

General-major  
RATOMIR MILOVANOVIC, dipl. inž.  
(predsednik Saveta)

General-major  
mr SAVA PUSTINJA, dipl. inž.

General-major  
RADOJICA KADIJEVIĆ, dipl. inž.

General-major  
mr MILAN ZAKLAN, dipl. inž.

Pukovnik  
dr JUGOSLAV KODŽOPELIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika)

Profesor  
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr ZORAN STOJILJKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr VOJISLAV ŠORONDA, dipl. inž.

Pukovnik  
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILOŠ ČOLAKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Saveta)

Pukovnik  
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik  
mr SAŠA MILUTINOVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik  
mr DRAGOMIR MRDAK, dipl. inž.

Major  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

Major  
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.

●  
**GLAVNI I ODGOVORNI  
UREDNIK**

Pukovnik  
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.

**TEHNIČKI UREDNIK**  
SLOBODAN MIHAJLOVIĆ

**LEKTOR**  
DOBRILA MILETIĆ, prof.

**KORICE**  
MIHAJLO STANKIĆ, dipl. inž.

**KOREKTOR**  
JOVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

**SEKRETAR REDAKCIJE**  
DRANKA STOJAKOV

**ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK** — BEOGRAD, Birčaninova 5,  
VE-1. Telefoni: centrala 656-122, lokali:  
odgovorni urednik 23-156, sekretar 23-156,  
pretplata 32-837, žiro račun: Vojnotehnički  
glasnik i novinski centar (za Vojnotehnički  
glasnik) 60823-849-2393 Beograd. Polugo-  
dišnja pretplata: za pojedince — 3.000.000  
dinara, a za ustanove, preduzeća i dru-  
ge organizacije — 9.000.000 dinara. Ru-  
kopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna  
štamperija — Beograd, Generala Ždano-  
va 40 b.

**IZDAJE**

**TEHNIČKA UPRAVA GENERALŠTABA  
VOJSKE JUGOSLAVIJE**

**STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJE**

**VOJNOTEHNIČKI**  
*glasnik*



**4**

## SADRŽAJ

- Mr Zoran Ristić,** 377 Uticaj temperaturnih naprezanja na ukupna naprezanja  
potpukovnik, dipl. inž. cevi oruđa  
**Milislav Jakovljević,**  
potpukovnik, dipl. inž.
- Vrhovac Stevo,** 384 Sistem za automatizovano prikupljanje podataka vaz-  
potpukovnik, dipl. inž. dušnog osmatranja  
**Ninković Vesna,**  
dipl. inž.  
**Rodić Dragana,**  
dipl. inž.
- Nikola Lekić,** 394 Analizator radarske površine rotirajućeg cilja  
kapetan I klase, dipl. inž.
- Momčilo Đorović,** 399 Frekventno-diverziti radarski sistemi  
major, dipl. inž.
- Mr Živojin Grujić,** 411 Sinteza hidrauličkog servosistema sa povratnom vezom  
pukovnik, dipl. inž. po pritisku
- Dr Novica Đorđević,** 417 Elektromagnetna propulzija brodova (drugi deo)  
pukovnik, dipl. inž.
- Mr Nikola Bračika,** 437 Programski sistem za određivanje proizvodne radne sna-  
potpukovnik, dipl. inž. ge remontnih jedinica i ustanova VJ (prvi deo)
- Dr Vladimir Vujičić,** 447 Ovlaživanje kao postupak zaštite od atmosfertske korozije  
pukovnik, dipl. inž.
- Dr Dragutin Jovanović,** 454 Troškovi prevoženja kao kriterijum optimizacije orga-  
major, dipl. inž. nizovanja železničkog saobraćaja

## PRIKAZI IZ INOSTRANIH CASOPISA

- B. Janković,** 461 Tehnologija površinske montaže  
dipl. inž.
- P. Marjanović** 463 Koliko je biološko oružje stvarno opasno

## TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 470 Pešadijski 25 mm top ILTIS švajcarske firme OERLI-  
KON-BÜHRLE
- 471 Španski automatski bacač bombi SB 40 LAG
- 471 Američki sistem za izviđanje iz vazduha RC-350  
GUARDIAN
- 472 Nove koncepcije IC mamaca francuske firme SNPE
- 473 Nišanska sprava BOFORS za novu generaciju borbenih  
vozila
- 473 Stabilizovani panoramski nišan PERI-RF nemačke firme  
ZEISS
- 474 Modernizacija holandskog sistema za upravljanje PVO  
vatrom FLYCATCHER

- 475 Španski artiljerijski metak sa potkalibarnim projektilom 105 mm CETME APFSDS
- 475 Projektil sa korekcijom trajektorije za 76 mm mornarički top italijanske firme OTO-MELARA
- 475 Metak sa potkalibarnim projektilom kalibra 20 mm španske firme SANTA BARBARA
- 476 Streljački metak sa pancirnim zrnom kalibra 5,56 mm španske firme SANTA BARBARA
- 476 Razvoj španskog protivpodmorničkog sistema ABCAS
- 476 Evropski projektil kasetnih bombi koje se bacaju na udaljenosti veće od dometa PVO
- 477 Protivbetonska kasetna vazduhoplovna bomba BME — 330 AR španske firme EXPAL
- 478 Nemački raketni patrolni čamac »151« (BAL-COM-10)
- 478 Britansko-američki avion sa vertikalnim poletanjem HARRIER II PLUS
- 479 Budući evropski taktički transportni avion FLA
- 479 Nova elektronska oprema za francuski borbeni avion MIRAGE 2000-5
- 480 Američka bespilotna letelica UAV
- 481 Novi američki program razvoja oklopnih borbenih vozila
- 482 Razvoj oklopa za američka borbena vozila sledeće generacije
- 482 Familija VVF radio-primopredajnika PR4G francuske firme THOMSON-CSF

Mr Zoran Ristić,  
potpukovnik, dipl. inž.

Milisav Jakovljević,  
potpukovnik, dipl. inž.

## UTICAJ TEMPERATURNIH NAPREZANJA NA UKUPNA NAPREZANJA CEVI ORUĐA

Na osnovu proračuna naprezanja cevi oruđa pod dejstvom pritiska i temperature, u radu je izvršena analiza uticaja temperaturnog naprezanja u odnosu na ukupno stanje naprezanja.

Razmatraju se različite debljine zida cevi i nekoliko karakterističnih vrednosti pritiska opaljenja i temperature. Određuju se dominantna naprezanja merodavna za proračun čvrstoće cevi i daju sugestije za praktično rešavanje problema.

### Uvod

Razmatranje pitanja vezanih za problem opterećenja cevi oruđa za vreme opaljenja usled pritiska i temperature, a posebno odgovarajućih naprezanja, od posebne važnosti, kako u teorijskom, tako i praktičnom pogledu. Oba opterećenja, pa prema tome i veličine naprezanja, mogu predstavljati ozbiljno ograničenje pri daljem povećavanju moći oruđa.

Iako su u široj literaturi [1], [2], [3] poznata rešenja za određivanje stanja naprezanja u zidu cevi oruđa, za proračun čvrstoće cevi, po pravilu, uzimaju se samo naprezanja usled pritiska, a zanemaruju temperaturna naprezanja.

Provedena analiza u ovom radu treba da pokaže kako se i pod kojim uslovima veličine temperaturnih naprezanja mogu zanemariti u odnosu na naprezanja usled pritiska, odnosno kada ova aproksimacija nije korektna. Analiza je izvršena na primeru cevi oruđa sa relativnom debljinom zida cevi  $n_1 = r_2/r_1$  u granicama  $r_2 = \sqrt{2 - 2,4}r_1$ . Cev je opterećena pritiscima opaljenja  $p_1 = 250, 350$  i  $500$  MPa i temperaturama  $\Delta T_1 = 100, 200$  i  $300$  K ( $\Delta T_1 = T_1 - T_2$ , temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg zida cevi).

Rezultati stanja naprezanja, ukupno naprezanje usled pritiska i temperature, kao i njihov međusobni odnos,

zbog obimnosti podataka prikazani su samo na ekstremnim radijusima cevi tabelarno i grafički.

Obrada rezultata izvršena je pomoću PC računara primenom programskog paketa MATCAD.

### Primena modela za proračun stanja naprezanja cevi

Proračun stanja naprezanja u slojevima cevi oruđa usled pritiska opaljenja ( $p$ ) izvršen je na osnovu poznatih relacija Laméa, prema [1]. Ako se za odnos ekstremnih radijusa cevi ( $r_2/r_1$ ) uvede oznaka:  $a_{21} = r_2/r_1$ , odnosno  $a_{21} = r_2/r_1$  za radijus  $i$ -tog sloja, gde je:

$$n_i = r_1 + (r_2 - r_1) \frac{i-1}{m-1}$$

$i = 1, 2, \dots, m$  onda se relacije za naprezanja u tangencijalnom smeru  $\sigma_t^p$ , radijalnom smeru  $\sigma_r^p$  i aksijalnom smeru  $\sigma_z^p$  mogu napisati u sledećem obliku:

$$\sigma_t^p = p \cdot \frac{a_{21}^2 + 1}{a_{21}^2 - 1} \quad (1)$$

$$\sigma_r^p = -p \frac{a_{21}^2 - 1}{a_{21}^2 - 1} \quad (2)$$

$$\sigma_z^p = \frac{p}{a_{21}^2 - 1} = \text{konst.} \quad (3)$$

Zadržavajući uvedene oznake za radijuse cevi, na osnovu [1], relacije za naprezanja usled temperature  $\Delta T$  u tangencijalnom smeru  $\sigma_t^T$ , radijalnom smeru  $\sigma_r^T$  i aksijalnom smeru  $\sigma_z^T$ , mogu se napisati u sledećem obliku:

$$\sigma_{ti}^T = \frac{\Delta T \alpha E}{2(1-\mu)} \cdot \frac{1 - \ln(a_{2ri})}{\ln(a_{2i})} - \frac{r_i^2(r_2^2 - r_1^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} \quad (4)$$

$$\sigma_{ri}^T = \frac{\Delta T \alpha E}{2(1-\mu)} \cdot \frac{r_i^2(r_2^2 - r_1^2)}{r^2(r_2^2 - r_1^2)} - \frac{\ln(a_{2i})}{\ln(a_{2i})} \quad (5)$$

$$\sigma_{zi}^T = \frac{\Delta T \alpha E}{2(1-\mu)} \cdot \frac{1 - 2\ln(a_{2ri})}{\ln a_{2i}} - \frac{2r_i^2}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (6)$$

gde su:

$\mu = 0,3$  Poissonov koeficijent za materijal cevi;

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}, 1/^\circ\text{C}$  — koeficijent toplinske vodljivosti;

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  — modul elastičnosti.

Ukupno naprezanje usled pritiska i temperature na osnovu navedenih relacija predstavlja se u obliku:

$$\sigma_{ti} = \sigma_{ti}^p + \sigma_{ti}^T \quad (7)$$

$$\sigma_{ri} = \sigma_{ri}^p + \sigma_{ri}^T \quad (8)$$

$$\sigma_{zi} = \sigma_{zi}^p + \sigma_{zi}^T \quad (9)$$

a, relativni odnos odgovarajućih naprezanja u obliku:

$$\frac{\sigma_{ti}^T}{\sigma_{ti}^p}, \frac{\sigma_{ri}^T}{\sigma_{ri}^p} \text{ i } \frac{\sigma_{zi}^T}{\sigma_{zi}^p} \quad (10)$$

Proračun stanja naprezanja prema datom modelu izveden je na primeru cevi oruđa  $d=122 \text{ mm}$  ( $r_1=61 \text{ mm}$ ). Razmatrane su varijante opterećenja cevi usled pritiska:  $p_i=250, 350$  i  $500 \text{ MPa}$  i temperature  $\Delta T_i=100, 200$  i  $300 \text{ K}$  u različitim presecima cevi. Relativna debljina karakterističnog preseka cevi (za max. pritisak  $n_i=r_2/r_1$  uzima se u granicama  $n_i=(1,4; 1,6 \text{ do } 2,4)$ ), a stanje naprezanja se računa u deset tačaka po slojevima cevi.

## Rezultati proračuna i analiza

Da bi se dobila pouzdana ocena o značaju pojedinih naprezanja i njihov uticaj na ukupno stanje naprezanja, izvedeni su proračunski rezultati u dve varijante.

Prva varijanta obuhvata rezultate stanja naprezanja za karakteristične preseke ( $n_i$ ), pritisak opaljenja  $p_i=250 \text{ MPa}$  i temperaturu  $\Delta T_i=300 \text{ K}$ , prema tabeli 1. Zbog obimnosti podataka rezultati se daju samo za ekstremne radijuse.

Uticaj debljine preseka cevi na nivo odgovarajućeg stanja tangencijalnog naprezanja od pritiska  $\sigma_t^p$  i temperature  $\sigma_t^T$ , odnosno ukupno naprezanje  $\sigma_t^u$ , prikazan je na sl. 1 i sl. 2.

Dobijeni rezultati i grafički prikaz ukazuju na sledeće činjenice:

— za dato opterećenje cevi usled pritiska, tangencijalna naprezanja  $\sigma_t^p$  su dominantna naprezanja u odnosu na radijalna  $\sigma_r^p$  i aksijalna naprezanja  $\sigma_z^p$ ;

— usled temperature,  $\sigma_t^T$  je različitog predznaka na unutrašnjem i spoljašnjem radijusu cevi. Sa povećavanjem debljine zida cevi, ono u apsolutnom iznosu na unutrašnjem sloju raste, a na spoljašnjem pada;

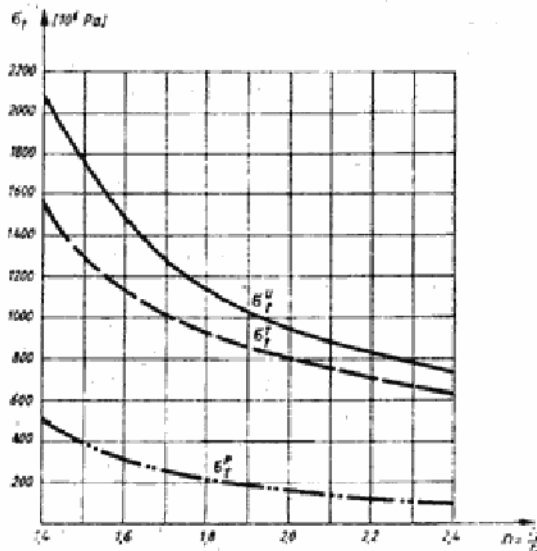
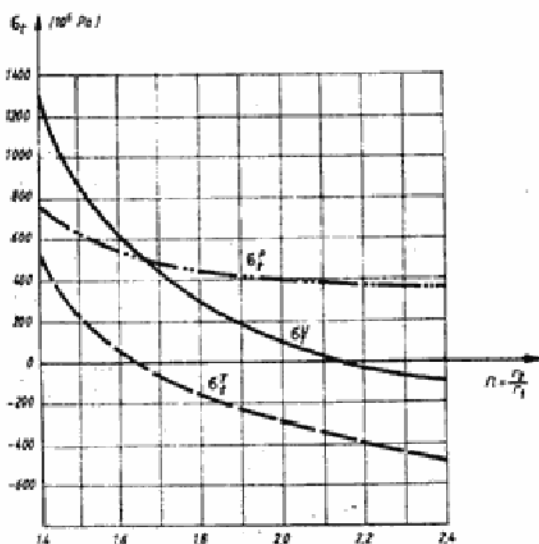
— za »tankostene cevi« ( $n_i=1,4$  i  $n_i=1,6$ ), ukupno naprezanje  $\sigma_t^u$  je veće od pojedinačnog naprezanja usled pritiska i temperature, tj.  $\sigma_t^u > \sigma_t^p$  i  $\sigma_t^u > \sigma_t^T$ ;

— za cevi sa većom debljinom zida  $n_i \geq 1,8$ , ukupno naprezanje  $\sigma_t^u$  je manje od naprezanja usled pritiska na unutrašnjem sloju, tj.  $\sigma_t^u < \sigma_t^p$ ;

— aksijalna naprezanja  $\sigma_z^T$  po apsolutnom iznosu usled temperature su veća u odnosu na ista usled pritiska i rastu sa povećanjem temperature cevi. Mnogo su veća od radijalnih naprezanja usled temperature, tj.  $\sigma_z^T > \sigma_r^T$ , pa se u proračunima ne mogu zanemariti za razliku od  $\sigma_r^T$ .

Druga varijanta proračuna obuhvata rezultate stanja naprezanja izve-

| Opterećenje                                                     | Relativna debljina cevi | Naprezanje          |        |                     |       |                     |       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|
|                                                                 |                         | $\sigma_{ti}$ , MPa |        | $\sigma_{ri}$ , MPa |       | $\sigma_{zi}$ , MPa |       |
|                                                                 |                         | $r_1$               | $r_2$  | $r_1$               | $r_2$ | $r_1$               | $r_2$ |
| $p_1 = 250$ MPa                                                 | 1,4                     | 770,8               | 520,8  | -250,0              | 0     | 260,4               | 260,4 |
|                                                                 | 1,6                     | 570,5               | 320,5  | -250,0              | 0     | 160,3               | 160,3 |
|                                                                 | 1,8                     | 473,2               | 223,2  | -250,0              | 0     | 111,6               | 111,6 |
|                                                                 | 2,0                     | 416,7               | 166,7  | -250,0              | 0     | 83,3                | 83,3  |
|                                                                 | 2,2                     | 380,2               | 130,2  | -250,0              | 0     | 65,1                | 65,1  |
|                                                                 | 2,4                     | 355,0               | 105,0  | -250,0              | 0     | 52,5                | 52,5  |
| $T_1 = 300$ K                                                   | 1,4                     | 524,9               | 1605,0 | 0                   | 0     | -600,1              | 479,9 |
|                                                                 | 1,6                     | 68,9                | 1149,0 | 0                   | 0     | -623,4              | 456,6 |
|                                                                 | 1,8                     | -161,3              | 918,7  | 0                   | 0     | -643,4              | 436,6 |
|                                                                 | 2,0                     | -300,9              | 779,0  | 0                   | 0     | -660,9              | 419,0 |
|                                                                 | 2,2                     | -395,1              | 684,9  | 0                   | 0     | -676,4              | 403,6 |
|                                                                 | 2,4                     | -463,2              | 616,8  | 0                   | 0     | -690,1              | 389,9 |
| Ukupno naprezanje<br>$\sigma_t^u, \sigma_r^u, \sigma_z^u$ , MPa | 1,4                     | 1295,7              | 2125,8 | -250,0              | 0     | -339,7              | 740,3 |
|                                                                 | 1,6                     | 639,4               | 1469,5 | -250,0              | 0     | -463,1              | 617,9 |
|                                                                 | 1,8                     | 311,9               | 1141,9 | -250,0              | 0     | -531,8              | 548,2 |
|                                                                 | 2,0                     | 115,7               | 945,7  | -250,0              | 0     | -577,6              | 502,4 |
|                                                                 | 2,2                     | -14,9               | 815,1  | -250,0              | 0     | -611,3              | 468,7 |
|                                                                 | 2,4                     | -108,2              | 721,8  | -250,0              | 0     | -637,6              | 442,4 |

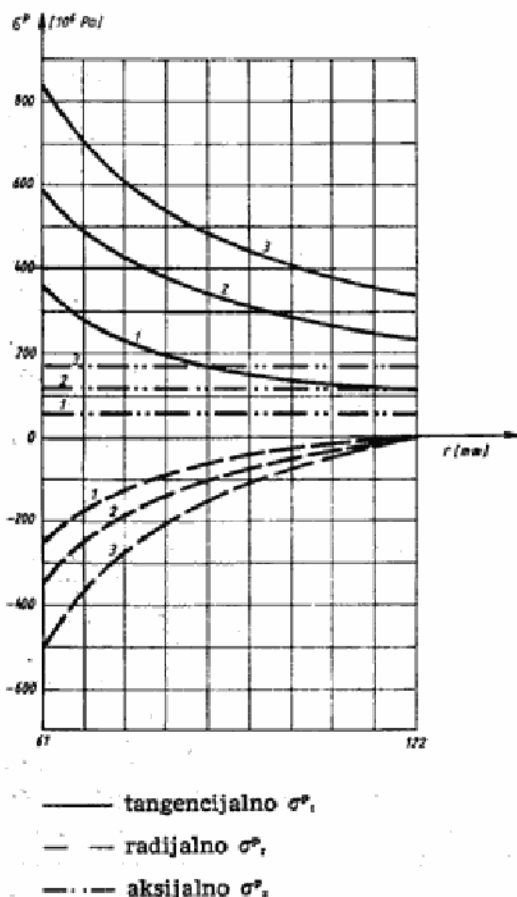
Sl. 1 — Tangencijalno naprezanje na radijusu  $r_1$ Sl. 2 — Tangencijalno naprezanje na radijusu  $r_1$

| Opterećenje                                                |                  |       | Naprezanje          |           |                     |           |                     |           |       |
|------------------------------------------------------------|------------------|-------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|-------|
|                                                            |                  |       | $\sigma_{II}$ , MPa |           | $\sigma_{II}$ , MPa |           | $\sigma_{II}$ , MPa |           |       |
|                                                            |                  |       | $r_1=61$            | $r_2=122$ | $r_1=61$            | $r_2=122$ | $r_1=61$            | $r_2=122$ |       |
| $\Delta T_i$ , K                                           | 100              |       | —100,3              | 259,7     | 0                   | 0         | —220,3              | 139,7     |       |
|                                                            | 200              |       | —200,6              | 519,4     | 0                   | 0         | —440,6              | 279,4     |       |
|                                                            | 300              |       | —300,9              | 779,0     | 0                   | 0         | —660,9              | 419,0     |       |
| $P_i$ , MPa                                                | 250              |       | 416,7               | 166,7     | —250                | 0         | 83,3                | 83,3      |       |
|                                                            | 350              |       | 583,3               | 233,3     | —350                | 0         | 116,7               | 116,7     |       |
|                                                            | 500              |       | 833,3               | 333,3     | —500                | 0         | 166,7               | 166,7     |       |
| Ukupno naprezanje<br>$\sigma^{II}=\sigma T+\sigma P$ , MPa | $\Delta T_1=100$ | $p_1$ | 250                 | 316,4     | 426,4               | —250      | 0                   | —137,0    | 223,0 |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | 493,0     | 493,0               | —350      | 0                   | —103,6    | 256,4 |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | 733,0     | 593,0               | —500      | 0                   | —53,6     | 306,4 |
|                                                            | $\Delta T_2=200$ | $p_1$ | 250                 | 216,0     | 686,0               | —250      | 0                   | —357,3    | 362,7 |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | 382,7     | 752,7               | —350      | 0                   | —324,0    | 396,0 |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | 632,7     | 852,7               | —500      | 0                   | —274,0    | 446,0 |
|                                                            | $\Delta T_3=300$ | $p_1$ | 250                 | 115,7     | 945,7               | —250      | 0                   | —577,6    | 502,4 |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | 282,4     | 1012,0              | —350      | 0                   | —544,3    | 535,7 |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | 532,4     | 1112,0              | —500      | 0                   | —494,3    | 585,7 |
| Odnos naprezanja<br>$\sigma T/\sigma P$                    | $\Delta T_1=100$ | $p_1$ | 250                 | —0,24     | 1,56                | 0         | 0                   | —2,64     | 1,68  |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | —0,17     | 1,11                | 0         | 0                   | —1,89     | 1,20  |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | —0,12     | 0,78                | 0         | 0                   | —1,32     | 0,84  |
|                                                            | $\Delta T_2=200$ | $p_1$ | 250                 | —0,48     | 3,12                | 0         | 0                   | —5,29     | 3,35  |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | —0,34     | 2,23                | 0         | 0                   | —3,78     | 2,40  |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | —0,24     | 1,56                | 0         | 0                   | —2,64     | 1,68  |
|                                                            | $\Delta T_3=300$ | $p_1$ | 250                 | —0,72     | 4,67                | 0         | 0                   | —7,93     | 5,03  |
|                                                            |                  | $p_2$ | 350                 | —0,52     | 3,34                | 0         | 0                   | —5,66     | 3,59  |
|                                                            |                  | $p_3$ | 500                 | —0,36     | 2,34                | 0         | 0                   | —3,97     | 2,51  |

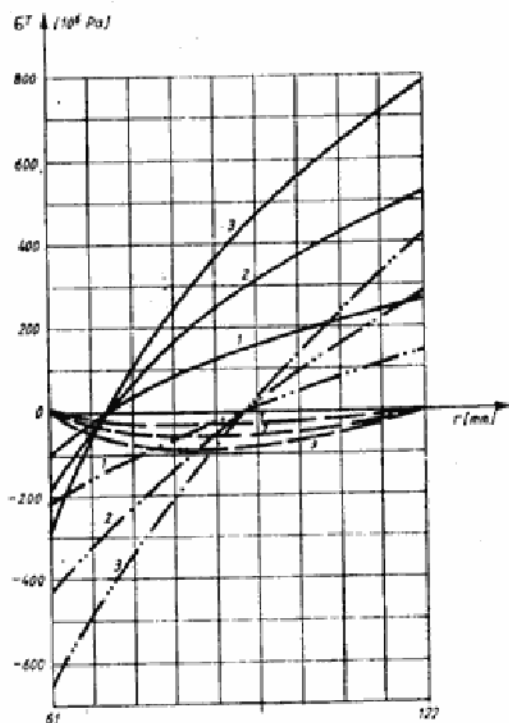
denih za tri veličine pritiska i temperature u granicama ekstremnih vrednosti u jednom od preseka cevi ( $n=2,0$ ), prema tabeli 2. Za date kombinacije mogućih opterećenja cevi proračunate su i vrednosti odnosa odgovarajućih stanja naprezanja na ekstremnim radijusima ( $\sigma^T/\sigma^p$ ).

Kvalitativni tok promene odgovarajućih naprezanja za karakteristični presek cevi, kao i ukupnog naprezanja prikazan je na sl. 3, 4 i 5. On je u potpunosti saglasnosti sa poznatim rešenjima u literaturi, kada se radi o debelostenim cevima.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:



Sl. 3 — Naprezanje usled pritiska



Sl. 4 — Naprezanje usled temperature

— za velike pritiske ( $p_1$ ) i temperaturne razlike ( $\Delta T_1$ ) tangencijalno naprezanje na unutrašnjem sloju se smanjuje, a na spoljašnjem povećava. Ukupna naprezanja su pri tome manja od naprezanja usled pritiska na radijusu  $r_1$  i obratno na radijusu  $r_2$ ;

— za sve vrednosti pritiska ( $p_1$ ) i temperaturne razlike ( $\Delta T_1$ ), ukupna naprezanja na unutrašnjem sloju u tangencijalnom smeru manja su od naprezanja usled pritiska, a veća od naprezanja usled temperature, tj.  $\sigma_{t1}^u < <\sigma_{t1}^p \text{ i } \sigma_{t1}^u> / \sigma_{t1}^T$ .

Ukupna naprezanja u aksijalnom smeru manja su od naprezanja usled temperature, a veća od naprezanja us-



led pritiska tj.  $\sigma_z^u < \sigma_z^T$  i /  $\sigma_z^u > \sigma_z^P$ , osim za male temperaturne razlike ( $\Delta T_i$ ) i pritiske  $p_2$  i  $p_3$  na unutrašnjem radijusu cevi;

— za sve vrednosti pritisaka ( $p_i$ ) i temperaturne razlike ( $\Delta T_i$ ), ukupna naprezanja na spoljašnjem radijusu cevi u tangencijalnom i aksijalnom smeru su najveća i veća su od odgovarajućih pojedinačnih naprezanja usled

pritiska i temperature, tj.:  $\sigma_z^u > \sigma_z^P$ ,  $\sigma_z^T$  i  $\sigma_z^u > \sigma_z^P$   $\sigma_z^T$ ;

— za sve vrednosti pritiska ( $p_i$ ) i temperaturne razlike ( $\Delta T_i$ ), tangencijalna naprezanja usled pritiska po apsolutnoj vrednosti veća su od temperaturnih naprezanja na unutrašnjem radijusu cevi /  $\sigma_r^P$  / > /  $\sigma_r^T$  /, dok je na spoljašnjem radijusu obratno, tj.: /  $\sigma_r^P$  / < /  $\sigma_r^T$  /;

— za velike temperaturne razlike ( $\Delta T_i$ ) i male pritiske ( $p_i$ ), ukupna naprezanja u radijalnom smeru su najmanja u odnosu na ista naprezanja u tangencijalnom i aksijalnom smeru. tj.: /  $\sigma_r^u$  / <  $\sigma_r^T$ , /  $\sigma_r^u$  /.

### Zaključak

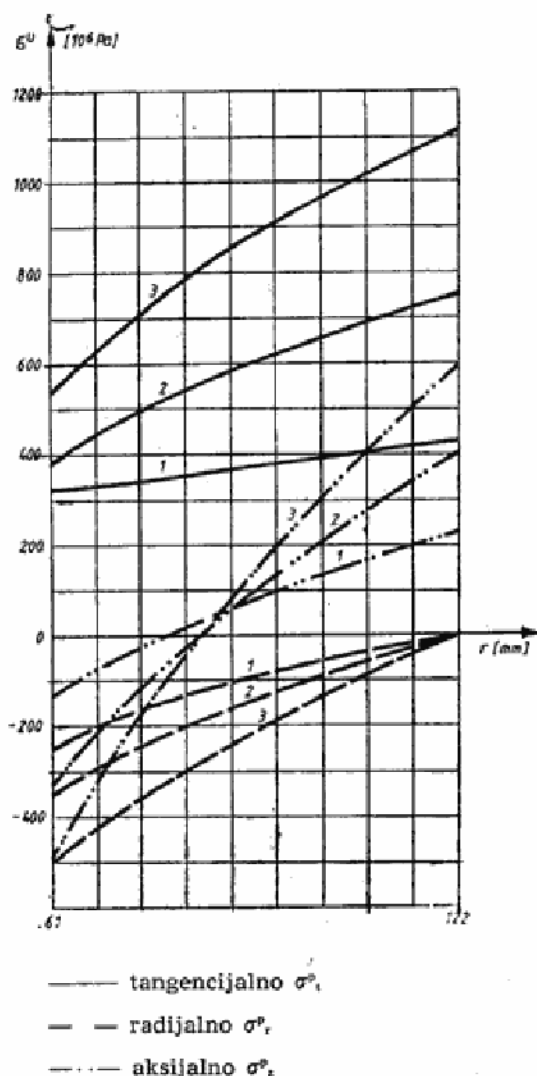
Uz navedeni komentar dobijenih rezultata stanja naprezanja u cevi za date varijante opterećenja ( $P_i$ ,  $\Delta T_i$ ) može se zaključiti sledeće:

— razlika između ukupnog naprezanja u spoljašnjem i unutrašnjem sloju cevi je veća što su vrednosti pritiska i temperaturne razlike veće;

— za manje vrednosti pritiska barutnih gasova, a veće temperaturne razlike, ukupno maksimalno naprezanje veće je od naprezanja usled pritiska, odnosno temperature;

— kao što se pri opterećenju cevi usled pritiska aksijalna naprezanja u odnosu na tangencijalna i radijalna mogu zanemariti, to isto važi i za radijalna naprezanja, ali samo u slučaju opterećenja cevi temperaturom;

— u procesu opaljenja, stanje naprezanja zagrejene cevi je takvo da ona poprima odlike »autofretovane« cevi, tj. ukupno tangencijalno naprezanje se na unutrašnjem sloju smanjuje, a na spoljašnjem povećava.



Sl. 5 — Ukupna naprezanja

S obzirom na to da proces opaljenja neminovno prate velika promena pritiska i temperature koji se menjaju zavisno od vrste, količine barutnog punjenja, kao i režima vatre, u fazi proračuna i dimenzionisanja cevi svakako se moraju računati odgovarajuća naprezanja usled pritiska i temperature,

a zatim odrediti ukupno stanje naprezanja.

Za merodavnu vrednost naprezanja treba usvojiti dominantna naprezanja, kako je prethodno istaknuto, da ne bi došlo do smanjenja potrebne čvrstoće cevi.

#### Literatura:

[1] B. Orlov, K. Larman: Ustrojstvo i projektovanje stvolov artiljerijskih orudij, Mašinstroenie 1976, Moskva.

[2] S. Bojrišinov: Osnovni stroitelnoj mehaniki mašin, Mašinstroenie 1973, Moskva.

[3] D. Regodić: Magistarski rad, MF Beograd, 1968.

**Vrhovac Stevo,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Ninković Vesna,**  
dipl. inž.  
**Rodić Dragana,**  
dipl. inž.

## **SISTEM ZA AUTOMATIZOVANO PRIKUPLJANJE PODATAKA VAZDUŠNOG OSMATRANJA**

Opisan je sistem za automatizovano prikupljanje podataka vazdušnog osmatranja koji se koristi za odbranu od napada iz vazduha. Osnovne pretpostavke uspešne odbrane od napada iz vazduha su pravovremene i tačne informacije o položaju i kursu leta objekta koji vrši napad. Ispunjenje ova dva uslova moguće je samo ako se koristi više različitih izvora informacija (pasivni i aktivni senzori), automatizovano prikupljanje i obrada podataka i distribucija rezultata.

### **Uvod**

Razvoj vojne nauke u svetu sve više stavlja u prvi plan ratna dejstva u vazdušnom prostoru, jer to omogućavaju savremena ratna sredstva i sistemi naoružanja. Ovakva koncepcija naročito dolazi do izražaja u ograničenim ratovima i u zadnje vreme izraženim vojnim intervencijama. Međunarodna zajednica, tehnički superiornija, pokušava ostvariti svoje ciljeve često uz izgovor da rešava konfliktnu situaciju među drugim državama. Pri tome teži da iznenadnim i silovitim napadima iz vazduha nanese poraz drugoj stranim, bez upotrebe kopnenih snaga. Iako se svetska javnost ubeđuje da se napadaju samo vojni ciljevi, iskustva iz dosadašnjih vojnih intervencija pod okriljem Ujedinjenih nacija pokazuju da u takvim borbenim dejstvima iz vazduha najviše stradaju civili i civilni objekti. Svetske sile imaju razrađenu strategiju i koncepciju napada iz vazduha, kao i prioritet ciljeva na zemlji koji se pokušavaju uništiti.

Iako su zapadne sile tehnički superiorne i dobro opremljene, postoje realne šanse da se izvede odbrana od napada iz vazduha kojom se štite objekti i stanovništvo i nanose neprijatelju gubici u tehnici. Odbrana od napada iz vazduha mora biti dobro organizovana (poželjno je da bude tehnički što bolje

opremljena) i, prije svega, pravovremena. U napadu iz vazduha neprijatelj će pokušati da maksimalno koristi iznenađenje i elektronski rat (ometanje i zavaranje PA sredstvima (fizičko uništenje radara i ostalih PA sredstava). Za uspešnu odbranu od napada iz vazduha neophodno je pravovremeno uočavanje neprijateljskog objekta koji izvodi napad.

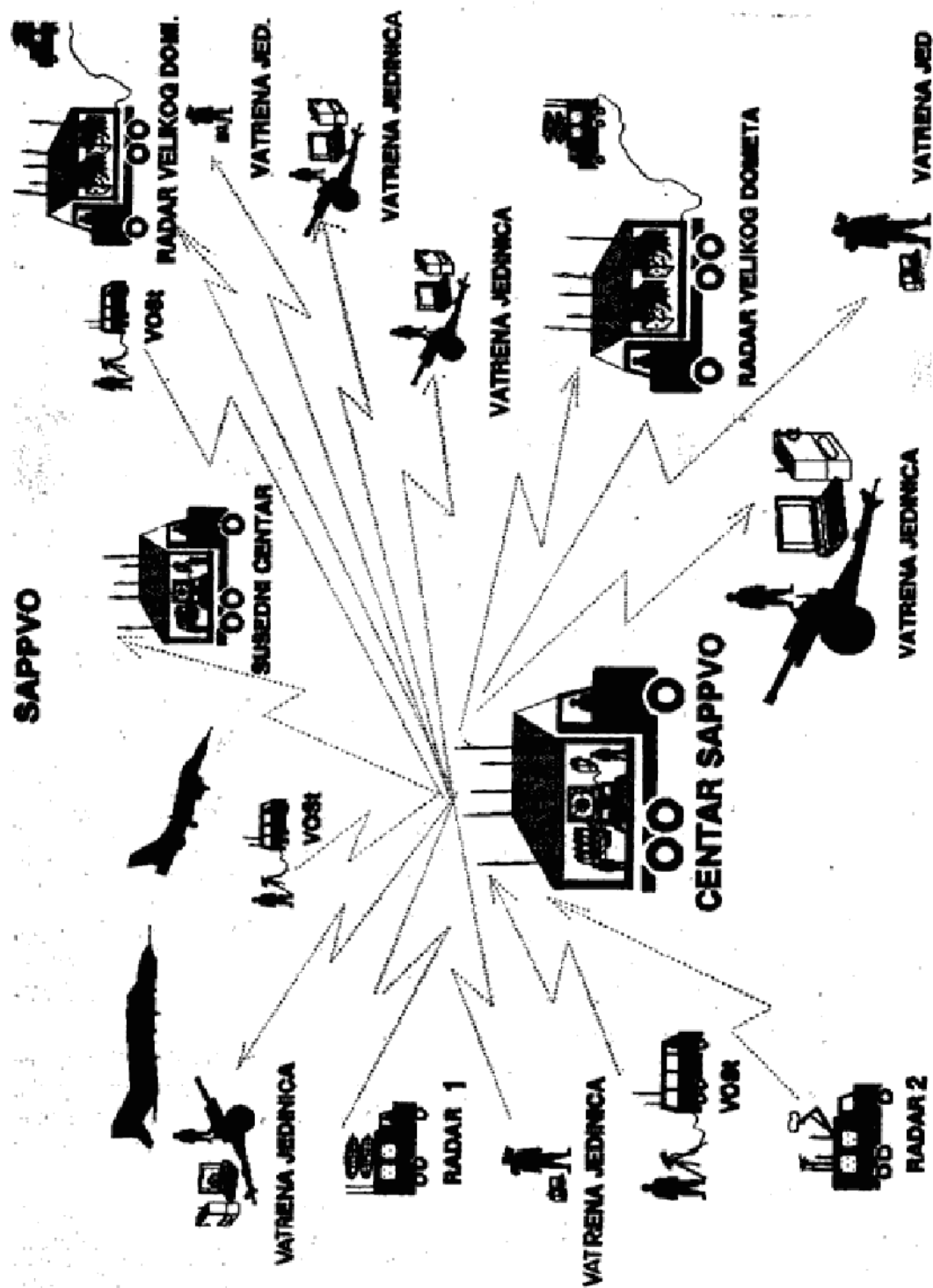
### **Opis sistema za automatizovano prikupljanje podataka vazdušnog osmatranja (SAPPVO)**

Sistem za automatizovano prikupljanje podataka vazdušnog osmatranja prikazan je skicom na slici 1.

Uzeto je osam različitih i, za naše prilike, karakterističnih izvora: 2 radara različitog tipa, 3 vizuelne osmatračke stanice (VOST), 2 susedna informativna centra koji u svom sastavu imaju radare velikog dometa i susedni centar SAPPVO. Sva nabrojana sredstva su potpuno mobilna, jer su ugrađena na odgovarajuća vozila, opremljena sredstvima veze i prenosa podataka (modemi, radio-uređaji, itd.).

Ovaj sistem je namenjen:

— da automatizovanim načinom prikupe informacije od više izvora o stanju u vazdušnom prostoru;



— da te informacije prikaže u odgovarajućem obliku;

— da na osnovu njih prikaže sintetizovanu sliku situacije u vazduhu;

— da omogući komandiru da izvrši izbor cilja i dodeli ga vatrenoj jedinici, i

— da izvrši automataizovani prenos podataka o cilju na vatrenu jedinicu koja bi ga na osnovu toga zahvatila, pratila i uništila.

Sistem omogućavta istovremeni automatizovani prijem podataka od više neunificiranih izvora (maksimalno do 8). Pod pojmom neunificiranih izvora podrazumevaju se različiti izvori koji mogu da uoče cilj u vazduhu, kao što su radari različitih vrsta, zatim vizuelne osmatračke stanice ili drugi pasivni ili aktivni senzori, a razlikuju se, pored ostalog, po tipu poruke i brzini prenosa podataka. Informacije o odabranom cilju prenose se na vatrene jedinice koje mogu biti opremljene različitim vrstama naoružanja.

### Senzori

Uprošćena blok-šema sistema sa 8 izvora informacija prikazana je na slici 2.

Prednost upotrebe 8 izvora informacija vidi se iz sledećeg opisa: radar može otkriti objekat u vazдушnom prostoru ako se taj objekat nađe u snopu energije koju zrači radarska antena i ako je efektivna radarska refleksna površina objekta takve veličine da količina reflektovane energije bude iznad praga osetljivosti radarskog prijemnika.

Na slici 3 prikazana je idealizirana tipična karakteristika radarske antene u vertikalnoj ravni.

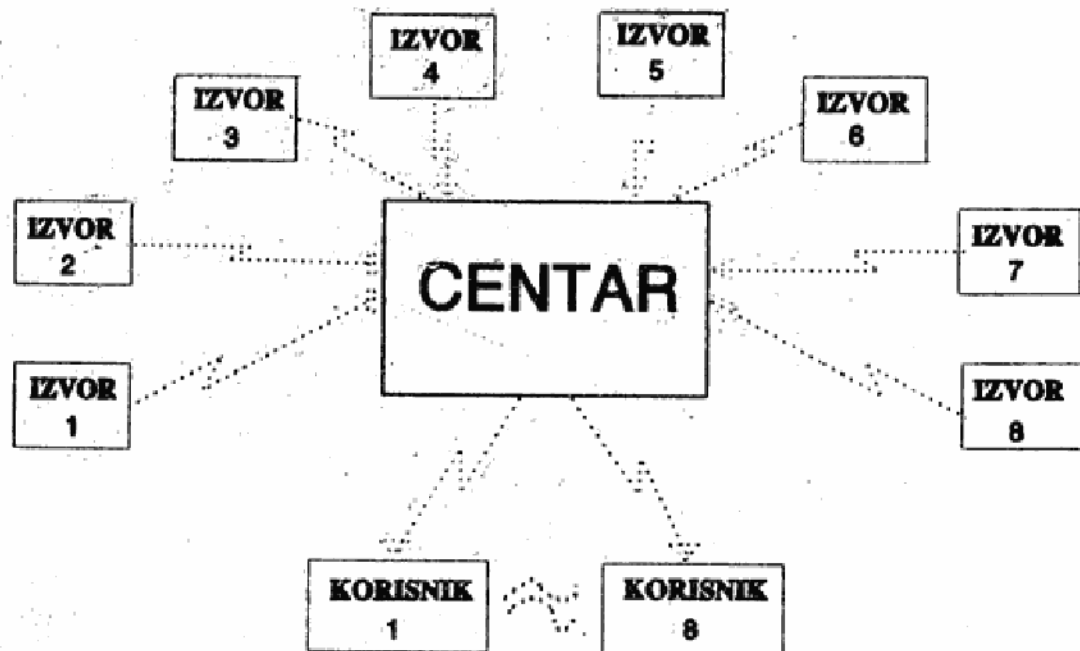
Sa slike se može videti da se cilj može otkriti samo ako se nalazi u šrafiranom delu. Vidi se, takođe, da se ugao u vertikalnoj ravni u odnosu na horizontalnu sastoji od tri ugla  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ .

Avioni koji lete suviše nisko, tako da se iz tačke »0« vide pod uglom manjim od  $\beta_1$ , ostaju nevidljivi za radar bez obzira na daljinu. Isti slučaj je i za avion koji leti tako da se vidi iz tačke »0« pod uglom većim od  $\beta_2$ . Zbog toga se može reći da radar ima mogućnost otkrivanja ciljeva u određenom opsegu visina i na određenoj daljini. Prostor u kome radar može otkriti cilj dobije se kada se šrafirana površina zarotira za ugao od  $360^\circ$  oko vertikalne ose. Pri konstrukciji radara pokušava se dobiti karakteristika koja bi zadovoljila sve oprečne uslove, što se, naravno, završava kompromisom. Tako, obično, imamo slučaj da radari većeg dometa imaju slabe mogućnosti otkrivanja niskih ciljeva, ali imaju visok plafon otkrivanja (mogu da otkriju avion na velikim visinama), dok radari malog dometa imaju dobre mogućnosti otkrivanja ciljeva na malim visinama, ali i mali plafon.

Na slici 4 prikazana je nekakva rezultujuća karakteristika sistema. Sa slike se vidi da se upotrebom ovakvog sistema povećava verovatnoća uočavanja cilja na malim visinama, što i jeste glavna svrha ovakvog sistema, jer se napad klasičnim sredstvima (kakav se najčešće očekuje i izvodi) izvodi sa malih visina. Na slikama 3 i 4 prikazane su mogućnosti detekcije ciljeva koje proističu iz konstruktivnih osobina radara, dok zakrivljenost Zemljine površine i reljef, koji imaju negativan uticaj na mogućnost otkrivanja ciljeva na malim visinama, nisu posebno isticali.

Pored ovih negativnih uticaja, neprijatelj će sigurno, u slučaju napada, koristiti i aktivna dejstva, da onemogućiti otkrivanje svoga prisustva ili da bar smanji verovatnoću otkrivanja.

Bez detaljnije analize može se reći da je SAPPVO otporniji na elektronska dejstva. Radari su različitog tipa i rade na različitim frekvencijama (čak

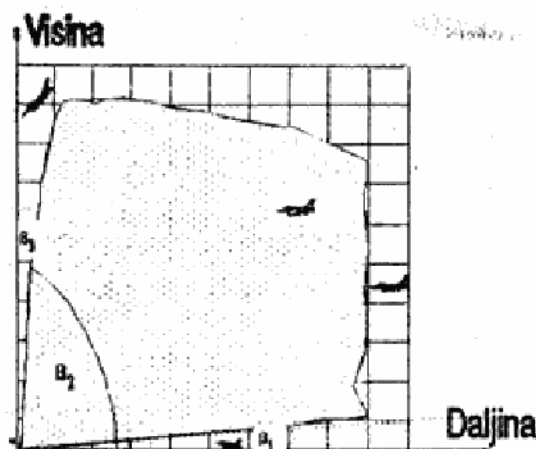


SL. 2

i u različitim frekventnim područjima) i imaju različite otpornosti na ometanje. Ukoliko bi neprijatelj i uspeo da ometa sve radare u isto vreme, što je teško, ostaju VOST-ovi koji se ne mogu ometati elektronskim sredstvima, jer su pasivni senzori, a, uz to, takvim ome-

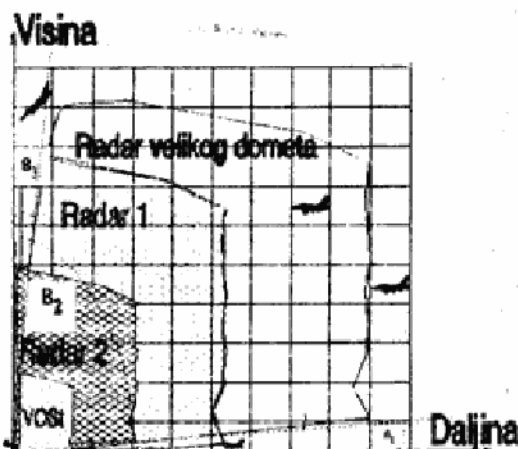
tanjem neprijatelj bi otkrio svoje prisustvo, pa i položaj.

Veći broj senzora koncentrisanih na nekom prostoru povećava verovatnoću otkrivanja ciljeva i smanjuje mogućnost ometanja ukoliko se izvrši sinteza informacija.



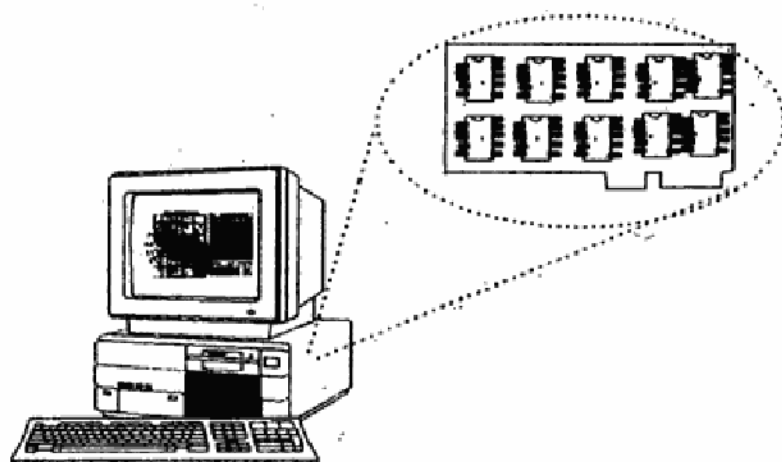
Zakrivljenost Zemljine površine

SL. 3



Zakrivljenost Zemljine površine

SL. 4



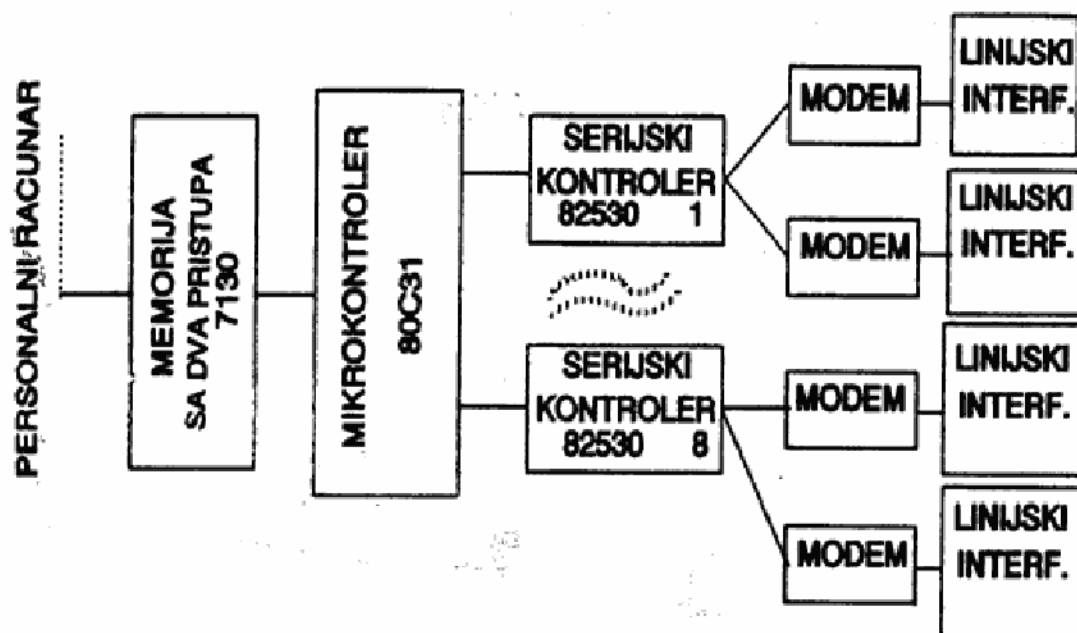
Sl. 5

### Centar SAPPVO

Informacije o situaciji u vazduhu iznad osmatrane teritorije, prikupljene na mestima senzora, prenose se u centar sistema za automatizovano prikupljanje podataka vazdušnog osmatranja (CSAPPVO), koji se nalazi u kabini montiranoj na vozilu. U kabini se na-

laze sredstva za vezu, prijem i prenos podataka, računar za obradu podataka, izvori napajanja i ostala oprema.

Računar u CSAPPVO-u, šematski prikazan na slici 5, jeste standardni personalni IBM kompatibilan računar (386 sa kolor monitorom, tastaturom, mišem i ostalom opremom), proširen posebno projektovanim interfejsom sa



Sl. 6

modemima, kontrolerom i memorijom sa dvostrukim pristupom.

Ovaj interfejs služi za:

- prijem podataka od izvora informacija;

- prepoznavanje tipa poruke;
- proveru ispravnosti poruke;
- raspakivanje poruke;
- komunikaciju sa personalnim računarom, i

- prenos obrađenih podataka za odabrane ciljeve na vatrene jedinice.

Blok-šema interfejsa prikazana je na slici 6.

Projektovani interfejs podržava sve asinhronne i sinhronne modove prenosa, kao i većinu standardnih komunikacionih protokola, kao što su npr. HDLC, SDLC, itd. Svaki ulazni i izlazni kanal opremljen je FSK modemom kompatibilnim na CCITT V21 i V23, te BELL 202 i 212 standardima.

Svi parametri se mogu programirati eksterno, preko tastature personalnog računara. Fizičko rešenje interfejsa je u obliku standardnog modula koji se ugrađuje u slot personalnog računara. U slučaju potrebe mogu se ugraditi dva ovakva modula, čime se kapacitet povećava na 16 kanala.

Personalni računar prikazuje primljene informacije na kolor monitoru u panoramskom obliku i to za svaki izvor posebno. Za svaki izvor prikazuje se oznaka pozicije cilja, pridruženi broj cilja i ostali podaci, zavisno od toga šta senzor dostavlja (kurs, brzina ili vektor brzine, itd.). Pripadnost informacije određenom senzoru na ekranu se manifestuje preko boje i oblika simbola za oznaku pozicije (za svaki senzor simbol druge boje i oblika).

Na ekranu se ne prikazuje primarna, već samo sekundarna slika. Pored ciljeva na ekranu monitora može se prikazati raspored i vrsta vatrenih jedinica kojim se komanduje iz centra. Informacije o položaju i vrsti vatrenih jedinica prikazuju se na monitoru na zahtev operatora, i mogu se isključiti.

Isti je slučaj i sa senzorima, tako da se na ekranu mogu prikazivati informacije od svih senzora.

Komunikacija između računara i operatora odvija se putem miša, preko tzv. »pull down« ili »pop up« menija ili preko tastature. Deo ekrana rezervisan je za prikaz alfanumeričkih informacija o ciljevima. Na osnovu prikupljenih informacija od senzora vrši se sinteza informacija i generisanje integralne jedinstvene slike u vazдушnom prostoru iznad osmatrane teritorije. To se radi uzimajući u obzir statističke parametre svakog senzora, tako da je generisana slika, sa maksimalnom verovatnoćom, slična stvarnoj situaciji u vazduhu. Iako je ova funkcija realizovana potpuno automatski, operator ima mogućnost da unese korekcije ili da je potpuno preuzme.

### *Softver sistemu*

U hardverskom smislu, SAPPVO predstavlja distribuirani sistem, pa je logično da će takav biti i softver sistema.

Već smo u opisu centra rekli da on sadrži jedan standardni personalni računar sa dodatnim interfejsom za prijem i prenos podataka. Za interfejs je razvijen namenski softver koji realizuje tražene funkcije, i čiji je dijagram toka prikazan na slici 7.

Po uključenju računara, kontroler na ploči interfejsa komunicira sa personalnim računarom radi postavljanja početnih parametara. Tom prilikom za svaki prijemni i predajni kanal (od 1 do 16) definiše se tip poruke, sinhrogrupa, brzina prenosa i, eventualno, neki drugi parametri. Po dobijanju ovih parametara kontroler, svakom ulaznom i izlaznom kanalu, pridružuje odgovarajuću oblast memorije, konfigurisanu kao tzv. FIFO stack. Time je završena inicijalizacija kanala. Kako se prijem i predaja podataka odvija preko preki-da, to su aktivnosti u kanalima na dijagramu toka prikazane paralelno.



Start

Postavljanje parametara sistema

Inicijalizacija kanala

Inicijalizacija kanala

Inicijalizacija kanala

Inicijalizacija kanala

Ne

Sinhro  
start  
?

Da

Prijem/prelaza  
poruke

Ne

Poruka  
ispravna  
?

Da

Punjenje stacka

Ne

Sinhro  
start  
?

Da

Prijem/prelaza  
poruke

Ne

Poruka  
ispravna  
?

Da

Punjenje stacka

Ne

Sinhro  
start  
?

Da

Prijem/prelaza  
poruke

Ne

Poruka  
ispravna  
?

Da

Punjenje stacka

Ne

Sinhro  
start  
?

Da

Prijem/prelaza  
poruke

Ne

Poruka  
ispravna  
?

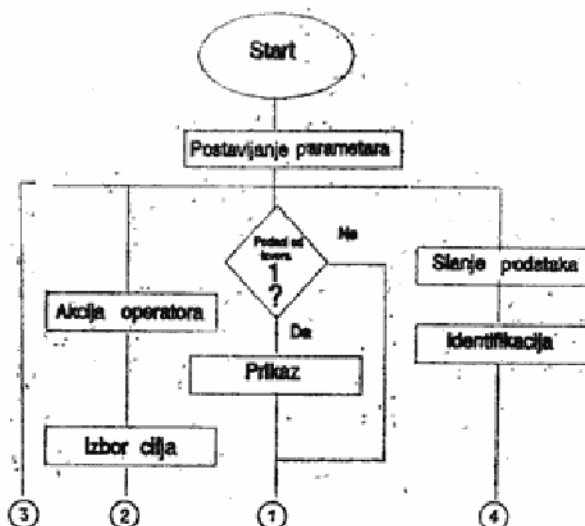
Da

Punjenje stacka

Opisaćemo samo aktivnosti u jednom prijemnom i jednom predajnom kanalu. U prijemnom kanalu nema, praktično, nikakve aktivnosti, dok se ne detektuje sinhrogrupa, koja označava da su počeli stizati podaci. Podaci se primaju i čuvaju u privremenoj memoriji dok se ne primi kompletna poruka. Kada se ona primi proverava se da li je poruka ispravno primljena, na osnovu ostatka ili pariteta ili na drugi način, zavisno od tipa poruke. Ako je poruka ispravno primljena podaci se prenose i puni se prijemni »stack« dotičnog kanala. Kad se »stack« napuni, kontroler je završio sa tim kanalom. Isti proces se odvija u svim prijemnim kanalima. Memorija, ugrađena na ploči interfejsa, jeste tzv. dual port RAM. Kada kontroler napuni »stack« za bilo koji prijemni kanal, personalni računar pristupa »stacku« i očitava ga potpuno nezavisno od kontrolera. Slične aktivnosti se odvijaju za predajni kanal sa tom razlikom da kontroler samo ispituje da li je personalni računar napunio predajni »stack«. Ako jeste, kontroler dodaje sinhrogrupu i, eventualno, os-

slici 8. Po uključenju sistema vrši se unosenje i postavljanje parametara sistema (unosenje koordinata sopstvenog položaja, orijentacije, broja senzora, tipova poruka, sinhrogrupa za poruke, položaja vatrenih jedinica, itd.). Kada su parametri sistema postavljeni, prelazi se na normalan rad sistema. Kroz komunikaciju sa interfejsom za prijem i predaju podataka proverava se da li su od nekog senzora stigli podaci. Ukoliko su stigli, vrši se prikaz tih podataka i nastavlja se sa testiranjem novih podataka od ostalih senzora. Kad se pregledaju svi senzori, vrši se sinteza slike i prikazuje sintetizovana slika. Sve što se prikazuje na ekranu šalje se putem standardnih komunikacionih kanala na izdvojeni personalni računar, a, po potrebi, na periferije (štampanac, disk, itd.).

Komunikacija sa operatorom odvija se u prekidu, tako da je na dijagramu prikazana paralelno. Ako je došlo do akcije operatora i ako je neki od ciljeva pridružen nekoj vatrenoj jedinici, njegovi podaci se automatski prebacuju u »stack« izlaznog kanala, a oda-

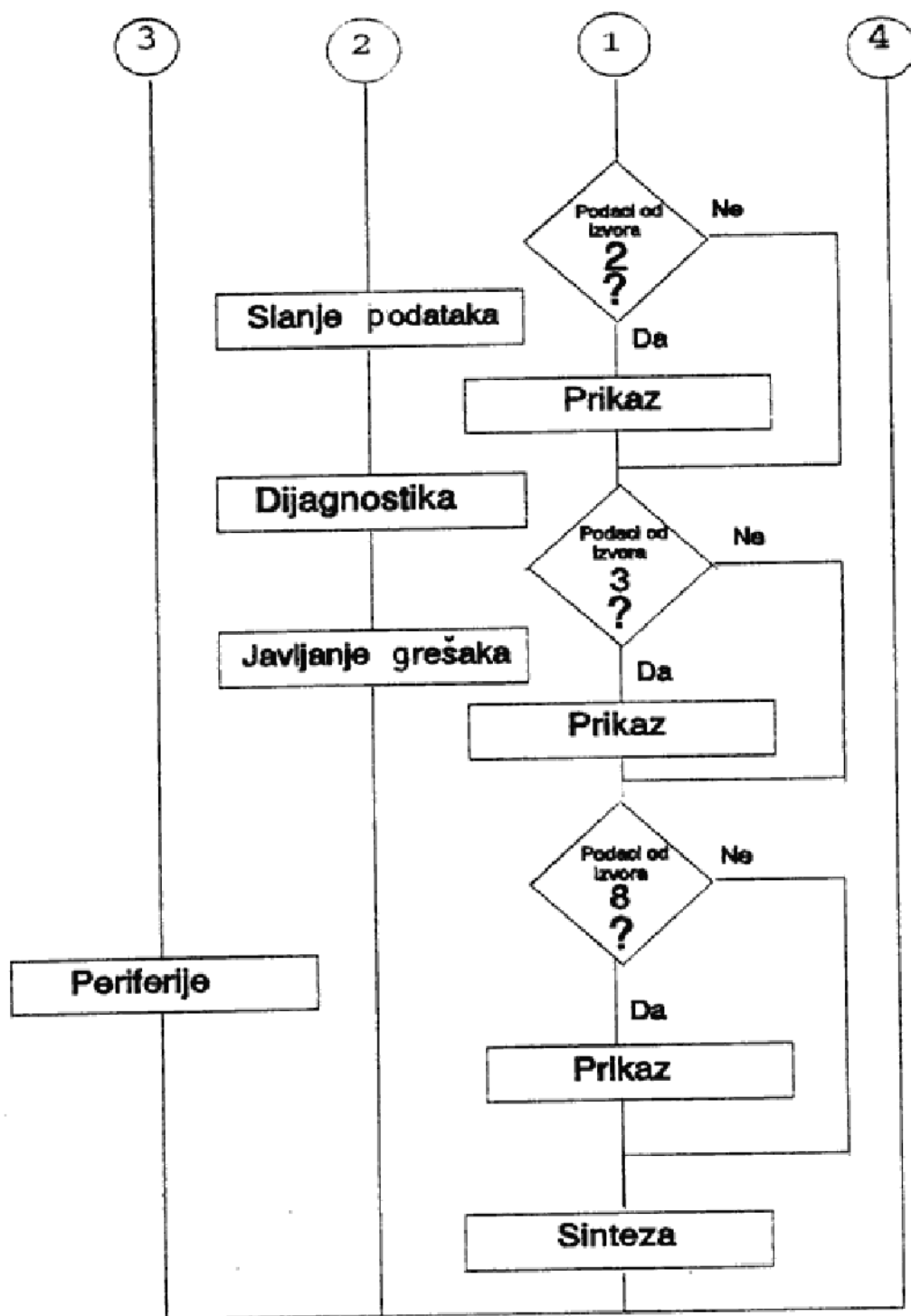


SL 8 (PRVI DEO)

tale parametre poruke i šalje ih na izlazni kanal.

Softversko rešenje obrade u centru prikazano je dijagramom toka na

tle ih kontroler šalje na vatrenu jedinicu. Uz ove aktivnosti vrši se i testiranje ispravnosti sistema i javljanje grešaka.



SL. 8 (DRUGI DEO)

## Zaključak

Opisani SAPPVO predstavlja veoma fleksibilan sistem. Kako se za prikupljanje informacija o stanju u vazdušnom prostoru koristi više potpuno nezavisnih i prostorno dislociranih izvora različitih karakteristika, to znači da će sistem imati informacije o stanju u vazduhu i u slučaju da neki od izvora informacija, iz bilo kojih razloga, ispadne iz normalnog rada (tehnička neispravnost, ometanje, fizičko uništenje, itd.). Strogo gledano, sistem će biti aktivan i obavljati funkciju otkrivanja ciljeva i informisanja vatrenih jedinica, sve dok je aktivan centar sistema i bar jedan izvor informacija.

Posebno se mora istaći činjenica da izvori informacija nisu ni po čemu specifični i strogo vezani za određeni cen-

tar sistema. U suštini, a to i jeste vrlo važna karakteristika SAPPVO-a, centar sistema može da integriše informacije od svih izvora, koji se nalaze na teritoriji centra, u okviru dometa radio-veza, i potrebno je samo da centar zna pozicije izvora i tip poruke. Pozicija izvora informacija nije sadržana u poruci, tako da se ona posebno dostavlja i unosi u računar centra u pripremnom režimu rada. To znači da se u toku rada mogu uključivati novi senzori, odnosno konfiguracija sistema je dinamički promenljiva.

Opisano rešenje može se koristiti za automatizaciju prikupljanja podataka u drugim sistemima, posebno u telemetriji (meteorološka osmatranja, seizmološki sistemi, osmatranje velikih građevinskih objekata, itd.).

## Literatura:

- [1] Military Technology, 1983. Vol. 7 Early Detection and Instant Reaction, even in Low Level Defence;
- [2] L. Jarbison, Defence Today, 1985. Vol. 9 Airfield Defence System;
- [3] M. Skolnik, McGraw — Hill, New York 1979. Radar Handbook;
- [4] M. Skolnik, McGraw — Hill, New York 1983. Introduction to Radar Systems;
- [5] D. Barton, Prentice Hall, New Jersey 1964 Radar System Analysis;
- [6] S. Hovesian, Artech House inc. 1978. Radar Detection and Tracking System;
- [7] A. Gelb, The M. I. T. Press, 1974. Applied Optimal Estimation;
- [8] R. Moose, H. Vanlandingham, IEEE Trans. on Aerosp. and El. Systems, 1984, Vol. 20. #3 Modelling and Estimation for Tracking Maneuvering Targets;
- [9] R. Gallager, The M. I. T. Press, 1968. Information Theory and Reliable Communications;
- [10] S. Lin, An Introduction to Error — Correcting Codes;
- [11] R. Chien, IEEE Trans. on Comm. Technology, 1971. Vol. com. 19. #5 Block — Coding Techniques for Reliable Data Transmission;
- [12] D. Norman, Defence, 1979, Vol. 10. #3 Air Defence of Land Force — Guns, Missiles, or both;
- [13] K. Kempbel, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd 1988. Rat u vazduhu;
- [14] G. Lukatela, D. Dračić, Naučna knjiga, Beograd 1983. Digitalne telekomunikacije;
- [15] Mr. Vladimir Nešković, doktorska disertacija, 1988. Integrirani oružani sistem PVO sa prostornim rasporedom elemenata;
- [16] M. Hodžić, S. Vrhovac, Informatika 3, 1979. Primjena mikroprocesora MP8 — 52B na jedan primjer praćenja ciljeva u realnom vremenu;
- [17] Intell, 197. Microcommunications Handbook;
- [18] Intell, 1989. 8 — Bit Embedded Controller Handbook;
- [19] Integrated Device Technology, 1988. High Performance CMOS Data Book;
- [20] Texas Instruments, 1987. Telecom Circuits Data Book.

Nikola Lekić,  
kapetan I klase, dipl. inž.

## ANALIZATOR RADARSKE POVRŠINE ROTIRAJUĆEG CILJA

U radu je opisana metoda analize radarske površine rotirajućeg cilja po azimutu i realizovan merni sistem. Na osnovu izmerenog dijagrama raspršenja obradom se dobija distribucija »bleštećih tačaka« radarske površine.

### Uvod

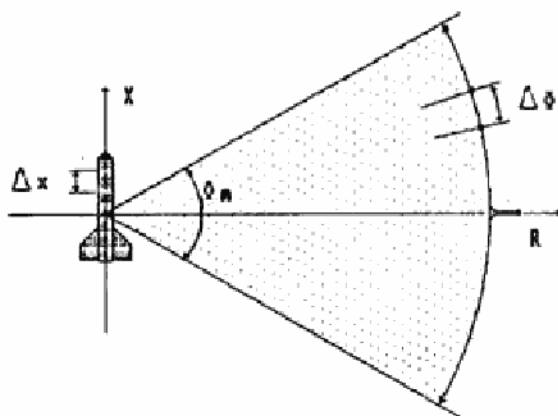
Razvoj i primena izviđačkih radara za osmatranje terena sa povećanom rezolucijom, te sistema za dejstvo protiv ciljeva na zemlji koji, kao senzor, koriste glave za samonavođenje u radarskom području, uslovljava povećan interes za radarski lik vojnih ciljeva. Zbog toga je uticaj radarske površine u funkciji »preživljavanja« veoma bitan. Za razliku od ranijeg pristupa, gde je taj interes bio najizraženiji za ciljeve u vazduhu, on je sada proširen i na ciljeve koji se nalaze na zemljištu.

Poznavanje samo dijagrama raspršenja radarskog cilja više nije dovoljno, naročito u procesu konstrukcije i razvoja sredstava ratne tehnike. Potrebno je poznavati doprinos svakog dela cilja (sredstva) ukupnom radarskom liku. Za te tačke usvojen je naziv »blešteće tačke«, a metode kojima se može dobiti visokorezolucijski radarski lik nazivaju se metode »bleštećih tačaka«.

Geometrijske koordinate, koje se vezuju za radarski cilj, u odnosu na merni sistem, jesu daljina i azimut. Distribucija »bleštećih tačaka« radarske površine po daljini dobija se iz vremena kašnjenja reflektovanog signala. Distribucija »bleštećih tačaka« radarske površine po azimutu dobija se na osnovu relativnog kretanja između antene mernog sistema i radarskog cilja.

### Analiza radarske površine rotirajućeg cilja po azimutu

Analiza distribucije »bleštećih tačaka« radarske površine ostvaruje se pomoću sintetizovanog otvora, relativnim kretanjem između antene mernog sistema i objekta, bilo da se antena kreće uz nepokretan cilj, ili da je nepokretna a cilj rotira u određenom ugao-  
nom opsegu, slika 1.



Sl. 1 — Geometrija mernog mesta i dobijanje sintetizovanog otvora

Sintetizovan otvor formira se koherentnim sumiranjem prijemnog polja, uzorkovanog u više ugaonih pozicija.

Ukupno prijemno polje ( $G(f_x)$ ) i distribucija »bleštećih tačaka« radarske površine cilja  $g(x)$ , povezani su Fourierovom transformacijom [1, 2]:

$$G(f_x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) e^{-j f_x x} dx \quad (1)$$

$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f_x) e^{j f_x x} df_x \quad (2)$$

gde je:  $f_x = 2 \sin(\Phi)/\lambda$

Potrebni ugaoni interval u kome se vrši uzorkovanje polja, zavisi od željene rezolucije distribucije »bleštećih tačaka« radarske površine cilja  $\Delta x$ . Na osnovu kriterijuma da će dva signala biti razdvojena ako se njihova relativna faza menja najmanje  $\Pi$  radijana, kada se tačka uzorkovanja pomera od centra do ivice sintetizovanog otvora, rezolucija distribucije »bleštavih tačaka« radarske površine cilja iznosi:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{4 \sin(\Phi_m/2)} \quad (3)$$

gde je:

$\lambda$  — talasna dužina,

$\Phi_m$  — ugaoni opseg uzorkovanja.

U tom slučaju, korak uzorkovanja treba da bude:

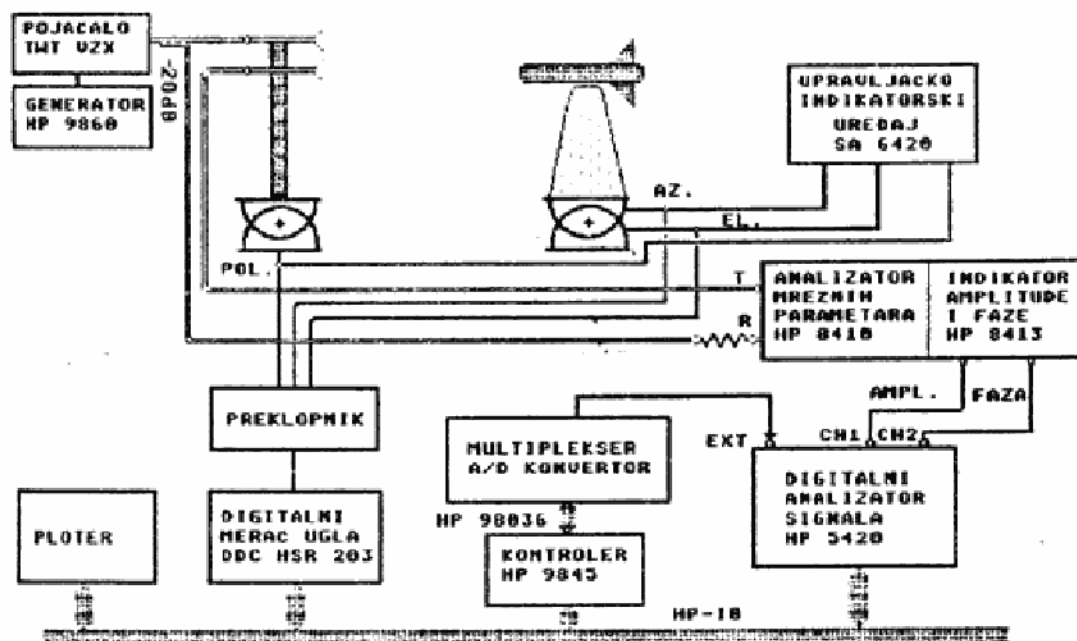
$$\Delta \Phi < \frac{\lambda}{2 D} \quad (4)$$

gde je:

$D$  — širina cilja koji se analizira.

### Merni sistem

U okviru eksperimentalne provere merne metode, realizovan je merni sistem prema slici 2. Ovako koncipiranim mernim sistemom moguće je izvršiti analizu »bleštećih tačaka« rotirajućeg cilja po azimutu.



Sl. 2 — Merni sistem za merenje i analizu »bleštavih tačaka« rotirajućeg cilja

## Eksperimentalni rezultati

Kao generator iskorišćen je generator HP 8690B čiji se signal pojačava visokofrekventnim pojačalom TWT VZX 698F. Sa pojačala signal se vodi na predajnu levak-antenu. Deo signala se preko usmerenog spreznika vodi kao referentni signal na analizator mrežnih parametara HP 8410. Predajna levak-antena osvetljava cilj koji rotira po azimutu. Reflektovano polje se prima levak-antonom i vodi na analizator mrežnih parametara. Sa indikatora amplitude i faze HP 8411 signal se vodi na dvokanalni A/D konvertor HP 54410A, digitalnog analizatora signala HP 5420A.

Za pomeranje cilja koristi se azimut-elevaciono postolje SA M 5301 sa upravljačko-indikatorskim uređajem SA 4420. Merenje se vrši po takt-impulsu, koji generiše kontroler HP 9845 na osnovu podataka sa digitalnog davača ugla DDC HSR 203, koji je proporcionalan uglu zakreta postolja na kome se nalazi cilj.

Cilj se nalazi na konusnom postolju izrađenom od stiropora.

Analiza »bleštećih tačaka« radarske površine rotirajućeg cilja vrši se korišćenjem jednodimenzionalnog FFT procesora u digitalnom analizatoru signala HP 5420A. Karakteristika digitalnog analizatora HP 5420A jeste da se Fourierova transformacija izvodi na 512 uzoraka u vremenskom domenu, dok se inverzna Fourierova transformacija izvodi na 256 kompleksnih uzoraka u frekventnom domenu. U našem slučaju, merimo amplitudu i fazu dijagrama raspršenja u 256 tačaka, koji su zapisani u vremenskom domenu. Korišćenjem kontrolera HP 9845 moguće je vršiti promenu deklaracije tipa podataka u digitalnom analizatoru signala, te izvršiti potrebne korekcije formata nakon transformacije. Na osnovu frekvencije na kojoj je vršeno merenje dijagrama raspršenja, računa se rezolucija  $\Delta x$ , a dobijeni rezultat se skalira tako da odgovara dužinskim jedinicama.

Pomoću navedenog mernog sistema izvršena je analiza dva radarska lika: metalnog diska prečnika  $\Phi=230$  mm i modela rakete. Merenje je izvršeno u elektromagnetski gluvoj komori.

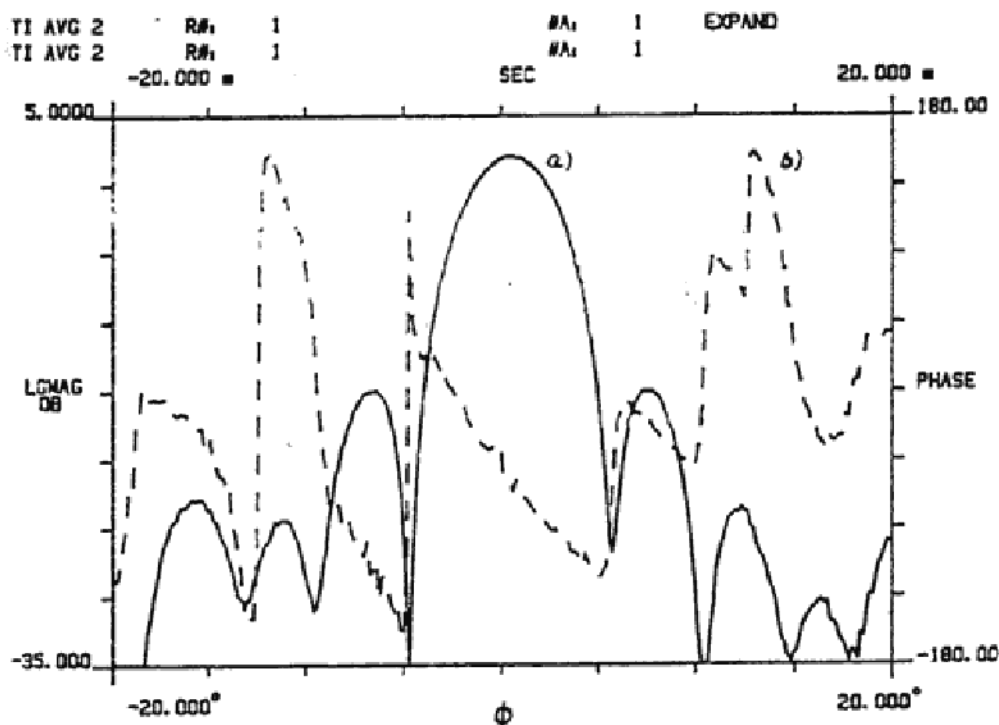
Dijagram raspršenja diska izmeren je u ugaonom opsegu  $\Phi_m=40^\circ$ , na frekvenciji 8.5 GHz. Bokovi su potisnuti za oko 17.3 dB, slika 3.

Izvršena je analiza distribucije »bleštećih tačaka« radarskog lika diska po azimutu, čiji je rezultat prikazan na slici 4. Rezultat obrade 256 kompleksnih podataka dijagrama raspršenja je distribucija »bleštavih tačaka« po azimutu u opsegu od 6.6 m. Na osnovu distribucije »bleštećih tačaka« može se odrediti dimenzija radarskog lika, koji, prema dobijenom dijagramu, iznosi 232 mm, što pokazuje visoko slaganje sa fizičkim dimenzijama izmernog diska. Nivo »bleštavih tačaka« diska za 30 dB je veći u odnosu na »bleštave tačke« okoline (apsorbera i postolja od stiropora).

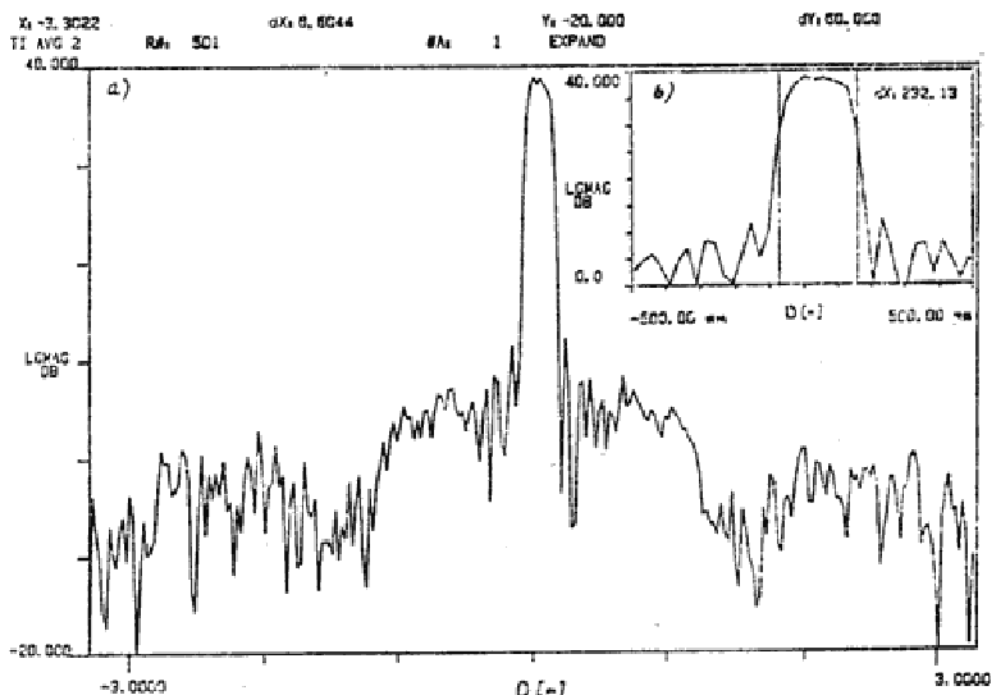
Izmeren je dijagram raspršenja modela rakete, čije su dimenzije prikazane na slici 5.

Na slici 6a prikazan je izmereni dijagram raspršenja modela rakete, izmeren u ugaonom opsegu  $\Phi_m=60^\circ$ , na frekvenciji 9,456 GHz.

Iz analize distribucije »bleštećih tačaka« radarskog lika modela rakete možemo odrediti dimenzije koje, prema dobijenom dijagramu, iznose oko 562 mm, što se slaže sa fizičkim dimenzijama modela rakete. Sem toga, uočavamo određeni broj »bleštećih tačaka« koje imaju veći nivo od drugih tačaka, za 10 dB, što odgovara položaju repnih krila koje su bile pod uglom od  $90^\circ$  i daju veći doprinos u refleksiji nego telo rakete koje ima oblik cilindra, slika 6b.

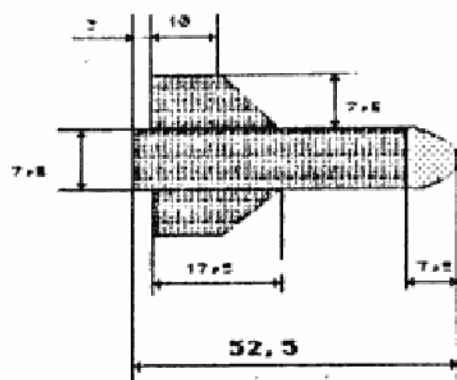


Sl. 3 — Dijagram raspršenja metalnog diska izmerenog u 256 tačaka u ugaonom opsegu od 40°: a) amplituda, b) faza

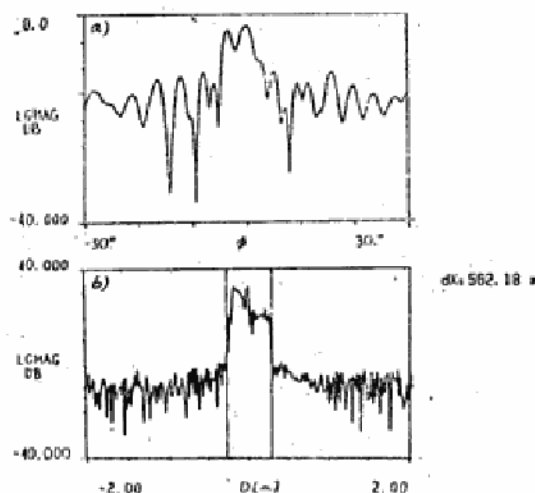


Sl. 4 — Distribucija »bleštećih« tačaka diska: a) u opsegu od 6,6 m, b) u opsegu od 1 m





Sl. 5 — Dimenzije modela rakete



Sl. 6

a) Dijagram raspršenja modela rakete, b) Distribucija »bleštećih tačaka« radarske površine modela rakete

## Zaključak

Poznavanje visokorezolucijskog radarskog lika postaje sve važnije. Dija-

gram raspršenja više nije dovoljan, vrši se analiza distribucije radarske površine cilja, takozvanih »bleštećih tačaka«.

U radu je opisana jednodimenzionalna analiza po azimutu »bleštećih tačaka« rotirajućeg cilja. Realizovan je merni sistem i merenje odabranih ciljeva izvršeno je u elektromagnetski gluvnoj komori. Sintetizovan otvor dobijen je rotacijom cilja. Obrada dijagrama raspršenja izvodi se pomoću digitalnog analizatora signala HP 5420A.

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da distribucija »bleštećih tačaka« odgovara fizičkim dimenzijama analiziranih ciljeva. Sem toga, moguće je uočiti doprinos u refleksiji pojedinih delova cilja na osnovu razlike nivoa »bleštećih tačaka«.

Metoda može poslužiti u procesu konstrukcije i razvoja sredstava ratne tehnike [3]. Na osnovu analize dobija se položaj i jačina »bleštećih tačaka«. Dalji postupak u eliminisanju tako utvrđenih »bleštećih tačaka« jeste ili u promenama oblika ili u promeni konstruktivnih materijala. Ako nije moguće rešavanje problema na taj način, onda se ta mesta prekrivaju radarskim prigušnim materijalom u obliku boje ili slojeva.

Opisanim mernim sistemom, primenom mernog generatora sa preciznom promenom frekvencije, moguće je izvršiti dvodimenzionalnu analizu »bleštećih tačaka« po azimutu i po daljini.

## Literatura:

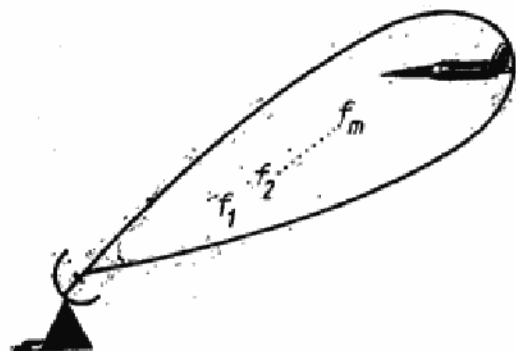
- [1] Mensa D. L. »High Resolution Radar Imaging«, Dedham, MA, Artech House Inc., 1981.
- [2] Mensa D. L., Shalom Halevy, Glen Wade, »Coherent Doppler Tomography for Microwave Imaging«, Proceedings of the IEEE, Vol. 71, No 2, February 1983.
- [3] Ivanović N. »Analiza uticaja multisenzorske »vidljivosti« tenka na konstrukciju i razvoj«, magistarski rad, VVTS KoV, Zagreb, 1988.

## FREKVENTNO-DIVERZITI<sup>1</sup> RADARSKI SISTEMI

Rad obrađuje frekventno-diverziti radarski sistem, koji je, zbog sve češće primene kod savremenih radarskih sistema, vrlo aktuelan. Kroz komparativni prikaz sa klasičnim jedno-frekventnim radarom, istaknute su najvažniji dobici: povećanje dometa i povećanje tačnosti određivanja koordinata ciljeva, na račun smanjenja fluktuacija reflektovanog signala od ciljeva u prostoru radarskog osmatranja. Frekventno-diverziti radarski sistemi su manje osetljivi na ometanje. Da bi bilo efikasno, ometanje mora biti širokopojasno ili ometač mora imati isti broj nosećih frekvencija kao i radarski sistem. Zaštita od pasivnih smetnji vrši se pomoću brisača stalnih odraza, koji, u ovom slučaju, »briše« vrlo uzak frekventni pojas signala, zbog toga što Dopplerov pomak frekvencija signala, reflektovanih od pokretnog cilja, zavisi od razlike nosećih frekvencija radarskog sistema.

### Definicije i pojmovna određenja

Pod *frekventno-diverziti radarskim sistemom* podrazumeva se otkrivanje i određivanje koordinata objekata u prostoru pomoću elektromagnetnog polja, koje ima dve ili više noseće frekvencije ( $f_1, f_2, \dots, f_m$ ). Ciljevi su, dakle, istovremeno »osvetljeni« sa višefrekventnim signalom (slika 1).



Sl. 1 — Frekventno-diverziti radarski sistem

Opravdanost primene ovako složenih radarskih sistema (slika 2) zasniiva se na velikim dobicima, u sledećim karakteristikama [1]:

- *povećanje predajne snage*, što uzrokuje povećanje dometa radara na račun većeg energetskog potencijala;

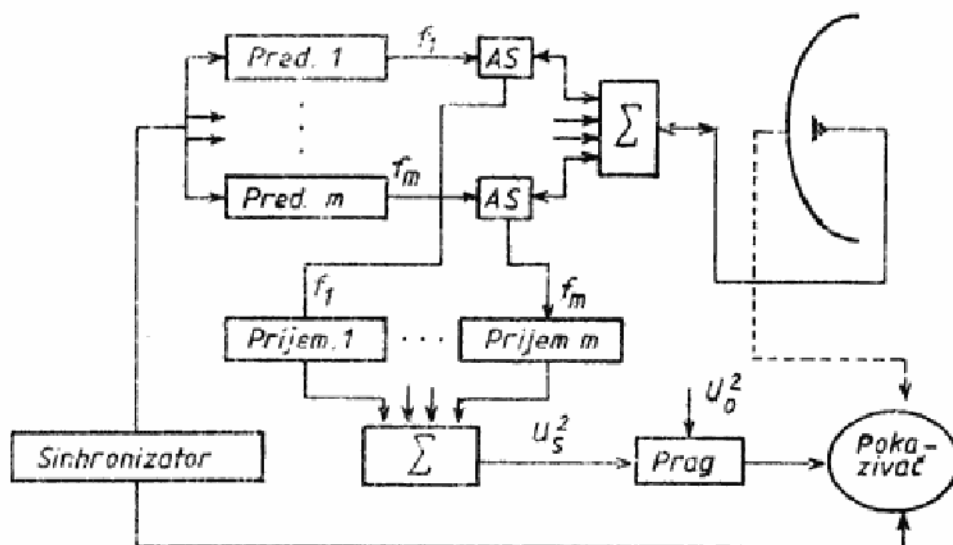
- *povećanju zaštićenosti od smetnji i »slepih brzina«*, i

- *smanjenju fluktuacija reflektovanih elektromagnetskih talasa*, što daje veću verovatnoću otkrivanja i tačnosti određivanja koordinata ciljeva.

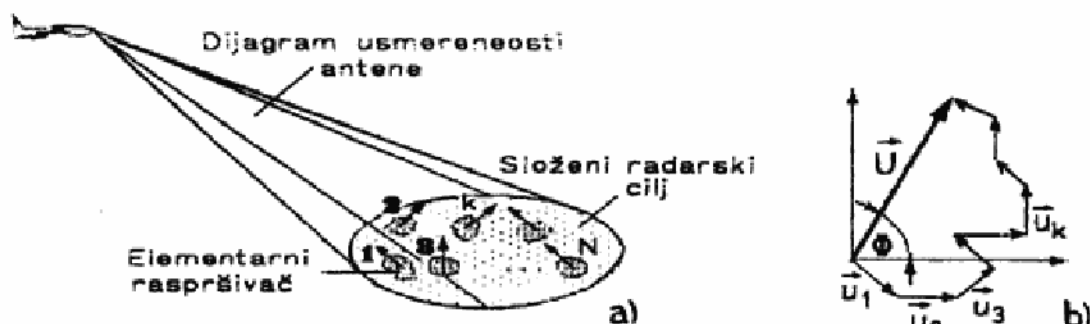
### O fenomenu fluktuacija reflektovanih signala

Sa stanovišta refleksije-raspršenja elektromagnetskih talasa, svi ciljevi se dela na: *proste* i *složene*. Prosti ciljevi su veštačke tvorevine (ugaoni reflektori, ravne ploče, kugle i sl.) i sreću se samo u laboratorijskim uslovima. Skoro svi realni ciljevi imaju složenu strukturu. Mogu se razložiti na konačan broj elementarnih raspršivača, koji, pak, po Huyghens-Kirchoffovom modelu raspršenja, postaju sekundarni izvori zračenja [2]. Kod pokretnih ciljeva stalni promena položaja elementarnih raspršivača u odnosu na radar, kao i položaj jednog u odnosu na drugi, utiče na promenu amplituda i faza elementarnih signala raspršenih od njih, a samim tim i rezultujućeg — sumarnog signala od cilja (slika 3).

<sup>1</sup> Prvi deo članka pod nazivom »Prostorno-diverziti radarski sistemi« objavljen je u prethodnom broju.



Sl. 2 — Blok shema frekventno-diverziti radarskog sistema [6]



Sl. 3 — Princip refleksije — raspršenja elektromagnetnih talasa od složenog cilja a) elementarni signali, i b) sumarni signal — suma svih fazora elementarnih signala osvetljenih raspršivača

U slučaju da se cilj može nadomestiti sa dve reflektujuće tačke, simetrične u odnosu na centar, širina sekundarnog dijagrama zračenja može se odrediti pomoću izraza:

$$\Theta = \frac{\lambda}{4l_c} [\text{rad}] \quad (2.1)$$

gde je:

$\lambda$  — talasna dužina predajnog VF signala,

$l_c$  — rastojanje između centara refleksije.

Za centimetarsko talasno područje i realne ciljeve ( $\sim 10$  m), širina dijagrama sekundarnog zračenja je oko  $0,05 \div 0,1^\circ$ , pa stoga, samo u retkim slučajevima, promena položaja cilja u odnosu na radar može izazvati duboke modulacije raspršenih signala ( $\sim 15 \div 20$  dB) [1].

Amplitudna fluktuacija reflektovanih signala, po pravilu, pogoršava ka-

rakteristike otkrivanja radara, jer utiče na smanjenje odnosa S/N. Stepenn smanjenja amplitudnih fluktuacija signala na uslove njihovog otkrivanja kvantitativno se može oceniti pomoću tzv. *koefficijenta gubitaka u uslovima fluktuacija* ( $L_F$ ), koji pokazuje koliko puta odnos S/N, pri otkrivanju fluktuirajućih signala, reflektovanih od ciljeva, treba da bude veći, nego u slučaju otkrivanja nefluktuirajućih signala reflektovanih od istih tih ciljeva.

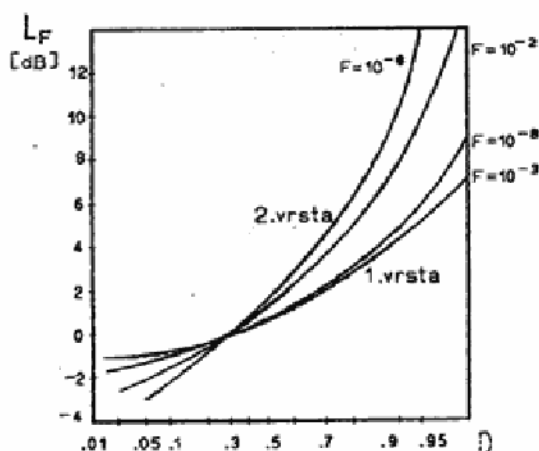
Na slici 4. grafički je prikazana zavisnost koefficijenta gubitaka ( $L_F$ ) od verovatnoće otkrivanja ciljeva ( $D$ ), za različite verovatnoće lažne uzbune ( $F$ ) za dve vrste ciljeva: sporo fluktuirajućih (1. vrsta) i ovih koji imaju stabilan centar refleksije sa grupom sitnijih elementarnih raspršivača (2. vrsta). Dijagrami pokazuju da za  $D > 0,3$ , negativan uticaj amplitudnih fluktuacija signala postaje sve veći. Tako, na primer, za veće verovatnoće otkrivanja ciljeva  $D = 0,9 \div 0,99$ , smanjenje odnosa S/N, usled fluktuacija reflektovanih signala, može biti od  $4 \div 12$  dB. Ako, međutim, cilj ima stabilne centre refleksije, onda refleksije ostalih elementa cilja ne izazivaju duboke modulacije reflektovanog (sumarnog) signala. Iz toga se može zaključiti da su gubici zbog fluktuacije reflektovanih signala od ovakvih ciljeva daleko manji nego kod sporofluktuirajućih ciljeva (upoređi ciljeve 1. i 2. vrste na slici 4).

Spektar fluktuacija amplituda reflektovanih signala zavisi od stepena izrezanosti sekundarnog dijagrama zračenja i brzine promene pravca cilja. Najviša frekvencija spektra amplitudnih fluktuacija, približno se može odrediti pomoću izraza:

$$F_{\text{min}} = \frac{\omega_{\text{pmax}}}{\Theta} \quad (2.2)$$

gde je:

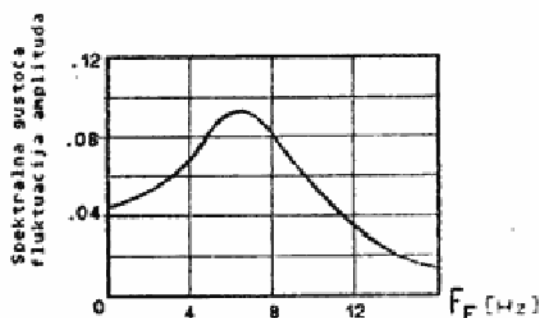
$\omega_{\text{pmax}}$  — maksimalna brzina promene pravca cilja, i



Sl. 4 — Zavisnost koefficijenta gubitaka od verovatnoće otkrivanja ciljeva ( $D$ )

$\Theta$  — srednja vrednost širine lepeza sekundarnog dijagrama zračenja cilja ( $0,005 \div 0,1^\circ$  za centimetarsko talasno područje).

Spektar amplitudnih fluktuacija reflektovanih signala od manevrišućih ciljeva naći će se u području od 0 do  $100 \div 400$  Hz, a od ciljeva u pravolinijskom letu s laganim bočnim naginjanjem od 0 do  $10 \div 40$  Hz. Pored toga, mnogobrojni eksperimenti su pokazali [3] da *intenzitet amplitudnih fluktuacija* u celom frekventnom opsegu nije ravnomeran. Maksimalne promene intenziteta fluktuacija nalaze se u frekventnom opsegu od 0 do 10 Hz (sl. 5).



Sl. 5 — Zavisnost spektrala fluktuacija amplituda reflektovanih signala od aviona u letu

Fluktuacije amplitude reflektovanih signala utiču na smanjenje tačnosti određivanja koordinata ciljeva i jedan su od osnovnih uzroka pojave slučajnih grešaka kod automatskog praćenja. Tako, na primer, kod uređaja za automatsko praćenje ciljeva po ugaonim koordinatama, izvedenih na principu konusnog pretraživanja, greška pri određivanju pravca cilja u opsegu frekvencija, koje odgovaraju frekvenciji pretraživanja, upravo je proporcionalna intenzitetu fluktuacija.

Pri refleksiji elektromagnetskog talasa od složenog cilja, dolazi ne samo do fluktuacija amplituda, već i do fluktuacija njegovog faznog fronta. Kao što se složeni cilj ne može nadomestiti tačkastim izvorom zračenja, tako se ni fazni front, signala reflektovanog od njega, ne može nadomestiti pravilnom kuglom.

Uređaji za vođenje po ugaonim koordinatama cilja usmeravaju se po pravcu koji je normalan na fazni front. Međutim, kako fazni front fluktuiira po slučajnom zakonu, to se i pravac normale na njega menja po istom zakonu. To, naravno, uzrokuje greške u određivanju ugaonih koordinata cilja. Slikovito govoreći, usled fluktuacije faznog fronta reflektovanog signala od realnog pokretnog cilja, ne određuju se ugaone koordinate samog cilja, već tačka koja predstavlja njegov efektivni centar, koji »luta« po ograničenoj površini oko njega. Međutim, u uslovima jakih fluktuacija faznog fronta, efektivni centar može se naći i izvan spomenute površine, pa čak i daleko od cilja, što uzrokuje velike greške pri praćenju.

Činjenica da je greška u određivanju pravca cilja, usled fluktuacija faznog fronta reflektovanog signala, obrnuto proporcionalna udaljenosti od njega, čini ovu pojavu posebno neugodnom pri praćenju bližih ciljeva.

Spektar fluktuacija faznog fronta, kao i spektar fluktuacija amplituda, je-

ste niskofrekventan, sa najintenzivnijim fluktuacijama u opsegu frekvencija od 0 do 5 Hz.

### Frekventno-diverziti metoda radiolokacije

Negativan uticaj fluktuacija reflektovanog signala od cilja na karakteristike radara može biti odstranjen ili, u krajnjem slučaju, umanjen, primenom frekventno-diverziti metode radiolokacije. Fizička suština smanjenja fluktuacija reflektovanih signala za predajne frekventno-diverziti signale je u tome što je, pri dovoljno velikoj razlici nosećih frekvencija, širina lepeza dijagrama sekundarnog zračenja ciljeva za različite noseće frekvencije različita (vidi izraz 2.1), a odgovarajuće tačke maksimuma u dijagramu se ne poklapaju — pomaknute su jedna u odnosu na drugu, zbog čega se smanjuje izrezanost dijagrama sekundarnog zračenja cilja (slika 6), pa samim tim i fluktuacije parametara reflektovanog signala. Najveći efekat smanjenja fluktuacija postiže se statistički nezavisnim signalima reflektovanim od cilja.

Frekvencija korelacije signala, reflektovanih od jednog te istog cilja, zavisi od brzine prostiranja elektromagnetnih talasa i radijalne dužine cilja. Pri tome se pod radijalnom dužinom podrazumeva: a) za tačkaste ciljeve — rezolucija radara po daljini; b) za izdužene ciljeve — njihova stvarna dužina. Signali su nekorelirani ako je fazna razlika sastavnih frekvencijsko-diverziti signala, reflektovanih od krajnjih tačaka cilja, izmerenih u odnosu na njegov centar, veća od  $2\pi$ :

$$\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 > 2\pi, \quad (2.3)$$

gde su:

$\Delta\varphi_1 = (2\pi l_{crf_1})/c$  i  $\Delta\varphi_2 = (2\pi l_{crf_2})/c$  — pomaci faza frekventno-diverziti signala u odnosu na faze signala reflektovanih od centra cilja;

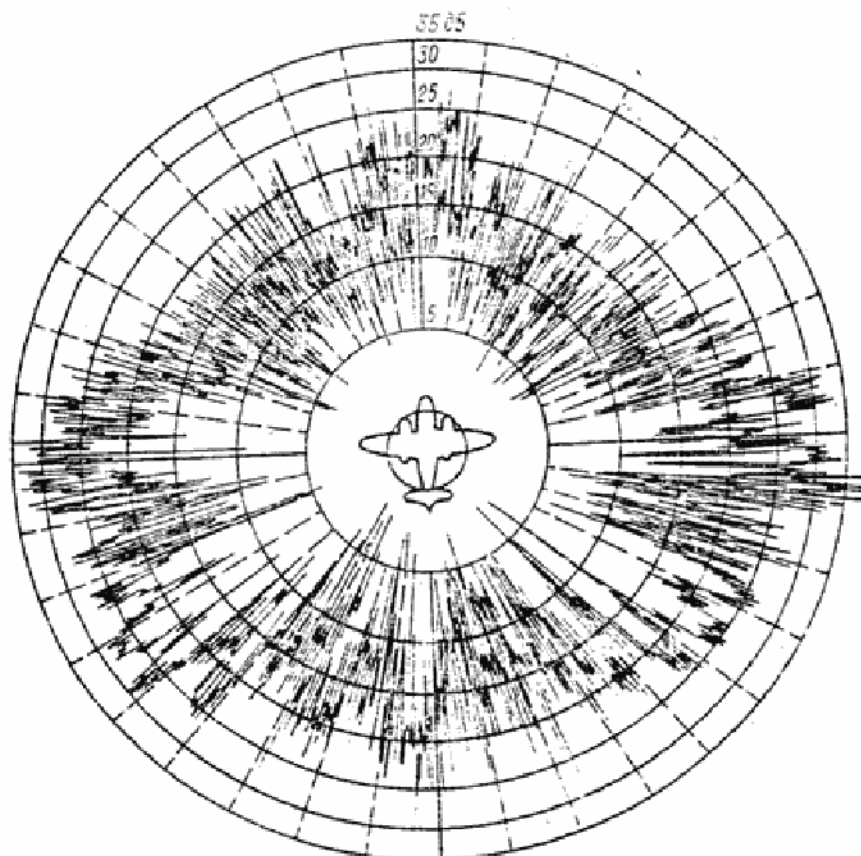
$l_{cr}$  — radijalna dužina cilja.

Ako u izraz (2.3) uvrstimo vrednosti za  $\Delta\varphi_1$  i  $\Delta\varphi_2$ , dolazimo do potrebnog iznosa razlike frekvencija:

$$\Delta\varphi_r = f_2 - f_1 > \frac{c}{l_{cr}} = \frac{300}{l_{cr}[\text{m}]} [\text{MHz}] \quad (2.4)$$

Očito, neophodan uslov nezavisnosti signala, reflektovanih od jednog te istog cilja, dovoljan je iznos razlike

stižu se približno iste karakteristike otkrivanja reflektovanih signala od realnih — fluktuirajućih i idealnih — ne-fluktuirajućih ciljeva. Dobitak u odnosu S/N, koji se postiže primenom frekventno-diverziti metode radiolokacije, može se proceniti pomoću koeficijenta gubitaka usled fluktuacija, koji se kreće od  $L_F$  (slika 4) do  $L_{FD} = m \sqrt{L_F}$ , gde je  $m$  — broj statistički nezavisnih



SL. 6

frekvencija, što zavisi od fizičke dužine cilja. Za dužinu cilja  $l_{cr} = 10$  m minimalna potrebna razlika frekvencija frekvencijsko-diverziti signala iznosi 30 MHz.

Smanjenjem fluktuacija reflektovanih frekvencijsko-diverziti signala po-

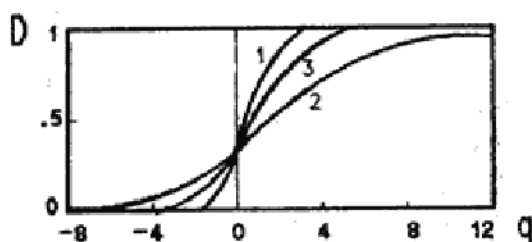
signala. Kvantitativno spomenuti dobitak može se oceniti preko koeficijenta dobitka zbog frekventno-diverziti metode radiolokacije:

$$K_D = \frac{L_F}{L_{FD}} = L_F^{1 - \frac{1}{m}} \quad (2.5)$$

ili izraženo u decibelima

$$K_D[\text{dB}] = \left(1 - \frac{1}{m}\right) 10 \log L_F. \quad (2.6)$$

Na slici 7 grafički je prikazana zavisnost verovatnoće otkrivanja cilja ( $D$ ) od  $q=S/N$  za: idealno nefluktuirajuće ciljeve (kriva 1), fluktuirajuće ciljeve kod klasičnih impulsnih radara (kriva 2) i za isti cilj kod frekventno-diverziti radara (kriva 3). U svim slučajevima verovatnoća lažne uzbune je ista ( $F=2 \cdot 10^{-5}$ ) i isti je broj impulsa od cilja ( $N=20$ ).



Sl. 7 — Zavisnost verovatnoće otkrivanja ciljeva od odnosa  $q=S/N$

Iz odnosa krivih 1 i 3 vidi se da je kod frekventno-diverziti radara verovatnoća otkrivanja fluktuirajućih i nefluktuirajućih reflektovanih signala od realnih ciljeva približno ista. Najveća razlika je kod najviših i najnižih verovatnoća otkrivanja, ali, čak i tada, odnos  $q=S/N$  ne prelazi  $1,5 \div 2$  dB. Međutim, iz odnosa krivih 2 i 3 vidi se da frekventno-diverziti metoda radiolokacije ima prednost u području viših verovatnoća otkrivanja ciljeva ( $D > 0,3$ ). Tako, na primer, za  $q=5$  dB verovatnoća otkrivanja ciljeva je 100%, dok je kod klasičnog impulsnog radara, za iste uslove, verovatnoća otkrivanja manja od 70%. Za zadatu verovatnoću otkrivanja ciljeva, radar sa frekventno-diverziti metodom rada ima daleko veći domet od klasičnog impulsnog radara iste predajne snage. Na primer, za verovatnoću otkrivanja ciljeva  $D=90\%$  gubici zbog fluktuacija kod jednofrekventnog radara iznose 8 dB, dok kod

radara sa frekvencijsko-diverziti metodom rada oni dostižu vrednost od 0,5 dB. Dobitak u odnosu  $S/N$  od 7,5 dB ekvivalentan je povećanju predajne snage za oko 6 puta, zbog čega se domet povećava za 1,565 puta.

Za niske verovatnoće otkrivanja ciljeva frekventno-diverziti metoda ima prednost, jer je pojava impulsa reflektovanih od ciljeva, koji nadvišuju prag, u paketu prijemnih impulsa, daleko verovatnija.

Pored smanjenja fluktuacija reflektovanih signala frekventno-diverziti metoda radiolokacije ima i druge kvalitativne prednosti: a) povećanje dometa radara, i b) tačnije određivanje koordinata ciljeva.

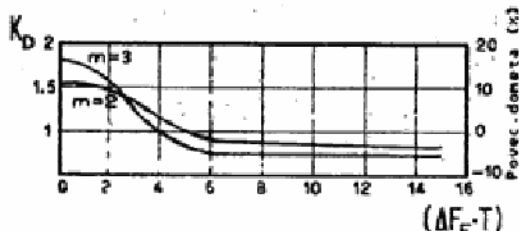
Povećanje dometa kod radara sa frekventno-diverziti metodom rada zavisi od niza faktora:

- broja nosećih frekvencija i razlike između njih;
- načina generisanja frekventno-diverziti signala;
- raspodele snaga po sastavnim komponentama, i
- načina obrade prijemnih signala.

Uticađ broja nosećih frekvencija radara na povećanje dometa može se proceniti pomoću izraza (2.5). Domet se povećava na račun smanjenja koeficijenta gubitaka zbog fluktuacija u skladu sa funkcijom  $L_F^{1-1/m}$ . U zavisnosti od širine spektra fluktuacija, povećavanje odnosa  $S/N$  se smanjuje, dok se za brze fluktuacije (za  $\Delta F_F \cdot T \gg 1$ , gde je  $\Delta F_F$  — efektivna širina spektra fluktuacije,  $T$  — vreme integracije prijemnih signala) odnos  $S/N$  povećava proporcionalno  $\sqrt{m}$ .

Za bice fluktuacije reflektovanih signala verovatnoća otkrivanja ciljeva je približno jednaka verovatnoći otkrivanja sporofluktuirajućih ciljeva za frekvencijsko-diverziti reflektovane signale (kriva 3 na slici 7).

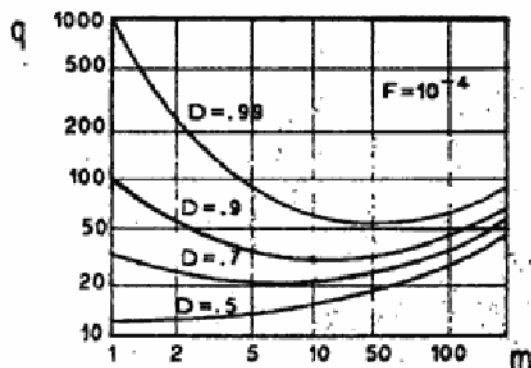
Zavisnost odnosa napona praga signala kod frekventno-diverziti radarskih sistema i napona praga signala jednofrekventnog radara od karaktera fluktuacija reflektovanih signala (veličina  $\Delta F_F \cdot T$ ) prikazana je na slici 8.



Sl. 8 — Zavisnost povećanja dometa frekventno-diverziti radarskih sistema od karaktera fluktuacija signala

Efektivnost frekventno-diverziti radarskih sistema, u zavisnosti od broja nosećih frekvencija, jednoznačno je određena izrazom 2.5. Povećanjem broja nosećih frekvencija odnos  $q=S/N$  raste težeći vrednosti  $L_F$ . Postoji, međutim, optimalni broj nosećih frekvencija kod kojih su gubici zbog fluktuacija reflektovanih signala minimalni. Optimalni broj nosećih frekvencija nije konstantan, već zavisi od verovatnoće otkrivanja ciljeva, verovatnoće lažne uzbune, metode obrade prijemnih signala i drugih faktora.

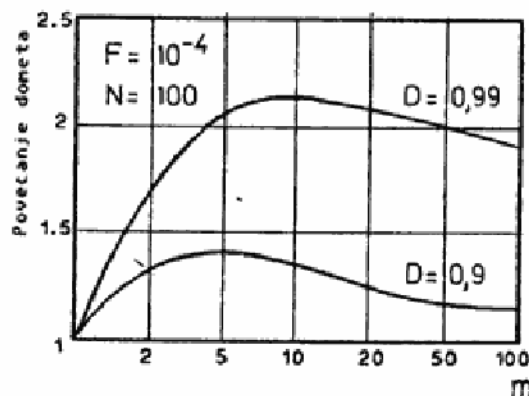
Zavisnost odnosa  $q=S/N$  od broja nosećih frekvencija radarskih sistema, za različite verovatnoće otkrivanja ciljeva i konstantnu verovatnoću lažne uzbune ( $F=10^{-4}$ ), grafički je prikazana na slici 9. Dijagrami pokazuju da za  $D > 0,5$  odnos  $q=S/N$  ima minimum, koji je tim niži što je  $D$  veći. Povećanjem  $D$  položaj minimuma odnosa  $q=S/N$  pomera se ka većem broju nosećih frekvencija. Treba uočiti da odnos  $q=S/N$  brzo pada za relativno mali broj nosećih frekvencija, zahvaljujući čemu se povećanje dometa radara, blizu maksimalnom, može postići samo sa 2÷4 noseće frekvencije.



Sl. 9 — Zavisnost odnosa  $q=S/N$  od broja nosećih frekvencija frekventno-diverziti radarskih sistema

Na slici 10 prikazana je zavisnost povećanja dometa od broja nosećih frekvencija (verovatnoća lažne uzbune  $F=10^{-4}$ , broj prijemnih impulsa za jedan okret antene  $N=100$ ), gde je  $D$  argument.

Ako se koriste 2÷5 nosećih frekvencija, povećanje dometa iznosi: za  $D=0,9$  23÷33%, dok je za  $D=0,99$  domet veći čak za 50÷90%.



Sl. 10 — Zavisnost povećanja dometa frekventno-diverziti radarskih sistema od broja nosećih frekvencija

Izbor broja nosećih frekvencija i razlike između njih jedno je od najvažnijih pitanja, koje projektant treba da razreši. S jedne strane, mali broj nosećih frekvencija i mala razlika iz-



među njih ne doprinosi velikom smanjenju fluktuacija reflektovanih signala, što, u krajnjem, rezultira neznatnim ukupnim efektima frekventno-diverziti radarskih sistema. S druge strane, veliki broj nosećih frekvencija uzrokuje: vrlo složenu konstrukciju, enormno povećanje gabarita i težine radara, a u određenim uslovima i ne tako velike efekte.

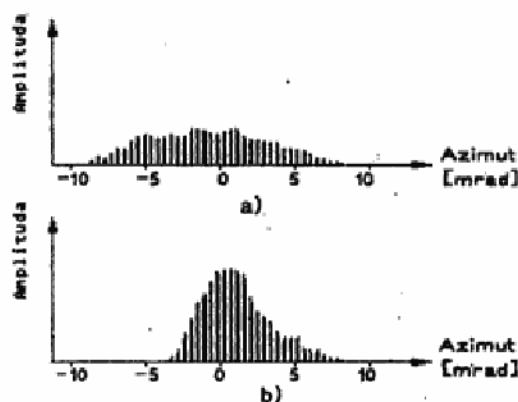
Maksimalno mogući broj nosećih frekvencija, zavisi, pre svega, od raspoloživog vremena obrade prijemnog signala. Često je vreme obrade signala jednako vremenu pretraživanja prostora, kada je maksimalni broj nosećih frekvencija jednak broju primljenih impulsa za vreme pretraživanja ( $m_{\max} = N$ ).

Dijagrami na slikama 9. i 10. konstruisani su uz pretpostavku da je snaga predajnog signala ravnomerno raspoređena na sve frekventne kanale. Međutim, često je svrsishodno, pa čak i nužno, da se snaga predajnog signala rasporedi na kanale neravnomerno. Neravnomerna raspodela različito utiče na karakteristike otkrivanja. Za visoke verovatnoće otkrivanja ciljeva odnos S/N se povećava, dok se za niske verovatnoće otkrivanja odnos S/N smanjuje.

*Povećanje tačnosti merenja koordinata ciljeva kod frekventno-diverziti radarskih sistema, na račun smanjenja fluktuacija amplituda reflektovanih signala, postiže se poređenjem amplituda signala. Tačnost rada uređaja za automatsko praćenje zavisi od karaktera fluktuacija reflektovanog signala. Najveću opasnost predstavljaju spore fluktuacije, čija se frekvencija poklapa sa pojavnim propustom pratećih sistema, uzrokujući, pri tome, pojavu lažnog signala greške, koji se sporo menja. Primenom frekventno-diverziti metoda lažni signali greške postaju slučajni i brzo se menjaju, što omogućava njihovu filtraciju. Zahvaljujući tome, povećava se tačnost praćenja ciljeva i smanjuje*

vremenska konstanta sheme praćenja, što poboljšava uslove otkrivanja ciljeva i određivanje karaktera njihovih manevara.

Zahvaljujući smanjenju fluktuacija faznog fronta reflektovanih signala, frekventno-diverziti radarski sistemi imaju daleko veću tačnost praćenja ciljeva po ugaonim koordinatama. To je vrlo važno za monoimpulsne radare, kod kojih se fluktuacije signala po fazi praktično jedini izvor greške merenja ugaonih koordinata. Perioda fluktuacije faznog fronta reflektovanih signala frekventno-diverziti radarskih sistema smanjuje se približno onoliki broj puta koliki je broj nosećih frekvencija, koji, pak, dovodi do isto tolikog smanjenja greške praćenja. Uticaj frekventno-diverziti radarskih sistema na tačnost praćenja ciljeva po uglu može se



Sl. 11 — Disperzija signala po azimutu nadvodnog cilja kod: a) jednofrekventnih, i b) frekventno-diverziti radarskih sistema

ilustrovati eksperimentalnim rezultatima, prikazanim na slici 11. Na slici je prikazana disperzija signala po azimutu nadvodnog cilja kod jednofrekventnih (a), i frekventno-diverziti (b) radarskih sistema. Disperzija ugaonih koordinata ciljeva kod frekventno-diverziti radarskih sistema je oko dva puta manja u odnosu na jednofrekventne radare.

## Obrada signala kod frekventno-diverziti radara

Najefektivnija obrada signala kod frekventno-diverziti radarskih sistema postiže se, svakako, optimalnom obradom signala svih različitih frekvencija, zatim sumiranjem tako dobijenih parcijalnih signala i poređenjem sumarnog signala sa zadatim nivoom signala praga. Optimalni prijemnik frekventno-diverziti radarskih sistema sastoji se, dakle, od: više paralelnih kanala, sklopa za sumiranje i sklopa za poređenje (slika 2).

Sumiranje izlaznih signala iz kanala, u principu, može biti ostvareno na visokoj međufrekvenciji i niskoj (video) frekvenciji. Prva dva načina sumiranja signala različitih kanala jednako su efektivna, ali njihova realizacija zahteva koherentnu obradu. Sumiranjem signala na video frekvenciji dobija se nepovoljniji odnos  $S/N$ , ali je obrada puno jednostavnija. Pri optimalnoj obradi sumiraju se kvadrati parcijalnih signala, a rešenje o prisustvu cilja donosi se kada suma nadvisi postavljeni nivo praga ( $U_0^2$ ), tj. u slučaju zadovoljenja nejednakosti:

$$U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_m^2 > U_0^2, \quad (2.8)$$

gde su:

$U_1, U_2, \dots, U_m$  — izlazni signali frekventnih kanala prijemnika,

$U_0$  — napon praga.

Međutim, kako su realizacije optimalnih prijemnika za obradu frekventno-diverziti radarskih signala vrlo složene, razrađene su jednostavnije metode tzv. dopunske obrade signala [4], sa doduše nešto manjim odnosom  $S/N$ , ali dosta često sa nizom prednosti u nekim drugim karakteristikama.

U zavisnosti od broja nosećih frekvencija, u sumatoru je, u principu, moguće primeniti sledeće načine dopunske obrade parcijalnih signala pojedinih kanala, kao što su:

- sumiranje izlaznih signala svih kanala;
- množenje izlaznih signala svih kanala;
- sumiranje izlaznih signala i množenje parcijalnih suma, i
- množenje izlaznih signala i sumiranje parcijalnih proizvoda.

Prva dva načina dopunske obrade primenljiva su za bilo koji broj nosećih frekvencija, dok se druga dva načina mogu primeniti kada je taj broj jednak ili veći od tri.

1. Najčešću primenu dopunske obrade signala frekventno-diverziti radara ima sabiranje sastavnih komponenta po modelu:

$$U_s = \sum_{i=1}^m U_i, \quad (2.9)$$

gde je:

$U_s$  — sumarni signal;

$U_i$  — signal  $i$ -tog frekventnog kanala;

$m$  — broj frekvencija frekventno-diverziti signala (broj kanala).

U slučaju ovakve obrade za odluku o prisustvu cilja dovoljno je da signal ma kog kanala nadvisi nivo postavljenog praga. Verovatnoća otkrivanja ciljeva ( $D_s$ ) jednaka je sumi verovatnoća nadvišenja nivoa praga od signala svih kanala:

$$D_s = \sum_{n=0}^m \frac{m!}{n!(m-n)!} D_0^n (1-D_0)^{m-n},$$

gde je:

$\frac{m!}{n!(m-n)!}$  — broj kombinacija kanala, čiji izlazni signal istovremeno nadvisuju signal praga;

$D_0$  — verovatnoća otkrivanja cilja jednim kanalom;

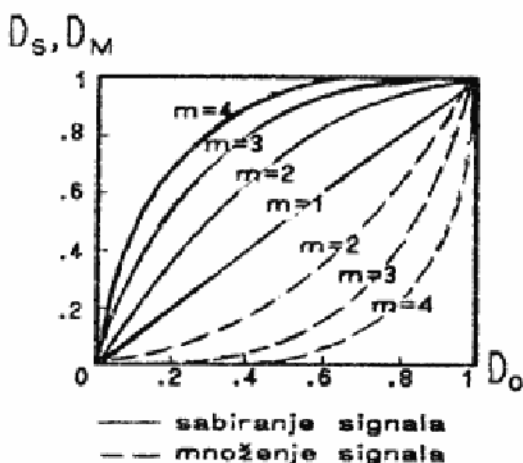
$(1-D_0)$  — verovatnoća propuštanja cilja jednog kanala.

Analogno tome, određuje se verovatnoća lažne uzbune ( $F_0$ ) frekventno-diverziti radarskog prijemnika pomoću verovatnoće lažne uzbune jednog kanala ( $F_0$ ):

$$F_s = \sum_{n=0}^m \frac{m}{n!(m-n)!} F_0^n (1-F_0)^{m-n},$$

ili, kako je  $F_0 \ll 1$ ,  $F_s \approx m \cdot F_0$ .

Na slici 12 grafički je izražena zavisnost verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva kod frekventno-diverziti radarskih prijemnika (dopunska obrada vrši se sumiranjem) od verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva pojedinih kanala (pune krive). Funkcija  $D_s = f(D_0)$ , povećanjem broja frekvencija  $m$ , raste. Naravno, povećanjem broja kanala povećava se i verovatnoća lažne uzbune, koja se, pak, smanjuje povećanjem nivoa praga, a što, opet, dovodi do smanjenja verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva.



Sl. 12 — Zavisnost verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva kod višekanalnih radara od verovatnoće pravilnog otkrivanja njegovih pojedinih kanala

Za ometanje ovakvih radarskih sistema dovoljno je da se ometa jedna noseća frekvencija: signal smetnje nesmetano prolazi kroz odgovarajući prijemni kanal do sklopa za sumiranje.

Signal smetnje, sumirajući se sa korisnim signalom iz ostalih prijemnih kanala, maskira ili stvara dezinformišuću sliku na radarskom pokazivaču. Dakle, frekventno-diverziti radarski sistemi, kod kojih se dopunska obrada signala vrši sumiranjem, osetljiviji su na smetnje od jednofrekventnih radara. Zaštita ovih sistema od smetnji moguća je jedino isključivanjem ometanih nosećih frekvencija.

2. Množenjem signala rezultujući signal ima oblik:

$$U_M = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 \dots U_m, \quad (2.10)$$

gde su:

$U_1, U_2, \dots, U_m$  — signali odgovarajućih frekventnih kanala prijemnika.

Da bi došlo do pravilnog otkrivanja cilja, potrebno je da signali u svim kanalima nadvisuju nivo praga. Izostankom signala u makar jednom kanalu izostaje detekcija cilja, jer je proizvod signala jednak nuli.

Ako se, dakle, dopunska obrada signala kod višekanalnih prijemnika vrši množenjem signala, verovatnoća otkrivanja ciljeva određuje se po formuli:

$$D_M = D_0^m,$$

a verovatnoća lažne uzbune:

$$F_M = F_0^m.$$

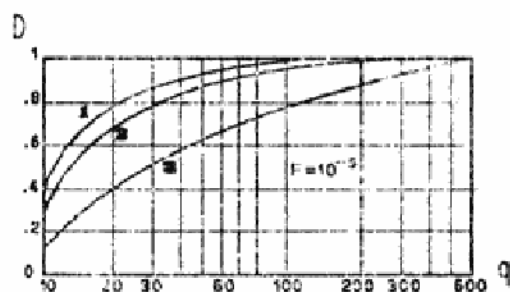
Kod frekventno-diverziti radarskih prijemnika, gde se dopunska obrada vrši množenjem signala svih kanala, verovatnoća pravilnog otkrivanja ciljeva, kao i verovatnoća lažne uzbune je veća, što je broj kanala manji.

Na slici 12 grafički je izražena funkcija  $D_M = f(D_0)$ , gde je broj kanala  $m$  argument (isprekidana linija).

Na slici 13 prikazane su krive zavisnosti verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva frekventno-diverziti radarskim sistemom ( $m=3$ ), od odnosa  $q=S/N$  na ulazu pojedinih prijemnih

kanala uz konstantnu verovatnoću lažne uzbune ( $F=10^{-5}$ ) za različite načine dopunske obrade signala: *sumiranje* (kriva 1), *množenje* (kriva 2) i *sumiranje dva po dva signala, a zatim množenje dobijenih parcijalnih suma* (kriva 3).

Poređenjem krivih na slikama 12 i 13 za trokanalni radar, uz konstantnu verovatnoću lažne uzbune, razlike u karakteristikama otkrivanja ciljeva, izazvane različitim načinima dopunske obrade signala, smanjuju se, ali je prednost sumiranja nad drugim načinima očita.



Sl. 13 — Zavisnost verovatnoće pravilnog otkrivanja ciljeva kod trokanalnog radara od odnosa  $q=S/N$ , uz konstantnu verovatnoću lažne uzbune ( $F=10^{-5}$ )

Za uspešno ometanje frekventno-diverziti sistema, kod koji se dopunska obrada signala vrši množenjem, neophodno je ometati sve kanale. Frekventno-diverziti radarski sistemi sa množenjem signala, manje su osetljivi na ometanje od istog takvog sistema sa sabiranjem signala, u krajnjem, za onoliko puta koliki je broj njegovih nosećih frekvencija —  $m$ .

3. *Sumiranje, a zatim množenje parcijalnih suma i množenje, zatim sumiranje parcijalnih proizvoda* su kombinacije navedenih načina dopunske obrade — sumiranja i množenja. U zavisnosti od broja kanala prijemnika kombinacije mogu biti različite. Tako, na primer, kod trokanalnog prijemnika moguća je samo jedna kombinacija

dopunske obrade signala sumiranjem, a zatim množenjem parcijalnih suma:

$$U_{SM} = (U_1 + U_2) \cdot (U_2 + U_3) \cdot (U_1 + U_3). \quad (2.11)$$

Dopunska obrada signala množenjem, a zatim sumiranjem parcijalnih proizvoda, kod trokanalnog prijemnika, moguća je samo u sledećoj varijanti:

$$U_{MS} = U_1 U_2 + U_2 U_3 + U_1 U_3. \quad (2.12)$$

Iz izraza 2.11 i 2.12 vidi se uslov za pravilno otkrivanje ciljeva kod trokanalnog radara — da signali nadvisu nivo praga u najmanje dva kanala. Verovatnoća pravilnog otkrivanja i lažne uzbune može se odrediti pomoću sledećih izraza:

$$D = 3D_0^2(1 - D_0) + D_0^3 = 3D_0^2 - 2D_0^3,$$

$$F = 3F_0^2(1 - F_0) + F_0^3 = 3F_0^2 - 2F_0^3.$$

Karakteristike pravilnog otkrivanja ciljeva kod višekanalnih prijemnika sa kombinovanim načinom dopunske obrade signala su lošije od karakteristika pravilnog otkrivanja prijemnika sa sumiranjem i množenjem signala pojedinih signala (slika 13).

Pored opisanih načina dopunske obrade signala kod frekventno-diverziti radarskih sistema uvek se vrši i selekcija signala po maksimumu amplitude ili maksimalnom odnosu  $S/N$ . Tako se u svakom kanalu prijemnika vrši nezavisna obrada signala, a odluka o prisustvu cilja donosi se samo na osnovu jednog signala — najjačeg po amplitudi ili po tome što najviše nadvisuje šum prijemnika. U poređenju sa jednofrekventnim radarima, frekventno-diverziti radarski sistemi sa selekcijom signala po maksimumu amplitude signala ili najvećem odnosu  $S/N$  imaju znatno veću verovatnoću pravilnog otkrivanja ciljeva, a na račun toga, i znatno veći domet i, tačnije, određivanje koordinata (zahvaljujući smanjenju fluktuacija amplituda signala).

Frekventno-diverziti radarski sistemi sa kombinovanim načinom dopunske obrade signala po osetljivosti na

ometanje nalaze se između sistema sa sumiranjem i sistema sa množenjem signala. Ometanje sistema kod kojih se dopunska obrada vrši po šemi »množenje + sumiranje«, gde se, na primer, množi  $n$  od  $m$  signala i tako formirani signali sumiraju, postiže se ometanjem  $(m-n+1)$  radnih frekvencija, jer je potrebno da sve sume, koje se množe, budu različite od nule. Zaštita od ometanja sistema sa dopunskom obradom po šemi »sabiranje + množenje« zavisi, kako od broja signala koji se sumiraju  $n$ , tako i od broja radnih frekvencija  $m$ . Ometanje radarskog sistema sa 5 nosećih frekvencija, kod kojeg se sumiraju dva po dva signala, a zatim tako formirane parcijalne sume pomnože, može se uspešno izvesti ometanjem 4 kanala. Međutim, isti efekat se postiže ako se sumiraju četiri po četiri signala i tako formirane parcijalne sume pomnože, ometanjem samo dva frekventna kanala.

## Zaključak

Smanjenjem radarske površine savremenih ciljeva smanjuje se verovatnoća pravilne detekcije pomoću klasičnih radarskih sistema, što utiče na aktuelnost primene i uvođenje u naoružanje savremenih armija, novih radarskih sistema i metoda radiolokacije.

Frekventno-diverziti radarski sistemi, koji su, u suštini, vrlo složeni i skupi, jer sadrže više radara u jednom sistemu, imaju, na račun smanjenja fluktuacije amplituda reflektovanih-raspršenih signala od ciljeva, veći domet, tačnije automatsko praćenja ciljeva i manju osetljivost na smetnje. Da bi bio efikasan, ometač mora biti širokopojsan ili imati isti broj nosećih frekvencija, kao i radarski sistem. Pasivne smetnje se lakše eliminišu, jer zbog zavisnosti frekvencija Dopplera od razlike nosećih frekvencija, brisač stalnih odraza prigušuje vrlo uzak pojas frekvencija.

## Literatura:

- [1] Višin, G. M.: MNOGOCATOTNAJA RADIOLOKACIJA, »Vojenoje izdateljstvo Ministarstva obrani SSSR«, Moskva, 1973.
- [2] Zubkovič, S. G.: STATISTIČESKJE KARAKTERISTIKI RADIOSIGNALOV, OTRAŽENIH OT ZEMNOJ POVERHNOSTI, »Sovjetskoje Radio«, Moskva, 1968.
- [3] Kobak, V. O.: RADIOLOKACIONJE OTRAZATELJI, »Sovjetskoje radio«, Moskva, 1975.
- [4] Skolnik, M. I.: RADAR HANDBOOK, McGraw-Hill Co., New York, 1970.
- [5] Grujić, V.: REČNIK FRANCUSKO-SRPSKO-HRVATSKI, »Prosveta«, Beograd, 1971.
- [6] Razingar, A.: PEZ RADARSKIH UREĐAJA (Lekcije — Poslediplomski studij PEO), TVA KoV JNA, Zagreb, 1980.
- [7] Bogdanović, M.: OSNOVE RADARSKE TEORIJE, CVTŠ KoV JNA »General armije Ivan Gošnjak«, Zagreb, 1989.
- [8] Zentner, E.: RADIOKOMUNIKACIJA, »Školska knjiga«, Zagreb, 1980.
- [9] Đorović, M.: RADARSKI DIVERZITI (Seminarski rad — Poslediplomski studij — Specijalizacija RRT), TVA KoV JNA, Zagreb, 1981.
- [10] Witt, M. & Reeder, D.: A New Generation Air Defence Radar, »Microwave journals«, No 2, Feb., 1984.
- [11] Mathleas, R. F. & Cunningham, N. A.: Frequency-Scanning Technique Applied to Air-Defense Radar, »Microwave systems news«, No 2, Feb., 1985.

Mr Živojin Grujić,  
pukovnik, dipl. inž.

## SINTEZA HIDRAULIČKOG SERVOSISTEMA SA POVRATNOM VEZOM PO PRITISKU

U radu su izvedene diferencijalne jednačine i prenosne funkcije hidrauličkog servosistema sa povratnom vezom po pritisku. Za konkretan primer izvršena je analiza prenosnih funkcija na digitalnom računaru i dati uporedni vremenski odzivi za servosistem sa i bez korekcionog elementa.

### Uvod

Hidraulički servosistem sa hidrauličkim cilindrom (za translatorna kretanja) ili hidrauličkim motorom (za obrtna kretanja) i hidrauličkim servorazvodnikom spada u grupu hidrauličkih servosistema sa prigušenim upravljanjem.

Karakteristike prigušnog upravljanja ocenjuju se, pored ostalog, i brzinskom statičkom katrakteristikom, koja izražava funkciju brzine kretanja izvršnog elementa, u zavisnosti od pomaka klipa servorazvodnika. Ta karakteristika je, u osnovi, nelinearna. U opštem slučaju diferencijalne jednačine servosistema sa prigušenim upravljanjem su nelinearne, zbog nelinearne funkcije protoka fluida kroz servorazvodnik:

$$Q_s = f(x, p_t)$$

gde su:

- $Q_s$  — protok kroz servorazvodnik,  
 $x$  — pomak klipa servorazvodnika,  
 $i$   
 $p_t$  — korisni pad pritiska u cilindru.

Radi pojednostavljenja dinamičkih razmatranja, pri izvođenju lineariziranih jednačina servosistema, uvode se sledeće pretpostavke:

— dinamički proces odvija se u okolini stacioniranog stanja, pri srednjem položaju klipa u cilindru, a funkcije protoka fluida nema prekida;

— suvo trenje se zamenjuje viskoznim trenjem;

— modul elastičnosti fluida je konstantna veličina i ne zavisi od pritiska i temperature;

— u hidrauličnom servosistemu nema vazduha;

— temperatura fluida je konstantna;

— pritisak napajanja servorazvodnika je konstantan;

— oscilatorni procesi u vodovima, zbog male dužine, ne utiču na dinamiku hidrauličkog servosistema.

Na osnovu navedenih pretpostavki, hidraulički servosistem moguće je opisati lineariziranim sistemom diferencijalnih jednačina, na osnovu:

— jednačine dinamičke ravnoteže, i

— jednačine kontinuiteta protoka.

Pri projektovanju hidrauličkih i elektrohidrauličkih servosistema sa dominantnim inercionim opterećenjem, po pravilu, pojavljuje se problem stabilnosti servosistema. Inerciono opterećenje, izvršni element i upravljački element obrazuju oscilatorni sistem, što dovodi do nestabilnosti čitavog sistema upravljanja.

Jedan od efikasnih načina povećanja stabilnosti sistema može biti uvođenje povratne veze po pritisku, što se

ostvaruje ugradnjom dodatnog hidrauličkog elementa između servorazvodnika i hidrauličkog cilindra.

### Diferencijalne jednačine i prenosne funkcije servosistema

Razmatranjem fizikalnih zbivanja u hidrauličkom servosistemu (sl. 1), a na osnovu uvodnih postavki, hidraulički servosistem može se opisati sledećim sistemom diferencijalnih jednačina:

$$\begin{aligned}(p_1 - p_2)A_3 &= k_z(x_3 - x_4) \\ k_z(x_3 - x_4) &= m \frac{d^2 x_4}{dt^2} + f_1 \frac{dx_4}{dt} \\ k_{pr_{qp}}(p^*_{11} - p_2) &= A_2 \frac{dx_2}{dt} + A_1 \frac{dx_1}{dt} \\ k_Q x_1 &= A_3 \frac{dx_3}{dt} + k_{qp}(p_1 - p_2) \\ (x'_1 - x_1)k_1 &= A_1(p^*_{11} - p_2) \\ x_2 k_2 &= A_2(p_1 - p^*_{11}) \\ p_1 - p_2 &= (p_1 - p^*_{11}) + (p^*_{11} - p_2)\end{aligned}$$

gde su:

- $x_1, x_2, x_3$  i  $x_4$  — pomaci klipa servorazvodnika, prigušivača, cilindra i opterećenja;
- $x'_1$  — pomak klipa servorazvodnika izazvan strujom u upravljačkom namotaju;
- $A_1, A_2, A_3$  — efektivne površine klipa servorazvodnika, prigušivača i cilindra;
- $p_1$  i  $p_2$  — pritisci u komorama hidrauličkog cilindra;
- $p^*_{11}$  — pritisak u komori prigušnog elementa;
- $k_Q$  i  $k_{qp}$  — koeficijent pojačanja protoka servorazvodnika i koeficijent gubitaka protoka;
- $k_{pr_{qp}}$  — koeficijent protoka kroz prigušnicu;
- $k_1$  i  $k_2$  — karakteristike opruga servorazvodnika i prigušivača;

- $k_z = k_3 k_h / (k_3 + k_h)$  — koeficijent krutosti »zajedničke« opruge hidramehaničkog sistema;
- $k_h = 2BA^2/V_0$  — koeficijent krutosti »hidrauličke opruge«;
- $f_1$  i  $m$  — koeficijent viskoznog trenja i mase inercionog opterećenja.

Primenom Laplasove transformacije na sistem jednačina, pri početnim uslovima:  $t=0, x_1=x_4=0; dx_4/dt=0; p_1-p_2=0$ , uz pretpostavku da je  $A_2 \cdot dx_2/dt \gg A_1 \cdot dx_1/dt$ , dobija se sistem jednačina u operatorskom obliku, odakle sledi detaljna strukturna shema servosistema (sl. 2).

Na osnovu detaljne strukturne sheme servosistema i uz pretpostavku da je koeficijent gubitaka fluida u servosistemu zanemariv ( $k_{qp}=0$ ), dobija se transformirana strukturna shema (sl. 3), u kojoj su:

- $T = A_2^2 / (k_2 k_{pr_{qp}})$  — vremenska konstanta prigušivača;
- $T_2 = \sqrt{m/k_z}$  — hidromehanička vremenska konstanta servosistema;
- $\zeta_2 = f_1 / (2 \sqrt{mk_z})$  — koeficijent relativnog prigušenja;
- $k_v = k_Q / A_3$  — koeficijent pojačanja brzine.

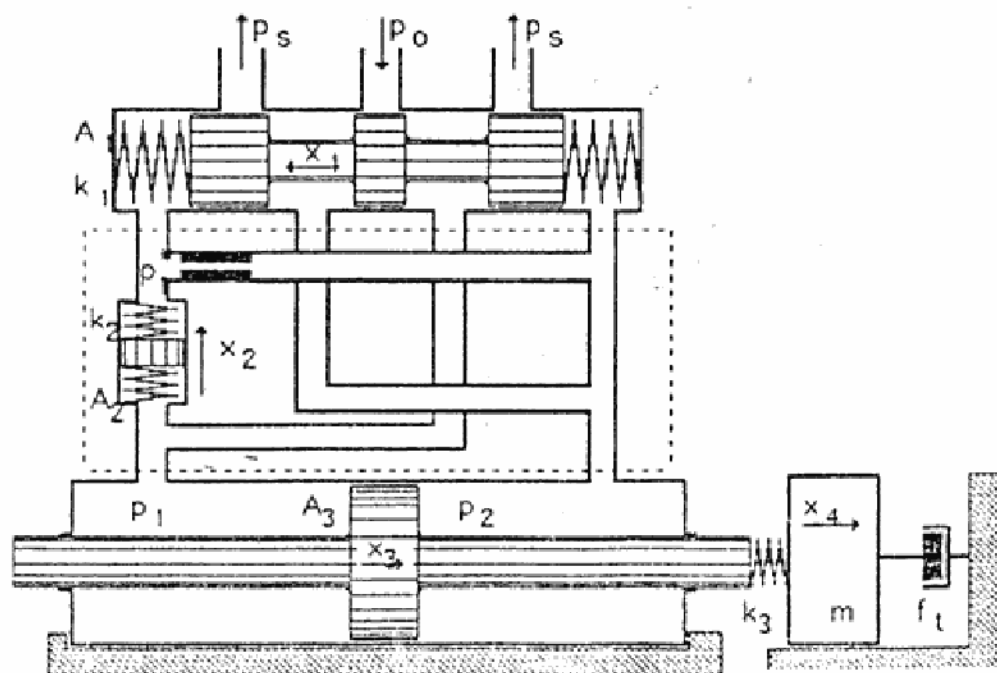
Transformirana strukturna shema (sl. 3) može se prikazati u formi kao na sl. 4 sa vremenskom konstantom  $T_3$ :

$$T_3 = \frac{A_1 k_z}{A_3 k_1} T$$

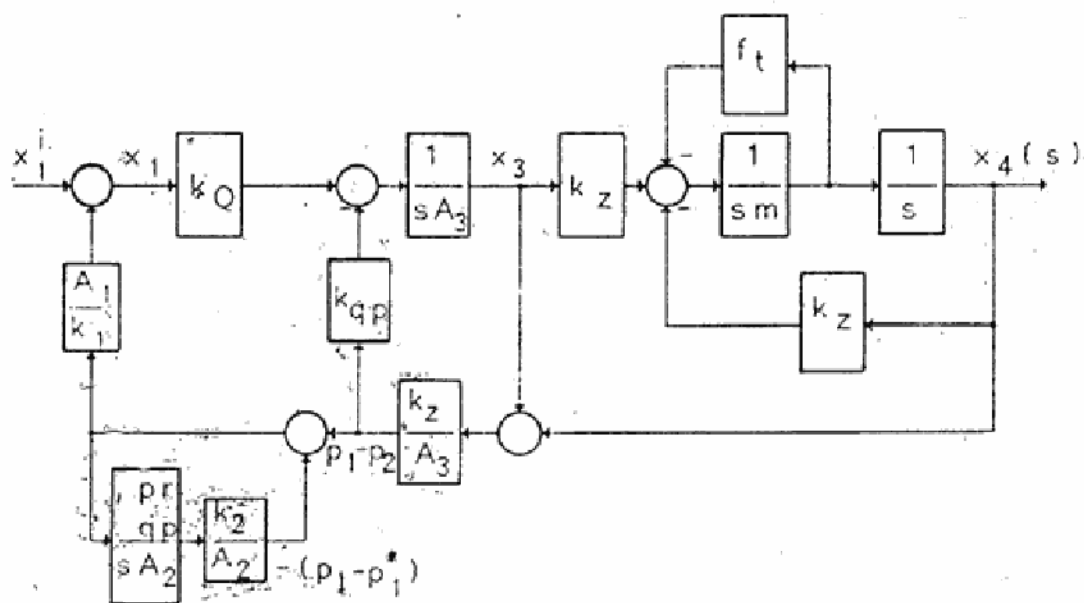
Na osnovu transformirane strukturne sheme servosistema (sl. 4), mogu se dobiti prenosne funkcije servosistema:

- $W_1(s)$  — bez korekcionog elementa, i
- $W_2(s)$  — sa korekcionim članom.

$$W_1(s) = \frac{x_4(s)}{x'_1(s)} = \frac{k_Q/A_3}{s(T_2^2 s^2 + 2\zeta_2 T_2 s + 1)}$$

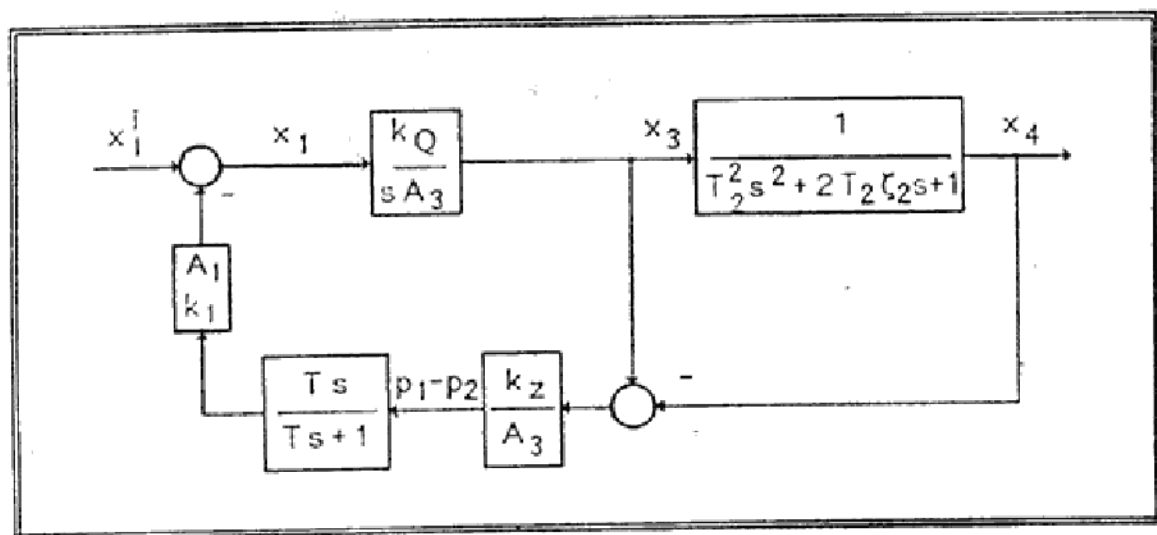


Sl. 1 — Hidraulički servosistem sa inercionim opterećenjem i korekcionim elementom

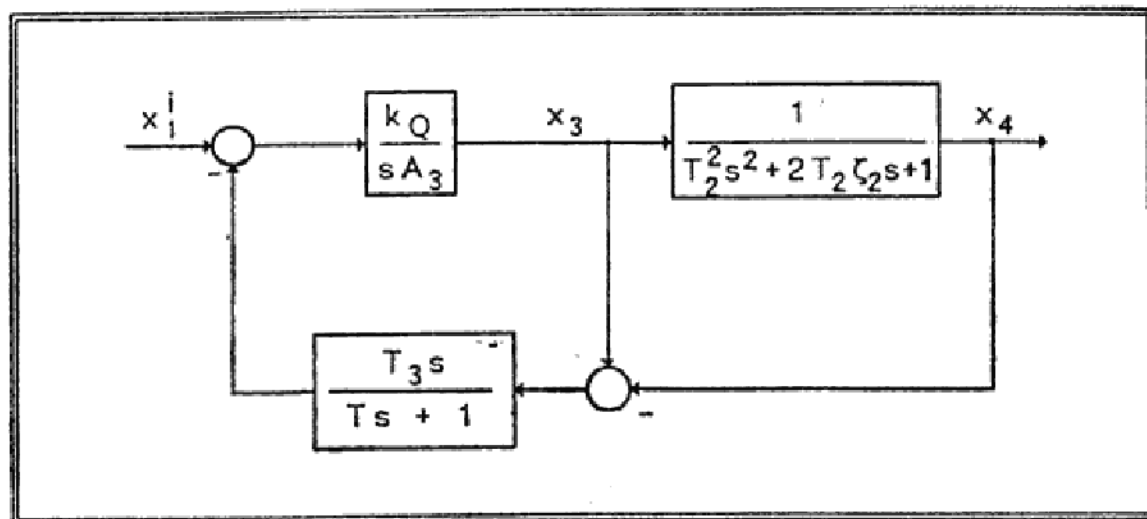


Sl. 2 — Detaljna strukturna shema servosistema





Sl. 3 — Transformirana strukturna shema servosistema



Sl. 4 — Transformirana strukturna shema

$$W_2(s) = \frac{x_4(s)}{x_1(s)} = \frac{(T_3 + 1) k_Q / A_3}{s[(T_2^2 s^2 + 2T_2 \zeta_2 s + 1)(T_3 + 1) + 2T_2 \zeta_2 T_3 s k_Q / A_3 (T_2 s / 2\zeta_2 + 1)]}$$

Pažljivom analizom i usporedbom prenosnih funkcija  $W_1(s)$  i  $W_2(s)$ , dolazi se do slučaja kada je odnos između  $T$ ,  $T_2$  i  $\zeta_2$  dat sledećom relacijom:

$$T = T_2 / (2\zeta_2)$$

U tom slučaju, prenosna funkcija  $W_2(s)$  ima sledeći oblik:

$$W_2(s) = \frac{k_Q / A_3}{s(T_2^2 s^2 + 2T_2 \zeta_2 s + 1)}$$

gde je:

$\zeta_3 = \zeta_2(1 + T_3 k_0 / A_3)$  — koeficijent relativnog prigušenja servosistema sa korekcionim elementom.

Ostali parametri prenosne funkcije servosistema ostali su nepromjenjeni. Primenom korekcionog elementa (prigušivača) i ispunjenjem uslova  $T = T_2(2\zeta_2)$  dolazi do povećanja koeficijenta relativnog prigušenja bez izmene sopstvene frekvencije i koeficijenta pojačanja.

### Analiza servosistema na računaru

Za servosistem sa inercionim opterećenjem i parametrima:  $k_v = 70 \text{ s}^{-1}$ ;  $T_2 = 0.016 \text{ s}$ ;  $k_2/k_1 = 275$ ;  $\zeta_2 = 0.1$ ;  $A_3 = 84.78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  ( $D_e = 0.12 \text{ m}$ ;  $d_k = 0.06 \text{ m}$ ); i  $A_1 = 0.196 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  ( $d_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ) kao i ispunjenjem uslova  $T = T_2/(2\zeta_2)$ , dobija se vremenska konstanta prigušivača  $T = 0.08 \text{ s}$ , odnosno  $T_3 = 0.05 \text{ s}$ .

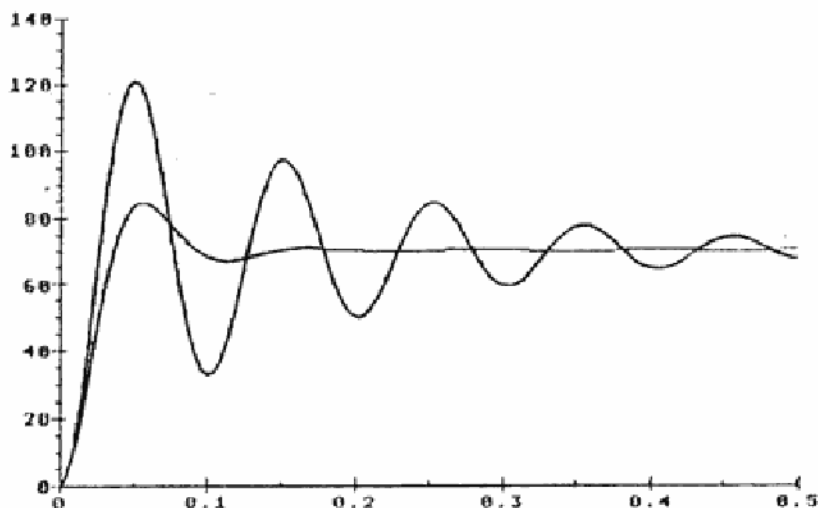
Koeficijent relativnog prigušenja  $\zeta_3$  servosistema sa prigušivačem je u tom slučaju  $\zeta_3 = 0.45$ . Poznavanjem vremenske konstante prigušivača ( $T = 0.08 \text{ s}$ ) i odabiranjem vrednosti  $A_2 = 0.785 \cdot 10^{-4}$  ( $d_2 = 0.01 \text{ m}$ ) i  $k_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ N/m}$ , može se odrediti koeficijent protoka kroz prigušnicu:

$$k_{pr_{qp}} = A_2^2 / (T k_2) = 0.385 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s) / (N/m}^2\text{)}$$

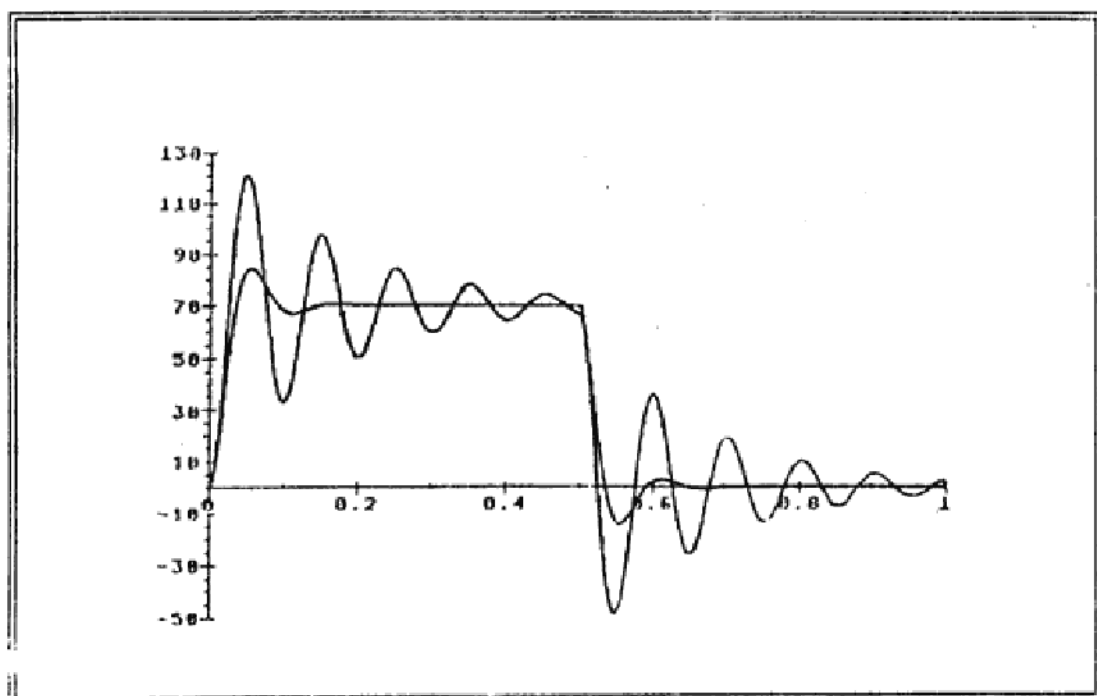
Simulacijom prenosnih funkcija  $W_1(s)$  i  $W_2(s)$  na digitalnom računaru, za zadane vrednosti, dobijeni su odzivi servosistema  $v_4 = dx_4/dx_1$ , na jediničnu step-funkciju (sl. 5), i na impulsnu jediničnu funkciju (sl. 6).

Iz vremenskih odziva se vidi da je servosistem bez korekcionog elementa oscilatoran ( $\zeta = 0.1$ ) sa veoma velikim preskokom ( $P = 70\%$ ) i veoma velikim vremenom smirivanja ( $t_s = 0.4 \text{ s}$ ).

Servosistem sa korekcionim elementom ( $\zeta = 0.45$ ) veoma brzo se prigušuje. Veličina preskoka se smanjuje za četiri i po puta (na  $t_s = 0.08 \text{ s}$ ).



Sl. 5 — Vremenski odziv na jediničnu step-funkciju



Sl. 6 — Vremenski odziv na impulsnu jediničnu funkciju

### Zaključak

Na osnovu prethodnih razmatranja vidi se da primena servosistema sa povratnom vezom po pritisku omogućava dobijanje boljih karakteristika servosistema. Primena povratne veze po pritisku, ugradnjom korekcionog elementa između cilindra i servorazvodnika veoma je efikasan način korekcije servosistema sa inercionim opterećenjem.

Izloženi način sinteze omogućava provođenje proračuna servosistema i daje mogućnost određivanja konstrukcionih parametara korekcionog člana.

Rezultati dinamičke analize na digitalnom računaru pokazuju da servosistem ima veoma dobre dinamičke karakteristike.

### Literatura:

- [1] H. E. Merritt: HYDRAULIC CONTROL SYSTEMS, J. Wiley, New York, 1967.
- [2] E. Lewis, H. Stern: DESIGN OF HYDRAULIC CONTROL SYSTEMS, McGraw-Hill, New York, 1962.
- [3] N. S. Gaminin: GIDRAVLICHESKIY SLEDJASCIJ PRIVOD, Mašinoostroenie, Moskva, 1968.
- [4] P. Ciner, R. Abduli: ELEKTROHIDRAULICKI SERVOSISTEMI, VINC, Beograd, 1966.
- [5] M. Stojić: KONTINUALNI SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA, Građevinska knjiga, Beograd, 1978.
- [6] M. Sekulić: OSNOVI TEORIJE AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA, Naučna knjiga, Beograd, 1982.

Dr Novica Đorđević,  
pukovnik, dipl. inž.

## ELEKTROMAGNETNA PROPULZIJA BRODOVA (drugi deo)

U prvom delu članka (VTG 3/93) prikazan je osnovni princip elektromagnetne propulzije (EMP), dat je izraz za veličinu Lorencove sile, izvršeno je upoređenje EMP sa klasičnom vijačnom propulzijom, razmotren hidrodinamički aspekt EMP i ukratko su prezentirana istraživanja EMP u našoj zemlji.

U ovom delu članka dati su rezultati eksperimentalnog istraživanja na modelu EMP, analiza rezultata, osvrt na istraživanja u svetu i zaključak.

### Merenje magnetne indukcije

Merenje magnetne indukcije izvršeno je u kanalu dimenzija  $160 \times 100 \times 27$  (mm).

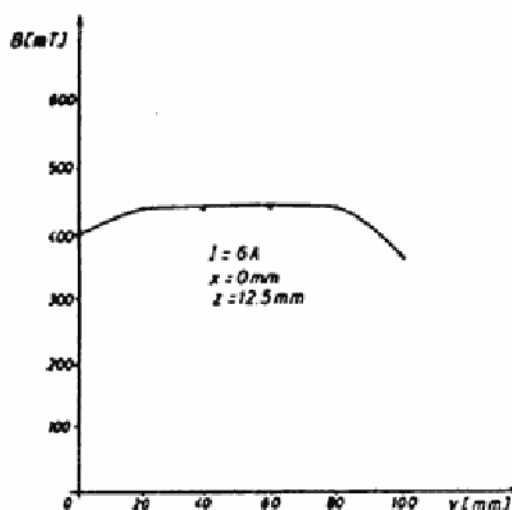
Koordinatni sistem postavljen je tako da mu je X osa orijentisana po najdužoj, i to unutrašnjoj strani. Y osa je orijentisana u smeru poprečnog preseka kanala (rastojanje između elektroda). Z osa je orijentisana naviše i predstavlja zazor međugvožđa. X osa ima, ispod magneta, dimenzije 0—160 mm, mada je magnetna indukcija merena i, izvesno, rastojanje ispred kanala. Y osa može varirati u opsegu 0—100 mm, a Z osa u opsegu 0—27 mm.

Koordinatni sistem prikazan je na slici 11.

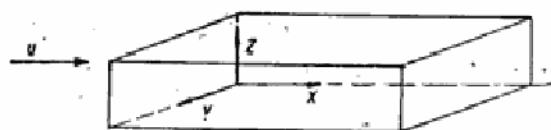
Magnetna indukcija merena je instrumentom čiji je senzor registrovao samo normalnu komponentu magnetnog polja, što predstavlja izvesnu pogodnost, jer samo ta komponenta aktivno

učestvuje u formiranju Lorencove sile, a time i poriva.

Da bi se lakše analizirali rezultati merenja magnetne indukcije, nacrtane su krive raspodele koje omogućuju pre-



Sl. 12 — Raspodela  $B$  za struju 6 A po poprečnom preseku kanala



Sl. 11 — Orijentacija koordinatnog sistema

glednije sagledavanje raspodele magnetnog polja.

Grafički prikaz rezultata merenja magnetnog polja po osi Y dat je na slici 12.

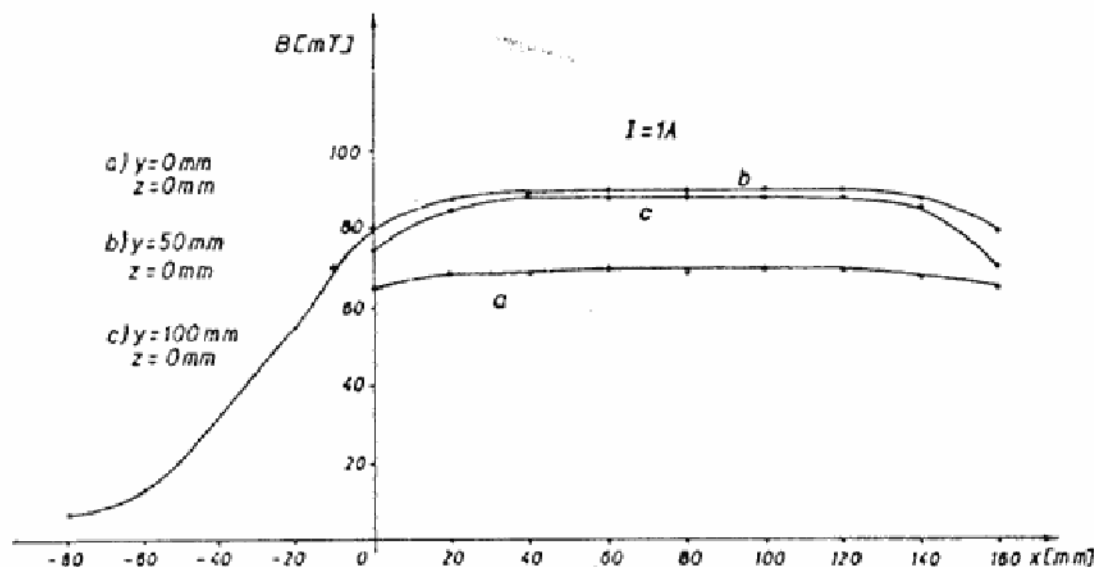
Praktično se može uzeti da je raspodela gustine magnetnog polja po poprečnom preseku kanala, a između elektroda, homogena. Na krajevima magneta, a usled dejstva ivičnih efekata, postoji određeno smanjivanje, tj. pad magnetnog fluksa.

Upoređenje gustina magnetskog fluksa po unutrašnjoj ivici kanala (a), sredini kanala (b) i spoljnoj ivici ka-

je izvršeno u kanalu, kao i na izvesnoj razdaljini ispred (ili iza) kanala.

Raspodela magnetne indukcije pod istim uslovima, ali pri različitim vrednostima struje 4 A i 8 A, prikazana je na istoj slici. Moguće je primetiti da se vrednosti magnetne indukcije ne dupliraju, već postoji izvesna nesrazmera koju unosi magnetni histerezis.

Vrednosti maksimalno izmerene magnetne indukcije na elektromagnetu



Sl. 13 — Raspodela B uz elektrode i između njih

nala (c) prikazano je na slici 13. Očigledno je da je gustina magnetnog fluksa najveća u sredini kanala kriva (b), ali je i potpuno logično da je gustina magnetnog fluksa nešto više uz spoljnu elektrodu (c), nego uz unutrašnju (a) i to zbog nešto višeg rasipanja. Na istoj slici prikazano je i rasipno polje koje deluje na ulazu i izlazu iz kanala, kriva (b) deo od -80 do 0. Interesantno je napomenuti da ova komponenta rasipnog polja, u sprezi sa rasipnim električnim poljem, može dati dodatnu ali korisnu Lorencovu silu.

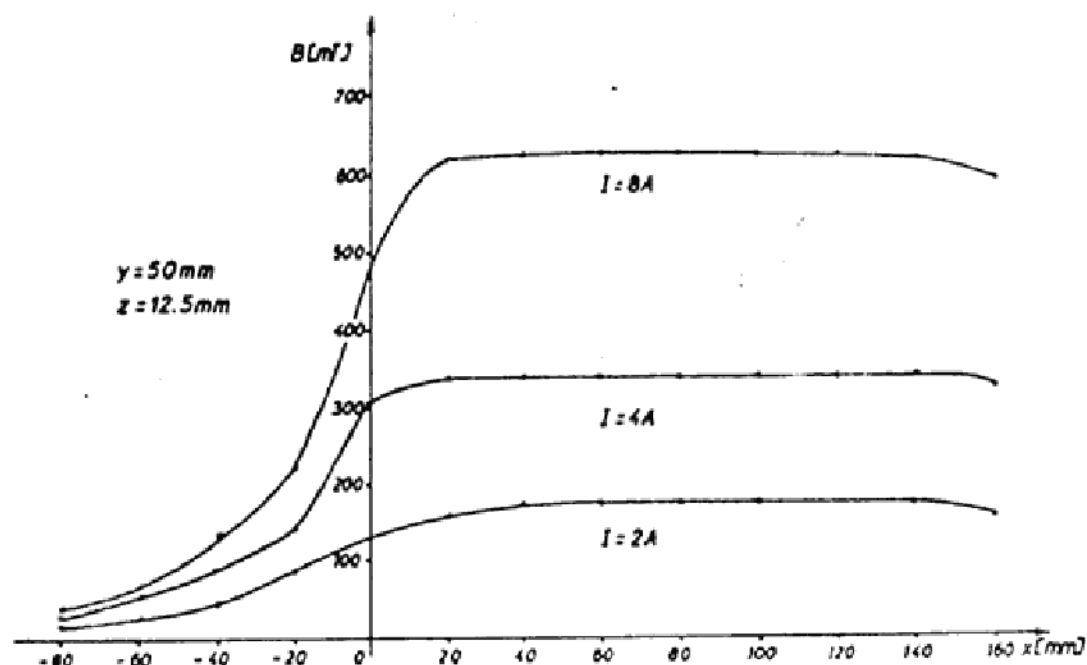
Kriva koja pokazuje rezultate merenja gustine magnetnog polja pri struji 2 A prikazana je na slici 14. Merenje

modela EM propulzora prikazane su na slici 15.

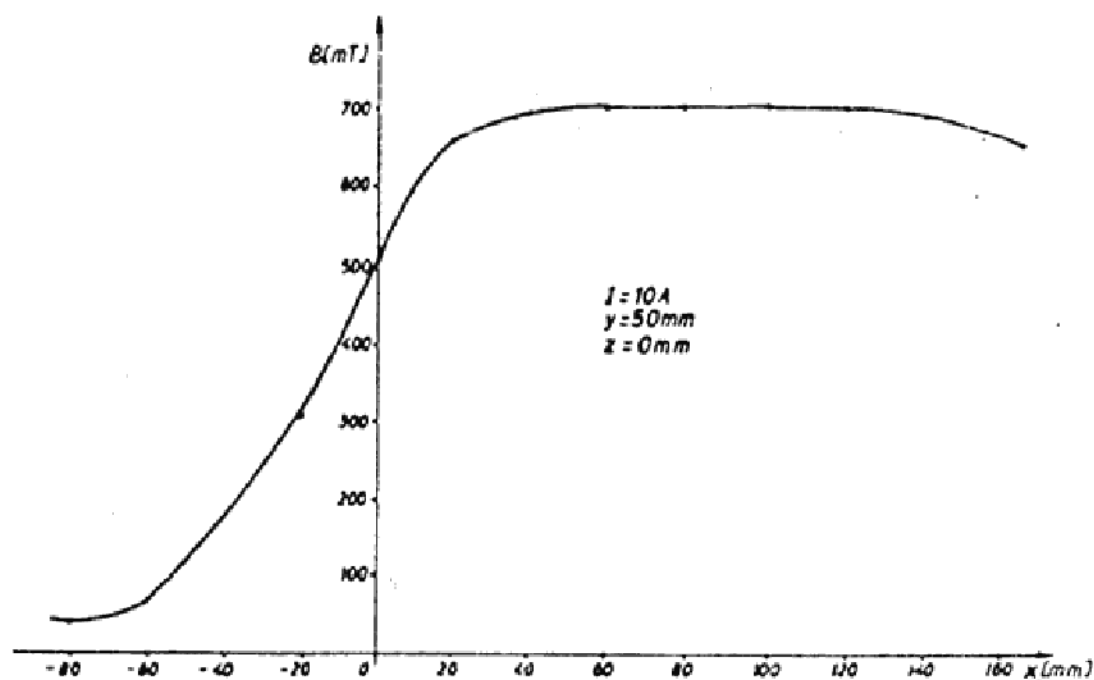
Na osnovu izvršenih merenja može se zaključiti sledeće:

— raspodela gustine magnetog polja u kanalu je prilično ujednačena i homogena, tako da za struju od 8 A ima srednju vrednost od 620 mT, a za struju od 10 A ima srednju vrednost od oko 700 mT;

— mada postoji izvesno smanjenje magnetne indukcije, pri ivicama kanala, praktično se to može nadopuniti sa rasipnim poljem ispred i iza kanala, tako da se u daljem proračunu mogu uzeti navedene vrednosti kao srednje vrednosti.



Sl. 14 — Poređenje vrednosti magnetne indukcije ( $B$ ) za različite struje



Sl. 15 — Raspodela magnetnog polja za struju od 10 A

## Merenje brzine strujanja vode u kaalu modela EM propulzora

Merenje brzine izvršeno je za salinitet vode u propulzoru od 3‰ i 10‰, uz variranje struje na elektrodama i magnetu. Posebnim termometrima kontrolisana je temperatura u prostoriji, kao i porast temperature vode u kanalu propulzora.

Brzina strujanja u kanalu merena je Laser Dopler anemometrom uz grubu kontrolu pomoću Pitoove cevi. Na slici 16 prikazan je položaj LDA i modela propulzora.

Rezultati merenja brzine strujanja vode saliniteta od 3‰ prikazani su u

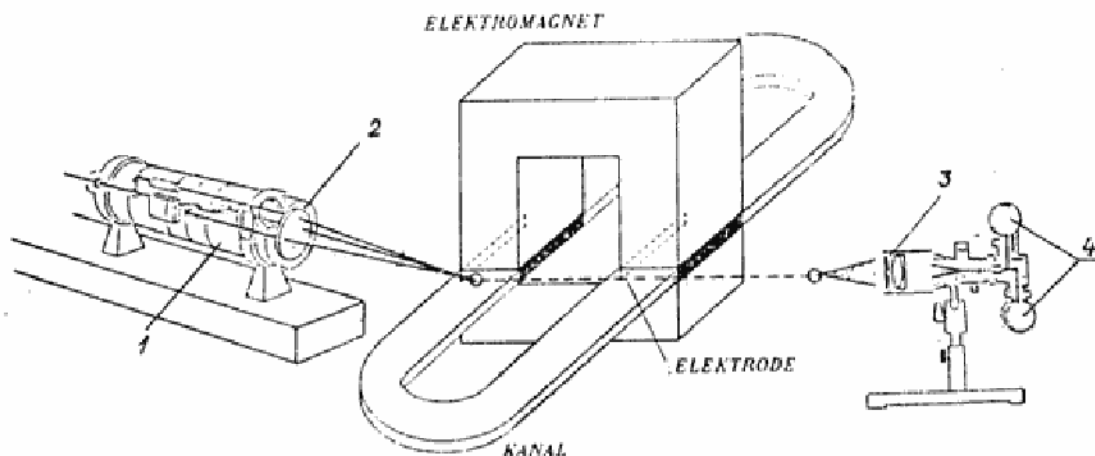
bakru bila  $3,142 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ . Time su stvoreni uslova da se u kanalu održava srednja, približno stalna komponenta magnetne indukcije od 0,7 T.

Upoređujući početne vrednosti napona i struje na temperaturi ambijenta od 16°C može se odrediti ukupna početna vrednost omske otpornosti,

$$R_0 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{156}{10} = 15,6 \, \Omega.$$

Na kraju ispitivanja otpornost namotaja imala je vrednost

$$R_1 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{185}{10} = 18,5 \, \Omega.$$



Sl. 16 — Merenje brzine strujanja pomoću LDA

tabeli 1. Izvršene su dve serije merenja i to na 5 mm i 10 mm od bočnog zida kanala. U tabeli i su prikazane srednje vrednosti merenja po grupama. Zbog ograničene količine vode u kanalu nastojao sam da serije merenja što kraće traju, kako se ne bi bitno povećao početni salinitet. Poredeći rezultate merenja na distanci 5 mm i 10 mm uočavaju se očekivane razlike.

Struja kroz namotaje elektromagneta podešavana je stalno na vrednost od 10 A, pri čemu je gustina struje u

Uz poznati temperaturni koeficijent otpora za bakar

$$\alpha = 0,00392 \, ^\circ\text{C}^{-1},$$

može se naći prosečni porast temperature namotaja

$$\alpha = \frac{R_1 - R_0}{\alpha R_0} = \frac{18,5 - 15,6}{3,92 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 6} = 40^\circ\text{C},$$

što znači da je prosečna temperatura namotaja porasla sa 16°C na oko 56°C. Kako je dozvoljeno zagrevanje namotaja do temperature od 80°C, znači da

Tabela 1

| Redni broj merenja | Elektromagnet: |        | Elektrode: |        |           |            | Napomena                                                     |
|--------------------|----------------|--------|------------|--------|-----------|------------|--------------------------------------------------------------|
|                    | Im [A]         | Um [V] | Ie [A]     | Ue [A] | T [deg C] | vLDA [m/s] |                                                              |
| 1                  | 10             | 156    | 5          | 17     | 18        |            | Brzina pomoću LDA<br>merena na 5 mm od<br>bočnog zida kanala |
| 5                  | 10             | 176    | 10         | 23     | 27        | 0.570      |                                                              |
| 6                  | 10             | 176    | 10         | 23     | 27.5      | 0.627      |                                                              |
| 8                  | 10             | 179    | 10         | 22     | 28        | 0.654      |                                                              |
| 3                  | 10             | 176    | 20         | 56     | 25        | 0.909      | Brzina pomoću LDA<br>merena na 10 mm o<br>bočnog zida kanala |
| 4                  | 10             | 175    | 20         | 44     | 28        | 0.963      |                                                              |
| 7                  | 10             | 177    | 20         | 42     | 28        | 0.969      |                                                              |
| 9                  | 10             | 179    | 30         | 58     | 30        | 1.279      |                                                              |
| 10                 | 10             | 170    | 30         | 58     | 33        |            |                                                              |
| 11                 | 10             | 182    | 30         | 55     |           | 1.186      |                                                              |
| 12                 | 10             | 181    | 30         | 54     | 33        | 1.230      |                                                              |
| 13                 | 10             | 182    | 40         | 73     | 34        | 1.286      |                                                              |
| 14                 | 10             | 182    | 40         | 73     | 36        | 1.333      |                                                              |
| 16                 | 10             | 182    | 10         | 19     |           | 0.710      |                                                              |
| 17                 | 10             | 184    | 20         | 36     |           | 0.888      |                                                              |
| 18                 | 10             | 184    | 30         | 52.5   | 35        | 1.060      |                                                              |
| 19                 | 10             | 185    | 40         | 68     | 36        | 1.450      |                                                              |
| 15                 |                |        | 50         | 102    | 34        |            |                                                              |
| 20                 | 10             | 185    | 50         | 84     | 39        | 1.599      |                                                              |
| 21                 | 10             | 185    | 60         | 114    | 41        | 1.672      |                                                              |
| 22                 | 10             | 185    | 60         | 110    | 45        | 1.770      |                                                              |



su se ispitivanja morala prekidati kada je napon elektromagneta dostigao vrednosti približno od 192 V.

Iz početnih podataka o struji i naponu na elektrodama pri temperaturi vode u kanalu od 17°C, moguće je naći omsku otpornost elektrolita

$$R_e = \frac{U_e}{I_e} = \frac{17}{5} = 3,40 \Omega.$$

Uvodeći pretpostavku da je otpornost ograničena dimenzijama, moguće je naći specifičnu električnu provodnost morske vode

$$\sigma = \frac{b}{R_e \cdot S} = \frac{0,1}{3,40 \cdot 0,0064} = 4,6 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

gde je:

$b$  — rastojanje između elektroda,  
 $S$  — površina elektroda.

Na kraju ispitivanja kada je morska voda imala temperaturu od 45°C i salinitet oko 4%, omska otpornost elektrolita iznosila je:

$$R_e = \frac{U_e}{I_e} = \frac{110}{60} = 1,833$$

a specifična električna provodnost morske vode iznosi:

$$\sigma = \frac{b}{R_e \cdot S} = \frac{0,1}{1,833 \cdot 0,0064} = 8,522 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

Gustina struje u morskoj vodi može se naći pomoću jednačine:

$$J_v = \frac{I}{S_v}$$

gde je:

$S_v$  — površina elektrode u dodiru sa vodom

$$S_v = 2 \cdot 16 \cdot 2 = 64 \text{ cm}^2.$$

Maksimalna gustina struje u kanalu iznosila je pri struji od 60 A:

$$J_v = \frac{60}{64} = 0,9735 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \text{ ili } 9735 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Jačina električnog polja

$$E = \frac{J}{\sigma} [\text{V/m}]$$

Na kraju ispitivanja električno polje imalo je vrednost

$$E = 9735 / 8,522 = 1.142 \text{ V/m}$$

i tendenciju pada sa porastom temperature vode.

Džulovi gubici u kanalu mogu se dobiti množenjem vrednosti napona i struje na elektrodama

$$P_j = U_e \cdot I_e$$

Snaga ovih gubitaka zavisi od temperature vode u kanalu i to tako da se smanjuje sa porastom temperature, što se vidi iz tabele 1.

Maksimalna Lorencova sila jednog propulzora može se lako naći i iznosi:

$$F_1 = 0,7 \cdot 30 \cdot 0,1 = 2,1 \text{ N.}$$

Lorencova sila oba propulzora duplo je veća i iznosi:

$$F_L = 2 \cdot F_1 = 4,2 \text{ N.}$$

Rezultati merenja brzine strujanja vode u kanalu EM propulzora, saliniteta 10%, prikazani su u tabeli 2. Sistem za akviziciju podataka LDA, je prikazao rezultate merenja grafički na slici 17.

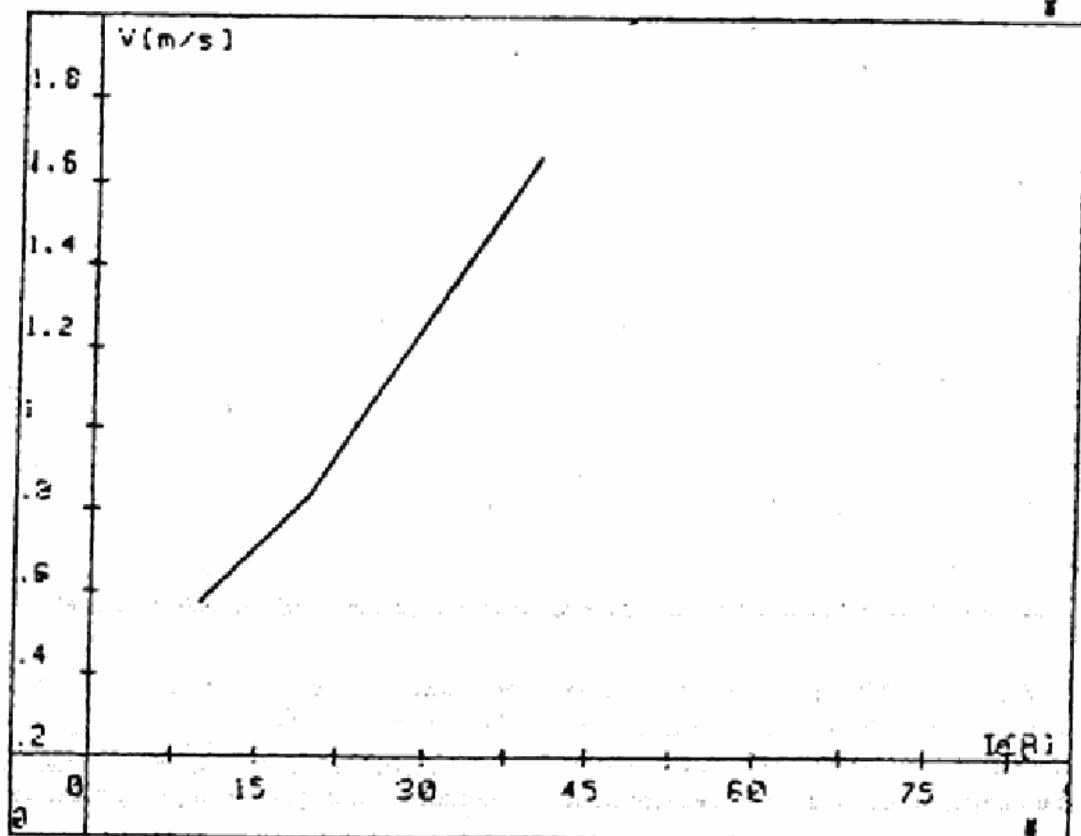
Na slici 18 prikazana je funkcionalna zavisnost brzine strujanja u kanalu od promene magnetne indukcije, kod konstantne struje na elektrodama  $J_e = 20 \text{ A}$ . Jačina struje na elektromagnetu iznosila je 2, 4, 6, 8 i 10 A, pri čemu je ostvarivana magnetna indukcija od 0,19, 0,33, 0,48, 0,62 i 0,7 T za koncentraciju od 6‰.

**Određivanje Lorencove sile stepena električnog delovanja na osnovu rezultata merenja**

Jedna od osnovnih dilema u vezi sa ovom vrstom propulzije odnosi se na stepen korisnosti.

Mada smo od samog početka znali da je električni stepen delovanja sistema za EM propulziju vrlo nizak, odlučio sam da se ovaj ogled napravi radi praktične provere rada i sagledavanja efekata vezanih za tu propulziju. Stepenn korisnosti je bio u drugom planu.

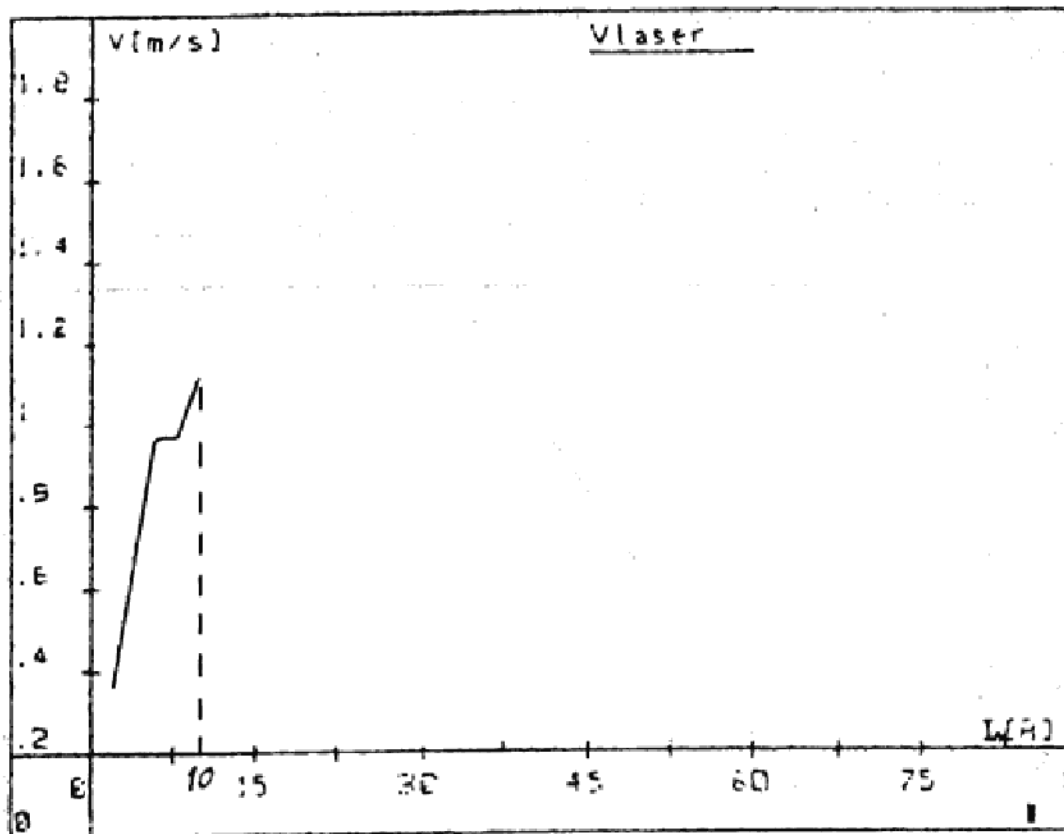
Za sistem sa klasičnim magnetom, kod koga se energija upotrebljena za stvaranje magnetnog polja zanemaruje zbog pretpostavke da će to jednog dana pokrivati superprovodni magnet sa minimalnim gubicima, moguće je na osnovu dobijenih rezultata merenja odrediti i električni stepen delovanja.



SL 17 — Brzina fluida merena pomoću LDA

Tabela 2

| Redni broj | Elektromagnet |              | Elektrode    |              | Temperatura vode<br>C | Brzina vode LDA<br>m/s |
|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|
|            | $I_m$<br>(A)  | $U_m$<br>(V) | $I_e$<br>(A) | $U_e$<br>(V) |                       |                        |
| 1          | 10            | 150          | 10           | 20           | 12                    | 0,576                  |
| 2          | 10            | 152          | 20           | 28           | 15                    | 0,845                  |
| 3          | 10            | 154          | 30           | 34           | 21                    | 1,266                  |
| 4          | 10            | 156          | 40           | 38           | 25                    | 1,667                  |



Sl. 18 — Brzina fluida u kanalu u funkciji promene jačine struje u elektromagnetu

Ako se električni stepen delovanja posmatra na dobro poznati način kao odnos korisne Lorencove i ukupne uložene snage, može se numerički dobiti iz

rezultata merenja, koristeći rezultate prikazane u tabeli 3.

Tabela je proširena sa još nekim kolonama radi preglednijeg prikaziva-

salinitet 3%,  $B \approx 0,7$  T

Tabela 3

| Redni broj | Struja elektroda<br>$I_e$<br>(A) | Napon elektroda<br>$U_e$<br>(V) | Lorenco-<br>va sila<br>$F_L$<br>(N) | Brzina<br>fluida<br>$V_{LDA}$<br>(m/s) | Električ-<br>ni stepen<br>delovanja<br>$\eta_e$<br>% | Re broj |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|---------|
| 1          | 10                               | 19                              | 0,70                                | 0,710                                  | 2,61                                                 | 22187   |
| 2          | 20                               | 36                              | 1,40                                | 0,888                                  | 1,73                                                 | 27750   |
| 3          | 30                               | 52                              | 2,10                                | 1,060                                  | 1,43                                                 | 33125   |
| 4          | 40                               | 68                              | 2,80                                | 1,450                                  | 1,50                                                 | 56096   |
| 5          | 50                               | 93                              | 3,50                                | 1,599                                  | 1,20                                                 | 61860   |
| 6          | 60                               | 112                             | 4,20                                | 1,721                                  | 1,08                                                 | 66580   |

nja. Lorencova sila  $F$  izračunata je pomoću poznate formule:

$$F_L = B \cdot I_e \cdot b,$$

gde je:

$B$  — mag. indukcija,

$I_e$  — struja na elektrodama i

$b$  — razmak elektroda.

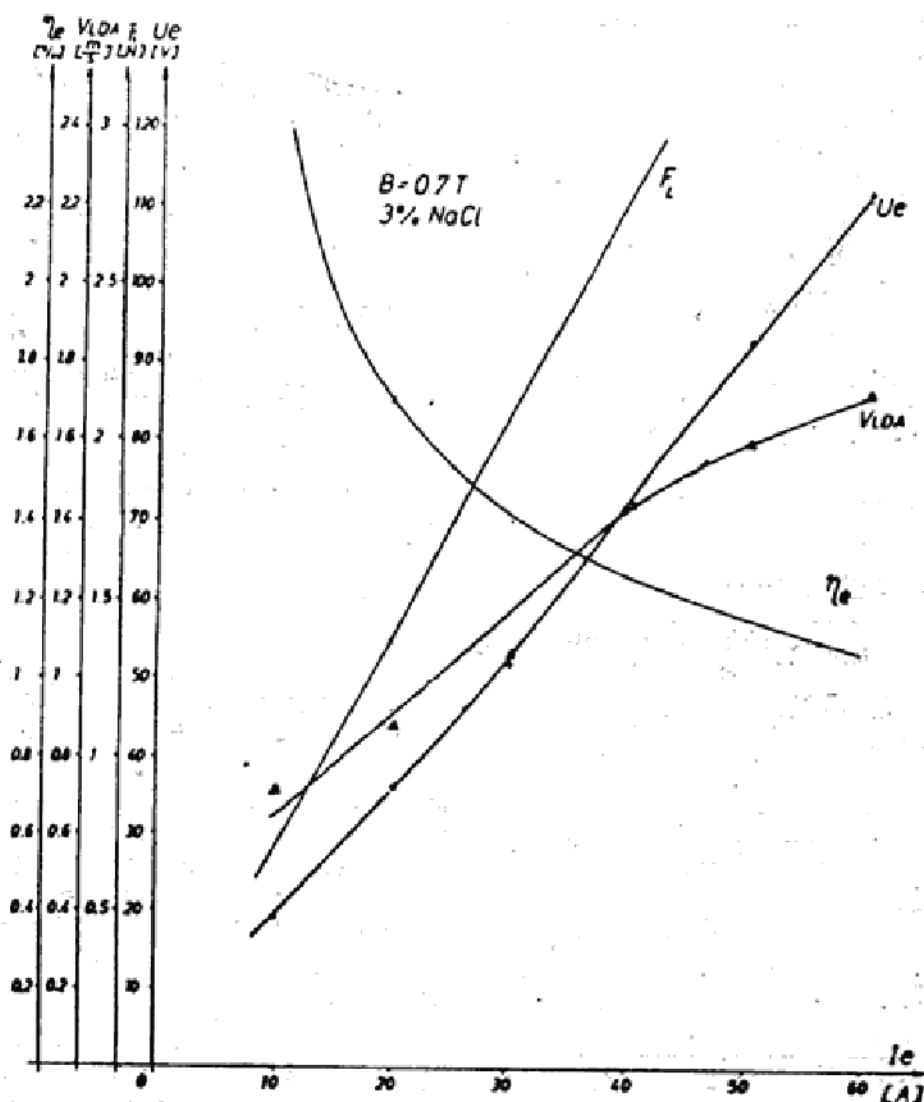
Električni stepen delovanja sistema može se predstaviti jednačinom:

$$\eta_e = \frac{F_L \cdot V_{LDA}}{I_e \cdot U_e}$$

gde je:

$V_{LDA}$  — brzina izmerena Laser Dopler anemometrom,

$I_e$  i  $V_e$  — struja elektroda.



Sl. 19 — Izmereni električni stepen delovanja EM propulzije

Na slici 20 prikazana je zavisnost brzine strujanja u kanalu u funkciji Lorencove sile.

Približno se može odrediti i stepen delovanja mlaza, kao mera gubitaka u modelu kanalnog propulzora. Ako za brzinu strujanja u kanalu napišemo poznati izraz

$$v_k = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \frac{T}{m}} l,$$

gde je  $T$  — uslovno gledano sila poriva propulzora,  $m$  — masa vode u propulzoru i  $l$  — dužina propulzora i  $v_k$  — brzina vode u kanalu, koju za potrebe ovog proračuna uzimamo kao izmerenu brzinu  $V_{LDA}$ , možemo izračunati silu poriva  $T$ .

Sila poriva je:

$$T = \frac{m \cdot V_{LDA}^2}{2 \cdot l}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho a \cdot b \cdot l = 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 = 0,033 \text{ kg}$$

gde je:

$a$  — visina,

$b$  — širina i

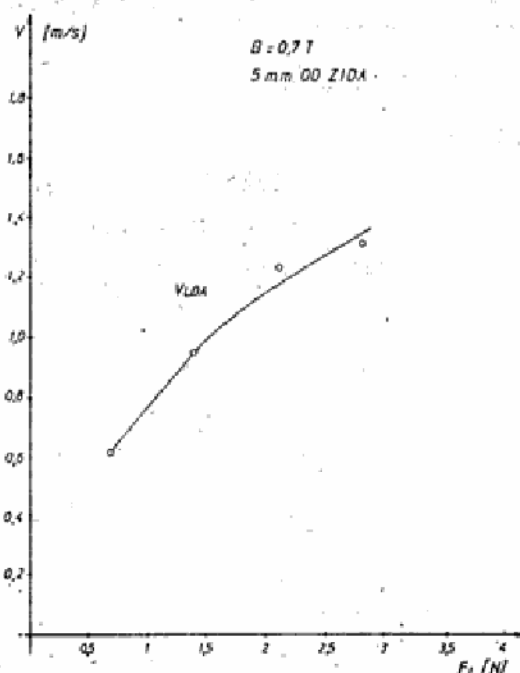
$l$  — dužina kanala

$$T = \frac{0,033 \cdot V_{LDA}^2}{0,32} = 1,03 \cdot V_{LDA}^2$$

Stepen delovanja mlaza možemo, za model EM propulzora, izraziti kao odnos:

$$\eta_m = \frac{T \cdot v_k}{F \cdot v_k} = \frac{T \cdot V_{LDA}}{F V_{LDA}} = \frac{T}{F}$$

Koristeći imenovane vrednosti za  $V_{LDA}$  i Lorencove sile  $F$  iz tabele 3 dobijaju se sledeće vrednosti za  $\eta_m$ , koje su prikazane u narednoj tabeli:



Sl. 20 — Brzina morske vode na distanci 5 mm od zida kanala

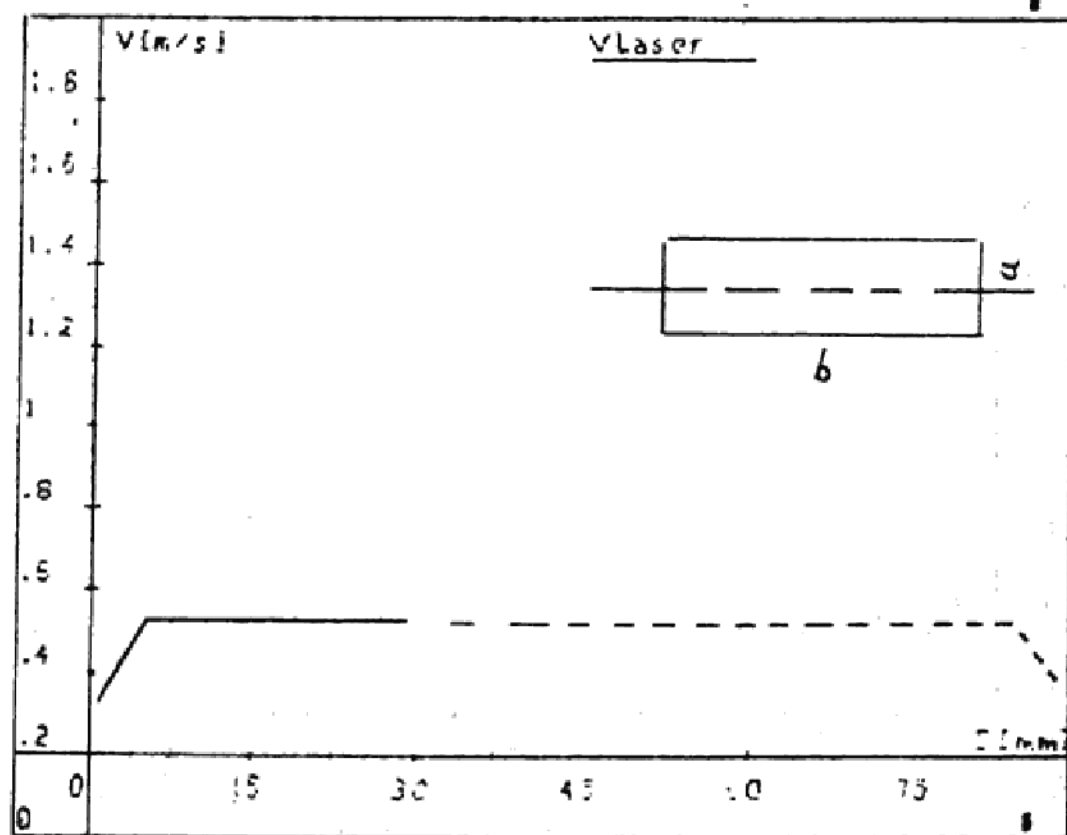
Iako je ova metoda približna, rezultati mogu da ukažu orijentaciono na moguće vrednosti i meru gubitaka u modelu kanalnog propulzora.

### Merenje profila brzina u kanalu

Po izvršenoj proverbi sistema LDA za akviziciju podataka i njihovo grafičko predstavljanje, programski je zadana prava, simetrala kanala i tačke na kojoj su udaljene od bočne ivice kanala: 1, 5, 10, 15, 20, 25 i 30 mm. Rezultati su prikazani u tabeli 4, a zatim na slici 21.

|                 |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $V_{LDA}$ (m/s) | 0,710 | 0,888 | 1,060 | 1,450 | 1,599 | 1,721 |
| $F$ (N)         | 0,70  | 1,40  | 2,10  | 2,80  | 3,50  | 4,20  |
| $T$ (N)         | 0,52  | 0,81  | 1,15  | 2,16  | 2,51  | 3,05  |
| $\eta_m$        | 0,7   | 0,58  | 0,56  | 0,77  | 0,72  | 0,73  |

| Horizontalna udaljenost od stene kanala | 1    | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    |
|-----------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Brzina vode u kanalu                    | 0,35 | 0,527 | 0,527 | 0,527 | 0,527 | 0,527 | 0,527 |



Sl. 21 — Horizontalni profil brzina u kanalu

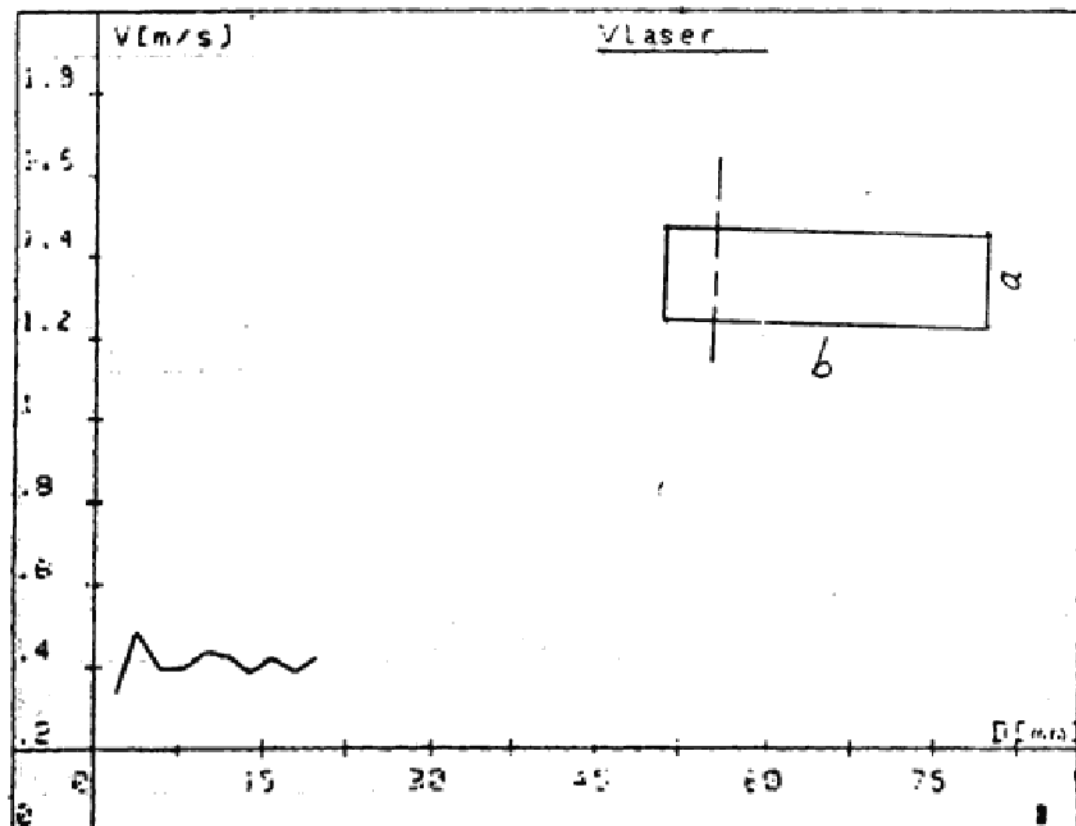
Zbog uslova merenja (primena pleasi stakla za kanal umesto kvalitetnog stakla) horizontalni profil brzine nije mogao biti izmeren do polovine preseka (0—50 mm), već samo do 35 mm od bočne stene kanala.

Prema dobijenim vrednostima za brzinu u tabeli 4 i snimljenom delu profila brzine na slici 21 može se pretpostaviti da će ukupni profil imati oblik koji je isprekidanom linijom pri-

kazan na datoj slici. Polazeći od prikazanog oblika profila strujanja kanala, za sve proračune je uzimano da je izmerena brzina  $V_{LDA}$  jednaka približno srednjoj brzini  $v_k$ .

U tabeli 5 i na slici 22 prikazani su rezultati merenja vertikalnog profila brzina u kanalu EM propulzora, na udaljenosti 10 mm od bočne strane kanala.

| Vertikalna udaljenost od stene kanala | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Brzina vode u kanalu                  | 0,342 | 0,487 | 0,385 | 0,395 | 0,436 | 0,422 | 0,389 | 0,422 | 0,383 | 0,422 |



Sl. 22 — Vertikalni profil brzina u kanalu

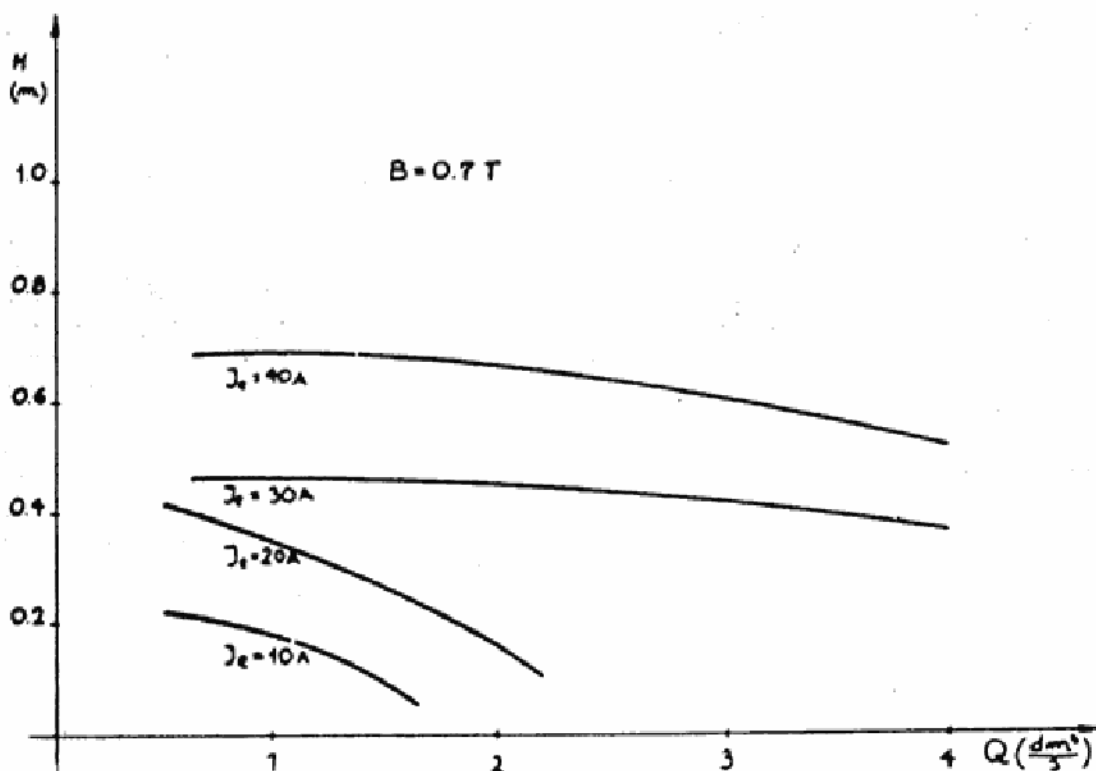
### Određivanje Q-H karakteristike EM propulzora

Određivanje karakteristike kanalnog propulzora izvršeno je prigušivanjem protoka u kanalu kod konstantnog režima rada, tj. kod konstantne jačine struje na elektrodama i konstantne magnetne indukcije. Merenja su provedena za četiri režima rada EM propulzora, s tim što je magnetna indukcija  $B$  ostajala konstantna ( $B=0,7$  T), a varirana je jačina struje na elektrodama (10, 20, 30, 40 A).

Prigušenjem je ostvarivan protok kroz 80, 50 i 20% površine kanala, pri čemu je merena brzina. Veličina protoka  $Q$  ( $m^3/s$ ) proračunata je iz poznate brzine i površine preseka kod pojedinih prigušenja. Iz izmerene razlike pritiska ispred i iza prigušenja  $\Delta p$  izračunata je karakteristika

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

Rezultati merenja su prikazani na slici 23.



Sl. 23 — Q-H karakteristika EM propulzora

### Promene smera strujanja vode u EM propulzoru i regulacija brzine vode

Mada je iz vektorske jednačine

$$\vec{F} = I \times \vec{B} \quad b$$

jasno da će do promene smera Lorencove sile ( $F$ ) doći ukoliko se promeni smer struje ( $I$ ) između elektroda čije je rastojanje  $b$  ili promeni smer magnetne indukcije ( $B$ ), tj. promeni smer struje kroz elektromagnet, ovaj test je napravljen da bi se to praktično proverilo.

Jasno je da se istovremenom promenom smera struja na elektrodama i u elektromagnetu u vodi neće ništa bitno promeniti, jer vektorski proizvod ostaje isti.

I pored toga što je za promenu smera strujanja vode u kanalu EM pro-

pulzora irelevantno da li se menja smer struje kroz elektrode ili kroz elektromagnet iz praktičnih razloga, eksperiment je proveden promenom smera struje u elektromagnetu.

Test je počeo dovodenjem EM propulzora u režim rada pri magnetnoj indukciji od 0,7 T i struje od 30 A između elektroda i izmerena brzina strujanja vode u kanalu. Zatim je promenjen smer struje u elektromagnetu i pri istim električnim parametrima ( $B = 0,7$  T i  $I_e = 30$  A) izmerena je brzina vode u kanalu.

Brzina je bila ista kao u prethodnom slučaju. Ova činjenica je vrlo važna i nesumnjivo je velika prednost EM propulzora u odnosu na ostale vrste propulzora. Posebno što je praktična izvedba prekreta vrlo jednostavna. Pod preketom rada podrazumevamo promenu smera strujanja vode u kanalu, što analogno vijčanom propulzoru odgovara vožnji napred i nazad.



## Kratka analiza rezultata

Razmatranjem rezultata ispitivanja uočava se sledeće:

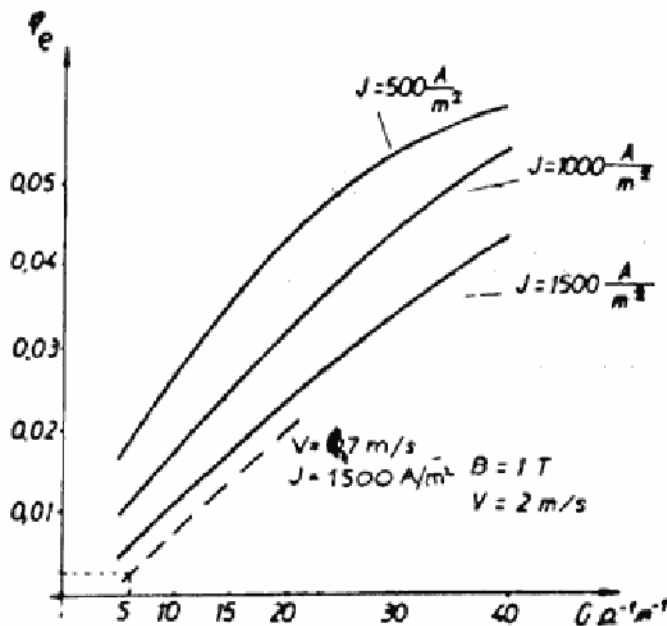
— povećanje struje između elektroda do 60 A postiže se linearnim povećanjem napona na elektrodama do 112 V kod koncentracije NaCl od 3% u vodi propulzora;

— kao što je i očekivano, u toku rada modela propulzora, zbog ograničene količine morske vode koja je stalno služila kao radni medij, varirala je specifična provodljivost  $\sigma$ , zbog zagrevanja vode. Ova pojava kod realnog propulzora neće biti od uticaja, budući da će radni medij biti stalno »sveža« morska voda;

— sa slike 17 i 18, gde je prikazana funkcionalna zavisnost brzine vo-

— stepen električnog delovanja  $\eta_e$  kod modela EM propulzora je vrlo nizak, kako je to u teoretskom razmatranju i dato. Eksperiment je to i dokazao.

Na slikama 24, 25 i 26 prikazani su dijagrami, teoretski proračunati, gde su, u isprekidanim linijama, preračunati podaci sa modela propulzora i ucrtane odgovarajuće krive. Očitane vrednosti, sa ovih kriva, za  $\eta_e$ , podudaraju se sa vrednostima dobijenim eksperimentalnim istraživanjima. Električni stepen delovanja modela EM propulzora iznosi nekoliko promila. No, cilj eksperimentalnog istraživanja nije bio njegovo utvrđivanje, već provera uticaja pojedinih parametara na veličinu Lorenccove sile, odnosno na stepen električnog delovanja.



Sl. 24 — Uticaj provodljivosti medija na  $\eta_e$ .

de u propulzoru od jačine struje na elektrodama (sl. 17) i struje kroz elektromagnet (sl. 18), veoma jasno je izražen bitan uticaj jačine struje kroz elektromagnete, što ukazuje i usmerava u kom pravcu treba ići u daljem istraživanju;

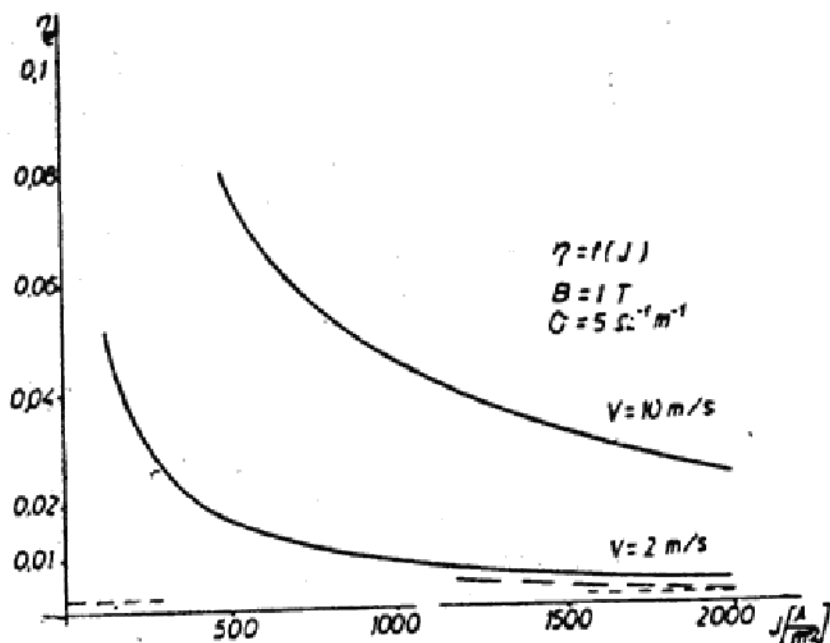
Na sl. 19 jasno se vidi, prema mernim brzinama vode u kanalu, da u daljim istraživanjima i konstrukcijama propulzora treba ići na što manje jačine struje na elektrodama, zbog toga što sa jačom strujom  $\eta_e$  naglo opada.

Na osnovu podataka iznetih u radu, mogu se izvesti sledeći zaključci:

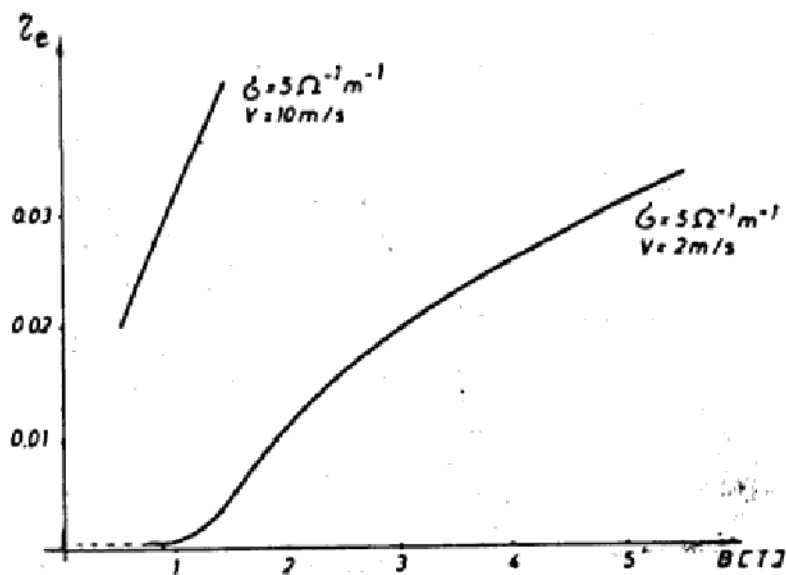
— napravljen je prvi model elektromagnetnog propulzora kanalnog tipa kod nas, na kome su izvršena merenja radnih parametara.

Osnovne karakteristike modela su:

- efektivna vrednost magnetne indukcije 0,7 T,
- gustina struje u kanalu 9.735 A/m<sup>2</sup>,
- efektivna zapremina jednog propulzora 0,0032 m<sup>3</sup>.



Sl. 25 — Uticaj struje na elektrodama na  $\eta_e$



Sl. 26 — Uticaj magnetne indukcije na  $\eta_e$

— ukupna Lorencova sila ( $2 \times 2,1$ ) 4,2 N,  
— presek kanala pravougaoni,  
— obim kanala (kružni) — trka-  
lišće,

— količina vode u kanalu 5,6 l,  
— brzina vode u kanalu (maksimalna) 1,72 m/s;

— provedena merenja su potvrdila rezultate teorijskih razmatranja i osnovne pretpostavke u njima;

— električni stepen delovanja modela je vrlo nizak i računat je bez gubitaka i elektromagneta. Međutim, ukazano je na parametre, koje treba poboljšati da bi ovaj stepen delovanja bio viši. Povećanje vrednosti magnetne indukcije i smanjenje vrednosti jačine struje na elektrodama mogli bi učiniti ovu vrstu propulzije realnom za primenu.

Prema dostupnim podacima u svetu su postignute vrednosti magnetne indukcije i do deset puta veće od one koja je postignuta na modelu; u tom slučaju se stepen delovanja povećava za nekoliko stotina puta u odnosu na model;

— započeta eksperimentalna istraživanja treba nastaviti sa postojećim elektromagnetom i posebno koncipiranim kanalom (izrada od stakla). Posebno se mora istražiti uticaj EM propulzije na talase broda, dalja izučavanja strujanja, hemijske gubitke, i dr.

### Osvrt na istraživanje EM propulzije u svetu

U uvodnom delu članka naznačeni su pravci razvoja EM propulzije u svetu, dat je kratki prikaz istraživanja i literatura. Detaljniji prikaz bi zahtevao više prostora, pa i poseban članak, s obzirom na tendencije razvoja superprovodnih materijala, a time veće izvesnosti primene EM propulzije na brodovima.

Na ovom problemu, u svetu, radi se poslednjih 30 godina. Ranije prog-

noze o niskoj efikasnosti i neprihvatljivim gabaritima i težinama su, unekoliko, ublažene pojavom superprovodnih magneta i pripadne prateće tehnologije.

Najraniji zapis o EM propulziji objavio se 1961. J. B. Friauf (lit. 1) bio je praćen patentom Rice (lit. 2) i člankom O. M. Philipis (lit. 3). Zaključak navedenih radova bio je da niska provodnost morske vode i raspoloživa gustina magnetnog polja limitiraju stepen korisnosti ovog sistema na, približno, 10% i zahtevaju velike gabarite i težinu sistema. Interesantno je napomenuti da postoje indicije da je mornarica USA vršila, još 1943. eksperimente sa MHD propulzijom i klasičnim magnetima. Zbog velike težine magneta i slabog magnetnog polja rezultati eksperimenta bili su prilično obeshrabrujući. U 1963. godini R. A. Doragh (lit. 4) u razmatranje je uveo superprovodne magnete od 10 T sa magnetnom indukcijom (nivo koji, u to vreme, nije bio dostižan) u EM propulziju i prognozirao stepen korisnosti od 60%. Zajednički zaključak koji se može izvući iz tih, prvih, radova je da tehnologija, posebno tehnologija velikih superprovodnih magneta, nije bila adekvatna da bi podržala mogući EM propulzor.

Situacija je ostala ista 1978. kada je Hummert (lit. 5) došao do istog zaključka. U 1966. godini S. Wav (lit. 6) razvio je prvi model broda EMS-1 sa klasičnim elektromagnetom i to je uspešno ispitao na kalifornijskoj obali. Rezultati su ukazivali na neophodnost veće gustine magnetskog polja.

U periodu između 1975. do 1985. investirano je mnogo u raznovrsnu primenu superprovodnih magneta u USA, kao što je magnetsko ograničenje fuzije, razvoj akceleratora, razvoj superprovodnih sinhronih generatora, razvoj homopolarnih motora i, kao najvažnije, EM propulzora. Ove aktivnosti su ubrzale razvoj superprovodnih materijala, velikih superprovodnih magneta, elektroda, rashladnih sistema podrške, i sl.

Danas se u Americi intenzivno radi na EM propulziji, tako da je u »Argonne National Laboratory« izrađen u svetu najveći superprovodni magnet SCMS-2 gustine magnetskog fluksa 6T u osi unutrašnjeg prečnika 1 m i dužine oko 7 m sa zadatkom da se stvore operacioni i eksploatacioni podaci pomoću kojih bi se ustanovila mogućnost, izrade brodskih propulzora u prirodnoj veličini.

U Japanu su razmišljanja o EM propulziji počela tek pojavom superprovodnika II vrste koji su omogućili stvaranje magneta sa većim magnetnim poljem. Prvi superprovodni model broda SEMO-- sagrađen je 1976. (lit. 7). U 1985. Sasakawa fondacija je započela R&D projekt razvoja praktične tehnike za EM brodsku propulziju i EM konstrukciju eksperimentalnog broda, kako bi se demonstriralo da se brod stvarno može pogoniti sa EM propulzorima. Rezultat toga je izrada eksperimentalnog broda koji je nazvan »Yamato-1« čija probna vožnja je obavljena 1992.

### Opšte o projektu YAMATO-1

Ovaj projekat je (prema lit. 9) obuhvatio:

- razvoj lakog, kompaktnog i snažnog superprovodnog magneta;
- razvoj lakog kriostata;
- razvoj lakog i kompaktnog helijumskog rashladnika za montažu na brodu;
- razvoj lakog magnetskog štita;
- teoretska studija korisnosti MHD propulzije;
- projektovanje najpogodnije brodske forme;
- razmatranje pravila o gradnji ovakvih brodova.

Pored nabrojenog predviđeno je da su u narednom periodu obrade i sledeći problemi:

— poboljšanje hemijskih i/ili mehaničkih osobina elektrolita radi povećanja električne provodljivosti morske vode;

— gorive ćelije za pomorsku upotrebu;

— primena  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  i visokotemperaturnih superprovodnika;

— primena superprovodnih provodnika za razvođenje električne energije.

Japanski autori su odlučili da na eksperimentalnom brodu »Yamato-1« primene zatvoreni tip propulzora sa istosmernom strujom i to su opravdali razlozima koje citiramo iz rada prof. Motore i ostalih izloženih na simpozijumu (lit. 8).

»Naizmenični tip propulzora nije razmatran iz razloga što u ovom momentu superprovodne magnetske namotaje sa naizmeničnom strujom nije za sada moguće konstruisati.

Kako su radovi prof. Iwata i Saji (lit. 9 i 10) bili bazirani na otvorenom tipu propulzora, Komitet je, u prvoj fazi, razmatrao ovaj tip propulzora. Međutim, u slučaju otvorenog tipa, jako magnetsko polje deluje van broda i može uticati na susedne plovne objekte. Pored toga, u skladu sa teoretskim proračunima (lit. 11) brzina fluida pod delovanjem Lorencove sile je maksimalna na oplati broda, gde je i efekat trenja takođe najveći, i opada naglo udaljavanjem od oplata.

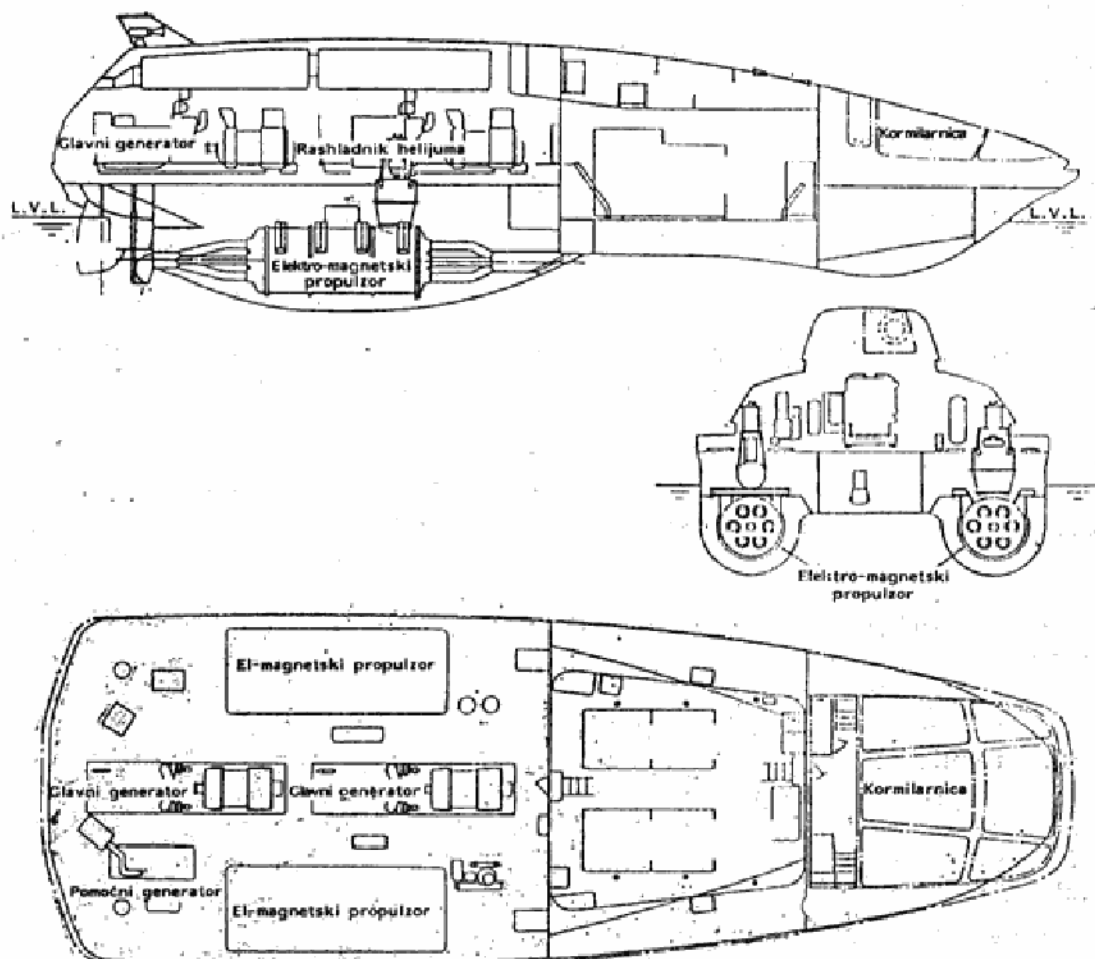
Imajući sve ovo u vidu, Komitet je odlučio da primeni zatvoreni tip propulzora sa istosmernom strujom.

Treba naglasiti da analize i proračune koje je obavio istraživački tim Instituta tehničkih nauka SANU (lit. 12) u dobroj meri demantuje navedene razloge.

Dimenzije ovog broda su:

— dužina preko 30.00 m

- |                                |             |                                           |                                     |
|--------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| — dužina između perpendikulara | 26.40 m     | — max. magnet. fluks                      | 4 T                                 |
| — širina                       | 10.00 m     | — ukupna dužina kanala/dužina pravog dela | 3884/2950 mm                        |
| — gaz                          | 2.60 m      | — unutarnji dijametar kanala EMP          | 360 mm                              |
| — deplasman                    | 180 tona    | — dužina/širina/površina jedne elektrode  | 3400 mm/130 mm/0.442 m <sup>2</sup> |
| — instalisana snaga            | 2×2000 kW   |                                           |                                     |
| — brzina broda                 | oko 8 čvor. |                                           |                                     |
- Karakteristike MHD propulzora su:
- |                        |       |                           |             |
|------------------------|-------|---------------------------|-------------|
| — broj propulzora      | 2 kom | — razmak između elektroda | 0.175 m     |
| — broj jed. propulzora | 6 kom | — strujno opterećenje     | 2000 A (DC) |



Sl. 27 — Generalni plan YAMATO I

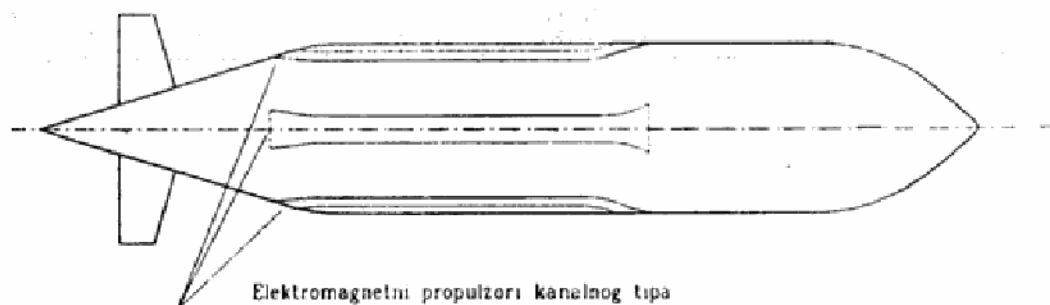
|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| — gustina struje          | 4500 A/m <sup>2</sup> |
| — elektrolizni napon      | max. 200 V            |
| — max. brzina elektrolita | 5 m/s                 |

Na slici 27 prikazan je generalni plan izrađenog broda YAMATO I.

U SAD se dosta istražuje mogućnost primene EM propulzije na podmornicama (lit. 13). Napravljen je probni

stalacije za održavanje tih temperatura oko elektromagnetnog kanalnog propulzora.

Istraživanja superprovodnih materijala u svetu se intenzivno nastavljaju zbog toga što bi pronalazak materijala sa superprovodnim osobinama, na temperaturi okoline, izazvao novu tehnološku revoluciju. Jedna od primena tak-



Sl. 28 — EM propulzor na podmornici

propulzor, gde se očekuje magnetna indukcija do 6 T. Ovakav propulzor bi se mogao ugraditi na već postojećoj podmornici uz vrlo male konstruktivne zahteve. Naime, kod ugradnje nije potrebno dirati čvrsti trup podmornice, osim dva prolaza za kablove.

Izgled podmornice sa ugrađenim EM propulzorima prikazan je na slici 28.

## Zaključak

Elektromagnetna propulzija, kao radikalna novina u brodograđevnoj teoriji i praksi, u proteklih 20—25 godina je prošla put od negiranja njene perspektivnosti do povećanja interesa i ulaganja u dalja istraživanja, kako teoretska, tako i eksperimentalna.

Eksperimenti se sada provode sa superprovodnicima, koji superprovodne osobine imaju na niskim temperaturama (oko 4° K), što zahteva posebne in-

vog materijala svakako bi bila izrada navojaka elektromagneta za EM propulzore.

Prema objavljenim podacima i kod nas se sa primentnim uspehom istražuju superprovodni materijali.

Teoretska i eksperimentalna istraživanja EM propulzije provode se u našoj zemlji bez tendencija da se postignu spektakularni rezultati već da se »drži veza sa svetom«.

Držanje koraka sa svetom podrazumeva stvaranja preduslova da, ukoliko dođe do primene ove propulzije, budemo spremni da je samostalno projektujemo i izvodimo uz nabavku superprovodnih materijala. Posebno treba naglasiti da će nova vrsta propulzije zahtevati od projektanta brodova novi pristup u rešavanju problema otpora i propulzije izbora forme broda, nova konstruktivna rešenja, i drugo.

# Literatura:

- [1] J. B. Friauf »Electromagnetic Ship Propulsion«, ASNE J. febr 1961.
- [2] Rice (U. S. Patent 2,997,013 Aug. 22 61)
- [3] O. M. Phillips »The Prospects for MHD Ship Propulsion J. Ship Res. Vol. 5, No 4 Mar. 1962).
- [4] R. A. Doragh (Magnetohydrodynamic Ship propulsion Using Superconducting Magnets« SNAME Trans. Vol. 71 1963.
- [5] Hummert »An Evaluation of Direct Current Electromagnetic Propulsion in Seawater ONR-CR 168-007-1 jul 79.)
- [6] Way S. Devlin C. Prospects for the Electromagnetic Submarine, Paper 67-432 ALAA 1967.
- [7] Y. Sayi, Kitano, Mand, Iwata, Basic Study of Superconducting Electromagnetic Thrust Device for Propulsion in Sea-water, Adv. Cryo. Eng Vol. 23, 1978, pp 159-169.
- [8] An Outline of the R&D Project on Superconducting MHD Ship Propulsion in Japan S. Motora, K. Imaichi, M. Nakato, S. Takezawa MHDS Symposium 29-31 octoner Kobe, Japan.
- [9] Iwata, Saji Construction of Model Ship ST-500 with Superconducting Electromagnetic Thrust Sysatem, Proc. ICEC 1980.
- [10] Iwata, Saji, Theoretical Study of Superconducting Electromagnetic Ship Propulsion 5TH Lips Propeller Sympostum May 1983.
- [11] L. Mitchell and Gubser »Magnetohydrodynamic Ship Propulsion with Superconduction Magnets« Journal of Superconducting Science and Technology Vol.1 1988.)
- [12] Some Results of the MHD Propulsion Research in Yugoslavia, autori L. Bilen, M. Hofman, Z. Nikolić, Z. Petrović, N. Đorđević, Sympostum 29-31 octoner Kobe, Japan.
- [13] MHDS 91, 29-31 October, 1991. Kobe, Japan.

## PROGRAMSKI SISTEM ZA ODREĐIVANJE PROIZVODNE RADNE SNAGE REMONTNIH JEDINICA I USTANOVA VJ

### I deo

U radu je prezentiran programski sistem koji omogućava egzaktno proračun potrebnog broja izvršilaca poslova tehničkog održavanja na pojedinim nivoima u miru i ratu, a na osnovu šeme oslanjanja, materijalne formacije oslonjenih jedinica i normativa vremena za održavanje pojedinih TMS. Osim ove osnovne namene, programski sistem omogućava izvođenje simulacija radi prognožiranja ličnog sastava u pretpostavljenim uslovima.

### Uvod

Poznato je da organizacijsko-formacijska struktura remontnih jedinica i ustanova može ispoljiti znatan uticaj na blagovremenost i efikasnost remonta TMS, a time, u krajnjoj liniji, i na borbenu gotovost jedinica čija se TMS kod njih remontuju. To nameće potrebu za kritičkim preispitivanjem postojećih organizacijsko-formacijskih rešenja remontnih jedinica i ustanova uvek kada se menjaju šema oslanjanja po remontu, materijalne formacije oslonjenih jedinica ili se revidiraju normativi vremena potrebnog za remont pojedinih TMS. U navedenim slučajevima trebta iznaći takve organizacione forme i adekvatni lični sastav remontne jedinice ili ustanove, koje će, u konkretnom slučaju, omogućiti brže, lakše, jednostavnije i ekonomičnije izvršavanje osnovne funkcije za koju su namenjene.

Računarski programski sistem, koji je prikazan u ovom članku, pruža mogućnost optimizacije ličnog sastava proizvodne radne snage u smislu broja i vrste neophodnih vojnoevidencionih specijalnosti (VES). Intutivne procene ili ručni proračuni često su nerealni ili spori i teško se prilagođavaju novonastalim potrebama, koje se javljaju zbog

kvantitativnih i kvalitativnih promena materijalnih formacija oslonjenih jedinica, promene šeme oslanjanja po remontu, promene odnosa TMS u eksploataciji i u RR-u, promene normativa vremena za remont TMS, i sl.

### Vodeći program i programi za »manipulisanje« podacima

Vodeći program omogućava korisniku lako i jednostavno korišćenje programskog sistema, tako što povezuje sve ostale programe u jednu celinu i njihovo pozivanje na izvršavanje. Korisniku se nudi glavna meni-lista iz koje se bira jedna od sledećih opcija:

- 0 — kraj korišćenja programskog sistema;
- 1 — dodavanje slogova u ulazne datoteke;
- 2 — promene sadržaja postojećih slogova;
- 3 — brisanje određenih slogova iz ulaznih datoteka;
- 4 — listanje sadržaja ulaznih datoteka, i
- 5 — proračun proizvodne radne snage.

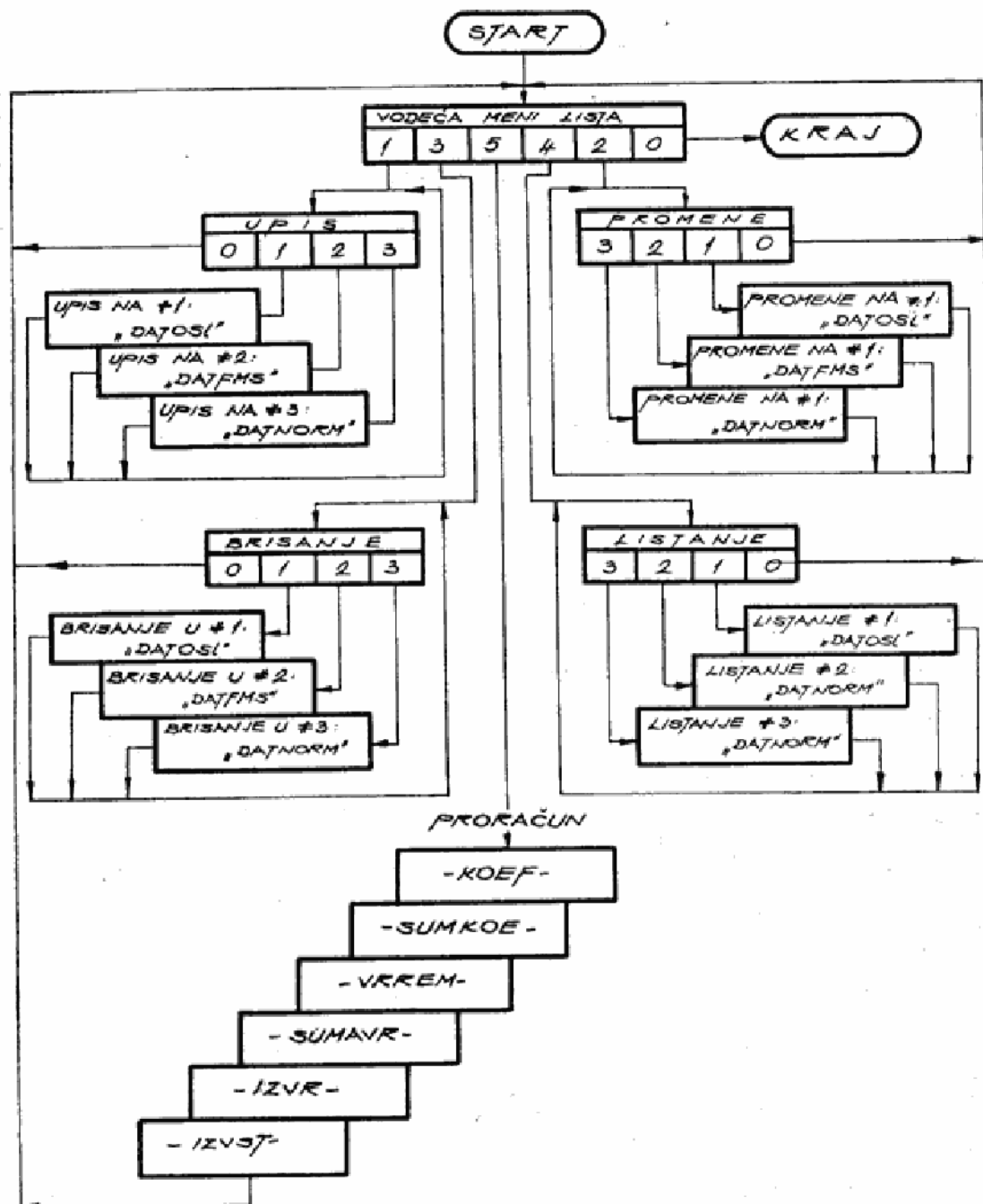
Izborom opcija (1), (2), (3) ili (4) dobijaju se posebne meni-liste preko ko-



jih je moguć izbor jedne od ulaznih datoteka (#1, #2 ili #3) za ranije odabranu manipulaciju sa podacima. Povratak na vodeći program vrši se izborom opcije (0).

## Datoteke ulaznih podataka

Ulazni podaci koje zahteva programski sistem smešteni su u tri datoteke i to na: DATOSL — datoteku os-



Sl. 1 — Blok dijagram programskog sistema

lanjanja po remontu; DATFMS — datoteku sledujućih formacijskih materijalnih sredstva i DATNORM — datoteku normativa vremena za remont.

Polazeći od potrebe da programski sistem treba da omogući proračun proizvodne radne snage remontnih jedinica i ustanova za laki i srednji remont (LR i SR) u miru i ratu, a imajući u vidu specifičnosti mirnodopske i ratne organizacije remonta, kreirana je datoteka oslanjanja po remontu DATOSL sa sledećim sadržajem sloga:

- ŠIF1 — šifra jedinice ili ustanove za SR u miru ili, ratu;
- V1 — vid remonta jedinice za SR (2 = mir, 5 = rat);
- ŠIF2 — šifra jedinice za tehničko održavanje (TOd) u miru ili ratu na nivou puka-brigade;
- V2 — vid remonta jedinice ili ustanove za TOd na višem nivou (1 = TOd u miru, 4 = TOd u ratu na nivou puka-brigade);
- ŠIF3 — šifra jedinice za TOd u ratu na nivou bataljona-divizionara;
- ŠIF4 — šifra oslonjene jedinice;
- KLAS — klasa oslonjene jedinice (A, B, R).

Nivo TOd u miru treba shvatiti kao fikciju koja je nužna zbog jedinstvenog tretiranja remonta u miru i ratu. Tako će se TOd u miru tretirati kao vid remonta sa oznakom (1) — na višem nivou (postojećem) i (0) — na nižem nivou (fiktivnom).

Datoteka formacijskih materijalnih sredstva DATFMS oslonjenih jedinica treba da ima sledeći sadržaj sloga:

- ŠIF — šifra oslonjene jedinice;
- FMS — firma formacijskog materijalnog sredstva FMS u oslonjenoj jedinici.
- KOL — sledujuća količina FMS u oslonjenoj jedinici.

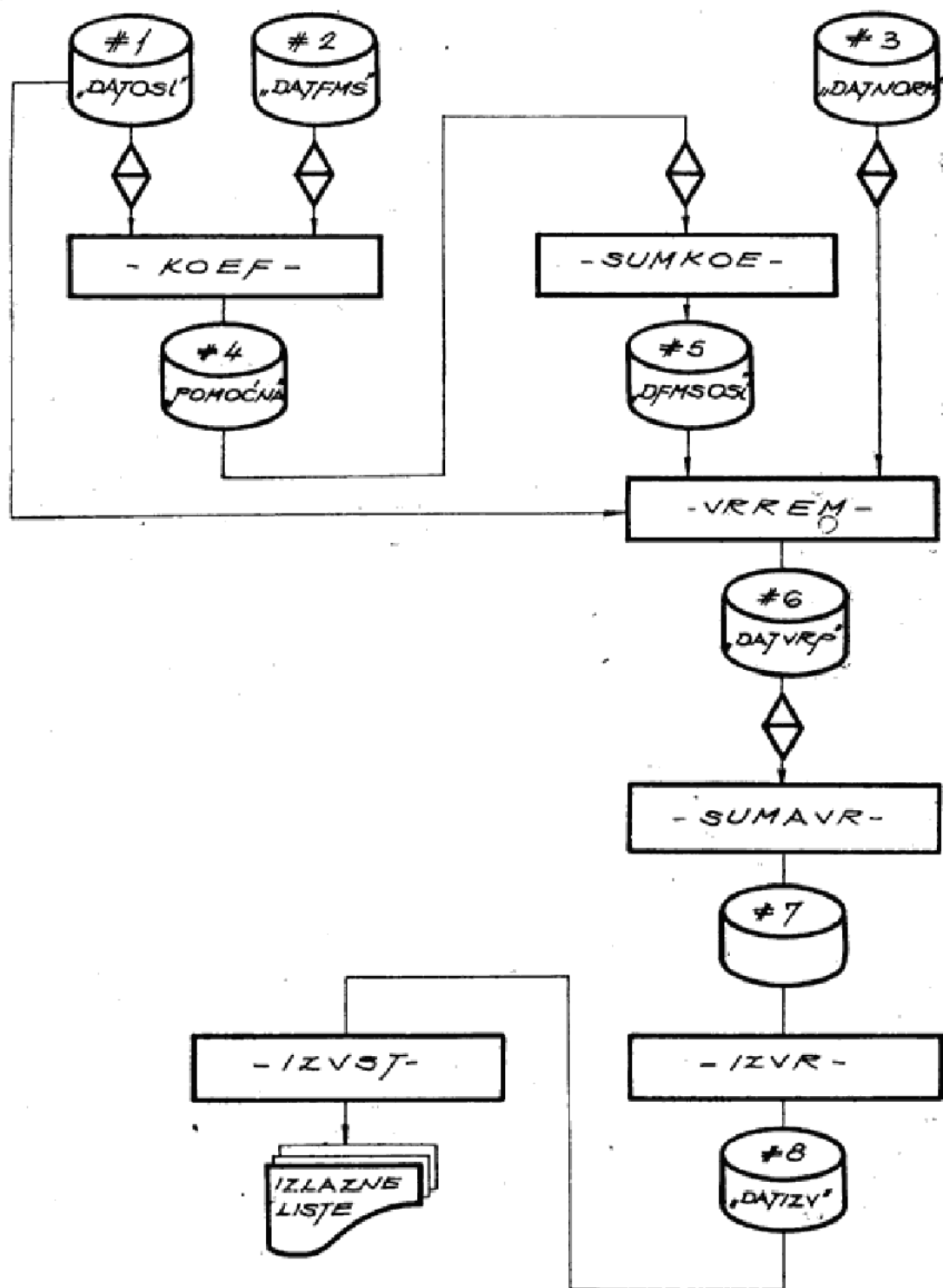
Datoteka normativa vremena DATNORM, koja se može formirati na način kako je to opisano u [1], treba da ima sledeću strukturu sloga:

- FMS1 — šifra formacijskog materijalnog sredstva;
- VES — vojnoevidencionarna specijalnost;
- N1 — potreban broj norma-časova za TOd FMS u eksploataciji;
- N2 — potreban broj norma-časova FMS u ratnoj rezervi;
- K1 — koeficijent zastupljenosti kvalifikovanih civilnih lica za TOd u miru;
- N3 — potreban broj norma-časova za TOd FMS u ratu;
- N4 — potreban broj norma-časova za SR FMS u eksploataciji;
- N5 — potreban broj norma-časova za SR FMS u ratnoj rezervi;
- K3 — koeficijent zastupljenosti kvalifikovanih civilnih lica za SR u miru, i
- N6 — potreban broj norma-časova za SR FMS u ratu.

### Programi za proračun

Proračun potrebnog broja proizvodnih radnika omogućen je izborom opcije (5) iz glavne meni-liste vodećeg programa, a vrši se automatskim povezivanjem i sekvencijalnim izvršavanjem šest međusobno povezanih programa prema toku obrade prikazanom na slici 2.

Program KOEF koristi ulazne datoteke DATOSL i DATFMS, a formira datoteku POMOĆNA koju sledeći program SUMKOE prevodi u datoteku DFMSOSL (datoteku svih FMS oslonjenih jedinica). Datoteku DATVRP for-



Sl. 2 — Blok dijagram toka obrade

mira program VRREM na osnovu datoteke DFMSOSL i datoteka ulaznih podataka DATOSL i DATNORM. Program SUMAVR vrši transformaciju datoteke VRREM u datoteku DATVR koja sadrži podatke o potrebnom vremenu za remont. Datoteka potrebnih izvršilaca remonta DATIZV dobija se iz datoteke DATVR izvršavanjem programa IZVR, a njeno izlistavanje u vidu liste rezultata proračuna na štampaču omogućeno je programom IZVST.

### Program KOEF

Program KOEF, čiji je blok-dijagram prikazan na slici 3, proračunava koeficijente FMS u eksploataciji i koeficijente FMS u ratnoj rezervi. Kao ulaz se koriste datoteke DATOSL i DATFMS koje imaju zajedničko ključno polje (šifra oslonjene jedinice). Prvo se čita slog iz datoteke DATOSL i traže svi slogovi u datoteci DATFMS sa istim ključnim poljem ( $\dot{S}IF = \dot{S}IF4$ ). Zavisno od klasifikacije jedinice (A, B, R), sredstvima dotične jedinice se programski određuje koeficijent KE koji izražava broj sredstava u eksploataciji i koeficijent KRR koji izražava broj sredstava u ratnoj rezervi. Programski je omogućeno izuzeće pojedinih FMS kojima se može pridružiti KE i KRR sa drugačijim iznosom.

Za svaki nađeni primerak sloga iz datoteke DATFMS u datoteku POMOČNA upisuje se jedan, dva ili tri primerka sloga, zavisno od šeme oslanjanja jedinice za T<sub>Od</sub> i SR. Ako su  $\dot{S}IF1$ ,  $\dot{S}IF2$  i  $\dot{S}IF3$  iz datoteke DATOSL različite od nule, u datoteku POMOČNA upisuju se tri sloga, tj. nađena količina FMS oslanja se na jedinicu T<sub>Od</sub> u bataljonu-divizionu, jedinicu T<sub>Od</sub> u puku-brigadi i jedinicu SR u ratu. Kada su šifre  $\dot{S}IF1 \neq 0$  i  $\dot{S}IF2 \neq 0$ , a  $\dot{S}IF3 = 0$ , radi se o remontu u miru, pa se nađena količina FMS oslanja na jedinicu ili ustanovu T<sub>Od</sub> i SR u miru. Konačno, ukoliko je  $\dot{S}IF1 \neq 0$ , a  $\dot{S}IF2 = \dot{S}IF3 = 0$ , radi se o jedinici SR koja je oslonjena na samu sebe i ispisuje se samo

jedan primerak sloga u datoteku POMOČNA. Program završava kad su pročitani svi slogovi iz datoteke DATOSL.

### Program SUMKOE

Datoteka POMOČNA sadrži više primeraka sloga za isto FMS oslonjeno na istu remontnu jedinicu-ustanovu. Zbog toga ih je potrebno sabrati po količini i odrediti prosečni koeficijent KE sredstava koja se nalaze u eksploataciji i prosečni koeficijent KRR sredstava u ratnoj rezervi. Sabiranje i određivanje navedenih koeficijenata izvodi se programom SUMKOE i tako dobija datoteka DFMSOSL koja ima istu strukturu sloga kao i datoteka POMOČNA:

ŠRJ — šifra remontne jedinice ( $\dot{S}IF1$ ,  $\dot{S}IF2$  ili  $\dot{S}IF3$ );

V — vid remonta (V1, V2 ili V3);

FMS — šifra FMS;

KOL — količina FMS;

KE — srednji koeficijent FMS u eksploataciji, i

KRR — srednji koeficijent FMS u ratnoj rezervi.

Srednji koeficijenti KE i KRR nalaze se prema obrascima:

$$KE = \frac{\sum_i (KOL_i \cdot KE_i)}{\sum_i KOL_i} \quad (1)$$

$$KRR = \frac{\sum_i (KOL_i \cdot KRR_i)}{\sum_i KOL_i} \quad (2)$$

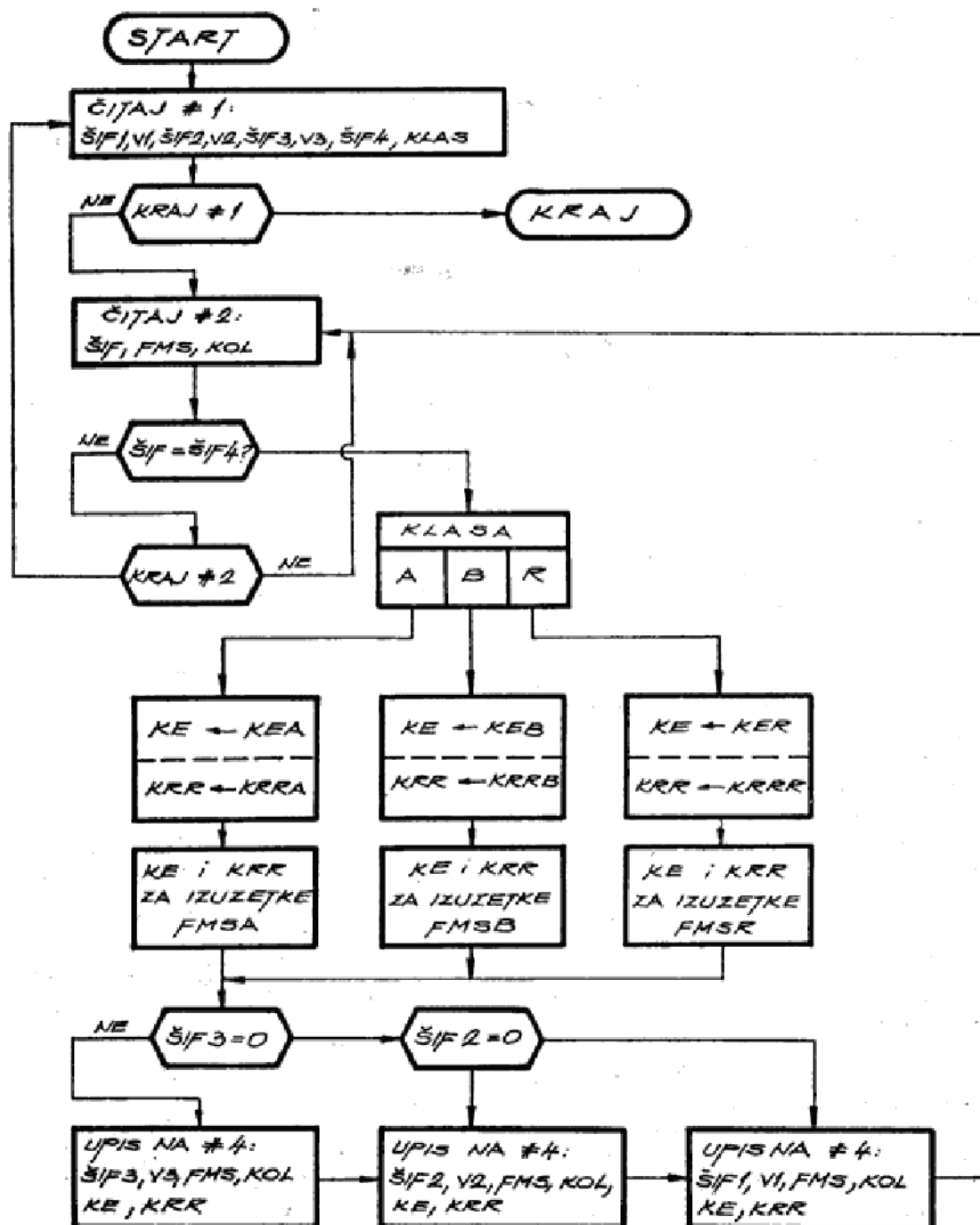
gde su:  $KOL_i$  — količine istovrsnog FMS u pojedinim primercima sloga, a  $KE_i$  i  $KRR_i$  — koeficijenti istovrsnog FMS u eksploataciji i u ratnoj rezervi u pojedinim primercima sloga.

### Program VRREM

Na osnovu podataka sadržanih u datotekama DFMSOSL, DATOSL i DATNORM, program VRREM formira pomoćnu datoteku DATVRP sledeće strukture sloga:

ŠRJ — šifra remontne jedinice;

VES — šifra vojno evidencione specijalnosti;



Sl. 3 — Blok dijagram programa KOEF

- V — vid i nivo remonta;  
 S1 — potreban broj norma-časo-  
 sova za KV radnike go-  
 dišnje, i  
 S2 — potreban broj norma-časo-  
 sova za VKV radnike go-  
 dišnje.

Blok-dijagram programa VRREM prikazan je na slici 4.

Za svaki pročitani slog iz datoteke DFMSOSL traže se svi pripadni slogovi (po šifri MFS) u datoteci DATNORM i vrši proračun potrebnog broja norma-časo-  
 sova po normativu vremena za na-  
 đenu količinu FMS u datoteci DFM-  
 SOSL. Proračun se vrši prema obras-  
 cima u blok-dijagramu sa slike 4, a  
 upotrebljene oznake odgovaraju nazi-  
 vima polja u slogovima korišćenih da-  
 toteka.

U jedinici TOd na nivou bataljona — divizionu u ratu TOd FMS se vrši samo u iznosu koji je određen koefici-  
 jentom K2 iz datoteke DATNORM. Preostali deo proračunatog vremena dodaje se vremenu potrebnom za odr-  
 žavanje FMS neposredno oslonjenih na  
 jedinicu TOd u puku — brigadi. Zbog  
 toga se za šifru remontne jedinice ŠIF3  
 traži pripadna ŠIF2 u datoteci DATOSL  
 i proračunata količina vremena  $S1 =$   
 $= KOL \cdot N3 (1-K2)$  upisuje se u datote-  
 ku DATVRP pod šifrom ŠIF2.

### Program SUMAVR

Pomoćna datoteka DATVRP u ko-  
 ju su upisana proračunata vremena S1  
 i S2 za potrebno angažovanje KV i VKV  
 radnika sadrži više primeraka slogova  
 iste vojnoevidencione specijalnosti, iste  
 remontne jedinice — ustanove istog vi-  
 da i nivoa remonta, te ih je potrebno  
 sažeti u jedan slog. To se izvršava pro-  
 gramom SUMAVR i na taj način se do-  
 bija datoteka DATVR koja je po struk-  
 turi sloga identična sa datotekom  
 DAVRP. Sažimanje slogova se vrši po  
 ključnim poljima ŠRJ, V i VES. Pri to-  
 me se sabiraju vrednosti polja S1, od-  
 nosno S2 odgovarajućih slogova. Pre

izvršenja programa SUMAVR, datote-  
 ka DATVRP se sortira po navedenim  
 ključnim poljima.

### Program IZVR

Program IZVR formira datoteku  
 DATIZV na osnovu datoteke DATVR  
 prema blok-dijagramu na slici 5. Poje-  
 dinim vrstama vojnoevidencione spec-  
 cijalnosti programski se pridružuje pro-  
 sečno godišnje angažovanje, zavisno od  
 vida i nivoa remonta i to prema slede-  
 ćem:

- $T_{12,1}$  — vojniku za TOd i SR u  
 miru;  
 $T_{12,2}$  — podoficiru i oficiru za  
 TOd i SR u miru;  
 $T_{12,4}$  — civilnom licu za TOd i  
 SR u miru;  
 $T_3$  — za TOd na nivou bataljo-  
 na — divizionu u ratu;  
 $T_4$  — za TOd na nivou puka —  
 brigade u ratu, i  
 $T_5$  — za SR u ratu.

Broj KV i VKV izvršilaca B1 i B2  
 proračunava se na osnovu potrebnog  
 godišnjeg angažovanja KV i VKV izvr-  
 šilaca S1 i S2 iz datoteke DATVR i pro-  
 sečnog godišnjeg vremena T njihovog  
 angažovanja prema obrascima:

$$B1 = INT (S1/T) \quad (3)$$

$$B2 = INT (S2/T) \quad (4)$$

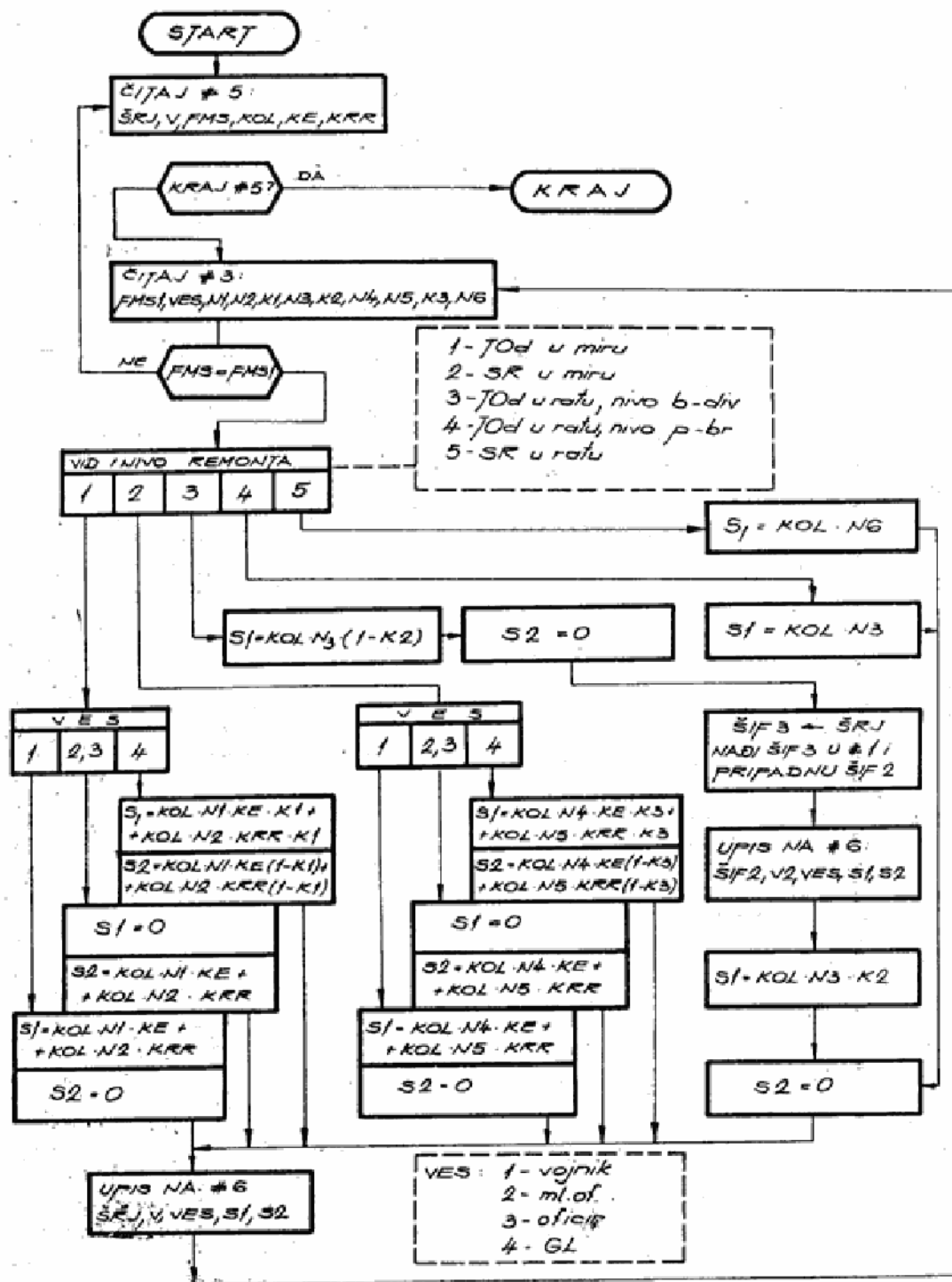
gde je INT operator zaokruživanja na  
 ceo manji broj. Ostatak vremena (zbog  
 zaokruživanja) iskazuje se kao:

$$OST1 = S1 - B1 \cdot T \quad (5)$$

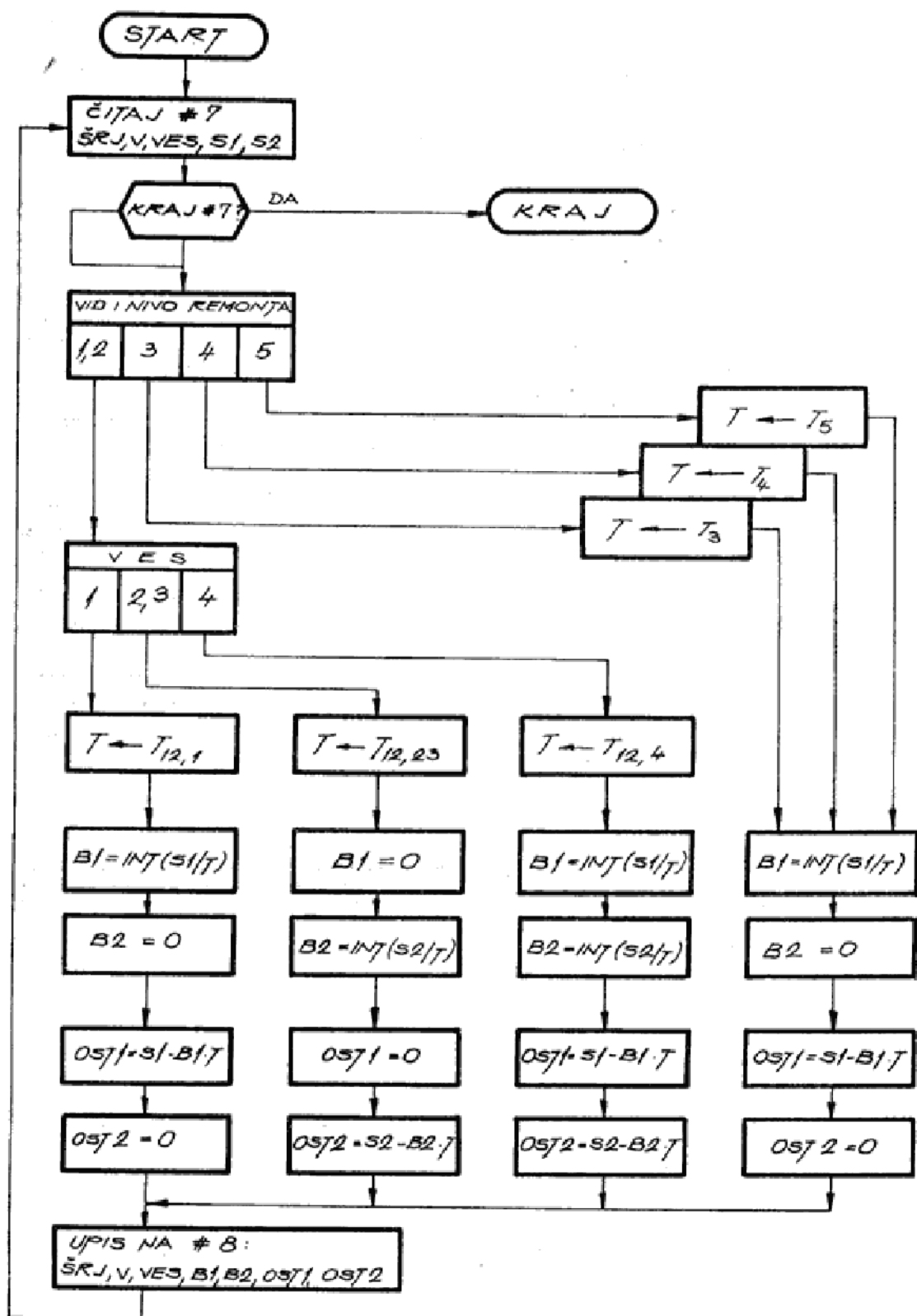
$$OST2 = S2 - B2 \cdot T \quad (6)$$

Nakon izvršenog proračuna u da-  
 toteku se upisuju slogovi sa sledećim  
 sadržajem:

- ŠRJ — šifra remontne jedinice;  
 V — vid i nivo remonta;  
 VES — šifra vojnoevidencione  
 specijalnosti;  
 B1 — broj KV izvršilaca;  
 B2 — broj VKV izvršilaca;  
 OST1 — ostatak vremena KV iz-  
 vršilaca, i  
 OST2 — ostatak vremena VKV  
 izvršilaca.



Sl. 4 — Blok dijagram programa VRREM





Podaci u datoteci DATIZV predstavljaju rezultate proračuna koji se izlistavaju pomoću programa IZVST. Posebno se ispisuju liste izvršilaca remonta za svaku remontnu jedinicu i to za TOd u miru, SR u miru, TOd na nivou bataljona — divizionu u ratu, TOd na nivou puka — brigade u ratu i SR u ratu.

Organ koji predlaže broj i strukturu ličnog sastava radne snage jedinica — ustanova za koje je izvršen proračun, treba da proceni veličinu ostatka vremena OST1 i OST2 i da, zavisno od njihovog iznosa, poveća broj izvršilaca za posmatranu vojnoevidencionu specijalnost, objedini ostatke srodnih specijalnosti kod jednog izvršioca ili da planira remont FMS koja zahtevaju te vojnoevidencione specijalnosti na višem nivou i to u onom vremenu koliki je iznos ostataka OST1 i OST2.

## Zaključak

Pretpostavka za korišćenje programskog sistema za proračun radne snage remontnih jedinica i ustanova su

tri ulazne datoteke napunjene ažurnim podacima. Realnost proračunatog broja izvršilaca pojedinih vojnoevidencionih specijalnosti i kvalifikacija prvenstveno zavisi od realno postavljenih normativa vremena za TOd i SR u miru i ratu. Programski sistem se može koristiti za proračun potrebne proizvodne radne snage manjeg ili većeg broja remontnih jedinica i ustanova, što zavisi od definisane šeme oslanjanja po remontu. Promene u ulaznim podacima (nova šema oslanjanja, nove materijalne formacije jedinica ili izmenjeni normativi vremena) zahtevaju preispitivanje i ponovni proračun proizvodne radne snage posmatranih remontnih jedinica i ustanova.

Pored osnovne namene programskog sistema, on se može koristiti za izvođenje simulacija s ciljem da se predvidi lični sastav remontnih jedinica i ustanova u slučaju očekivanih promena ulaznih veličina ili da se utvrdi koliko se mogu menjati ulazne veličine, a da utvrđeni lični sastav remontne jedinice — ustanove ostane zadovoljavajući.

## Literatura:

- [1] N. Bračika: »Izrada normativa proizvodne radne snage«; VTG 4/86, Beograd, 1986.
- [2] »Programski sistem za proračun proizvodne radne snage jedinica i ustanova TSI KoV JNA u miru i ratu«; projektni zadatak, CVTŠ KoV JNA »General armije Ivan Gošnjak«, Zagreb, 1985.

- [3] N. Bračika: »Metodološki pristup određivanju radne snage tehničke radionice primenom računarski zasnovanog modelovanja«; magistarski rad, ETF Sarajevo, 1985.

**Dr Vladimir Vujičić,**  
pukovnik, dipl. inž.

## **ODVLAŽIVANJE KAO POSTUPAK ZAŠTITE OD ATMOSFERSKE KOROZIJE**

U radu je opisana atmosferska korozija metala i najnoviji postupci koji se primenjuju za sprečavanje njenog delovanja. Za zaštitu od atmosferske korozije sve više se primenjuju postupci pomoću kojih se vrši sušenje vazduha unutar hermetičkog pakovanja ili prostora. Time se eliminiše vlaga koja predstavlja osnovni faktor atmosferske korozije.

### **Uvod**

U mirnodopskim uslovima vojna oprema se nalazi pretežno deo svog veka trajanja van upotrebe, uskladištena u različitim skladišnim uslovima. Za to vreme ona mora biti zaštićena od štetnog delovanja uzročnika korozije. Pri tome se, prvenstveno, misli na opremu koja je izrađena od metala, gde oštećenja od korozije mogu prouzrokovati smetnje u funkciji opreme.

Zaštita opreme za vreme skladištenja vrši se postukom koji se naziva privremena zaštita ili konzervacija. Pri zaštiti je potrebno zadovoljiti tehnički i taktički zahtev konzervacije. Tehničkim zahtevom osigurava se zaštita od korozije, a taktičkim sposobnost konzervisanog sredstva za momentalnu upotrebu. Kod klasičnog načina zaštite zaštitnim uljima, mastima i solventima zadovoljen je prvi uslov, iako ne uvek u potpunosti. Drugi zahtev, takođe, u većini slučajeva nije u potpunosti ispunjen, jer je potrebno određeno vreme da se konzervisana oprema dovede u stanje za upotrebu.

Napredak u usavršavanju konzervacije postignut je primenom isparljivih inhibitora i odlaživača, koji omogućuju dugotrajniju konzervaciju i trenutnu dekonzervaciju (1). Međutim, osnovni nedostatak primene isparljivih inhibitora jeste što se ne mogu prime-

niti za zaštitu raznovrsnih metala i materijala uopšte. Nadalje, inhibitori korozije ne eliminišu vlagu koja je glavni uzročnik korozije metala i destrukcije nekih organskih materijala.

Uklanjanje vlage postiže se pomoću odvlaživača, koji se postavljaju unutar nekog hermetičnog prostora gde stvaraju mikroklimu koja usporava ili potpuno zaustavlja koroziju metala i destrukciju organskih materijala. Odvlaživači ne tretiraju opremu, već okolinu atmosferu. Oprema se može držati konzervisana u eksploatacionom stanju, čime su usklađeni navedeni kontradiktorni zahtevi konzervacije.

### **Atmosferska korozija**

Pri transportu i skladištenju metalni predmeti izloženi su koroziji u većoj ili manjoj meri, što zavisi od metala od kojeg je predmet izrađen, njegove primarne zaštite, njegove sklonosti prema elektrohemijskoj koroziji i agresivnosti sredine u kojoj se predmet nalazi. Atmosferski uslovi pri tom imaju važnu ulogu, a naročito vlažnost i zagađenost atmosfere. Vlaga se iz vazduha adsorbuje na površini metala, te tako stvara elektrolit koji omogućuje rad mikro i makrokorozionih spregova. Debljina sloja vlage zavisi od velikog broja faktora, od kojih su najvažniji

relativna vlažnost, temperatura i stanje površine metala. Pri manjim vlažnostima slojevi vode su tanji i čvrsto vezani za površinu metala. Ta veza slabi sa povećanjem debljine sloja vlage. Vлага se može uočiti jedino pri orošavanju, kada se na površini nalazi preko 90 monomolekularnih slojeva vode.

Uticaј relativne vlažnosti na brzinu korozije gvožđa prikazan je na slici 1. Vidljivo je da korozije nema u uslovima kada je vrednost relativne vlažnosti ispod 30%. Iznad te vrednosti dolazi do neznatnog, a zatim naglog povećanja brzine korozije sa povećanjem vlažnosti. Vrednost relativne vlažnosti kod koje dolazi do naglog porasta brzine korozije naziva se kritična vlažnost (2, 3, 4).

Veličina kritične vlažnosti u prvom redu zavisi od prirode metala, stanja površine, prisutnih produkata ko-

$$P_u = p_s + p_v \quad (1)$$

gde je:

$p_s$  — parcijalni pritisak suvog vazduha,

$p_v$  — parcijalni pritisak vodene pare.

Prema opštem zakonu o gasnom stanju:

$$pV = nRT \quad (2)$$

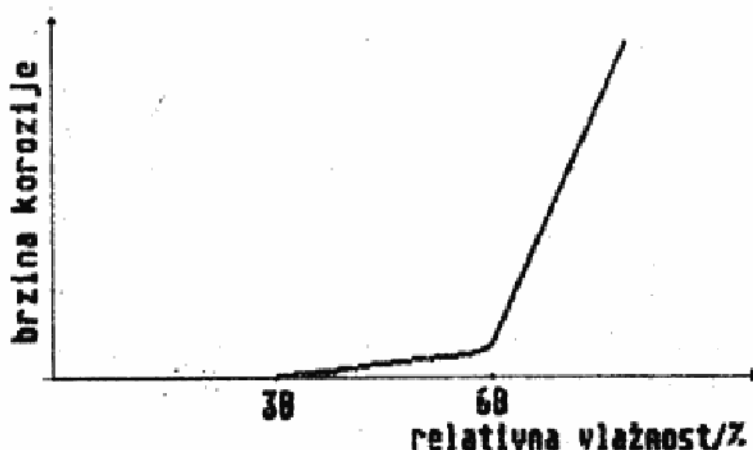
proizilazi da je:

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (3)$$

odnosno:

$$p = \frac{T}{V} \text{ konst.} \quad (4)$$

Prema tome, pri konstantnoj zapremini pritisak, odnosno količina vode-



Sl. 1 — Uticaj relativne vlažnosti vazduhu na brzinu korozije

roziје, temperature vazduha, prirode i koncentracije agensa korozije, itd. U nezagađenoj atmosferi kritična vlažnost za gvožđe iznosi oko 60% relativne vlažnosti, dok je u industrijskim sredinama i primorskom pojasu znatno niža.

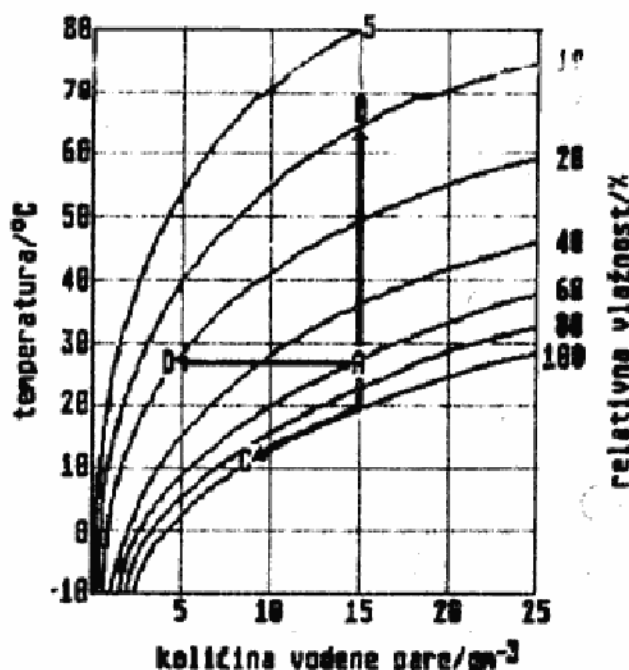
U vazduhu se vodena para nalazi pod određenim pritiskom. Zbor svih parcijalnih pritisaka daje ukupan pritisak ( $p_u$ ) smeše:

ne pare, jedino zavisi od temperature, što se može videti iz dijagrama koji pokazuje zavisnost količine vodene pare od temperature, slika 2.

Temperatura, odnosno temperaturne promene, važan je faktor atmosferske korozije. Sa povećanjem temperature vazduha povećava se brzina korozije. Temperaturne promene prouzrokuju kondenzaciju vodene pare ili su-

šenje površine metala. Sve dok je temperatura metala niža od temperature vazduha odvijaće se kondenzacija vode-

U prvom slučaju vlažnost vazduha može se smanjiti hlađenjem do temperature ispod tačke rose vazduha (linija



Sl. 2 — Zavisnost količine vodene pare od temperature vazduha

ne pare. U protivnom, kada je temperatura metala veća od temperature vazduha, doći će do smanjenja debljine sloja vlage.

### Odvlaživanje

Radi zaštite od atmosfertske korozije tehnička materijalna sredstva se postavljaju u hermetičnu ambalažu (navlake od plastičnih folija, metalne i plastične kutije, kontejneri, itd.) ili u zidane i druge objekte koji se određenom doradom mogu učiniti hermetičnim. U takvim prostorima vlaga se može smanjiti:

- hlađenjem,
- zagrevanjem,
- odvlaživanjem.

AC, slika 2). Pri tome se višak vlage kondenzuje u obliku tečnosti,inja ili leda. Radi održavanja određene vlažnosti višak vlage se mora stalno odvoditi, a suvi vazduh ubacivati u prostorije u kojima se skladišti oprema. U većini slučajeva rashlađeni vazduh se ponovo zagreva do postizanja željene temperature i relativne vlažnosti.

Ovaj postupak je starijeg datuma i veoma neekonomičan za primenu pri temperaturama nižim od 18°C. Postupak je našao primenu jedino u sistemima komforne klimatizacije.

U drugom slučaju smanjena relativna vlažnost u nekom sistemu može se postići zagrevanjem vazduha do određene temperature, prava AB, slika 2. To se postiže propuštanjem kroz sistem zagrejanog suvog vazduha. Pri to-

me, mora se paziti da svi delovi sistema budu zagrejani na temperaturu iznad rosišta isisnog vazduha, čime se izbegava lokalna kondenzacija vodene pare iz vazduha. Zbog velike potrošnje električne energije i ova metoda ima ograničenu primenu.

Za smanjenje vlažnosti u zatvorenim sistemima najveću primenu imaju sušaći koji rade sa čvrstim apsorben-tima. Oni mogu vršiti statičko i dinamičko odvlaživanje.

### Statičko odvlaživanje

Čvrsti apsorberi su poznati pod nazivom odvlaživači. To su materije koje se odlikuju visokom higroskopnošću, tj. visokom sposobnošću upijanja vode, odnosno vodene pare. Upijajući vlagu iz hermetične sredine, odvlaživači smanjuju relativnu vlažnost te sredine na vrednost pri kojoj ne dolazi do korozije.

Odvlaživači su zrnaste materije, pravilnog ili nepravilnog oblika. Karakteriše ih veoma velika poroznost, tako da njihova aktivna površina može da iznosi i preko 400 m<sup>2</sup>/g.

Odvlaživači imaju veliku sposobnost upijanja vlage i veoma povoljne fizičko-hemijske karakteristike koje omogućuju da se više puta mogu regenerisati i primeniti (4). U uslovima 100%-tne relativne vlažnosti odvlaživači mogu upiti preko 40% vlage od svoje mase, dok je pri nižim relativnim vlažnostima sposobnost upijanja manja.

Sposobnost odvlaživača da upija vlagu određuje se merenjem mase suvog odvlaživača i njegove mase nakon nekoliko (najmanje četiri) dana izlaganja vlažnoj atmosferi. Sposobnost upijanja (SU) izračunava se prema formuli:

$$SU = \frac{A - B}{B} \cdot 100 \quad (4)$$

gde je:

A — masa vlažnog odvlaživača,

B — masa suvog odvlaživača.

Regeneracija odvlaživača vrši se u etažnim električnim pećima, koje su obezbeđene termostatom za regulisanje temperature sušenja. Temperaturu i način sušenja odvlaživača propisuje proizvođač. Temperatura sušenja ne sme biti veća od propisane, jer tada odvlaživač trpi promene zbog kojih postaje neupotrebljiv.

Nakon sušenja odvlaživači se hlade i do upotrebe čuvaju u hermetički zatvorenim posudama.

Odvlaživači se mogu regenerisati nekoliko puta. Broj mogućih regeneracija zavisi od kvaliteta konkretnog odvlaživača. Radi sigurnosti primene potrebno je povremeno izvršiti proveru sposobnosti upijanja. Odvlaživač je neupotrebljiv ako je njegova sposobnost upijanja manja od 22% u uslovima 100%-tne vlažnosti.

Za upotrebu odvlaživači se pakuju u platnene vrećice takvih dimenzija da u njih može stati 50, 100, 250, 500 grama ili nekoliko kilograma osušenog odvlaživača. Ovako pakovani odvlaživač predstavlja jedinično pakovanje koje se naziva patrona za sušenje.

Platno za izradu patrona za sušenje je takvih karakteristika da omogućuje regeneraciju odvlaživača i u obliku patrona. Pakovanje odvlaživača u vrećice vrši se pri relativnoj vlažnosti manjoj od 50%.

Svrha odvlaživača je da za unapred određeno vreme održava relativnu vlažnost ispod vrednosti kod koje ne dolazi do korozije. Da bi to bilo ispunjeno, odvlaživač treba da adsorbuje vlagu koja će se nalaziti u pakovanju u trenutku zatvaranja, vlagu koja prolazi kroz materijal kojim je izvršena hermetizacija i vlagu iz materijala za jastučenje ili ispunu.

Količina odvlaživača koju je potrebno staviti u neki hermetički prostor radi zaštite tehničkih materijalnih sredstava određuje se na osnovu:

— koeficijenta za propustljivost vodene pare materijala za hermetizaciju;

— površine materijala za hermetizaciju;

— ukupne zapremine hermetičnog prostora;

— higroskopnosti materijala za ispunu;

— vremena trajanja zaštite;

— količine materijala za ispunu;

— sposobnosti odvlaživača da upija vlagu.

Različiti odvlaživači imaju različitu sposobnost upijanja vlage. Zbog toga nije praktično razvijati posebne formule za proračunavanje potrebne količine silikagela. Da bi se to izbeglo, date su dve formule koje u sebi sadrže koeficijent sigurnosti.

Za pakovanja koja ne propuštaju vodenu paru (metalna i plastična ambalaža) potrebna količina silikagela izračunava se prema izrazu:

$$G = 10gV + 0,1D \quad (5)$$

gde je:

G — masa silikagela u kilogramima,

g — količina vodene pare u  $\text{kg}/\text{m}^3$ , koja je zarobljena unutar hermetičnog pakovanja, a koja se može dobiti iz tabele: količina vodene pare pri različitim temperaturama i relativnim vlažnostima,

V — zapremina pakovanja u  $\text{m}^3$ ,

D — masa (u kilogramima) materijala za oblaganje i popunu prostora unutar pakovanja, a koji sadrži izvesnu količinu vlage (drvo, papir, karton, i sl.).

Ako se za hermetizaciju koriste folije od plastične mase, količina odvlaživača određuje se na sledeći način:

$$G = 10KSt + 0,1D \quad (6)$$

gde je:

K — koeficijent propustljivosti folije u  $\text{kg}/\text{m}^2$  dan,

S — površina materijala za pakovanje u  $\text{m}^2$ ,

t — trajanje zaštite u danima.

Za praćenje stanja vlažnosti unutar hermetičnog pakovanja primenjuje se indikator vlažnosti na bazi kobalthlorida,  $\text{CoCl}_2$ . Za ovu materiju je karakteristično da menja boju od intenzivno plave kada je suva, do crvene kada je vlažna. Prelaz od svetloplave do ružičaste boje odvija se pri 40%-tnoj relativnoj vlažnosti sredine u kojoj se indikator nalazi.

Kobalthloridom se, najčešće, impregnira bela pamučna tkanina ili beli karton. Od impregnirane tkanine — kartona izrezuju se trake veličine  $30 \times 50$  mm, koje se nakon sušenja na  $60^\circ\text{C}$  do upotrebe čuvaju u hermetičkim posudama.

U hermetičko pakovanje indikator vlažnosti se postavlja na vidljivo mesto koje je najudaljenije od mesta gde se nalaze vrećice sa odvlaživačem. Unutar jednog pakovanja može se postaviti više indikatora vlažnosti.

Odvlaživači se upotrebljavaju za konzervaciju svih metala i materijala uopšte. Pored sprečavanja korozije, odvlaživači smanjuju mogućnost nastanka plesni, održavaju prehrambene proizvode stalno suvim, itd.

Rad sa odvlaživačima je jednostavan. Velika je prednost u tome da se lako mogu zameniti, a da se pri tom ne poremeti ili ošteti osnovna konzervacija. Zamena odvlaživača vrši se kada indikator vlažnosti pokaže crvenkastu boju.

Vreme trajanja zaštite iznosi nekoliko godina i zavisi, prvenstveno, od količine odvlaživača, uslova čuvanja i karakteristika materijala kojima je izvršena hermetizacija.

Dekonzervacija konzervisane opreme je veoma jednostavna i brza. Sa-

stoji se u otvaranju hermetičnog pakovanja i uklanjanju patrona za sušenje, indikatora vlažnosti i materijala kojim je izvršena hermetizacija.

### Dinamičko odvlaživanje

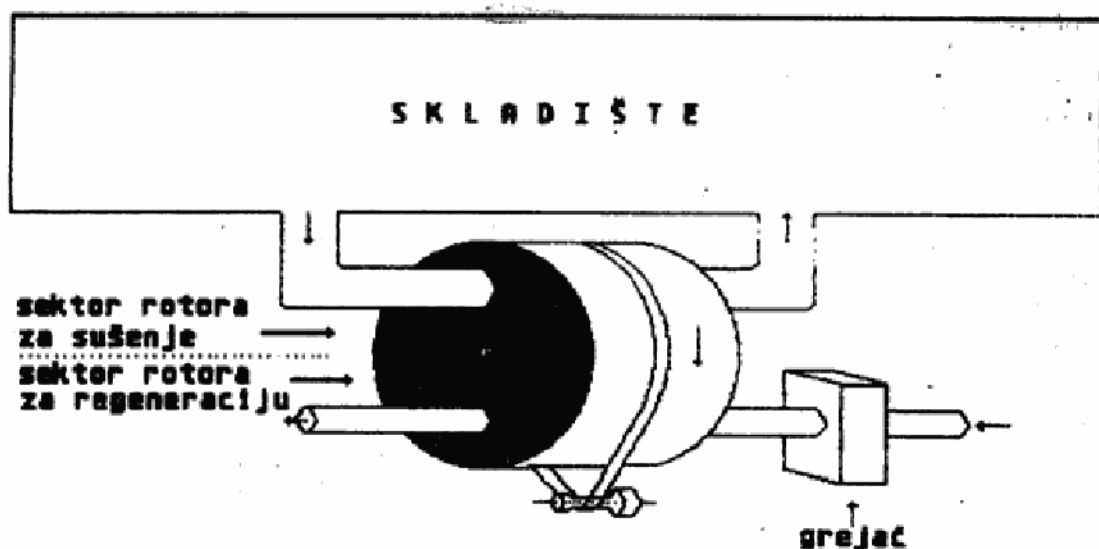
Pored opisanog statičkog načina odvlaživanja, odvlaživači se mogu upotrebiti i za dinamičko odvlaživanje koje može biti kontinuirano i diskontinuirano. Prvobitna kontinuirana odvlaživanja vršena su sa dva apsorbera: dok je jedan vršio odvlaživanje, drugi je regenerisan vrućim vazduhom.

Najnovija rešenja sa područja odvlaživanja vazduha su Munters agregati, nastali kao rezultat istraživanja švedskog inženjera Carl Muntersa (5).

nom, tako da ima površinu od  $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  mase. Vatrootporni materijal je impregniran odgovarajućim odvlaživačem. Cevasti oblik saća omogućava laminarno strujanje vazduha sa minimalnim trenjem i padom pritiska. Kod standardnih Munters agregata vazduh se kroz rotor propušta brzinom od  $2,5 \text{ m/s}$ .

Rotor vrši oko 7 okretaja na sat. Okretanjem »prolazi« kroz sekciju za odvlaživanje usisnog vazduha i kroz sekciju za regeneraciju odvlaživača, slika 3.

U sekciji za odvlaživanje dolazi do adsorpcije vlage, a u sekciji za regeneraciju do oslobađanja vlage iz odvlaživača. Pri tom se adsorpcioni sloj regeneriše, a vlaga se u obliku kondenzata odstranjuje u lokalnu atmosferu.



Sl. 3 — Šematski prikaz rada agregata za dinamičko odvlaživanje

Munters agregati rade sa čvrstim apsorberom. Izmena vlage vrši se u lagano rotirajućem apsorpcionom kolu koji se skraćeno naziva rotor. Rotor je napravljen od mehanički nosećeg vatrootpornog materijala koji je u obliku saća, jer se sastoji od mnoštva kanalića, koaksijalnih sa glavnom osovi-

Nakon regeneracije apsorpciona masa može ponovo preuzeti vlagu. Oba procesa — apsorpcija vlage i regeneracija odvijaju se istovremeno, čime je ostvareno kontinuirano odvlaživanje vazduha. Na taj način se u skladištu stvara odgovarajuća mikroklima, koja ima nisku relativnu vlažnost i koja onemo-

gućava odvijanje elektrohemijske korozije.

Rad agregata može se po volji automatizovati, najčešće higrostatskom metodom. Vrednost vlažnosti koja se želi održati u skladištu namesti se na posebnom higrometru, a relej automatski uključuje agregat kada vlažnost naraste iznad te vrednosti, odnosno isključuje kada vlažnost padne ispod zadane vrednosti.

Zbog ovakvih svojstava Munters agregati su našli primenu:

- u farmaceutskoj industriji, gde se zahtevaju mali postoci relativne vlage;

- u prehrambenoj industriji za skladištenje gotovih proizvoda;

- u sistemima podzemnih prostorija, galerija i skloništa radi smanjenja visoke vlažnosti;

- u armijama za održavanje TMS.

Na tržištu se mogu naći agregati različitih kapaciteta. U praksi se istovremeno može primeniti nekoliko agregata. Time se omogućuje održavanje željene relativne vlažnosti u prostorima i prostorijama od nekoliko m<sup>3</sup> do nekoliko hiljada m<sup>3</sup>. U takvim uslovima omogućena je istovremena zaštita različitih opreme. Oprema se čuva u sta-

nju za eksploataciju. Prema potrebi, oprema se može uzimati na korišćenje, nakon čega se dovodi u stanje za konzervaciju i ponovo postavlja u skladišni prostor. Zbog tih prednosti agregati su našli najveću primenu za zaštitu naoružanja i ostale vojne opreme.

### Zaključak

U toku transporta i skladištenja metalni proizvodi mogu biti zaštićeni od atmosfere korozije smanjenjem relativne vlažnosti na vrednost ispod koje ne dolazi do korozije. To se postiže pomoću higroskopnih materija koje mogu vršiti statičko ili dinamičko odvlaživanje. U oba slučaja potrebno je ograničiti prostor oko tehničkog sredstva koje se zaštićuje.

Rad sa odvlaživačima je jednostavan. Oni omogućavaju jednostavno izvođenje konzervacije, dugotrajnu zaštitu i brzu dekonzervaciju.

Munters agregati omogućavaju istovremenu zaštitu raznovrsnih tehničkih materijalnih sredstava. Efikasnost zaštite je izuzetno visoka, jer nije potrebna dekonzervacija konzervisane opreme, a samim tim se borbena gotovost jedinice podiže na kvalitativno viši nivo.

### Literatura:

- [1] V. Vujičić, Privremena zaštita metalnih proizvoda, VTG, 1983, 600.
- [2] K. Barton, Protection Against Atmospheric Corrosion, John Wiley and Sons, London, 1976.
- [3] P. D. Donovan, Protection of Metals from Corrosion in Storage and Transit, John Wiley and Sons, New York, 1986.

- [4] S. Mladenović, Korozija materijala, Tehnološko — metalurški fakultet, Beograd, 1978.

- [5] D. Zorović, R. Radeka, V. Vujičić, Zbirka referata sa savetovanja, Antikorozijska, Zagreb, 1978.



**Dr Dragutin Jovanović,**  
major, dipl. inž.

## **TROŠKOVI PREVOŽENJA KAO KRITERIJUM OPTIMIZACIJE ORGANIZOVANJA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA**

Jedan od mogućih kriterijuma za optimizaciju organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnog prevoženja može se definisati kriterijum troškova prevoženja. Iz navedenih razloga u ovom radu se daju karakteristike kriterijuma troškova prevoženja i definiše model za njegovo određivanje.

### **Uvod**

Za prevoženje masovnih tokova tereta i putnika železnicom poznati su mogući načini (oblici) organizovanja železničkog saobraćaja, što znači da se izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u tako specifičnim uslovima ima više rešenja-varijanata. Da bi se izabralo optimalno rešenje potrebno je sve oblike organizovanja železničkog saobraćaja na adekvatan način vrednovati, međusobno uporediti i rangirati, a potom izabrati najbolje.

Da bi se uporedili načini organizovanja potrebno je najpre definisati potrebne kriterijume. Oni se utvrđuju na osnovu cilja optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih tokova tereta i putnika. Pošto je organizovanje železničkog saobraćaja posledica raznovrsnih potreba to znači da cilj proizilazi iz nekog višeg cilja. Kao viši cilj može se definisati prevoženje masovnih tokova tereta i putnika (žive sile) iz pozadine prema frontu i obratno, manevar snagama, manevar rezervama i dr.

Zavisno od postavljenog cilja, kao jedan od mogućih kriterijuma za rangiranje a time i optimizaciju organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja, može se definisati kriterijum troškova prevoženja.

Sa tim ciljem u ovom radu se daju karakteristike kriterijuma troškova prevoženja i definiše model za njegovo određivanje.

### **Karakteristike kriterijuma troškova prevoženja železnicom**

Metodologija procene troškova prevoženja masovnih tokova tereta železnicom koja će se prezentirati u ovom radu, prvenstveno je namenjena rangiranju različitih varijanata organizovanja železničkog saobraćaja radi izbora najpovoljnije, a ne za određivanje apsolutnih vrednosti troškova.

Svi načini (varijante) organizovanja železničkog saobraćaja radi prevoženja masovnih tokova tereta povezani su sa različitim vremenom prevoženja. Zato se nameće potreba iznalaženja načina svođenja troškova na jedinicu vremena prevoženja.

Troškovi prevoženja železnicom, (transportni troškovi) shodno opštoj definiciji troškova kao ekonomske kategorije, predstavljaju prenetu vrednost odgovarajućeg trošenja transportnih sredstava (vučna i vozna sredstva, infrastruktura i sl.), pogonske energije i ostalog materijala kao predmeta rada, usluga, novu vrednost dodatog živog rada u procesu prevoženja.

Radi adekvatnijeg sagledavanja troškova prevoženja, kao jednog od kriterija organizovanja železničkog saobraćaja, nameće se potreba za utvrđivanjem troškova voza. Voz kao pokretna jedinica sastoji se od lokomotive, kola i voznog osoblja a svaki od tih elemenata ima svoje troškove koji se nazivaju direktnim troškovima voza. Čine ih troškovi:

- pogonske energije i maziva,
- vučna vozila (lokomotiva),
- vučenih vozila (kola),
- voznog osoblja.

Druga vrsta su stalni troškovi, koji se pomoću odgovarajućih »ključeva« svedu na voz. Njih čine sledeći troškovi [1, 2]:

- pruge,
- signalno-sigurnosnih postrojenja,
- pomoćnih vozila, postrojenja za vuču, nekih manipulativnih postrojenja, mreže i uređaja jake struje,
- saobraćajne službe,
- režije radnih jedinica i neki zajednički troškovi.

#### Definisanje modela za određivanje troškova prevoženja

Pri definisanju modela za određivanje troškova mora se poći od činjenice da jedan deo troškova (stalni i neke vrste direktnih) koji ostaju jednaki u svim razmatranim načinima organizovanja železničkog saobraćaja, nemaju uticaja na relativno upoređivanje odnosno rangiranje, pa se zato ne uzimaju u obzir kod uporednih troškova prevoženja.

Kod različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja postoje različiti režimi rada vučnih vozila a time i različita potrošnja pogonske energije. Pre-

ma različitim režimima rada (vožnja voza, zadržavanje u stanicama i vučnim jedinicama i manevrisanje voznom lokomotivom) mora se utvrditi i potrošnja pogonske energije.

Potrošnja pogonske energije pri vožnji voza, s obzirom na moguće vidove vuče u našim uslovima, utvrđuje se posebno za dizel i elektro vuču. U izvoru [1] data je metodologija za utvrđivanje te potrošnje. Za dizel-vuču potrošnja goriva može se izračunati na osnovu snage na vratilu dizel-motora i dijagrama njegove specifične potrošnje. Potrošnja goriva dizel-lokomotive obično se daje u zavisnosti od pozicije kontrolora kojim se reguliše njena snaga. Tako se u vremenskom intervalu  $t$  minuta pri »k«-poziciji kontrolora potrošnja goriva može dobiti pomoću izraza:

$$\Delta G = g(k) \cdot \Delta t, \text{ kg}, \quad (1)$$

gde je:

$g(k)$  — potrošnja goriva,  
»k« — pozicija kontrolora, kg/min.

Potrošnja goriva kod dizel-lokomotive može se sa relativno dovoljnom tačnošću odrediti na osnovu mehaničkog rada koji se ostvari pri kretanju jednog voza pomoću izraza:

$$\alpha = \frac{1 \cdot 10^6}{427 \cdot D \cdot \eta_d}, \text{ kg/tkm}, \quad (2)$$

gde je:

$D$  — kalorična moć dizel-goriva, J/kg,  
 $\eta_d$  — koeficijent iskorišćenja dizel-lokomotive; obično se uzima  $\eta_d = 0,27 \div 0,28$ ,  
427 — fizički ekvivalent jednog J u kgm.

Elementarnu potrošnju dizel-goriva moguće je izračunati prema izrazu:

$$\Delta G = \frac{F_{sr,k} \cdot \alpha_d}{10^6} \Delta l, \text{ kg}, \quad (3)$$

gde je:

$F_{sr}$  — vučna sila koja odgovara srednjoj sili na dužini puta  $\Delta l$ , kp,

$\Delta l$  — priraštaj puta (deonice), m.

Ukupna potrošnja u toku vožnje dobija se kao suma elementarne potrošnje dizel-goriva, pomoću izraza:

$$G_v = \Sigma \Delta G, \text{ kg.} \quad (4)$$

Potrošnja pogonske energije kod elektrovuče izračunava se pomoću izraza:

$$A = \frac{U_k}{60} \int_{t_p}^{t_k} I_e dt, \text{ wh.} \quad (5)$$

gde je:

$U_k$  — napon kontaktne mreže, V,

$I_e$  — intenzitet struje u A u funkciji od vremena.

Ako se integral zameni sumom konačnih priraštaja i Wh pretvore u KWh dobija se sledeći izraz:

$$A = \frac{U_k}{60 \cdot 1000} \int_{t_p}^{t_k} I_e(sr) \Delta t, \text{ KWh.} \quad (6)$$

Za određivanje veličine  $I_e(sr)$  potrebno je kontrolisati krivu  $I_e = f(l)$  tj. krivu potrebnog intenziteta struje lokomotive u funkciji puta.

Potrošnja električne energije kod elektrolokomotiva može se proračunati sledećim izrazima:

— za jednosmernu struju pri naponu kontaktnog voda

$$U_k = 3000 \text{ V,}$$

$$A = \frac{U_k}{60} 10^{-3} \Sigma I_{e(sr)} \cdot \Delta t = \frac{3000}{60} 10^{-3} \Sigma I_{e(sr)} \Delta t = 0,05 \Sigma I_{e(sr)} \cdot \Delta t, \text{ kWh,} \quad (7)$$

— za naizmeničnu struju pri naponu voda

$$U_k = 25000, \text{ V}$$

$$A = \frac{25000}{60} 10^{-3} \Sigma I_{a(sr)} \cdot \Delta t = 0,417 \Sigma I_{a(sr)} \cdot \Delta t, \text{ kWh.} \quad (8)$$

Potrošnja električne energije kod elektrolokomotiva može se odrediti na osnovu mehaničkog rada koji se ostvari pri kretanju jednog voza, pa je tako za jedan tkm potrebna sledeća energija:

— kod jednosmerne struje:

$$\alpha_{ej} = \frac{2,725}{\eta_i \cdot \eta_k \cdot \eta_{ps}} = \frac{2,725}{0,89 \cdot 0,90 \cdot 0,05} = 3,6, \text{ kWh/tkm.} \quad (9)$$

— kod naizmenične struje:

$$\alpha_{en} = \frac{2,725}{\eta_i \cdot \eta_k \cdot \eta_{ps}} = \frac{2,725}{0,82 \cdot 0,95 \cdot 0,98} = 3,5, \text{ kWh/tkm.} \quad (10)$$

gde je:

2,725 — fizički ekvivalent jednog tkm mehaničkog rada, kWh,

$\eta_i, \eta_k, \eta_{ps}$  — koeficijenti korisnog dejstva elektrolokomotive, kontaktne mreže i podstanice.

Priraštaj potrošnje električne energije u slučaju malog priraštaja puta određuje se izrazom:

$$\Delta A = \frac{F_{sr} \cdot \Delta l}{1000} \alpha_e, \text{ kWh.} \quad (11)$$

Za vreme zadržavanja voza u stanicama potrošnja pogonske energije određuje se izrazima:

$$A_b = \frac{E_b}{60} t_b, \text{ kWh.} \quad (12)$$

— kod dizel vuče:

$$G_b = \beta \frac{N_b}{60} t_b, \text{ kg.} \quad (13)$$

gde je:

- $E_b$  — potrošnja električne energije za jedan čas zadržavanja voza u stanicama, kWh/h,  
 $t_b$  — vreme zadržavanja voza u stanicama, min,  
 $\beta$  — koeficijent potrošnje dizel-goriva pri radu motora kad vozilo stoji. Za dizel lokomotive uzima se  $\beta=0,06$ ,  
 $N_b$  — snaga dizel vučnog vozila, kW.

Pored potrošnje pogonske energije za vreme vožnje i za vreme zadržavanja voza u stanicama, može se govoriti još o potrošnji pri manevrisanju vozom lokomotivom i pri zadržavanju u vučnoj jedinici. Tako se potrošnja pogonske energije pri manevrisanju elektrolokomotivom može utvrditi izrazom:

$$A_m = \frac{E_m}{60} t_m, \text{ kWh}, \quad (14)$$

a dizel-lokomotivom:

$$G_m = \beta_1 \frac{N_b}{60} t_m, \text{ kg}. \quad (15)$$

gde je:

- $E_m$  — potrošnja električne energije za jedan čas čiste manevre, ne računajući vreme stajanja lokomotive, kWh/h,  
 $t_m$  — čisto vreme manevrisanja, min,  
 $\beta_1$  — koeficijent potrošnje dizel-goriva pri manevrisanju, obično se uzima  $\beta_1=0,12$ .

Prema tome, ukupna potrošnja pogonske energije utvrđuje se kao zbir potrošnji po pojedinim fazama rada i to:

— elektrovuča:

$$A = A_v + A_b + A_m, \text{ kWh} \quad (16)$$

— dizel-vuča:

$$G = G_v + G_b + G_m, \text{ kg}. \quad (17)$$

Na osnovu utvrđene cene energije utvrđuju se troškovi prema izrazu:

— elektrovuča:

$$T_{ee} = A \cdot C_e, \text{ dinara}, \quad (18)$$

— dizel-vuča:

$$T_{ed} = G \cdot C_d, \text{ dinara}, \quad (19)$$

gde je:

$C_e$  — cena električne energije, dinara/kWh,

$C_d$  — cena dizel-goriva, dinara/kg.

Za proračun troškova maziva potrebno je poznavati specifičnu potrošnju i prosečnu cenu maziva kao i dužinu pruge za koju se troškovi proračunavaju.

Tako se troškovi maziva utvrđuju izrazom:

— elektrovuča:

$$T_{me} = m_e \cdot c_{me} \cdot l_s, \text{ dinara}, \quad (20)$$

— dizel-vuča:

$$T_{md} = m_d \cdot C_{md} \cdot l_s, \text{ dinara}, \quad (21)$$

gde je:

$m_e, m_d$  — specifična potrošnja normalnog maziva, kg/km,

$C_{me}, C_{md}$  — prosečna cena jednog kg maziva, din/kg,

$l_s$  — stvarna dužina pruge — deonice za koju se utvrđuju troškovi, km.

Troškovi vučnih vozila (lokomotiva) obuhvataju sledeće troškove:

— snabdevanja i pripreme vučnih vozila,

— amortizacije,

— premije osiguranja,

— investicionog održavanja,

— tekućeg održavanja.

S obzirom na to da se kod svih razmatranih načina organizovanja železničkog saobraćaja ne koristi isti broj

lokomotiva to ovi troškovi imaju uticaja na relativno upoređivanje i rangiranje.

*Troškovi snabdevanja i pripreme* za jedan voz ( $T_{vs}$ ) dobijaju se množenjem broja lokomotiva u službi kod jednog voza sa specifičnim troškovima ove grupe po jednoj izdatoj lokomotivi.

*Troškovi amortizacije lokomotiva* ( $T_{va}$ ) obračunavaju se na osnovu vremenske amortizacije. Ukupne troškove amortizacije potrebno je svesti na vreme putovanja voza. Oni se mogu utvrditi izrazom:

$$T_{va} = \frac{\gamma_1 \cdot Q_1 \cdot p'_a \cdot T_p}{8760 \cdot 100 \cdot t_p} t_p, \text{ dinara, (22)}$$

gde je:

$\gamma_1$  — koeficijent kojim se uvećava radni park lokomotiva na inventarski park,

$Q_1$  — osnovica za amortizaciju (nabavna vrednost) lokomotive, dinara,

$p'_a$  — amortizaciona stopa, %,

$T_p$  — puni obrt lokomotive sa pranjem i pregledima, h,

$t_p$  — vreme putovanja voza, h,

$t_p^o$  — vreme putovanja lokomotive u toku punog obrta, h,

8760 — broj časova u godini.

*Troškovi premija za osiguranje* ( $T_{vo}$ ) svode se na jedan voz i proračunavaju pomoću izraza:

$$T_{vo} = \frac{\gamma_1 \cdot Q_1 \cdot p'_{os}}{8760 \cdot 1000} \left( 1 - \frac{x_1}{n'_1} \right) \frac{T_p}{t_p^o} t_p, \text{ dinara (23)}$$

gde je:

$p'_{os}$  — stopa za osiguranje, %,

$x_1$  — starost vučenog vozila, godina,

$n'_1$  — vek trajanja vučenog vozila, godina.

*Troškovi investicionog održavanja lokomotiva* ( $T_{vi}$ ) mogu se utvrditi pomoću izraza:

$$T_{vi} = \frac{C'_i}{L^i_{km}} n^i_{km}, \text{ dinara, (24)}$$

gde je:

$C'_i$  — prosečno koštanje jedne investicione opravke u ciklusu odgovarajuće vrste lokomotive, dinara,

$L^i_{km}$  — prosečno pređeni put u kilometrima između dve investicione opravke, km,

$n^i_{km}$  — lokomotivski kilometri ostvareni kod voza.

*Troškovi tekućeg održavanja lokomotiva* ( $T_{vt}$ ) svedeni na jedan voz obično se utvrđuju na osnovu specifičnih troškova po jednom lokomotivskom kilometru i broja ostvarenih lokomotivskih kilometara kod posmatranog voza:

$$T_{vt} = \frac{T^u_{vt}}{N^i_{km}} n_{km}, \text{ dinara, (25)}$$

gde je:

$T^u_{vt}$  — ukupni godišnji troškovi tekućeg održavanja, dinara,

$N^i_{km}$  — ukupni lokomotivski kilometri ostvareni za period utvrđivanja ukupnih troškova.

Kod svih razmatranih načina organizovanja železničkog saobraćaja, da bi se ostvario zadati obim prevoženja koristi se isti broj kola tako da u njihovom rangiranju nemaju uticaja.

S obzirom na mogućnost upotrebe različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja nameće se potreba utvrđivanja *troškova lokomotivskog osoblja* ( $T_{ol}$ ). Ti troškovi svedeni na voz utvrđuju se izrazom:

$$T_{ol} = T^l_{ol} + T^k_{ol} = \alpha_1 \frac{P_m + P_p}{T_{nm}} \cdot \frac{T_{rad}}{t_p^o} t_p + n^l_{os} \cdot n_{km} \cdot C^l_{km}, \text{ dinara, (26)}$$

gde je:

- $T_{ol}^v$  — bruto lična primanja osoblja, dinara,
- $T_{ol}^k$  — ostvareni kilometri osoblja, km,
- $\alpha_1$  — koeficijent rastura osoblja (odmori, bolovanja i sl.),
- $P_m$  — prosečna mesečna bruto lična primanja mašinovođe, dinara,
- $P_p$  — prosečna mesečna bruto lična primanja pomoćnika mašinovođe, dinara,
- $T_{nm}$  — mesečni normalni rad (182 časa),
- $T_{rad}$  — rad osoblja u časovima za vreme jednog punog obrta lokomotive,
- $n_{os}^l$  — broj lokomotivskog osoblja kod jednog voza,
- $n_{km}$  — broj ostvarenih voznih kilometara u toku jednog vučnog turnusa,
- $C_{km}^l$  — normirna cena kilometraže kod osoblja u dinarima po kilometru puta voza, din/km.

Na osnovu izloženog može se dati konačni model za utvrđivanje uporednih troškova prevoženja, kod različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja, svedenih na jedan vozni sat:

$$E_{pr}^v = T_{pe} + T_{vv} + T_{ol}, \text{ dinara/voz.sat,} \quad (27)$$

gde je:

- $T_{pe}$  — troškovi pogonske energije i maziva, dinara/voz.sat,
- $T_{vv}$  — troškovi vučnih vozila, dinara/voz.sat.
- $T_{ol}$  — troškovi lokomotivskog osoblja, dinara/voz.sat.

Opšti model utvrđivanja troškova za elektrovuču može se prikazati izrazom:

$$E_{pr}^v = T_{ee} + T_{me} + T_{vs} + T_{va} + T_{vo} + T_{vi} + T_{vt} + T_{vl}, \text{ dinara/voz.sat,} \quad (28)$$

a kod dizel vuče:

$$E_{pr}^{vd} = T_{ed} + T_{md} + T_{vs} + T_{va} + T_{vo} + T_{vi} + T_{vt} + T_{ol}, \text{ dinara/voz.sat.} \quad (29)$$

Radi upotrebne vrednosti u ovom radu ovako utvrđene troškove voza treba na određeni način svesti na jedinicu vremena prevoženja, jer se i za vreme stajanja vozova, radi obavljanja određenih operacija po službenim mestima, stvaraju određeni troškovi. Tada bi troškovi u toku vremena prevoženja iznosili:

$$E_{pr} = E_{pr}^v \cdot N_v \cdot T_{pr}, \text{ dinara,} \quad (30)$$

gde je:

$N_v$  — broj angažovanih vozova za prevoženje.

## Zaključak

Troškovi prevoženja masovnih toкова tereta železnicom u ovom radu su posmatrani preko troškova voza i to njegovih stalnih i određenih direktnih troškova koji imaju uticaja na relativno upoređivanje, odnosno rangiranje varijanata organizovanja železničkog saobraćaja.

Tako su razmatrani troškovi: pogonske energije, vučnih vozila, maziva, snabdevanja i pripreme, amortizacije lokomotiva, premija osiguranja, investicionog i tekućeg održavanja lokomotiva i troškovi lokomotivskog osoblja.

U cilju što objektivnije optimizacije prema definisanom kriterijumu troškova prevoženja, nameće se potreba daljeg istraživanja i ugradnje u model eksternih troškova koje trpi privreda

neodvikanjem železničkog saobraćaja za svoje potrebe zbog obavljanja masovnih prevoženja za potrebe VJ. Pored ove vrste eksternih troškova interesantne

su za dalja istraživanja i druge vrste eksternih troškova (troškovi zagađenja životne sredine, troškovi saobraćajnih nezgoda i dr.).

#### Literatura:

- [1] Čičak, M. i Erer, S.: Organizacija železničkog saobraćaja, Naučna knjiga, Beograd, 1978.
- [2] Kolarić, V.: Ekonomika železničkog saobraćaja, knjiga II, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd, 1968.

- [3] Jovanović, D.: Železnički saobraćaj i transport, skripta, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [4] Jovanović, D.: Optimizacija organizacije železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjima za potrebe OS, doktorska disertacija, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1991.



## prikazi iz inostranih časopisa

### TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE MONTAŽE\*

Tehnologija površinske montaže (SMT-Surface mounted technology) u oblasti elektronike predstavlja jednu od najvećih inovacija, od vremena pronalaska i primene integriranih kola. Suštinu tehnologije predstavlja automatizovan odabir, razmeštanje i postavljanje — fiksiranje minijaturizovanih komponenti za površinsku montažu (SMC-Surface mounted components) na štampane ploče radi izrade sklopova sa površinskom montažom (SMD-Surface mounted devices).

SMT uključuje tri osnovna segmenta, i to:

- tehnologiju izrade i izradu SMC (otpornici, kondenzatori, diode, tranzistori, IC, štampane ploče i sl.);

- tehnologiju izrade i izradu programibilnih mašina — postrojenja za postavljanje SMC;

- tehnologiju postupaka sa SMC (pakovanje, lepljenje, čišćenje, lemljenje, i sl.).

Osnovna karakteristika SMC je da se za njihovu ugradnju ne koriste otvori ili nosači na podlozi za postavljanje komponenti, već se komponente spajaju za površinu lemljenjem ili lepljenjem. Ceo proces, od odabira SMC, preko po-

stavljanja na određena mesta, pa do pričvršćenja na podlogu, odvija se automatski.

Pasivne komponente (npr. otpornici i keramički kondenzatori) proizvode se u obliku kvadra u tri standardne veličine: 0850 ( $2 \times 1,25 \text{ mm}^2$ ), 1206 ( $3,2 \times 1,6 \text{ mm}^2$ ) i 1210 ( $3,2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ ). Minijaturizovane su i ostale pasivne komponente kao termistori, induktivnosti, potencijometri, tantal i aluminijumski kondenzatori, i sl.

Linije za kašnjenje, mrežni i impulzni transformatori, kao i otporničke mreže ugrađuju se u posebna kućišta (CC) radi površinske montaže.

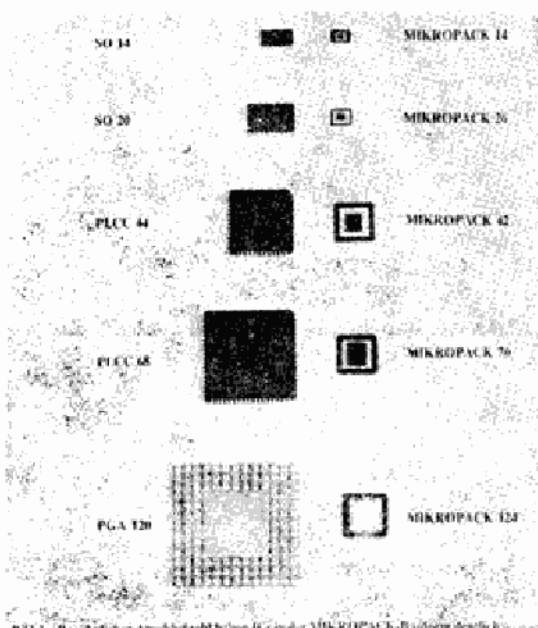
Aktivne SMC takođe se ugrađuju u posebna kućišta (SO i CC). Smanjenje površine IC u SO kućištima, u odnosu na standardna kućišta iznosi preko 3,5 puta, a mase i preko 10 puta.

U SMC tehnologiji izrade štampanih ploča i keramičkih podloga počelo se sa standardnim rastojanjem između spojeva od 1,27 mm, u odnosu na 2,54 mm kod klasičnih ploča. Ravojem

\*) Prema podacima iz časopisa: Systems for surface mount electronics production — AM — 88 god.



aditivnog postupka (nanošenjem bakra na podlogu ploče), u odnosu na substrativni postupak (nagrizanje bakra kod klasičnih štampanih ploča), raster je



Sl. 1. Režimski prikaz tipova i simbol MIKROPACK-Baštem deseti i osam

Sl. 1 — Klasične i SMC elektronske komponente

smanjivan, pa se sada koristi raster od 0,5 mm. Time se postigla povećana gustoća pakovanja SMC sa velikom uštedom materijala.

Pojedini proizvođači su osvojili i tehnologiju izrade dvostranih SMD), čime su se sve prednosti minijaturizacije udvostručile.

U svetu postoji mnogo proizvođača mašina-postrojenja za razmeštanje i postavljanje SMC na podlogu. Zajednička karakteristika im je podela na hardverski i softverski način upravljanja. Hardversko upravljanje primenjuje se u velikoserijskoj proizvodnji, gde je postignut kapacitet razmeštanja SMC i preko 500.000 komponenti na čas.

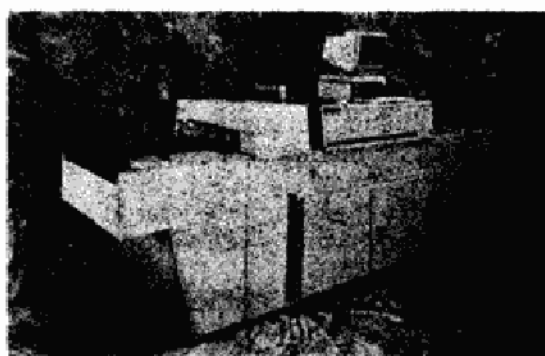
Sistemi sa softverskim upravljanjem koriste se tamo gde je potrebna velika fleksibilnost u pogledu izbora op-

timalnog SMC i brza asortimanska promena finalnog proizvoda.

Od tehnika spajanja SMC na podlogu, najčešće su u primeni spajanje lepljenjem i lemljenjem. Kod lepljenja najčešće se primenjuju epoksidni lepkovi, sa definisanom toplotom i električnom provodnošću. Lepkovi se kod automatske montaže nanose putem mašina, žigosanjem ili doziranjem, a kod ručne ili poluautomatske montaže putem sitoštampe.

Kod lemljenja u SMT primenjuje se »reflow« tehnika lemljenja i lemljenje laserom. Najčešći postupak je lemljenje u parnoj fazi i infracrvena tehnika lemljenja. Lemna pasta sa tehnikom sitoštampe nanosi na lemna mesta na štampanoj ploči, postavljaju se SMC, a zatim se ploče uranjaju u pare fluoro-odonika ili se izlažu dejstvu infracrvenih zraka u IC pećima.

Masovnija primena i proizvodnja SMC uz dalji razvoj SMT u Evropi je, početkom sedamdesetih godina, vezana za razvoj minijaturnih kućišta za potrebe industrije satova. Od tada pa do danas SMT je prihvaćen kao vodeća tehnologija u svim savremenim elektronskim industrijama razvijenih zemalja sveta. SMT je našla primenu u velikoj



Sl. 2 — Mašina za »reflow« spajanje SMC

većini elektronskih sklopova i uređaja (telekomunikaciona tehnika, računarska tehnika, medicinska elektrotehnika,

elektronika za komercijalnu upotrebu, instrumenti, vojna elektronika, itd.).

Princip »manji po veličini, veći po mogućnostima« jeste osnova uspeha i širenja primene SMT.

U 1986. oko 14% od svih upotrebljenih komponenti u svetu ugrađeno je u sklopove putem ove tehnologije. U 1987. taj procenat je iznosio 18-20%, u 1990. oko 50%, te se tendencija rasta nastavlja i dalje.

Osnovne prednosti SMT, koje su pretpostavka uspehu primene ove tehnologije, u odnosu na klasičnu tehnologiju izrade elektronskih sklopova i uređaja su:

- skraćeni putevi signala;
- smanjena parazitna kapcivnost i induktivnost;
- smanjena potrošnja energije sklopova i uređaja;
- smanjeni gabariti sklopova i uređaja;
- povećana mogućnost hermetizacije;
- veća ukupna pouzdanost;
- veća otpornost na vibracije i udare;
- jednostavna automatizacija proizvodnje;
- manja proizvodna cena sklopova i uređaja (i do 50%).

Osnovni problemi, naročito za oštre uslove u proizvodnji elektronskih sklopova i uređaja za vojne svrhe, javljaju se u oblasti osetljivosti na zahtevanu pouzdanost pri temperaturnim promenama u eksploataciji. Kritičan je odnos koeficijenata širenja materijala kućišta SMC u odnosu na podlogu, pri brzim temperaturnim promenama.

Tako se, na primer, CC kućišta za SMD izrađuju u plastičnoj i keramičkoj varijanti. Ispitivanja su pokazala da keramička CC-kućišta, ugrađena na keramičku podlogu, vrlo dobro podnose temperaturna cikliranja u području od -55 °C do 125 °C. Međutim, kod pod-

loge od epoxy-stakla (FR-4), kod ugrađnje na standardnu šampanu ploču, već nakon nekoliko ciklusa dolazi do pukotina na lemnom mestu.

Kao posledica toga došlo je do razvijanja novih podloga za izradu stampanih ploča (polimer-metal, polimer-kevlar, kvarc, berilijum, i sl.). Nove podloge omogućavaju rešavanje problema termičkog širenja, bržu i efikasniju disipaciju toplote uz ispunjavanje oštarih zahteva za otpornost na mehaničke potrese i vibracije. Time je umnogome otvoren put za vrlo široku primenu SMT u sklopovima i uređjima i za vojne potrebe.

B. Janković, dipl. inž.

## KOLIKO JE BIOLOŠKO ORUŽJE STVARNO OPASNO?\*

U švajcarskom časopisu »International defense review«, br. 8/1990, objavljen je članak koji razmatra stvarnu opasnost od biološkog oružja. Autori članka navode da su se i ranije čuli glasovi o revolucionarnim biološkim oružjima u tadašnjem SSSR-u, gde su naučna dostignuća omogućila razvoj BOT sa ogromnim taktičkim i stratejskim potencijalima. Navodno novo biološko oružje sadrži takva hemijska sredstva koja brzo deluju i imobilizuju živa bića tako brzo da se oba trenutno »zamrzu«, stvaraju organizme koji dovode do fatalnih infekcija tako kratkog trajanja da se mogu primeniti kao taktička oružja i nova generacija sredstava za »kontrolu svesti«. Tadašnji direktor CIA smatra da još 10 nacija radi na razvoju biološkog oružja.

Naučna javnost je, takođe, zabrinuta zbog toga što su medicinske i biološke nauke uzele učešća u izradi vojnog naoružanja. Dok je razvoj, skladištenje

\*) Prema podacima iz časopisa: »INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW« 8/90.

i razmeštanje biološkog oružja zabranjeno Protokolom iz Zeneve iz 1925. i Konvencijom o biološkom oružju iz 1972, istraživanja i razvoj su dozvoljeni za odbrambene svrhe. Zbog tajnosti koja okružuje ove programe došlo je do naučne opozicije zavereničkih razmera.

To se moglo videti iz reakcije koja je usledila nakon molbe američkog KoV Kongresu da odobri sredstva za ispitivanje patogena u aerosolnom stanju. Do nepoverenja prema namerama američkog KoV došlo je zbog nedostatka efikasnih verifikacionih postupaka za utvrđivanje poštovanja međunarodnih dogovora. Svako postrojenje koje može da proizvodi protivotrove za određene BOt može, takođe, da razvije oružje koje sporazum ne zabranjuje za odbrambena dejstva na isti način.

Interesantno je pitanje zašto se opasnost od biološkog rata smatra sve akutnijom. Neki od izveštaja se zasnivaju na informaciji o sovjetskim programima iz šezdesetih godina i tek sada pozivaju na uzbunu. Da bi se razumela verodostojnost koja je poklonjena nedavnim obaveštajnim izveštajima i tvrdnjama sovjetskih dezertera, od velike je važnosti da se oni razmotre u odnosu na naučna i socijalna zbivanja u toku protekle decenije.

### Problemi biološkog oružja

Jedan od glavnih faktora koji sprečavaju napredak u razvoju biološkog oružja jeste proizvodnja prečišćenih agensa u velikim količinama. Za efikasno biološko oružje potreban je razvoj organizama povećane virulencije (otrovnosti) koji bi bili imuni na konvencionalne antibiotike i antiviruse lekove. Za ova istraživanja potrebni su dugotrajni postupci klasične genetike i biohemije.

Razvoj kombinatorne tehnologije DNK i besprekidni sistemi gajenja kultura omogućiće naučnicima da unose željene gene u organizme i da ih nakon

toga odgajaju na industrijski način. Otuda se javlja »teoretska mogućnost« da se stvori organizam sa potrebnim kvalitetima povećane otrovnosti, infektivnosti, trajnosti i otpornosti na lekove, jer kada se geni unesu ne postoji garancija da će delovati ili da ukupan efekat neće prejudicirati opstanak organizma.

Pojava virusa SIDE dovela je ovu naučnu revoluciju u centar pažnje medija. Mnoge od ovih tehnika biološkog inženjringa korišćene su za analiziranje virusa. To nije bio prvi retrovirus koji je pronađen u čoveku, ali raniji organizmi nisu predstavljali socijalnu opasnost kao HIV.

Imajući u vidu razvoj kombinatorne tehnologije DNK ne bi trebalo da iznenađuje strah da je virus SIDE jedan odbegli ratni otrov. Ironija ove tvrdnje jeste da su preduzeti međunarodni naponi jedva dešifrovali strukturu toga virusa. U stvari, virus HIV ne zadovoljava kriterije biološkog oružja, a stvaranje jednog takvog organizma je van moći postojeće tehnologije.

Savremena tehnologija, takođe, potpomaže napredak drugih oblasti bioloških istraživanja i izgleda da će ta istraživanja potvrditi izveštaje o razvoju sovjetskih sredstava za kontrolu svesti. U toku poslednje decenije otkriven je niz malih peptida koji uzajamno dejstvuju sa centralnim nervnim sistemom, a jedna takva grupa su endorfini. Kada se izluče usled stresa, oni imaju uspavljujuće dejstvo i izgleda da blokiraju bol. Drugi hemijski prenosioci poruka dejstvuju u mozgu i neravnoteženost u njima može da dovede do teških mentalnih poremećaja kao što je šizofrenija.

Najzad, svedoci smo eksplozije u primeni »rekreacionih medikamenata« i pojave novih jakih medikamenata sa svim socijalnim posledicama. Ovi medikamenti razaraju mali, ali značajan deo naše populacije. Isto tako zabrinjavajuća je pojava nezakonitog distribuiranja, kao i zaštita koju pravovojne sna-

ge pružaju snabdevačima. Sve to privlači strane obaveštajne službe, čime se nacionalna bezbednost još više izlaže riziku.

### **Da li su u pitanju nova strategijska oružja?**

Mada je teško proceniti sadašnje stanje sovjetskog biološkog oružja, možemo se zapitati kakav je uticaj imao nedavni naučni napredak na mogućnost svake nacije da proizvede i koristi biološko oružje. Patogeni organizmi su od drugog svetskog rata privukli ozbiljnu pažnju kao strateški biološki agensi. Saveznička obaveštajna služba tada je strahovala da Nemci nameravaju da stave u borbenu spremnost rakete V-1 sa snažnim botuliniskim otrovom u bojnim glavama.

Japansko istraživanje je otišlo još dalje. Na kraju rata oni su sproveli operativna ispitivanja sa ciljem da izazovu epidemiju u Kini. Tu spada niz patogenih organizama koji su u stanju da izazovu otrovne infekcije epidemičkih razmera, ali je malo njih, a možda nijedan, imalo karakteristike koje su potrebne za idealno biološko oružje. Mnogi od najotrovnijih bakterijskih organizama su osetljivi na tretman antibioticima. Velikom broju potencijalnih ratnih agensa potrebne su životinje ili insekti za njihovu disperziju, postojanost i prenošenje na čoveka. Neki organizmi su veoma infektivni, ali malo otrovni, na primer virusi koji prouzrokuju običan nalez. Drugi, dok prouzrokuju infekcije visoke smrtnosti, malo su infektivni, (na primer virus side). Ono što je najvažnije, civilne i vojne sanitetske ustanove su pratile infekcije svih tih organizama i dobro obavljaju svoj posao. Mada je kuga endemska bolest u SAD, predskazanje sudnjeg dana zbog plućne kuge u većim američkim gradovima nije se ostvarilo. Američki KoV sprovodi svoja sopstvena istraživanja u oblasti zaštite od važnijih ljudskih patogena i uzda se u svoju

sposobnost da sprovodi operacije u zemljama gde su oni endemski. Izgleda da konvencionalni organizmi »divljeg tipa« nisu više opcija za biološko oružje usmereno prema zemljama u razvoju.

Šta reći o ranije nepoznatim organizmima? Mada je broj novih infektivnih bolesti, koje su došle prirodnim putem, u zadnjih 20 godina porastao u toj meri da predstavljaju izazov medicinskoj nauci, sve one su razvrstane u pripadajuće grupe, opisane i lečene, izuzev retrovirusima, a za većinu glavnih infektivnih organizama vakcine se masovno proizvode. Većina novih vakcina i metoda za brzo dijagnosticiranje zasnovana je na tehnologijama kombinatorne DNK i srodnim tehnologijama monoklarnih antitela.

Tako bilo kakav uticaj da ima na razvoj biološkog oružja, naučna revolucija je ubrzala napredak u dijagnozi i kontroli bolesti. Sada se već može usmeriti pažnja na skiciranje novih snažnih »kombinatornih« oružja. Godine 1984. pričalo se da su Sovjeti pokušali da sjedine gen faktora kobrinog otrova sa virusom gripa. Zaključak je bio da bi virus delovao kao »fabrika« koja će stvarati otrov koji bi zatim usmrtio zaraženu osobu. Virus gripa se širi pomoću kapljčaste infekcije prouzrokujući masovni epidemiju, pa bi ovakva kombinacija bila bliska konceptu »idealnog biološkog oružja«.

Međutim, ovo klasično korišćenje kombinatorne DNK tehnologije za izradu biološkog oružja povećava broj problema za konstruktore. Prvi problem je da li će se geni za otrov transkribovati sa virusnim proteinima i u dovoljnoj količini da bi se postigao smrtonosni efekat. Drugi problem je na koji će se način doturiti do cilja i da li će postojeći serotipovi za influencu moći zaštititi napadnutu populaciju od ovog biološkog oružja? Najzad, da li može celokupna populacija agresora biti vakcinisana protiv dejstva biološkog oružja koje bi se, verovatno, raširilo širom sveta i koliko je vakcina efikasna? Efikasnost nešto manja od 100% rezul-

tovala bi se u velikom broju umrlih u zemlji koja koristi biološko oružje, a i malo je vakcina koje bi mogle da postignu taj stepen efikasnosti. Sve to je rečeno pod pretpostavkom da biološko oružje posle bacanja neće pretrpeti mutaciju »divljeg tipa« i zaobići zaštitnu predviđenu vakcinaciju. Na taj način, konstruktor biološkog oružja je prinuđen da stvori jedan rekombinovani agens koji je samoograničavajući.

Ključna stvar u ovoj oblasti je nepredvidljivost. Čak i ako bi bilo moguće napraviti idealan organizam pogodan za stratešku upotrebu, teško bi bilo ispitati ga u operativnim uslovima. Japan je bio poslednja zemlja za koju se zna da je izložila ljudska bića značajnim patogenima u ispitivanjima u poljskim uslovima. Može li se dobiti dobar eksperimentalni rezultat prilikom ispitivanja u poljskim uslovima bez izlaganja velikog dela populacije tom agensu? Da li bi jedna zemlja koristila rekombinatorno oružje koje je ispitano samo na životinjama, iako bi efikasnost biološkog oružja odredila političko i vojno reagovanje napadnute zemlje? Razvoj i ispitivanje samoograničavajućeg biološkog oružja pretpostavlja da agresor može na odgovarajući način da zaštiti sopstveni istraživački tim i građanstvo od slučajnog izlaganja biološkom dejstvu ispitivanog oružja. Još jednom se podvlači da period potreban za razvoj vakcine mora da bude uključen u vreme za koje novi agens bude borbena spreman.

U pokušaju da se pojednostave mnogi problemi koji su u vezi sa živim agensima, mnogo pažnje je posvećeno biološkim otrovima. U jednom skorašnjem napisu o razvoju u SSSR se kaže: »Moguće je stvoriti agense koji su snažniji za preko šest redi veličina od nervnih otrova!. Toksičnost mnogih bakterijskih i životinjskih toksina prevazilazi sve do sada poznate sintetičke otrove, uključujući organofosforne nervne otrove. Još pre 20 godina prečišćeni su postupci za masovnu proizvodnju i skla-

dištenje. Međutim, programe za razvoj ovih agensa kao biološkog oružja ome- li su problemi primene u borbene svrhe.

### Metode primene biološkog oružja

Tokom šezdesetih godina bilo je zaključeno da su aerosoli najefikasniji način borbene primene biološkog oružja. Čovek je osetljiv na visoke koncentracije najinfektivnijih agensa i toksina preko disajnih organa. Aerosoli omogućuju trenutni dostup u krvotok kroz plućno tkivo tankih zidova.

Prilikom prosipanja pet stotina litara bezopasnih bakterija sa jednog broda (koji je plovio duž američke obale u dužini od 275 km) u obliku aerosola, bilo je utvrđeno da je pokriveno 142.450 km<sup>2</sup> teritorije. Proračunato je da je »ugroženo« stanovništvo udahnuo između 15 i 15.000 čestica. Jedine primenljive veličine koje utiču na borbenu primenu biološkog oružja na napadnuto stanovništvo su preovlađujući meteorološki uslovi i dimenzije udahnutih čestica.

Na osnovu ove vrste istraživanja adaptiran je niz bombi i projektila za nošenje bioloških agensa. Otvarajući se na unapred određenoj visini, ovi sistemi mogu da izbace male bombe koje imaju spoljašnje lopatice zahvaljujući kojima rotiraju u vazduhu, pa se na taj način izbacuju biološki agens u obliku aerosola.

Međutim, irelevantno je da li projektil ili avion nose biološko ili nuklearno oružje, oba sredstva moraju da prođu kroz stratešku protivavionsku odbranu. Uzevši u obzir nepredvidljivost biološkog tereta, nuklearni teret je ipak najverovatniji teret agresora. Mogući izuzetak može da bude strateška upotreba bioloških agensa u obliku završnog udara koji sledi nuklearnom udaru. Može se predvideti da će jedno društvo imati smanjenu vojnu i sanitetsku odbranu u periodu posle Armagedona.

Specijalne snage mogle bi se upotrebiti za borbenu upotrebu biološkog oružja, verovatno koristeći nezakonitu mrežu za rasturanje doga, kako bi na tajni način unele biološko oružje za kasniju upotrebu. Upotreba nuklearnog oružja »veličine ranca« prikazana je američkom KoV u Fort Brag i prihvaćeno je da bi specijalne snage mogle da dislociraju specijalnu atomsku municiju za demoliranje (SADM — Special Atomic Demolition Munition) a to bi se, verovatno, odnosilo i na sovjetske specijalne snage.

Napad snažnim samoograničavajućim biološkim agensom na veliki grad imao bi socijalni katastrofalni efekat isto kao i detonacija nuklearne bombe od 1 Kt, ali izgleda da nema razloga da jedan agresor da prednost biološkom oružju. Jedno primućstvo upotrebe specijalnih snaga za dejstvo biološkim oružjem, koje može da bude sporno, jeste tajna upotreba biološkog oružja kako bi se imitirala prirodna epidemija. Međutim, neubičajena kombinacija kvaliteta, koja su svojesvrсна rekombiniranim orgnizmima, brzo bi identifikovala svog proizvođača, što bi dovelo do političkog i vojnog reagovanja.

To podjednako važi i za teritorističku opasnost. Simpozijum o biološkom oružju i terorizmu, kome su prisusvovali naučnici, političari i organi bezbednosti, zaključio je: »... postoji toliko mnogo oružja da teroristima ne predstavlja teškoću da stvore veoma problematično novo oružje«.

Dakle, pomoću kombinatorne DNK tehnologije sada je moguće uneti gene u mikrobe sa ciljem da se dobije proizvod gena za naučne ciljeve. Razmatrajući teoretski, može se iskoristiti tehnologija za stvaranje i masovnu proizvodnju efikasnijih strateških oružja. U praksi, pojavile se novi problemi za proizvođača, a interval između laboratorije i finalnog razmeštanja verovatno se povećava. Suprotno drugom strateškom oružju, upotreba biološkog oružja uvek će biti povezana sa određenim stepenom nepredvidljivosti.

Smatra se da je biološko oružje podesno za stvaralačko razvijanje. Agensi podesni za upotrebu na bojištu trebalo bi da izazivaju visoki stepen smrtnosti i da deluje brzo. Bez obzira na dozu i put izlaganja, živi organizmi ne zadovoljavaju ove kriterijume.

Otrovi mogu biti korišćeni kao snažno taktičko oružje u tome pogledu. Najsnažniji su hemijski nestabilni i ne mogu se aktivirati mehaničkim stresom i toplotom, pa predstavljaju problem za korišćenje u projektilima. Stabilnost se može povećati hemijskom modifikacijom, ali produžena trajnost takvih snažnih agensa očividno će se pokazati kao nedostatak za trupe koje se kreću kroz kontaminirane položaje. Optimalna atomsferska disperzija aerozola iznad bojišta zavisice od meteoroloških uslova i može kontaminirati veliku oblast ispred trupa koje su ih upotrebile. To nije neminovno nekompatibilno i sa sovjetskom taktikom dubokih prodora pomoću veoma mobilnih borbenih grupa koje nadiru kroz breše radi dubokih prodora.

Skorašnji izveštaji tvrde da su zemlje Varšavskog pakta razvile novi asortiman hemijskog i biološkog oružja i nazivaju ih »psihotoksinima«. Grubo se mogu podeliti u agense koji koče neurološke procese (dovode do guita volje za borbu) ili stvaraju haotično psihičko stanje (psihotomimetiци ili psihodelici). Tvrdi se da su ispitivani u jugoistočnoj Aziji i Avganistanu a njihova upotreba protiv otpornih tačaka nalaze se i u scenarijima za vojne vežbe Varšavskog pakta.

Postoji li mogućnost da su Sovjeti otkrili asortiman novih hemikalija koje su nepoznate na Zapadu? Važno je napomenuti da je malo farmaceutskih sastava proizašlo iz najnovijih otkrića sinteze. Većina se pojavila kao rezultat otkrića novih upotreba dobro poznatih medikamenata ili kao rezultate modifikacije postojećih struktura. Biblioteka

računarskih programa za hemijske strukture pokazala se kao moćno sredstvo za identifikaciju aktivnih mesta molekula. Strukture mogu da budu rekonstruisane radi povećanja efekta ili proizvodnje novih, a to je početak »konstruisanih preparata«.

Zbog toga je malo verovatno da su agensi, koji se razvijaju u Sovjetskom Savezu potpuno nepoznati na Zapadu. Mogu li oni u svakom slučaju biti snožno borbeno oružje? Ljudi različito reaguju na sve preparate izuzev na psihodelike (halucinatore). Jedan agens koji dovodi do halucinacija kod nekog lica može da izazove ubilačko nasilje, dok kod drugog nema nikakav učinak. Agresora može da dovede do stanja suprotnog onom koje je želeo, da postigne.

Uopšteno se može reći da što agens brže deluje na jedno lice, utoliko se razvija tolerantnost. I ovde je, takođe, ključna stvar nepredvidljivosti. Što se tiče bioloških agensa koji dovode do gubitka borbenih sposobnosti, neshvatljivo je da jedan agens može tako brzo da deluje da ljudi, »zamrznu« na mestu, kako je to ranije navedeno, ne budu usmrćeni trenutno paralizom nervno-mišićnog sistema. Takav jedan agens bi se samo smatrao kao varijacija na temu hemijskog nervnog BOt.

## Zaključak

Izveštaji o novim sovjetskim taktičkim i strategijskim biološkim oružjima imaju ogromno propagandno dejstvo. Pored stvaranja željenih efekata na svest protivnika, biološko oružje mogu eksploatisati naučnici na Zapadu kojima je potrebna politička podrška za tekuće istraživanje programa. Možda i nije koincidencija da se pažnja usmerava na »ova nova sovjetska oružja« u vreme velikih restrikcija sredstava za nauku na Zapadu i političkih liberalizacija na Istoku.

Ove ideje lako nalaze plodno tlo: posle decenije povećanih problema sa

drogom, pojavom epidemije SIDE i nedovoljno shvaćanom revolucijom u oblasti genetike, sa dalekosežnim etičkim i zakonskim razgranjavanjima, ne bi bilo prvi put da smo preцениli naučne mogućnosti i Istočnog bloka

Šok, izazvan gledanjem američkih ratnih zarobljenika koji denunciraju svoju zemlju, posle ispiranja mozga, kineskim i severno-korejskim zarobljivačima podstakao je agenciju CIA da lansiraju svoj novi ozloglašeni »MK-Ultra« projekt. Cilj ovih istraživanja bio je da se pronađe tehnika i preparati za kontrolu svesti koje koriste Kinezi za podrivanje američkih zarobljenika. U toku ovih istraživanja, koje je finansirala CIA, američki i kanadski građani su korišćeni kao zamorčici u eksperimentima koji su upoređivani sa nemačkim medicinskim eksperimentima u »logorima smrti«.

Tragedija ovih eksperimenata je u tome što su bazirani na pogrešnim naučnim premisama. Dugoročno rešenje za opasnost od biološkog rata može se naći jedino u obliku političkih dogovora koji bi bili podržani efikasnijim verifikacionim procedurama

Najkraće rečeno, sve veća otvorenost između vlada i međunarodne naučne zajednice omogućila bi bolje analiziranje naučnog progressa u vojnoj nauci, snažnim sredstvom zdravog razuma i naučnom raspravom

U nastavku članka daje se kraći prikaz međunarodnih aktivnosti oko zabrane proizvodnje i upotrebe biološkog oružja. Dugo godina biološko oružje je svrstano u kategoriju hemijskog oružja ili uopštenije — u oružje za masovno uništenje. Prva rezolucija Generalne skupštine Ujedinjenih nacija od 24. januara 1946. tražila je ne samo eliminisanje nuklearnog oružja, već i »svih ostalih najpoznatijih oružja za masovno uništenje«, uključujući »smrtonosna hemijska i biološka oružja«.

Na sličan način je Ženevski protokol iz 1925. zabranio korišćenje u ratu zagušujućih, otrovnih i drugih ga-



sova i bakteriološke metode ratovanja. Tek krajem šezdesetih godina bilo je sugerisano da se ova dva tipa ratovanja tretiraju odvojeno. Godine 1969. Velika Britanija je predložila nacrt konvencije za zabranu bioloških metoda ratovanja. Za razliku od hemijskog oružja dokazivalo se da biološko oružje nije nikad praktično korišćeno u ratu. Jedini poznati slučajevi u ovom veku dogodili su se u toku kinesko-japanskog rata i u II svetskom ratu, kada su Japanci koristili biološke agense i otrove.

Godine 1971. nekoliko država je podnelo dva odvojena, ali identična nacrta konvencije za ograničavanje biološkog oružja. Finalna verzija konvencije stupila je na snagu 26. marta 1975. U međuvremenu, ratifikovalo ju je 111 zemalja, a potpisalo još 25 zemalja.

Ova konvencija zabranjuje proizvodnju, skladištenje ili pribavljanje, na bilo koji način bioloških agensa ili toksina svih tipova za bilo koju drugu namenu osim za profilaktičke, zaštitne ili miroljubive ciljeve. Konvencija, takođe, zabranjuje oružja, opremu i načine dotura koji imaju za cilj da se takvi agensi ili toksini koriste za neprijateljske svrhe ili u oružanim konfliktima. Konvencija traži eliminisanje postojećih oružja, ali ne zabranjuje eksplicitno korišćenje biološkog oružja ko-

je je već zabranjeno Ženevskim protokolom iz 1925.

Efikasnost procedura verifikacije i povinovanja će se, po potrebi, preispitati. Održane su dve revizione konferencije, 1982. i 1986. Na drugoj konferenciji razmatrane su, pored ostalog, i mere za poboljšavanje poverenja.

Na drugoj konferenciji završna deklaracija je odobrila uvođenje sledećih mera: izmenu informacija o pojavi infektivnih bolesti; ohrabrivanje objavljivanja relevantnih istraživanja i aktivno unapređivanje kontakata između naučnika koji su angažovani u biološkim istraživanjima. Godine 1987. održan je jedan ad hoc sastanak naučnih i tehničkih stručnjaka koji je preporučio oblik i sadržinu informacije koje bi slale zemlje departmanu za pitanja razoružanja Ujedinjenih nacija. Tu informaciju bi trebalo da dobije i Svetska zdravstvena organizacija.

Dok bi treća revizionarna konferencija, najkasnije do 1991, trebalo da se bavi ispitivanjem uticaja naučnog napretka i adekvatnošću mera za poboljšanje poverenja, novi legalni postupci koji se odnose na režim verifikovanja Konvencije o biološkom ratovanju biće na raspolaganju posle završetka pregovora o Konvenciji o hemijskom naoružanju.

P. Marjanović





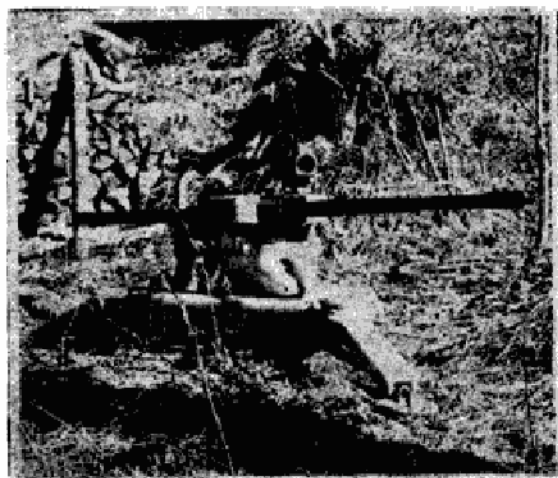
# tehničke novosti i zanimljivosti

## Pešadijski 25 mm top ILTIS švajcarske firme OERLIKON-BÜHRLE<sup>1</sup>

Da bi se omogućilo malim pešadijskim jedinicama uspešno suprotstavljati iznenadnoj opasnosti na bojištu od lakih oklopnih vozila i borbenih helikoptera, švajcarska firma OERLIKON BÜHRLE razvila je pešadijski top ILTIS kalibra 25 mm.

Sa lafetom od kompozitnog materijala, top ima masu 240 kg (od čega 69 kg otpada na sklop oružja bez cevi, 48 kg na cev i 123 kg na lafet. On se može rastaviti na više delova za prenošenje na leđima vojnika. Kada je snabdeven točkovima, može se dovesti do vatrenog položaja. Ako se montira na terensko vozilo, gađanje se može obavljati i u vožnji. Sposoban je za borbu protiv helikoptera do daljine 2000 m i lakih oklopnih vozila do 1800 m, ima brzinu gađanja 800 metaka/minut i koristi potkalibarnu municiju ( $V_0=1285$  m/s, vreme leta zrna do 2000 m 17 s) ili normalnu municiju ( $V_0=1160$  m/s, vreme leta do 2000 m 2,4 s). Punjenje oružja obezbeđuju dva magacina po 15

metaka sa mogućnošću brze promene dva tipa municije. Takođe je moguće i punjenje pomoću redenika (standardnog za sve 25 mm topove OERLIKON).



Pokretljivost cevi pokriva uglove od  $\pm 60^\circ$  po pravcu i od  $-10^\circ$  do  $+45^\circ$  po elevaciji. Proizvođač predlaže više nišanskih sistema: počev od klasične proste mehaničke nišanske sprave do glavnog optičkog nišana, koji preko optičkog kabla prenosi sliku cilja (sa mogućnošću podešavanja po veličini) nišandžiji u zaklonjenom prostoru. Pre-

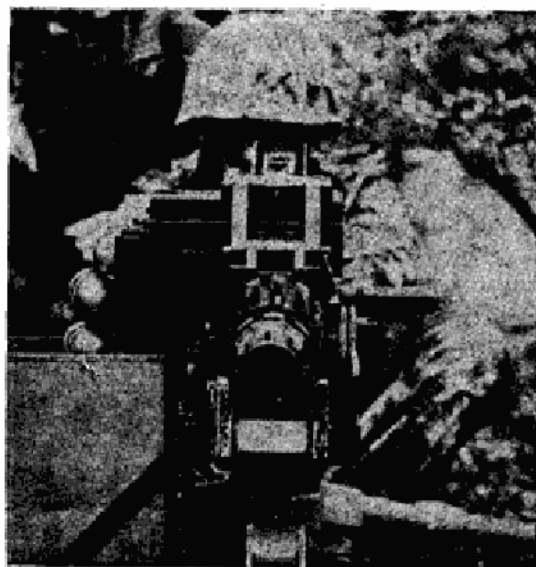
<sup>1</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 107, str. 87.

ma opciji, moguće je integrisati uređaj za noćno gađanje i daljinomer. Firma sada proučava, u cilju smanjenja mase sistema, konstrukciju topa od kompozitnog materijala, koji bi takođe bio vrlo interesantan za primenu na vazduhoplovima.

## Španski automatski bacač bombi SB 40 LAG<sup>2</sup>

Automatski bacač bombi SB 40 LAG španske firme SANTA BARBARA predstavlja originalno oružje, koje ispaljuje do daljine 1500 m i brzinom gađanja 200 bombi/minut, bombe 40×53SR. Njegov princip funkcije, na bazi dugog trzanja, omogućuje vrlo fleksibilnu upotrebu uz smanjenu masu i jednostavnije opsluživanje.

Ukupna masa bacača od 72,9 kg (30 kg za oružje, 22 kg za tronožno postolje, 10,5 kg za nosač oružja —



kolevku koja povezuje oružje i tronožac, i 10,4 kg za magacin sa 25 bombi, pogodna je za upotrebu u pešadijskim

<sup>2</sup> Prema podacima iz: DEFENCE & ARMENT INTERNATIONAL 1991, br. 107, str. 87.

jedinicama, zahvaljujući mogućnosti rastavljanja na 3 ili 4 tereta po oko 30 kg.

SB 40 LAG ima ukupnu dužinu 980 mm (dužina cevi 415 mm), širinu 200 mm i visinu 220 mm. On gađa do maksimalnog dometa 2200 m (praktičan domet 1500 m) početnom brzinom projektila 240 m/s, i koristi dva tipa municije (specijalno razvijene od firme SANTA BARBARA). Prvi tip je bomba razornog dejstva mase 350 g (projektil 240 g, eksplozivno punjenje 54 g) čiji je radijus ubitačnog dejstva 12,5 m. Drugi tip je vežbovna municija čije su balističke karakteristike slične kao kod bojne municije.

## Američki sistem za izviđanje iz vazduha RC-350 GUARDIAN<sup>3</sup>

Prateći u korak novi izviđački sistem firme WESTINGHOUSE za naknadnu ugradnju u avione ISLANDER/DEFENDER, američka firma RAYTHEON objavila je da nastavlja razvoj svog avionskog elektronskog izviđačkog sistema (ELINT) koji je namenjen međunarodnom tržištu.

Pod nazivom RC-350 GUARDIAN, sistem se sastoji od modularno zasnovane elektronske opreme smeštene u turboelisni avion KING AIR. Ugrađena elektronika hvata, kontroliše i registruje signale koji se zatim pomoću releja dostavljaju vozilu na zemlji preko bezbedne širokopojasne veze za prenos podataka za obradu i analize. Operatori u zemaljskoj stanici u stvari upravljaju i kontrolišu elektronsku opremu omogućujući pilotu da obavlja svoje dužnosti u vazduhu. Sistem GUARDIAN hvata signale kroz ceo opseg HF-UHF, od 20 do 1400 MHz, kao i u mikrotalasnom opsegu. Jedan precizni gonio-metarski i emitterski geo-lokacioni si-

<sup>3</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 11, str. 1277.

stem može da precizno odredi pravac emitovanja do nekoliko stepeni. Domet šifrovane veze za prenos podataka između platforme i zemaljske stanice (ili dve međusobno povezane stanice) je 320 km. Avion KING AIR ima na krajevima krila dva antenska kontejnera za otkrivanje radarskih frekvencija u GHz opsega, dok se u jednom ispuščenju na trupu nalazi multielementna antena koja služi kao geo-lokator i prijemnik prisluškivanja veza. Oprema se sastoji od modifikovanog sistema za elektronsku podršku ALQ-142, kao što ga imaju helikopteri SH-60 LAMPS. Avioni KING AIR, sa visinom krstarenja od oko 10.000 m i trajanje izvršavanja zadatka od 6 h, obavljali su slične dužnosti i u prošlosti. On je platforma za avion za specijalne zadatke RC-12D GUARDIAN američkog KoV koji je korišćen za frontovsko elektronsko izviđanje (ELINT) i izviđanje sredstvima veze (COMINT).

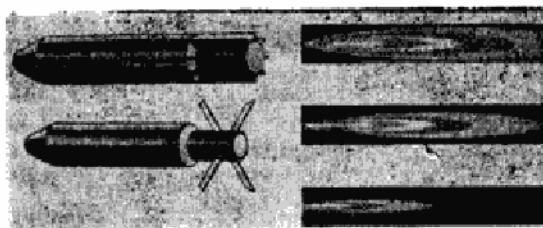
Prema tvrdnji firme, ovaj sistem se može proširiti integrisanjem drugih senzora kao što su radar i elektrooptika. Firma tvrdi da će i troškovi u toku radnog veka biti niži u odnosu na druge slične sisteme. GUARDIAN se sada nalazi u fazi ispitivanja a zatim bi trebalo da bude prikazan potencijalnim kupcima. Cena će biti reda 200 miliona dolara za sistem koji se sastoji od šest KING AIR platformi i dva zemaljska vozila.

## Nove koncepcije IC mamaca francuske firme SNPE<sup>4</sup>

Tehnološka evolucija sistema za samovođenje koja se javila početkom 80-tih godina dovela je do razvijanja sredstava za pasivna protivdejstva, takvih kao što su infracrveni mamci koji se koriste zajedno sa uređajima za pro-

tivelektronska dejstva. To se posebno odnosi na proizvode namenjene »vazdušnom sektoru«, čija je evolucija tekla najbrže.

Pojava sistema za protiv-protivdejstva, IC detektora sa više režima rada, čak i za 2000-te godine, video detektora, zahteva neophodnu zamenu konvencionalnih sredstava druge generacije.



Zahvaljujući velikom iskustvu stečenom u domenu pogona i analize mlazne propulzije, francuska firma SNPE (Société Nationale de Poudres et Explosifs) bila je u stanju da razvije originalnu koncepciju IC mamaca sa poboljšanom efikasnošću. Novi IC mamac nije više jednostavno sredstvo koje se pokorava dejstvima gravitacije i aerodinamičkih sila posle izbacivanja iz vazduhoplova. Ono je čak dobilo trajektoriju da emituje infracrvenu sliku prilagođenu platformi koju štiti. Korišćene pirotehničke smeše razvijene su iz onih koje se primenjuju u propulziji i sadrže aditive za stvaranje nivoa potrebnog IC i spektralnog zračenja. Postupak proizvodnje je sličan onome koji je već dobro poznat i primenjuje se u proizvodnji raketa.

SNPE je već realizovala takva sredstva čija je upotreba dovela, zajedno sa britanskom firmom PAINS WESSSEX, do programa za mogućnost njihovog korišćenja i ispitivanja u letu na avionu TORNADO. Sada se proučavaju mogućnosti primene na francuskim i američkim bacačima mamaca. Kao dopunu novih koncepcija, SNPE radi studiju, u cilju stvaranja banke podataka za odgovarajuće IC slike ma-

<sup>4</sup> Prema podacima iz: DEFENCE & ARMENT INTERNATIONAL 1991, br. 104, str. 98.

maca, koje treba da uđu u globalnu šemu namenjenu za predviđanje efikasnosti upotrebe mamaca. SNPE raspolaže dokumentacijom sa podacima merenja, koji bi mogli imati važnu ulogu u standardizaciji metodologija merenja.

U sektoru »zemlja« korišćen je isti prilaz posebno u formulisanju IC širokog opsega, koji se zasniva na pirotehničkim i nepirotehničkim koncepcijama, što dozvoljava veću pogodnost upotrebe municije, obezbeđujući povećanu efikasnost maskiranja oklopnih oruđa. Pored poboljšanja IC mamaca, SNPE obavlja proučavanja koja se odnose na mešovite IC radaru, u cilju davanja odgovora budućim potrebama na moru i u vazduhu.

### Nišanska sprava BOFORS za novu generaciju borbenih vozila<sup>5</sup>

Švedski tenk 90 je baza za buduću generaciju borbenih vozila. On je opremljen nišanskom spravom BOFORS, koja se sastoji od nišanske sprave za dnevno svetlo firme BOFORS

AERONAUTICS AB i uređaja za termo-sliku firme KOLLSMAN iz SAD. Obe firme su zajednički razvile navedenu nišansku spravu. Na slici je prikazana nišanska sprava, čije se gornje ogledalo može električnim servo-uređajem podešavati, pa se kao posebna izvedba može izvršiti i njegova žiro-stabilizacija. Kada je nišanska linija stabilizovana, laserski daljinomer je stalno usmeren na cilj i omogućava stalna tačna određivanja daljine u toku praćenja pokretnog cilja. Nišanska sprava je izgrađena po modularnom principu, pa može da izvršava brojne zadatke i da se prilagođava različitim ciljevima — vozilima, helikopterima, transportnim i borbenim avionima. Uprava za nabavke švedskih oružanih snaga ugovorila je nabavku u vrednosti od 20—30 miliona dolara, a predviđa i opcije za povećanje ove sume za 3 do 4 puta.

### Stabilizovani panoramski nišan PERI-RF nemačke firme ZEISS<sup>6</sup>

Nemačka firma ZEISS razvila je panoramski periskopski nišan PERI-RF sa inercijalnom stabilizacijom nišanske linije. Ovaj nišan namenjen je oružanim sistemima zemlja-vazduh i zemlja-zemlja protiv vazdušnih ili kopnenih ciljeva. Sa svojim glavnim komponentama identičnim kao kod panoramskog nišana RRI-R17 na tenku LEOPARD 2, PERI-RF namenjen je za:

- panoramsko osmatranje, nišanjenje, prepoznavanje i identifikaciju;
- osmatranje, označavanje i praćenje ciljeva;
- gađanje u urgentnim uslovima.

PERI-RF sastoji se od dva bloka: nišanske glave (77 kg, 330×560×310



<sup>5</sup> Prema podacima iz: SOLDAT UND TECHNIK 1992, br. 1, str. 84.

<sup>6</sup> Prema podacima iz: DEFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 107, str. 91.

mm) i elektronike (17 kg,  $200 \times 210 \times 450$  mm). On ima dva dijametra sočiva (ulaznog i izlaznog): ulazni dijametri od 8 mm i izlazni od 4 mm odgovaraju velikom vidnom polju ( $27^\circ$ ) i slabom uveličanju ( $2\times$ ) za traženje ciljeva, dok ulazni dijametri od 40 mm i izlazni od 5 mm odgovaraju uskom vidnom polju ( $7,2^\circ$ ) i jakom uveličanju ( $8\times$ ) za identifikaciju i praćenje ciljeva. PERI-RF pokriva  $360^\circ$  po pravcu



i od  $-10^\circ$  do  $+70^\circ$  po elevaciji. Njegova brzina pomeranja je  $> 2$  rad/s po pravcu i 1,6 rad/s po elevaciji, a greška  $< 0,2$  mrad. Uz potrošnju energije 3 A u kontinualnom režimu rada (14 A u vršnom), ovaj nišan se napaja naizmeničnom električnom strujom od 26 V/400 Hz.

## Modernizacija holandskog sistema za upravljanje PVO vatrom FLYCATCHER<sup>7</sup>

Modernizacija PVO sistema FLYCATCHER, koja treba da se obavi do 1995. godine, bila je nedavno predmet ugovora njegovog korisnika (već 10 godina) holandskog RV i proizvođača HOLLANDSE SIGNAALAPARATEN BV (SIGNAL) u okviru francuske grupe THOMSON. FLYCATCHER je sistem za upravljanje (po svakom vremenu) vatrom oružja PVO, pomoću osmatračko-akvizicijskog radara u frekventnim opsezima I i K. Upotrebljava se u RV u sadejstvu sa drugim sistemima za odbranu baza kao i centrima za regulisanje vojnog saobraćaja i borbene informacije. Revitalizacija FLYCATCHER-a uvećaće njegove operativne kapacitete, povisiće vek trajanja i pojednostaviti održavanje. Među dobijenim poboljšanjima, ona koja se odnose na protivielektronska dejstva zauzimaju značajno mesto. Zatim, radar FLYCATCHER-a visoke rezolucije ima spo-



sobnost raspoznavanja vazduhoplova koji lete u zbijenoj formaciji, zahvaljujući svojim kolima za prigušivanje smetnji od mesnih predmeta MTI (Moving Target Indication).

Njegov praktičan domet je reda 20 km za sve leteće ciljeve počev od

<sup>7</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 104, str. 79.

brzih aviona do helikoptera u stacionarnom letu i krstarećih raketa. Svi praćeni ciljevi su automatski pitani i identifikovani preko integrisanog sistema za raspoznavanje »prijatelj-neprijatelj« IFF (Identification Friend or Foe).

### **Španski artiljerijski metak sa potkalibarnim projektilom 105 mm CETME APFSDS<sup>8</sup>**

Španska firma SANTA BARBARA razvila je novi metak sa potkalibarnim projektilom 105 mm CETME APFSDS. Ovaj metak nedavno je prihvatila španska armija, a namenjen je za tenkovske topove F1, M68 i L7, koji se ugrađuju u tenkove AMX30, M48A5 i LEOPARD 1. Glavna odlika ove municije je relativno nizak pritisak u barutnoj komori (niži od 3400 Bara na temperaturi okoline od 21°C, dok je kod klasične potkalibarne municije 105 mm isti pritisak preko 4000 Bara). Penetrator potkalibarnog projektila ima masu od 18 kg, dužinu 550 mm i prečnik od 27 mm, tako da je ostvaren odnos  $l/d=20,4$ . Uz navedene karakteristike i početnu brzinu od 1480 m/s, penetrator probija tešku pancirnu NATO metu pod uglom od 60° na udaljenosti od preko 5000 m.

### **Projektil sa korekcijom trajektorije za 76 mm mornarički top italijanske firme OTO-MELARA<sup>9</sup>**

Italijanska firma OTO-MELARA razvija u kooperaciji sa firmom BRITISH AEROSPACE, za svoj standardni ili super brzi mornarički top 76/62 mm, projektil sa mogućnošću korigo-

vanja trajektorije za kalibar 76 mm. Ovaj projektil namenjen je protiv vazdušnih ciljeva koji razvijaju vrlo veliku brzinu (posebno rakete), sa uzimanjem u obzir spoljnih uticaja i/ili manevara izbegavanja koje vrše ovi ciljevi.

OTO-MELARA je zadužena za balističke komponente, propulziju i bojnu glavu (u saradnji sa italijanskom firmom BORLETTI i francuskom SNPE); BRITISH AEROSPACE odgovorna je za elektroniku (u saradnji sa MRSL). Ovaj projektil, koji treba da uđe u naoružanje 1992. godine zahteva samo ograničenu modifikaciju i male troškove za operativni centar broda i turelu topa. Elektronika u projektilu, reducirana na minimum zbog ograničenja složenosti, obuhvata prijemnik daljinskih komandi, detektor referentne vertikale, procesor komandi i uređaj za odstupanje od trajektorije. Ostali elementi smešteni su u operativnom centru i u tureli.

### **Metak sa potkalibarnim projektilom kalibra 20 mm španske firme SANTA BARBARA<sup>10</sup>**

Španska firma SANTA BARBARA razvila je metak sa potkalibarnim projektilom kalibra 20 mm namenjen za brodske topove MEROKA. Ovaj metak bi se mogao efikasno primeniti za odbranu od protivbrodskih raketnih projektila, ali i za gađanje ciljeva na kopnu. Kompletan metak je dugačak 200 mm, a masa mu je 280 g, od čega je 100 g masa projektila. Prečnik penetratora je 12 mm, a masa 75 g. Sa početnom brzinom od 1300 m/s penetrator probija čeličnu ploču debljine 30 mm (čelik čvrstoće 100 daN/mm<sup>2</sup>) na udaljenosti od 1500 m. Ovaj metak ima električnu inicijalnu kapislu, ali se može proizvoditi i verzija za topove kao što je OERLIKON S TG.

<sup>8</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 8, str. 888.

<sup>9</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 104, str. 78.

<sup>10</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 8, str. 888.

## **Streljački metak sa pancirnim zrnom kalibra 5,56 mm španske firme SANTA BARBARA<sup>11</sup>**

Španska firma SANTA BARBARA razvila je novi pancirni streljački metak 5,56×45 mm. Kompletan metak je dugačak 57,4 mm, a masa mu je 11,8 g. Masa mesingane čaure je 5,7 g a dužine 44,7 mm. Prečnik inicijalne kapisle tipa BERDAN je 4,5 mm. Zrno dužine 23 mm i mase 4,65 g ima jezgro od volfram-karbida i košuljicu od mesinga 90/10. Barutno punjenje mase 1,7 g je od progresivnog dvobaznog streljačkog baruta (tip 369). Sa pritiskom u barutnoj komori od 3800 do 4200 Bara postiže se početna brzina zrna od 867 m/s i energija od 1500 J. Maksimalni domet zrna odgovara NATO standardima za municiju kalibra 5,56 mm, a preciznost na 100 m je 100 mm.

## **Razvoj španskog protivpodmorničkog sistema ABCAS<sup>12</sup>**

Odeljenje za istraživanje i razvoj španske firme SANTA BARBARA ulazi u fazu definisanja protivpodmorničkog sistema španske RM ABCAS. Generalna direkcija španskog ministarstva odbrane za tehnologiju i istraživanje je kontrolno telo za razvoj ABCAS. Firma SANTA BARBARA je pobedila u konkursu za ABCAS i krenula je u fazu definisanja u saradnji sa centrom za vojna istraživanja španskog ministarstva odbrane 1989. godine.

Sistem ABCAS ispaljuje salvu raketa koje imaju kumulativne bojne glave na daljinu od 1 do 8 km. Pored klasičnih ofanzivnih uloga, ovaj sistem takođe se može koristiti kao akustički

mamac za neprijateljska torpeda. ABCAS se sastoji od stabilizovane platforme, računara za upravljanje vatrom i 20 lansirnih cevi. Uređaj je visok 2 m i ima prečnik od 1,8 m. Kao deo faze definisanja, SANTA BARBARA je napravila nekoliko prototipova sistema ABCAS. Tu spada i bojna glava koja zadovoljava operativne zahteve, omogućujući proboj tela podmornice, sistem za stabilizaciju lansera i raketni motor. SANTA BARBARA sprovodi studije strukture lansera u naporu da se smanji ukupna masa sistema.

## **Evropski projekti kasetnih bombi koje se bacaju sa udaljenosti veće od dometa PVO<sup>13</sup>**

Sredinom devedesetih godina treba da uđe u naoružanje nekoliko kasetnih bombi koje se bacaju sa udaljenosti veće od dometa PVO. Dva takva projekta iz Evrope bila su izložena u Dubaiu.

Italijanski konzorcijum CASMU izložio je, pored drugog naoružanja lovca-bombardera AMX i kasetnu bombu SKYSHARK.

To je planirajuća bomba sa malim čeonim otporom koja ima dva poprečna modula za razbacivanje subprojektila. U verziji bez pogona, koja je prikazana, domet je 8—12 km. U konstrukciji se koriste materijali koji apsorbuju radarske signale, obezbeđujući mali poprečni radarski presek u kombinaciji sa aerodinamičkim oblikom. Konzorcijum CASMU planira familiju od tri kasetne bombe SKYSHARK za zadatke na malom, srednjem i velikom dometu. Verzija sa raketnim pogonom imala bi napadački domet od 20—25 km, dok bi verzija sa turbomlaznim pogonom imala domet od 250 km. Ispitivanja odbacivanja bombi obavljena su pomoću aviona TORNADO iz italijanskog RV,

<sup>11</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 8, str. 888.

<sup>12</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 9, str. 1016.

<sup>13</sup> Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1992, br. 1, str. 61.



a planirana je potvrda za korišćenje i na mnogim drugim avionima pored AMX.

Francuske firme MATRA i AEROSPATIALE nastavljaju rad na vodenom projektilu koji se lansira van dometa PVO APACHE sa dometom od 150 km. Planiran ulazak u naoružanje francuskog RV je 1996. godine. Inercijalni sistem vođenja projektila APACHE koristi popravku putanje u vazduhu koja je zasnovana na visini, slici milimetarskog radara i podataka o prethodno planiranom profilu leta. U završnoj fazi leta navigacijski radar se prebacuje u režim vođenja projektila radi izbacivanja kasetnih ubojnih sredstava projektila APACHE (500 kg), ili jedinstvene bojne glave na određeni cilj. Ovim projektilom će se naoružati francuski avioni MIRAGE 2000 i RAFALE i biće odobren za većinu aviona NATO. U početku namenjen avionima i Nemačke i Francuske, nemačko RV je 1988. istupilo iz programa radi nastavljanja nacionalnog programa. Međutim, ima indikacija da će Nemačka ponovo pristupiti ovom programu kao ekonomičnoj alternativi. U Nemačkoj je još u fazi razvoja sistem MAW firme DORNIER.

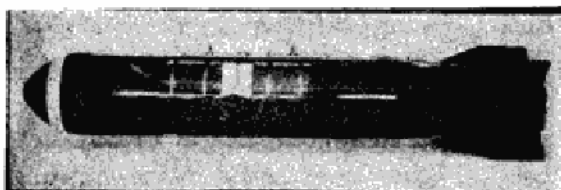
### **Protivbetonska kasetna vazduhoplovna bomba BME-330 AR španske firme EXPAL<sup>14</sup>**

Španska firma EXPAL razvila je protivbetonsku kasetnu vazduhoplovnu bombu dvojnog dejstva sa BME-330 AR, namenjenu za razaranje poletno-sletnih staza aerodroma i zaprečavanje borbenih zona, čija je ukupna masa 317 kg, dužina 2,257 m i prečnik 0,350 m.

U nosu bombe, koji je uvrnut u telo, smešteni su upaljač (neosetljiv na

protivelektronska dejstva) i blok elektronike. Telo bombe sadrži submuniciju, dok se u zadnjem delu nalaze: prateći podsklopovi, glavni padobran koji nosi bombu i omogućuje progresivno armiranje udvojenog upaljača, repni padobran za izvlačenje glavnog padobrana, zakačke za vešanje sa standardnim razmakom 14" (355,6 mm ili 250 mm.

Posle odbacivanja BME-330 AR, njenog kočenja padobranom i nastupanja termina armiranja upaljača, stvara se oplata bombe i izbacuje submunicija. Njeni padobrani se tada otvaraju,



a upaljači počinju da se armiraju. Za svaki pojedinačni padobran obezbeđen je pogodan ugao udara.

Koristan teret bombe sastoji se od 28 subprojektila i to: 8 malih protivbetonskih bombi SAP i 20 malih bombi za zaprečavanje SNA. Mala bomba SAP ima masu 18 kg, dužinu 530 mm i prečnik 130 mm. Pri udaru, njeno kumulativno punjenje probija preko 600 mm poletno-sletne staze od ojačanog betona tipa NATO, omogućujući tako prodiranje ispod piste značajne količine eksploziva, čija detonacija proizvodi veliki krater i zonu oštećenja oko 50 m<sup>2</sup>.

Mala bomba SNA ima masu 0,820 kg, dužinu 130 mm i prečnik 60 mm. Pri udaru inicira se upaljač sa satnim mehanizmom. Mala bomba detonira: bilo prilikom pokušaja uklanjanja, bilo po isteku programiranog vremena tempiranja koje može biti od nekoliko minuta do preko 24 časa. Bojno punjenje

<sup>14</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 106, str. 91.



sastoji se od eksplozivnog punjenja sa zapaljivim elementima i čeličnih fragmenata efikasnih protiv lakih oklopnih vozila i vazduhoplova.

### **Nemački raketni patrolni čamac »151« (BAL-COM-10)<sup>15</sup>**

Sredinom 1980-ih godina počeo je razvoj raketnih patrolnih čamaca tipa 151 u brodogradilištu Peene. Bile su postavljene kobilice za deset brodova, za potrebe mornarice bivše DR Nemačke, koja ih je trebala preuzeti u periodu od 1989. do 1992. godine. Međutim, stvarno su isporučeni samo prvi brod u klasi i zatim još dva. Oni su uvršteni u patrolne brodove, jer nisu nosili protivbrodske rakete SS-N-25, kao što je to bilo planirano. Izgradnja ostalih brodova iz serije je prekinuta, kada su već bila gotova četiri trupa i nabavljena sva oprema za njih.

Nemački ministar odbrane odlučio je da nemačka RM neće uvesti u flotu ove brodove, jer bi oni predstavljali poteškoće u logističkom smislu. Međutim, patrolni brod 151 je sigurno veoma uspelo rešenje, za koje su zainteresovane mnoge mornarice i obalske straže. To ni malo ne iznenađuje, jer se radi o veoma iskusnoj firmi, koja je registrovala čak 216 patenata.

### **Britansko-američki avion sa vertikalnim poletanjem HARRIER II PLUS<sup>16</sup>**

Poslednji derivat iz familije HARRIER aviona koncepcije sa vertikalnim ili kratkim poletanjem i sletanjem V/STOL (Vertical/Short Take-off and

Landing) HARRIER II PLUS ući će u službu pomorskodesantnih jedinica SAD 1993. prema zaključenom ugovoru u vrednosti 181,5 miliona dolara. Proizveden od firme BRITISH AEROSPACE (V. Britaniji) i McDONNELL DOUGLAS (SAD), ovaj višenamenski jednomotorni avion jednosed zasnovan je na tipu HARRIER II GR.5AV-8B, koji se nalazi u službi britanskog RV, pomorskodesantnih jedinica SAD i španske RM.

HARRIER II PLUS opremljen je radarom sa višestrukim režimom rada HUGHES NA/APG 65 koji omogućuje upotrebu raketa klase vazduh-vazduh srednjeg dometa sa radarskim vođenjem i protivbrodskih raketa kao AGU-84H



HARPOON (firme McDONNELL DOUGLAS) i SEA EAGLE (britanske firme BAe). HARRIER II PLUS takode će raspolagati elektronskom opremom za noćna dejstva.

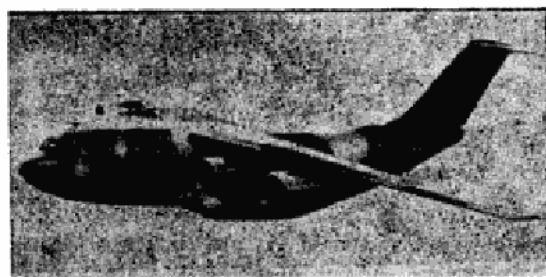
Radar i elektronska oprema za noćne napade omogućuju ovom avionu značajan porast operativnih kapaciteta, posebno u oblasti vazdušne odbrane flote, napada na kopnene ciljeve i mornaričke prevlasti u vazduhu. Španska i italijanska RM planiraju nabavku aviona HARRIER II PLUS za službu na nosaču aviona PRINCIPE DE ASTURIAS odnosno GARIBALDI.

<sup>15</sup> Prema podacima iz: NATO'S SIXTEEN NATIONS 1991 juli/avg., str. 62.

<sup>16</sup> Prema podacima iz: DEFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 106, str. 91.

## Budući evropski taktički transportni avion FLA<sup>17</sup>

Evropske firme AEROSPATIALE (Francuska), ALenia (Italija), BRITISH AEROSPACE (V. Britanija), CASA (Španija) i DEUTSCHE AEROSPACE (Nemačka), udružile su se u okviru firme EUROFLAG sa sedištem



u Rimu, da bi zadovoljile usaglašene potrebe RV nekih evropskih zemalja za »budućim velikim avionom« FLA (»Future Large Aircraft«), tj. za novim taktičkim transportnim avionom namenjenim da zameni sadašnje avione C-130 HERCULES i C-160 TRANSAL. Belgijske firme SONCA i SABCA kao i turska TAI nedavno su pristupile EUROFLAG-u da bi se priključile ovom programu.

EUROFLAG će obezbediti definisanje, razvoj, proizvodnju, komercijalizaciju i servis posle prodaje ovog četvoromotorca nove generacije opšte namene kao i varijante tankera. FLA će imati dva člana posade u pilotskoj kabini, moći će da operiše po svakom vremenu po danu i noći i da uzleće sa nepripremljenih terena.

Novi transportni avion raspolagaće velikom sposobnošću preživljavanja i značajnom pouzdanošću, a imaće i sistem za napajanje gorivom drugih aviona u letu. FLA, sa maksimalnom startnom masom 101 t i korisnim teretom 25 t (20 t za 5600 km doleta), imaće

dužinu 40,11 m, razmah krila 41,27 m, visinu 12,22 m i površinu krila 180 m<sup>2</sup>. Četiri turboventilatorska motora potiska 8200 kg obezbediće maksimalnu brzinu leta 0,7 Ma. Opremljen prilaznom rampom na zadnjem trbušnom delu trupa, on će moći da transportuje dva helikoptera, ili 126 padobranaca, ili 62 borca i 8 paleta (2235×2743 mm). Varijanta tankera biće u stanju da istovremeno napaja tri aviona ili helikoptera u letu. Ovaj avion biće u stanju da sleti na nepripremljen teren dužine 1900 m i da transportuje 40000 kg goriva (za logističke potrebe) do daljine 3700 km.

### Neke uporedne karakteristike transportnih aviona FLA, C130 J i C-160

| Dimenzije tovarnog prostora i trupa    | FLA   | C-130J | C-160 |
|----------------------------------------|-------|--------|-------|
| Dužina tov. prost. bez pril. rampe (m) | 17,25 | 12,30  | 13,50 |
| Dužina zadnje prilazne rampe (m)       | 4,74  | 3,20   | 3,70  |
| Širina tovarnog prostora (m)           | 3,66  | 3,10   | 3,15  |
| Visina tovarnog prostora (m)           | 3,55  | 2,70   | 2,98  |
| Širina trupa (m)                       | 5,07  | 4,50   | 4,30  |
| Visina trupa (m)                       | 4,69  | 4,16   | 4,00  |

### Nova elektronska oprema za francuski borbeni avion MIRAGE 2000-5<sup>18</sup>

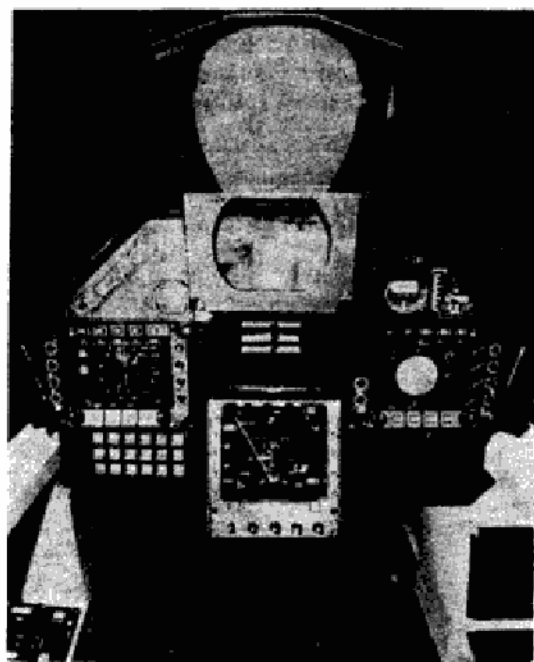
Nova eksportna verzija borbenog aviona MIRAGE 2000 francuske firme DASSAULT AVIATION, MIRAGE-2000-5 dobila je potpuno renoviranu pilotsku kabinu. U ovom poduhvatu

<sup>17</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 106, str. 86.

<sup>18</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 106, str. 90.

učestvovala je i firma SEXTANT AVIONIQUE svojom sledećom opremom:

— holografaska kombinacija visoka glava/srednja glava VEH 3020/TMM 1410, čiji kolimatorski sistem podešen na beskonačno daje vidno polje od 30° do 20°; sistem dopušta pilotu da prelazi sa načina gledanja »visoka glava« na način »srednja glava« bez promene vizuelnog prilagođavanja, što mu obezbeđuje prikazivanje raznih informacija (pilotiranje, navigacije, vođenje oružja vazduh-vazduh i vazduh-zemlja) i video slika (IC sistema prednjeg osmatranja — FLIR, optičkog osmatranja i napada, radara, itd);



— bočna vizualizacija koju obezbeđuje katodna cev FCD 34, sa intenzivnom bojom/više režima rada, visokom rezolucijom koja daje sliku sa oštrim obrisima ili TV sa pretraživanjem za informacije pilotu o pilotiranju, navigaciji, kontroli motora, stanja rezervi municija; kompaktan, ovaj sistem za vizualizaciju sa ekranom 88,9×114,3 mm dobro se prilagođava panelima u kabini novih ili modificiranih aviona

za borbena dejstva ili obučavanje; FCD 34 izabran je za MIRAGE 2000 D francuskog RV i eksportne verzije MIRAGE 2000-5 i 2000 STRIKE;

— mesto za izbor funkcija;

— novi kombinovani indikator za kontrolu leta ICCV V502 u kome su grupisane sve pomoćne informacije za upravljanje letom (visina, položaj aviona u vazduhu, kurs, i dr.);

— automatski pilot sa mogućnošću primanja novih i dopunskih funkcija (letenje na maloj visini, kartografija);

— oprema za anemometriju (sonde, centri za parametre vazduha, aparat za merenje pritiska).

Firma SEXTANT AVIONIQUE takođe predlaže svoj sistem digitalne kartografije DRACAR, sistem za upravljanje letom prilagođen navigaciji na maloj visini uz izbegavanje prepreka, prijemnik za navigaciju GPS NSS 100 kôd P sa 5 kanala.

## Američka bespilotna letelica UAV<sup>19</sup>

Sekretarijat za odbranu SAD izabrao je američku firmu McDONNELL DOUGLAS da izradi studiju razvoja za malu bespilotnu letelicu sa daljinskim upravljanjem UAV.

McDONNELL DOUGLAS MISSILE SYSTEMS Co u saradnji sa firmom SKY TECHNOLOGY Inc konstruiše malu letelicu sa reaktivnim pogonom, koja će stajati vertikalno oslanjajući se na repni deo. Ona će moći da uzleti vertikalno, da se kreće translatorno u horizontalnom letu i da aterira na svoj zadnji deo. U cilju demonstracionog prikazivanja biće razvijen prototip u prirodnoj veličini. Konceptija »stajanje na repu« kombinuje fleksibilnost i prednost vertikalnog poletanja i sletanja (VTOL) letelice sa rotirajućim nosećim

<sup>19</sup> Prema podacima iz: DÉFENCE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 106, str. 8.

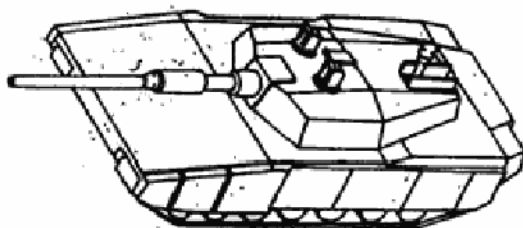
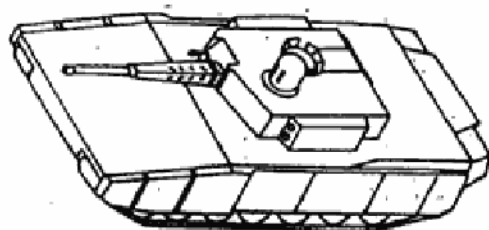
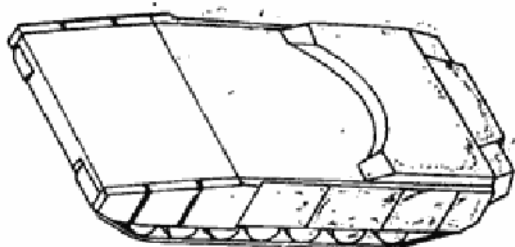
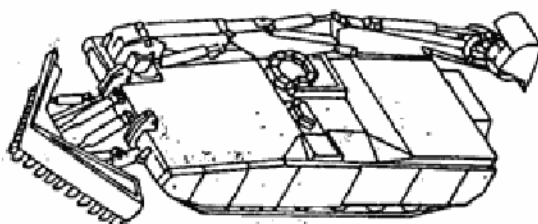
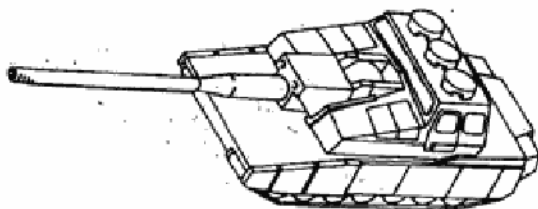
površinama sa brzinom i trajanjem leta vazduhoplova koji imaju nepokretna krila.

UAV će moći da operiše sa nepripremljenih terena i zatvorenih zona kao i sa paluba malih brodova bez lansirnih uređaja i kompleksa oprema za spasavanje. Ova letelica imaće dužinu 2,10 m, razmak krila 2,25 m, ukupnu masu 107,5 kg a koristan teret 22,6 kg. Njena brzina krstarećeg leta biće preko 273 km/h, a minimalna brzina 104 km/h.

### Novi američki program razvoja oklopnih borbenih vozila<sup>20</sup>

Američka armija je krajem 1990. godine počela sa realizacijom plana modernizacije oklopnih sredstava KoV. Pod nazivom ARMoured SYSTEM MODERNIZATION se planira izrada 4 prototipa oklopnih sredstava na unificiranoj oklopnoj šasiji tenka BLOCK III i to: tenka, samohodne haubice, in-

žinjerijskog vozila i borbenog vozila pešadije, a na šasiji oklopnog vozila M-2 BRADLEY-PT raketni lovac tenkova i oklopno vozilo za podršku municijom. Predviđena je izrada modela u razmeri 1:1, a zatim prototipova do 2001. godine.



Tri američka koncerna: GENERAL DYNAMICS, GENERAL MOTORS i TELEDYNE CONTINENTAL MOTORS učestvuju na konkursu izrade prototipa unificirane šasije tenka BLOCK III koji treba da zameni tenk M-1 ABRAMS i bude šasija ostalim varijantama oklopnih sistema. Prototipovi bi trebalo da budu završeni do 1994. godine.

U daljoj fazi realizacije prednost se daje finalizaciji prototipa tenka BLOCK III sa kalibrom topa ne ma-

<sup>20</sup> Prema podacima iz: TRUPPENDIENST 1991, br. 5, str. 464 i 465.

njim od 140 mm, sa tri člana posade i automatskim punjenjem kao i sa drugim najsavremenijim sistemima. U daljoj fazi se predviđaju ispitivanja sa prototipom elektromagnetnog i elektrotermičkog topa (realizacija u prvoj deceniji 2000. godine). Planom je predviđena serijska proizvodnja 1946 lenkova BLOCK III, dok bi se broj jedinica ostalih varijanti oklopnih sistema odredio kasnije.

### Razvoj oklopa za američka borbeno vozila sledeće generacije<sup>21</sup>

Američke firme ALLIANT TECH-SYSTEMS i TELEDYNE BROWN ENGINEERING razvijaju oklop prednje gornje strane za sledeću generaciju oklopnih borbenih vozila. Po ugovoru vrednih 2 miliona dolara, posle razvojne faze u trajanju od 17 meseci, raspisao bi se konkurs za sledeću razvojnu fazu od 10 meseci.

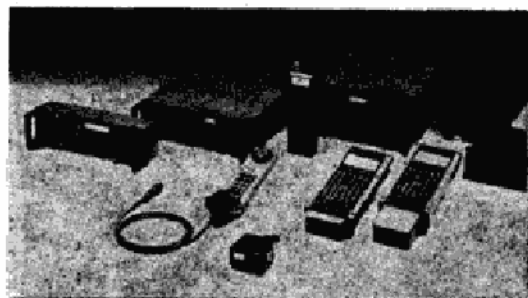
Po rečima predstavnika firme ALLIANT TECHSYSTEMS, firma će iskoristiti svoju tzv. BLUE tehnologiju oklopa, koju razvija u saradnji sa direktijom DARPA. »Ovo je prvi ugovor koji nam nudi priliku da primenimo usavršene postupke izrade oklopa i tako borbenom vozilu obezbedimo efikasnu zaštitu od projektila u sledećem veku«, kaže predstavnik pomenute firme.

Firma TELEDYNE BROWN upravo konkuriše za razvoj šasijske u okviru modernizacije sistema oklopa za tenk sledeće generacije. Komanda oklopnih jedinica armije SAD odlučuje tokom fiskalne 1994. godine sa kojom firmom će da zaključi ugovor.

<sup>21</sup> Prema podacima iz: DEFENCE 1991, decembar, str. 42.

### Familija VVF radio-primopredajnika PR4G francuske firme THOMSON-CSF<sup>22</sup>

Familija VVF radio-uređaja PR4G obuhvata četiri konfiguracije: prenosne, prevozne, vazduhoplovne i ručne radio-uređaje, uključujući i sisteme za planiranje i distribuciju frekvencija i ključeva (programatori, punjači). Familija radio-uređaja PR4G predviđena je za rad u opsegu 30 do 88 MHz sa kanalskim rasterom od po 25 kHz. Uređaji imaju mogućnost rada na fiksnoj frekvenciji uz analogni (FM) prenos, rada na fiksnoj frekvenciji uz digitalni prenos (16 kb/s), rada sa frekvencijskim skakanjem i mogućnost slobodnog traženja kanala. Prenosna varijanta ima mogućnost izbora izlazne RF snage 0,4



ili 4 W. Napaja se iz baterije 10,5 do 32 V. Autonomija uređaja uz korišćenje litijumske baterije je 2 h, ili 12 h ako se uređaj napaja iz NiCd baterije. Izlazna RF snaga prevozne varijante je 0,4, 4 ili 40 W, a uređaj se napaja iz jednosmernog izvora 18 do 33 V. Vazduhoplovni radio-uređaj ima izbor RF izlazne snage 0,5, 5 i 10 W, a napaja se iz jednosmernog izvora od 28 V. Izlazna RF snaga ručnog uređaja je 0,1, 1 i 4 W, napaja se iz baterije 7,5 V (24 h litijumska, 12 h NiCd). Masa prevozne varijante je 12 kg, prenosne

<sup>22</sup> Prema podacima iz: SIGNAL 1991, novembar, str. 28.

6,9 kg, vazduhoplovne 8,2 kg, a ručne 0,8 kg. U svim uređajima iz familije koristi se ugrađena kriptazaštita, frekvencijsko skakanje od nekoliko stotina hopova u sekundi, a u režimu slobodnog biranja frekvencija, uređaji automatski biraju opseg rada u kom nema radio-ometanja (slučajnog ili namer-nog). Na uređajima se mogu progra-mirati po sedam kanala ili mreža koji se pamte u internoj memoriji uređaja za više od godinu dana. Uređajima iz

familije PR4G može se kompletno up-ravljati sa mesta izdvojenog do 3 km. U uređajima je zastupljeno i selektiv-no pozivanje, što obezbeđuje vezu tač-ka-tačka između bilo koja dva učesni-ka u vezi (mreži), dok ostali učesnici nastavljaju rad u konferencijskoj vezi. Svaki od učesnika u vezi raspolaže sa devet nivoa prioriteta. Kontrolna sta-nica u mreži prekida vezu da bi se pre-nela naređenja ili upozorenja višeg pri-oriteta.

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

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 — siže, treba izneti suštinu članka, najviše u desetak radova.

Članak treba da sadrži uvod, kratak sadržaj, razradu i zaključak. Njegov obim treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa novinskim proredom). Tekst članka mora biti jezički i stalski 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, 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. 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 VJ.

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

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

**REDAKCIJA**