazi do polinoma karakterističnih za ljestvičaste mreže razmatranjem ulazne impedancije pokazano je u radu [5]. U nekim radovima analiza se provodi rješavanjem jednadžbi diferencija ili preko prenosnih parametara četveropola. Ovim naučnim razmatranjima pokazat će se postupak

analize primjenom metode napona čvorova za rješavanje električnih mreža sa posebnim naglaskom na homogeni RC lanac.

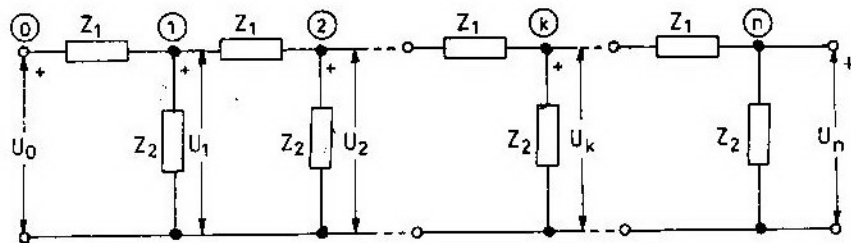
### Analiza homogenog RC lanca

Analizira se homogena ljestvičasta mreža koja u uzdužnim granama ima impedancije iznosa  $Z_1$ , a u poprečnim impedancije iznosa  $Z_2$ , te je pokazana na slici 1.

Naponi, struje i impedancije su funkcije varijable »s«.

Na ulaz je priključen napon  $U_0$ , a iz slike se vidi da mreža ima ukupno »n+1« čvorova (donji čvor povezuje sve impedancije  $Z_2$ ). Potrebno je odrediti izraze za napone  $U_1, U_2, \dots, U_k, \dots, U_n$ .

Da bi se dobili opći rezultati, analiza se obično izvodi na normaliziranoj mreži. U ovom slučaju zgodno je provesti normalizaciju impedancija na iz-



Sl. 1 Homogena ljestvičasta mreža

nos impedancije  $Z_1$ , što se dobiva tako da se sve impedancije podijele sa  $Z_1$ .

Tako se dobiva da u uzdužnim granama elementi imaju iznos jednak »1«, a u poprečnim iznos:

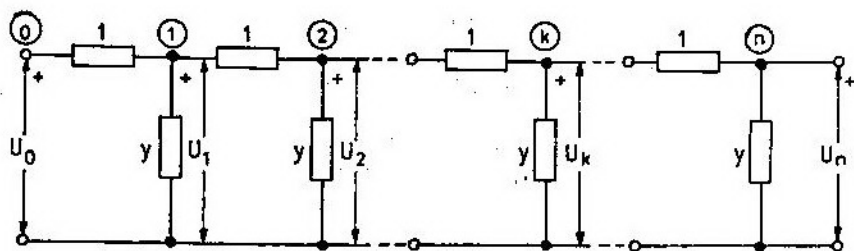
$$z = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

Kada se radi metodom napona čvorova, pogodnije je raditi s admitancijama, pa će tada admitancija poprečne grane u normaliziranom obliku biti:

$$y = \frac{1}{z} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (2)$$

Na slici 2 pokazana je ljestvičasta mreža u normaliziranom obliku.

Uz prethodne napomene pišu se jednadžbe metodom napona čvorova za shemu na slici 2. Potrebno je napisati ukupno »n« jednadžbi za isto toliko čvorova (donji čvor je referentni). Jednadžbe se prikazuju u matricnoj formi koja daje preglednost, te omogućuje daljnju obradu.



Sl. 2 Normalizirana ljestvičasta mreža

$$\begin{bmatrix} (y+2) & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & (y+2) & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & (y+2) & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & (y+2) & -1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ 0 & & & -1 & (y+2) & -1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ 0 & & & & & -1 & (y+2) & -1 \\ 0 & & & & & 0 & -1 & (y+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ \vdots \\ U_k \\ \vdots \\ U_{n-1} \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Kvadratna matrica na lijevoj strani relacije (3) predstavlja matricu administracija čvorova. Ima »n« redaka i stupaca, a potpuno je određena elementima glavne dijagonale. Naime, to je trodijagonalna matrica koja u glavnoj dijagonali na prvim »n-1« mjestima ima iznos elementa »y+2«, a na zadnjem mjestu je »y+1«. Prve dvije sporedne dijagonale imaju sve elemente jednake

»-1«. Determinanta ove matrice je ujedno i determinanta sistema jednadžbi. Razvojem ove determinante dobit će se polinom n-tog stupnja u varijabli »y«, što je očito, jer se ona nalazi na »n« mjestima u glavnoj dijagonali. Oznaka za ovako dobiven polinom je  $P_n(y)$ .

Zbog velikog stupnja simetrije, za razvoj determinante sistema postoje re-

kurzivne formule koje su, u stvari, jednadžbe diferencija sa polinomima  $P$  određenih stupnjeva.

### Rekurzivna formula za polinome $P_n(y)$

Počne li se razvoj determinante sistema po prvom stupcu ili retku, uz već uvedene oznake za polinome, rutinskim postupkom se dobiva da je tražena rekurzivna formula:

$$P_n(y) = (y+2) \cdot P_{n-1}(y) - P_{n-2}(y) \quad (4)$$

Polinom prvog stupnja jednak je, u stvari, zadnjem elementu u glavnoj dijagonali determinante sistema i iznosi:

$$P_1(y) = y + 1 \quad (5)$$

Polinom drugog stupnja dobiva se razvojem determinante sistema sa dva retka i stupca kod koje su elementi u glavnoj dijagonali  $(y+2)$  i  $(y+1)$ , pa je:

$$P_2(y) = y^2 + 3y + 1 \quad (6)$$

Kada su poznati  $P_1$  i  $P_2$ , polinom nultog stupnja dobiva se primjenom rekurzivne formule i iznosi:

$$P_0 = 1 \quad (7)$$

Primjenom rekurzivne formule, slijedeći polinomi su:

$$D_k = \begin{bmatrix} (y+2) & -1 & 0 & 0 & \dots & U_0 & \dots & 0 \\ -1 & (y+2) & -1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & (y+2) & -1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -1 & (y+2) & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & -1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & -1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & (y+2) & -1 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & -1 & (y+2) \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & -1 & (y+1) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$P_3 = y^3 + 5y^2 + 6y + 1$$

$$P_4 = y^4 + 7y^3 + 15y^2 + 10y + 1 \quad (8)$$

$$P_5 = y^5 + 9y^4 + 28y^3 + 35y^2 + 15y + 1$$

Dalje se polinomi računaju primjenom rekurzivne formule do bilo kojeg stupnja. Za  $y=0$  slijedi da svi polinomi imaju iznos »1«.

### Naponska prenosna funkcija

Potrebno je odrediti izraz za omjer bilo kojeg napona  $U_k$  i napona na početku ljestvičaste mreže  $U_0$ :

$$T_{ko}(s) = \frac{U_k(s)}{U_0(s)} \quad (9)$$

Iz sistema jednadžbi, koji je dan relacijom (3), potrebno je odrediti izraz za napon  $U_k$ , a on je prema već poznatom postupku za rješavanje sistema jednadžbi jednak omjeru dviju determinanti, od kojih je ona u nazivniku jednaka polinomu  $P_n$ , dok se za onu u brojniku dobiva kada se u determinantu sistema u  $k$ -ti stupac uvrsti stupac sa desne strane relacije (3).

$$U_k = \frac{D_k}{D} \quad (10)$$

Determinanta  $D_k$  razvija se po  $k$ -tom stupcu, pa se nakon rutinskih operacija dobiva:

$$D_k = U_0 P_{n-k} \quad (12)$$

Napon bilo kojeg čvora može se odrediti ako je poznata duljina »n« ljestvičaste mreže i napon  $U_0$  preko relacije:

$$U_k = \frac{D_k}{D} = \frac{U_0 P_{n-k}}{P_n} \quad (13)$$

Tako, na primjer, za slučaj kada je  $n=3$  za napone čvorova dobivaju se sljedeći izrazi:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{U_0 P_2}{P_3}; & U_2 &= \frac{U_0 P_1}{P_3}; \\ U_3 &= \frac{U_0}{P_3}; \end{aligned} \quad (14)$$

Za naponsku prenosnu funkciju dobiva se:

$$T_{k0}(y) = \frac{U_k}{U_0} = \frac{P_{n-k}(y)}{P_n(y)} \quad (15)$$

Na osnovu poznate duljine »n« ljestvičaste mreže može se iz (15) odrediti odnos bilo kog napona  $U_k$  i napona na ulazu  $U_0$ .

Karakteristični krajnji slučajevi su:

a) za  $k=0$  prenosna funkcija je očito jednaka »1«, jer odgovara omjeru napona  $U_0/U_0$ ;

b) za  $k=n$  dobiva se prenosna funkcija koja odgovara omjeru napona na kraju mreže i ulaznog napona:

$$T_{n0} = \frac{U_n}{U_0} = \frac{P_{n-n}}{P_n} = \frac{P_0}{P_n} = \frac{1}{P_n} \quad (16)$$

Iz prethodnih razmatranja vidi se da se sve prenosne funkcije mogu izraziti pomoću polinoma  $P$ , a oni se lako mogu izračunati primjenom rekurzivne formule.

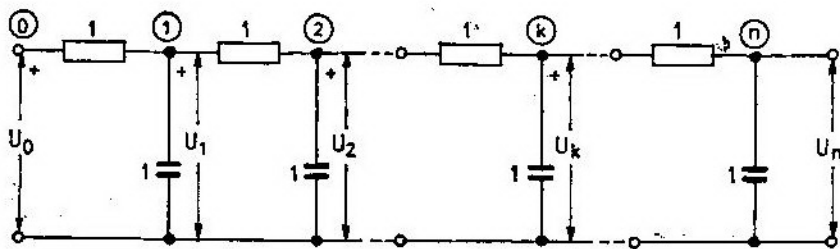
### Odziv homogenog RC lanca na poticaj funkcijom $S(t)$

U prethodnim razmatranjima analizirana je opća ljestvičasta mreža i izvedene su opće relacije. Kada se radi o mreži koja u uzdužnim granama ima jednake otpore, a u poprečnim jednake kapacitete, riječ je o homogenoj RC mreži ili homogenom RC lancu. Nakon što je izvršena normalizacija impedancija na otpor  $R$  i normalizacija frekvencije na frekvenciju  $\omega_0$  koja je jednaka:

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \quad (17)$$

Homogena ljestvičasta RC mreža u normaliziranom obliku pokazana je na slici 3 u kojoj otpori i kapaciteti imaju iznos jednak »1«, dok je normalizirani iznos admitancije »y« sada jednak »s«.

Polinomi  $P_n(y)$  sada postaju polinomi u varijabli »s« tj.  $P_n(s)$ . Da bi se odredio odziv homogenog RC lanca na



Sl. 3 Homogena ljestvičasta RC mreža

poticaj jediničnom funkcijom  $S(t)$ , potrebno je poznavati nultočke polinoma  $P_n(s)$ . Kao što je u radu [8] pokazano primjenom supstitucije:

$$s + 2 = 2 \cos x \quad (18)$$

te rješavanjem jednadžbe diferencija koja je dana rekurzivnom formulom, polinom  $P_n$  izražava se u trigonometrijskom obliku koji je pogodan za ova razmatranja:

$$P_n(x) = \frac{\sin(n+1)x - \sin nx}{\sin x} = \frac{\cos \frac{2n+1}{2}x}{\cos \frac{x}{2}} \quad (19)$$

Kao što je pokazano u navedenoj literaturi, nultočke polinoma  $P_n(x)$  lako se mogu odrediti, a primjenom supstitucije (18) nultočke općeg polinoma u varijabli »s« su:

$$s_m = -2 \left( 1 - \cos \frac{2m-1}{2n+1} \pi \right) \quad m = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

Bilo je i za očekivati da nultočke polinoma  $P_n(s)$  leže na negativnom dijelu realne osi u s-ravnini, jer taj polinom proizlazi iz RC mreže koje imaju takve osobine.

Budući da je napon na ulazu mreže oblika  $u_o(t) = S(t)$ , primjenom prenosne funkcije  $T_{ko}(s)$  za napon bilo kojeg čvora,  $U_k$ , dobiva se:

$$U_k(s) = T_{ko}(s) U_o(s) = \frac{P_{n-k}(s)}{s P_n(s)} \quad (21)$$

Kada su poznate nultočke polinoma  $P_n(s)$ , on se može prikazati u faktoriziranom obliku prema relaciji (22):

$$P_n(s) = (s-s_1)(s-s_2) \dots (s-s_m) \dots (s-s_n) \quad (22)$$

Da se dobije napon k-tog čvora ljestvičaste RC mreže potrebno je izvoz (22) uvrstiti u (21) i izvršiti razvoj u parcijalne razlomke, a on će biti oblika:

$$U_k(s) = \frac{a_0}{s} + \sum_{m=1}^n \frac{a_m}{s-s_m} = \frac{P_{n-k}(s)}{s P_n(s)} \quad (23)$$

jer je stupanj polinoma u brojniku manji od stupnja polinoma u nazivniku i nultočke polinoma  $P_n(s)$  su jednostruke.

Prvi korak je da se odrede koeficijenti  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ . Za koeficijent » $a_0$ « dobiva se da je jednak:

$$a_0 = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s P_{n-k}(s)}{s P_n(s)} = 1 \quad (24)$$

budući da  $P_n(s)$  teži ka »1« kada »s« teži ka »0« za bilo koji »n«, a isti slučaj je i sa polinomom  $P_{n-k}(s)$ .

Nešto je složeniji postupak za određivanje ostalih koeficijenata, a izvodi se na sljedeći način:

$$a_m = \lim_{s \rightarrow s_m} \frac{(s-s_m) P_{n-k}(s)}{s P_n(s)} = \frac{P_{n-k}(s_m)}{s_m P'_n(s_m)} \quad (25)$$

U relaciji (25)  $P'_n(s_m)$  znači da polinom  $P_n(s)$  treba najprije derivirati po »s«, a zatim umjesto »s« uvrstiti » $s_m$ « koji je dan relacijom (20). Za ove operacije treba koristiti trigonometrijski oblik polinoma.

Obično je od većeg interesa poznavanje valnog oblika napona na kraju ljestvičaste RC mreže, pa se u tom slučaju koeficijenti » $a_m$ « razvoja u parcijalne razlomke računaju preko relacije (26), jer je tada polinom u brojniku relacije (25) jednak »1«:

$$a_m = \lim_{s \rightarrow s_m} \frac{(s-s_m)}{s P_n(s)} = \frac{1}{s_m P'_n(s_m)} \quad (26)$$

Duljim rutinskim operacijama deriviranja i sređivanja izraza za opći koeficijent » $a_m$ « dobit će se relacija dana sa (27).

$$a_m = \frac{2}{2n+1} (-1)^m \cdot \frac{\cos^2 \frac{2m-1}{2n+1} \frac{\pi}{2}}{\sin \frac{2m-1}{2n+1} \frac{\pi}{2}} = \frac{2}{2n+1} z_m \quad (27)$$



U relaciji (27) sa » $z_m$ « označen je dio koji ovisi o » $m$ «, što je pogodno za obradu na računaru.

$$z_m = (-1)^m \cdot \frac{\cos^2 \frac{2m-1}{2n+1} \frac{\pi}{2}}{\sin \frac{2m-1}{2n+1} \frac{\pi}{2}} \quad (28)$$

Pema tome, da se dobije napon na kraju RC mreže treba odrediti original slijedeće funkcije:

$$U_n(s) = \frac{1}{s} + \frac{2}{2n+1} \cdot \sum_{m=1}^n \frac{z_m}{s - s_m} \quad (29)$$

a prema poznatim pravilima Laplaceove transformacije napon na kraju homogene ljestvičaste RC mreže bit će:

$$u_n(t) = 1 + \frac{2}{2n+1} \cdot \sum_{m=1}^n z_m e^{s_m t} \quad (30)$$

Nakon što se u relaciju (30) uvrsti izraz za nultočku polinoma » $s_m$ «, dobiva se traženi izraz za napon » $u_n(t)$ « koji je u obliku pogodnom za obradu na računaru:

$$u_n(t) = 1 + \frac{2 e^{-2t}}{2n+1} \cdot \sum_{m=1}^n z_m e^{2t \cos \frac{2m-1}{2n+1} \pi} \quad (31)$$

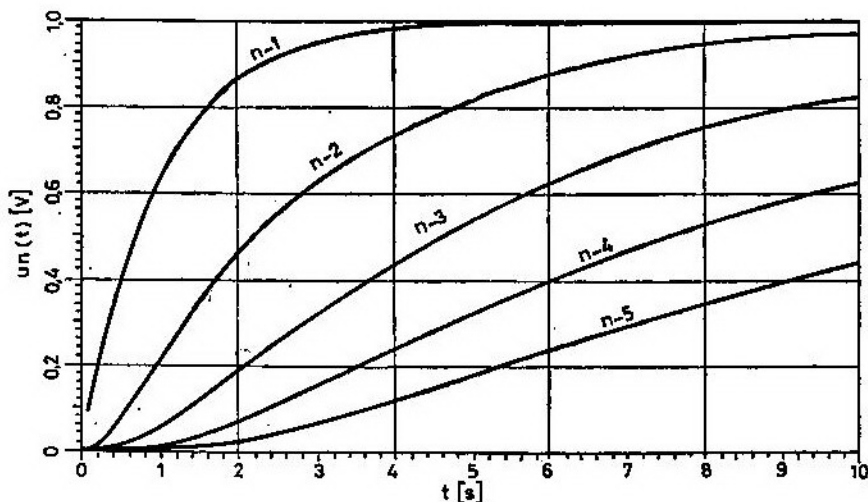
Za  $t=0$  napon  $u_n(0)$  je jednak nuli, a za  $t \Rightarrow \infty$  napon  $u_n(t) \Rightarrow 1$  što je i intuitivno jasno promatranjem sheme na slici 3.

Na slici 4 pokazani su valni oblici napona  $u_n(t)$  za slučajeve kada je duljina homogene RC mreže jednaka:  $n=1, 2, 3, 4$  i  $5$ .

Sa porastom duljine » $n$ « homogenog RC lanca raste i vrijeme kašnjenja.

## Zaključak

Za analizu ljestvičastih mreža pogodno je koristiti metodu napona čvorova. Kada se radi o homogenim ljestvičastim mrežama, naponi i naponske prenosne funkcije mogu se izraziti polinomima  $P_n$  za koje postoji rekurzivna formula koja omogućuje relativno brzo određivanje polinoma bilo kojeg stupnja. U slučaju homogenog RC lanca, nakon određivanja nultočki polinoma  $P_n(s)$  moguće je odrediti analitički izraz za napon na kraju mreže u vremenskoj domeni, što je i učinjeno za poticaj step funkcijom  $S(t)$ . Na dijagramu na slici 4 prikazani su valni oblici napona na kraju homogenog RC lanca za slučaj kada je njegova duljina od 1 do 5.



Sl. 4 Valni oblici napona  $u_n(t)$

**Literatura:**

- [1] Morgan-Voyce A. M.: »Ladder-Network Analysis Using Fibonacci Numbers«, IRE Transactions on Circuit Theory, September 1959.
- [2] Mowery V. O., »Fibonacci Numbers and Tchebycheff Polynomials in Ladder Networks«, IRE Transactions on Circuit Theory, June 1961.
- [3] Bashkow T. R.: »A Note on Ladder Network Analysis«, IRE Transactions on Circuit Theory, June 1961.
- [4] Bubnicki Z.: »Input Impedance and Transfer Function of a Ladder Network«, IEEE Transactions on Circuit Theory, June 1963.
- [5] Hazony D., Keryy U. J.: »Active Synthesis of All-Pole Transfer Functions with Recurrent Canonical RC Ladders«, IEEE Transactions on Circuit Theory, November 1971.
- [6] Swamy M. N. S., Bhattacharyya B. B.: »A study of Recurrent Ladders Using the Polynomials Defined by Morgan-Voyce«, IEEE Transactions on Circuit Theory, September 1967.
- [7] Dozet M.: »Neka svojstva ljestvičastih četveropola«, Radovi TVA br. 23., 1979., Zagreb.
- [8] Dozet M.: »Polinomi homogenog ljestvičarskog RC četveropola«, Naučno-tehnički PREGLED br. 5., 1979, Beograd.

## Uvod

Sa mogućnošću primjene suvremenih metoda u rješavanju problema upravljanja vojnim putnim saobraćajem, došlo se do spoznaje o akutnom nedostatku adekvatnih parametara. Taj nedostatak, rezultat je, prvenstveno, neutvrđenog stanja svih zahtjevanih parametara, neadekvatno realizirane standardizacije, unifikacije i informatičke podrške u domeni osnovnih elemenata sistema putnog saobraćaja, kao što su: transportna sredstva, površine za kretanje, vozači i organizacija kao sistem, sa svim kompleksnim utjecajem mikro i makrookoline.

Postojeća rješenja, prvenstveno u domeni upravljanja vojnim putnim saobraćajem i kretanja uopće, a posebno vojnih motoriziranih kolona, uglavnom se zasnivaju na pravilskim odredbama i normama, koje, pak, nemaju i sve adekvatne parametre.

Za prikupljanje nedostajućih egzaktnih parametara u putnom saobraćaju, danas u svijetu postoje razna rješenja pokretnih laboratorija, koja, uglavnom, omogućuju:

- mjerenje parametara prohodnosti terena;
- mjerenje parametara vezanih za sistem vozilo-put;
- mjerenje parametara odvijanja saobraćajnog toka.

Određena parcijalna rješenja pokretnih laboratorija u našoj zemlji uglavnom omogućuju mjerenje određenih parametara puta i objekata na putu.

Imajući u vidu ovakvo stanje i potrebe, pristupilo se razvoju pokretne laboratorije za mjerenja u putnom saobraćaju, za dva osnovna cilja:

— mjerenje odgovarajućih parametara vojnog putnog saobraćaja za stvaranje banki podataka i dolaženja do potrebnih naučnih činjenica u okviru naučnoistraživačkog i nastavnog rada na Saobraćajnom smjeru Visokih vojnotehničkih škola KoV JNA;

— brzo prikupljanje i obrada odgovarajućih podataka o parametrima vojnog putnog saobraćaja, bitnih za donošenje optimalnih rješenja u oblasti kretanja vojnih motoriziranih kolona.

## Zahtjevi za razvojem pokretne laboratorije

U skladu sa usvojenim ciljevima, utvrđeni su osnovni zahtjevi u pogledu eksploatacionih karakteristika i posebnih zahtjeva za mjerenje u vojnom putnom saobraćaju.

*Eksploatacione karakteristike pokretne laboratorije koje proizlaze iz naučnoistraživačkih i nastavnih zahtjeva*

va, te specifičnosti vojnog putnog saobraćaja su:

— mogućnost mjerenja u pokretu i u mjestu;

— mogućnost kretanja u svim putnim, terenskim, vremenskim i vježbovnim uvjetima;

— mogućnost grupiranja mjerne i ostale opreme u odnosu na oblast i vrstu mjerenja;

— postojanje radnog prostora za četiri operatora;

— mogućnost stvaranja odgovarajućih mjernih lanaca i automatske obrade izmjerenih podataka;

— mogućnost stvaranja odgovarajuće mikroklimne prema zahtjevima mjerne i ostale opreme, te rada operatora;

— autonomnost u pogledu napajanja naizmjeničnom električnom strujom.

Posebni nastavni, naučnoistraživački i operativni zahtjevi, koje pokretna laboratorija ispunjava su:

a) prikupljanje podataka o površinama za kretanje:

— elementi puta u situaciji,

— elementi puta u poprečnom profilu,

— elementi puta u uzdužnom profilu,

— karakteristike i kvalitet kolničkog zastora,

— karakteristike i kvalitet objekata na putu,

— karakteristike i kvalitet opreme puta,

— karakteristike i prohodnost različitih vrsta terena, i sl.;

b) mjerenje eksploatacionih karakteristika vozila:

— potrošnja goriva motornih vozila u različitim uvjetima eksploatacije,

— karakteristike pojedinih sklopova motornih vozila, zavisno od uvjeta eksploatacije

— karakteristike ponašanja sklopa vozilo-teret u različitim uvjetima eksploatacije;

c) mjerenje ergonomskih parametara u vojnom putnom saobraćaju:

— karakteristike mikroklimne,

— karakteristike buke, vibracija, usporenja — ubrzanja i drugih sila,

— frekvencija pojave i vrijeme trajanja pojedinih radnih aktivnosti,

— ergotehnički parametri elementarna mikro i makro-radnog mjesta vojnih vozača,

— energetske karakteristike rada u vojnom saobraćaju,

— senzomotorne karakteristike rada u vojnom saobraćaju,

— pouzdanost rada sistema čovjek — stroj (vozač — vozilo),

— razina stečenih vještina i navika u radu vojnih vozača i saobraćajaca, i sl.;

d) mjerenje karakteristika saobraćaja na putnoj mreži:

— propusna moć karakterističnih presjeka puta,

— gustina saobraćaja na karakterističnim dionicama puta,

— brzina kretanja na karakterističnim uskim grlima,

— izmjeritelji kretanja vojnih motoriziranih kolona na karakterističnim mjestima,

— detekcija i brojanje vozila na putu i sl.;

e) automatizacija procesa u saobraćaju:

— automatizirano prikupljanje i obrada odabranih podataka o ponašanju sistema vozač — vozilo — put sa kompleksnim utjecajem okoline u realnim uvjetima,

— automatizirano planiranje vojnog saobraćaja na putevima i provjera u praksi razrađenih fizičkih i simulacionih modela saobraćajnog toka,

— automatizirano upravljanje i kontrola vojnog putnog saobraćaja na putnoj mreži,

— automatizirano planiranje transporta u terenskim uvjetima i praktična provjera razrađenih modela maršrutizacije,

— automatizirano prikupljanje, obrada i analiza podataka sa uviđaja saobraćajnih nezgoda, i sl.

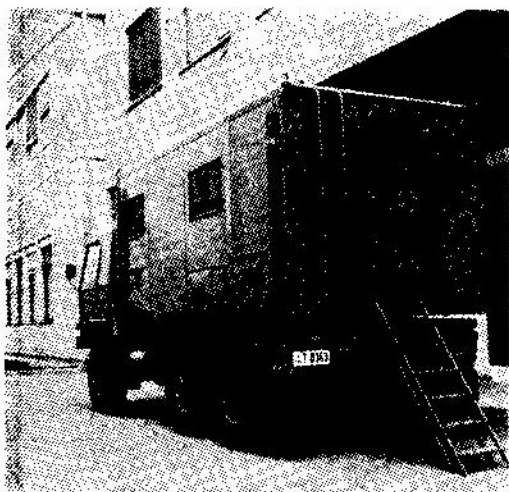
### Razvoj pokretne laboratorije

Nakon izrađene i usvojene prethodne analize i programa realizacije prišlo se razvoju pokretne laboratorije za mjerenja u putnom saobraćaju.

Razvoj je realiziran preko:

- izbora osnovnog motornog vozila,
- izbora odgovarajućeg kontejnera,
- spajanje motornog vozila i kontejnera uz odgovarajuće dorade,
- izrade osnovne opreme u kontejneru,
- izbora, nabavke i (ili) izrade, odgovarajuće laboratorijske opreme,
- stvaranje odgovarajućih mjernih lanaca.

Osnovu laboratorije čini podvoz motornog vozila visoke pokretljivosti TAM 150 T11 BV, formule pogona  $6 \times 6$ , spregnutog sa mobilnim kontejnerom K-30 (sl. 1).



Sl. 1

Nadgradnju laboratorije čini osnovna oprema kontejnera K-30, prilagođena za smještaj i korištenje odgovarajuće laboratorijske opreme i istovremeni rad četiri operatora. Pored toga, obuhvaćena je i oprema i uređaji za stvaranje optimalne mikroklimе za rad operatora i laboratorijske opreme, za proizvodnju nāizmjenične električne struje, za rad u stacionarnim i pokretnim uvjetima i ostala pokretna oprema (sl. 2).



Sl. 2

Laboratorijska oprema je definirana, nabavljena i (ili) izrađena na osnovu postojećih inozemnih i domaćih spoznaja i iskustava, u skladu sa posebnim zahtjevima, koje pokretna laboratorija mora da ispuni.

Koncipiranje laboratorijske opreme izvršeno je fleksibilno, tako da se omogućuje kontinuirano usavršavanje pokretne laboratorije u skladu sa narastanjem spoznaja o mogućnostima i razvoju nove laboratorijske opreme kod nas i u svijetu, kao i novim naučnoistraživačkim i nastavnim zahtjevima.

Laboratorija se u svojoj osnovi već nalazi na upotrebi za nastavne i naučnoistraživačke potrebe na Saobraćajnom smjeru Visokih vojnotehničkih škola KoV JNA.

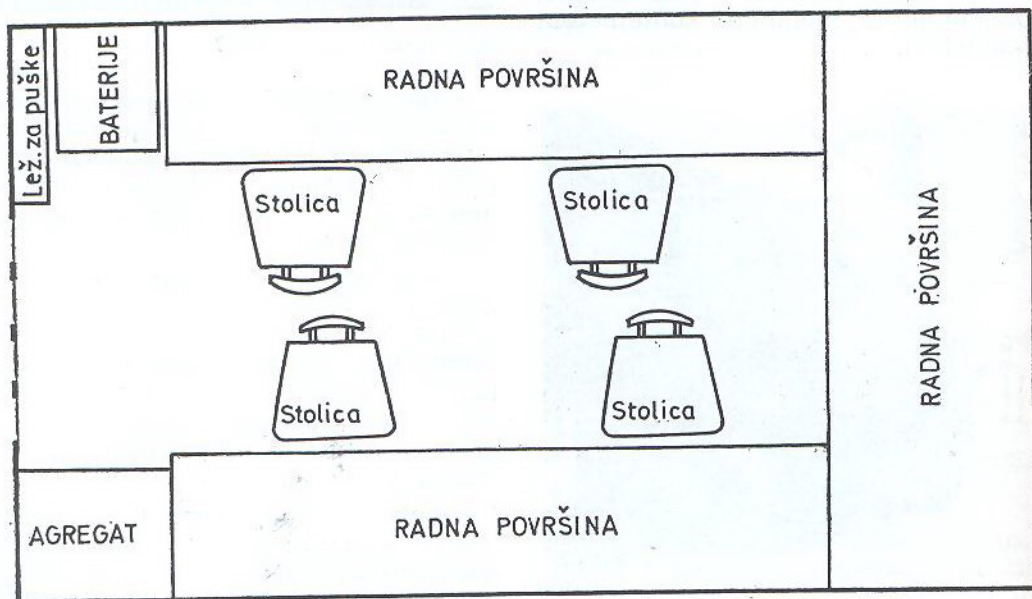
Osnovna laboratorijska oprema pokretne laboratorije, data u tabeli 1, djelimično je smještena van kontejnera K-30. Stvaranje odgovarajućih mjernih lanaca za potrebe nastavnog procesa sa četiri radna mjesta, odnosno za potrebe naučnoistraživačkog rada, vrši se kompletiranjem potrebne mjerne i ostale opreme za rad u stacionarnim uvjetima (sl. 3), odnosno pokretnim uvjetima.

Tabela 1

Osnovna laboratorijska oprema pokretne laboratorije

| Red. br. | Vrsta mjerne opreme  | Komada |
|----------|--|--------|
| 1        | 2  | 3      |
| 1.       | Mobilna TV kamera sa mogućnošću montiranja na odgovarajuće dijelove kontejnera K-30 i kabine motornog vozila | 1      |
| 2.       | Radarski komplet za mjerenje brzine kretanja   | 1      |
| 3.       | Komplet uređaja za detekciju i brojanje vozila   | 1      |

| 1   | 2   | 3  |
|-----|---|----|
| 4.  | Komplet uređaja za vršenje uviđaja saobraćajnih nezgoda                                     | 1  |
| 5.  | Komplet pokretnih daljinsko-upravljačkih semafora   | 1  |
| 6.  | Komplet uređaja za mjerenje buke i vibracija  | 1  |
| 7.  | Komplet uređaja za mjerenje termičkog komfora radnog mjesta vozača                          | 1  |
| 8.  | Komplet uređaja za mjerenje mikroklima radnog mjesta vozača                                 | 1  |
| 9.  | Komplet uređaja za mjerenje kožno-električnih reakcija vozača pri upravljanju vozilom       | 1  |
| 10. | Komplet uređaja za mjerenje energetske potrošnje čovjeka pri radu u saobraćaju i transportu | 1  |
| 11. | Komplet uređaja za mjerenje svjetlosnog bljeska i kontrasta svjetlosti                      | 1  |
| 12. | Komplet uređaja za mjerenje zagađenosti mikrookoline radnog mjesta                          | 1  |
| 13. | Prijenosni saobraćajni znaci i čunjevi za reguliranje saobraćaja                            | 10 |



Sl. 3

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 14. | Komplet opreme za reguliranje i kontrolu putnog saobraćaja      | 1  |
| 15. | Prijenosni penetrometar, mali                                   | 1  |
| 16. | Komplet mjernih uređaja za mjerenje stanja puta i terena        | 1  |
| 17. | Uređaj za mjerenje nadmorske visine                             | 1  |
| 18. | Uređaj za osvjetljenje okoline (top reflektor)                  | 1  |
| 19. | Teodolit  | 1  |
| 20. | Nivelir   | 1  |
| 21. | Trasirke  | 12 |
| 22. | Padomjer  | 1  |
| 23. | Žirokompas  | 1  |
| 24. | Laserski i akustički daljinomjer                                | 2  |
| 25. | Komplet uređaja za mjerenje osovinskog pritiska vozila          | 1  |
| 26. | Uređaj za mjerenje slobodnog hoda točka upravljača              | 1  |
| 27. | Mjerač temperature smrzavanja antifrizna                        | 1  |
| 28. | Mjerač gustine elektrolita u akumulatoru                        | 1  |
| 29. | Mjerač napona akumulatora                                       | 1  |
| 30. | Mjerač dubine šara protektora pneumatika                        | 1  |
| 31. | Komplet »peti točak«  | 1  |
| 32. | Uređaj za mjerenje potrošnje goriva kod otto motora             | 1  |
| 33. | Uređaj za mjerenje potrošnje goriva kod dizel motora            | 1  |
| 34. | Uređaj za mjerenje karakteristika ispusnih plinova dizel motora | 1  |
| 35. | Uređaj za mjerenje karakteristika ispusnih plinova otto motora  | 1  |
| 36. | Mjerač ubrzanja — usporenja motornog vozila                     | 1  |
| 37. | Radio-uređaj prenosni UKT -FM 66/13                             | 4  |
| 38. | Radio-uređaj prenosni RU-12                                     | 1  |

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 39. | Durbinski periskop sa povećanjem 10x tip ADM-58                     | 1 |
| 40. | Mikroračunari   | 4 |
| 41. | Printer »Image writer«  | 1 |
| 42. | Pretvarači analognih u digitalne signale — komunikacijski interface | 4 |
| 43. | Videorecorder   | 1 |
| 44. | Portabl TV color  | 1 |

Napomena: uz osnovnu mjernu opremu, postoji još znatna oprema za stvaranje odgovarajućih mjernih lanaca, rad u stacionarnim ili pokretnim uvjetima, i sl.

### Zaključak

Prezentirani zahtjevi za razvojem pokretne laboratorije za mjerenja u putnom saobraćaju, kao i sam razvoj njene osnove, nadgradnje, te laboratorijske i druge opreme, svim zainteresiranim u JNA omogućuju stjecanje uvida u njenu namjenu i mogućnosti.

Problem metoda mjerenja i ispunjavanja posebnih nastavnih, naučnoistraživačkih i operativnih zahtjeva pokretne laboratorije, u ovom radu nije razmatran. Složenost pojedinih metoda mjerenja, uz primjenu pojedinačnih uređaja ili mjernih lanaca, iziskuje potrebu posebne obrade, što će se nastojati učiniti u više posebnih članaka u narednom periodu. Pored toga, prezentirati će se i dobijeni rezultati konkretnih mjerenja.

Ovakvim pristupom, nadamo se, u narednom dugoročnom periodu, u ovoj domeni, može se očekivati znatnije obogaćenje teorije i prakse vojnog putnog saobraćaja, egzaktnim naučnim činjenicama, a samim tim i praćenje ukupne efikasnosti njegovog funkcioniranja.

## Uvod

Sva suvremena društva svijeta svoj napredak i prosperitet baziraju, dijelom, i na efikasnom prometnom sistemu. Međutim, pored niza elemenata koji utječu na prosperitet društva i kvalitetu življenja promet ima i određen broj negativnih karakteristika. One se, uglavnom, svode na ekološke probleme i problem sigurnosti sudionika prometa.

U prometu su danas ugroženi praktično svi sudionici, s tim da su vjerojatnost i posljedice stradanja neravnomjerno raspoređeni po prometnim granama i po statusnim svojstvima sudionika unutar analizirane prometne grane. U cestovnom prometu, zbog ugroženosti, poseban status treba dati pješacima.

Pješaci su posebna kategorija sudionika cestovnog prometa, koji se za kretanje koriste posebnim površinama namijenjenim za kretanje pješaka, ili površinama koje su namijenjene i posebno konstruirane za kretanje motornih vozila. Na mjestima gdje dolazi do kontakta ili presijecanja pješačkih tokova s tokovima motornih vozila, a prvenstveno zbog razlike u dinamici kretanja, nastaje velik broj konfliktnih situacija.

Polazeći od činjenice da je pješak u prometu znatno ugroženiji od vozača, zakonodavac je nizom pravilskih odredbi »zaštiti« pješake, obavezujući voza-

če da u svim situacijama vode računa o kretanju pješaka i preduzimaju sve neophodne mjere radi izbjegavanja neposrednih konflikata. Iako je ovakva mjera razumljiva, praksa, na žalost, pokazuje da pješaci vrlo često krše pravilske odredbe i ne poštuju postojeću regulativu kojom je definiran način i smjerovi njihovog kretanja, način i mjesta prelaženja cesta i ulica namijenjenih za promet motornih vozila, kao ni postojeću svjetlosnu i ostalu signalizaciju. Dok su vozači koji prolaze raskršćem za vrijeme trajanja crvenog svjetla na semaforu malobrojni, čak i u situacijama kada nema nijednog vozila u blizini raskršća, veliki broj pješaka ne poštuje crveni signal, čak i u situacijama kada time ugrožavaju svoju sigurnost.

Ovakvi i slični postupci ukazuju na nedostatak prometne i opće kulture pješaka, a u kombinaciji s nediscipliniranošću utiču na visoku razinu ugroženosti u prometu. Istaknutim elementima treba, svakako, dodati i pomanjkanje osnovnih znanja neophodnih za sigurno učešće pješaka u cestovnom prometu.

U cestovnom prometu pješak može biti bilo koja osoba. To podrazumijeva sportaša u punoj snazi i starca koji se vrlo teško kreće, zdravu osobu, ali i hendikepiranu osobu s fizičkim nedostacima, osobu normalnog vida, ali i slijepu osobu, osobu normalnog psiho-



fizičkog stanja, ali i osobu pod utjecajem alkohola, lijekova ili droga, itd.

U prometnim nezgodama kao pješaci stradaju sve socijalne kategorije i strukture stanovništva, pa od toga nisu izuzeti ni pripadnici JNA. Pripadnici JNA kao pješaci stradaju u prometnim nezgodama za vrijeme obavljanja poslova vezanih za službu, ali i u slobodno vrijeme ili, kada su u pitanju vojnici, za vrijeme izlaska u grad.

Prometne nezgode u kojima sudjeluju pripadnici JNA kao pješaci, u najvećem broju slučajeva, rezultat su nepažnje, nepoštivanja postojećih pravilskih odredbi, ali i nepoznavanja određenih činjenica bitnih za sigurnost pješaka u cestovnom prometu.

Cijeneci postojeće elemente koji utječu na sigurnost prometa u kojem se u svojstvu pješaka javljaju vojne osobe, »Pravilnikom o bezbednosti putnog saobraćaja u OS« (član 116) predviđeno je da se sa svim vojnicima, pitomcima i učenicima u JNA posebno obradi tema »Pješak u prometu«.

Polazeći od nedostatka odgovarajuće literature za izvođenje ove teme, a na zahtjev SBU SSNO, pripremljena su dva pregledna članka u kojima će biti prezentirani osnovni elementi za njenu pripremu i realizaciju.

### **Osobine pješaka kao sudionika prometa**

Pješaci u prometu predstavljaju posebnu kategoriju sudionika koja se javlja na površinama namijenjenim za kretanje pješaka, ali, isto tako, i na većini javnih cesta.

Na javnim cestama pješački tokovi mogu se odvijati paralelno s tokovima motornih vozila ili mogu presijecati tokove motornih vozila. Svaki od istaknutih načina kretanja pješaka ima svoje specifične značajke, opasnosti i probleme koji utječu na sigurnost kretanja pješaka.

Analiza sigurnosti pješačkog prometa svodi se na analizu konfliktnih situacija između pješačkog i motornog

prometa. Pri tom se moraju istaći tri osnovne činjenice koje su vezane za takve konflikte:

1. pješaci, za razliku od vozača, predstavljaju nezaštićene subjekte u prometu koji iz konfliktnih situacija (prometnih nezgoda) izlaze s tjelesnim ozljedama koje su vrlo često teške, pa i smrtonosne;

2. energetski bilans ni u jednoj konfliktnoj situaciji ne ide u prilog pješacima, već naprotiv, na njihovu štetu;

3. otpornost čovječjeg organizma na bilo kakve deformacije daleko je manja od motornog vozila.

Pri tom treba imati u vidu i činjenicu da između vozila i pješaka postoje velike razlike u masama (10:1 do 500:1 i veće), brzinama kretanja (10:1 do 50:1) i kinetičkim energijama (1.000:1 do 200.000:1 i veće). Ovi podaci jasno ukazuju na to tko će u međusobnom odnosu vozila i pješaka lošije proći.

### *1. Pretpostavke sigurnog kretanja pješaka*

Radi zadovoljenja egzistencijalnih, rekreativnih, kulturnih, obrazovnih, ili nekih drugih potreba, čovjek je prisiljen, i u sadašnje vrijeme koje se karakterizira relativno dobrom razvije-nošću prometnog sistema, da radi dolaska na postavljeni cilj putovanja dio puta savlada pješačenjem.

Mnogobrojni razlozi i različiti ciljevi putovanja uvjetuju pojavu pješaka praktično na svim dijelovima cestovne i ulične mreže, u naseljima i van naselja, pa čak i na onim mjestima gdje je to postojećom regulativom zabranjeno.

Intenzitet pješačkog saobraćaja ovisi o gustoći naseljenosti, odnosno o veličini naseljenog mjesta (grada), kao i karakteristikama mikrolokacija unutar samih gradova. Van naseljenih mjesta uglavnom se radi o pojedinačnom kretanju pješaka (izuzetak predstavljaju organizirane kolone pješaka), dok se u većim naseljima i gradovima formi-

raju privremeni ili stalni pješački tokovi, što ovisi o dobi dana i veličini grada.

Iz središta većih gradova, u kojima je dolazilo do formiranja intenzivnih pješačkih tokova, izbačen je motorni promet, čime su isključene opasnosti vezane za intenzivne interakcije pješačkog i motornog prometa. Na žalost, radi se samo o manjim gradskim područjima, pa time nije riješen postojeći problem. Naime, konflikti između pješačkog i motornog prometa samo su nešto dislocirani, pa su vrlo intenzivni na rubnim područjima takvih zona.

U postojećem sistemu cestovnog prometa, bez obzira na to da li se radi o urbanim sredinama ili prostorima van naseljenih mjesta, evidentan je nedostatak površina namijenjenih isključivo za kretanje pješaka. Pored toga, nedovoljno se poštuju i određeni specifični principi vezani za projektiranje površina za kretanje pješaka. Naime, principi koji su svojstveni za formiranje tokova motornih vozila ne mogu se u potpunosti primjenjivati i kao zakonitost za formiranje pješačkih tokova, odnosno za trasiranje pješačkih staza u novoizgrađenim urbanim zonama. Dok se motorna vozila mogu kretati samo cestama, pješaci imaju daleko veću slobodu u pogledu izbora površine za kretanje, smjera i putanje kretanja.

Male brzine kretanja pješaka bitno utječu na izbor putanje kretanja radi skraćivanja vremena putovanja. Takav motiv je u najvećem broju slučajeva dominantan za izbor najkraće putanje kretanja, koja često presijeca zelene površine ili prometnice namijenjene za kretanje motornih vozila, i to vrlo često na mjestima gdje nije dozvoljeno.

Kao osnovni ograničavajući elementi za korekciju takvih ciljeva mogu se istaći:

- veličina rizika;
- stupanj kontrole pješaka u prometu (kaznene mjere);
- prometna kultura (odgoj, stavovi).

Rizik kojem se pješaci izlažu kod takvog kretanja ovisi o nizu psihofizioloških i fizičkih karakteristika pješaka, njihove sposobnosti da procijene veličinu rizika, kao i motiva koji ih navode na izlaganje riziku.

Kontrola pješačkog prometa kod nas je vrlo niskog intenziteta, što isključuje preventivno djelovanje u ovom području na bazi represivnih mjera. Slaba kontrola pješačkog prometa u sprezi s niskom prometnom kulturom uvjetuje formiranje pogrešnih stavova i neprimjereno ponašanje pješaka u cestovnom prometu.

Otklanjanje istaknutih uzroka, koji su posljedica neadekvatnog funkcioniranja cjelokupnog društvenog sistema, moguće je samo intenzivnim propagandnim radom, radi promjena postojećih negativnih stavova i korekcije ponašanja. Pri tom treba imati u vidu i činjenicu da se znatan broj rizičnih situacija u cestovnom prometu, posebno u konfliktima između motornog i pješačkog prometa, javlja zato što pješaci ne poznaju određene pravilske odredbe kojima se regulira njihovo ponašanje u cestovnom prometu, a isto tako i neke svoje osnovne psihofiziološke karakteristike koje su bitne za procjenu situacije i donošenje odluka.

Stoga se preventivne aktivnosti u ovom području moraju usmjeriti u dva pravca, i to na:

— propagandnu djelatnost usmjerenu na promjenu pogrešnih stavova i usvajanje pozitivnih navika u prometu, a posebno poštivanje propisa, i

— edukativnu djelatnost usmjerenu na objašnjavanje određenih prometnih situacija i psihofizioloških procesa koji mogu utjecati na donošenje pogrešnih odluka.

Osim istaknutih elemenata, na sigurnost sudionika cestovnog prometa velik utjecaj imaju i karakteristike ličnosti od kojih se posebno ističu:

- intelektualne sposobnosti;
- osjetilne sposobnosti (vid, sluh);
- perceptivni procesi (percepcija predmeta, prostora i kretanja);

— perceptivno-motorno ponašanje (vrijeme reakcije);

— moralne karakteristike (stavovi).

Pošto su navedene karakteristike obrađene u brojnoj domaćoj, a i vojnoj literaturi [4], neće se posebno obrađivati, s tim da će se, polazeći od značaja percepcije u cestovnom prometu, istaknuti određeni problemi vezani za to područje.

## 2. PERCEPCIJA PROMETNE SITUACIJE

Pješaci, kao i svi ostali sudionici prometa (vozači), odluke o svom ponašanju donose na osnovu dobijenih informacija o prometnoj situaciji. Prometnu situaciju, odnosno svijet oko sebe, čovjek spoznaje preko osjetila. Istraživanja izvršena u Standard Oil Company (SAD) dala su slijedeće kvantitativne podatke o doprinosu pojedinih osjetila u spoznaji vanjskog svijeta:

|         |      |
|---------|------|
| — ukus  | 1%   |
| — dodir | 1,5% |
| — miris | 3,5% |
| — sluh  | 11%  |
| — vid   | 83%  |

Kada je u pitanju percepcija prometne situacije, istraživanja ukazuju na još značajniji utjecaj vida. Naime, ističe se da vozači oko 90 do 95% svih informacija neophodnih za sigurno upravljanje vozilom [2] primaju vidnom percepcijom.

Problem percepcije u prometu je složen i jednako važan za sve sudionike cestovnog prometa, te ga trebaju poznavati i vozači i pješaci. Naime, da bi se pješak mogao sigurno kretati cestom ili prelaziti preko ceste, on mora razumijeti kako vozač percipira prostor ispred sebe, odnosno u kojim situacijama će postojati opasnost da vozač ne primijeti pješaka.

Pod percepcijom se podrazumijeva složen proces koji se sastoji od izbora ili selekcije između podražaja koji djeluju na osjetila, njihovog organiziranja u cjeline i davanje smisla ili tumačenja tih cjelina [4].

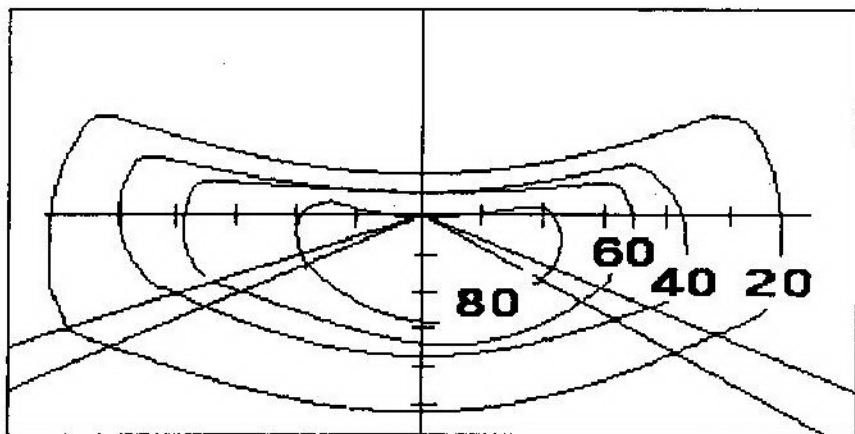
Na sve sudionike prometa djeluje velik broj podražaja, pa vozači i pješaci moraju biti osposobljeni za selekciju tih podražaja i koncentraciju na one koji u datoj situaciji imaju najveći utjecaj na sigurnost kretanja. Optimalno rješenje tih problema moguće je na osnovu stečenog znanja i vještina, iskustva, odnosno kombinacije istaknutih elemenata.

Teoretske analize percepcije svode se na percepciju predmeta, prostora, vremena i kretanja (brzine).

Za sigurnost prometa posebno su značajne percepcija prostora i percepcija brzine. Pri tom treba imati u vidu da se ne radi o statističkim, već o dinamičkim procesima, što znači da percepciju prostora treba vezati i sa problemima brzine, odnosno da se, kada je u pitanju cestovni promet, zapravo radi o percepciji prostora kod različitih brzina kretanja.

Objašnjenje pojma percepcije u prometu treba vezati za karakteristike vida [4, 196—214; 3, 24—42] i načina viđenja te zakonitosti i karakteristike perspektivne projekcije koja predstavlja osnovu za percepciju prostora. Pri tom treba biti svjestan činjenice da čovječiji vid ima niz nedostataka (obmane, iluzije), kao i perspektivna projekcija (deformacije slike), što kod vozača i pješaka može negativno utjecati na procjenu prometne situacije, a time i na donošenje pogrešnih odluka i postupaka, što rezultira konfliktnim situacijama, a ponekad i prometnim nezgodama.

Vozač u toku kretanja, a radi prikupljanja neophodnih informacija za njegovu sigurnu realizaciju, ili u nedostatku operativnih informacija, fiksira različite elemente neposrednog okruženja. Objedinjavanjem tačaka fiksaci-



Sl. 1 Utjecaj brzine kretanja na veličinu polja koncentracije pažnje vozača za brzine 20, 40, 60 i 80 km/h

je u jednu cjelinu dobija se tzv. polje koncentracije pažnje (sl. 1). Veličina polja koncentracije pažnje [5,96] ovisi o brzini kretanja.

Pošto su brzine kretanja pješaka znatno manje od brzina kretanja vozila, jasno je da pješaci moraju biti svjesni činjenice da se njihovo vidno polje ne poklapa sa vidnim poljem vozača. Za konkretne uslove to znači, da ako pješak vidi vozilo, to ne mora značiti da je i vozač uočio pješaka.

Različite konfliktne situacije ovog tipa mogu nastati kao posljedica perceptivnih problema, konstruktivne preglednosti iz vozila ili tipičnih prometnih situacija. Pored problema vezanih za percepciju prostora od strane vozača i pješaka, konfliktne situacije u prometu mogu se javiti i kao posljedica grešaka u percepciji brzine, odnosno analizi prostornovremenskog položaja vozila i pješaka. Dok je procjena brzine kretanja i prostornih odnosa za populaciju punoljetnih osoba (izuzimajući stare osobe) uglavnom zadovoljavajuća, djeca i stare osobe ove elemente cijene vrlo loše, te iz tih razloga, a i loše fizičke kondicije, predstavljaju izuzetno rizičnu kategoriju pješaka u cestovnom prometu.

### 3. Karakteristične konfliktne situacije u prometu uvjetovane perceptivnim poteškoćama

Kada se govori o percepciji u prometu, iako je ona psihički proces, mora se konstatirati da percepcija nije ovisna samo o osobnim karakteristikama čovjeka i njegovom stanju, već je vezana i za karakteristike okruženja u kojem se odvija promet. U ovom dijelu neće se govoriti o utjecaju osobnih karakteristika čovjeka i njegovog stanja (umor, bolest, alkohol, droga, itd.), nego samo o utjecaju nekih obilježja prometa i prometnog okruženja na percepciju.

Osnovni preduvjet da bi se stvorio vizuelni kontakt između sudionika cestovnog prometa (vozača i pješaka) jeste optimalno projektno rješenje prometnice. Pod tim se podrazumijeva otklanjanje svih prepreka vizuelnom kontaktu između vozila i pješaka. Ove mjere su konstruktivnog tipa i praktičnu realizaciju mogu doživjeti pri rekonstrukciji konfliktnih mjesta na cestama. Do tog perioda preventivne mjere treba vezati prvenstveno za organizacijske mjere.

Pri presijecanju motornog prometa pješačkim tokovima, što je čest slučaj

kod kretanja vojnih pješačkih kolona, posebnu pažnju treba posvetiti izboru sigurnog mjesta prijelaza koje je determinirano minimalnom sigurnom dužinom vizuelnog kontakta.

Kao posebni kritični elementi javljaju se nepregledne horizontalne i vertikalne konveksne krivine.

U nepreglednim horizontalnim krivinama perceptivne poteškoće nastaju zbog nedovoljne dužine preglednosti, odnosno nepravovremenog uočavanja vozila ili pješaka. Na slici 2 prikazana je jedna takva tipična situacija vezana za prijelaz preko ceste neposredno iza tjemena nepregledne horizontalne krivine.

Nepreglednost krivine može biti uvjetovana izvedbom ceste u usjeku (zasjeku), ili u situacijama kada neposredno uz cestu postoji visoko raslinje, ili je izgrađen neki objekat.

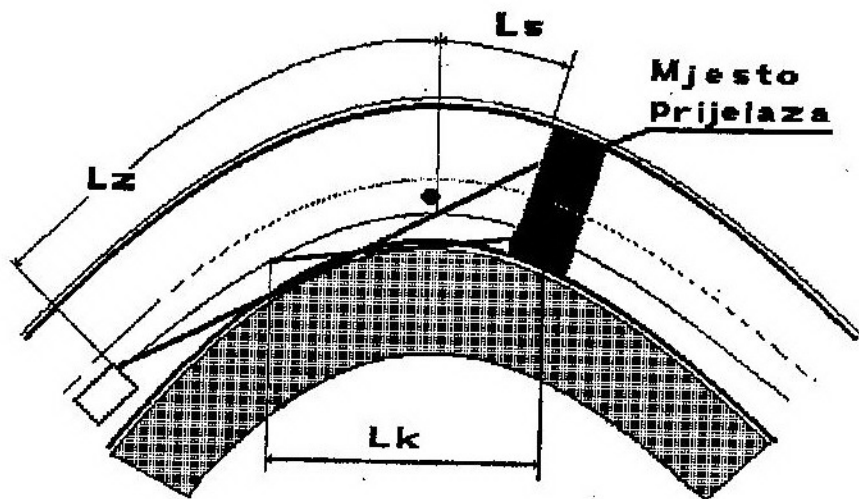
U principu, treba izbjegavati prelaženje preko ceste u takvim nepreglednim krivinama, a posebno kada su u pitanju organizirane kolone pješaka.

U situacijama kada je to ipak neophodno uraditi, potrebno je izabrati najsigurnije mjesto, a, po potrebi, izvršiti i osiguranje prijelaza.

Mjesto prijelaza treba određivati prema prometnoj traci s manjim radijusom, bez obzira na smjer kretanja pješačke kolone i to tako da ono bude, po mogućnosti, na ulaznom dijelu ili u tjemenu krivine. Najnepovoljnije rješenje je ako se takvo mjesto odabere na izlaznom dijelu krivine i to neposredno iza tjemena krivine (sl. 2). Orientacija krivine je pri tom definirana prema kretanju vozila na prometnoj traci s manjim radijusom.

Na slici 2 prikazano je i nekoliko značajnih prostornih veličina koje se moraju posebno analizirati pri donošenju odluke o izboru mjesta prijelaza u krivini. Ukoliko nisu ispunjeni minimalni sigurnosni uvjeti, neophodno je izvršiti višestruko osiguranje prijelaza ili odabrati sigurnije mjesto. Kao osnovne sigurnosne veličine u analizi sigurnosti prijelaza ističu se zaustavni put vozila ( $L_z$ ) i sigurnosni razmak ( $L_s$ ).

U slučaju prijelaza preko ceste u krivini dužina zaustavnog puta vozila određena je vizurom preglednosti. U normalnim uvjetima odvijanja prometa minimalna dužina preglednosti ne smije biti manja od 100 m (na sl. 2 ta udaljenost se odnosi na dužinu  $L_z$  koja je definirana udaljenošću između vozila i



Sl. 2 Grafički model za analizu sigurnosti prijelaza preko ceste u horizontalnoj krivini

osobe koja osigurava mjesto prijelaza). U slučajevima kada je kolnik mokar ili klizav, tu udaljenost treba povećati bar za 50%.

Sigurnosni razmak obično iznosi oko 5 m.

U slučaju da se prijelaz preko ceste organizira bez osiguranja (sl. 2) postojala bi dužina vizuelnog kontakta označena sa  $L_k$ . Iz slike se vidi da je ta dužina znatno manja od dužine  $L_z$  i da će u takvim situacijama vrlo često dolaziti do konflikata između motornog i pješackog prometa, a time, u određenim uvjetima, i do prometnih nezgoda.

Slične situacije mogu se javiti ako se prijelaz preko ceste organizira na vertikalnim konveksnim krivinama izvan zone tjemena krivine. Pri tom je veličina rizika, prema smjerovima vožnje, određena udaljenošću od tjemena krivine i veličinom uspona na analiziranoj prometnoj traci.

Istaknute situacije svojstvene su za sigurnost prijelaza preko cesta izvan naseljenih mjesta. Zvanične statistike [8], na žalost, pokazuju da su za pješacke znatno opasnija naseljena mjesta. Naime, po statistici, u naseljenim mjestima pogine oko 80% pješaka, a ozlijeđeno ih je čak 92% [prema 8]. Razlozi ovakve distribucije svakako su vezani i za distribuciju pješackih tokova u naseljima i van naselja. No, razloge treba tražiti i u karakteristikama odvijanja pješackog prometa u našim gradovima.

Što se tiče prometnih površina, svi naši gradovi daju prednost odvijanju motornog prometa u odnosu na pješacki. Pješacki promet je u našim gradovima marginaliziran i praktično pušten samim pješacima.

Snalaženje u složenom gradskom prometu u kojem dolazi do intenzivnih interakcija između motornog, pješackog, a i šinskog prometa, veoma je teško za određene kategorije populacije, a posebno za djecu i starce, te osobe koje nisu odrasle u takvim sredinama.

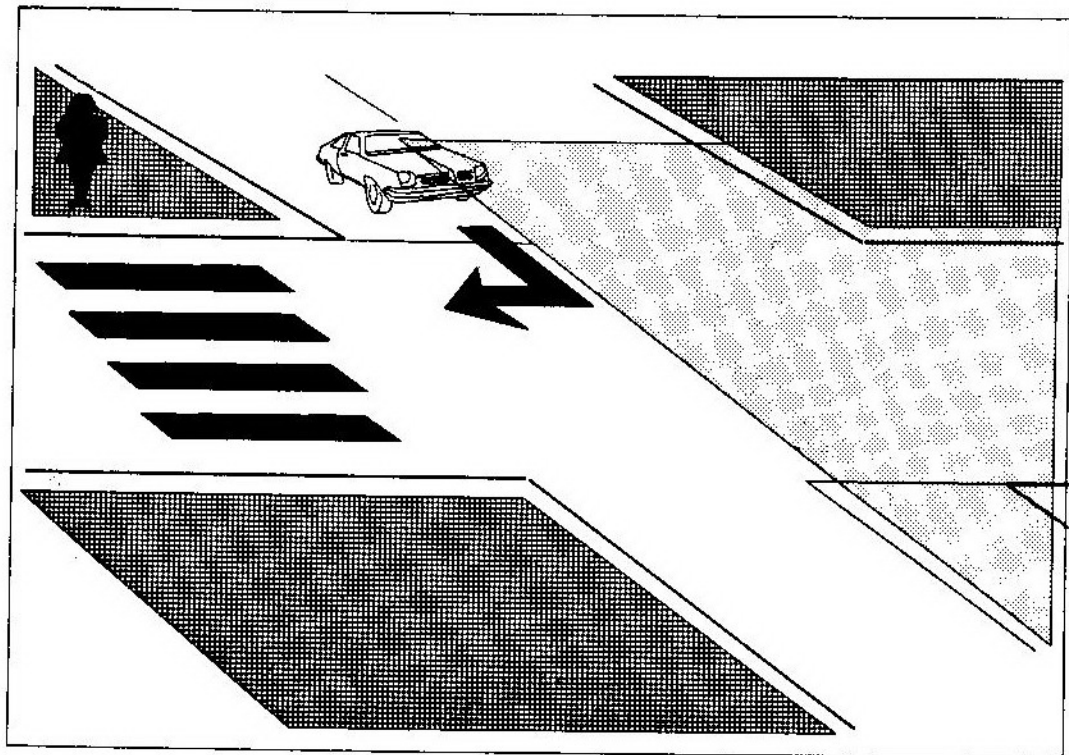
Ne ulazeći u detalje problema sukobljavanja pješackog i motornog prometa, preko jednog tipičnog primjera

pokušat će se objasniti suština znatnog broja konfliktnih situacija, koje se javljaju na mjestima intenzivnog presijecanja pješackih s tokovima motornih vozila. Tipičan primjer velikog broja konfliktnih situacija takvog tipa vezan je za situaciju prikazanu na slici 3.

Konfliktne situacije, kao što su prikazane na slici 3, nastaju prvenstveno zbog postojećih ograničenja u vizuelnoj percepciji.

Naime, na slici 3 prikazana je situacija u kojoj vozač nailazi na cestu s prvenstvom prolaza s namjerom da skrene udesno. Njegovo skretanje udesno uvjetovano je vozilima koja s lijeve strane dolaze prioritonom cestom i pri tom zadržavaju smjer kretanja i pješacima koji prelaze cestu. Pošto su za njega vozila daleko opasnija, jasno je da će njegova pažnja, uglavnom, biti usmjerena u smjeru njihovog nailaska. Pri tom i vozač i pješak čekaju prvi slobodni interval da bi realizirali svoju namjeru. Pješak koji prelazi cestu na označenom pješackom prijelazu ima prednost, jasno uočava vozilo koje skreće udesno i smatra da je vozač zamijetio i njega. Međutim, to ne mora biti uvijek tako, jer je pažnja vozača uglavnom usmjerena u lijevu stranu, te se često može desiti da nije opazio pješaka ili da ga nije opazio u vrijeme, što dovodi do pojave konfliktnih situacija. Stoga se pješacima preporuča da se u takvim situacijama, a i u nizu sličnih koje se mogu pojaviti u prometu, bez obzira na činjenicu što imaju prvenstvo prolaza, uvjere da li ih je vozač zamijetio ili nije, te da na osnovu toga korigiraju svoje ponašanje i dinamiku kretanja. Vjerojatnost da vozač ne uoči pješaka veća je u složenijim prometnim situacijama (složena raskršća sa većim brojem prilaza po smjerovima vožnje). Konfliktne situacije ovog tipa mogu se pojaviti i na raskršćima sa svjetlosnom signalizacijom.

U ovom dijelu nisu analizirani brojni primjeri nediscipline pješaka i vozača koji utječu na stvaranje konfliktnih situacija, a time i na nastanak prometnih nezgoda.



Sl. 3 Prikaz jedne od čestih konfliktnih situacija na raskršćima

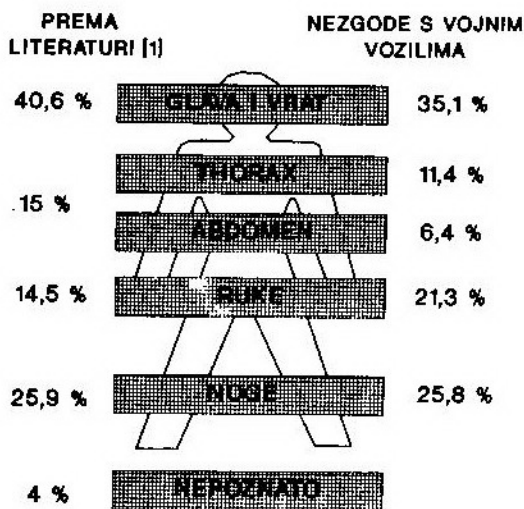
### Ugroženost pješaka u cestovnom prometu

U uvodnom dijelu članka istaknute su neke osnovne karakteristike vezane za prometne nezgode u kojima sudjeluju motorna vozila i pješaci. Jasno je da u tom pogledu pješaci nemaju praktično nikakve šanse i da su oni izloženiji traumatizmu od vozača koji su zaštićeni konstrukcijom vozila.

U prometnim nezgodama posebno ugroženi dijelovi tijela pješaka su glava i ekstremiteti (sl. 4).

Na slici 4 prikazane su raspodjele ozljeda po tijelu pješaka dobijene statističkom obradom podataka o hospitaliziranim sudionicima nezgoda [1] i statističke obrade podataka o ozljedama pješaka u prometnim nezgodama s vojnim motornim vozilima koji su prikupljeni u statističkom listu o prometnoj nezgodi [6, 7].

Raspodjela ozljeda ukazuje na relativno mala odstupanja podataka, što u biti znači da je priroda traumatizira-



Sl. 4 Raspodjela ozljeda na tijelu pješaka

nja pješaka ista. Pri tom, treba istaći da su povrede pješaka u prometnim nezgodama, u principu, teške i višestruke i da su u tjesnoj korelacionoj vezi s niletnom brzinom vozila.

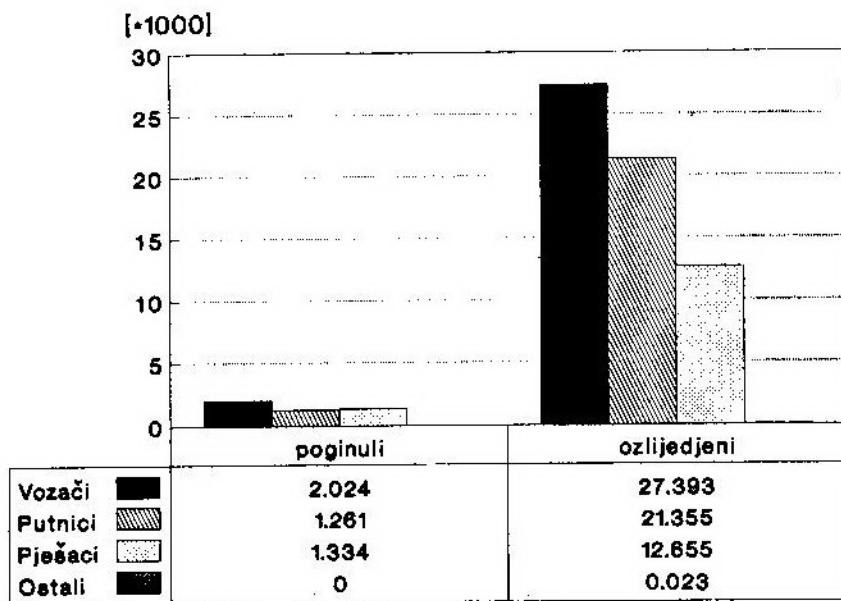
Mjere pasivne zaštite koje se odnose na oblikovanje motornih vozila ne mogu bitnije smanjiti traumatizam pješaka, pa je mjere za povećanu zaštitu pješaka u prometu potrebno prvenstveno tražiti u ponašanju vozača i pješaka.

U Jugoslaviji je 1989. registrirano ukupno 45.798 prometnih nezgoda s stradanim licima [8]. Od toga su 40.553 nezgode izazvali vozači, 5.010 nezgoda pješaci i 194 nezgode ostali sudionici prometa. Iz istog izvora može se doći do

podatka da je u 1989. ukupno stradalo (poginulo i ozlijeđeno) 13.989 pješaka. Ako se pretpostavi da je to ujedno i približan broj prometnih nezgoda s pješacima (mali je broj nezgoda u kojima je stradao veći broj pješaka), onda se može konstatirati da su pješaci prouzrokovali oko 35—40% tih nezgoda.

Navedeni podaci navode na zaključak da u području sigurnosti cestovnog prometa jedan značajan dio preventivnih mjera treba usmjeriti i prema pješacima kao vrlo velikoj i u značajnoj mjeri akcidentnoj grupaciji sudionika cestovnog prometa.

Ugroženost pješaka u prometu može se uočiti i iz strukture stradalih sudionika prometnih nezgoda (sl. 5).



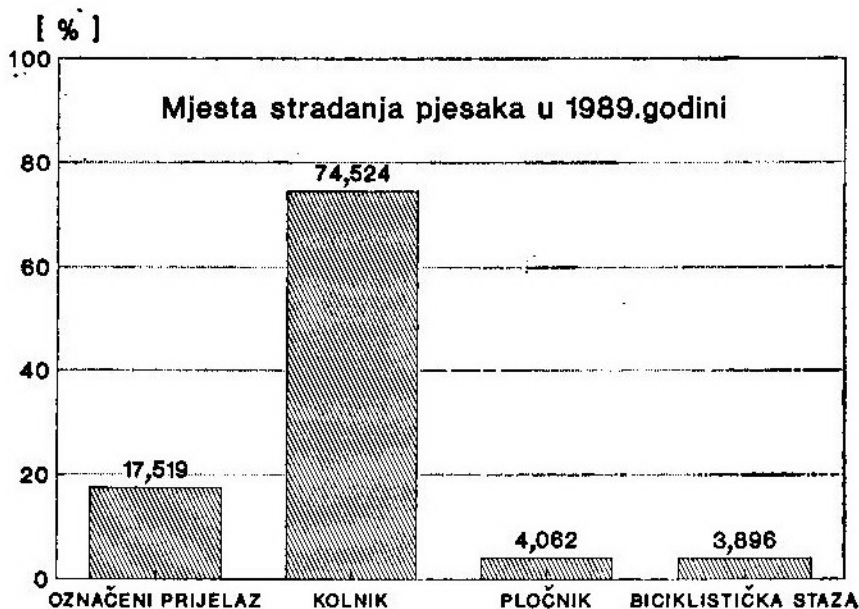
Sl. 5 Struktura stradalih osoba u prometnim nezgodama u 1989. god.

U Jugoslaviji je u 1989. od ukupnog broja prometnih nezgoda s stradanim osobama bilo oko 30% nezgoda s pješacima, poginulo je oko 29% i ozlijeđeno oko 20% pješaka u odnosu na ukupan broj poginulih, odnosno ozlijeđenih osoba u prometnim nezgodama.

Ako se analiziraju mjesta na kojima dolazi do stradanja pješaka (sl. 6), onda na prvo mjesto dolazi kolnik.

Klasifikacija mjesta stradanja pješaka izvršena je prema karakterističnim elementima poprečnog presjeka ceste uz izdvajanje označenog pješačkog





Sl. 6 Mjesta stradanja pješaka

prijelaza kao posebne kategorije. Kada se analizira stradanje pješaka na kolniku (74%), mora se imati u vidu da u tu kategoriju ulaze sve prometne nezgode do kojih je došlo pri nalijetanju vozila na pješaka, bez obzira na činjenicu da li su se oni kretali paralelno s tokom motornih vozila ili su prelazili preko kolnika van pješačkog prijelaza.

Za ovaj tip prometnih nezgoda može se konstatirati da je većina uzroka vezana za rizično ponašanje i svjesno kršenje postojećih propisa, kao i za probleme vezane s perceptivnim poteškoćama, bilo da su vezane za pješake ili vozače.

Posebno zabrinjava činjenica da se velik broj prometnih nezgoda događa i na označenim pješačkim prijelazima. Iako je odgovornost za nezgode s pješacima na tim mjestima vezana, u principu, za vozače, pješaci moraju biti svjesni činjenice da radi ostvarenja osobne sigurnosti moraju dobro analizirati prometnu situaciju i kretanje preko kolnika nastaviti samo u slučaju kada se uvjere da su osigurani svi uvjeti za sigurno prelaženje, odnosno da ih je

vozač zapazio i ispoljio namjeru da ih propusti.

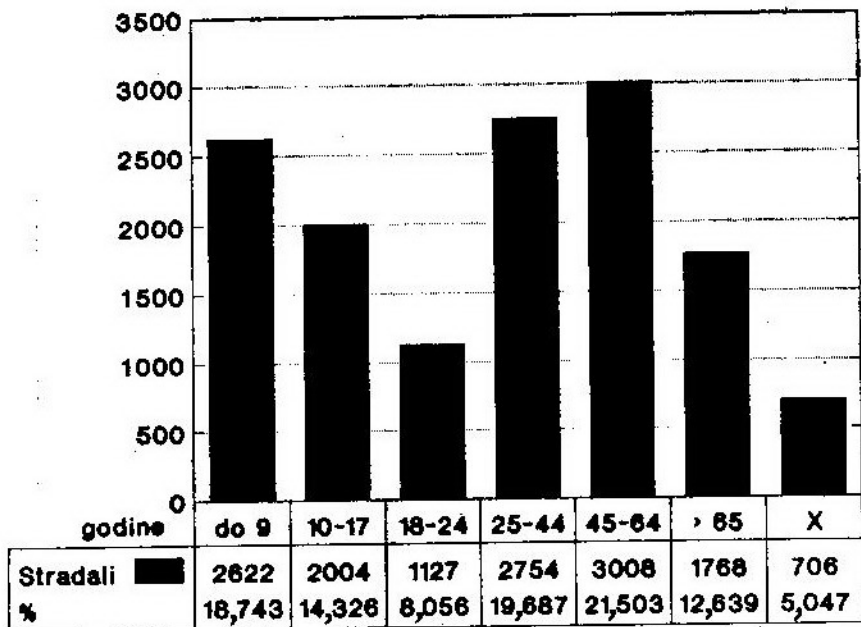
Iako je stradanje svake osobe u prometu tragičan događaj i nenadoknдив gubitak za porodicu stradalog i društvo u cjelini, posebno su tragična stradanja djece i mladih (sl. 7).

U prometnim nezgodama u svojstvu pješaka strada oko 33% (1/3) osoba mlađih od 18 godina, odnosno oko 18% osoba do 9 godina.

Kada su u pitanju djeca do 9 godina, mora se imati u vidu činjenica da oni najčešće nisu svjesni opasnosti kojoj su izloženi u prometu i da njihov motorno-perceptivni sustav nije u stanju da izvrši pravilnu i potpunu identifikaciju opasnosti niti da na nju može reagirati u pravo vrijeme i na ispravan način. Stoga je s ovom grupacijom potreban intenzivan i kontinuiran preventivni rad u kući (porodici) i školi.

Slični problemi perceptivno-motorne prirode vezani su i za populaciju osoba starijih od 65 godina.

Potpunija slika ugroženosti pojedinih starosnih skupina pješaka u pro-



Sl. 7 Starosna struktura stradalih pješaka u prometnim nezgodama

metu može se dobiti komparativnom analizom koja obuhvata starosnu strukturu stradalih i starosnu strukturu populacije nekog područja, regije ili države u cijelosti.

Iako je na prikazanom dijagramu (sl. 7) populacija pješaka starosti od 18 do 24 godine zastupljena s relativno najmanjim postotkom, mora se konstatirati da je širina analizirane klase relativno mala, pa se ne može zaključiti da je ta starosna kategorija ujedno i najsigurnija u prometu. Većina vojničkog sastava JNA spada upravo u navedenu starosnu grupaciju.

Ukoliko se žele dobiti pouzdaniji podaci o ugroženosti pojedinih struktura u cestovnom prometu, potrebno je, pored komparativnih metoda, koristiti i odgovarajuće pokazatelje sigurnosti cestovnog prometa.

### Umjesto zaključka

U prezentiranom radu predstavljen je samo dio problematike vezane za

analizu i preventivu pješačkog prometa. Težište je na analizi manjeg broja konfliktnih situacija koje se mogu pojaviti, vezane su za problematiku percepcije i određene konstruktivne karakteristike prometnica. Pored ovog članka, bit će posebno obrađena i problematika normativnog reguliranja ponašanja pješaka u prometu, vidljivost i specifičnosti pješačkog prometa vojnih lica, čime će se ovo područje zaokružiti i upotpuniti. Pošto istaknuti elementi čine jednu zaokruženu cjelinu, na kraju ovog rada ne daju se posebni zaključci, iako je u samom radu ukazano na osnovne probleme i područja kojima u preventivnom radu s vojnicima treba posvetiti posebnu pažnju.

U preventivnom radu s vojnicima treba voditi računa o njihovim individualnim sposobnostima koje su uvjetovane psihofizičkim stanjem, intelektualnim sposobnostima socijalnim porijeklom, mjestom rođenja, itd. Ovi elementi trebaju predstavljati osnovu za konceptualizaciju preventivnog rada i os-

posobljavanje vojnika za sigurno učešće u pješačkom prometu, posebno kada su u pitanju veći gradovi. Pri tom treba polaziti od općih zakonitosti odvijanja pješačkog prometa, ali i od regionalnih i lokalnih specifičnosti koje su svojstvene svakoj urbanoj cjelini.

Statistički podaci, a i određene karakteristike ponašanja pješaka u prometu, ukazuju na to da je njihova si-

gurnost najvećim dijelom ovisna o vlastitim postupcima u prometu, sposobnostima i o poznavanju osnovnih zakonitosti vezanih za konflikte između motornog i pješačkog prometa.

Pješaci su, u konfliktima između motornog i pješačkog prometa, uvijek gubitnici, te ih moraju izbjegavati u svim situacijama, pa i u onim u kojima je prednost na njihovoj strani.

#### Literatura:

- [1] I. Jelčić: »Medicina prometa« Istraživački centar za medicinu i psihologiju prometa Zavoda za zaštitu zdravlja grada Zagreba, Zagreb, 1985.
- [2] I. V. Begma, E. V. Gavrilov, J. A. Kalužskij: »Učest psihofiziologiji voditelja pri projektovanju avtomobil'nyh dorog«, Transport, Moskva, 1976.
- [3] S. Milošević: »Saobraćajna psihologija«, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [4] »Osnove vojne psihologije«, VIZ, Beograd, 1973.
- [5] E. M. Lobanov: »Projektovanje dorog i organizacija dviženja s učestom psihofiziologiji voditelja«, Transport, Moskva, 1984.
- [6] Z. Happ: »Tematski izvještaji o saobraćajnim nezgodama vojnih vozila — rezultati AOP«, CVTS, Zagreb, 1989.
- [7] Z. Happ: »Taumatizam u prometnim nezgodama vojnih vozila«, Pozadina 6/90, VIZ, Beograd, 1990.
- [8] »Saobraćajne nezgode na putevima 1989.«, SSUP, Beograd, 1990.
- [9] »Pravilnik o bezbednosti putnog saobraćaja u oružanim snagama«, SSNO, Beograd, 1989.

### Uvod

Pešaci su najbrojniji pa i najugroženiji učesnici u saobraćaju. Stradaju u naseljenim mestima i na putevima van naselja, pri prelasku kolovoza na pešačkom i van pešačkog prelaza, pri kretanju kolovozom, pa čak i izvan kolovoza (na trotoaru, bankini, biciklističkoj stazi). Pešaci stradaju danju i noću, a najteže pešačke nezgode događaju se u suton, odnosno pri prelasku dana u noć (16—20 h). U gradu se događa veći broj pešačkih nezgoda, a na putevima van naselja teže nezgode.

Prema istraživanju iz Velike Britanije na uzorku od 17.000 ljudi došlo se do sledećih interesantnih podataka u vezi ugroženosti pešaka [5]:

— ljudi prosečno dnevno pešače van zgrada oko 20 minuta i za to vreme prosečno pređu oko 1,32 km;

— na osnovu tih ulaznih podataka izračunata je ugroženost pešaka u saobraćaju preko pokazatelja učestalosti. Prosečno se u V. Britaniji dogodi 310 nezgoda na  $10^8$  (100 miliona) pešak — kilometara. Prema ovom pokazatelju, pešaci su ugroženiji od vozača motornih vozila;

— ugroženost pešaka u toku dnevne svetlosti je proporcionalna proizvodu intenziteta pešačkih i automobilskih tokova;

— petak i subota su relativno najopasniji dani za pešake, zima je opasnija od leta, a najugroženije starosne grupe su pre 15. godine i nakon 60. godine.

Najopasnija situacija je kada se pešaci pojave ispred vozila iznenada, pa u tom slučaju vozač nema nikakvu mogućnost da izbegne nalet. To su situacije kada se pešak pojavi iza parkiranoeg teretnog vozila, iza autobusa koji stoji na kolovozu radi iskrcavanja putnika, za zgrade ili bilo kog objekta koji vozaču zaklanja preglednost. Još je opasnije ako pešak neočekivano i nepredviđeno utrči na kolovoz ispred vozila. Zajednička karakteristika ovih opasnih situacija, koje najčešće završe naletom, jeste kratko vreme (najčešće 1—2 s) od trenutka stupanja pešaka na kolovoz do nezgode. Vozač tada, bez obzira na svoje sposobnosti i brzo reagovanje, nema ni teoretsku šansu da izbegne nalet.

Pored navedenih opasnih situacija, pešaci ometaju i ugrožavaju saobraćaj ako pri prelasku kolovoza ne obraćaju pažnju na nailazeća vozila, dvoume se i stvaraju zabunu kod vozača, nepotrebno se predugo zadržavaju na kolovozu, nose predmete većih dimenzija koji im zaklanjaju vidik, u alkoholisanom stanju teturaju se po putu, nešto rade pored puta, prelaze kolovoz na crveno svetlo semafora, ako prelaze kolovoz van pešačkog prelaza, i sl.

Ugroženost pešaka u saobraćaju je mnogo veća ako se na kolovozu odvija mešoviti saobraćaj (pešaci, bicikli, motocikli, traktori, zaprežna vozila, automobili). U tom slučaju na istoj saobraćajnoj površini se nalaze vozila različitih vučno-brzinskih i gabaritnih karakteristika i učesnici u saobraćaju različitih psihofizičkih karakteristika, obrazovnog i kulturnog nivoa.

Propisima o bezbednosti saobraćaja su vrlo precizno regulisane dužnosti pešaka pri prelazu kolovoza i pri kretanju po kolovozu. Istim propisima su, takođe, vrlo precizno regulisane obaveze vozača u odnosu na pešake. Ipak, bez obzira na propise, događaju se saobraćajne nezgode. U Jugoslaviji su preko 30% poginulih i oko 22% nastradalih u saobraćajnim nezgodama, pešaci. Od ukupnog broja, 13% pešaka je nastradalo na pešačkim prelazima, 79% na kolovozu, 3,8% na trotoaru i oko 3,2% na biciklističkoj stazi (sl. 1).

**Osnovna pravila kretanja pešaka u saobraćaju**  
(obaveze i opasnosti pešaka u saobraćaju)

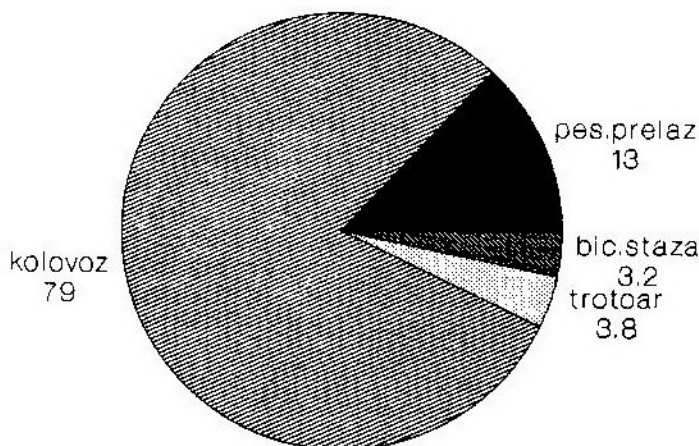
Zakonske osnove bezbednog kretanja pešaka u saobraćaju date su u članovima 103—111 Zakona o osnova-

ma bezbednosti saobraćaja na putevima, koji važi za čitavu teritoriju Jugoslavije i koji je usklađen sa svim međunarodnim konvencijama o drumskom saobraćaju. U njima je regulisano kretanje pešaka i organizovanih pešačkih kolona. Za vojna lica u saobraćaju važe svi zakoni i podzakonski akti koje propisuju savezni organi, republike, pokrajine i opštine. U *Pravilniku o bezbednosti saobraćaja u OS* su regulisani i dodatni propisi i preventivne mere koje se odnose samo na vojna lica.

*1. Površine za kretanje pešaka*

U Zakonu o osnovama bezbednosti saobraćaja na putevima regulisano je da je pešak dužan da se kreće po trotoaru ili po drugoj površini namenjenoj za kretanje pešaka (pešačka staza) ili površini pored puta prikladnoj za kretanje pešaka (bankina, biciklistička staza). Po pravilu, pešak ne sme da se kreće i zadržava na kolovozu. Ako na putu ne postoji trotoar ili druga površina namenjena ili pogodna za kretanje pešaka, pešak se može kretati kolovozom, što bliže ivici (najviše 1 metar), čime najmanje ometa saobraćaj motornih vozila.

Incidentna situacija koja ugrožava pešake su radovi ili parkirana vozila na



Sl. 1 Mesto stradanja pešaka u saobraćaju u [%]

trotoaru, pa pešaci moraju da ih obilaze kretanjem po kolovozu. Ako na bankini pored puta postoji lokva vode ili blato, pešaci mogu da je obilaze po kolovozu, čime se stvara saobraćajna situacija s povećanom opasnošću. Pešak koji, obilazeći prepreku, stupa na kolovoz, to treba da uradi s posebnom pažnjom, tek kada se uveri da neće ometati saobraćaj motornih vozila.

Kada se pešaci kreću kolovozom, u slučaju slabe preglednosti puta, smanjene vidljivosti ili saobraćaja s velikim intenzitetom, dužni su, radi veće bezbednosti, da se kreću jedan iza drugog, odnosno u koloni po jedan. Ova obaveza odnosi se na sve organizovane kolone, pa i vojne pešačke kolone (kretanje u stroju).

Često se događa da vozilo naleti na pešaka koji je upravo izašao iz motornog vozila, parkiranog na saobraćajnoj traci. Dužnost je svakog vozača da svoje putnike upozori na ovu opasnost i da im preporuči da izlaze na desnu stranu. Mnoge starešine vojnih motorizovanih kolona koje se svakodnevno kreću po drumovima, u svojoj zapovesti zabranjuju izlazak sa leve strane vozila vozaču, suvozaču i putnicima, ako je vozilo i najmanjim svojim delom na saobraćajnoj traci.

Za vreme zastanka vojne motorizovane kolone na putu ili pored puta, iz bezbednosnih razloga potrebno je zabraniti vojnicima zadržavanje na saobraćajnoj traci, a preporučuje se određivanje i dežurnog vojnika sa zadatkom da o tome vodi računa.

## 2. Strana kretanja po kolovozu

Pešak koji se kreće kolovozom po javnom putu, van naseljenog mesta, dužan je da se kreće uz *levu ivicu kolovoza* u smeru kretanja. Ova odredba doprinosi većoj zaštiti pešaka, jer tada može mnogo bolje da uoči vozila koja mu dolaze u susret, u odnosu na vozila iza, ako bi se kretao desnom stranom. Ova prednost je naročito izražena noću.

Ako je to za pešaka bezbednije, dozvoljeno je u nekim situacijama da

pređe na desnu stranu kolovoza. To su opasna mesta, kao što su nepregledne krivine, kada se s leve strane nalazi zgrada, provalija, usek ili odron ili bilo koje mesto sa kojeg pešak u slučaju opasnosti nema kuda da pobegne.

Pešak koji gura ručna kolica, bicikl ili motocikl, pešaci u invalidskim kolicima i *organizovane pešačke kolone* kreću se uz *desnu ivicu kolovoza*, u smeru kretanja. Bočni razmak od desne ivice kolovoza ne sme da prelazi 1m. Invalidska kolica moraju zauzeti bezbednosni bočni razmak do desne ivice kolovoza.

Propisi o kretanju organizovanih pešačkih kolona razlikuju se u republičkim zakonima o bezbednosti saobraćaja, u odnosu na Zakon o osnovama bezbednosti saobraćaja. Po republičkim propisima organizovana kolona treba da se kreće što bliže desnoj ivici kolovoza. Na dvosmernim putevima se po jednom saobraćajnom trakom za svaki smer, kolona ne sme zauzimati više od jedne polovine kolovoza. Ako postoje tri saobraćajne trake, kolona ne sme da zauzima više od desne saobraćajne trake.

Preporučuje se guranje bicikala, mopeda ili motocikala s njihove desne strane. Kada se pešak nalazi desno od bicikla, pri eventualnom naletu vozila dolazi do primarnog sudara automobila i zadnjeg točka motocikla, mopeda ili bicikla, umesto automobila i pešaka. Osim toga, u opasnoj situaciji pešak ima i veću šansu da se spasi bočnim pomakom u desno.

Iz bezbednosnih razloga komandir vojne pešačke kolone ne sme da se kreće levo od jedinice, kako je to uobičajeno u kasarni ili na poligonu. Najbezbednije mesto je ispred ili iza stroja, što nije u suprotnosti sa vojnim propisima.

## 3. Prelaženje kolovoza

Pešak preko kolovoza mora da prelazi najkraćim putem, a to je pod pravim uglom u odnosu na smer kretanja

vozila, odnosno prostiranja puta. Pre stupanja na kolovoz pešak je dužan da se uveri da li je prelaz bezbedan. Ova obaveza pešaka važi u svim situacijama, bez obzira na to da li se prelazak vrši van pešačkog prelaza, na pešačkom prelazu, na raskrsnici sa ili bez semafora, itd. To će najbolje da uradi ako pogleda levo i desno i proceni udaljenost nailazećih vozila. Ko nije siguran u svoju percepciju udaljenosti i brzine, treba da sačeka malo duže vreme i propusti sva nailazeća vozila. Zbog ove greške u percepciji često u saobraćaju stradaju stariji ljudi, a zbog neiskustva i neopreznosti često i deca.

Na putu koji ima obeležene pešačke prelaze ili posebno izgrađene prelaze za pešake (pothodnici, nathodnici), pešak je dužan da ih koristi, ako nisu udaljeni više od 100 m.

Pri prelasku kolovoza u bilo kojoj varijanti ne preporučuje se trčanje, već normalan ili ubrzani hod.

Pri prelasku kolovoza van pešačkog prelaza, pešak ne sme da stupi na kolovoz ako time ometa saobraćaj motornih vozila. Šta se podrazumeva pod ometanjem saobraćaja nije regulisano zakonom, ali se smatra da pešak ometa saobraćaj ako bilo koji vozač zbog njega mora da usporava ili skreće vozilo.

Van pešačkog prelaza »prednost« imaju vozači motornih vozila. Ipak, to ne znači da vozač ima pravo da »gazi« pešaka. Obaveza je vozača da sve preduzme da ne dođe do kontakata vozilo-pešak. Ovo načelo važi i kada pešak prelazi kolovoz na crveno svetlo. Ometanjem saobraćaja pešaci izlažu riziku prvenstveno vlastiti život.

Pri prelazanju puta pešaci treba da se kreću po desnoj strani pešačkog prelaza (zebre) da bi omogućili dvosmerni saobraćaj pešaka. Poželjno je da se pri prelazanju stalno osmatra saobraćajna situacija, bez obzira na to što na pešačkom prelazu pešaci imaju prednost. Zbog toga je, recimo, Pravilom službe OS regulisano da se vojna lica ne pozdravljaju na pešačkim prelazima.

Na mestima na kojima je saobraćaj regulisan semaforima pešak može pre-

laziti kolovoz kada na semaforu ima upaljeno zeleno svetlo sa siluetom pešaka u zakoračenom položaju, a ako postoji samo semafor za vozila, pešak može prelaziti kolovoz kada na semaforu ima upaljeno zeleno svetlo. Umesto semafora saobraćaj može da reguliše ovlašteno lice, pa je pešak dužan da postupa prema njegovim znacima. Dozvoljen mu je prelaz kada mu je saobraćaj okrenut bočno i ako smerom svog kretanja ne preseca pravac njegove ispružene ruke.

#### 4. Posebna pravila za kretanje vojnih pešačkih kolona

Posebni dodatni propisi koji važe za vojna lica pešake i vojne pešačke kolone su regulisane članovima 24—27 Pravilnika o bezbednosti putnog saobraćaja u oružanim snagama.

U tim propisima je regulisano da se kolone vojnih pešaka moraju prvenstveno kretati po površinama namenjenim za kretanje pešaka, a izuzetno desnom stranom kolovoza. Dakle, najvažnija preventivna mera je izbegavati kretanje jedinice po putu na kojem se odvija automobilski saobraćaj.

Radi povećanja bezbednosti vojnih lica u saobraćaju, vojne pešačke kolone označavaju se zelenim barjačićem na čelu i crvenim na začelju ili nekim drugim sredstvima koja usvoje oružane snage.

Preporučuje se da se jedinice nivoa odeljenje — vod zbog bezbednosti, ako se kreću po saobraćajnoj traci, kreću u koloni po jedan. Pri nailasku kolone na saobraćajne trake i na drugim opasnim i nepreglednim mestima, komandir treba obavezno da prestroji jedinicu u kolonu po jedan. Pri obilaženju parkiranog vozila ili druge prepreke, potrebno je zaustaviti vozila iza stroja na propisan način.

Noću i u uslovima smanjene vidljivosti se, radi veće bezbednosti, čelo kolone označava belim snopom svetlos-

ti, usmerenim napred, a začelje crvenim snopom svetlosti, usmerenim unazad. Barjačice i baterijske lampe nose vojници koji se nalase na levom krilu kolone. Ako starešina kolone ne može da obezbedi propisano označavanje kolone ili ako zaključi da je kretanje po kolovozu opasno, iz bilo kog razloga, (intenzivan saobraćaj, magla, vejavica) dužan je da kretanje kolone usmeri odgovarajućim pravcem van puta.

Kada vojna pešačka kolona samo prelazi preko kolovoza, starešina kolone će postaviti dva lica koja će na bezbednom razmaku prethodno zaustaviti saobraćaj iz oba pravca. Lica koja zaustavljaju saobraćaj moraju biti opremljena propisanim narukavljem i saobraćajnom lopaticom. Noću saobraćajne lopatice moraju imati izvor svetlosti ili se moraju koristiti baterijske lampe. Znaci koje ova lica daju učesnicima u saobraćaju moraju biti istovetna znaci- ma koje daju ovlaštena službena lica. To znači da ta lica moraju prethodno biti obučena za taj zadatak. Preporuka je da zbog lične bezbednosti, lica koja zaustavljaju vozila stoje uz ivicu kolovoza bar dok stane prvo vozilo iz niza (slika 2). Nagla i neočekivana pojava vojnika »saobraćajca« na saobraćajnoj

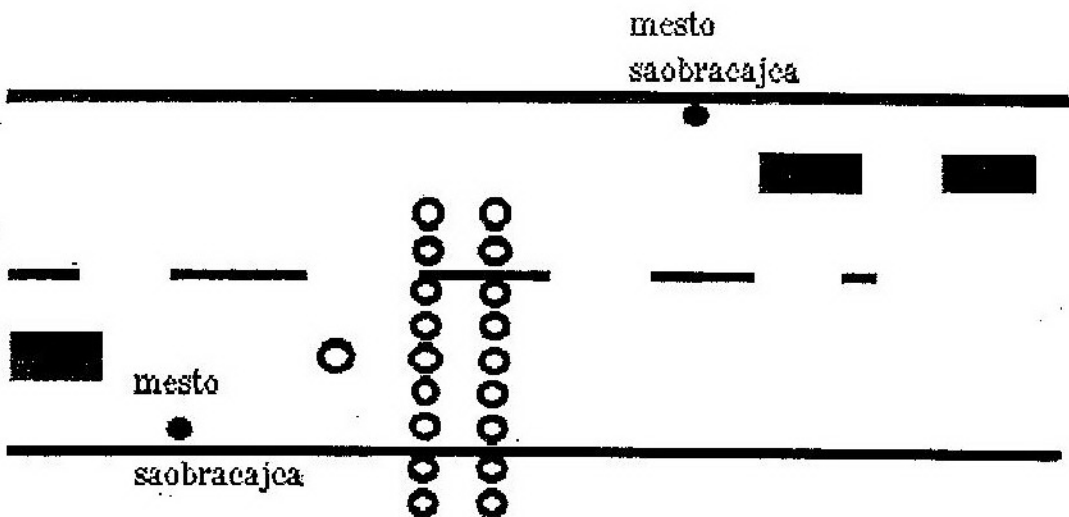
traci može da bude opasna po njegov život, naročito na mestima gde to nije svakodnevna pojava.

### Saobraćajna disciplina i kultura pešaka

Mnogi vozači optužuju pešake za saobraćajnu nekulturu, jer im smetaju, ograničavaju im brzinu i način kretanja, itd. Međutim, kada vozači izađu iz automobila i postanu pešaci, optužuju vozače motornih vozila za nekulturu. Dakle, postoje dva kriterijuma za ocenju ponašanja drugih, odnosno nema dovoljno objektivnosti u ponašanju na relaciji vozač-pešak.

Pešaci se često ponašaju nepredvidivo, pa vozači moraju imati na umu i tu činjenicu. Zato je osobina dobrog, odnosno bezbednog vozača da predviđa saobraćajnu situaciju, a naročito opasne situacije u vezi s pešacima i njihovim namerama. Na primer, ako na put doleti lopta ili ako je u blizini dečji bicikl, treba uvek očekivati da će ispred vozila istrčati dete.

Zbog neadekvatne organizacije saobraćaja u mnogim našim gradovima, a i zbog niskog nivoa saobraćajne kultu-



Sl. 2 Položaj vojnika koji zaustavljaju saobraćaj pri prelasku pešačke kolone preko kolovoza



re, obaveze i propisi iz zakona u vezi prelaženja kolovoza u praksi se često ne poštuju. Tako, na primer, uobičajena je pojava da mnogo pešaka prelazi pešački prelaz na crveno svetlo, ako nema vozila na putu. Na složenijim raskrsnicama je veoma česta slika pretrčavanja dela kolovoza na crveno svetlo, pa čak i ispred vozila koja upravo startuju na »svoje« zeleno svetlo. Pešaci često krše saobraćajne propise žureći na tramvaj ili gradski autobus, čime ometaju i ugrožavaju saobraćaj motornih vozila i svoj život.

Mnogi vozači ne poštuju saobraćajne propise u vezi sa pešacima. To govori o njihovoj opštoj, pa i saobraćajnoj kulturi, čime se iskazuju i njihove druge negativne osobine kao što su nedisciplinovanost, nestaloženost, itd. Najgore je kada roditelj prelazi kolovoz na crveno svetlo semafora sa svojim detetom. Tako se deca odmalena navikavaju na nedisciplinu i nepoštovanje propisa. Posebno je ružna slika, a to nije neuobičajena pojava, da vojna lica (vojnici i oficiri) u uniformi prelaze kolovoz na nedozvoljenom mestu ili na crveno svetlo.

Nedisciplini pešaka doprinosi i neadekvatna razmeštenost pešačkih prelaza, semafora, i slično. Ipak, to ne sme da bude opravdanje za kršenje propisa.

Mnoge kasarne imaju dobro rešenu horizontalnu i vertikalnu signalizaciju u kasarni. Postoje i propisno obeleženi pešački prelazi, ali, takođe, mnogi smatraju da to za njih ne vredi. Poštovanjem saobraćajnih propisa u vezi s regulacijom saobraćajnih i pešačkih tokova u kasarni vaspitno se deluje na vojnike da se tako ponašaju i u gradu.

### **Vidljivost pešaka u saobraćaju**

Sivomaslinasta boja je dobra s aspekta maskirnosti, ali izuzetno loša s aspekta uočljivosti, a time i bezbednosti u saobraćaju. Takva uniforma je teže uočljiva i u saobraćaju, naročito ako je vidljivost smanjena (magla, suton, noć) ili ako je slab kontrast sa okolinom.

Izmena Pravila službe OS da starišine na posao i vojnici pri izlasku u grad mogu da nose civilno odelo, svakako će doprineti njihovoj prosečnoj boljoj uočljivosti u saobraćaju, čime se očekuje i manji broj naleta vozila na vojna lica pešake.

Osnovni uzroci pešačkih saobraćajnih nezgoda noću i u uslovima smanjene vidljivosti slični su kao i za ostale nezgode, ali ima i specifičnih uzroka, odnosno objektivnih okolnosti koje su dovele do nezgode.

Jedan od glavnih faktora koji doprinosi nastanku nezgoda noću jeste pogoršano viđenje, kako vozača tako i pešaka. Kao neposredni uzroci nezgoda u vezi sa viđenjem, u literaturi se spominju *smanjena vidljivost* (loša osvetljenost) i *zaslepljenost vozača farovima drugih vozila*.

Pešak noću svojom odećom čini odsajni reflektor i upravo od vidljivosti njegove odeće zavisi na kojoj udaljenosti će biti vidljiv. Veoma je važno da vozač opazi pešaka na odstojanju većem od njegovog zaustavnog puta. Danju to najčešće nije problem, ako se svi pridržavaju saobraćajnih propisa. Noću je vidljivost bitno smanjena kod svih učesnika u saobraćaju. Zato je poželjno da pešaci i biciklisti povećaju svoje »svetlosne koeficijente«, tj. da budu odeveni i opremljeni tako da se vide na što većoj udaljenosti.

Na slici 3 prikazana je vidljivost 4 pešaka (A, B, C, D) koji su različito obučeni, odnosno koji se vide na različitim udaljenostima noću, u kombinaciji sa tri različite brzine vozila i zaustavnih puteva. Tamno obučeni pešak (A) nalazi se u opasnoj zoni svih vozila koja se kreću 40 km/h i više. Samo pešak koji ima reflektirajuće odelo (D) nalazi se na bezbednom odstojanju.

Pešak u tamnoj odeći odbija samo 2% svetlosti farova. Pešak sa nekoliko svetlih delova odeće od oko 15 cm vidi se na pet puta većoj udaljenosti. Reflektirajuće tkanine i trake na rukavima, maramama i đačkim torbama doprinose znatno boljoj uočljivosti peša-

ka. Poznati princip bezbednosti u saobraćaju »videti i biti viđen« ovde maksimalno dolazi do izražaja.

Na povećani broj nezgoda u odnosu na pređenu kilometražu, kao i na veću težinu nezgoda noću, utiču i sledeći psihofiziološki faktori:

— ljudski organizam nije prilagođen da radi noću a da se odmara danju, nego obrnuto, što вреди za vozače amaterne i profesionalce,

— neznanje i nedostatak motiva vozača da se kvalitetno pripremi za noćni rad,

— nedostatak tehnike i iskustva u upravljanju motornim vozilima noću kod mnogih vozača.

Osim ovih uzroka vezanih za čoveka, bezbednost pešaka noću pogoršavaju i mnogi konstrukcioni elementi puteva i vozila koji su projektovani samo za dnevnu svetlost.

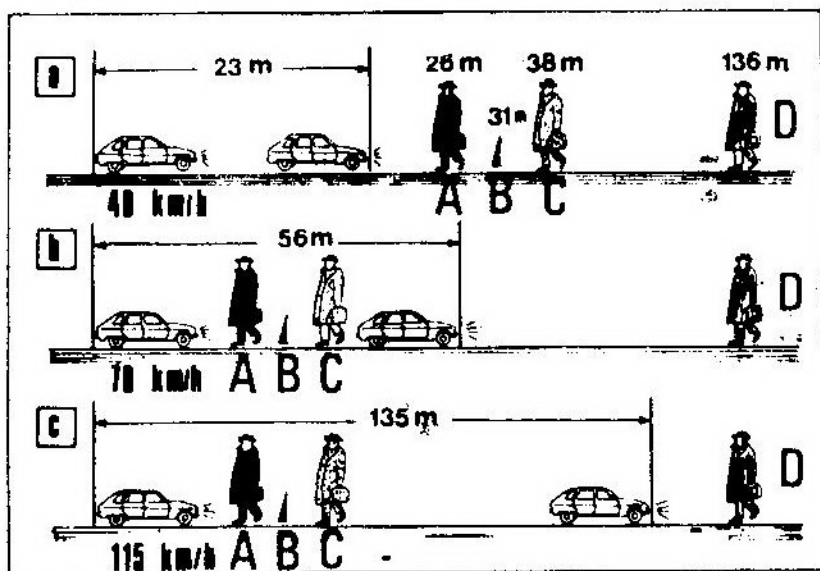
Pri slaboj svetlosti noću narušavaju se osnovne osobine vida, kao što su: oštrina vida, raspoznavanje boja i dubinsko viđenje. Smanjena vidljivost, česta promena inteziteta svetlosti i smanjen broj informacija za vozača noću predstavlja dodatno psihofiziološko opterećenje, koje može u nekoj incidentnoj situaciji da doprinese nastanku nezgode.

Vreme reakcije se iz mnogobrojnih razloga noću i u uslovima smanjene vidljivosti produžava za 0,6—0,7 s.

Specifični uzroci koji pogoršavaju verovatnoću nastanka nezgoda s pešacima su:

— pešaci smatraju da ih vozač vidi ranije nego što je to moguće;

— veliki broj pešaka nosi tamnu odeću koja se u mraku mnogo teže i kasnije uočava;



Sl. 3 Vidljivost pešaka noću u zavisnosti od boje odeće [3]:  
a, b, c — različite brzine kretanja vozila daju različite zaustavne puteve — 23, 56 i 135 m;

Oznake na slici:

A — tamno obučeni pešak vidi se na 26 m,

B — sivo obučeni pešak vidi se na 31 m,

C — svetlo obučeni pešak vidi se na 38 m,

D — pešak s reflektirajućom pločicom vidi se na 136 m.

— mnogi pešaci (naročito stariji) imaju nezadovoljavajuću sposobnost viđenja noću;

— stariji ljudi noću gube sposobnost viđenja, pa pored sporog reagovanja i to doprinosi njihovom češćem stradanju.

### Zaključak

Prezentirana osnovna saznanja iz ove problematike trebalo bi da posluže starešinama svih rodova i službi, kao i građanskim licima na službi u JNA. Navedene činjenice bi najviše trebalo da koriste neposredne starešine vojnika i pitomaca u svakodnevnom vaspitanju i obrazovanju. Pravilnikom o bezbed-

nosti saobraćaja u OS je predviđeno da se sa svakom partijom mladih vojnika održi po jedan nastavni čas iz ove problematike, s posebnim naglaskom na specifične saobraćajne prilike pojedinih garnizona.

Boljim poznavanjem saobraćajnih pravila i propisa, kao i njihovom primenom u praksi, starešine će vaspitno delovati na potčinjene, a i na članove svojih porodica, što je neophodna pretpostavka za povećanje bezbednosti saobraćaja uopšte. Ovim člankom se, pored ostalog, daje skroman doprinos opštejugoslovenskoj akciji za veću bezbednost saobraćaja pod nazivom »Akcija — 100/00«, u koju su se oružane snage uključile od samog početka.

### Literatura:

- [1] Bjelovučić, D. i dr.: »Komentar zakona o osnovama sigurnosti prometa na cestama«, Informator, Zagreb, 1988.
- [2] »Pravilnik o bezbednosti putnog saobraćaja u oružanim snagama«, SSNO, Beograd, 1989.
- [3] Rotim, F.: »Elementi sigurnosti cestovnog prometa«, Svezak 1, JAZU, Zagreb 1989.
- [4] Vodinec, V. i dr.: »Saobraćajna kriminalistika«, Savremna administracija, Beograd, 1986.
- [5] O'Flaherty, C. A.: »Traffic Planning and Engineering«, (Vol. 1) Edward Arnold, London, 1986.
- [6] Đurković, M. i Happ, Z.: »Studija o bezbednosti saobraćaja u JNA«, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [7] »Saobraćajne nezgode na putevima«, Statistički bilteni, SSUP, Beograd, 1980—1989.

**Mr Dragan Knežević,**  
potpukovnik, dipl. inž.

## **Analitičko definisanje hidrauličkih protivudarnih ventila sa armiranom membranom**

### **Uvod**

Zbog funkcionalnih veza između unutrašnjosti objekta, na zaštitnim objektima (skloništima) postoje otvori za kretanje, otvori za dovod i odvod vazduha i vode. U te otvore ugrađuju se razni zatvarači i ventili raznih konstrukcija. Ovi ventili predstavljaju i najosetljivije tačke zaštitnog objekta. Kvalitet zaštite direktno zavisi od kvaliteta zaštite raznih otvora. Sa aspekta zaštite kritične elemente predstavljaju i ventili za odvod otpadne vode iz objekta. U radu će se dati analitički metod definisanja hidrauličnog protivudarnog ventila za zaštitu od prodora vazdušno-udarnog talasa nastalog pri nuklearnoj eksploziji u unutrašnjost objekta.

Cilj ovog stručnog rada je nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja hidrauličnog protivudarnog ventila sa gumenom membranom, u zavisnosti od radnih i geometrijskih parametara ventila i uslova koji moraju biti ispunjeni da pri zatvaranju ventila ne bi došlo do pojave hidrauličnog udara usled naglog zatvaranja.

Da bi se postigao postavljeni cilj, potrebno je dati kompleksnu analizu, koja obuhvata problem definisanja:

1. analitičkog izraza vremena zatvaranja hidrauličnih protivudarnih

ventila za zaštitu od vazdušno-udarnog talasa nuklearne eksplozije;

2. uslova koji moraju biti zadovoljeni da ne bi došlo do pojave hidrauličnog udara u cevovodu, i

3. analitičkog izraza krutosti membrane ventila.

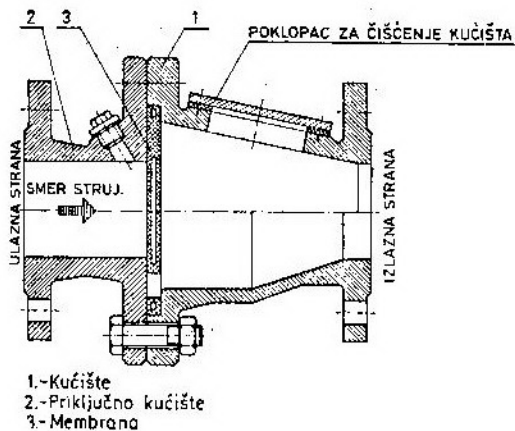
U okviru ovog rada tretiraće se samo uticaj vazdušno-udarnog talasa, pošto ta pojava ima dominantan značaj za problematiku koja se u radu obrađuje.

### **Hidraulični protivudarni ventil sa gumenom membranom**

#### *1. Uloga i namena ventila*

Zadatak ovog ventila jeste da onemogući prodor vazdušno-udarnog talasa (VUT-a) u objekat kroz cevovod za odvod otpadne vode i time spreči oštećenja koja bi mogao izazvati pritisak VUT-a na cevovod.

Koncepcija i konstrukciona rešenja ovih ventila trebalo bi da obezbede njihovu otpornost i funkcionalnost pri visokim udarnim opterećenjima, tj. njihovo zatvaranje pri dejstvu VUT-a i otvaranje po prestanku njegovog dejstva, čime se obezbeđuje slobodan odvod otpadne vode kroz cevovod iz objekta. Na slici 1 dat je šematski izgled hidrauličnog protivudarnog ventila sa gumenom membranom.



Sl. 1 Hidraulički protivudarni ventil sa gumenom membranom

## 2. Funkcija hidrauličnog protivudarnog ventila

Pri nailasku vazdušno-udarnog talasa na objekat, usmereni talas kroz kanal hidrauličnog protivudarnog ventila (u daljem tekstu ventila), dejstvom pritiska na površinu membrane, naglo zatvara otvor na izlaznom cevovodu. Proces zatvaranja odvija se u kratkom vremenskom intervalu, zahvaljujući velikom udarnom opterećenju i maloj masi membrane ventila.

U procesu zatvaranja kroz ventil proći će izvestan impuls pritiska VUT-a. Ventil je zatvoren sve dok se spoljašnja atmosfera nalazi pod natpritiskom. Po prestanku dejstva VUT-a membrana ventila pod dejstvom sile usled isticanja vode dovodi se u otvoren položaj.

Iz uslova stabilnosti strujanja vode kroz ventil proračunava se krutost membrane ventila.

Ovim jednostavnim mehanizmom ostvareni su uslovi zaštite cevovoda za odvod otpadne vode, a istovremeno je obezbeđen protok vode u normalnim uslovima.

## Nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Kod ovog ventila u eksploataciji mogu da nastupe dva karakteristična slučaja, i to:

— membrana ventila u zatvorenom položaju, u slučaju da dođe do prekida odvoda otpadne vode, i

— membrana ventila u otvorenom položaju (ugao  $\varphi_0$ ) pod dejstvom sile koja potiče usled isticanja vode.

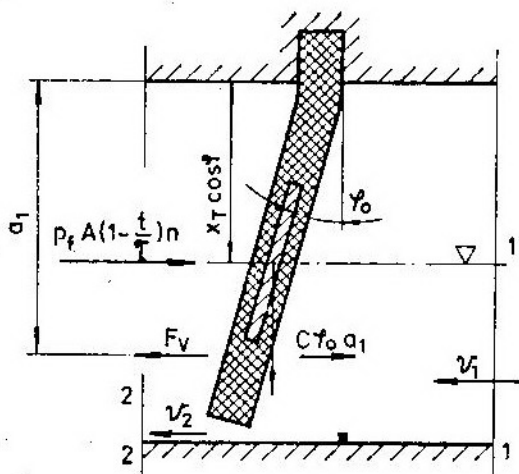
Prvi slučaj nije interesantan za razmatranje. U okviru ovog rada razmatraćemo nepovoljniji slučaj, tj. kada je membrana ventila u otvorenom položaju pri nailasku VUT-a, nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

## 1. Određivanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Mehanički model ventila prikazan je na slici 2. Membrana ventila sa uglom otklona  $\varphi$ , pod dejstvom prinudne sile  $F_p$ , kreće se u zatvoreni položaj.

Na membranu deluje moment koji potiče od inercijalne sile  $J\ddot{\varphi} = J(d^2\varphi/dt^2)$ , moment koji potiče od sile usled isticanja vode  $F_v a_1$ , moment koji potiče od krutosti membrane  $C\varphi a_1^2$ , moment od mase membrane ventila  $mgx_T \sin\varphi$  i moment koji potiče od prinudne sile  $F_p x_T \cos\varphi$ .

Neka je početni ugao otklona membrane ventila od položaja u kome je ventil zatvoren  $\varphi_0$ .



Sl. 2 Sema opterećenja membrane hidrauličnog protivudarnog ventila

Zadatak je da se postavi diferencijalna jednačina kretanja membrane ventila.

Diferencijalna jednačina sistema može da se napiše u obliku:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \left( -F_p x_T \cos\varphi - mg x_T \sin\varphi - C\varphi a_1^2 + F_v a_1 \right) \cdot \frac{1}{J} \quad (1)$$

gde je:

$\frac{d^2\varphi}{dt^2}$  — ugaono ubrzanje membrane ventila,

$F_p$  — prinudna sila, koja deluje na membranu ventila,

$m$  — masa membrane ventila,

$C$  — krutost membrane ventila,

$$T_z = \left[ \frac{2J\varphi_0}{F_p x_T \cos\varphi_0 + mg x_T \sin\varphi_0 + \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{1}{\pi} \right) D (C\varphi a_1 - F_v) \cos\varphi_0} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$x_T$  — rastojanje težišta membrane ventila od obrtne ose,

$\varphi$  — ugao otklona membrane ventila u trenutku  $t$ ,

$a_1$  — najkraće rastojanje centra dejstva sile  $F_v$  od obrtne ose membrane ventila,

$F_v$  — sila usled isticanja vode kroz ventil, i

$J$  — moment inercije membrane ventila za obrtnu osu.

Da bi našli rešenje diferencijalne jednačine (1), potrebno je analitički definisati izraze koji u njoj figurišu.

Najkraće rastojanje  $a_1$  centra dejstva sile  $F_v$  od obrtne ose membrane definisano je izrazom:

$$a_1 = \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{1}{\pi} \right) D \cos\varphi \quad (2)$$

Nakon uvođenja analitičkog izraza rastojanja  $a_1$  u diferencijalnu jednačinu (1) i dvostruke integracije uz početne uslove:

$$\begin{aligned} 1. t=0 & \quad \varphi = \varphi_0, \\ 2. t=0 & \quad d\varphi/dt = \dot{\varphi} = 0, \end{aligned}$$

rešenje diferencijalne jednačine (1) ima oblik

$$\begin{aligned} \varphi_0 - \varphi = \frac{t^2}{2J} & \left[ F_p x_T \cos\varphi + mg x_T \sin\varphi + \right. \\ & \left. + \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{1}{\pi} \right) D \cos\varphi (C\varphi a_1 - F_v) \right] \quad (3) \end{aligned}$$

Rešenjem jednačine (3) po  $t$  uz granični uslov  $t = T_z$  za  $\varphi = 0$ , analitički izraz vremena zatvaranja ventila ima oblik:

U izrazu (4) figurišu veličine:

$J$  — moment inercije membrane ventila za obrtnu osu,

$m$  — masa membrane ventila,

$x_T$  — rastojanje težišta membrane od obrtne ose,

$F_v$  — sila usled isticanja vode kroz ventil,

$C$  — krutost membrane ventila, i

$F_p$  — prinudna sila usled dejstva VUT-a.

Moment inercije membrane ventila za obrtnu osu određuje se na osnovu Steinerove teoreme i iznosi:

$$J = J_0 + m x_T^2 \quad (5)$$

gde je:

$J_0$  — moment inercije membrane za težišnu osu,

$m$  — masa membrane ventila

$$J_0 = \frac{\pi \delta}{32000} \left[ d^4 (\gamma_c + \gamma_g) + 3 \gamma_g D^4 \right] \quad (6)$$

- $\delta$  [mm] — debljina sloja membrane i čelične pločice,  
 $d$  [m] — prečnik čelične pločice membrane,  
 $D$  [m] — spoljni prečnik membrane ventila,  
 $\gamma_0, \gamma_g$  [kg/m<sup>3</sup>] — zapreminske mase čelične pločice, odnosno gume.

Masa membrane definisana je izrazom:

$$m = \frac{\pi \delta}{4000} \left[ d^2 \cdot (\gamma_0 - \gamma_g) + 3D^2 \gamma_g \right] \quad (7)$$

Rastojanje  $x_T$  težišta membrane od obrtne ose definisano je izrazom:

$$x_T = \frac{2}{3} D \quad (8)$$

Sila  $F_v$  koja potiče od isticanja vode kroz ventil definisana je izrazom:

$$F_v = \frac{\pi \rho D^2}{8} (V_2 - V_1)^2 \quad (9)$$

gde je:

- $\rho$  — zapreminska masa vode,  
 $D$  — prečnik membrane ventila,  
 $V_1$  — brzina vode ispred ventila, i  
 $V_2$  — brzina vode neposredno iza ventila.

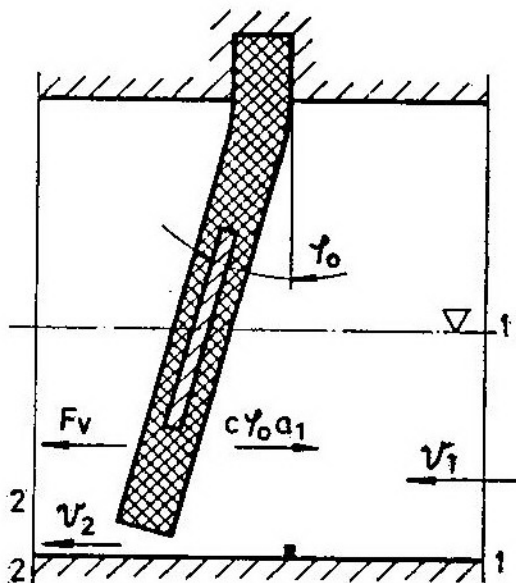
U izrazu za  $F_v$ , brzina  $V_2$  figuriše kao nepoznata, koju je potrebno analitički definisati.

Na slici 3 dat je šematski izgled membrane ventila u otvorenom položaju. Sila usled krutosti membrane ventila definisana je izrazom:

$$F_m = C \varphi_0 a_1 \quad (10)$$

Iz uslova jednakosti ovih sila ( $F_m = F_v$ ) dobija se analitički izraz ugla otklona membrane ventila:

$$\varphi_0 = \frac{\rho \pi D^2}{8 C a_1} (V_2 - V_1)^2 \quad (11)$$



SL. 3 Šematski prikaz membrane ventila u otklonjenom položaju

U jednačini (11) kao nepoznata figuriše krutost  $C$  membrane ventila. Usvajeno je da je okvašena površina jednaka polovini poprečnog preseka cevovoda.

Iz jednačine kontinuiteta određuje se brzina  $V_2$  po obrascu:

$$V_2 = \frac{2}{\varphi_0^2} V_1 \quad (12)$$

Prinudna sila  $F_p$  usled dejstva vazdušno-udarnog talasa, definisana je opštim izrazom:

$$F_p = p_f A \left( 1 - \frac{t}{\tau} \right)^n, \text{ odnosno} \quad (13)$$

$$F_p = p_f A \left( 1 - \frac{t}{\tau} \right)^3 \quad (14)$$

gde je:

- $p_f$  — pritisak u frontu direktnog VUT-a,  
 $A$  — površina membrane ventila,  
 $t$  — vreme za koje se odvija kretanje membrane ventila i ono je reda veličine milisekunda,

- $\tau$  — vreme trajanja pozitivne faze VUT-a u sekundama, i  
 $n$  — eksponent zavisan od nivoa reflektovanog pritiska (otpornosti ventila), ( $n = 3$ ).

Pošto je  $\frac{t}{\tau} \ll 1$ , ovaj odnos može

se i zanemariti u odnosu na jedinicu, a kao zaključak se nameće da veličina eksponenta  $n$  nema uticaja na proces zatvaranja, pa je svejedno koju mu vrednost dodeljujemo.

Pritisak  $p_r$  u frontu VUT-a računa se [2] pomoću obrasca:

$$p_r = 2 p_f + \frac{6 p_f^2}{p_f + 7,2} \text{ [bar]} \quad (15)$$

gde je:

- $p_f$  — reflektovani pritisak VUT-a, koji u ovom slučaju predstavlja nivo otpornosti ventila.

### **Analitičko definisanje uslova koji moraju biti zadovoljeni da se u odvodnom cevovodu ne pojavi hidraulični udar**

Hidraulični udar će se pojaviti u koliko usled naglog zatvaranja ventila dođe do stvaranja vodenog čepa u cevovodu. Uslov da se ne stvori vodeni čep je:

$$H = h + \Delta H < d_1 \quad (16)$$

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho g} \text{ (m)} \quad (17)$$

$$\Delta p = \rho \omega V_1 \quad (18)$$

$$h = d_{1/2} \quad (19)$$

gde je:

- $H$  — nivo poremećene struje vode,  
 $\Delta H$  — promena nivoa vode usled naglog zatvaranja,  
 $h$  — nivo vode u cevovodu pre poremećaja,  
 $d_1$  — prečnik cevovoda,

- $\rho$  — zapreminska masa vode,  
 $\omega$  — brzina prenošenja poremećaja, i  
 $V_1$  — brzina vode ispred ventila ( $V_1 = 0,5 \text{ m/s}$ ).

Brzina poremećaja definisana je Frudovim brojem ( $F_r$ ) i iz uslova da je  $F_r = 1$ , dobijamo:

$$\omega = (gh)^{1/2} \quad (20)$$

Prema tome, hidraulični protivudarni ventil definisan je:

— analitičkim izrazom vremena zatvaranja ventila, i

— analitičkim izrazima, koji definišu uslove koji moraju biti zadovoljeni da se u odvodnom cevovodu ne pojavi hidraulični udar.

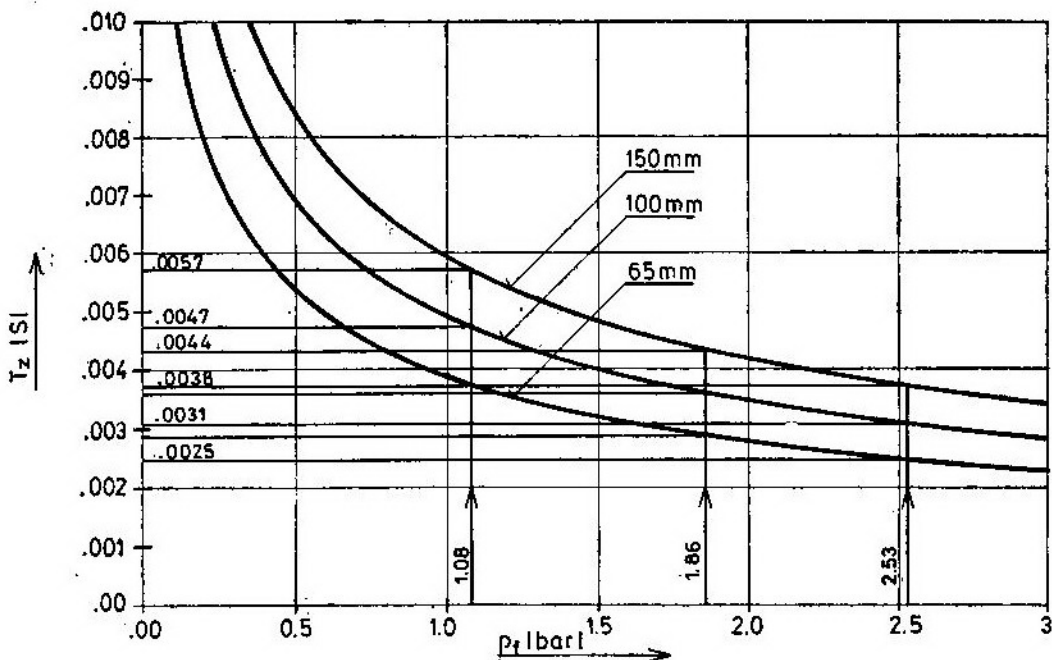
### **Kriterijumi za izbor rešenja ventila**

Cilj ove analize jeste da se predlože kriterijumi za izbor rešenja ventila. Analiza bi trebalo da pokaže da li se mogu primeniti isti kriterijumi za izbor rešenja ovih ventila kao kod protivudarnih ventila za dovod i odvod vazduha iz objekta. Da bi se došlo do postavljenog cilja, potrebno je za ventile nazivnih prečnika 65, 100 i 150 mm, na osnovu analitičkih izraza kojima je definisan ventil i postavljenog kriterijuma vremena zatvaranja ventila 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa, izvršiti proveru postavljene pretpostavke. Tabularni prikaz dimenzija i drugih podataka o ventilima nazivnih prečnika 65, 100 i 150 mm dat je u tabeli 1.

Na osnovu analitičkih izraza kojima je definisan hidraulični protivudarni ventil i ulaznih numeričkih podataka za ventile date u tabeli 1 konstruisani su dijagrami zavisnosti vremena zatvaranja ventila nazivnih prečnika 65, 100 i 150 mm od pritiska u frontu direktnog VUT-a, dati na slici 4.



| 1  | Veličina i oznaka   |                                  | Nazivni prečnik ventila |                 |                 |
|----|---|----------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
|    |   |                                  | H. PUV-65               | H. PUV-100      | H. PUV-150      |
| 1  | 2   |                                  | 3                       | 4               | 5               |
| 1  | Spoljni prečnik membrane ventila                                | $D[m]$                           | 0,085                   | 0,130           | 0,180           |
| 2  | Prečnik čelične ploče membrane ventila                          | $d[m]$                           | 0,075                   | 0,115           | 0,165           |
| 3  | Brzina vode ispred ventila                                      | $V_1[m/s]$                       | 0,50                    | 0,50            | 0,50            |
| 4  | Zapreminska masa materijala membrane ventila                    | $\gamma_g[kg/m^3]$               | 1400                    | 1400            | 1400            |
| 5  | Zapreminska masa čelične ploče membrane                         | $\gamma_c[kg/m^3]$               | 7860                    | 7860            | 7860            |
| 6  | Krutost membrane ventila  | $C \left[ \frac{N}{m^0} \right]$ | 23,3                    | 22,5            | 26,45           |
| 7  | Ugao otklona membrane ventila                                   | $\varphi_0[^\circ]$              | $30^\circ$              | $30^\circ$      | $30^\circ$      |
| 8  | Zapreminska masa vode   | $\rho[kg/m^3]$                   | 1000                    | 1000            | 1000            |
| 9  | Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za $p_r = 900 \text{ kPa}$ ) | $p_f[N/m^2]$                     | 253000                  | 253000          | 253000          |
| 10 | Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za $p_r = 600 \text{ kPa}$ ) | $p_f[N/m^2]$                     | 186000                  | 186000          | 186000          |
| 11 | Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za $p_r = 300 \text{ kPa}$ ) | $p_f[N/m^2]$                     | 108000                  | 108000          | 108000          |
| 12 | Rastojanje sile $F_V$ usled isticanja vode od obrtne ose        | $x_T[m]$                         | $\frac{2}{3} D$         | $\frac{2}{3} D$ | $\frac{2}{3} D$ |
| 13 | Debljina sloja membrane ventila                                 | $\delta[mm]$                     | 2,0                     | 2,0             | 2,0             |
| 14 | Ubrzanje Zemljine teže  | $g[m/s^2]$                       | 9,81                    | 9,81            | 9,81            |



Sl. 4 Zavisnost vremena zatvaranja  $T_z$  hidrauličkih protivudarnih ventila nazivnih prečnika 65, 100 i 150 mm od pritiska  $p_f$  u frontu direktnog vazdušnodarnog talasa (VUT-a)

## Zaključak

U radu je dat analitički metod definisanja hidrauličnog protivudarnog ventila za zaštitu odvodnog cevovoda zaštitnog objekta od dejstva vazdušno-udarnog talasa nuklearne eksplozije.

Analitički su definisani uslovi koji moraju biti zadovoljeni, kako u cevovodu ne bi došlo do hidrauličnog udara usled naglog zatvaranja ventila.

Analitički izrazi su uopšteni, pa su primenljivi za konstrukcije geometrijski sličnih ventila željenih nazivnih prečnika i otpornosti.

Kao kriterijum za ocenu valjanosti ventila usvojeno je vreme zatvaranja ventila. Izražen je u opštem obliku, a zatim primenjen na ventile nazivnih prečnika 65, 100 i 150 mm, otpornosti 300, 600 i 900 kPa.

Kriterijumi za ocenu valjanosti protivudarnih ventila za dovod i odvod vazduha nisu primenjivi kod hidrauličnih protivudarnih ventila.

Vreme zatvaranja ventila, kao kriterijum za ocenu valjanosti konstrukcija ventila, potrebno je limitirati s obzirom na otpornost i nazivni prečnik ventila.

## Literatura:

- [1] Vujanović, B.: »Dinamika«, Beograd, Naučna Knjiga, 1976.
- [2] Mandić, J.: »Ostvarivanje udarnog kratkotrajnog impulsa pritiska u udarnim cevima izjednačavajućeg pritiska«, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 1976.
- [3] Škoparija, V.: »Teorija sličnih modela«, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 1980.
- [4] Schardin, H.: »Simulation von Druckstößen beliebiger Dauer in einem Stosswellenrohr«, Wehrtechnische Monatshefte, 1966, 4.
- [5] Voronjec, K., Obradović, N.: »Mehanika fluida«, Beograd, Naučna knjiga, 1970.
- [6] Pečornik, M.: »Mehanika fluida«, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 1972.
- [7] Loicjanski, L. G.: »Mehanika židkosti i gasa«, Izdanje Nauka, Moskva, 1971.
- [8] Knežević, M. D.: »Istraživanje optimalnih rešenja ventila za zaštitu od vazdušno-udarnih talasa nuklearne eksplozije u vazduhu i uporedna analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata, magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1983.

## Određivanje količine eksploziva pri obradi metala eksplozijom

### Uvod

Ovaj članak predstavlja samostalan stručni rad i kontinualan logičan nastavak radova od istog autora, do sada objavljenih u ovom časopisu.

Određivanje količine eksploziva pri izvlačenju eksplozijom u vodi pomoću brizantnih eksploziva predstavlja suštinski problem. Jer, potrebno je odrediti minimalnu količinu eksploziva koja će biti dovoljna za izvlačenje. Sva-ko nepotrebno povećanje mase eksploziva dovodi do prevremenog razaranja alata i bazena u kojem se vrši eksplozija.

Zbog složenosti samog procesa podvodne eksplozije, praktično je nemoguće obuhvatiti sve faktore koji se pri tome javljaju i utiču na sam proces. Moguće je steći približnu predstavu fizikalnosti ove pojave, ali se ona, na žalost, ne može izraziti jednostavnim formulama.

Na pripremak, pored pritiska udarnog talasa i širenja gasnog mehura, deluju difrakcioni talasi koji se javljaju kao rezultat neravnomernog pomeranja delova pripremk u centru i njegovim krajevima, kao i talasi odbijeni od zidova bazena, njegovog dna i slobodne površine vode.

Novija teorija podvodne eksplozije omogućava da se na relativno jednostavan način odredi energija direktnog talasa koja se predaje pripremk. Mno-

go složenije je određivanje energije sledećeg protoka tečnosti i difrakcionog izjednačavanja pritiska, pri čemu je moguća i veća greška. Sasvim je nepoznat deo energije dobijen bočnim strujanjem tečnosti koja popunjava vakuum iznad pripremk. Takođe, moguće je odrediti, istina veoma teško, energiju talasa odbijenih od zidova, dna bazena i slobodne površine tečnosti.

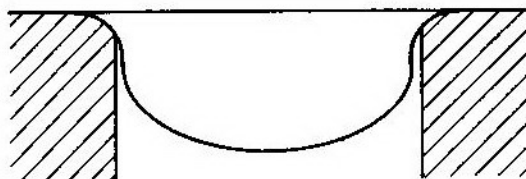
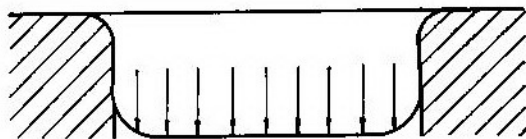
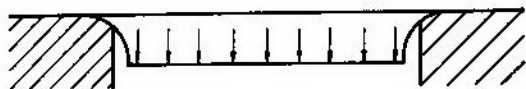
Teorija o uticaju spoljnih opterećenja na pripremak nije dovoljno razrađena, pa se, pri proračunu deformacije membrane, prema teoriji Kirkvuda-Bete, prave velike greške.

Navagin je pokušao da iskoristi teorijske osnove hidrodinamičke eksplozije uz pomoć teorije sličnosti, pri obradi lima izvlačenjem. Formula koju je predložio daje dovoljno dobre rezultate u poređenju sa eksperimentima samo za pripremk prečnika 30—150 mm. Za prečnike veće od 150 mm dolazi do velikog odstupanja između proračunskih i eksperimentalnih vrednosti. Pored toga, Kirkvud i Navagin, u svojim istraživanjima, ograničili su se na deformacije okrugle membrane. To je, naravno, daleko od praktičnih zahteva izrade.

Pri izvlačenju lima eksplozijom, pritisci udarnog talasa su u dijapazonu od 1500—2000 MPa [9]. Pri tim pritiscima odnos brzine protoka tečnosti ( $U$ ) i brzine zvuka ( $C_0$ ) u toj sredini —  $M = U/C_0$ , uvek je manji od jedinice. Uzi-

majući u obzir tu činjenicu, proračuni se mogu izvesti na osnovu zakona akustike. Na taj način moguće je izbeći složene hidrodinamičke proračune udarnih talasa [10]. Greška koja se čini pri takvoj aproksimaciji je zanemarljiva. Druga pretpostavka — ravno kretanje priprema u početnom trenutku i zanemarljivo mala deformacija u tom vremenu — može prouzrokovati veću grešku.

Danas se raspolaže sa dovoljno eksperimentalnih podataka, što omogućava da se pretpostavi kako se u početnom trenutku izvlačenja deformiše samo venac, a dno priprema ostaje ravno (slika). U tom trenutku priprema se može posmatrati kao ravna membrana čiji su otpori kretanju sile inercije i sile vezane za otpor deformisanog venca, pri čemu se ove druge, bez veće greške, mogu zanemariti.



Sl. 1 Deformaciono stanje pri izvlačenju eksplozijom

Nakon toga, pošto se dejstvo impulsa stvorenog eksplozijom prekida, plastična deformacija venca i njegovo kretanje se zaustavljaju, a dno priprema deformiše pod dejstvom kinetičke energije apsorbovane u njemu. Prihva-

tanje ovakve sheme deformisanja, bez veće greške, podrazumeva da se u početnom trenutku dno priprema deformiše kao membrana, a da su sile vezane za plastično deformisanje venca male.

Treće uprošćenje je zanemarivanje uticaja difrakcije i talasa odbijenih od zidova, dna bazena i slobodne površine tečnosti. Veličina te greške zavisi od konkretnih uslova pri kojima se odvija proces. Ako se koriste bazeni malih gabarita i malog nivoa vode iznad eksploziva, greška može biti znatna.

### Gubici energije pri odbijanju udarnog talasa od čvrste pregrade

Pri dejstvu udarnog talasa na nepokretnu čvrstu pregradu energija talasa delimično se odbija, a delimično predaje pregradi. Ako sa  $P$ ,  $U$  i  $E$  označimo pritisak, brzinu i energiju udarnog talasa, a indeksima »1«, »2« i »3« direktan, odbijeni i prelomljeni talas, u slučaju da je akustična otpornost pregrade ( $\rho C$ ) veća od akustičnog otpora tečnosti ( $\rho_0 C_0$ ), dobija se:

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 &= P_3 \\ U_1 - U_2 &= U_3 \end{aligned}$$

Pored toga, pritisak ( $P$ ) i brzina ( $U$ ) povezani su odnosom

$$P = \rho C U$$

Iz navedenih jednačina moguće je dobiti sledeće odnose

$$\frac{P_2 U_2}{P_1 U_1} = \frac{\rho C - \rho_0 C_0}{\rho C + \rho_0 C_0} = \xi$$

$$\frac{P_3}{P_1} (1 + \xi) = \frac{2 \rho C}{\rho C + \rho_0 C_0} = \eta$$

U procesu delovanja udarnog talasa na pregradu, pritisak ( $P$ ) i brzina strujanja tečnosti ( $U$ ) menjaju se u vremenu pod određenom zakonu [10]. Ako se uzmu srednje vrednosti za pritisak i

brzinu u vreme delovanja udarnog talasa ( $t$ ), onda se ukupan rad ( $A$ ) srednjeg pritiska za pomeranje ( $U \cdot t$ ) može napisati u obliku:

$$\begin{aligned} A_1 &= P_1 U_1 t \\ A_2 &= P_2 U_2 t \\ A_3 &= P_3 U_3 t \end{aligned} \quad (1)$$

Ako se taj rad svede na jedinicu površine i uzme da je približno jednak energiji udarnog talasa, dobija se:

$$\begin{aligned} E_1 &= P_1 U_1 t \\ E_2 &= P_2 U_2 t \\ E_3 &= P_3 U_3 t \end{aligned} \quad (2)$$

Iz odnosa energija odbijenog ( $E_2$ ) i direktnog talasa ( $E_1$ ), za isti interval vremena ( $t$ ), dobija se koeficijent odbijanja  $\xi$ :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{P_2 U_2}{P_1 U_1} = \xi^2$$

Energija direktnog talasa delimično se vraća unazad u vodu, a delimično se predaje pregradi. Zbir energije odbijenog talasa i energije koja se predaje pregradi mora biti jednak energiji udarnog talasa:

$$E_2 + E_3 = E_1$$

Na osnovu toga, moguće je odrediti deo energije koji se predaje čvrstoj pregradi (pripremk), kao rezultat delovanja udarnog talasa na nju:

$$E_3 = E_1 - E_2 = (1 - \xi^2) \cdot E_1$$

### Gubici energije pri odbijanju udarnog talasa od pokretne pregrade

Neka se pregrada kreće brzinom  $V$  u istom pravcu kao i udarni talas. Ako se sa  $V_1$ ,  $V_2$  i  $V_3$  označe brzine protoka tečnosti u direktnom, odbijenom i prelomljenom talasu u odnosu na pokretnu pregradu, te brzine, u odnosu na nepo-

kretnu ploču i brzine same ploče, mogu se napisati na sledeći način:

$$\begin{aligned} V'_1 &= U_1 - V \\ V'_2 &= U_2 + V \\ V'_3 &= U_3 - V \end{aligned} \quad (3)$$

Tada su brzine protoka direktnog, odbijenog i prelomljenog talasa jednake:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{P_1}{\rho_0 C_0} \\ U_2 &= \frac{P_2}{\rho_0 C_0} \\ U_3 &= \frac{P_3}{\rho_0 C_0} \end{aligned} \quad (4)$$

Na osnovu navedenih jednačina može se napisati izraz za brzinu prelomljenog talasa:

$$U_3 = \frac{P_1 + P_2}{\rho C}$$

Po analogiji sa jednačinom za brzinu udarnog talasa ( $U$ ), odnosi između brzina protoka direktnog, odbijenog i prelomljenog talasa za pokretnu pregradu mogu se napisati u obliku:

$$V'_1 - V'_2 = V'_3,$$

pa, uzimajući u obzir relacije za brzine protoka tečnosti  $V'_1$ ,  $V'_2$  i  $V'_3$ , možemo napisati sledeći izraz:

$$U_1 - U_2 - 2V = U_3 - V$$

Na osnovu toga može se napisati izraz za pritisak u odbijenom talasu

$$P_2 = P_1 \xi - \frac{1}{2} V \rho_0 C_0 \frac{U_1}{U_2} \eta \quad (5)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2}{U_1} = \varphi - \frac{1}{2} \frac{V}{U_1} \eta = \nu$$

Pri odnosu

$$\frac{V}{U} = \frac{2\xi}{1 + \xi}$$

koeficijent  $\nu$  jednak je nuli.

Srednja vrednost koeficijenta  $v$  grubo se može odrediti kao srednja aritmetička vrednost:

$$v_{sr} = \frac{\xi}{2}$$

Eksperimentalno je pokazano [9] da takva aproksimacija u dovoljnoj mери odgovara realnosti ako se istovremeno uzme u obzir i koeficijent  $\beta$ , koji karakteriše inertnost obratka. Veza između koeficijenata  $v$  i  $\beta$  data je eksperimentalnim izrazom:

$$v = \frac{\xi}{2} (1 + e^{-\beta})$$

Veličina energije koju dobija pokretna pregrada, u ovom slučaju pripremak, može se izraziti na sledeći način:

$$E_3 = (1 - v^2) E_1 \quad (6)$$

Koeficijent  $\beta$  predstavlja odnos mase tečnosti vodenog stuba poprečnog preseka  $1 \text{ cm}^2$  i mase obratka na  $1 \text{ cm}^2$ ,

$$\beta = \frac{M}{m} = \frac{\rho_0 C_0 \Theta}{\rho S},$$

gde je:

$\rho$  — gustina materijala pripremacka,  
 $S$  — debljina lima.

### Određivanje količine eksploziva

Kao što je već napomenuto, pri proračunu količine eksploziva uvedena je pretpostavka o ponašanju pripremacka u početku izvlačenja, slično slobodnoj ploči, da pod dejstvom udarnog talasa prelazi u kretanje i vrlo brzo dostiže brzinu veću od brzine protoka tečnosti. Ako se izvlače pripremacki veće debljine, koji imaju mali koeficijent  $\beta$ , može se pretpostaviti da se pomeranje pripremacka vrši brzinom koju ima protok tečnosti.

Za pripremacke veće debljine, na osnovu eksperimenata [9], mogu se smatrati pripremacki za koje važi relacija:

$$\frac{S}{D} \cdot 100 > (6 - 7)\%,$$

što odgovara koeficijentu  $\beta$  približno jednakom jedinici. Pri  $\beta$  većem od jedinice, obradak se sigurno kreće brže od protoka tečnosti, što potvrđuje i teoriju Kirkvuda [11]. Ona kaže da odvajanje obratka nastaje u slučaju kad je vreme  $\Theta_d$ , potrebno za prostiranje talasa brzinom  $C_0$  od kraja ploče do centra poluprečnika  $r$ , tzv. vreme difrakcije:

$$\Theta_d = \frac{r}{C_0}$$

veće od vremena pojave kavitacije ( $\Theta_c$ ), određenog po obrascu Tejlora [11]:

$$\Theta_c = \frac{\Theta}{\beta - 1} \cdot \ln \beta$$

U slučajevima kada talas difrakcije kasni i ne uspeva da popuni razređeni prostor između obratka i vode, prestaje pritisak vode na pripremack koji nastavlja kretanje i deformisanje po inerciji. Otpor plastičnom deformisanju usporava kretanje obratka, te protok vode sustiže obradak i daje mu novo ubrzanje, što dovodi do ponovnog odvajanja od vode. Opisano ponašanje predstavlja samo pretpostavku, jer ne postoje relevantni eksperimentalni podaci o kinetici izvlačenja tankih limova.

Sigurno je da je u većini slučajeva primećeno odvajanje obratka od vode [9]. Deformacioni rad, saopšten obratku do pojave kavitacije, malo se razlikuje od kinetičke energije koju dobija obradak, jer se ta energija ne može vratiti u vodu. U tom slučaju, može se pretpostaviti da se sva energija prelomljenog talasa ( $E_3$ ) pretvara u kinetičku energiju pripremacka, a zatim u energiju deformacije.

Na osnovu toga može se napisati

$$E_3 = a,$$

gde je:

a — energija potrebna za plastičnu deformaciju jedinice površine obratka pokvašene vodom.

Na osnovu izraza (6) za veličinu energije koju dobija pokretna pregrada (pripremak), može se napisati:

$$a = (1 - v^2) E_1 \quad (7)$$

Pri eksploziji trotila veličina energije direktnog talasa, prema Koulu [11], za sferni oblik eksplozivnog punjenja, može da se odredi izrazom

$$E_1 = 95 \cdot \frac{G}{H^2} \cdot 10 \text{ [Ncm/cm}^2\text{]} \quad (8)$$

gde su:

G — masa eksploziva u kg,

H — rastojanje od centra eksploziva do pripreмка.

Ako se u izraz (7) za energiju potrebnu za plastičnu deformaciju jedinice površine zameni vrednost za  $E_1$ , dobije se izraz za određivanje potrebne mase eksploziva:

$$G = \frac{a H^2}{95 \cdot (1 - v^2)} \quad (9)$$

gde je:

v — funkcija  $\beta$ .

Sa vrednostima  $\beta$  oko jedinice, što za pripremake od čelika odgovara  $S/D \cdot 100 = (6-7\%)$ , rezultati dobijeni po jednačini za potrebnu količinu eksploziva se dovoljno dobro podudaraju sa eksperimentalnim podacima. Sa povećanjem  $\beta$ , odnosno smanjenjem krutosti obradka  $S/D \cdot 100$ , razlika između proračunske i izmerene vrednosti postaje sve veća. Tako, npr. za  $\beta = 5$ , proračunska vrednost za masu eksploziva iznosi 4 puta više od stvarno potrebne [7], dok pri  $\beta = 10$  ( $S/D \approx 0,125$ ) ta razlika iznosi i do 10 puta.

Još nepreciznije rezultate daje jednačina Kirkvuda [11], koja određuje vezu između kinetičke energije obradka i energije direktnog talasa  $E_1$ :

$$a = 4 \cdot \beta \frac{1+\beta}{1-\beta} \cdot E_1 \quad (10)$$

Ako se vrednost za  $E_1$  zameni iz jednačine za energiju direktnog talasa, konačni oblik Kirkvudovog izraza glasi:

$$G = \frac{a H^2}{4 \cdot 95 \beta \frac{1+\beta}{1-\beta}}, \quad (11)$$

koji za  $\beta = 5$  daje razliku u odnosu na stvarnu količinu mase eksploziva 12 puta, dok za  $\beta = 10$  ta razlika ide i do 34 puta u smislu povećanja potrebne količine eksploziva [9].

Relativno dobro poklapanje proračunske sa eksperimentalnom vrednošću daje jednačina (9). To se objašnjava time, što jednačina (9) uzima u obzir odbijanje udarnog talasa u funkciji elastičnosti obradka.

Veličina preraspodele energije može da se proceni na primeru kratkog cilindra, otvorenog sa obe strane, na kojima se nalaze klipovi različitih masa,  $M$  i  $m$ . Između klipova je eksploziv koji pri eksploziji izbacuje klipove iz cilindra. Ako se zanemare sile trenja, pritisak gasovitih produkata eksplozije na zid cilindra, otpor vazduha, itd., može se smatrati da se celokupna energija eksplozije pretvara u kinetičku energiju klipova:

$$E = \frac{M V_1^2}{2} + \frac{m V^2}{2} = T_1 + T_2 \quad (12)$$

gde su:

$V_1$  i  $V$  — brzine pomeranja klipova,

$T_1$  i  $T_2$  — kinetičke energije,

Ako mase klipova nisu jednake, tada ni kinetičke energije neće biti jednake. Uzimajući u obzir da je pritisak produkata eksplozije jednak na oba klipa, tada se, na osnovu drugog Njutnovog zakona, može napisati:

$$P = M \frac{dV_1}{dt} = m \frac{dV}{dt} \quad (13)$$

Ako se izvrši integraljenje ove jednačine, dobija se:

$$M \cdot V_1 = m \cdot V \quad (14)$$

Ako se leva i desna strana jednačine (14) kvadriraju i podele sa 2, dobija se izraz:

$$M \frac{M V_1^2}{2} = m \frac{m V^2}{2},$$

odnosno

$$\frac{M}{m} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (15)$$

tj. veličine kinetičke energije su obrnuto proporcionalne njihovim masama. Na osnovu toga može da se izvede zaključak da će i preraspodela energije eksplozije, u zavisnosti od mase okolne sredine, biti po tom zakonu.

Ovaj zaključak nema strogu teorijsku osnovu, ali ga nalaže logika eksperimentalnih podataka. Oni se poklapaju sa proračunskim u slučaju da je preraspodela energije za eksploziju sfernog punjenja od brzantnog eksploziva u vodi, na rastojanju ne manjem od 0,3 i ne većem od dva prečnika okvašene površine obradka, obrnuto proporcionalna odnosu masa uslovnog paralelo-pipeda  $M = \rho_0 \cdot C_0 \cdot \Theta$  i mase jedinice površine obradka  $m = \rho \cdot S$

$$\frac{M}{m} = \frac{\rho_0 C_0 \Theta}{\rho S} = \beta$$

Za veličinu energije sada se uzima jednačina

$$E_1 = \beta \cdot 95 \cdot \frac{G}{H^2} \quad (16)$$

Ako je eksplozija izvršena u vodi, što znači da je  $\rho_0 = 1 \text{ gr/cm}^3$  i  $C_0 = 15 \cdot 10^4 \text{ cm/s}$ , onda će vremenska konstanta, prema [11], biti

$$\Theta = 10^{-4} \cdot Q^{1/3} \left( \frac{H}{G^{1/3}} \right)^{0,24} [\text{s}] \quad (17)$$

gde su:

H — rastojanje od centra eksploziva do priprema [mm],

G — masa eksploziva [kg].

Sada će se, posle zamene izraza za  $\beta$  i  $\Theta$  u (16), dobiti konačan izraz za određivanje količine eksploziva sfernog eksplozivnog punjenja:

$$G = \left[ \frac{a S H^{1,8}}{1 - v^2} \cdot N \right]^{0,8} \quad (18)$$

Ovaj obrazac daje količinu eksplozivnog punjenja u [kg], a sve dužinske mere su u [cm]. Vrednosti koeficijenta N, koji zavisi od gustine materijala obradka, date su u tabeli.

Vrednost koeficijenta N za neke materijale

Tabela

| Vrsta materijala   | $\rho$ | $\varphi$ | $1-v^2$ | N               |
|--------------------|--------|-----------|---------|-----------------|
| Legure aluminijuma | 2,8    | 0,840     | 0,824   | 0,494 $10^{-6}$ |
| Čelik              | 7,8    | 0,936     | 0,781   | 1,376 $10^{-6}$ |

Ako je sferno eksplozivno punjenje na rastojanju manjem od 0,3 prečnika okvašene površine obradka, tada, usled lokalne deformacije, obradak neće dobiti sferni nego konusni oblik. U tom slučaju, jednačina (18) ne važi, a izvlačenje na bliskom rastojanju treba izvoditi ne sfernim već ravnim (pločastim) eksplozivnim punjenjem.

Na osnovu izvoda u literaturi i raznih eksperimentalnih istraživanja došlo se do izraza na osnovu kojeg se određuje količina eksploziva po jedinici okvašene površine priprema (odnosi se na eksploziv VITEZIT) [5, 7]:

$$q = 0,0113 \cdot S^{0,972} \cdot K^{4,134} \cdot H_0^{0,582} [\text{kg}], \quad (19)$$



gde su:

- $S$ [mm] — debljina lima koji se izvlači,  
 $K$  — odnos izvlačenja,  
 $H_0$ [mm] — rastojanje eksplozivnog punjenja od površine priprema (preporučljiva vrednost  $H_0 = (0,3-0,4)D$ , gde je  $D$  — prečnik okvašene površine priprema).

Količina potrebnog eksploziva može da se izrazi i preko zatezne čvrstoće  $R_m$ . Tako definisana zavisnost, za čelik i bakar, ima oblik:

$$q = 2,69 \cdot 10^{-5} \cdot R_m^{0,972} \cdot K^{4,134} \cdot H^{0,562} \text{ [kg]} \quad (20)$$

Pri određivanju količine eksploziva modelovanjem polazi se od toga da se, nakon određivanja količine eksploziva potrebnog za oblikovanje, pomoću zakona sličnosti odredi potrebna količina eksploziva za oblikovanje prototipa, odnosno zahtevanog elementa-dela.

Za dobijanje tačnog modela potrebno je eliminisati neka ograničenja i postići potpunu geometrijsku sličnost modela i prototipa; veličine krutosti opruga i vijaka za pritezanje držača lima i sile držača lima prototipa i modela moraju biti u određenom odnosu; pritisci vazduha u šupljini matrice (alata) i koeficijenti trenja između priprema, držača lima i alata za prototip i model moraju biti isti; plastična naprezanja u materijalu prototipa i modela moraju biti jednaki, itd.

Praktična ograničenja utiču da se ne može uvek naći potpuno adekvatan model (npr. za isti materijal priprema mogu postojati razlike u osobinama plastičnosti koje odgovaraju razlici između ploče metala veće i manje debljine). Ako se uzme u obzir činjenica da se može modelovati i sa različitim materijalima, onda se može govoriti samo o aproksimativnom modelu.

Aproksimativni model zakona proporcionalnosti za količinu eksplozivnog punjenja dat je izrazom [8]:

$$G_p = [a_m \cdot a_s \cdot a_g^B]^{B+1} \cdot G_m, \quad (21)$$

gde su:

- $G_p$  — masa eksplozivnog punjenja za model,  
 $G_m$  — masa eksplozivnog punjenja za prototip,  
 $a_m$  — korekcionni faktor materijala,  
 $a_s$  — faktor debljine lima,  
 $a_g$  — geometrijski faktor,  
 $B$  — koeficijent koji zavisi od vrste eksplozivnog punjenja.

Pri tome je korekcionni faktor materijala ( $a_m$ ) dat izrazom [8]:

$$a_m = \frac{K_p}{K_m} \left[ \frac{(n_m + 1) \cdot (n_m + 2) \cdot (n_m + 3)}{(n_p + 1) \cdot (n_p + 2) \cdot (n_p + 3)} \right] \cdot \left[ \frac{8 h_n^2}{D^2} \right] (n_p - n_m) \quad (22)$$

gde su:

- $K_p, K_m, n_p, n_m$  — koeficijenti koji zavise od vrste materijala,  
 $h_0$  — maksimalna dubina izvlačenja metala,  
 $D$  — prečnik otvora alata.

Primenom teorije modelovanja procesa hidroizvlačenja eksplozivom može da se odredi potrebna količina eksploziva za izvlačenje bilo kojeg dela oblika danca, ako je poznata količina eksploziva za izvlačenje nekog modela. Izraz za to ima oblik [7]:

$$G_p = G_m \cdot N_r^2 \cdot N_s \text{ [kg]}, \quad (23)$$

gde su:

- $G_p = q \cdot A$  — količina eksploziva za odgovarajuće dance u [kg],  
 $A$ [mm] — površina okvašene površine priprema,  
 $G_m$  — količina eksploziva na model,  
 $N_r = D_p/D_m$  — koeficijent modelovanja za prečnik,  
 $N_s = S_p/S_m$  — koeficijent modelovanja za debljinu lima.

## Zaključak

Pri detonaciji čvrsti eksploziv potpuno ili pretežno prelazi u gasovite produkte koji su jako zagrejani i pod visokim pritiskom. Pošto se nalaze pod pritiskom, koji znatno premašuje pritisak okoline, gasovi su u stanju da na račun svoje unutrašnje toplote energije izvrše neki rad.

Proces detonacije eksploziva, koji nije zatvoren, potpuno je ireverzibilan, tj. ni u jednom trenutku ne postoji ravnoteža između pritiska i spoljnih sila. Najveći deo energije preobrtiće se u udarni talas u vazduhu, gde se transformacija energije vrši po tipično nepovratnom procesu u toplotu, koja će se utrošiti na zagrevanje okoline. Termodinamički posmatrano, ovaj proces bio bi okarakterisan degradacijom toplotne energije. Toplotna energija detonacionih gasova, na srazmerno visokom temperaturnom nivou, degradira se u toplotu na temperaturnom nivou okoline.

Ako eksplozive apliciramo u slobodnom prostoru, prislunjene ili sasvim blizu objektu na koji treba delovati detonacijom, oni će izazvati određeno destruktivno dejstvo. Sposobnost razornih eksploziva da izvrše rad i u slobodnom prostoru — brizantnost, zavisi isključivo od gasnog impulsa, tj. od pritiska gasova, a zatim i od vremena za koje se pritisak održava iznad neke kritične vrednosti.

Najčešći oblik punjenja pri oblikovanju lima eksplozijom je sfera. Kod eksplozivnih punjenja u obliku sfere stvara se centralnosimetrični udarni front.

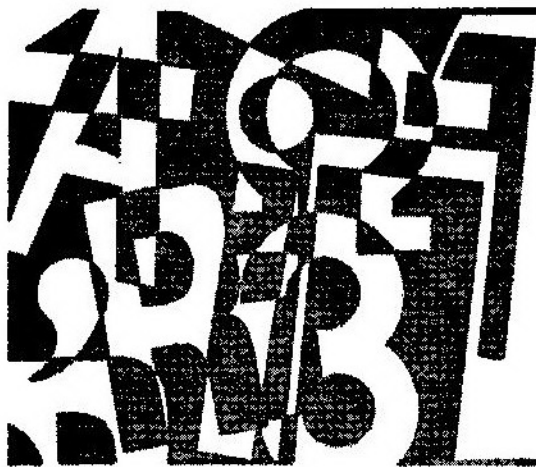
Veliki uticaj na proces oblikovanja ima visina postavljanja eksploziva iznad priprema. Kod distancionih procesa, kod kojih se eksplozivno punjenje nalazi na određenom rastojanju od priprema, udarni talas može padati prema pripremu normalno ili pod uglom. Povećanje visine položaja eksploziva dovodi do povećanja količine eksploziva potrebnog za deformaciju lima, povećava troškove izrade ostale opreme (bazen sa vodom) i vreme ponovnog punjenja bazena.

Količina eksploziva potrebnog za deformisanje lima pri oblikovanju eksplozijom jedan je od najvažnijih parametara procesa. Ta količina, koja će dovesti do oblikovanja lima, treba da bude minimalna, a da pri tome ne opterećuje delove alata i bazena. Za tačno određivanje potrebne količine eksploziva ne postoji egzaktna teorija zasnovana na fizici eksplozije, s jedne strane, i na stavovima iz teorije elastičnosti, s druge strane.

Stoga je zadatak da se pronade optimalan izraz, koji će zadovoljiti i eksperimentalne podatke i biti u saglasnosti sa odgovarajućim oblikom obratka, složeniji i iziskuje neprekidno istraživanje na polju osobine materijala — uslovi i vrste opterećenja — vrsta i količina eksploziva.

## Literatura:

- [1] Krupin A. V. i dr.: »Deformacija metallov vzrivom«, Mašinstroenie, Moskva, 1975.
- [2] Ionov, V. I., Ogibalov P. M.: »Napriženija v telah pri impul'snom nagruženije«, Moskva, 1975.
- [3] Beljajev V. N.: »Visokoskorostnaja deformacija metallov«, Nauka i tehnika, 1976.
- [4] Deribas A. A.: »Fizika uporočnenia i svarki vzrivom«, Novosibirsk, Nauka, 1980.
- [5] Dimitrov B.: »Doktorska disertacija«, Mašinski fakultet Niš, 1987.
- [6] Radić V.: »Obrada metala eksplozijom«, VTK 41/1990.
- [7] Dimitrov B., Stoilković V.: »Analitičko-eksperimentalni način određivanja količine eksploziva pri hidroeksplozivnom izvlačenju delova od lima«, AMSTL, Opatija, 1987.
- [8] Hegazy A. A.: »A Theory for Aproximate Model for Underwater Explosive Forming«, 10th HERF 89, Ljubljana.
- [9] Pihovnikov R. V., Zavjalova V. N.: »Štampovka listovoga metalla vzrivom«, Mašinstroenie, Moskva, 1984.
- [10] Davidenkov N. N.: »Dinamičeskie ispitanija metallov«, Moskva, 1966.
- [11] Antonenkov N. D., Aničin M. A.: »Štampovka podvodnim vzrivom«, Moskva, 1987.
- [12] Hegazy A. A., i dr.: »Experimental Verification of the Theory of Aproximate Model for Underwater Explosive Sheet Metal Forming«, 10th HERF 89, Ljubljana.
- [13] Duhandžić S.: »Uperedna analiza eksperimentalnog određivanja količine eksploziva i modeliranja pri hidroeksplozivnom oblikovanju metala«, 18. Simpozijum JKEM, Kupari, 1990.



# prikazi iz inostranih časopisa

## Pozadinsko obezbeđenje združenih jedinica italijanske armije (Italijanske oružane snage)\*

### Uvod

U članku će biti obrađeno snabdevanje, održavanje, izvlačenje i evakuacija tehnike, pa smo mišljenja da će članak biti koristan za starešine koje se bave tehničkim obezbeđenjem u JNA. Pored toga u toku su promene i prilagođavanje pozadinskog obezbeđenja naših oružanih snaga sadašnjim savremenim uslovima, pa će biti vrlo interesantno da se te promene uporede sa promenama koje su izvršene u Italijanskim oružanim snagama.

Sve promene pozadinskog obezbeđenja združenih jedinica vezane su za promene u KoV, a promene kopnenih snaga vezane su za brojno smanjenje OS Italije. Posle suštinskog brojnog smanjenja kopnenih snaga, one bi se morale osposobiti, osim za dejstva na severoistoku, i za dejstva na čitavoj nacionalnoj teritoriji i na drugim evropskim prostorima u kojima se manifestuje određena opasnost. Reći će se nešto

o promenama u kopnenoj vojsci, koje se većim delom odnose na tehničko obezbeđenje.

### Kopnena vojska u novom modelu odbrane

Novi model odbrane, koji je stupio na snagu 1988. godine, može predstavljati prirodni put za prilagođavanje OS Italije potrebama polivalentnosti i višestruke namene, dakle odstupa se od organizacijskih formi klasičnih brigada i divizija. Ide se na to, da snage za brze intervencije (FIR), predstavljaju uravnoteženu kombinaciju pešadije, padobranaca, artiljerije, tenkova, oklopnih transportera, hemijskih sredstava, veze, inženjerije i službi, sve po mogućnosti vazdušnoprenosno i logistički autonomno. U sadašnjoj situaciji, jedino snage za brze intervencije poseduju neophodnu pokretljivost i polivalentnost. Jasno je da će se ići na to, da se i ostalim snagama obezbedi zahtevana pokretljivost i polivalentnost.

Predviđeno je da se promene u KoV završe do 2000. godine, pa je kop-

\* Prema podacima iz časopisa »RIVISTA MILITARE«, 133.

vena vojska u modelu odbrane 2000. postala već klasična tema. To je tema koja može da predstavlja vrstu zaštite, jer omogućava izbegavanje najtežih izbora i transformacija u budućnosti.

Tema je, veoma aktuelna, jer KoV 2000. ne pripada budućnosti, već sadašnjosti, što zahteva neposredne izbore i odluke.

Da bi se to učinilo, potrebno je imati jasne ideje i predloge.

Jasnost ideja se ne odnosi na tehničke aspekte, jer su oni čvrsto definisani, već u vremenu u kome se sada nalazi Evropa i Italija, na očekivanja čitave zemlje i na odgovore koje bi trebalo dati potrebama odbrane i bezbednosti, vezano za finansijske i ljudske potencijale, koje bi im trebalo nameniti. Smatra se da treba nastaviti s formiranjem KoV čija će moć biti uverljiva 2000. godine, jer se za tim već danas oseća potreba.

Sadašnji nedostaci, koji se ogledaju u sektorima pokretljivosti, vatrenoj podršci, protivoklopnoj i protivvazdušnoj odbrani i u sistemu komandovanja i rukovođenja, odlučujuće utiču na nivo uverljivosti čitave KoV.

U KoV se radi na optimalizaciji teritorijalnih organa, s namerom da se sačuvaju ljudski i finansijski resursi za prioritetne potrebe operativne komponente, jer u operativnoj komponenti još uvek ima dosta funkcionalnih nedostataka, na čijem se otklanjanju radi u uslovima veoma ograničenih finansijskih sredstava. Iz ovoga proizilazi i dugotrajna protivrečnost svih onih koji izlaz za stalno smanjenje budžeta vide isključivo u smanjenju ljudske komponente, koja najmanje košta, a zahteva velike žrtve na račun skromnih ušteda.

Na taj način se ustvari realizuje jedno rešenje koje uopšte ne vodi računa o tome da tenkovi, transporter, rakete i helikopteri, to jest najskuplja sredstva KoV, zahtevaju ljude da bi mogli biti upotrebljeni. Takođe zahtevaju i ljude u pozadini koji će ih održavati, opravljati, snabdevati i pripremiti za upotrebu, odnosno visoko obu-

čene ljude u pozadini. U tom svetlu, broj ljudi se vidi kao nezavisna promenljiva na kojoj se može intervenisati bez ikakve povezanosti sa ostatkom čitave organizacije pozadine.

Radi se na smanjenju KoV u odnosu na sadašnju, uz zahtev da bar ostane funkcionalna i harmonična. Operativna komponenta KoV konceptijski je podeljena na tri vrste jedinica:

— snage za brze intervencije, za obezbeđenje slobode dejstva i manevra na čitavoj teritoriji;

— snage za pokrivanje, odnosno za isturenu odbranu, naročito na severoistoku zemlje;

— mobilizacijske snage, za održavanje neophodne »gustine« isturene odbrane i za neophodno pothranjivanje.

Ukratko, samo ako se želi, postoje uslovi za dovođenje KoV OS Italije, na nivo drugih evropskih zemalja NATO-a.

U ovakvom kontekstu razmotriće se pozadinsko obezbeđenje združenih jedinica KoV.

### **Izvršene promene pozadinskog obezbeđenja združenih jedinica kopnene vojske**

Pošlo se od jedne logističke doktrine koja se, iako ne mnogo, konceptualno razlikuje od one u prošlosti, a sada se prilagođava aktuelnoj situaciji u KoV. Ona bi trebalo da predstavlja realizaciju predviđene transformacije ka primeni sve automatizovanih procedura i ka funkcionalnoj reorganizaciji sektora snabdevanja i održavanja.

Osim pouka iz desetogodišnje primene LOGISTIČKOG MODELA »80«, vodilo se računa i o razvoju situacije, posebno o promenama u upotrebi združenih jedinica i u organizaciji organa pozadinske podrške.

Ima predloga o formiranju profesionalnih oružanih snaga u okviru kojih bi bile i profesionalne pozadinske jedinice, sastavljene od manjeg broja profesionalaca, koji raspolažu iskustvom, a bili bi popunjeni sredstvima i opremom prvog kvaliteta.

Ovaj predlog je teško prihvatiti iz dva razloga.

Prvi, proizilazi iz činjenice da dosadašnja iskustva iz odziva za profesionalne pozadinske službe u kopnenim snagama pokazuje da u Italiji nema dovoljno zainteresovanih takvih ljudi. Treba naglasiti da se ni sada ne uspeva da se izvrši popuna pozadinskih jedinica združenih jedinica KoV, do procenta određenog postojećim formacijama i normativima.

Drugi razlog je to, što je kvalitativno poboljšanje organa pozadine konstantna potreba koju nameće tehnološki razvoj (novi složeni sistemi i oružja), a ne nikakav kontraparitet brojnomo smanjenju pozadine, što je više puta dokazano u poslednje vreme.

Modernizacija je za svaku organizaciju taksa za efikasnost koja će, kao i sve takse, ako se u punom iznosu ne plati na vreme, pre ili kasnije podneti retroaktivne račune za isplatu. Može se smatrati kontraparitetom kvantitetu samo izuzetno veliko poboljšanje kvaliteta pozadinskih organa i jedinica, a ono je veoma daleko od sadašnjih mogućnosti italijanskih oružanih snaga, i uostalom, suprotno kriterijumu štednje koji je postavljen kao premisa reorganizaciji.

Postoje i umerenija mišljenja, koja zbog toga nisu i doslednija. Predlaže se kvalitativno i kvantitativno povećanje broja vojnika pod ugovorom za pozadinske jedinice združenih jedinica KoV. Ovakvo povećanje nije lako izvodljivo. Nacionalna je realnost, da na potpisivanje ugovora pristaje veoma mali broj italijanskih građana, uglavnom niskog stručnog i kulturološkog profila, koji nemaju drugu alternativu. Ako se ima u vidu da u zemlji postoje i druge strukture zasnovane na službi pod ugovorom, koje imaju veće mogućnosti privlačenja ljudi od italijanskih OS, kao što su vatrogasci, državna policija, karabinjeri itd., može se shvatiti da za KoV i pozadinske jedinice u okviru nje, ostaju skromne mogućnosti.

Nasuprot svemu ovome postavljen je zahtev da se združene jedinice KoV,

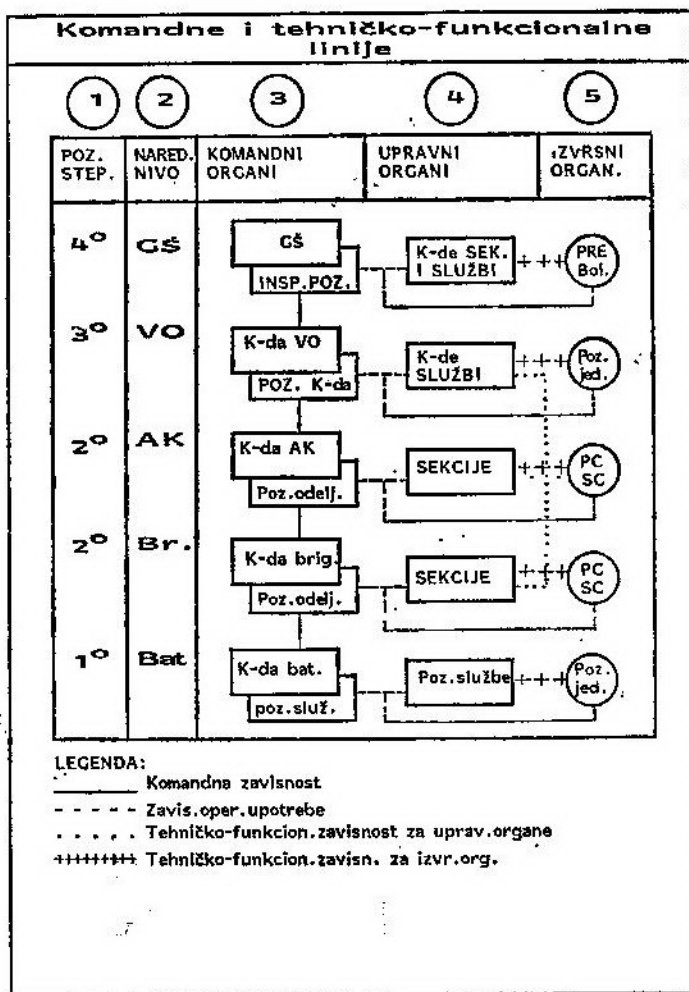
moraju ojačati ljudstvom, u skladu sa raspoloživim finansijskim sredstvima i sopstvenom ulogom i zadacima pozadinskih jedinica.

U organizaciji pozadinskog sistema (lanca) novo je to, što su bolje razjašnjene komandne i tehničko-funkcionalne linije koje na različitim nivoima povezuju komande, upravne i izvršne organe. Sistem pozadinskog obezbeđenja podeljen je na pet delova: 1) Pozadinski stepeni (1—4); 2) Naredbodavni nivo, od Generalštaba KoV do bataljona (Generalštab, vojište, armijski korpus, brigada i bataljon); 3) Komandni organi (Generalštab — inspektorat pozadine, Komanda vojišta — Pozadinska komanda, Komanda armijskog korpusa — pozadinsko odeljenje, Komanda brigade — pozadinsko odelenje i Komanda bataljona — pozadinska sekcija); 4) Upravni organi (Generalštab — komande sektora i službi, Komanda vojišta — komande službi, Komanda armijskog korpusa — sekcije/pozadinsko odelenje, Komanda brigade — sekcija/pozadinsko odelenje, Komanda bataljona — odgovorne pozadinske službe); 5) Izvršni organi (nivo Gš — preduzeća, skladišta, magacini, radionice, bolnice; nivo vojišta — jed. za snabdevanje i sanitetske, radionice, magacini, bolnice; nivo armijskog Korpusa — pozadinski i sanitetski centri; nivo brigade — pozadinski i sanitetski centri; nivo bataljona — pozadinske sekcije službi).

Posebno je naglašena tehničko funkcionalna zavisnost upravnih organa brigade od korpusa i korpusa od organa vojišta.

Organizacija pozadinskog sistema prikazana je na šemi broj 1.

Formiranje i funkcionisanje upravnih i izvršnih organa 3. i 2. stepena (vojište i Korpus) usklađeno je s organizacijom i razvojem vida KoV, posebno u odnosu na brojne jedinice za pozadinsku podršku vojišta, koje se upotrebljavaju samo kada je to neophodno; u vanrednim situacijama, do otpočinjanja normalnog toka snabdevanja, pri prekidu komunikacija između »borbene zone« i »teritorijalne zone« i sličnim



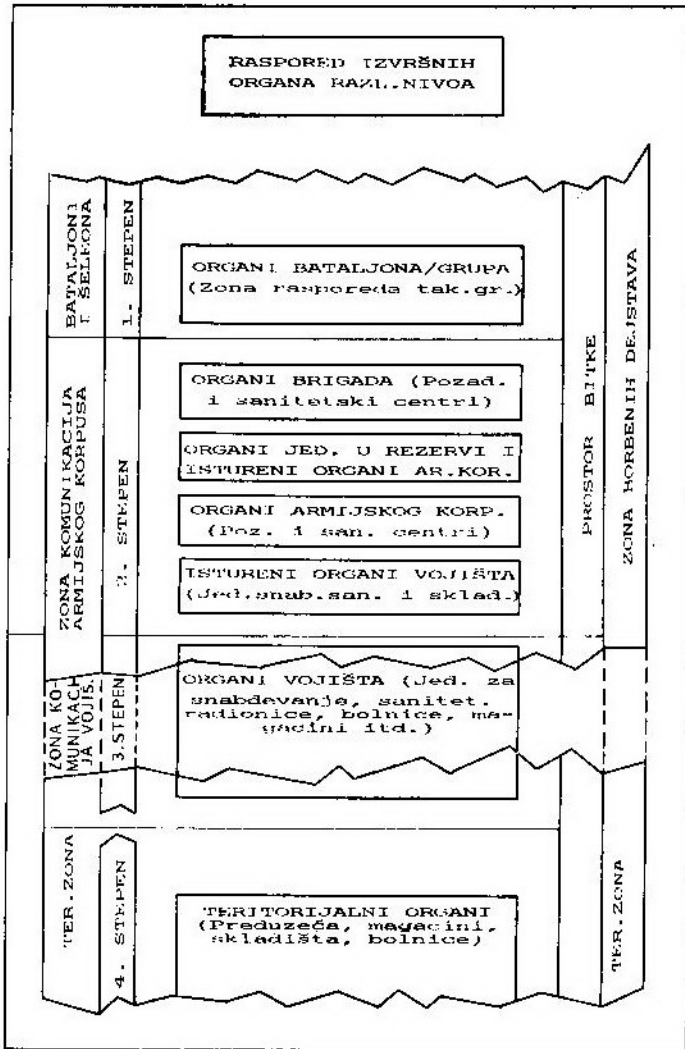
situacijama. Eliminirano je sve ono što je suvišno, a ostalo je usklađeno sa odgovarajućim operativnim potrebama združenih jedinica.

Izvršena je nova teritorijalna podela »borbene zone«, radi usklađivanja s normama iz I dela doktrinarne serije 900/A — »Odbrambena dejstva« i posebno je definisan novi raspored izvršnih pozadinskih organa (jedinica) različitih nivoa, koji su prikazani na šemi broj 2.

Na osnovu nove teritorijalne podela (vidi šemu). »Zona komunikacija

osnovnih združenih jedinica«, odnosno zona odgovornosti za pozadinsko obezbeđenje, za koju je bila odgovorna divizija, uključena je u »zonu komunikacija armijskog korpusa«.

Po novoj organizaciji pozadinskog obezbeđenja, sada, armijski korpus određuje zone rasporeda pozadinskih organa (jedinica) brigada, u skladu sa različitim potrebama, kao što su povezanost s jedinicama za podršku, predviđeni razvoj borbenih dejstava, prisutnost drugih taktičkih formacija i bezbednost.



Zona komunikacija (pozadine) armijskog korpusa podeljena je na dva stepena: 1. stepen — pozadinski organi bataljona — grupa (zona rasporeda taktičkih grupa) i 2. stepen — pozadinski organi brigada (Pozadinski i sanitetski centri), pozadinski organi jedinica u rezervi i istureni organi armijskog korpusa i pozadinski organi armijskog korpusa (Pozadinski i sanitetski centri). U »zoni komunikacija armijskog korpusa«, u skladu sa situacijom mogu se nalaziti istureni pozadinski organi vojišta

(jedinice za snabdevanje, sanitetske jedinice i skladišta), kao delovi 3. stepena.

Po novoj organizaciji posebno mesto je dato »Ukupnoj pozadinskoj autonomiji« vojišta, radi obezbeđenja snabdevanja združenih i njima potčinjenih jedinica do otpočinjanja normalnog toka snabdevanja iz teritorijalne zone, koji se naziva autonomija »preživljavanja«, kao i neprekidnosti snabdevanja između dva dotura — odnosno »funktionalne« autonomije.

U okviru vojišta izvršni pozadinski organi raspoređeni su u tri stepena: 1. stepen — pozadinski organi bataljona (taktičkih grupa), 2. stepen — pozadinski organi združenih jedinica i pozadinski organi armijskog korpusa i 3. stepen — pozadinski organi vojišta.

Sastav 1. i 2. stepena je napred dat. Treći stepen čine: jedinice za snabdevanje, sanitetske jedinice, radionice, skladišta, bolnice i još neke ustanove.

Pored »borbene zone« u kojoj se nalaze pozadinski organi podeljeni u 3. stepena, određena je i teritorijalna zona, u kojoj se nalaze teritorijalni organi — 4. stepena, a to su: preduzeća, magacini, skladišta, radionice i bolnice.

Ništa posebno novo nije dato u »pozadinskim aktivnostima«: snabdevanju, održavanju, sanitetskim aktivnostima, evakuaciji i izvlačenju materijalnih sredstava. Kod snabdevanja je ostalo normalno snabdevanje između postojećih stepena, jedino je dat veći značaj snabdevanju preskakanjem jednog stepena, obično iz 4. stepena u 2. stepen, odnosno iz magacina teritorijalne zone u magacine zone komunikacija armijskog korpusa. Kod sanitetskih aktivnosti predviđena je evakuacija povređenog ljudstva helikopterima iz previjašta (1. stepena) u bolnice (2. ili 3. stepena), radi brže i sigurnije evakuacije.

Za dotur municije koristi se i novi italijanski višenamenski taktički helikopter »AB 412 SP GRIFFON«, koji je opremljen sa 2 motora, brzine kretanja 224 km/h, brzine penjanja 7,46 m/s, raspolaze kabinom površine 6 m<sup>2</sup>, koja može da primi jednog pilota i 14 osoba. Vazduhoplovna elektronska oprema ovog helikoptera je vrlo savremena.

Novi koncept pozadinskog obezbeđenja združenih jedinica znatno je jasnije grafički prikazan, na kome su upotrebljeni novi konvencionalni znaci za oblast pozadine, koji su dati u prilogu uputstva »Pozadinsko obezbeđenje«. S tim u vezi ovi konvencionalni znaci prilagođeni su znacima NATO-a, koji su dati u publikaciji NATO AAP-6 »Military Symbols for Land Based Systems«, izdanje 1986. godine.

Posebna pažnja poklonjena je određivanju »ukupne pozadinske autonomije«, radi što potpunijeg pozadinskog obezbeđenja združenih jedinica.

Ovako kompleksna autonomija, u prvom redu, postiže se držanjem rezervi, definisanih na osnovu:

— periodičnosti normalnog snabdevanja;

— neophodno potrebnog vremena za aktiviranje sistema snabdevanja iz »teritorijalne zone«;

— mogućih zakašnjenja zbog prekida komunikacija između »teritorijalne« i »borbene zone«, i

— na osnovu neophodnosti zadovoljavanja potreba izazvanih tipom, vremenom trajanja i intenzitetom borbenih dejstava, kao i nenormalnom potrošnjom i masovnim uništavanjem. Organizacija snabdevanja data je na šemi broj 3.

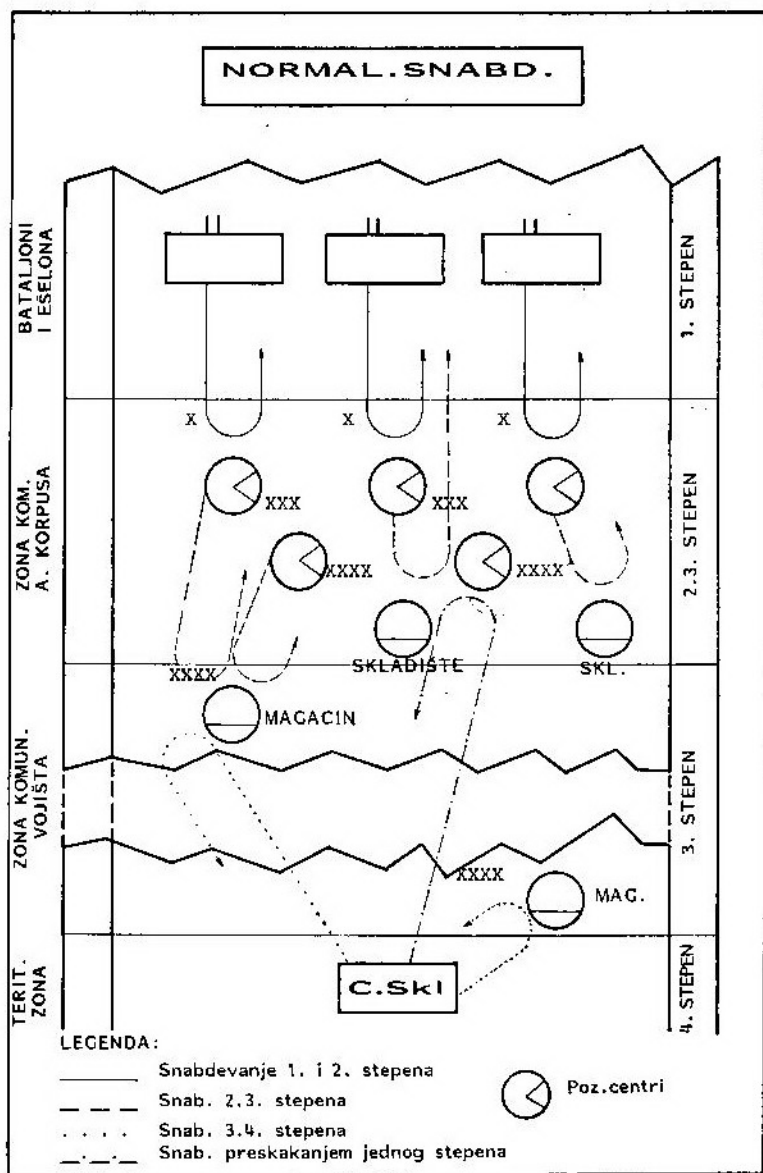
Novo je i to, što je precizirano da se u napad za nastavljajanje borbenih dejstava, po dubini, s ciljem ostvarenja strategijskog cilja, u fazi uništavanja protivničkih snaga, uvodi drugi korpus iz rezerve vojišta.

U složenoj fazi uvođenja (smene) drugog Korpusa u napad, za koordinaciju rada postojećih različitih pozadinskih organa na istom prostoru, korišćenje komunikacija za dotur i evakuaciju, kao i za učesće pozadinske organizacije u podršci brigada koje nastavljaju borbena dejstva, za postizanje strategijskog cilja, nadležna je Komanda vojišta — pozadinska komanda.

Snabdevanje snaga u napadu prikazano je na šemi broj 4.

U sektoru održavanja bolje su razgraničene funkcionalne linije između 2. i 3. stepena održavanja (korpus, vojište), u vojištu su formirane jedna do dve radionice KoV (ORE) a, tri radionice u severoistočnoj vojnoj oblasti, za popravke svih transportnih sredstava i sistema opreme. Opremanje sa modernim postrojenjima i alatima za rad i uređajima za dijagnostiku je u toku i nastaviće se do 2.000 godine.

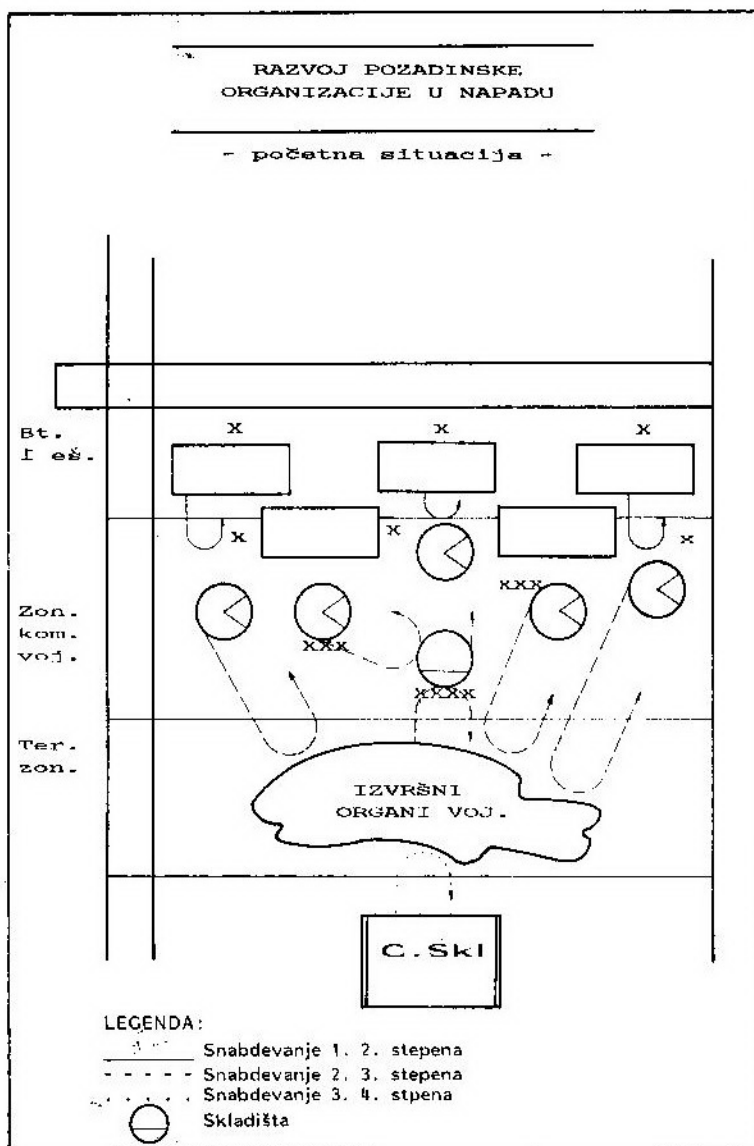




Održavanje tehnike po stepenima prikazano je na šemi broj 5.

Planirano je da bude 8 vojišnih radionica (ORE) i dve samostalne radionice KoV (SARE). Radionice KoV prikazane su na šemi broj 6. SARE su potčinjene upravnim organima Generalšta-

ba, direktno su vezane za komandu sektora i tehničku službu (Vidi šemu broj 1). Izvlačenje tehnike prikazano je na šemi broj 7, prioritet je dat izvlačenju i evakuaciji tehnike, sredstvima koja vrše normalan dotur, a zatim specijalnim sredstvima.

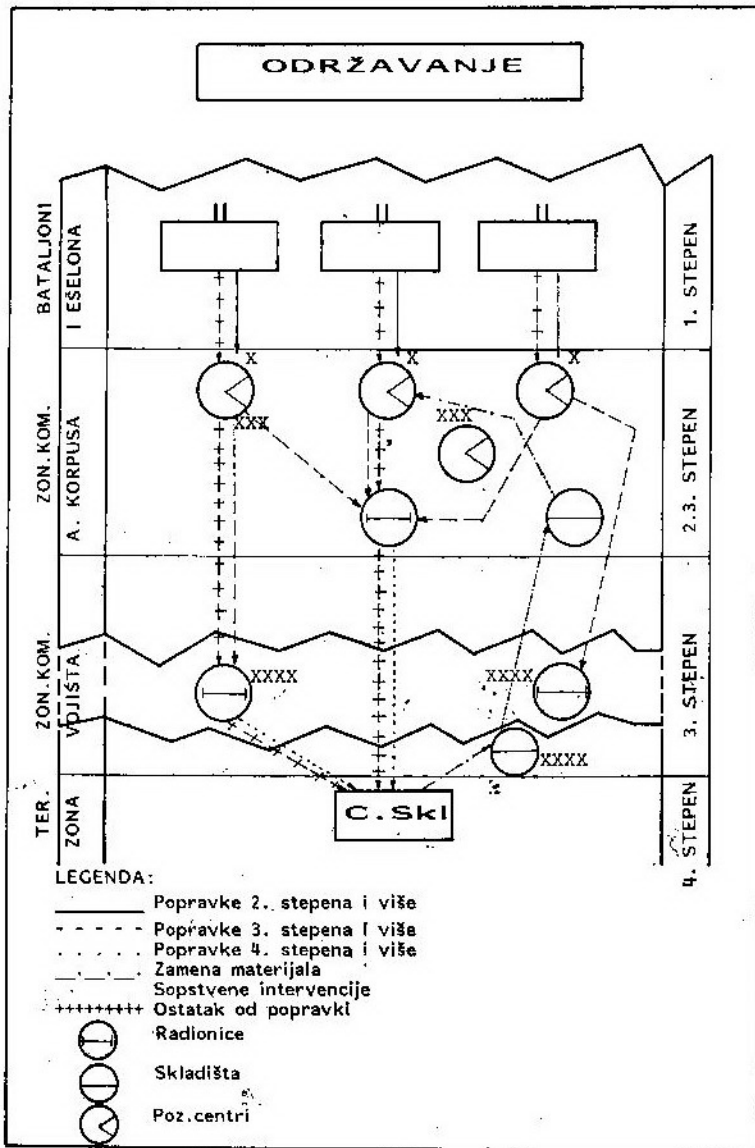


Kao rezultat svih ovih promena izašlo je novo uputstvo »Pozadinsko obezbeđenje« zduženih jedinica, iz doktrinarne serije 900, koje je radeno u Generalštabu KoV od 1986. godine. Revizija prethodnog uputstva i izrade novog bila je neophodna zbog ukidanja divizijskog komandnog nivoa, nove teritorijalne podele »borbene zone« i ve-

će ukupne pozadinske autonomije vojišta.

#### Dalje perspektive pozadine

Dalje promene pozadinskog sistema vezane su za promene KoV 2000., koje su započete i koje treba da se završe do 2000. godine.



Ide se na dalju realizaciju predviđene transformacije ka primeni sve automatizovanih sistema i ka daljem funkcionalnom usavršavanju sektora snabdevanja i održavanja.

Iako se OS Italije smanjuju, postavljen je zahtev da se združene jedinice KoV moraju ojačati ljudstvom, u

skladu sa narastanjem složenih sistema i naoružanja.

Pošto KoV 2000. pripada sadašnjosti, to zahteva neposredne izbore i odluke u sistemu pozadine. Da bi se mogle oformiti neophodne linije za buduća rešenja, izrađene su osnovne perspektive pozadine.



Pošlo se od osnovne činjenice da će politika modernizacije oružanih snaga i visoka cena čuvanja i održavanja sredstava i opreme nove generacije imati osetan uticaj na pozadinsku podršku i da bi to u narednim godinama moglo da odredi:

— naglašeniju tendenciju ka realizaciji sistema oružja u međunarodnoj saradnji, uz sve ekonomsko-funkcionalne i operativne prednosti.

Prva prednost je u održavanju i snabdevanju rezervnim delovima u specifičnim agencijama; druga je u standardizaciji opreme ili bar međuzamenljivosti i višestrukoj nameni pojedinih komponenata, što olakšava izvođenje zajedničkih borbenih dejstava za savezničkim snagama;

— pojednostavljenje i poboljšanje održavanja, primenom integralne pozadinske podrške, koja se već razmatra za sav materijal još od faze istraživanja

i razvoja, predviđajući modularnu arhitekturu, automatske sisteme za pronalazjenje kvarova i, po mogućnosti, ugradnjom u sisteme oružja autotest uređaja;

— izraženiju kvalifikovanost na 3. i 4. (vojište i teritorija) stepenu održavanja i obezbeđivanje većih mogućnosti zamene oštećenih delova na nižim nivoima, na kojima je manja potreba za specijalizovanim ljudstvom, a postiže se veća efikasnost popravke u kraćem vremenu, mada to pretpostavlja povećanje količine rezervnih delova;

— opšte smanjenje količine municije, uvođenjem »inteligentne« (vođene) municije;

— odgovarajuću teritorijalnu pozadinsku podršku, dimenzioniranu prema zahtevima regiona u kome se koristi i prilagođenu potrebama nove opreme i naoružanja.

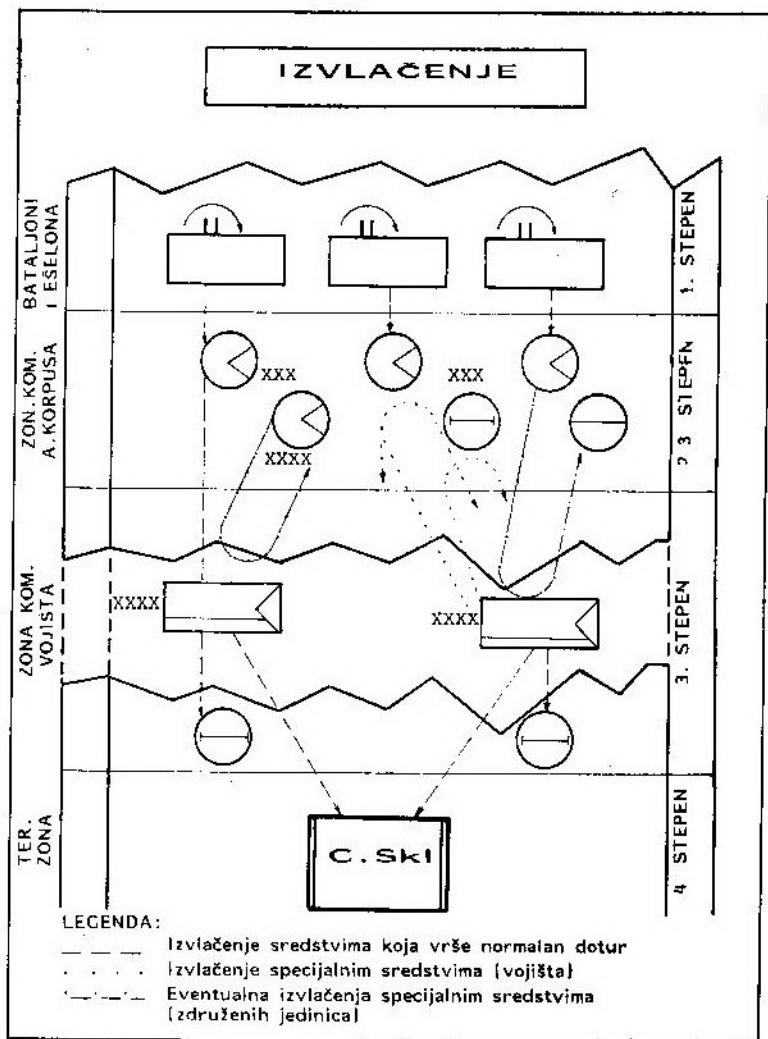
Organizacija pozadine se već prilagođava novim potrebama, procesom »olakšavanja« i procesom strukturne i funkcionalne reorganizacije.

Novi model teritorijalne pozadinske podrške u svakoj vojnoj oblasti predviđa:

— na sektoru održavanja jednu do dve radionice KoV (ORE) u vojištu, a tri u severoistočnoj vojnoj oblasti, za popravke svih transportnih sredstava i sistema opreme.

Biće opremljene modernim postrojenjima i alatima za rad i uređajima za dijagnostiku, posebno za opremu veze, optoelektronska sredstva i radare;

— u sektoru snabdevanja izvršiće se okupljanje svih ustanova za snabdevanje na vojištu u »višenamenski (višeservisni) snabdevački centar« (CERIPUS). Određeno je da na celoj teritoriji Italije bude sedam višenamenskih snabdevačkih centara, integrisanih, po potrebi, s jednom ili dve »agencije za distribuciju«, koji će biti u stanju da na odgovarajući način snabdeva pozadinske centre, ustanove i jedinice loci-



rane u toj oblasti. Raspored višenamenskih snabdevačkih centara, agencija za distribuciju i nacionalnog centra za obradu podataka dat je na šemi broj 8.

Višenamenski snabdevački centri povezani su sa nacionalnim Računarskim centrom za obradu podataka, koji omogućava u realnom vremenu uvid u situaciju, potrebe za rezervnim delovima, opremom i ostalim potrebama i najcelishodnije usmeravanje dotura prema zahtevima i mestima najveće potrošnje. Svaki »višenamenski snabde-

vački centar« raspolažeće višenamenskim kompleksom automatizovanih i robotizovanih magacina, s mogućnošću automatizovanog pozadinsko-tehničkog upravljanja i s autonomijom usaglašenom s potrebama snabdevanja na nivou vojne oblasti.

U sektoru održavanja uz reorganizaciju 3. i 4. stepena (vojište i teritorijalna zona), izvršiće se i funkcionalna reorganizacija 2. stepena (Korpus i brigada), koja će posebno obuhvatiti:



Šema br. 8

— mogućnost popravki sredstava i opreme primenom uređaja, alata i testera za rad u poljskim uslovima;

— paletizaciju opreme i sredstava, radi povećanja pokretljivosti pozadinskih jedinica u poljskim uslovima;

— automatizovano »upravljanje« sredstvima u realnom vremenu; i

— podizanje nivoa kvalifikovanosti ljudstva, u skladu sa uvođenjem složenih sistema i naoružanja nove generacije.

### Zaključak

Živimo u tehnološkom dobu pa ima mnogo razloga da verujemo, da će tehnologija imati sve veći uticaj na planiranje i realizaciju pozadinskog obezbeđenja. Zbog toga se ide ka daljoj realizaciji predviđene transformacije u primeni sve automatizovanih sistema i ka daljem funkcionalnom usavršavanju sektora snabdevanja i održavanja.

Da bi se kompletirala slika o sektoru pozadine, treba reći da se u Generalštabu nastavilo sa daljim usavršavanjem organizacije pozadine u skladu sa promenama KoV 2000. godine.

U sklopu usavršavanja organizacije pozadine u vojnoteritorijalnim oblastima, radi se posebno na merama sa stanovišta pozadinskog obezbeđenja združenih jedinica.

U tom kontekstu, čine se naponi radi davanja odgovora na brojna pitanja od značaja za opšte principe pozadine, u skladu sa doktrinarnom serijom Generalštaba — 900/A, i njihovo svođenje u operativnu realnost vojnoteritorijalne oblasti, koja dobija sve veći značaj u kontekstu razvoja nacionalne i međunarodne situacije.

Dalji razvoj KoV koji značajno menja koncepciju manevra kopnenih snaga na bojištu, zahteva povećanje mogućnosti pozadinske podrške, tog neophodnog uslova za uspeh u izvođenju savremenih borbenih dejstava.

U tom smislu usmereno je normativno ažuriranje i organizaciona modernizacija pozadine, koja fleksibilno i u realnom stepenu treba da garantuje odgovarajuću ravnotežu između komponente visokopokretne pozadinske podrške najisturenijih taktičkih formacija i teritorijalne komponente, na kojoj počiva funkcionisanje velikih pozadinskih instalacija. Obe te komponente imaju zajedničku tačku daljeg razvoja u efikasnom stvaranju pozadinske organizacije, zasnovane na odgovarajućoj informatičkoj podršci.

Orientacija za budućnost, koju će sama logika pozadine i svest starešina činiti sve realnijim, već u miru, zahteva da uvođenje savremenog naoružanja i opreme mora pratiti odgovarajuće visokokvalifikovano ljudstvo u pozadini.

M.N.

## **Lično odbrambeno oružje P90** **5,7×28 mm\***

Ponekad se P90 pogrešno naziva »automatom«, što može da bude razumljivo ako se uzmu u obzir njegove dimenzije i razlozi tržišta kome je namenjen. Zvanični naziv »lično odbrambeno oružje« (PDW — Personal Defense Weapon) nije samo semantičko pitanje: postoji potreba za novom klasom oružja koje bi zamenilo pištolj, automat i borbenu pušku kratke cevi za samoodbranu koja se koristi u nekim borbenim jedinicama. Ovu potrebu je američki KoV uvrstio u svoj plan razvoja malokalibarskog oružja, a pored toga su jedan francuski, jedan austrijski i jedan nemački proizvođač naoružanja ili inicirali programe istraživanja i razvoja PDW ili razmatraju da to učine. Međutim, P90 je jedino oružje u svojoj kategoriji koje se približava završetku svoga razvoja.

Belgijska firma FN je proračunala da je oko 2/3 savremenih armija sastavljeno od vojnika čiji primarni zadaci nisu vođenje borbenih dejstava pešadije. Tu spadaju posluge oružja, pozadinske trupe, trupe za podršku, posade oklopnih vozila i osoblje štabova. Ovi vojnici sada su naoružani mešavinom pištolja, automata i karabina.

Firma FN došla je do zaključka da specifičnost primarnih zadataka ovih vojnika ostavlja malo vremena i energije za njihovu individualnu obuku, a takođe da je njihovo sadašnje naoružanje neodgovarajuće za samoodbranu. Pištolji i automati su eliminisani zbog nedovoljne verovatnoće pogađanja u nevestim rukama i zbog uočene neefikasnosti metka PARABELLUM 9 mm protiv protivnika koji su zaštićeni telesnim oklopom. Verzije jurišne puške sa kratkom cevi i sklapajućim kundakom, kada ispaljuju efikasnu municiju, konstruisane za zadovoljavanje potreba vojnika koji se bore u prvim linijama,

\* Prema podacima iz časopisa »International defense review«, 2/1991.

ali se smatra da su nezgrapne, a cena im je ista koliko i »velike braće«.

Ciljevi firme FN pri projektovanju PDW, čija je namena da zameni pomenuta oružja, jesu sledeći:

— da je laka i kompaktna i da ne ometa tako naoružanog vojnika u obavljanju svog osnovnog zadatka;

— brzo i jednostavno nišanje i obezbeđenje velike verovatnoće pogađanja cilja, uz malo trzanje.

— velika vatrena moć, radi postizanja prednosti korisnika u kratkom i oštrom duelu pri bliskom susretu;

— municija treba da obezbedi veliki stepen verovatnoće onesposobljavanja neprijatelja, čak i kada koristi telesni oklop, a do daljine gađanja od najmanje 150 m;

— zahteva se mehanička jednostavnost koja bi doprinela lakom održavanju u poljskim uslovima i mala proizvodna cena, čime bi oružje postalo privlačno za masovnu proizvodnju.

### **Ključ kvaliteta PDW**

Ključ za realizaciju programiranih ciljeva jeste u municiji. Odbačena je ideja »pojačanja« metka PARABELLUM 9 mm kao neefikasnog za ove namene. Konstruktori firme FN su se odlučili za novi kalibar za oružje koje je trebalo da predstavlja novu klasu.

P90 je izrađen za metak SS90 5,7×28 mm, čija je masa samo 5,5 g, dok je masa metka PARABELLUM 9 mm 12 g, a NATO metka SS109 kalibra 5,56 mm — 12,5 g. Masa samog projektila (zrna) iznosi 1,5 g PARABELLUM 9 mm — 8 g, SS109 — 4 g). Kombinacija male mase zrna (zrno je izrađeno od jezgra od kompozitnog materijala sa punom metalnom košuljicom zrna) i umerenog barutnog punjenja za pogon zrna (pritisak u ležištu metka PARABELLUM 9 mm je 2.600 bara, a metka SS109 — 3.200 bara) obezbeđuje malo trzanje (17,65 Nm/s za SS90, dok je ta brojka za metak PARABELLUM 9 mm 31,39 Nm/s, a za SS109 — 64,74 Nm/s).

Trzanje oružja P90 može se uporediti sa trzanjem puške LONG RIFLE u verziji karabina, kalibra 5,58 mm. Ovi faktori doprinose velikom stepenu verovatnoće pogađanja, jer trzanje ne ometa vojnika da nišani oružjem P90 u cilj, čak i kada gađa rafalno.

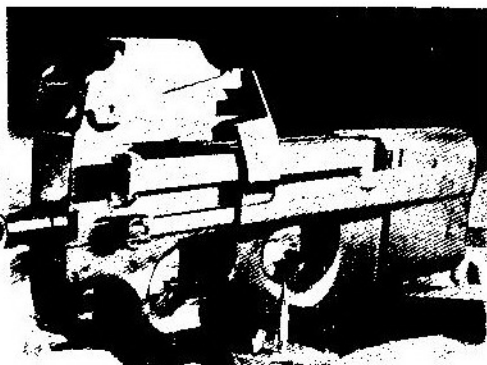
Pritisak u ležištu metka omogućuje korišćenje principa rada oružja na bazi povratne sile barutnih gasova uz umerenu masu zatvarača. F90 gađa iz položaja zabravljenog zatvarača, što doprinosi većoj preciznosti nego što je to slučaj kod većine automata koji gađaju sa nezabavljenim zatvaračem. Ovaj princip rada automatike oružja P90 doprinosi i nižoj proizvodnoj ceni zbog mehaničke jednostavnosti, pa se P90 reklamira da mu je cena nešto veća nego cena kvalitetnih automata. P90 ima samo 69 sastavnih delova; od toga su 27 izrađeni od kompozitnih materijala, 14 su mašinski izrađeni, dok je 28 opruga i osovina. Taj broj je manji nego kod većine automata koji se danas nude na tržištu, a još manji nego kod jurišne puške 5,56 mm.

Jednostavni mehanizam oružja P90 takođe olakšava rasklapanje i održavanje u poljskim uslovima, tako da se bez alata može rasklopiti za 15 s. Delovi se dele na četiri podgrupe: sklop cevi (uključujući integralni most optičkog nišana), sanduk, sklop zatvarača i magacin. Grupa za okidanje (izrađena od kompozitnih materijala) autonomna je i smeštena u jednu kutiju koja se postavlja u šuplji kundak i nije predviđena za rasklapanje u poljskim uslovima.

### **Ergonomski aspekti konstrukcije oružja P90**

Verovatnoća pogađanja cilja takođe zavisi od nišana i primene ergonomskih principa pri projektovanju. Pored kontrolisanja oružja pri gađanju, firma FN je imala na umu da će mnogi vojnici morati stalno da nose oružje za vreme obavljanja različitih zadataka.

Da bi se održala kompaktnost oružja P90 (sl. 1), firma FN je odabrala pravolinijsku »bull-pup« konstrukciju (obarača je pre okvira za municiju), što potpomaže kontrolisanje oružja prenosom trzanja direktno na rame duž ose cevi, čime se smanjuje pomeranje usta cevi. Ukupna dužina oružja P90 je 50 cm, dužina cevi je 23 cm, a širina oružja 5,5 cm.



*Sl. 1 Lično odbrambeno oružje P90*

Umesto konvencionalnog rukohvata za ruku kojom se gađa, firma FN je konstruisala rukohvat sa otvorom za prst. Kako je ruka kojom se gađa vrlo blizu lica, na taj način postignut je komforniji ugao za zglavak ruke nego da je korišćen pištoljski rukohvat. Time se, takođe, smanjuje visina koja je sada, uključujući optički nišan, samo 21 cm. Prst druge ruke stavlja se u povećani branik obarače, a sama ruka se obavlja oko jednog unazad povijenog izbočenja koje sačinjava dno branika obarače (vidi sl. 1 i 2). Ispred branika obarače nalazi se vertikalni graničnik ruke kojom se oružje pridržava (na sl. 2 desne ruke), kako ova ne bi skliznula ispred usta cevi.

Na prvi pogled izgled oružja P90 je malo neobičan, ali sve predrasude se zaboravljaju kada se oružjem rukuje. Zaobljene ivice kundaka, sanduka, rukohvata i obloge (koji su izrađeni live-njem od kompozitnog materijala) do-





Sl. 2 Način držanja oružja P90 pri gađanju, sa položajima obe ruke

prinose komfornosti korišćenja i rukovanja i osećaju »topline« samog materijala.

Standardni remnik oružja P90 prednjim delom prolazi kroz zadnji deo mosta optičkog nišana, a zadnjim delom obuhvata zadnji deo kundaka i prolazi kroz prerez u njegovoj osnovi. Ovakvim aranžmanom oružje P90 drži se u pravilnom položaju, bilo da se nosi oko vrata ili preko leđa ili pored tela, a time se i sprečava da se oružje »otkotrlja« od tela.

Naredna važna konstruktivna odlika je da ovim oružjem podjednako lako mogu da rukuju i levoruki i desnoruki vojnici. Ručica zatvarača, dugme magacina i mehanički nišani su duplicirani sa obe strane. Regulator paljbe sastoji se od obrtnog diska sa krupnim urezima, smeštenim ispod branika obarače i dostupnim i levorukim i desnorukim vojnicima, a položaji su »osigurano«, »poluautomatski« i »automatski«.

Otvor izbacaja smešten je iza rukohvata sa otvorom za prst ruke kojom se gađa i čaure se izbacuju nadole i na suprotnu stranu od lica vojnika. Kako se čaure najpre izbacuju kroz jedan »tunel« koji vodi ka prigušnici koja koči njihov impuls, u tom slučaju nema problema pri gađanju iz ležećeg stava. Izbacivanje čaura je na taj način »me-

ko« i one ne odskakuju pri udaru u zemlju. Proizvođač navodi da ovakav aranžman izbacivanja praznih čaura omogućuje gađanje »odozgo-nadole« kod borbenih dejstava nekih specijalnih snaga.

Kao i kod svih »bull-pup« oružja, nišani su podignuti do linije viziranja nišandžije. Kod oružja P90 nišani su integrisani sa jednim mostom od lake legure, koji obrazuje deo grupe cevi pri rasklapanju oružja. Osnovni nišan sastoji se od optičkog uređaja sa jednostrukim (x1) uveličavanjem koji rešava problem fokusiranja i smanjuje vreme, potrebno za nišanjenje u cilj. Od prve pojave u publikacijama ovog oružja firma FN je odabrala specijalno adaptirani nišan britanske firme RING SIGHTS. Danju, nišandžija vidi dva koncentrična bela prstena oko središnje tačke. Spoljašnji prsten pomaže da se glava stavi tako da oko kojim se nišani ima najoptimalniji položaj, pa se zatim unutrašnji prsten postavi na cilj za stvarno nišanjenje. Središnja tačka omogućuje precizno gađanje, ali firma FN tvrdi da je u borbama na bliskim odstojanjima, u kojima bi se P90 najčešće koristio, dovoljan i unutrašnji prsten.

U uslovima nedovoljne osvetljenosti bele oznake gube vidljivost, pa se zamenjuju jednim crvenim »T« koji je osvetljen pomoću tricijumskog izvora. Rezervni mehanički nišani postavljeni su na krilima mosta optičkog nišana sa obe strane oružja, kako bi ovaj nišan mogli koristiti i levoruki i desnoruki vojnici kada gađaju iz ovako kratkog oružja. Firma FN navodi da je rasturanje pogodaka od 10 metaka sa daljine od 50 m po visini i pravcu 200 mm, a sa daljine od 150 m 10 pogodaka će pasti u kvadrat  $30 \times 30$  cm.

Kompaktnosti oružja P90 znatno doprinosi i položaj magacina koji je smešten iznad i duž ose cevi sa gornje strane sanduka. Ovakav položaj, u kombinaciji sa malom masom i dimenzijama metka SS109 omogućuje korišćenje magacina kapaciteta 50 metaka, što je

za 60% više nego kod prosečne borbene puške ili automata, a uz to i ne utiče na rukovanje oružjem.

Meci leže pod uglom od 90° u odnosu na cev i njih potiskuje opruga sa dna magacina (koji se nalazi na kraju usta cevi) prema dve integralne rampe na kraju ležišta metka, koje podržavaju dno i vrh metka. Ove rampe su spiralne, tako da donose metak u pravi položaj za potiskivanje u ležište kada izađe iz magacina. Za sada je magacin izrađen od providnog plastičnog materijala, ali će u serijskoj proizvodnji biti zatamnjen radi smanjivanja odbijanja svetlosti, ili će biti donekle providan radi vizuelne kontrole količine municije.

Veliki kapacitet magacina za municiju i brzina gađanja od 900 metaka/min. omogućuje vojnicima da reše mnoge neprijatnosti, a da pri tome zameni magacina smanje na minimum.

Masa P90 je 2,8 kg u praznom stanju, a sa magacinom i 50 metaka — 3,2 kg, što odgovara približno automatu sa 30 metaka. Firma tvrdi da će par rezervnih magacina imati masu od samo 800 g i da će oružje sa 150 metaka imati masu oko 4 kg.

### Moć za probijanje oklopa

P90 je projektovan za dejstvovanje protiv zaštićenih vojnika do daljine od 150 m, smatrajući da će budući vojnici pešadije imati telesni oklop koji se sastoji od prsluka, izrađenog od 16 do 24 sloja kevlarra i šlema od čelika ili vlakana otpornih na udar balističkih pogodaka. Prilikom prikazivanja oružja P90, firma FN je pokazala da oružje može da probije 24 sloja kevlarra, američki čelični šlem M1, američki šlem PASGT od kompozitnog materijala i vetrobran vozila sa daljine od 100 m. Sa iste daljine telesni oklop i šlemove probilo je zrno PARABELLUM 9 mm, ispaljeno iz automata MODEL 125, firme FN-BERETTA. Pri ranijim prikazivanjima FN je pokazala da je pločametala, izrađena od 24 sloja kevlarra, zastavila zrno 9 mm. Posle toga, firma

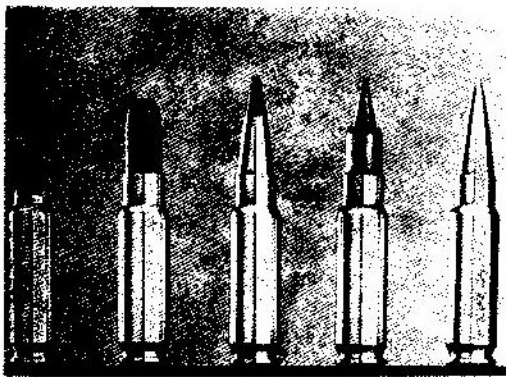
FN je isprobala metak SS90 iz oružja P90 sa daljine od 100 m, gađajući mete od 48 slojeva kevlarra. Ovog puta ploča je bila probijena, a proizvođač navodi da bi isti rezultat bio i sa daljine od 150 m, a takođe će sa te daljine probiti sa obe strane američki čelični šlem M1. Mada P90 nije projektovano kao protivoklopno oružje, može da probije meku čeličnu ploču debljine 3,5 mm sa daljine od 30 m, dok je zrno 9 mm zastavljeno od ove ploče sa bliskog odstojanja.

### Izbacivanje žive sile iz stroja

Prema NATO normama jedno zrno mora da ima energiju od 80 J da bi moglo da izbaciti iz stroja nezaštićenog vojnika. Firma FN procenjuje da je za probijanje šlema ili kvalitetnog telesnog oklopa fleksibilne izrade sa daljine od 150 m potrebno da zrno ima energiju od 200 J i da mu ostane još toliko energije da i vojnika izbaciti iz stroja. Kako su tehnički uslovi za razvoj ovog oružja zahtevali lako zrno, velika pažnja posvećena je optimizaciji njegovog oblika, radi minimalnog smanjivanja gubitka energije na putanji, čime bi se obezbedio maksimalni potencijal ranjavanja žive sile.

Kada se ispali iz oružja P90, zrno SS90 ima početnu brzinu od 850 m/s i početnu energiju (na ustima cevi) od 540 J. Proizvođač tvrdi da je ispoštovao taktičko-tehnički zahtev da ta energija na 150 m od usta cevi bude 200 J. Pored dobrih spoljno-balističkih karakteristika, zrno ima приметно šiljasti profil (sl. 3), koji mu omogućuje da probije višeslojni oklop od vlaknastog materijala i da ima dovoljno energije da posle probijanja porazi cilj.

Zajedno sa ostalim proizvođačima, i firma FN koristi želatin koji simulira tkivo u pokušaju da utvrdi efikasnost oružja P90. Firma veruje i da ovakva procedura nije u potpunosti zadovoljavajuća, jer je želatin homogeni materijal, dok ljudsko tkivo to nije. Drugo, nisu sva balistička ispitivanja obavljene



Sl. 3 Familija municije 5,7 mm oružja P90: sleva udesno — manevarski metak, metak za kratki domet, obeležavajući metak, metak velike brzine i metak SS90 sa običnim zrnom

na korišćenjem istog simulanta, pa čak kada se koristi želatin određenog standarda. Rezultati mogu da se razlikuju zbog različitih standarda u proizvodnji i varijacija u pripremi ili stokiranju materijala. Firma FN koristi želatin sa NATO-standardom koncentracije od 20%.

»Klasični« metod ocenjivanja efekta metka da izbací živi cilj iz stroja je merenje količine energije koju zrno preda na cilj. Prema firmi FN, zrno SS90, ispaljeno iz oružja P90 u blok NATO želatina dimenzija 15 × 15 × 15 cm sa daljine od 10 m, predalo je 500 J energije, što predstavlja 95% početne energije. Radi upoređenja, zrno 5,56 mm SS109 predalo je 540 J energije (30%), a zrno PARABELLUM 9 mm — 180 J (30% početne energije). Firma FN, takođe, navodi kao komparativnu indikaciju da je sila zaustavljanja običnog zrna SS90, firme FN najmanje tri puta veća od sile zaustavljanja običnog zrna PARABELLUM 9 mm. Kaže se, takođe, da je to postignuto bez ikakvih deformacija ili rasprskavanja zrna.

Međutim, predaju energije na cilj ne bi trebalo smatrati jednim merilom izbacivanja iz stroja žive sile. Ova energija mora stvarno da deluje na cilj. Firma FN tvrdi da zrno SS90, kada se ispali u blok želatina po NATO standardu, sa stranicama od 30 cm, ostav-

lja stalnu šupljinu sa prosečnim maksimalnim prečnikom od 8 cm, dok je ta veličina za zrno PARABELLUM 9 mm — 3 cm. Maksimalni prečnik privremene šupljine od zrna SS90 je 15 cm, a od zrna PARABELLUM 9 mm — 5 cm.

Kako sićušno zrno SS90 može da prouzrokuje tako veliku privremenu šupljinu utvrđeno je delom posmatranjem video-zapisa komparativnih gađanja u želatin zrnima SS90 i PARABELLUM 9 mm. Ovo drugo zrno letelo je kroz želatinski blok sa vrhom napred dok se zrno SS90 najpre nakrivilo, a zatim prevrtalo i izletelo kroz gornju stranu želatinskog bloka sa stranicama od 15 cm. Prema tome, jasno je da će zrno SS90 ostaviti veću stalnu šupljinu u toku leta po delu svoje putanje kroz želatinski blok, preturajući se bočno, pa se na taj način postiže veći poprečni presek nego da leti pravolinijski, vrhom napred, sve vreme.

Drugo nejasno pitanje je — kako jedno zrno koje se ne deformiše i ne rasprskava, dugačko oko 2,5 cm, sa maksimalnim prečnikom od oko 0,57 cm, može da ostavi prosečni otvor proboja od 8 cm?

Na ova pitanja firma daje odgovore. Pod pojmom »stalna šupljina« smatra se »zona koja je nepovratno oštećena«, a što se tiče drugog pitanja — pri merenju navedenog fenomena nije došlo do mešanja privremene i stalne šupljine.

Druga indikacija efikasnosti za izbacivanje iz stroja je dubina probijanja cilja. Američki federalni istražni biro (FBI) neće naoružati ni jednog svog agenta oružjem čije zrno nema minimalnu dubinu probijanja od 30,5 cm. Ovdje treba podsetiti da zrno SS90 predaje 95% energije 15 cm dugačkom bloku želatina po NATO standardu, što nekoga može da navede na pomisao da to zrno neće obaviti navedeni zahtev za probijanje u cilj. Firma FN smatra da homogenost u smislu istorodnosti želatina po NATO standardu ne može u potpunosti da predstavlja ljudsko telo, pa ovaj želatin i ne koriste svi organi u svojim ispitivanjima. Tako FBI ko-

risti za sopstvena ispitivanja municije 10%-želatin pri temperaturi od 4°C i smatraju da želatin po NATO standardu nema objektivnu osnovu.

FN navodi da bi probijanje zrna SS90 u želatin po Faklerovom standardu bilo oko 25 cm i smatra, da je želatin po Faklerovom standardu odgovarajući za ocenjivanje zrna koja lete, u osnovi, po linearnoj putanji u cilj, ali ne i za ocenjivanje performansi izbacivanja iz stroja koja se očekuju od zrna SS90.

Firma navodi da se zrno destabilizuje posle 5 cm, pa se posle toga kreće dugom i nepredvidljivom unutrašnjom putanjom, preturajući se nekoliko puta. Time se povećavaju njegove šanse da pogodi neki vitalni organ ili krvni sud zahvaljujući dužini i nepredvidljivosti takve putanje nelinearnog oblika. Zbog takve nepredvidljivosti izgleda da postoji mogućnost da bi zrno SS90 moglo isto tako izaći iz tela pogođenog na početku njegove unutrašnje putanje, ali firma tvrdi da u toku njenih ispitivanja do takvog slučaja nije dolazilo.

Treba reći da analize te vrste ometa nedostatak utvrđenih međunarodnih standarda za ispitivanja, koji bi bili od koristi onim zemljama koje nemaju iskustva i kapacitete za obavljanje sopstvenih ispitivanja.

### Familija municije 5,57 mm

Obično zrno 5,57 mm treba da bude dopunjeno familijom zrna, uključujući sledeće četiri vrste; obeležavajuće zrno, koje treba da ima istu putanju kao i obično zrno do daljine od 100 m; manevarsko zrno; zrno malog dometa za obuku i zrno velike brzine koje liči na potkalibarski projektil sa nosačem potkalibarskog jezgra. Namenjeno je borbi protiv žive sile, a sa ciljem povećavanja dometa oružja P90 do 250 m, tako da bi ovo oružje moglo da zameni jurišnu pušku 5,56 mm za neke zadatke.

Zrno velike brzine sastoji se od jednog komada izrađenog od »nestra-

tegijskog materijala« i četvorodelni plastični nosač potkalibarskog jezgra izrađen injekcionim livenjem. Navodno, zrno može da probije NATO čeličnu ploču sa daljine od 250 m. Početna brzina je 920 m/s, ali impuls trzanja nije ništa veći nego kod običnog zrna.

Ispaljeno u blok dimenzija 15 × 15 × 15 cm želatina po NATO standardu sa daljine od 10 m, zrno velike brzine izgubi 400 J ili 85% svoje energije u bloku. Navodi se da zrno SS90 košta približno isto kao i zrno 9 mm, a zrno velike brzine biće skuplje za 25%.

U toku razvoja oružja P90 ispaljeno je oko 250.000 metaka, a odstupanje zbog vetra ili pri gađanju kroz žbunje nije ništa veće nego kod zrna SS109 5,56 mm. Svaki od dva prototipa ispalila su preko 20.000 metaka bez lomova važnijih delova i oba prototipa su izdržala dinamička ispitivanja i ispitivanja u okolnoj sredi. U toku je izrada alata za masovnu proizvodnju, a prodaja će početi marta 1991.

P.M.

### Kandidat firme »COLT« za poboljšanu borbenu pušku (ACR)\*

Završena su ispitivanja kandidata na konkursu američkog KoV za poboljšanu borbenu pušku ACR (Advanced Combat Rifle), a jedan od učesnika u konkursu je i američka firma COLT'S MANUFACTURING COMPANY, čija puška koristi novu municiju 5,56 mm sa dva zrna »duplex«. Cilj programa ACR je određivanje naslednika pušaka serije M16, koje su sada u naoružanju. Slika puške sa optičkim nišanom data je na slici 1.

\* Prema podacima iz časopisa »International defense review«, 2/1991.

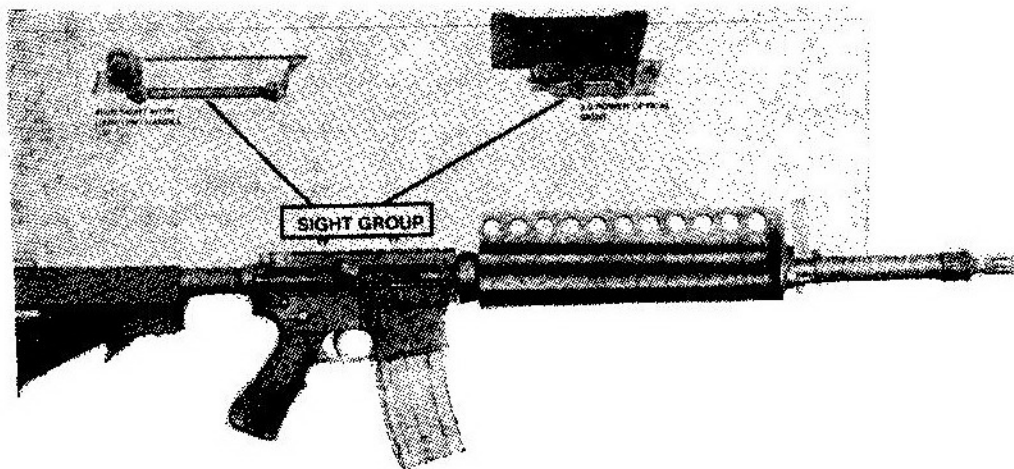


Sl. 1 Izgled puške ACR firme COLT sa optičkim nišanom

Puška ACR firme COLT razlikuje se od svojih konkurenata po tome što može da ispaljuje standardnu municiju 5,56 mm. Ustvari, ova puška je potpuno modifikovana M16A2 sa sandukom čija je gornja strana ravna. Time se omogućuje ugradnja mehaničkog nišana istovremeno i ručice za nošenje puške (vidi sl. 2), ili optičkog nišana »wild cat« sa 3,5-strukim uveličavanjem. Puška ima novi ergonomsko konstruisan rukohvat, hidraulički odbojnik trzanja, teleskopski kundak sa više položaja izvlačenja i sa osloncem za oba obraza,

novu navlaku sa ravnom gornjom površinom i novi sofisticirani kompenzator na ustima cevi i gasnu kočnicu. Izuzev pomenutih razlika, zatvarač, nosač zatvarača i zadnjak, odnosno njihove generalne karakteristike osnovni unutrašnji mehanizmi puške ACR uzeti su od stare puške A16. Dužina puške ACR sa izvučenim kundakom je 1.067 mm, a masa bez okvira 3,64 kg.

Za razliku od puške M16A2, puška ACR nema ograničivača rafala od tri metka. Namera konstruktora da dužina izvlačenja kundaka bude podešava-



Sl. 2 Puška ACR sa mehaničkim i optičkim nišanom

juća je u tome da se dobije opseg izvlačenja od 102 mm i omogućiti određeno podešavanje odstojanja izlazne pupile za optički nišan u slučaju potrebe. Optički nišan »wild cat« ima osnovno odstojanje izlazne pupile od 76 mm i on se može pričvrstiti u jedan od dva položaja na njegovoj šini.

U odnosu na standardnu pušku M16A2, povlačenje obarače kod puške ACR je ravnomernije i lakše. Kada puška ACR ima svoj mehanički nišan, tada rebro na oblozi (slično kao na lovačkoj puški) maskira bar polovinu prednjeg nišana, ostavljajući možda samo 3 mm prednjeg nišana i zbog toga se traći vreme u traženju prednjeg nišana pri nišanjenju. Rešenje ovog nedostatka bilo bi snižavanje rebra za milimetar-dva. Nišan »wild cat« daje svetlu i jasnu sliku, ali mu je mrežica donekle zakrčena linijama daljina od 40, 500 i 600 m ispod srednje nišanske tačke za daljinu od 300 m. Navodno je u procesu osvajanja nova mrežica.

### **Veća verovatnoća pogađanja**

Osnova koncepcije puške ACR je povećavanje verovatnoće pogađanja do daljine od 600 m. Predlog firme COLT bilo bi korišćenje mehaničkog nišana i »duplex« municije sa dva zrna, za gađanje ciljeva na malim daljinama, a za velike daljine preporučuje se korišćenje standardne NATO municije 5,56 mm M855 i optičkog nišana. »Duplex« municija i optički nišan se preporučuju i za srednje daljine, do oko 300 m. Poluautomatsko gađanje je preporučeno za sve druge vrste gađanja izuzev za blisku borbu.

Da bi se uspostavio odnos sa ovom puškom, vatreno ispitivanje je najpre vršeno sa starom municijom M193 koja je skoro adekvatna do 300 m u cevi čija je dužina koraka oluka 178 mm. Pomoću optičkog nišana grupisanje pogodaka prvim rafalom sa daljine od 50 m bilo je oko 25 mm. Sa mehaničkim nišanom grupisanje pogodaka bilo je dva puta veće, mada je tome dopri-

nelo rebro na oblozi, a i neodgovarajući vatreni položaj na poligonu prilikom ispitivanja.

### **Umereno trzanje**

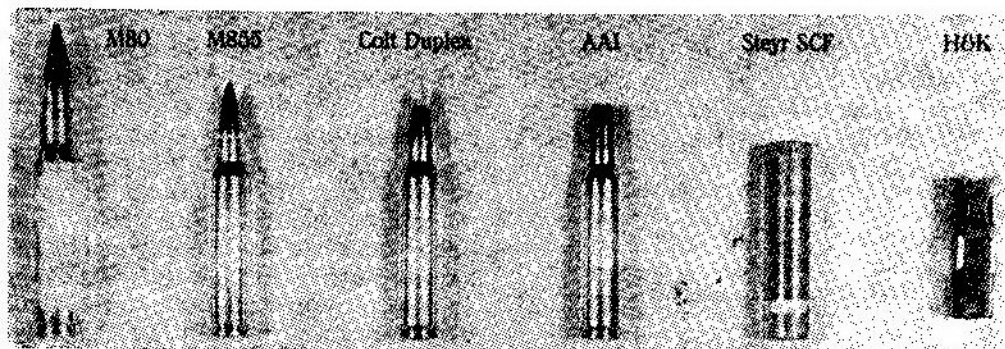
Trzanje i odskok puške ACR vrlo su umereni u odnosu na druge puške serija M16. Delom tome doprinosi hidraulički odbojnik, a ostatak je zbog konstrukcije nastavka usta cevi, koji je izrađen kao cevasta obloga od skrivača plamena do gasnog bloka. Barutni gasovi iz dodatnih otvora na cevi prolaze kroz pomenuti nastavak usta cevi i usmeravaju se najpre nazad, pa onda ponovo u smeru usta cevi i na kraju izlaze kroz seriju malih otvora neposredno iza skrivača plamena. Zbog toga je trzanje čak manje nego kod standardnog automata COLT 9 mm. Ima se osećaj da je odskok puške približan nuli.

### **Municija »duplex«**

Municija »duplex« firme OLIN, koja je upotrebljena pri ispitivanju puške, proizvedena je 1989. Program razvoja je nastavljen i sve vreme se poboljšavaju performanse. Pri gađanju mete na daljini od 50 m uz pomoć optičkog nišana »wild cat« rafal od 10 metaka »duplex« dao je vrlo interesantnu sliku pogodaka, jednu unutrašnju i jednu spoljašnju grupu pogodaka, tako što je vodeće zrno oba para unutar 64 mm, a krajnja zrna unutar 152 mm. Oblik ukupne grupe pogodaka je grubi trougao, a ako bi se ispalio dovoljan broj metaka slika pogodaka bi eventualno imala oblik »krofne«.

Pri ispitivanju puške na otvorenom poligonu, a pri gađanju cilja na daljini od 100 m, dva zrna iz istog metka imali su pogotke na međusobnom rastojanju od 305 mm. Pored neznatnog povećanja trzanja i udarnog talasa, karakteristike gađanja sa municijom »duplex« bile su iste kao i sa standardnim vrstama municije (sl. 3).

Pravila bezbednosti američkog ministarstva odbrane ne dozvoljavaju objavljivanje krajnjih potencijala muni-



Sl. 3 Municija 5,56 mm raznih proizvođača; prvi metak levo je 7,62 mm M80 radi upoređenja

cije 5,56 mm tipa »duplex«, ali se saznalo da je prvi problem bio nedovoljno rasturanje, a razlog tome je možda nepravilno razdvajanje na putanji leta i opasnost da drugo zrno dostigne prvo i da ga udari. Ovaj problem je bio uzrok velikom rasturanju pogodaka do 1,5 m, do kojeg je dolazilo pri ispitivanju »duplex« municije 7,62 mm u toku sedamdesetih godina.

Prvo (vodeće) zrno u »duplex« municiji ima masu od 2,27 g, a drugo samo 2,1 g i oba imaju čelično jezgro. Još nema verodostojnih podataka o balističkim karakteristikama na kraju putanje ovih malih metaka, mada je jasno da oni neće imati domet ili performanse municije M855. Na malim daljinama gađanja, na primer, 50 m ili manjim, normalno je da postoje mnogo veće šanse za postizanje višekratnih pogodaka, pa zbog toga i veća teoretska verovatnoća onesposobljavanja cilja.

Na srednjim daljinama do cilja municija »duplex« stvara pri automatskim rafalima dvostruko veću gustinu vatre u tučenoj zoni, pa bi poboljšanja postignuta kod verzije 5,56 mm okuražila ponovni pokušaj sa municijom »duplex« 7,62 mm da se ispita gađanjem iz M60 i drugih univerzalnih mitraljeza.

### Evolucija a ne revolucija

Projekat puške ACR firme COLT daleko je od revolucionarnog. Firma je,

takođe, izradila »karabin ACR«, koji je sličan pušci, izuzev dužine cevi koja je 25 km kraća od karabina M16A2 kod kojeg je cev dugačka 510 mm.

Iako nema daljeg rada na razvoju ACR kao specijalnog programa američkog KoV, puška firme COLT nudi mnogo rešenja, koja bi se mogla koristiti za narednu modernizaciju pušaka M16, a »duplex« municija firme OLIN izgleda da je koncepcija vredna pažnje.

P.M.

## Tenkovski topovi budućnosti Deo 2: Elektromagnetski i elektrotermički topovi

### Uvod

U odnosu na topove sa tečnim pogonskim punjenjem, o kojima je ranije bilo reči (VTG 2/91), električni topovi su nedavna potencijalna alternativa topovima sa čvrstim pogonskim punjenjem. Iako je razvoj ovih topova razmatran mnogo ranije, stvarni razvoj započet je u toku sedamdesetih godina, a elektrotehničkih u osamdesetim godinama. Razvoj oba tipa električnog topa znatno je odmakao od svoga početka,

\* Prema podacima iz časopisa »International defense review«, 1/1991.

ali se još uvek nalazi u ranim fazama razvoja i još dosta treba uraditi pre nego što jedan od ova dva tipa električnog topa bude pogodan za ugradnju u tenkove. Tipovi električnog topa prikazani su šematski na slici 1.

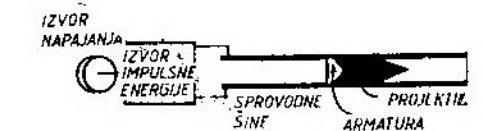
gasova nema apsorbovanja energije kao kod drugih topova, gde to odnosi znatan deo pogonske energije zbog povećanja mase pogonskog punjenja radi povećanja brzine projektila. Umesto toga, kod elektromagnetskog topa celokupna energija odlazi na ubrzavanje projektila elektromagnetskim silama. Zbog toga se kod elektromagnetskih topova postižu brzine od 6.000 m/s, dođuše sa projektilima male mase, oko 3 g. Veći i realniji projektili su ubrzavani do manjih, ali ipak velikih brzina.

Godine 1983. istraživačko-razvojni centar firme WESTINGHOUSE postigao je brzinu od 4.200 m/s sa projektilom mase 317 g, a 1988. MAXWELL LABORATORIES brzinu od 3.400 m/s sa projektilom mase 1,08 kg.

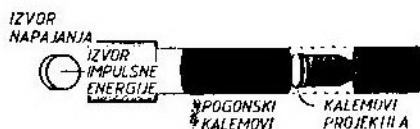
Celokupni napredak do sada postignut je pomoću šinskog tipa elektromagnetskog topa. Drugi tip topa, sa koaksijalnim kalemovima, ima veću efikasnost pretvaranja električne energije projektila u kinetičku, koja može da bude dvostruko veća nego kod šinskog tipa topa. Kod ovog topa sa koaksijalnim kalemovima ne postoji problem erozije šina kao kod šinskog tipa topa. Međutim, električna kola topa sa koaksijalnim kalemovima su kompleksnija, a parazitska masa armature njihovih projektila je znatno veća od čvrstih armatura šinskih topova (ukoliko se ne koristi armatura od plazmenog luka).

## Impulsna električna energija

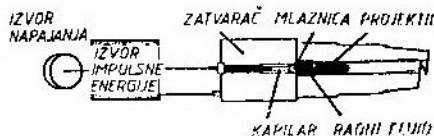
Impulsi električne energije, potrebni da bi šinski topovi izbacivali svoje projekte, najpre su dobijani iz energije koja je akumulirana u homopolar-nim (jednopolnim) generatorima koji su rezultat istraživačkog rada nacionalnog univerziteta Australije oko 1970. Taj rad bio je zasnovan na generatoru izrađenom za istraživanja u oblasti fizike velikih energija. Međutim, taj generator bio je suviše velik za primenu u vojne svrhe. Od tada je došlo do znatnih povećanja gustine energije u homopolar-nim generatorima.



ELEKTROMAGNETSKI TOP ŠINSKOG TIPA



ELEKTROMAGNETSKI TOP SA KOAKSIJALNIM KALEMOVIMA



ELEKTROTHERMIČKI TOP

Sl. 1 Tri osnovna tipa električnih topova:

Elektromagnetski top, šinskog tipa: 1 — izvor napajanja; 2 — izvor impulsne energije; 3 — provodne šine; 4 — armatura; 5 — projektil.

Elektromagnetski top sa koaksijalnim kalemovima: 1 — izvor napajanja; 2 — izvor impulsne energije; 3 — pogonski kalemovi; 4 — kalemovi projektila.

Elektrotermički top: 1 — izvor napajanja; 2 — izvor impulsne energije; 3 — zatvarač; 4 — kapilar; 5 — mlaznica; 6 — radni fluid; 7 — projektil.

## Elektromagnetski topovi

Najveći podstrek za razvoj elektromagnetskih topova, kako za ugradnju u tenkove, tako i za druge primene, jeste vrlo velika brzina projektila koja se može postići sa ovim topovima. Veliku brzinu projektila kod elektromagnetskih topova, za razliku od topova sa čvrstim ili tečnim pogonskim punjenjima, moguće je postići zato što brzina ne zavisi od ekspanzije barutnih gasova. Zbog toga pri ubrzavanju pogonskih



Homopolarni generatori iz sedamdesetih godina imali su gravimetrijsku gustinu energije od samo 0,6 kJ/kg, a u 1983. ona je povećana do 4 kJ/kg izradom kompaktnog homopolarnog generatora na univerzitetu Teksasa (CEM-UT) u Ostinu. Posle toga, ona je povećana do 8 kJ/kg i više, a istovremeno volumetrijska gustina energije porasla je od 1,4 do 17 MJ/m<sup>3</sup>, zatim do 60 MJ/m<sup>3</sup>.

Uprkos očitom napretku u razvoju homopolarnih generatora, pažnja stručnjaka je uveliko prešla na kompulsatore (kompenzirane impulsne alternatore), a prvi od njih razvijen je sredinom osamdesetih godina za primenu kod elektromagnetskih topova. Kompulsatori su nešto masivniji od homopolarnih generatora, jer oslobađaju manji deo unutra akumulirane energije, ali njihovim impulsima nije potrebna dalja kompresija, čime se eliminiše potreba za induktorima i preklopnocima koji su potrebni homopolarnim generatorima, pa im mase mogu biti približne. Zbog toga su kompulsatori privlačniji sa aspekta celokupnosti sistema, mada im je mana da su uzrok velikim mehaničkim naprezanjima zbog velikih kolebanja obrtnog momenta u njima.

Sada, takođe, postoji alternativa obrtnim mašinama, kao načinu akumuliranja energija koja se dobija od primarnog izvora električne energije i načinu dovoda impulsa energije na elektromagnetske topove. Ova alternativa sastoji se od baterija kondenzatora čija se gustina energije lagano povećavala do 1985, a od tada se naglo povećava zahvaljujući korišćenju novih tankih dielektrika od plastične opne. Tako kondenzatori, izrađeni 1985, još uvek imaju volumetrijsku gustinu energije samo 0,58 MJ/m<sup>3</sup>, a do 1990. ona je porasla na 6 MJ/m<sup>3</sup>, dok je gravimetrijska gustina energije porasla u isto vreme od 0,3 do 3 kJ/kg, bar što se tiče laboratorijskih uređaja.

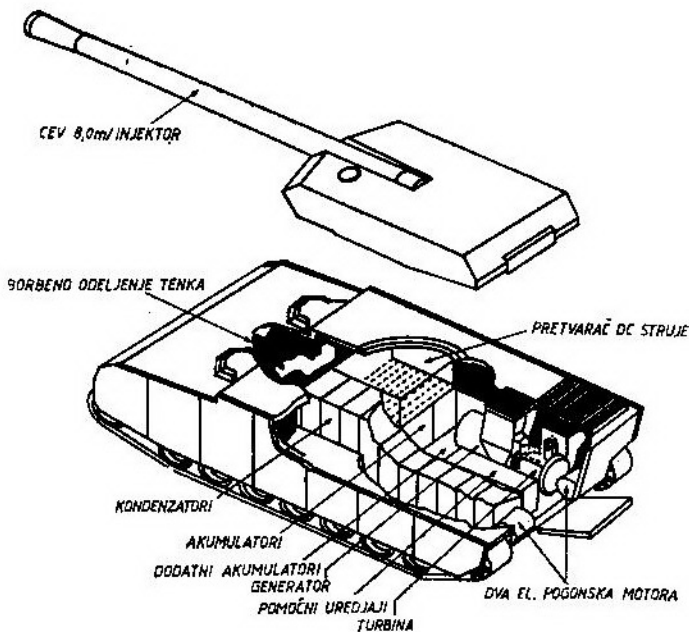
Alternativni prilaz rešavanju problema elektromagnetskih topova doveli su 1985. do izrade u SAD dva jednodimenzionalna laboratorijska šinska topa kalib-

ra 90 mm sa početnom energijom (na ustima cevi) od 9 MJ. Jedan je iz istraživačkog centra CEM-UT i napaja se iz homopolarnih generatora, a drugi ima baterije kondenzatora. Oba topa su do sada ispalila desetine projektila, a u daljem razvojnom radu treba da se izrade autonomni šinski top i top sa koaksijalnim kalemovima sa energijom od 9 MJ, postavljeni na klizače, sposobni za jedinačnu paljbu, koji se mogu koristiti na poligonu. KoV SAD je planirao da posle ovih topova na klizačima izradi probni top na šasiji na gusenica sa energijom od 15 MJ. To još neće biti električni top za ugradnju u tenkove.

### Problemi dimenzija i mase elektromagnetskih topova

Najveće prepreke koje treba savladati pre nego što elektromagnetski topovi budu sposobni za ugradnju u tenkove su njihove dimenzije i mase. Na primer, top od 9 MJ traži električni input od 30 MJ po ispaljenom projektilu, pretpostavljajući da je ukupni stepen korisnog dejstva pretvaranja energije 30% koji je nedavno postignut. Za gravimetrijsku gustinu energije od 3 kJ/kg potrebna je baterija kondenzatora čija bi masa bila veća od 10.000 kg, bez pomoćne opreme. Šta više, da bi top mogao da ispaljuje serije projektila, treba da postoji pomoćni (intermedijalni) izvor energije u obliku akumulatora, što bi dalje povećalo masu i broj komponentata od kojih je sastavljen sistem elektromagnetskog topa.

Perspektive elektromagnetskih topova znatno bi se poboljšale ukoliko bi se gustine energije akumulatora i električni elementi poboljšavali u toku nekoliko narednih godina dosadašnjim tempom. To bi moglo da dovede do konstruisanja tenka sa šinskim elektromagnetskim topom (sl. 2) 100 mm i 15 MJ, koji se napaja iz sistema kondenzatora i bipolarnih olovnih akumulatora sa očekivanom gustinom energije od 15, odnosno 135 kJ/kg. Rezultat toga bi



Sl. 2 Konceptija CEM-UT za tenk od 49,6 t sa šinskim topom 15 MJ i sistemom kondenzatora i akumulatora:

1 — cev 8,0 m/injektor; 2 — borbeno odeljenje tenka; 3 — pretvarač DC struje; 4 — kondenzatori; 5 — akumulatori; 6 — dodatni akumulatori; 7 — generator; 8 — pomoćni uređaji; 9 — turbina; 10 — dva električna pogonska motora.

bio tenk sa tročlanom posadom i jedan tenk bez posade sa kupolno ugrađenim elektromagnetskim topom i daljinskim upravljanjem. Tenk bi imao gasnu turbinu snage 1.104 kW, a verovatna masa u borbenom stanju bila bi 49,6 t. Procenjuje se da bi alternativna konstrukcija tenka slične konfiguracije, ali sa dva kompulsatora umesto sistema akumulatora i kondenzatora, imala skoro istu masu od 47,8 t.

Ove i druge studije konstrukcije tenka sa elektromagnetskim topom nagoveštavaju da bi se problemi dimenzija i mase elektromagnetskih topova mogli prevazići uz dalji razvojni rad. Međutim, postoje i drugi problemi, kao što je razvoj preklopnika, kliznih kontakata i fleksibilnih kablova koji bi se koristili sa strujama od 4 MA. Tako visoke struje i odgovarajući visoki naponi takođe zahtevaju vrlo efikasnu zaštitu članova posade, što bi predstavljalo te-

škoće, s obzirom na ograničeni prostor u tenku.

Sa druge strane, članovi posade tenka sa elektromagnetskim topom ne bi bili izloženi opasnostima od eksplozije barutnog punjenja, jer se za pogonsku energiju projektila koristi dizel ili slično gorivo. Međutim, u pitanju je osetljivost na oštećenje mašina sa vrlo velikim brojem obrtaja i kondenzatora u kojima su akumulirane velike količine kinetičke ili elektrostatičke energije, čije bi oslobađanje bilo vrlo burno u slučaju da dođe do njihovog oštećenja usled neprijateljevog pogotka.

Takođe, postoje velike količine toplote koja treba da bude odvedena. Što se tiče ove toplote, javljaju se dva problema. Prvi je potreba sistema za hlađenje, koji su znatno veći od onih za hlađenje tenkovskog motora. Drugi je veliki toplotni odraz tenka sa elektromagnetskim topom. Postoje problemi

kompleksnosti sistema elektromagnetskog topa i, u vezi sa tim, njihove pouzdanosti i cene. Na primer, samo jedan osnovni elemenat, kao što je baterija kondenzatora od 30 MJ, može da košta preko milion dolara, jer je cena čak i masovno proizvedenih kondenzatora sa manjim standardima od onih za elektromagnetske topove približno 4 centa po džulu (J).

### Segmentirana probojna jezgra

Iz navedenog proizilazi da elektromagnetski topovi imaju veće brzine projektila nego drugi topovi. Zbog toga imaju veći intenzitet probojne energije i potencijalno veću probojnost, kraće vreme leta projektila do cilja i znatno veću verovatnoću pogađanja cilja.

Probojnost projektila elektromagnetskih topova mogla bi se još više povećati korišćenjem segmentiranih probojnih jezgara, koja su efikasnija pri brzinama preko 2.000 m/s od monolitnih dugačkih probojnih jezgara. Analiitičke studije i eksperimenti firmi GENERAL RESEARCH CORPORATION i CALIFORNIA RESEARCH AND TECHNOLOGY su pokazali da je probojna moć segmentiranih jezgara protiv polubeskonačnih ciljeva pri brzinama od 2.000 do 4.000 m/s ne samo veća od probojne moći nesegmentiranih (kontinualnih) jezgara iste mase i prečnika, već i da ona raste brže sa porastom brzine. Balistička ispitivanja pri brzinama od 2.000 do 4.000 m/s pokazala su, takođe, da su segmentirana probojna jezgra efikasnija pri probijanju razmaknutih oklopnih ploča.

Međutim, postoje problemi što se tiče ukupne dužine segmentiranih probojnih jezgara i parazitske mase koja služi za držanje segmenata u razmaknutom stanju. Firma KAMAN SCIENCES konstruisala je i uspešno ispitala segmentirana probojna jezgra koja se mogu ispaliti brzinom od 3.500 m/s. Međutim, aerotermičko zagrevanje ograničava brzinu kojom projektil može da bude praktično ispaljen u atmosferu na oko 3.000 m/s.

### Elektrotermički topovi

Elektromagnetski topovi mogu da postignu daleko veće brzine projektila od elektrotermičkih topova zbog fundamentalno različitih načina ubrzavanja projektila. Tako, umesto da projektil ubrzaju elektromagnetske sile kao u elektromagnetskim topovima, pogon i ubrzanje projektila u elektrotermičkom topu vrši se zahvaljujući ekspanziji gasova, kao i kod topova sa čvrstim i tečnim pogonskim punjenjima. Pogonski gasovi u elektrotermičkom topu mogu da imaju manju molekularnu masu nego gasovi topova sa čvrstim i tečnim pogonskim punjenjem, pa zbog toga apsorbuju manje energije, tako da njihov balistički koeficijent korisnog dejstva ne opada tako brzo sa brzinom, kao što je to slučaj kod drugih tipova topova. Međutim, i elektrotermički topovi podložni su sličnim ograničenjima i maksimalne brzine njihovih projektila su zbog toga manje od brzina projektila elektromagnetskih topova. Maksimalne brzine su obično reda 2.700 m/s, mada je firma GT DEVICES postigla brzinu od 3.500 m/s pomoću specijalnog eksperimentalnog elektrotermičkog topa 20 mm.

Elektrotermičkim topovima nisu potrebni glomazni, teški i kompleksni akceleratori elektromagnetskih topova. Umesto toga, oni mogu da ispaljuju svoje projektele iz istih jednostavnih cevi kao i topovi sa čvrstim pogonskim punjenjem. Zbog toga oni nemaju problema sa erozijom cevi kao akceleratori šinskih topova.

Kod čistog oblika elektrotermičkog topa gasovi za pogon projektila generišu se od inertnog endotermnog radnog fluida i celokupna pogonska energija dolazi iz izvora električnog napajanja. Ova energija uvodi se u fluid pomoću plazmenog patrona koji se, tipično, sastoji od tanke žice u polietilenskoj kapilarnoj cevi koja eksplodira kada kroz nju prođe veliki strujni talas. To dovodi do topljenja polietilena i stvaranja plazme koja brzo ističe iz kapi-

lara u komoru u kojoj se nalazi radni fluid. Pošto se od radnog fluida ne traži da stvara bilo kakvu energiju, on se može odabrati tako da njegovi gasovi imaju nižu molekularnu masu od mase pogonskih gasova čvrstog i tečnog pogonskog punjenja, pa su time elektrotermički topovi efikasniji. Radni fluid može prosto da bude voda, pa tako elektrotermički top postaje »parni top«, ali se time neće postići veliki balistički koeficijent korisnog dejstva, jer molekularna masa pare nije mnogo manja od mase pogonskih gasova.

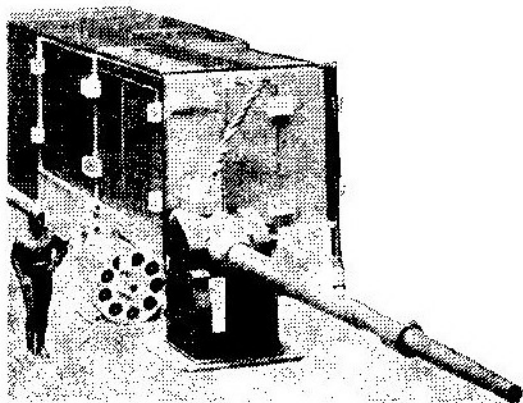
U svakom slučaju, svi radni fluidi prouzrokuju određene gubitke u pogonskoj energiji. Zbog toga bi se moglo očekivati da čisti elektrotermički topovi traže više električne energije nego elektromagnetski topovi, što bi trebalo da znači da su njima potrebni masivniji i veći električni agregati. U stvari, kada je kalibar topa mali ili kada je brzina projektila oko 1.000 m/s, elektrotermičkim topovima potrebno je manje električne energije nego odgovarajućim elektromagnetskim topovima, zbog omiskih i drugih gubitaka u njima. Ali, to nije sprečilo da se čisti elektrotermički topovi prevedu u fazu laboratorijskih probnih topova.

### Elektrotermičko-hemijski (RT-C) topovi

Topovi koji se razvijaju umesto čistih elektrotermičkih topova, kao moguća alternativa za ugradnju u tenkove, razlikuju se od njih po korišćenju energetskih egzotermnih radnih fluida. Kod ovih topova znatni deo njihove pogonske energije se dobija iz hemijske reakcije radnog fluida. To znači da su to elektrotermičko-hemijski topovi i njima je potrebno znatno manje električne energije nego elektromagnetskim ili čistim elektrotermičkim topovima. Zbog toga je i njihova električna oprema manja i lakša od opreme elektromagnetskih topova, pa su po tome ovi topovi kandidat za verovatniju i bržu primenu u tenkovima.

Razvoj elektrotermičko-hemijskih topova počela je firma GT DEVICES oko 1980. posle čega je postala filijala firme GENERAL DYNAMICS LAND SYSTEMS (GDLS). Razvoj ovih topova nastavile su firme GDLS i FMC.

Elektrotermičko-hemijski topovi obe firme zasnovani su na sadašnjem američkom tenkovskom topu M256 120 mm i na instalaciji kondenzatora kao izvoru električnog impulsnog napajanja (sl. 3). Top ima rotirajući automatski punjač municije (9 metaka za tri minuta) i modul pulsirajućeg napajanja (u standardnom ISO kontejneru iza topa). Od ovih topova neki su očekivali mnogo, pa iako rezultati ispitivanja nisu ispunili njihova očekivanja, oni predstavljaju značajno dostignuće i daju dobre razloge za nastavljanje razvoja ET-C topova.



Sl. 3 Model ET-C topa 120 mm 9 MJ na klizačima sa rotirajućim automatskim punjačem (9 metaka). U standardnom ISO kontejneru iza topa smešten je izvor impulsnog napajanja.

Jedan od rezultata razvoja ovih topova je laboratorijski top 9-18 MJ 120 mm, firme FMC, koji bi trebalo da bude dopuna ranije pomenutim laboratorijskim elektromagnetskim topovima od 9 MJ. Krajem 1989. ista firma je zaključila ugovor o razvoju elektrotermičko-hemijskog topa 120 mm, 9-17 MJ na klizačima. On bi trebalo da bude dopuna elektromagnetskim topovima na klizačima.

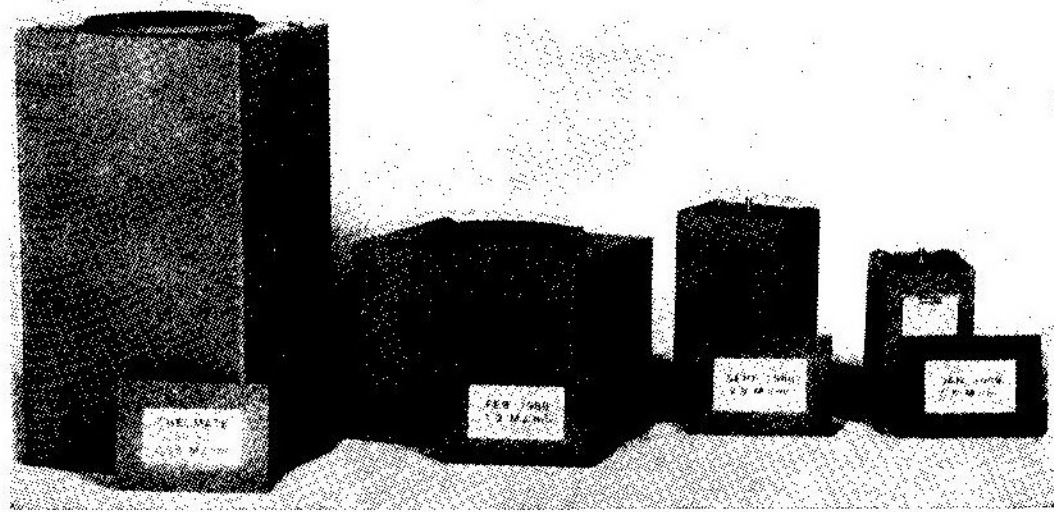
ET-C top firme FMC ima kao radni fluid hidrokarbonsko gorivo slično kerozinu, a kao oksidator hidrogen-peroksid. Gorivo se isparava pomoću plazme i meša sa oksidatorom, čime se postiže hemijska reakcija koja stvara veći deo energije za pogon projektila. Kombinacija hidrokarbonskog goriva i peroksida kao oksidatora ima veliku energiju i ona je po jedinici mase znatno veća nego kod najboljih sadašnjih čvrstih baruta, kao što je JA2, te obezbeđuje manje punjenje za dati nivo performansi topa. Nepovoljnost hidrogen-peroksida je u tome što je nestabilan, pa je zbog toga teško predvideti kako bi se skladištio u poljskim uslovima, a, pored toga, predstavlja veliku opasnost od požara, kao i potencijalni uzrok ozbiljnih povreda ljudstva.

Firma GDLS nije skoro ništa objavila o razvoju svog ET-C topa, ali se zna da je jedan od razmatranih radnih fluida suspenzija aluminijuma, titanijum-hidrida i vode. Ova kombinacija energetski je upola slabija od radnog fluida firme FMC, ali je inertna, neotrovnost i bezbedna pri manipulisanju. Šta više, stvoreni gasovi sadrže vodonik, čija mala molekularna masa doprinosi velikom balističkom koeficijentu

korisnog dejstva. Međutim, to preimućstvo se potire prisustvom drugih produkata sagorevanja koji imaju veliku molekularnu masu. Oslobođanje vodonika može da doprinese stvaranju velikog bleska i udarnog talasa na ustima cevi, a produkti sagorevanja sadrže velike količine čestica koje mogu da oštete unutrašnjost cevi topa.

Iz svih navedenih i drugih razloga oba tipa radnog fluida imaju perspektive, ako se njihovi nedostaci prevaziđu. Tako firma FMC radi na daljem razvoju alternativa za sadašnju kombinaciju hidrogen-peroksida i kerozina, koje bi imale slične velike volumetrijske gustine energije uz veću stabilnost. Međutim, još uvek postoji problem obezbeđenja električne energije, koja je, i-pak, manja od one koja je potrebna elektromagnetskim topovima. Konkretno, u slučaju topova firme FMC, problem je i u visokim strujama i naponima, kao i u osetljivostima nekih električnih komponenata.

Kako su dimenzije električne opreme osnovna prepreka za ugradnju ovih topova u tenkove, razvoj ET-C topa zavisi od daljeg napretka u povećanju gustine energije kondenzatora i aku-



Sl. 4 Između 1986. i 1989. zapremina kondenzatorskih kutija smanjena je sa 1,72 m<sup>3</sup> na 0,17 m<sup>3</sup> po magadžulu.

mulatora, koji su, smatra se, podjedniki od rotirajućih mašina kao izvora impulsne energije. Na slici 4 prikazan je progres smanjivanja zapremine kondenzatora firme MAXWELL LABORATORIES u periodu 1986—89. sa 1,72 m<sup>3</sup> na 0,17 m<sup>3</sup> po megadžulu (MJ).

Za smanjivanje problema mase i dimenzija predloženo je korišćenje litijumskih umesto olovnih akumulatora, čija je gustina energije 4 puta veća nego kod konvencionalnih olovnih. Međutim, litijumski elektrolit ovih akumulatora treba da se održava iznad temperature topljenja od 186°C i veoma je reaktivan, zbog čega su litijumski akumulatori potencijalna opasnost.

Takođe, postoje pitanja sa aspekta unutrašnje balistike ET-C topova. Iako se verzije firme FMC nazivaju »topovi sa plazmom pojačanom sagorevanjem« (CAP — combustionaugmented plasma guns) (sl. 5), oni su, u stvari, topovi sa nalivanjem bi-propelanta sa plazmenim paljenjem i pojačanjem energije. Slično je i sa ET-C topom firme GDS koji je, u osnovi, top sa nalivanjem monopropelanta u barutnu komoru. Zbog toga

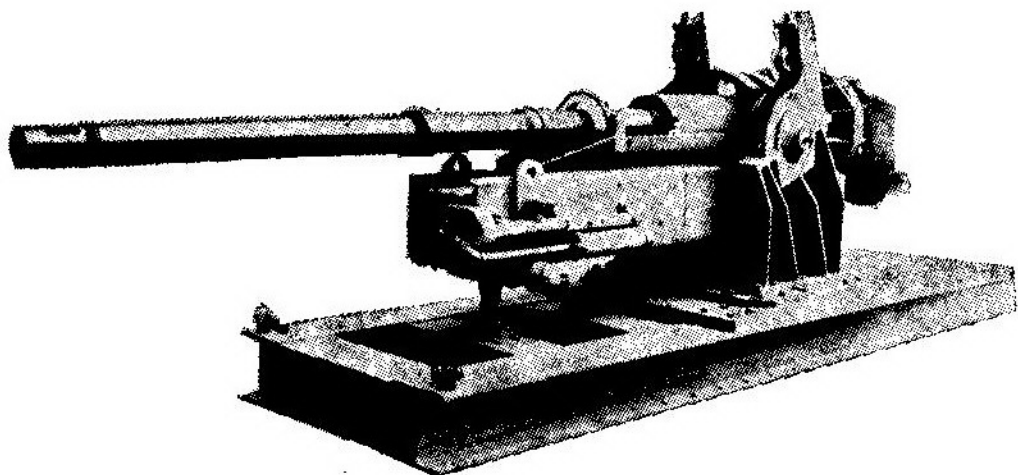
svi oni imaju probleme slične onima koje su do sada imali neuspeli topovi sa tečnim pogonskim punjenjem, koje se nalivalo u određenim količinama u barutnu komoru topa.

Struja dovoljno snažne plazme može da spreči nestabilnost pomenutih topova sa tečnim pogonskim punjenjem. Ako se to postigne, ET-C topovi mogu da budu privlačno rešenje. Ali, njihova privlačnost može da bude obratno proporcionalna količini električne energije koju treba dovesti da bi se postigla konzistentna unutrašnja balistika.

### Zaključak

Privlačnost elektrotermičko-hemij-skih topova i svih drugih topova za tenkove nije samo stvar njihovih unutrašnjih balističkih parametara ili čak i njihove celokupne pogonske tehnologije. U krajnjoj liniji, to zavisi od njihovog doprinosa ukupnoj efikasnosti tenka kao sistema, što prelazi okvire dosadašnjih razmatranja.

P.M.



Sl. 5 CAP top 120 mm, zasnovan na standardnom topu M256 sa glatkom cevi.

## Neurokompjuteri i veštačke neuronske mreže\*

Jedan od osnovnih problema savremene etape razvoja elektronske računске tehnike je istraživanje novih efikasnijih puteva automatizacije rešavanja zadataka, karakterističnih za proces upravljanja složenim dinamičkim sistemima i objektima. Važnim smerom takve automatizacije, smatraju strani stručnjaci, je široko uvođenje metoda veštačkog intelekta, koji obezbeđuje modeliranje čovekovog mišljenja.

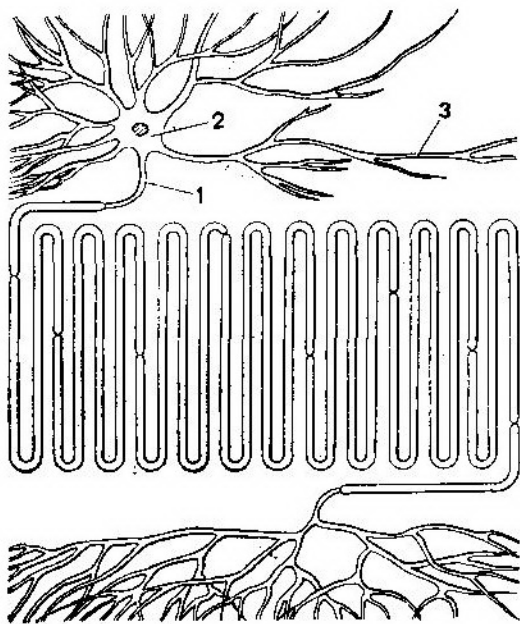
U sadašnjem vremenu, prisutna su dva prilaza u vezi razvitka sredstava veštačkog intelekta. Pristalice prvog, smatraju, da u stvaranju veštačkog intelekta nema potrebe za poticanjem delatnosti čovekovog mozga, a da je dovoljno ograničiti se na razradu odgovarajućih programa rada kompjutera, koji se poklapaju s intelektualnim funkcijama čoveka samo u konačnom rezultatu. Pristalice drugog prilaza, smatraju kopiranje delatnosti čovekovog mozga najperspektivnijim putem stvaranja kompjutera s elementima veštačkog intelekta, smatrajući ga istovremeno kao jedan od osnovnih pravaca izrade kompjutera, povezanog sa delatnošću čovekove nervne mreže. U ovom slučaju otvara se problem paralelnog procesa obrade informacija oko nekoliko stotina, pa čak i hiljada mikroprocesora, a takođe i izrade jezika za paralelno programiranje i odgovarajuće prenosnike.

Ništa manji ostaje i problem obezbeđenja rada multiprocesorskih računskih sistema u realnom vremenu.

Mnogih takvih nedostataka, po mišljenju stranih stručnjaka, lišene su veštačke neuronske mreže (VNM) i stvoreni na njihovoj bazi neurokompjuteri. VNM su elektronski analozi nervnih ćelija kore velikog mozga, gde se ostvaruju mislenije funkcije čoveka. Debljina kore velikog mozga iznosi oko jedne trećine santimetra, ali u tom re-

lativno malom obimu skupljene su milijarde nervnih ćelija — neurona.

Kod većine neurona mogu se izdvojiti tri krupne oblasti a to su: telo, dendriti i akson (neurit) sl. 1.



Sl. 1 Shematski prikaz neurona:  
1 — akson; 2 — telo ćelije; 3 — dendrit.

Telo neurona, koje ima obično sfernu ili piramidnu formu, sadrži jezgro i biohemijski aparat za sintezu fermenta i drugih molekula, neophodnih za životnu funkciju ćelija. Dendriti su tanka cevasta vlakna, koja obrazuju krošnjasto drvo oko tela neurona. Akson je dugačka izraslina neurona (ponekad više od metra), namenjena za predaju signala drugim neuronima i vannervnim organima. Na završetku akson se deli na hiljade terminalnih (krajnjih) vlakana, koja su u kontaktu s dendritima drugih neurona. Postoje i drugačiji kontakti, kao što su: aksona s aksonom, dendrita s dendritom, aksona s telom neurona.

Kontakt terminalnog vlakna aksona jednog neurona s dendritom drugog naziva se čvorištem. Na primer, čvorišta se mogu uporediti s raskrscicama u

\* Prema podacima iz časopisa »Tehnika i vooruženje«, br. 4/90.

provodnim putevima mozga. Postoje u dva tipa: pobuđujuća i kočea.

Pobuđujuća teže da povećaju nivo aktivnosti neurona do maksimalnog nivoa, a kočea da ga smanje do minimalnog (fonskog) nivoa.

U proseku svaki neuron ima čvorišnu vezu sa  $10^3$  do  $10^4$  neurona, što za mnogo puta prevazilazi tipične međusobne odnose između broja ulaza — izlaza običnih logičkih šema.

Čvorišne veze mogu se modifikovati u procesu obrade signala koji dolaze u mozak.

Ovaj proces, kako se smatra, obezbeđuje pamćenje dela informacija, koje dolaze u mozak. Na taj način, dugotrajna pamet neuronske mreže nalazi se raspoređena na velikom broju mesta međuneuronskih veza a izvlačenje informacije, koja se nalazi u njoj, moguće je samo pri asocijativnim procesima, tojest putem najave stimula, koji je neuronska mreža dužna da raspozna i formira u skladu s njim određenu odgovaračku reakciju. Pri ovom svi procesi vezani za pamćenje, čuvanje i obradu raspoređene informacije u mozgu čoveka dešavaju se paralelno. Fizički analog procesa obrade raspoređene informacije je holografija.

Na početnoj etapi rada na stvaranju veštačkih neurona dozvoljavala su se neka uprošćenja. Delimično, pretpostavljalo se da se svaki neuron može nalaziti samo u jednom od dva stanja: u pobudi ili kočenju. Za pobudu takvih neurona visina nadražaja mora dostizati visinu praga i ne sme zavisiti od jačine izvora nadražaja.

Takav prilaz modeliranju neurona, kako saopštavaju, ima za osnovu stvaranje izomorfnih tehničkih uređaja na bazi releja, feritnih ćelija poluprovodničkih trigera i drugih bistabilnih elemenata. Modeli neurona sa takvim elementima dobili su nazive formalnih neurona. Od njih se stvaraju najprostija logička kola I, NE, ILI i drugi složeniji elementi.

Šeme mreža od formalnih neurona formiraju se od kompleta običnih kon-

denzatora i otpornika, koji se pobuđuju naponskim impulsima pravougaonog oblika.

Postoje neuronske mreže od takozvanih plastičnih neurona, koji menjaju svoj prag nadražaja u zavisnosti od zadatah uslova.

Formirano saznanje, u poslednje vreme, pokazuje da neuron nije diskretni, nego analogno-diskretni element sa mnogim stabilnim stanjima, dovelo je do stvaranja VNM samoorganizacionog tipa sa funkcijama selektivnih filtera, perceptora i asocijativne pameti.

U selektivne filtere spadaju elementi koji raspolazu sposobnošću da ostvaruju izbor dolazećih informacija na osnovu određenih karakteristika. Perceptori su raspoznavajući sistemi, čiji se softver sastoji u sprovođenju serijskih korekcija izlaznih veličina u zavisnosti od rezultata raspoznavanja tekućih ulaznih signala.

Asocijativna pamet je memorija, u kojoj se informacija ne menja s obzirom na adresu, nego po nekim obeležjima te informacije, kao rezultata istovremenog upoređenja svih ili grupa čuvanih reči sa zadatim predznakom.

Elementi asocijativne pameti raspolazu sposobnošću višekratne promene svog stanja pod uticajem raznih načina za memorisanje.

Pri ovom promene se dešavaju odjednom u veoma velikom broju memorijskih elemenata. U procesu izbora upisana informacija ponovo se uspostavlja kao suma mnogih »nizova pameti« u skladu sa uspostavljanjem signala po njihovim korelacionim funkcijama.

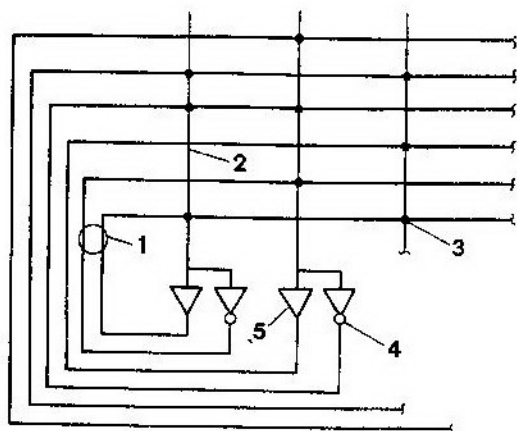
Birački filteri, perceptori i asocijativna pamet su glavni sastavni delovi neurokompjutera, čija su elementarna baza VNM, izrađene po tehnologiji integralnih kola velikih i supervelikh gustina pakovanja (sl. 2).

Dendrit 1, predstavljen je dugačkim provodnikom, koji povezuju ulaze.

Akson 2, izrađen je u obliku para dugačkih provodnika s kojima su povezani izlazi. Telo ćelije 3, je par pojačavača i drugih elemenata, koji određuju



vremenski odgovor i prenosne funkcije. Čvorišta 4 su formirana od otpornosti između aksona jednog neurona i dendrita drugog. Da bi se dobila i pobuđujuća i kočeca čvorišta samo s pozitivnim znakom otpora, koriste se dva aksonska provodnika, tako da se po jed-



Sl. 2 Veštačka neuronska mreža na bazi integralnih shema:

1 — akson; 2 — dendrit; 3 — čvorište; 4 — pojačivač; 5 — inverter.

nom od njih predaje signal, suprotan signalu koji ide po drugom provodniku. Spoljni terminalski ulazi i fonski nivo aktivnosti neurona stvaraju se dopunskim izvorima struje na svakom dendritu. Odgovor mreže na ulazni signal zavisi od konkretnih veličina otpora čvorišnih veza, i karakteristika pojačivača. Inertnost mreže reguliše se izlaznim otpornostima i kondenzatorima.

Realizacija VNM na bazi mikro-tehnologije, kako smatraju inostrani eksperti, obezbeđuje visoku gustinu pakovanja elemenata.

Samo element mreže (par ukrštenih) provodnika spojenih otpornikom ili razdvojenih dielektrikom) zauzima sa strane kristala površinu, koja je jednaka sumi prečnika jednog provodnika i jednog zazora između provodnika. Zbog toga, radi njegovog razmeštanja na čipu treba tek dve minimalne litografske jedinice sa strane i tri litografska sloja

(tranzistora, na primer, treba pet litografskih slojeva). Osim toga, za razliku od poluprovodnika veličina otpornika nije ograničena dužinom rasipanja ili efektom prenosa zagrevanja.

Spособnost rezolucije litografije, omogućava da se u jedan mikron matrice s 25 miliona elemenata (uzimajući u obzir pojačivače) smesti na čipu površine 1 cm<sup>2</sup>. Stručnjaci smatraju da takva pamet ima visoku pouzdanost. Informatičko modeliranje pokazuje, da ona produžava da radi čak i pri kidanju nekih čvorišnih veza, ukoliko je svaka jedinica informacije koja se memoriše raspodeljena po celoj matrici i ni jedan signal se ne javlja kritičnim.

Po mišljenju eksperata, proces stvaranja VNM treba posmatrati kao postepenu razradu tri klase neurokompjutera: simulacionih (programskih), emulacionih (programsko-aparturnih) i realnih (aparturnih).

Simulacioni neurokompjuteri su obični elektronski računari sa specijalnim programskim paketima, koji imitiraju neuronske mreže. Programi ovih računara obezbeđuju čuvanje i obradu informacija o stanju uslova neurona i njihovim vezama.

Glavnim nedostatkom takvih neurokompjutera smatra se mala brzina rada i povećan gubitak pameti: u jednom Kbajtu smešta se tek informacija o stanju 22 neurona i veza.

Emulacioni neurokompjuteri su kombinacija običnih ER i aparturnih sredstava — suprocatora akceleratora, koji omogućavaju znatno (više od 100 puta u poređenju sa simulacionim) povećanje brzine modeliranja neurona.

Realni neurokompjuteri u svojoj osnovi imaju fizički realizovane VNM, izrađene po tehnologiji velike i super-velike gustine pakovanja integralnih šema. U inostranoj štampi smatraju, da će se realni neurokompjuteri osvojiti u industrijskoj proizvodnji u toku narednih 3—5 godina. Ovaj rok zavisi od rezultata rada na izradi neuročipa super-visoke integracije, koji treba da se realizuje na jednom kristalu od polupro-

vodničkog materijala kompaktno upakovane mreže neuropodobnih elemenata.

Privlačnost neurokompjutera za rešavanje zadataka vojne prirode, stručnjaci vide u prostom režimu obuke i samoobuke za rad na njima, kao i u odsustvu teške etape programiranja.

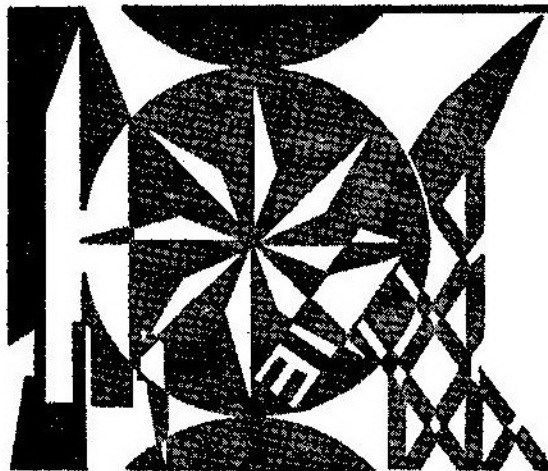
Proces obuke neurokompjutera može se vršiti na tri načina: višekratnom analizom grešaka kod neispravnih rešenja; formiranjem unutrašnjih pomerača, koji sabijaju podatke u klasifikacione kategorije; praćenjem rada čoveka ili samo praćenjem sopstvenog režima funkcionisanja.

Saopštava se, da će se kroz oko 3—5 godina takvi neurokompjuteri po nivou složenosti približiti neuronskoj

mreži pčele, što će im omogućiti da čak više rešavaju zadatke na otkrivanju teško uočljivih objekata, osmatranju i raspoznavanju ciljeva na bojnopolju, identifikaciji signala pri njihovom dolasku od različitih tipova izviđačkih sredstava.

U poslednje vreme u štampi se pojavljuju saopštenja o uspešnoj primeni neurokompjutera za rešavanje konkretnih prikladnih zadataka, na primer, takvih, kao što su analiza prikazivanja i raspoznavanja, i sinteza reči, čitanje rukopisnih tekstova, izdvajanje i klasifikacija lokacionih signala, kombinatorna optimizacija. Poznati su primeri efikasnog korišćenja neurokompjutera u robotici i ekspertnim sistemima.

L.B.



# tehničke novosti i zanimljivosti

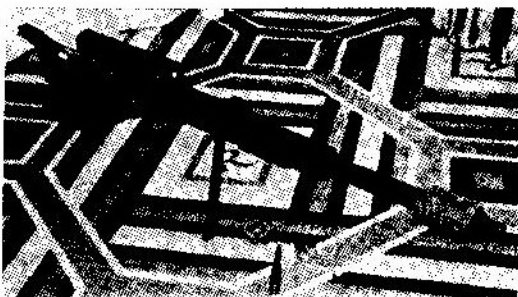
## Austrijska protivoklopna puška »AMR«<sup>1</sup>

Na izložbi naoružanja ADPA (American Defense Preparedness Association) koja je održana od 24 do 26 oktobra 1989. godine u Las Vegasu (SAD) austrijska firma STEYR MANNLICHER je prikazala novu protivoklopnu pušku kalibra 14,5 mm, oznake AMR (Anti Material Rifle). Namijenjena je za gađanje lakooklopljenih borbenih vozila, transportnih vozila, letelica na aerodromima, radarskih instalacija, instalacija na artiljerijskim sistemima, opreme na tenkovima itd.

Novo oružje je konstruisano na principu »bullpup«, soji je firma primenila i kod drugog streljačkog oružja. Funkcioniše na principu kratkog trzanja zatvarača. Zatvarač na kraju trzanja udara u poseban odbojnik. Sa desne strane sanduka postavlja se okvir kapaciteta 5 metaka. Masa puške prikazane na izložbi iznosila je 18 kg, a očekuje se da će u konačnoj verziji puška imati masu od 14 do 15 kg.

<sup>1</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 1, str. 75.

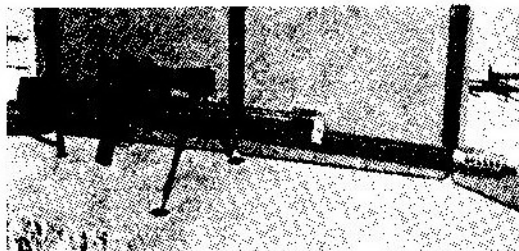
Iz puške se ispaljuju protivoklopni projektili kojima može da se probije čelična ploča debljine 40 mm na rastojanju od 800 m. Dužina metka je 65 mm, a masa 20 g. Projektil je tipa SABOT sa jezgrom od teškog metala (tungsten) i oblogom od plastične mase. Početna brzina projektila je 1450 m/s (u firmi očekuju da će postići 1500 m/s).



Na pušku AMR ugrađen je optički nišan koji ima uveličanje 10X. Može da se ugradi i laserski daljinomer, iako je putanja projektila dosta položena — pri dometu od 1000 m visina temena putanje je 80 cm. Efikasan domet oružja je 2000 m. To je i osnovna prednost ovog oružja u odnosu na ostala ručna protivoklopna oružja čiji domet nije veći od 400 m.

## Konvertovani mitraljez »50/12 TSW« firme PEREGRINE INDUSTRIES<sup>2</sup>

Na izložbi naoružanja ADPA (American Defense Preparedness Association) koja je održana od 24 do 26 oktobra 1989. godine u Las Vegasu (SAD) prikazan je mitraljez oznake 50/12 TSW (Tactical Support Weapon) firme PEREGRINE INDUSTRIES. Mitraljez je ugrađen za metak 0,50 inča (12,7×99 mm) američkog mitraljeza BROWNING. Specifičnost konstrukcije je što cev mitraljeza može brzo da se skinie i umesto nje postavi cev iz koje može da se ispaljuje sovjetska municija 12,7×107 mm.



Novo naoružanje funkcioniše na principu pozajmice barutnih gasova. Na ustima cevi ima ugrađenu gasnu kočnicu, tako da je energija trzanja manja do 40% od sličnih sistema. Sistem za okidanje je modularnog tipa. Na sanduk je ugrađen nosač optičkog nišana. Hranjenje se vrši iz okvira kapaciteta 10 metaka, a gađanje sa nožica.

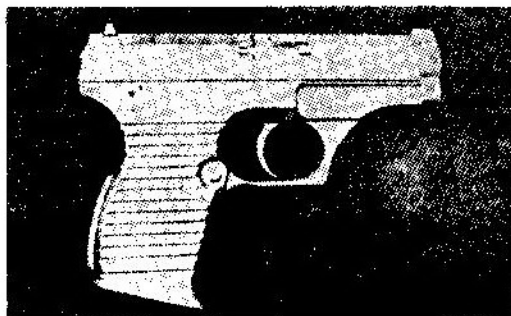
Razvoj mitraljeza otpočeo je u prvoj polovini 1989. godine. Ugrađena su i ispitana četiri prototipa. Serijska proizvodnja mogla bi da otpočne sredinom 1990. godine. Pri ispitivanju prototipa dobijeni su dobri rezultati. Kod prove-re preciznosti kratkim rafalima na daljini od 2000 yd (1829 m) svi pogoci nalazili su se u kvadratu dimenzija 2×2 m.

Masa prototipa mitraljeza je 15,2 kg, dužina 1410 mm i dužina cevi 737 mm.

<sup>2</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 1, str. 75.

## Prototip pištolja kalibra 9 mm američke firme KNIGHT'S ARMAMENT COMPANY<sup>3</sup>

Američka firma KNIGHT'S ARMAMENT COMPANY (iz Floride) izradila je prototip poluautomatskog pištolja kalibra 9 mm za NATO metak 9×19 mm PARABELLUM. Prototip se nalazi u fazi ispitivanja.



Novi pištolj funkcioniše na principu usporenog trzanja zatvarača. Zabravljanje cevi vrši se zakretanjem zatvarača. Ima ugrađen mehanizam za okidanje sa dvostrukim dejstvom. Sila na obaraču, pri okidanju udarača, 2,27 kg i ne menja se u toku gađanja.

Metalni delovi prototipa izrađeni su od ugljeničnog čelika. Od ovog materijala će se proizvoditi i u serijskoj proizvodnji za potrebe američkih jedinica i policije. Predviđeno je da se radi i od nerđajućeg čelika za posade plov-nih objekata na moru.

*Tehničke karakteristike prototipa su:*

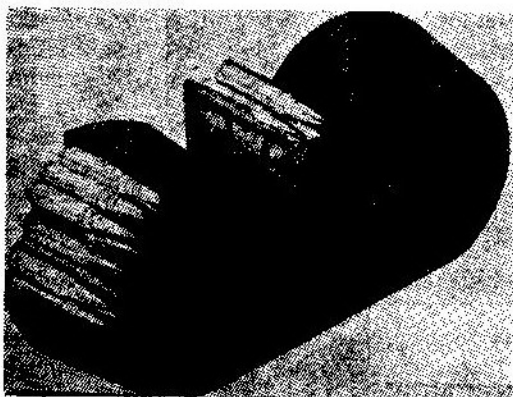
|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| — kalibar (mm)              | 9     |
| — masa praznog pištolja (g) | 822   |
| — dužina (mm)               | 171,5 |
| — dužina cevi (mm)          | 93,5  |
| — visina (mm)               | 127   |
| — širina (mm)               | 25,4  |
| — kapacitet okvira (metaka) | 13    |

<sup>3</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 2, str. 214.

## Uređaj za hranjenje »C-MAG« kapaciteta 100 metaka za američku automatsku pušku »M-16«<sup>4</sup>

Američka firma BETA COMPANY nudi korisnicima automatske puške 5,56 mm M-16 novi uređaj za hranjenje kapaciteta 100 metaka. Novi uređaj može lako da se adaptira za sva oružja iz kojih se ispaljuje municija kalibra 5,56 mm.

Ovaj uređaj za hranjenje sastavljen je od dva doboša kapaciteta od po 50 metaka, koji su spojeni srednjim delom koji ima oblik okvira. Srednji deo se usnama postavlja u ležište u sanduku, na isti način kao i okvir automatske puške. Pri gađanju municija u oružje ulazi ravnomerno kroz srednji deo uređaja, tako da nema uticaja na uravnoteženost oružja.



Uređaj C-MAG je uređaj od plastične mase visoke otpornosti i ne zahteva posebne mere za održavanje. Međima se puni ručno ili specijalnim uređajem sa klipom kojim se savladava opruga koja potiskuje metke, a poseban gumeni zatvarač sprečava da u uređaj slučajno ne upadnu nečistoće, koji mogu uticati na ispravnu funkciju.

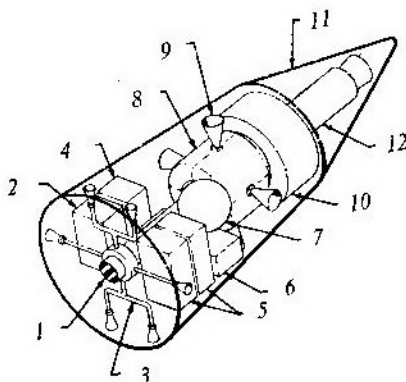
Novi uređaj za hranjenje uveden je u naoružanje, ili je ispitan u oko 15

<sup>4</sup> Prema podacima iz: CIBLES 1990, februar, str. 12.

zemalja. Osim na pušci M-16, može da se koristi i na automatskim oružjima FNC, BERETTA, STEYR AUG, ENFIELD IW i GPMG, GALIL, HECKLER & KOCH G-41, MINIMI i na ostalim oružjima koja koriste okvire američke puške M-16. Određena količina uređaja je modifikovana kako bi mogla da se koristi na francuskim automatskim puškama FAMAS. Modifikacija je izvršena na zahtev francuske armije koja ima nameru da ga ispita u jednoj padobranskoj jedinici.

## Razvoj protivsatelitskih oružja u SAD<sup>5</sup>

Komanda strategijske odbrane KoV SAD namerava da u julu 1990. zaključi početne ugovore sa američkom industrijom za početne faze razvoja protivsatelitskog oružja koje bi sa Zemlje lansiralo projektele koji lete direktno uvis do udara u cilj. Ova faza predviđa in-

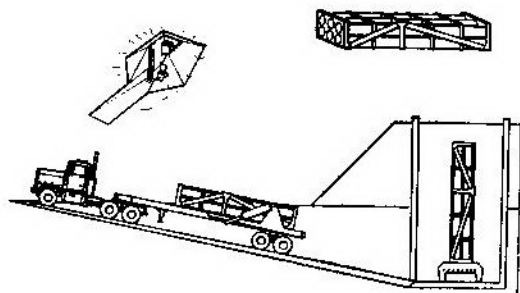


Sl. 1 Bojna glava presretačke protivsatelitske rakete:

1 — vidljivi tračać; 2 — IMU; 3 — sistem za upravljanje položajem u prostoru; 4 — procesor signala; 5 — sistem napajanja električnom energijom; 6 — komunikacije; 7 — boca visokog pritiska; 8 — rezervoar goriva; 9 — sistem za promenu pravca kretanja sa tečnim jednodokomponentnim gorivom; 10 — KED; 11 — adapter za pokrivanje buster; 12 — motor za skretanje sa čvrstim raketnim gorivom

<sup>5</sup> Prema podacima iz: SIGNAL 1990, jun, str. 45.

tegraciju komponenata rakete-presretača za brzo reagovanje, namenjene da kinetičkom energijom udara eliminiše vojnu kosmičku letelicu bez upotrebe nuklearne bojne glave. Očekuje se da će ovo oružje biti operativno do 1996. godine.



Sl. 2 Transporter protivsatelitskog sistema i koncepcija lansera

Protivsatelitski sistem koristiće inercijalno vođenje i svoj optički senzor sa postojećom mrežom osmatračkih senzorskih ulaza. Sistem bi se ispaljivao radi presretanja kosmičke letelice koja leti na visini 3000 km ili većoj. Optički tragač omogućiće osmatranje na velikoj daljini, budući da se oružje vodi na satelitski cilj. Za početnu proizvodnju zahteva se 70 bojnih glava čije se dejstvo zasniva na principu kinetičkog udara. Smatra se da se za realizaciju ovog sistema oružja raspolaze odgovarajućom tehnologijom proverenom na uspešnim opitima podsistema vazdušno-kosmičke presretačke rakete sa ponovnim ulaskom u gušće slojeve atmosfere.

Raketa će imati dužinu oko 9 m, prečnik 0,6 m, lansirnu masu 3509 kg, masu bojne glave 68 kg i vertikalnu brzinu 6,8 km/s. Bojna glava će imati dovoljnu manevarsku energiju ili sposobnost u orbiti da izvrši zahtevano presretanje. To će obuhvatati i savladavanje izbegavajućih satelitskih manevara, ali bi napad ovog oružja mogao izbaciti satelit iz operativne upotrebe za duži period. Tragač na protivsatelitskom oružju može da manipuliše manevrima tako da ono održava isti položaj kao

cilj-satelit (sa tolerantnim odstupanjima), ali ako manevar izbegavanja obuhvata promenu orbitalne ravni satelita, lansiranje presretanja mora se odložiti sve dok mreža kosmičkog izviđanja ne bude u stanju da odredi novu geometriju presretanja. Sateliti prolaze iznad određenih položaja na Zemlji svakih 90 minuta, izuzev preko ekvatora, gde ovo vreme iznosi četiri sata.

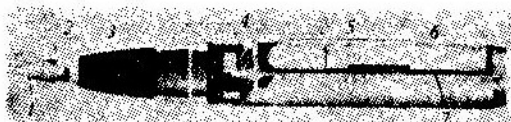
Protivsatelitski program SAD takođe predviđa i razvoj sistema laserskih cruzja koja bi sa Zemlje bila u stanju da oštete ili unište satelite u orbiti. Laserski zraci bi se takođe mogli koristiti za zaslepljivanje satelitskih senzora stvaranjem konfuzije u sistemu optike ili termalnim preopterećenjem infracrvenih elemenata. Takođe bi bilo relativno jeftinije ispaljivati laserska oružja (kada postanu operativna) u poređenju sa troškovima lansiranja kinetičkih presretačkih raketa. Međutim, dok su na upotrebu laserskih oružja, mogući nepovoljni atmosferski uticaji, presretačke rakete sa kinetičkim dejstvom moćiće se koristiti u svim vremenskim uslovima. Tehnologija laserskih oružja nije još dovoljno usavršena u odnosu na sistem presretanja sa kinetičkom energijom. Kod laserskih sistema postoje još neki elementi čija se tehnologija nalazi u razvojnom stadijumu (kompenzacija atmosferskih uticaja, praćenje laserskim snopom) i visoki energetske nivoi moraju još da prođu kroz faze istraživanja, razvoja i ispitivanja.

### Treća faza razvoja višestrukog artiljerijskog sistema »MLRS«<sup>6</sup>

Višestruki artiljerijski raketni sistem MLRS (Multiple Artillerie Rocket System) povećaće domete 155 mm haubica preko 30 km i omogućiće nove opcije na nivou divizije. Bazu ovog zajedničkog programa SAD, Nemačke, V.

<sup>6</sup> Prema podacima iz: WEHRTECHNIK 1990, br. 2, str. 67.

Britanije, Francuske i Italije čini sporazum njihovih vlada iz 1979. godine. U 1983. usvojen je MLRS kao NATO program koji će se sastojati od tri faze.

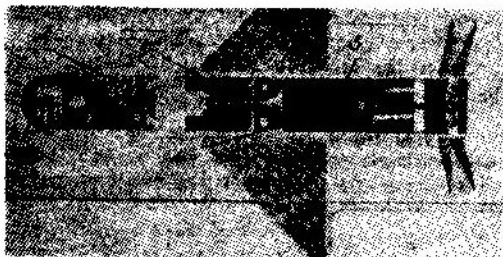


Sl. 1 Bojna glava sa vođenjem u završnoj fazi leta (dužina 2001,2 m, prečnik 260 mm, masa 111 kg, koristan teret 3 kasetna projektila):

1 — upaljač XM449; 2 — TGW »pupčana vrpca«; 3 — čeonu konus; 4 — baterija TGW; 5 — elektronika za fazu prednjeg udara; 6 — klipovi za odstranjenje spoljne oplata; 7 — vreća sa gasom za izbacivanje

Prva faza, čiji je celokupan razvoj obavljen u SAD, obuhvata sam sistem, raketnu municiju koja se sastoji od bojne glave sa klasičnom kasetnom municijom (bombe malog kalibra M-77) i vežbovnu municiju. U SAD je u toku njena serijska proizvodnja a isporuka jedinicama američkog KoV-a stacioniranim u SRN je već završena.

U 1979. odlučeno je da drugu fazu razvija zapadnonemačka industrija. U ovoj fazi predviđen je razvoj bojne glave za izbacivanje protivoklopne municije AT-2. Pomoću »inteligentnih« mina AT-2 raketa je dobila veću efikasnost da samostalno uništava tenko-



Sl. 2 Kasetni projektil sa vođenjem u završnoj fazi (dužina 914 mm, prečnik 110 mm, bojna glava sa dvojnim kumulativnim punjenjem):

1 — radiofrekventni/IC primopredajnik sa kardanskim oslanjanjem; 2 — elektronika za noćno vođenje sa kardanskim okviriama; 3 — integrisana elektronika; 4 — mehanika pokretanja lameliranog krila; 5 — bojna glava

ve i oklopna vozila. To će omogućiti i zaprečavanja koja neće zavisiti od podrške borbenih trupa.

Treća faza obuhvata zajednički razvoj bojne glave sa završnim vođenjem i kasetnom municijom, koji treba da se realizuje u saradnji sa SAD, V. Britanijom, Francuskom i Nemačkom. Ova municija biće sposobna da dejstvuje pri svakom vremenu u teškim uslovima spoljne sredine zasićene protivielektronskim dejstvima.

Bojnu glavu sa vođenjem u završnoj fazi leta TGW (Terminal Guidance Warhead) razvije američka firma MDTT Inc. sa kooperantima MARTIN MARIETTA, THOMSON-CSF, THORN EMI ELEKTRONICS i DIEHL. Sistem integracije poveren je LTV AEROSPACE and DEFENCE, prvobitnom glavnom isporučiocu MLRS.

TGW će leteti po balističkoj putanji do područja cilja, gde će konačno izbaciti tri kasetna projektila stabilizovana u letu po uzdužnoj i vertikalnoj osi. Po dostizanju unapred određene položaja i visine, kasetni projektili počće nezavisno jedan od drugog da traže ciljeve. Čim jedan neprijateljski tenk ili oklopno vozilo budu identifikovani, kasetni projektil obrušice se ka njemu prema zakonima proporcionalnog vođenja. Probojno dejstvo njegove bojne glave zasniva se na dvojnem kumulativnom eksplozivnom punjenju. Višestruko pogađanje jednog istog cilja sprečava se korišćenjem statističke metode izbora cilja posredstvom stohastičkog generatora.

U proteklom stupnju demonstracije komponenta bile su razmotrene sve tehničke mogućnosti praktičnih rešenja za završno vođenje kasetne municije i konačno su prihvaćeni sistemi traganja (sa milimetarskim talasima), obrada signala i mehanizma dejstva, dakle najvažniji problemi treće faze MLRS. Očekuje se da će ispitivanje prototipova kasetne municije započeti 1991. i da će zatim sledeći razvojni period do početka redovne proizvodnje trajati 28 meseci.

## Američka dvorežimska glava za samonavođenje<sup>7</sup>

Američka firma MARTIN MARIETTA MISSILE SYSTEMS uspešno je prikazala dvorežimsku glavu za samonavođenje u kojoj su kombinovani IC i poluaktivno lasersko vođenje. Koristi samo jedan senzor za obe komponente vođenja, zasnovan na tehnologiji detektora od silicida platine za obezbeđenje jeftinog antenskog niza u fokusnoj ravni. Jedan jedini čip sendvič-konstrukcije ima 250.000 piksela, čime se postiže visoka rezolucija.

Firma je predložila ovaj sistem za korišćenje u projektilu 155 mm »ispali-pa-zaboravi«. Ova glava za samonavođenje može da radi kako u IC, tako i u laserskom poluaktivnom režimu vođenja, a i u kombinaciji oba režima. IC-režim obezbeđuje puno dejstvo »ispali-pa-zaboravi« dok poluaktivni laserski režim (isproban u programima HELLFIRE i COPPERHEAD), omogućuje da projektil bude vođen do cilja pomoću laserskog obeleživača. Kombinacija oba režima vođenja omogućuje da se lasersko obeležavanje cilja obavlja samo kratko, ili da se obezbedi obeležavanje na većim daljinama. Zbog toga nije potrebna direktna linija viziranja u cilj jer se laser može koristiti samo da orijentuje IC-senzor osvetljavanjem bliskog objekta. Cena ovog razvoja je 30,5 miliona dolara, a obavlja se za potrebe centra američkog KoV za naoružanje, istraživanje, razvoj i projektovanje.

## Izraelski taktički izviđački sistem »ATLAS«<sup>8</sup>

Sistem ATLAS (Azimuth Target Intelligence & Acquisition System) izraelske firme AZIMUTH namenjen ko-

<sup>7</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 2, str. 212.

<sup>8</sup> Prema podacima iz: DEFENSE & ARMAMENT HERACLE S INTERNATIONAL 1990, br. 97, str. 70.

pnenim snagama za osmatranje i izviđanje, uskoro će ući u opremu OS Izraela.



*U ovoj konfiguraciji prikazan je operator koji vrši izviđanje koristeći termalnu kameru, binokularni durbin 15×80 i laserski daljinomer uz pređaju dobijenih podataka u realnom vremenu radio-vezom*

ATLAS obuhvata instrumente za osmatranje i merenje po danu i noći, kompas NORIS, ručni procesor taktičkih podataka i upravljivu glavu na tronožnom postolju. U svojoj standardnoj verziji instrumenti za osmatranje i merenje obuhvataju: binokulare (20×120, 15×80 i/ili 23/75), laserski daljinomer i termalnu kameru.

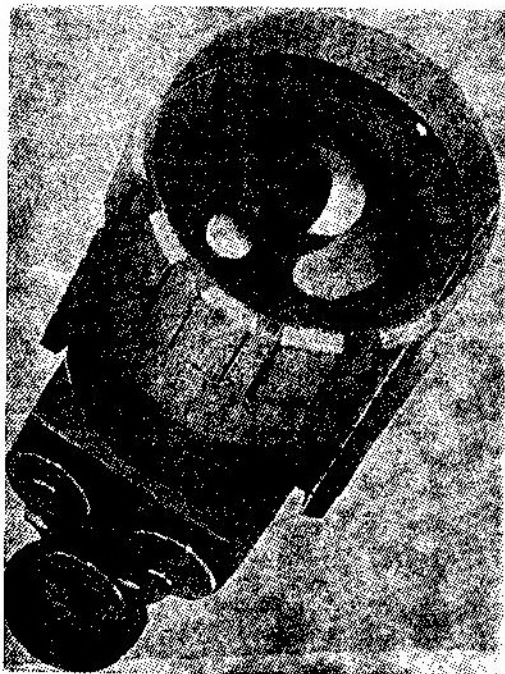
Upravljiva glava koja nosi instrumente za osmatranje i merenje je pokretna po celom azimutu a po elevaciji ± 400 mrad. Procesor taktičkih podataka (999 ciljeva, 20000 po opciji) obuhvata ekran za vizuelno pokazivanje na dva načina (alfanumerički: 8 linija od 21 karaktera, grafički: 64×128 piksela), taktičke module koji odgovaraju zahtevima korisnika (određivanje sopstvenog položaja, akvizicija cilja, eksploatacija osnovnih podataka ciljeva, konverzija aerofotosnimaka/karte), upravljanje artiljerijskom ili minobacačkom vatrom, koordinaciju sa vazдушnim napadima prijateljskih snaga), kao i integrisane testove opreme.



Instrumenti za osmatranje i merenje imaju maksimalnu masu 25 kg, a sklop upravljive glave, procesor i tro-nožno postolje 12 kg (dimenzije 65××50 35 cm).

### Noćni podvodni nišan »M 921« američke firme LITTON<sup>9</sup>

Američka firma LITTON ELECTRON DEVICES razvila je noćni podvodni nišan M 921 namenjen podvodnim diverzantima na moru, koji je otporan na morsku vodu i nepropustan do dubine od 50 m. Ovaj nišan, oprem-



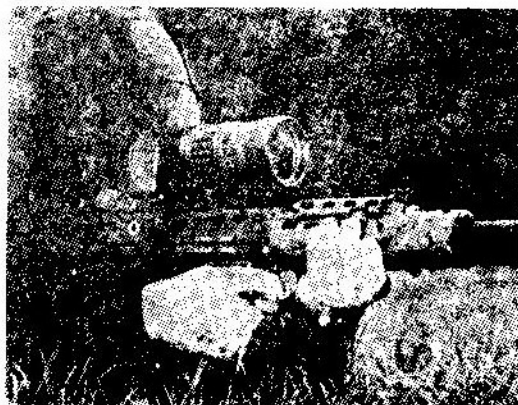
ljen jednom cevi za pojačanje druge ili treće generacije, omogućuje reglažu od -5 do +2 dioptrije i uveličanje od 3×. Nišan M 921 ima končanicu ReDot LITTON formiranu od male crvene tačke ili, jednog krsta, koji se mogu po-

<sup>9</sup> Prema podacima iz: DÉFENSE & ARMEMENT HERACLÉ S INTERNATIONAL 1990, br. 93, str. 75.

dešavati po pravcu i visini, superponirati na zelenu pojačanu sliku cilja i brzo postaviti na željenu tačku udara. Električno napajanje uređaja obezbeđuje živina baterija od 2,7 V/750 mAh i autonomijom rada 12 časova.

### Noćni nišan »KITE« britanske firme PILKINGTON za streljačko oružje<sup>10</sup>

KoV V. Britanije usvojio je noćni nišan KITE britanske firme PILKINGTON PE, za upotrebu na familiji pušaka SA 80. U njegovu optiku ugrađena je končanica za precizno nišanje. Ovaj nišan opremljen je elektronskom cevi druge ili treće generacije, čiji mikrokanali indukuju dobru kontrastnu sliku, posebno pri niskim nivoima os-



vetljenosti. Objektiv ima prečnik 73 mm i dužinu 255 mm. Napajanje električnom energijom obezbeđuju dve baterije AA od 1,5 V. Sa vidnim poljem od 9° i uveličanjem 4×, nišan KITE omogućuje raspoznavanje čoveka u uspravnom položaju na daljini od 600 m. Masa nišana je 1000 g.

<sup>10</sup> Prema podacima iz: DÉFENSE & ARMEMENT HERACLÉ S INTERNATIONAL 1990, br. 93, str. 74.

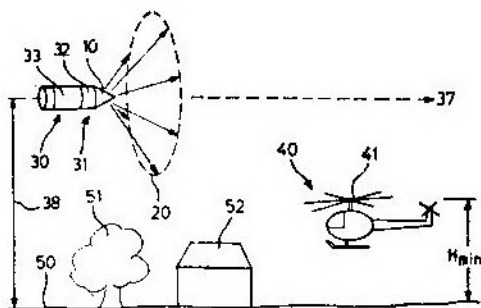
## Senzor za protivhelikopterska dejstva<sup>11</sup>

— patent nemačke firme MBB —

Pronalazak se odnosi na senzor u glavi projektila, kojim se dejstvuje protiv helikoptera na tlu ili na maloj visini. Senzor sačinjava jedan ili više laserskih daljinomera, koji su okrenuti u smeru leta projektila i imaju veliku moć razdvajanja po vremenu i prostoru i odgovarajući deo za vrednovanje sa računarom.

Kod protivtenkovskih dejstava poznat je postupak kod koga blizinski upaljač daje detaljnu informaciju o cilju, a u vezi sa različitim uslovima pozadine. Pri tom se ne može prepoznati oblik.

Postoji i uređaj pomoću koga se helikopter doplerovim pomeranjem određuje u radarskom senzoru, ali se on ne može upotrebiti sa senzorom na bazi laserskog daljinomera.



Pronađen je i aktivni optički senzor za razlikovanje helikoptera, vozila, tenkova itd. od tla na kome se nalazi i od odbrane sa tla, pa se upaljač aktivira tek nakon što se utvrdi pravi cilj. To se postiže na taj način, što se predajni i prijemni zrak u centimetarskom ili milimetarskom području usnopi, a vremensko aktiviranje je u području nanosekundi ili se površina cilja skanira velikom brzinom.

Međutim, iako je ovaj senzor proveren u praksi, ne može se koristiti za tzv. blizinske senzore u glavama projektila specijalno protivhelikopterskih, jer je to preskupo.

Zato se pronalazak odnosi na stvaranje senzora poput opisanog, koji će sa projektilom moći da prepozna kao cilj specijalni oblik helikoptera koji lebdi sasvim blizu tla, pri čemu se i projektil približava helikopteru sasvim nisko iznad tla. Lažne ciljeve će senzor uočavati, ali će ih odmah i eliminisati.

Problem je rešen na taj način, što je senzor (10) postavljen napred u smeru leta, a njegov deo za vrednovanje (12) sadrži časovnik (14) i računar (13). Senzor prima povratne signale (21) sa elise (42) i trupa (44) otkrivenog helikoptera, pa određuje vreme protoklo od ispaljivanja projektila (30), udaljenost, položaj i iz toga prisutnost i tip otkrivenog helikoptera (40), a na osnovu referentnih uzoraka u memoriji kinematike (16) za projektil (30) i prepoznavanja uzoraka iz referentne memorije (15). Zatim se aktivira upaljač (32) usmerljivog punjenja (33) na odgovarajući način, s tim što referentna memorija (15) sadrži broj, dužinu i širinu lopatice elise (42) različitih helikoptera, pa računar (13) proverava povratne signale (21 i 22) radi prepoznavanja uzoraka po kriterijumima za cilj.

## Novе varijante američke rakete »HELLFIRE«<sup>12</sup>

Raketa HELLFIRE, američke firme ROCKWELL, INTERNATIONAL, bila je u svojoj prvobitnoj verziji sa sistemom za lasersko samonavođenje predviđenom za protivtenkovsku borbu iz helikoptera AH-64 APACHE KoV-a i AH-1W SUPERCobra pomorskodesantnih snaga SAD. Sadašnja namena ove rakete, zbog opšte tendencije maksimalnog korišćenja afirmisanih oružanja

<sup>11</sup> Prema podacima iz: SOLDAT UND TECHNIK 1990, br. 5, str. 389.

<sup>12</sup> Prema podacima iz: DÉFENSE & ARMEMENT HÉRACLES INTERNATIONAL 1990, br. 93, str. 70.

nih sistema i naročito razvijanja novih ranije neplaniranih varijanti, usmerena je na: optimizaciju protivtenkovskih sposobnosti (borbeno punjenje u tandem rasporedu protiv reaktivnih oklopa, snažnija propulzija u cilju povećanja dometa) i proširenje područja korišćenja varijantama zemlja-zemlja (na raznim kopnenim vozilima), more-more (na brodovima male tonaže), vazduh-vazduh i zemlja-more.



*Opitno ispaljivanje protivbrodske rakete HELLFIRE za obalsku odbranu, u Švedskoj*

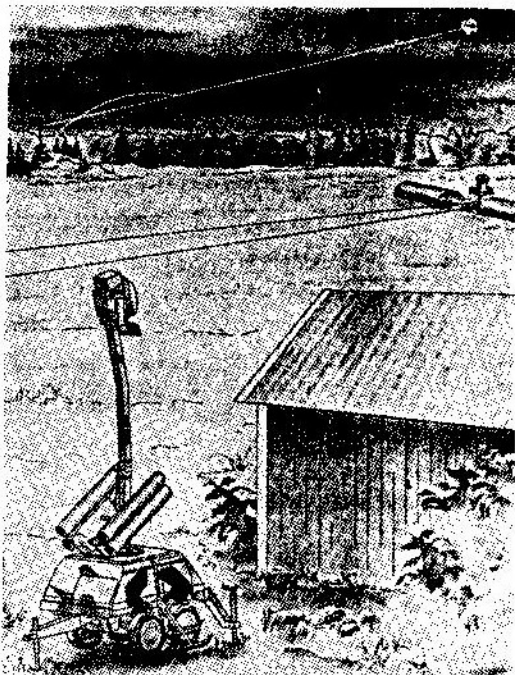
Varijanta klase zemlja-more predviđena je već 1984., kada je bila predmet ugovora o adaptaciji u vrednosti 8 miliona dolara, za potrebe obalske odbrane Švedske. Dve godine kasnije, posle uspešne modifikacije i ispitivanja, potpisan je drugi ugovor od 65 miliona dolara. Finalna montaža poverena je švedskoj firmi BOFORS, koja je za ovu protivbrodsku verziju rakete HELLFIRE sa laserskim samovođenjem za obalsku odbranu, razvila novu bojnu glavu razorno-rasprskavajućeg dejstva i prenosno tronožno postolje.

Raketa HELLFIRE klase zemlja-more ima masu 49,3 kg i dužinu 1,625 m. Homologaciona ispitivanja prvih uzoraka obavljena su u Švedskoj 1989. godine. Predložena su četiri tipa sistema za samovođenje rakete HELLFIRE: laserski, radio-frekventni/infracrveni (RF/IR), infracrveni termovizijski sistem (IRIS) i sa milimetarskim talasima.

## Švedski protivvazdušni projektil »RBS 3« (»BAMSE«)<sup>13</sup>

Švedska firma BOFORS zaključila je ugovor u vrednosti oko 15 miliona dolara za početak razvoja novog protivvazdušnog vođenog projektila srednjeg dometa. Pod oznakom RBS 3 ili BAMSE, ovaj protivvazdušni sistem biće namenjen za zaštitu vazduhoplovnih i pomorskih baza, glavnih komunikacijskih veza i gusto naseljenih oblasti.

Navodi se da je RBS 3 potpuno novi sistem sa vođenjem po radarskom snopu. Na svakoj prikolici biće po četiri lansirne cevi i preklapajući podizni jarbol na kome će biti komandni radar. Na taj način raketne jedinice će moći dejstvovati iz zaklona.



Izviđački radar i radar za upravljanje vatrom će izraditi firma ERICSSON RADAR ELETRONICS. Za izviđanje će se koristiti radar GIRAFFE

<sup>13</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 5, str. 581.

koji radi u opsegu od 5,5 cm. Ovaj radar je takođe postavljen na podizujući jarbol kako bi se njime koristila poslu-ga iz zaklona, može da osmatra preko drveća i drugih prepreka za napad na ciljeve koji lete vrlo nisko.

Izgleda da će radar za praćenje raditi u opsegu 35 GHz i pratiće i cilj i sam projektil posle lansiranja. Sam vođeni projektil razviće se po iskustvu sa vođenim projektilom RBS 70, koristeći sličan motor sa raketnim mlaznicama ukošenim sa strane projektila, kako bi se ostavio prostor za antenu prijemnika komandi. Imaće mnogo veću brzinu, a laserski prenos komandi biće zamenjen radarskim prenosom.

Tako će sistem za vođenje biti veoma otporan na ometanje, kao što je i laserski sistem vođenja, ali će obezbediti potpuno automatsko vođenje bez potrebe da poslužilac optički prati cilj. Zemaljski uređaj će izvoditi komandne instrukcije iz emitovanih signala koji su deo radarskih impulsa za prijemnik u zadnjem delu projektila. Vođeni projektil će se tako voditi da se održava diferencijalni ugao između projektila i cilja na nuli, u istoj latici dijagrama zračenja kao i cilj.

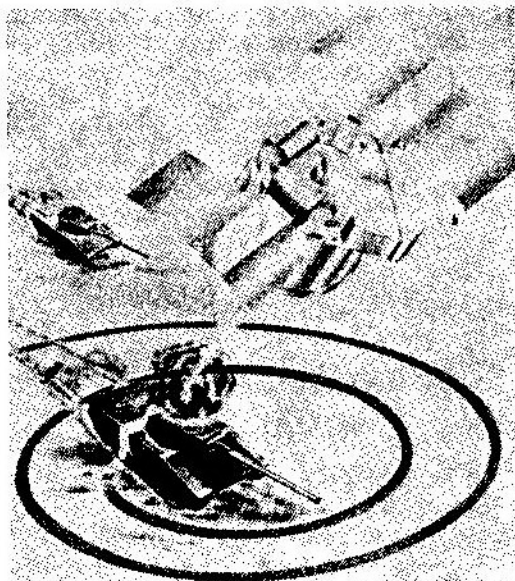
Ovaj sistem će imati doomet do 15 km i dobro pokrivanje po visini.

Usavršena oprema za vezu biće uključena u sistem zajedno sa opremom koja se prevozi željeznicom ili vazдушnim putem. Planirano je da RBS 3 uđe u naoružanje do kraja devedesetih godina.

### **Kasetna artiljerijska granata »BONUS« švedske firme BOFORS<sup>14</sup>**

Švedska firma BOFORS razvija novu kasetnu granatu kalibra 155 mm u kojoj se nalaze dva protivoklopna subprojektila sa senzorskim upaljačima. Subprojektili svojim ubojnim elemen-

tima napadaju oklopna vozila sa gornje strane. Ova nova granata, pod nazivom BONUS, ima približnu masu od 42 kg, a s njom se, pri punjenju topa postupa kao s običnom granatom. Navodi se da će biti kompatibilna sa većinom savremenih haubica 155 mm.



Kasetna grana tauz pomoć gasogeneratora postiže doomet od oko 25 km. Pre ispaljivanja podešava se elektronski upaljač koji obezbeđuje dirigovano izbacivanje dva subprojektila iznad cilja na visini od oko 1.000 m. Svaki subprojektil će dobiti kružno njihajuće kretanje kako bi se IC-senzoru omogućilo skaniranje u konusu od 30° za traženje ciljeva u toku spuštanja. Po otkrivanju cilja subprojektil se usmerava prema njemu. Kad udaljenost do cilja postane manja od 150 m aktivira se bojna glava i ispaljuje na cilj ubojni element dobijen preformiranjem metalne ploče pri eksploziji.

Uspešno su završene dve faze razvoja projekta, uključujući ispitivanja dinamike spuštanja subprojektila, IC-senzorskog sistema i bojne glave. Simulacije su pokazale da bi puk od 24 oruđa, od kojih svako ispalji dve gra-

<sup>14</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 5, str. 580.

nate BONUS za 10 s, mogao da uništi 7 do 12 ciljeva (borbenih vozila) razmeštenih na površini od 600 m<sup>2</sup>. Ispaljena municija ima ukupnu masu od 1,9 t, a za postizanje istog efekta klasičnim granatama potrebna bi bila masa od 50 t municije. Planirano je da početna ispitivanja budu završena do 1992. godine.

## Zapadnonemački tenk sa laserskim oružjem<sup>15</sup>

SR Nemačka je učinila značajan korak u pogledu uspešnih ispitivanja komponenata kao dela dugoročnog programa razvoja tenka sa laserskim oružjem. Kada bude razvijen, pod vođstvom firme MBB (Messerschmitt-Bölkow-Blohm), operativni laser biće efikasan protiv aviona, helikoptera, raketa i senzorskih sistema.

Druga faza programa, koja obuhvata ispitivanje sistema, trebalo bi da se završi do 1992. Do sada je utrošeno ukupno 60 miliona dolara za istraživački rad na sistemu. Ovaj program ponikao je iz nastojanja SRN da raspolaze jednim opštim taktičkim PVO sistemom koji bi zamenio rakete HAWK. Predviđeno je da se za ovaj program koristi laser na bazi ugljen-dioksida, koji bi se instalirao na šasiju tenka LEOPARD. Laser će crpiti ugljen-dioksid iz izduvnih gasova tenkovskog benzinskog motora. Teleskopski predajnik, fokusirajuća optika i sistem za praćenje, pri korišćenju laserskog oružja, naglo iskaču iz tenka na podignutom kraku u položaj za gađanje, a laser projektuje iz tela tenka svoju svetlost na uređaj za upravljanje laserskog snopa na vrhu kraka.

Laserski snop dejstvovaće u srednjem IC-opsegu na 10,6  $\mu\text{m}$ . Snaga lasera je 500 kW, ali je planiran njen rast na 1 MW u kratkom periodu vre-

mena. Firma DIEHL GmbH, koja saraduje sa MBB, razvila je podešavajući optički sistem za kompenzaciju atmosferskih uticaja. Infracrvenu talasnu dužinu ugljen-dioksida izabrala je MBB na osnovu detaljne studije vremenskih modela u Nemačkoj. Obe firme rade i na razvoju podešavajućeg rezonatora za projekat lasera.

Firma DIEHL je primenila tehnologiju monokristalnih struktura u uređaju za upravljanje laserskog snopa, koji se koncentriše na otvrdnuto bakarno ogledalo. Sistem za aktivno lasersko praćenje i atmosfersku korekciju zasnovan je na izlaznom talasu treperenja, koji razbija lasersku svetlost na parcijalne snopove koji se mogu identifikovati preko frekvencija sa diskretnom faznom modulacijom. Podešavajuća ogledala mogu istovremeno da koriguju atmosfersku turbulenciju i toplotne uticaje, obezbeđujući maksimalnu jačinu fokusiranja i praćenje cilja.

MBB razvija ultravioletne senzore za primenu u optičkim protivdejsvima, koji otkrivaju dolazeće rakete preko njihovog izduvnog mlaza.

U početku, laser će biti primenjen na optičkom senzoru ometanja u vidljivom i IC-području talasnih dužina. Verzija od 1 MW imaće domet uništenja 5 km za helikoptere, rakete i senzore na vazduhoplovima, a do 20 km za providne krovove avionskih kabina.

## VF primopredajni radio-uređaj »RF-5000T« američke firme HARRIS CORPORATION<sup>16</sup>

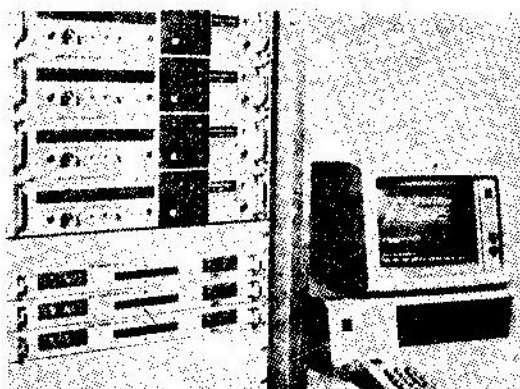
RF-5000T je novi VF prevozni radio-uređaj snage 125 W. Ovaj VF/SSB digitalni radio sastoji se iz prijemnika/predajnika, pojačavača RF snage 125 W, izvora napajanja, mikrotelefonske kombinacije i odgovarajuće kablaze. Čitav uređaj smešten je u robusnu kutiju vrlo pogodnu za montiranje i rasklapanje.

<sup>15</sup> Prema podacima iz: SIGNAL 1990, mart, str. 12.

<sup>16</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1989, novembar, str. 1584.

nje. Sistem je baziran na Harrisovoj jedinici RF-5020 R/T, koja pokriva frekvencijski opseg od 1,6 do 30 MHz. Procesiranje signala vrši se na digitalnom nivou. Kanalni raster je 10 Hz, a broj programiranih kanala za simpleks ili semidupleks je 100. Sistem radi u svim standardnim režimima rada uključuju-

lognih (AM/FM/CW) i digitalnih signala (BPSK/QPSK/FSK/8-PSK/16-QAM itd.). Fazni šum je vrlo nizak, 1° rms. Osetljivost je jako dobra, a dinamički opseg je 83 dB. Sistem je vrlo pogodan za rukovanje, a kompjuterska kontrola može se ostvariti preko ugrađenog IEEE-488 interfejsa. Antena se montira na spregnute tjunere povezane



ći USB, LSB, AME i CW. Takođe, moguće je ostvariti i adaptivnu frekvencijsku kontrolu. Uređaji se mogu pridodati modem za prenos podataka 2400 b/s ili LPC vokoder za prenos govora. Dodatnim štampanim kolima mogu se ostvariti kriptološka i frekvencijsko skakanje.

jednim jednim serijskim interfejsom RS-422 na komplet digitalnih i analognih prijemnika. Familija R70 se može prilagoditi za upotrebu u specifičnim vojnim uslovima, na zemlji, u vazduhu, ili na brodskim platformama. Takođe se mogu nabaviti i moduli za proširenje radnog opsega do 60 GHz.

### **Fleksibilni mikrotalasni prijemni sistem »R70« američke firme LNR COMMUNICATIONS<sup>17</sup>**

Familija prijemnika R70 omogućava prijem vrlo slabih signala u opsegu od 0,7 do 20 GHz. Sistem obezbeđuje dobar kvalitet prijemnog signala čak i u vrlo otežanim uslovima, pretraživanje opsega, visok odnos signal/šum, vrlo nizak BER, odlično potiskivanje uticaja susednih kanala i ekvalizaciju grupnog kašnjenja. Sistem je projektovan za prijem nisko i visokokapacitetnih ana-

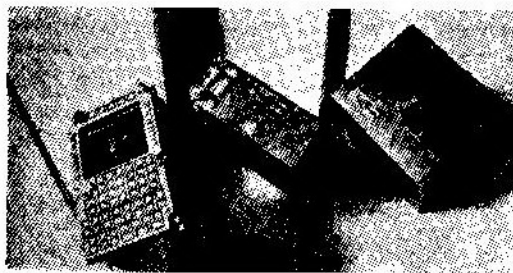
### **VF primopredajnik »XK 510« zapadnonemačke firme ROHDE & SCHWARZ<sup>18</sup>**

Zapadnonemačka firma ROHDE & SCHWARZ razvila je novi primopredajni uređaj XK 510 za ugradnju u nemački protivtenkovski helikopter PAH-2. Uređaj je namenjen za pouzdan i kriptoštićen prenos govora ili podataka do daljina od 250 km pod ekstremnim borbenim uslovima. Uređaj je razvijen u kooperaciji sa TELEFUNKEN SYS-

<sup>17</sup> Prema podacima iz: DEFENSE ELECTRONICS 1989, novembar, str. 6

<sup>18</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990 februar, str. 213.

TEM TECHNIK i predstavlja deo jedinstvenog programa za opremu protivtenkovskih helikoptera. Uređaj se sastoji iz VF primopredajnika snage 100 W tipa XK 510 D1 i jedinice za antensko prilagođenje tipa FK 510. Sistem pokriva frekvencijsko područje od 2 do 30 MHz sa rasterom od 100 Hz. Vreme podešavanja antene je oko 0,5 s, za prepodešavanje na novu frekvenciju, a manje od 10 ms za blago prepo-



dešavanje. Masa uređaja je 13,5 kg i vrlo je pogodan za ugradnju u helikoptere ili druge letelice. Jedinica za antensko prilagođenje može se upotrebiti uz sve standardne tipove antena. Osim toga, uređaj ne zahteva upotrebu dva posebna kabla za kontrolu antenskog prilagođenja i za napajanje, već se za obe namene upotrebljava jedan kabl. Na slici, s leva na desno, vide se kontrolna jedinica i terminal za podatke sa punom alfanumeričkom tastaturom, antensko prilagođenje (u sredini) i primopredajnik od 100 W (desno).

**Operacioni pojačavač  
»OPE 115SM/883B«  
američke firme  
Burr-Brown Corp.<sup>19</sup>**

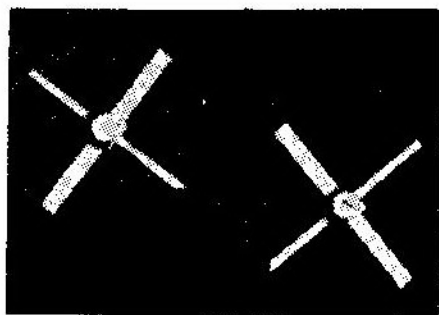
OPA115SM/883B je monolitski operacioni pojačavač sa širokim opsegom napona napajanja. Ovaj operacioni pojačavač daje izlaznu struju do 15 mA pri naponima napajanja od 10 do 15 V.

<sup>19</sup> Prema podacima iz: DEFENSE ELECTRONICS 1989, novembar, str. 88.

Podleže standardu Mil-Std-883. Može se koristiti u izvorima napajanja za vojne namene, kontrolerima napajanja i u programabilnim izvorima napajanja. Brzina odziva mu je 5 V po mikrosekundi. Ulazna kola rađena su u FET tehnologiji, što omogućava upotrebu visokoimpedansnih povratnih veza, čime se minimizuju efekti opterećenja pojačavača. Ulazna kola su takođe i laserski trimovana, pa ovaj operacioni pojačavač ima vrlo nizak ofset i drift ulaznog napona (1 mV maksimalno i 30  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ). Pojačavač ima stabilno pojačanje i ne zahteva ekstremne komponente za kompenzaciju. Pakovanje je u hermetičkom kućištu TO-99 sa standardnim rasporedom pinova, a predviđen je i testiran za rad u temperaturnom opsegu  $-55$  do  $125^\circ\text{C}$ .

**GaAs FET tranzistor »ATF-13170«  
američke firme AVANTEK<sup>20</sup>**

Ovaj galijum-arsenidski FET tranzistor predviđen je za rad u frekvencijskom području od 2 do 16 GHz. Uz pravilnu polarizaciju tranzistora na 12 GHz se može ostvariti faktor šuma od 1 dB sa pojačanjem od 10 dB ili  $+17,5$  dBm izlazne snage pri pojačanju od 8,5 dB. Na 8 GHz optimalan faktor šuma je 0,8 dB, a pojačanje 12 dB. Na 14 GHz izmeren je faktor šuma od 1,3 dB i pojačanje od 8,5 dB. Gejt ovog FET tran-



<sup>20</sup> Prema podacima iz: JOURNAL OF ELECTRONIC DEFENSE 1989, decembar, str. 73.

zistora izveden je kao Šotkijeva barijera i dužine je 0,3 mikrona, a totalna periferija gejtja je 250 mikrona. Tranzistor se prodaje po ceni od 44,85 dolara u količinama po 100 komada.

## Počinje razvoj radara »COBRA«<sup>21</sup>

Međunarodni konzorcijum pod nazivom EURO-ART, koji čine THORN EMI ELECTRONICS, SIEMENS, THOMSON-CSF i GENERAL ELECTRIC, dobio je posao vredan 100 miliona funti, za razvoj novog radara taktičke namene za potrebe britanskih, francuskih i zapadnonemačkih snaga.

Ugovor definiše trogodišnji razvoj prototipa i dvogodišnju fazu njegovog ispitivanja. Procenjuje se da će ugovor za serijsku proizvodnju da bude vredan preko 400 miliona funti.

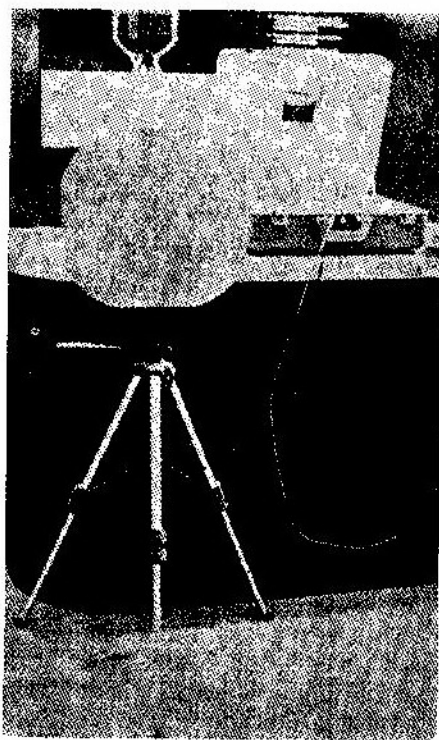
Naziv radara COBRA potiče od COUNTER BATTERY RADAR i treba da predstavlja savremeni radar za otkrivanje oruđa, koji će koristiti antenski niz, poluprovodničke module, nove tehnike i tehnologije za obradu signala. Ovakav radar se predviđa za razmeštaj ispred vatrenih linija sa namenom da otkriva položaje dalekometne artiljerije i lansiranih raketa zemlja-zemlja. Ceo radar treba da bude na odgovarajućem vozilu sa mogućnošću prelaska iz marševskog u operativni mod za kraće od 1 minuta. Posebna pažnja se poklanja zahtevu da COBRA otkrije neposrednu opasnost od dalekometne artiljerije i raketa zemlja-zemlja pri uslovima visoke gustine vatre.

Očekuje se da će se i Italija uključiti u program razvoja radara COBRA. Predviđa se, takođe, da će značajnu ulogu u plasiranju radara COBRA na američkom tržištu da ostvari GENERAL ELECTRIC, čije tehnološke mogućnosti i iskustvo u primeni radarske tehnologije imaju poseban značaj u ovom razvoju.

<sup>21</sup> Prema podacima iz: NATO'S SIXTEEN NATIONS 1990, februar-mart, str. 88. DEFENCE 1990, br. 3, str. 189.

## Američki »MODULARNI RADAR« za višestruke namene<sup>22</sup>

TACTICAL ELECTRONICS DIVISION, jedna od MOTOROLINIH fabrika predstavila je novi laki osmatrački radar u I-opsegu frekvencija pod jednostavnim nazivom MODULARNI RADAR.



Za ovaj projekat se koristi savremeni tehnološki razvoj koji je započeo pre 5 godina sa ciljem da se osvoji proizvodnja komponenata za laki radar male verovatnoće otkrivanja. Ovim razvojem obuhvaćeni su GaAs FET predajnik, GaAs niskošumni pojačavač i prijemnik, poseban čip za vremensku sinhronizaciju i jedan bifazni konvolver u čipu sa podešljivim odnosom kompresije do 128:1.

Jedna od ovih primena treba da bude u NASA projektu za upravljanje or-

<sup>22</sup> Prema podacima iz: DEFENSE ELECTRONICS & COMPUTING (SUPPLEMENT TO IDR) 1990, br. 4, str. 44.



bitalnim manevrišućim vozilom, koje se od 1987. godine razvija po ugovoru sa američkom firmom TRW.

Razvoj je u fazi istraživanja tehničkih rešenja za probleme izdvajanja pokretnih ciljeva, zatim za primene radara na vazduhoplovima i na zemlji, posebno za korišćenje ispred vatrenih linija i za tehničko obezbeđenje vazduhoplovnih baza.

Prvi prototip MODULARNOG RADARA prikazan je tokom jedne demonstracije tehničke zaštite američkog vazduhoplovstva u Nemačkoj, prošle godine u Sembach-u, kada je dokazano da je ovaj radar uspešan u otkrivanju osobe koja trči, hoda i puzi. Ovaj radar može da detektuje čoveka koji hoda na rastojanju do 5 km, a vozilo do 13, odnosno, do 20 km.

Masa radara je 20 kg, bez baterije i tronoša.

Radar se sastoji od planarne antenske rešetke sa prorezima, prijemnika, predajnika, FFT signal-procesora, LCD-displeja, kao i upravljačke jedinice, posebno oblikovane za držanje u ruci. Snaga predajnika je 10 W u impulsu, faktor šuma prijemnika je 3 dB, širina antenskog snopa 5° sa pojačanjem od 28,5 dB. Verovatnoća detekcije po jednom prebrisavanju je 90%. Radar ima 3 moda prikazivanja ciljeva: rastojanje do 20 km može biti prikazano u inkrementima po 2 km, mapiranja terena i obeležavanje cilja kursorom.

### **Francuski radar za letelice sa smanjenom refleksnom površinom<sup>23</sup>**

Francuska nastavlja testiranje i razvoj multistatičkog radarskog sistema koji bi trebalo da omogući detekciju letelica sa smanjenom radarskom refleksnom površinom, tzv. nevidljivih objekata. Ovo je povereno vladinoj orga-

nizaciji za vazduhoplovna i kosmička istraživanja, ONERA, koja je pomogla razvoj CONCORDE i raketnog motora VIKING.

Sistem bi trebao da uključi više predajnika u vazduhu i na zemlji i odgovarajući broj prijernih stanica. Multistatički princip, koji se ovde primenjuje, omogućuje da se prevaziđu problemi usled smanjenja refleksne površine, te se u tom cilju koristi veći broj predajnika i prijernih i ostvaruje višespektno promatranje objekta. Ovaj francuski sistem je projektovan da koristi različite talasne oblike istovremeno u posebno odabranom opsegu frekvencije. Posebnom mrežom prijernih omogućuje se da se ostvari praćenje preko onog podsistema koji obezbeđuje pouzdano praćenje i relativno visok nivo signala. Sistem mreže multistatičkih prijernih i predajnika treba da koristi opsege frekvencija 8-10 GHz, 6-8 GHz i 60-100 GHz, uz mogućnost rada sa prostim radarskim impulsima i specijalno kodiranim u zavisnosti od geografske lokacije predajnika i prijernih u mreži sistema.

### **Evropska regionalna mreža naučnih i tehničkih informacija »INTERNET«<sup>24</sup>**

Na konferenciji u Valeti, Malta (26—30. mart 1990. godine) razmatran je dalji razvoj mreže INTERNET. Pored UNESCO-a, mrežu finansira i međunarodna organizacija UNDP sa 150.000 USD. Prva faza projekta završava se krajem 1991. godine, kada počinje druga faza.

Pored četiri zemlje-osnivača mreže (Austrija, Bugarska, Mađarska i Jugoslavija), još šest zemalja je potvrdilo učešće: Albanija, ČSSR, Italija, Malta, Poljska i Turska. Pored niza naučno-tehničkih tema, na Malti su razmatrani i vodni resursi i seizmički rizici.

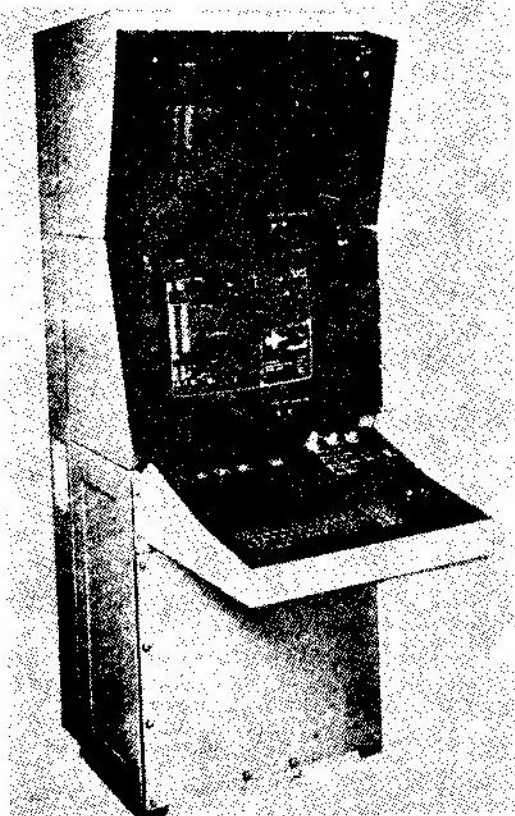
<sup>23</sup> Prema podacima iz: SIGNAL 1970, maj, str. 12.

<sup>24</sup> Prema podacima iz: UNISIST Newsletter 1990, br. 2, str. 47.

Mreža INTERNET doprineće ekonomskom razvoju evropskog regiona kroz implementaciju međunarodnog informisanja, uz primenu zajedničkih računarskih metoda prikupljanja i procesiranja informacija i nove telekomunikacione tehnike. Sve je veći akcenat i na problemu čovekove sredine.

### Radna stanica u boji »CWS« američke firme RAYTHEON<sup>25</sup>

Prvih pet radnih stanica u boji CWS (Color Work Station), razvijenih u sektoru EQUIPMENT američke firme RAYTHEON za RM SAD, biće dostavljene firmi UNISES koja će ih opremiti logičkim sistemom neophodnim za njihovu namenu.



<sup>25</sup> Prema podacima iz: DÉFENSE & ARMEMENT HÉRACLE S INTERNATIONAL 1990, br. 93, str. 72.

Prvi ugovor (potpisan u 1988.) odnosi se na 108 jedinica CWS, kojima treba da se dodaju još 159 naknadnih. Ovih 267 CWS predstavljaju budžetsku stavku od 100 miliona dolara. Instaliranje prve stanice predviđeno je da bude na komandnom brodu SARATOGA američke RM, na kome će se upotrebljavati za vođenje pomorskih bitaka.

Ova stanica visokih performansi predstavlja dvojni video sistem, koji raspolaže mogućnostima obrađivanja podataka velikom brzinom na grafički način u boji 3-D. Koristeći operativni sistem za industrijski standard UNIX, CWS se zasniva na geometrijskom sistemu IRIS firme SILICON GRAPHICS. RAYTHEON obezbeđuje vojnu primenu ove opreme omogućujući joj kompatibilnost sa potrebama C31.

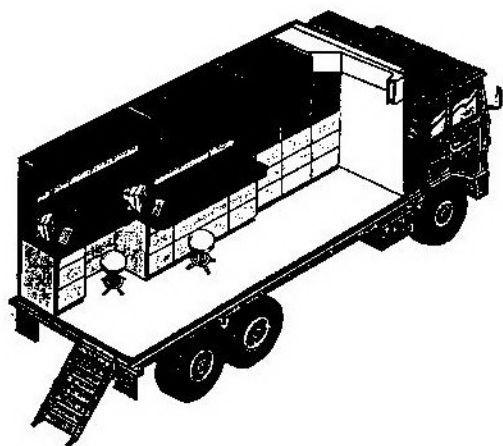
CWS ima dva motora svih boja od 19" (482,6 mm) sa rezolucijom 1280 piksela  $\times$  1024 linije. Raspolaže velikim brojem grafičkih mogućnosti, uključujući prikazivanje velike količine alfanumeričkih podataka, karata u svim bojama, i višestrukih »prozora«. Kapacitet lokalne obrade dostiže 47 MIPS. U jednoj stanici mogu biti instalirana četiri procesora. Instalacija jednog procesora MOTOROLA 68020 od 2-MP sa tri procesora RISC 15-MP obezbeđuje maksimalni kapacitet obrade. Snaga uređaja za upravljanje sistemom CWS je dovoljno jaka da bi istovremeno omogućilo funkcionisanje do osam monitora raznih rezolucija.

### Nova generacija francuskih mobilnih stanica za ispitivanje i održavanje<sup>26</sup>

Francuska generalna delegacija za naoružanje odabrala je firmu SEXTANT AVIONIQUE da konstruiše i izradi sledeću generaciju mobilnih stanica za

<sup>26</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 5, str. 579.

ispitivanje i održavanje za KoV Francuske. Ove nove stanice obezbeđiće podršku za sistem oružja do 2000 godine i posle. Digitalna automatska oprema za ispitivanje će biti bazirana na novoj garnituri opreme ove firme SESAR 400 koja će omogućiti ispitivanje na principu »IDE« ili »NE IDE« sve do nivoa



ploča sa štampanim kolima. Na slici je prikazano predloženo glavno ispitno vozilo za elektroniku za ovaj program. Za optroničku opremu pomoćće firma SAGEM, za integrisanje u skloništa firme CEGELC i za kondicioniranje vazduha firma SERAÉ. Prvi sistem vozila koji će koristiti novu opremu je tenk LECLE-RC. Ukupni troškovi razvoja i proizvodnje će biti preko 50 miliona franaka. Očekuje se da će proizvodnja početi 1994. godine.

### Italijanski univerzalni punjač električnih baterija »CBU-825«<sup>27</sup>

Italijanska firma LARIMART proizvodi univerzalni punjač CBU-825 namenjen za istovremeno punjenje svih

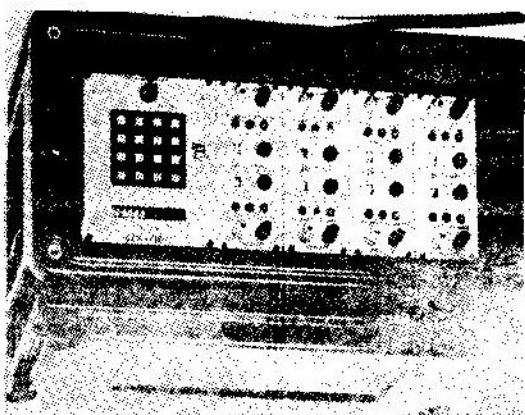
<sup>27</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1990, br. 95, str. 80.

vrsta nikl-kadmijumskih električnih baterija sa sledećim karakteristikama:

- nominalni kapacitet [Ah] 0,3 do 7
- nominalni napon [V] 4,8-12-24 i 28,8

Mogućnosti punjenja:

- do 8 baterija [V] od 4,8 i 12
- do 6 baterija [V] od 4,8-12-24 i 28,8



CBU-825 sa 4 modula M-2 za punjenje do 8 baterija od 4,8 V i 12 V

CBU-825, kojim upravlja mikroprocesor, sastoji se od transportnog kućišta, otpornog i kompaktnog, modularne koncepcije, koje omogućuje različite konfiguracije radi postavljanja jednog do četiri modula za punjenje M-2. Pomoću tastature i ekrana za vizuelno pokazivanje alfanumeričkih podataka moguće je programirati, prema detaljno razrađenom programu, razne »jelovnike« punjenja za 35 različitih tipova nikl-kadmijumskih baterija. U slučaju prekida struje napajanja punjača, konzerviranje svih unetih podataka obezbeđuje memorija koja se tada ne briše.

Napajanje punjača CBU-825 obezbeđuje generator MPU-83 strujom za punjenje od 24 V i 17 A i sa izlaznom snagom 180V. Predviđena su tri vremena punjenja za 3,5 i 10 časova. Srednje vreme praznjenja je 5 sati.



## Unapređenje sadržaja i forme časopisa »Vojnotehnički glasnik« i njegov plasman širem krugu čitalaca

Redovna godišnja sednica Izvršnog saveta časopisa VTG održana je 12. 03. 1991. godine. Na njoj je svestrano razmotren godišnji izveštaj o radu redakcije časopisa u 1990, kao i aktuelna pitanja i problemi u vezi sa programskom orijentacijom, kvalitetom, formom i sadržajem časopisa, kao i tiražom, pretplatom i plasmanom. Savet je kritički razmotrio dosadašnje izdavanje časopisa i rad redakcije, a naznačeni su i pravci razvoja i rada u narednom periodu.

U 1990. u objavljenim člancima razmotrena su različita pitanja i problemi iz tehničkog i saobraćajnog obezbeđenja, iz razvoja, konstruisanja i proizvodnje NVO, kao i oni u vezi sa definisanjem i razvojem elemenata integralnog TOB.

U toku godine u redakciju je prispelo 64 autorska članka, objavljeno je 59, od čega je iz 1989. preneto 20 članaka, a iz 1990. u 1991. 11 članaka. Za objavljivanje nije prihvaćeno 5 članaka.

U časopisu je, pored 59 autorskih članaka iz raznih oblasti, štampano i 36 prevoda iz inostranih časopisa i 129 crtica — naslova u rubrici »Tehničke novosti i zanimljivosti«.

Prosečni ukupni troškovi po primerku iznosili su oko 38 dinara, a njegova cena u pretplati bila je svega 5 dinara (ispod cene dnevne štampe), tako da su prihodi pokrivali samo oko 6% ukupnih rashoda.

Cena u pretplati za 1991. povećana je pet puta i iznosi 25 dinara po jednom primerku, pa će odnos prihoda i rashoda u 1991. biti nešto povoljniji.

Štampanje časopisa je veoma skupo, što u ukupnim troškovima čini oko 84%. Jedan od razloga za to je i složenost kombinovanog sloga (tekst i matematički izrazi), kao i mnoštvo ilustrativnog materijala.

Tiraž je u stalnom opadanju, tako da je sa 4.000 primeraka po broju u 1989. pao na 3.000 u 1990, dok, za sada, u 1991. iznosi 2.000 primeraka po broju.

OVAKO drastično smanjenje tiraža delimično je i rezultat redukcije spiskova lica i ustanova kojima je časopis besplatno dodeljivan, shodno naređenju iz SVL br. 28/83, dok se za potrebe SRVSJ u 1991. dodeljuje samo 9 umesto dosadašnjih 600 primeraka.

Sve više je pojedinačnih pretplatnika iz jedinica i ustanova JNA, a sve manje organizovanih, grupnih, što, u stvari, navodi na zaključak da organizacija i način pretplate preko Vojnoizdavačkog i novinskog centra nisu dali dobre rezultate.

Kada je reč o autorima — saradnicima časopisa, očigledno je još uvek nedovoljno angažovanje stručnih ljudi iz Vojnotehničkih instituta sva tri vida, remontnih zavoda, preduzeća namenske industrije, uprava SSNO i jedinica tehničke službe. Upravo u navedenim strukturama časopis bi morao imati veću stručnu podršku, kako u smislu korišćenja, tako i u smislu veće afirmacije sopstvenih autorskih radova.

U obavljanju stručnih recenzija najviše su se angažovali, kao i do sada, stručni kadrovi iz CVTŠ KoV, VTI vidova, TU SSNO i nekolicina profesora sa Elektrotehničkog i Mašinskog fakulteta u Beogradu i Zagrebu.

Među autorima objavljenih članaka sve je više mladih starešina tehničke i saobraćajne službe, pa i pitomaca, što je pozitivno i taj trend treba i ubuduće održavati.

Časopis je u 1990, bez obzira na sve teškoće, izlazio redovno i u planiranom tiražu od 3.000 primeraka, što je rezultat i izuzetnih napora Redakcije, kojoj je odati i dužno priznanje, jer je održan kvalitativni i kvantitativni nivo iz prethodne godine, iako je kompletna redakcija izmenjena početkom 1990.

Članovi Saveta aktivno su učestvovali u diskusiji povodom izveštaja Redakcije o radu u 1990, a pokrenuta su i mnoga pitanja usmerena na poboljšanje sadržaja, forme i likovnog rešenja korice časopisa.

Prihvatajući izveštaj o radu Redakcije u 1990, Savet je ocenio da časopis uspešno ostvaruje svoju namenu, da je koristan za tehničku i saobraćajnu službu, pa i šire, mada se sve manje čita.

Savet je doneo i zaključke — zadatke koji se moraju realizovati u ovoj godini, od kojih su najznačajniji sledeći:

- održati kvalitativni i kvantitativni nivo časopisa;
- časopis se nedovoljno prati i čita, pa se i broj pretplatnika i tiraž smanjuju iz godine u godinu, što znači da naše starešine nedovoljno poklanjaju pažnju stručnom uzdizanju i usavršavanju; po ovom pitanju se očekuje veće angažovanje komandovanja i upravnih struktura;
- dobro organizovanim pristupom treba poboljšati pretplatu; to nije samo stvar Redakcije i odgovarajuće službe VINC-a, već i komandovanja;
- objavljene članke ubuduće treba klasificirati (naučni, stručni, pregledni ili dr.) što bi trebalo da obavljaju stručni recenzenti;
- u ovoj godini izabrati najkvalitetniji članak i najproduktivnijeg autora, što podrazumeva izradu sistema i zakonsku regulativu za izbor i nagrađivanje;
- glavni i odgovorni urednik treba da pokrene formiranje Uredi-vačkog odbora časopisa, koji će učestvovati u uređivanju svakog broja;
- izvideti mogućnost da se na početku svakog autorskog članka da kratak sažetak na engleskom jeziku;
- i dalje provoditi aktivnosti na poboljšanju i proširenju strukture autora članaka — radova;
- treba objavljivati inovacije koje su usvojene i od šireg interesa;
- sagledati mogućnost uvođenja marketing-reklame na kraju časopisa;
- maksimalno prezentirati iskustva iz rata u Zalivu, preuzimanjem članaka iz stranih časopisa;
- proširiti mrežu saradnika — prevodilaca, naročito sa kadrovima iz CVTŠ KoV;
- objavljivati više članaka (prevoda) iz oblasti logistike i održavanja;
- sa zatečenim zalihama časopisa postupiti po predlogu Redakcije;
- razmotriti mogućnost da pojedini brojevi budu tematski — npr. o sastanku po TOb-u, i slično;
- razmotriti mogućnost štampanja časopisa u CVTŠ KoV;
- realizovati zadatke koji su planirani za 1990, a još uvek su aktuelni, itd.

**Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis JNA.**

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, obuku, organizaciju i sva stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i obrazovanju pripadnika oružanih snaga.

Članak koji se dostavlja Redakciji mora biti kompletan, tj. treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru. U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni. U kratkom sadržaju — sažeu, treba izneti suštinu članka, najviše u desetak redova.

Članak treba da sadrži uvod, razradu i zaključak. Njegov obim treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa novinskim preredom). Tekst članka mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama, prema »Službenom listu SFRJ« br. 13/76. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru, a broječane i slovne oznake ispisati grafitnom olovkom. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane. Članak se obavezno dostavlja u dva primerka.

Spisak grafičkih priloga sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicije na njima.

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.

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

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro račun i opštinu banke gde je račun otvoren.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11000 Beograd, Svetozara Markovića 70, VE-1.

NOVO NOVO NOVO NOVO NOVO NOVO NOVO NOVO NOVO

Uskoro izlazi iz štampe knjiga koju ste s nestrpljenjem čekali

## KAKO OTKUPITI STAN?

Zbirka propisa o stambenom obezbeđivanju u JNA

Iz sadržaja:

- Kako doći do stana?
  - Kako otkupiti vojni stan?
  - Kako se određuje vrednost stana?
  - Kreditom do vlastitog krova nad glavom
  - Način sticanja stanarskog prava
  - Mogućnost zamene stana
  - Ko i pod kojim uslovom može da koristi službeni stan?
  - Kako će biti organizovano održavanje stambenog fonda JNA?
  - Kome, kada i s kojim dokumentima se obratiti da bi regulisali neka od navedenih prava ili mogućnosti?
  - Značajne ustanove (adrese, brojevi telefona, radno vreme)...
- 
- 

## NARUDŽBENICA

VOJNOIZDAVAČKI I NOVINSKI CENTAR, 11002 Beograd,  
Svetozara Markovića 70. Žiro-račun 60823-849-2393

### KAKO OTKUPITI STAN?

(Zbirka propisa o stambenom obezbeđivanju u JNA)

Ovim neopozivo naručujem(o) ..... primeraka knjige po ceni od 100,00 dinara  
(po primerku), plaćanje unapred.

Knjige pošaljite na adresu:

Naručilac: .....

Mesto i broj pošte: .....

Ulica i broj: .....

U .....

Naručilac:

Dana .....

.....

Uz narudžbenicu obavezno poslati original ili kopiju uplatnice kojom je izvršena uplata odgovarajućeg iznosa prema broju naručenih primeraka knjiga, na žiro-račun: 60823-849-2393, VINC, Svetozara Markovića 70, Beograd. Narudžbenica bez priložene uplatnice neće se uvažiti.

Pravna lica naručene knjige plaćaju virmanom po prijemu računa, u zakonskom roku.

Informacije se mogu dobiti telefonom: 011/645-020, 656-122, lokali: 32-902 i 32-925.