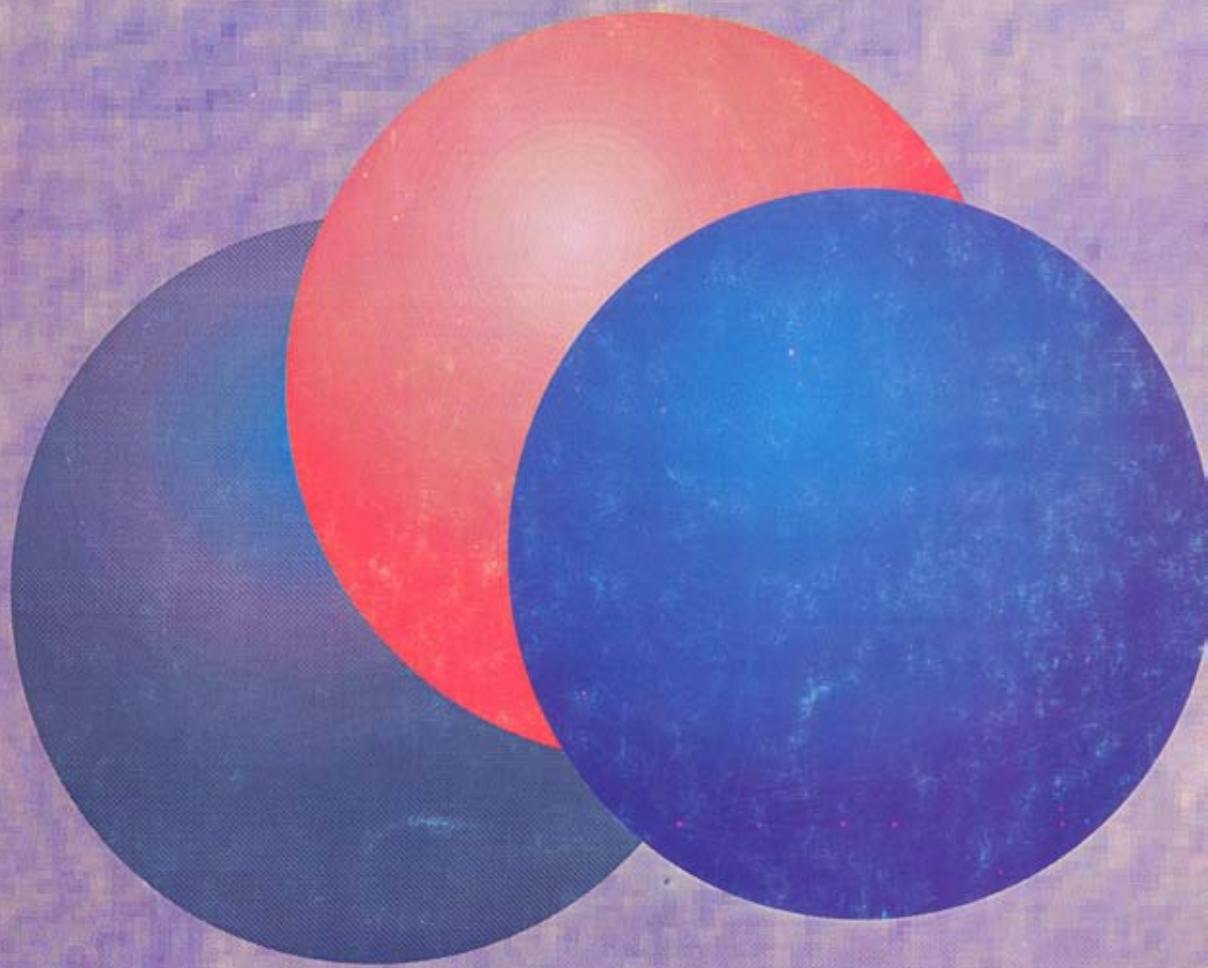


6-604

# *Glasnik* VOJNOTEHNIČKI

YU ISSN 0042-8469



2/1994

## IZDAJE

NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5,  
BeogradZA IZDAVAČA  
ZASTUPA NAČELNIKA  
NIU »VOJSKA«STANOJE JOVANOVIĆ, pukovnik  
(telefoni: 645-786, 29-189 i 29-187)

## IZDAVAČKI SAVET:

Pukovnik  
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Saveta)Pukovnik  
MIROSLAV MARTINOVIĆ, dipl. inž.MT pukovnik  
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr SINISA BOROVIĆ, 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 SORONDA, dipl. inž.Pukovnik  
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILOŠ COLAKOVIĆ, dipl. inž.Potpukovnik  
VLADIMIR RISTIĆ  
(sekretar Saveta)Pukovnik  
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Potpukovnik  
mr SAŠA MILUTINOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr DRAGOMIR MRDAK, dipl. inž.Major  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.Major  
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.ZASTUPA GLAVNOG  
I ODGOVORNOG UREDNIKApotpukovnik  
VLADIMIR RISTIĆ  
(telefoni: 683-970 i 22-336)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5,  
Pretpлата 642-042 i 22-788, žiro-račun: NIU  
»VOJSKA« (za Vojnotehnički glasnik)  
40823-849-0-2393 Beograd. Polugodišnja  
pretplata: za pojedince — 8,00 N. dinara,  
a za ustanove, preduzeća i druge orga-  
nizacije — 24,00 N. dinara. Rukopisi se  
ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —  
Beograd, Generala Ždanova 40 b.Vojnotehnički glasnik je 12. decembra  
1977. odlikovan Ordenom za vojne zas-  
lugе sa velikom zvezdomSTRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI  
*Glasnik*

2



## S A D R Ź A J

- Mr Zoran Ristić,** 107 Određivanje parametara naprezanja višeslojne cevi oruđa  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Spec. Milisav Jakovljević,**  
potpukovnik, dipl. inž.
- Mr Dragoljub Đokić,** 115 Prototip softvera za ispitivanje karakteristika kvaliteta  
dipl. inž. sredstava NVO
- Dr Dušan Rajić,** 127 Identifikacija hemijske municije zaplenjene u ratu (I deo)  
kapetan I klase, dipl. inž.  
**Zoran Maletić,**  
poručnik, dipl. inž.
- Spec. Marko Andrejić,** 144 Primena višekriterijumske (multiatributne) asignacije na  
kapetan, dipl. inž. odabranom primeru
- Mr Nenad Dodić,** 153 Diferenciranje signala metodom najmanjih kvadrata  
dipl. inž.
- Svetislav Lj. Marković,** 159 Regeneracija zupčastih i ožlebljenih sprega  
dipl. maš. inž.

### PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

- 181 Magnetohidrodinamički pogon
- 185 APACHE — Taktički krstareći projektil vazduh-zemlja

### TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 189 Top na elektrotermalni pogon
- 190 Automatizovano prebacivanje municije
- 191 Američke nečujne podmornice
- 192 Pilotske kabine bez prozora



## PRAVCI DALJEG RAZVOJA PROGRAMSKE KONCEPCIJE ČASOPISA VTG

**Vojnotehnički glasnik**, kao stručni i naučni časopis Tehničke službe Vojske Jugoslavije, pored stručnih tehničkih disciplina i usko specijalističkih radova iz pojedinih oblasti delatnosti službe, ubuduće će sve više morati da se orijentiše i na stručne i naučne radove iz drugih sistemskih naučnih disciplina kao i radove iz organizacionog i informatičkog područja. To je, pre svega, važno zbog toga što sistem Tehničkog obezbeđenja (TOb, VTOB, MTOB) VJ predstavlja osnovni sadržaj rada Tehničke službe (TS1 KoV, VTS1, MTS1), a Tehnička uprava GŠ VJ je nosilac razvoja Tehničkog informacionog sistema u okviru razvoja ukupne informatičke podrške VJ i razvoja komandno-informacionih sistema (KIS).

Radovi na kojima će se insistirati u budućnosti treba da obuhvate sva četiri osnovna pravca u kojima se danas razvijaju sistemске nauke: od formalne teorije sistema, pravila i logike sistemskog pristupa, metodologije (metodike) čije provođenje obezbeđuje sistemski pristup do metoda i tehnika sistemskog pristupa. Ovde se, pored parametarskih i kvantitativnih metoda sa čvrstim podacima i strogo matematičkim modelima podrazumevaju i neparametarske — kvalitativne metode i tehnike. One moraju biti podloga za izgradnju složenih upravljačkih sistema za podršku odlučivanju i Tehničkoj službi i pozadini VJ i ekspertskih sistema za ocenu složenih tehničkih sistema i projekata.

Pored toga, VTG dalje mora održati kontakt sa konkretnom praksom iz života, rada, inovatorstva i pronalazaštva u jedinicama i ustanovama Tehničke službe i budno pratiti dostignuća u oružanim snagama drugih razvijenih zemalja sveta.

Osnovna briga uredništva i svih saradnika mora biti permanentno podizanje stručnog i teorijskog nivoa časopisa, njegovo povezivanje sa drugim značajnijim časopisima u okviru međuarmske saradnje sa institucijama izvan VJ.

Pored navedenog, posebnu pažnju treba posvetiti i tehničkom nivou uređenja časopisa. Treba težiti dizajnu kakav nude savremeni časopisi svetske publicistike. Možda je šansa za stalnim usavršavanjem i u tome da se u VTG-u predstave povremeno i druge koncepcije časopisa (tehničke) problematike kao što su časopisi koji prezentiraju programe vojnih industrija, od domaćih proizvoda do vojnih kompleksa industrijski razvijenih zemalja.

ZAMENIK PREDSEDNIKA  
IZDAVAČKOG SAVETA

pukovnik

dr Borović Siniša, dipl. inž., s. r.



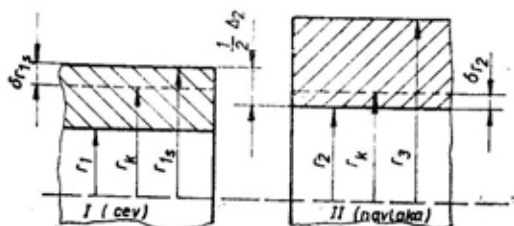
Mr Zoran Ristić,  
potpukovnik, dipl. inž.  
Spec. Millsav Jakovljević,  
potpukovnik, dipl. inž.

## ODREĐIVANJE PARAMETARA NAPREZANJA VIŠESLOJNE CEVI ORUĐA

U radu je obrađen postupak za određivanje stanja napre-  
zanja i optimalnih vrednosti radijusa i relativnog stezanja  
među slojevima sastavljive višeslojne cevi. Definišu je po-  
lazne veličine i algoritam za proračun pomoću PC računara.  
Proračunate veličine i parametri višeslojne cevi prikazani  
su na primeru odabranog kalibra cevi.

### Uvod

Višeslojna cev, izvedena sastavlja-  
njem cevi sa jednom ili  $n$  navlaka (o-  
motača), uz optimalno stezanje na kon-  
taktim radijusima, u odnosu na mono-  
blok cevi istih dimenzija, ima veću e-  
lastičnu otpornost. Pri sastavljanju pri-  
menom odgovarajuće tehnologije, radi  
uspostavljanja kontaktnih pritisaka iz-  
među slojeva, sastavljanje se izvodi ra-  
dijalnim preklapanjem. Radi toga, u-  
nutrašnji radijus navlake je manji od  
spoljašnjeg radijusa cevi (sloja) na koji  
se navlaka postavlja. Razlika među o-  
vim radijusima predstavlja stezanje  $\Delta_1$ ,  
sl. 1.



Sl. 1 — Sastavljanje slojeva cevi

Ako se promene veličina radijusa  
sloja cevi i navlake, posle sastavljanja  
na kontaktnom radijusu  $r_k$  ( $r_{1s} > r_k > r_2$ ),  
označe sa:

$2\delta r_1$  — smanjenje spoljašnjeg prečni-  
ka cevi;

$2\delta r_2$  — povećanje unutrašnjeg prečni-  
ka navlake,

onda je stezanje između njih:

$$\Delta_2 = 2(\delta r_2 + \delta r_{1s})$$

Veličina stezanja na spoju cevi sa  
navlakom može se izraziti i preko od-  
govarajućih deformacija.

Ako su relativne tangencijalne de-  
formacije za cev i navlaku [1]:

$$\epsilon_{\tau_{1s}} = \frac{\delta r_{1s}}{r_{1s}} \text{ i } \epsilon_{\tau_2} = \frac{\delta r_2}{r_2},$$

onda će na kontaktnom radijusu (ako  
je  $r_{1s} = r_2$ ), potrebna veličina apsolut-  
nog stezanja biti:

$$\Delta_2 = 2r_2(\epsilon_{\tau_2} + \epsilon_{\tau_{1s}})$$

Analognim razmatranjem, u sluča-  
ju sastavljanja cevi sa drugom navla-  
kom (troslojna cev), između drugog i  
trećeg sloja veličina stezanja  $\Delta_3$  je:

$$\Delta_3 = 2r_3(\epsilon_{\tau_3} + \epsilon_{\tau_{2s}})$$

Svako stezanje  $\Delta_i$  na spoju omo-  
tača i cevi ili, uopšte, između slojeva  
izaziva odgovarajuće veličine kontak-  
tnog pritiska  $p_k$  u stanju mirovanja. U-  
sled kontaktnih pritisaka, u slojevima  
cevi nastaje prednaponsko stanje na-  
prezanja. Ako se ovakva cev optereti  
pritiskom opaljenja, dolazi do superpo-



niranja stanja naprezanja u mirovanju sa naprezanjima od opaljenja. Rezultujuće ili ukupno naprezanje na unutrašnjem kanalu cevi se smanjuje, čime se stvara veća rezerva čvrstoće cevi u odnosu na monoblok cev istih dimenzija.

Sastavljanje slojeva (cilindara) višeslojne cevi je delikatan zadatak i zahteva veliku preciznost izrade s obzirom na to da je ukupna veličina relativnog stezanja relativno mala ( $\leq 0,002$ ). Tehnološki se izvodi na više načina, a najčešće zagrevanjem navlake (širenje na temperaturama 400—450°C), koja se posle postavljanja na osnovnu cev hladi i steže stvarajući čvrsti nedeljivi spoj.

U nekim slučajevima može se primeniti hlađenje osnovne cevi u tečnom azotu ili presovanje cilindara jedan u drugi bez zagrevanja ili hlađenja.

U svakom slučaju, za ovakve cevi glavni problem je određivanje optimalne vrednosti kontaktnih pritisaka i njima odgovarajućeg stezanja, uz uslov da se očuva potrebna elastična otpornost navlake i osnovne cevi.

$$\sigma_{\tau_i}(r) = \frac{p_{i-1}(r_i^2/r^2 + 1) - p_i(r_i^2/r_{i-1}^2 + r_i^2/r^2)}{r_i^2/r_{i-1}^2 - 1}, \quad r \in (r_{i-1}, r_i) \quad (1)$$

$$\sigma_{r_i}(r) = - \frac{p_{i-1}(r_i^2/r^2 - 1) + p_i(r_i^2/r_{i-1}^2 - r_i^2/r^2)}{r_i^2/r_{i-1}^2 - 1} \quad (2)$$

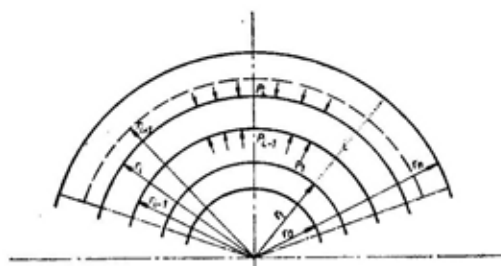
Sa stanovišta zahtevanih dimenzija, ukupne mase i čvrstoće cevi datog kalibra, važno je određivanje potrebnih veličina kontaktnih radijusa i stanja relevantnih naprezanja u slojevima cevi.

Za rešavanje navedenog problema u radu je, preko matematičkog modela, razrađen algoritam i dato programsko rešenje na PC računaru.

### Stanje naprezanja višeslojne cevi oruđa

Neka se višeslojna cev (sl. 2) sa unutrašnjim radijusom  $r_0$  i spoljašnjim radijusom  $r_n$  sastoji od  $n$  slojeva na čiji-

jim su kontaktnim površinama:  $r_{1,1}$ ,  $r_1$ ,  $r_{1+1}$ , ...,  $r_{n-1}$ , u stanju mirovanja respektivno uspostavljeni kontaktni pritisci:  $p_{1-1}$ ,  $p_i$ ,  $p_{i+1}$ , ...,  $p_{n-1}$  i  $p_n=0$ . Veličine kontaktnih pritisaka su, u stvari, statički spoljni pritisci ojačanja na kontaktnim površinama i njihova vrednost ne može biti veća od elastične otpornosti odgovarajućeg sloja višeslojne cevi.



Sl. 2 — Višeslojna cev ( $r_0$ ,  $r_n$ )

Normalna naprezanja u  $i$ -tom sloju u tangencijalnom  $\sigma_{\tau_i}$  i radijalnom smeru  $\sigma_{r_i}$  ( $\sigma_{z_i}=0$ ), prema relacijama Lamea [2] u opštem slučaju glase:

Prema teoriji najvećih relativnih deformacija, relativna deformacija na kontaktnim radijusima u tangencijalnom smeru je  $\epsilon_{\tau_i} > \epsilon_{r_i}$  za sve slojeve osim na unutrašnjoj površini  $r_0$  osnovne cevi i može se napisati u obliku:

$$\epsilon_{\tau_i} = \frac{\sigma_{\tau_i}(r) - \mu_i \sigma_{r_i}(r)}{E_i} \quad (3)$$

gde su:

$\mu_i$ ,  $E_i$  — Poissonov koeficijent i modul elastičnosti  $i$ -tog sloja

Na ekstremnim radijusima  $i$ -tog sloja za  $r=r_{i-1}$  i  $r=r_i$ , na osnovu prethodnih relacija, jednostavnom zamenom

za  $r$  mogu da se odrede veličine normalnih naprezanja i relativne tangencijalne deformacije. Na sličan način, vodeći računa o indeksima označenih slojeva ( $i=1, 2, \dots, n$ ), mogu se odrediti odgovarajuća naprezanja i deformacije za svaki sloj i pripadajuće kontaktne površine. Pri tome se mora voditi računa o međusobnoj interakciji među slojevima s obzirom na postojanje kontaktnih pritisaka zbog preklapanja.

Ako je sastavljanje višeslojne cevi izvršeno serijskim navlačenjem slojeva (jedan po jedan), za određivanje veličina stezanja na kontaktnim površinama

$$\sigma_{\tau_{i+1}}(r) = \frac{p_i(r_{i+1}^2/r^2 + 1) - p_{i+1}(r_i^2/r_{i+1}^2 + r_{i+1}^2/r^2)}{r_{i+1}^2/r_i^2 - 1} \quad (4)$$

$$\sigma_{r_{i+1}}(r) = - \frac{p_i(r_{i+1}^2/r^2 - 1) + p_{i+1}(r_{i+1}^2/r_i^2 - r_{i+1}^2/r^2)}{r_{i+1}^2/r_i^2 - 1} \quad (5)$$

Uvrštavanjem  $r=r_i$  u relacijama (1, 2, 4 i 5) posle sređivanja izraza dobija se:

$$\sigma_{\tau_i}(r_i) = \frac{2p_{i-1} - p_i(r_i^2/r_{i-1}^2 + 1)}{r_i^2/r_{i-1}^2 - 1}; \quad \sigma_{r_i}(r_i) = -p_i$$

$$\sigma_{\tau_{i+1}}(r_i) = \frac{p_i(r_{i+1}^2/r_i^2 + 1) - 2p_{i-1}(r_{i+1}^2/r_i^2)}{r_{i+1}^2/r_i^2 - 1}; \quad \sigma_{r_{i+1}}(r_i) = -p_i$$

Prema tome, stezanje  $\Delta_i$  na kontaktnom radijusu  $r_i$  je:

$$\Delta_i = \frac{2r_i}{E_i(r_i^2/r_{i-1}^2 - 1)} p_{i-1} + r_i \left[ \frac{\mu_i}{E_i} + \frac{\mu_{i+1}}{E_{i+1}} + \frac{(r_{i+1}^2/r_i^2 + 1)}{E_{i+1}(r_{i+1}^2/r_i^2 - 1)} - \frac{(r_i^2/r_{i-1}^2 - 1)}{E_i(r_i^2/r_{i-1}^2 - 1)} \right] \cdot p_i - 2p_{i+1} \frac{(r_{i+1}^2/r_i^2)r_i}{E_{i+1}(r_{i+1}^2/r_i^2 - 1)} \quad (6)$$

ma među njima, u slučaju kontaktne površine  $r=r_i$  važi:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\tau_i}(r_i) + \varepsilon_{r_{i+1}}(r_i) = \frac{\Delta_i}{2r_i}, \quad \text{odakle je stezanje na radijusu } r_i:$$

$$\Delta_i = 2r_i \varepsilon_i$$

S obzirom na relaciju (3), relativna tangencijalna deformacija na radijusu  $r_i$ , usled delovanja sloja  $r_{i+1}$  iznosi:

$$\varepsilon_{\tau_{i+1}}(r_i) = \frac{\sigma_{\tau_{i+1}}(r_i) - \mu_{i+1} \sigma_{r_{i+1}}(r_i)}{E_{i+1}} \quad (3')$$

Analogno izrazima (1 i 2), ako je  $r_{i+1} > r > r_i$ , može se napisati:

Radi pojednostavljenja, relaciju (6) možemo izraziti na pogodniji način u matricnom zapisu. Neka se članovi izraza uz pritiske izraze preko koeficijentata:

$$C_{1i} = \frac{2r_i}{E_i(r_i^2/r_{i-1}^2 - 1)}; \quad C_{2i} = r_i \left( \frac{\mu_i}{E_i} + \frac{\mu_{i+1}}{E_{i+1}} + \frac{(r_{i+1}^2/r_i^2 + 1)}{E_{i+1}(r_{i+1}^2/r_i^2 - 1)} - \frac{(r_i^2/r_{i-1}^2 + 1)}{E_i(r_i^2/r_{i-1}^2 - 1)} \right) \\ C_{3i} = - \frac{2(r_{i+1}^2/r_i^2)r_i}{E_{i+1}(r_{i+1}^2/r_i^2 - 1)}$$

Odatle je:

$$i = 1, 2, \dots, n = 1 \frac{\Delta_i = C_{1i} \cdot p_{i-1} + C_{2i} \cdot p_i + C_{3i} \cdot p_{i+1}}{\Delta_1 = C_{11} \cdot p_0 + C_{21} \cdot p_1 + C_{31} \cdot p_2}, \text{ odnosno za}$$

$$\Delta_2 = C_{12} \cdot p_1 + C_{22} \cdot p_2 + C_{32} \cdot p_3$$

$$\Delta_{n-1} = C_{1n-1} p_{n-2} + C_{2n-1} p_{n-1} + C_{3n-1} p_n$$

Ako se uvede pomoćna matrica prenosa [K], onda je:

Ako se višeslojna cev konačnih dimenzija ( $r_o$ ,  $r_n$ ) posmatra kao monoblok

$$\begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \vdots \\ \Delta_{n-1} \\ \Delta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n-1} \\ & K_{21} & & \\ & \vdots & & \\ & & & K_{n-1n-1} \\ K_{n-1} & \dots & & K_{n-1n-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} \cdot p_1 + K_{12} \cdot p_2 + \dots + K_{1n-1} \cdot p_{n-1} \\ K_{21} \cdot p_1 + K_{22} \cdot p_2 + \dots + K_{2n-1} \cdot p_{n-1} \\ \vdots \\ K_{n-1n-1} p_1 + K_{n-1n-1} \cdot p_2 + \dots + K_{n-1n-1} \cdot p_{n-1} \end{bmatrix}$$

Izjednačavanjem članova uz odgovarajuće pritiske:

$C_{11}p_0 + C_{21}p_1 + C_{31}p_2 = K_{11}p_1 + \dots + K_{1n-1}p_{n-1}$ , itd., dobijaju se članovi matrice [K];  $K_{11} = C_{21}$ ;  $K_{12} = C_{31}$ ;  $K_{13} = K_{14} = \dots = K_{n-1} = 0$

$$K_{11} = 0; K_{12} = 0; K_{1i-1} = C_{1i}; K_{1i} = C_{2i}; K_{1i+1} = C_{3i} \dots \text{ itd.}$$

Konačno se sređivanjem članova matrice (svi detalji su definisani u programu za proračun pomoću PC računara) dobija vektorska jednačina oblika («opšta jednačina stezanja»):

$$[\Delta] = [K] [p], \text{ gde su:}$$

[ $\Delta$ ] — vektor stezanja na kontaktnom radijusu višeslojne cevi,

[ $p$ ] — vektor kontaktnih pritisaka na kontaktnim površinama slojeva cevi.

Nalaženjem inverzne matrice  $[K]^{-1}$  (pomoću potprograma za inverznu matricu) i množenjem sa vektorom [ $\Delta$ ] (potprogram za množenje matrica), mogu se dobiti vrednosti vektora [ $p$ ], tj.  $[p] = [K]^{-1} [\Delta]$ , odnosno odgovarajući kontaktni pritisci.

Na osnovu poznatih kontaktnih pritisaka preko relacija (4, 5) mogu se odrediti veličine naprezanja u svakoj tački date višeslojne cevi u stanju mirovanja (statička prednaprezanja).

cev opterećena unutrašnjim pritiskom  $p_o$  (pritisak opaljenja, spoljni pritisak  $p_n = 0$ ), pomoću relacija Lamea mogu se u svakoj tački zida cevi odrediti vrednosti pritisaka, odnosno naprezanja izazvanih opaljenjem.

Sumiranjem pritisaka i tangencijalnih naprezanja (statičkih i usled opaljenja) za istu tačku sloja cevi, konačno se dobijaju ukupna ili rezultujuća naprezanja.

Na ovaj način bi stanje naprezanja višeslojne cevi bilo u potpunosti određeno. Ako se, međutim, sastavljanje (ojačavanje) višeslojne cevi izvodi sa optimalnim odnosom radijusa, postavlja se pitanje odgovarajućih kontaktnih pritisaka i veličina stezanja na kontaktnim radijusima.

### Optimalne vrednosti radijusa i stezanja višeslojne cevi

Za optimalno sastavljanje višeslojne cevi važi uslov da je maksimalna elastična otpornost višeslojne cevi jednaka zbiru individualnih otpornosti svakog od njenih  $n$  slojeva. Na osnovu toga se izvodi relacija za Gadalinov broj [2], kojim se uspostavlja odgovarajuća međuzavisnost između radijusa svih slojeva višeslojne cevi.

Ako su poznati ili zadani ekstremni radijusi višeslojne cevi ( $r_i$  i  $r_{n+1}$ ) sa različitim brojem slojeva  $n$  i od istog materijala ( $\sigma_e$ ), onda se za optimalne radijuse dobija opšti izraz u obliku:

$$r_{i+1} = r_i \left( \frac{r_{n+1}}{r_1} \right)^{1/n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Elastična otpornost optimalno sastavljene višeslojne cevi i kontaktni pritisci, koje slojevi mogu da izdrže u domenu elastičnih deformacija, određuju se iz uslova da vrednosti ekvivalentnih naprezanja na unutrašnjim površinama slojeva budu jednaki granici elastičnosti  $\sigma_{ei}$  za materijal datog sloja.

Kako je:

$$\sigma_{\tau_i}(r) = \frac{p_i(r_{i+1}^2/r^2 + 1) - p_{i+1}(r_{i+1}^2/r^2 + r_{i+1}^2/r^2)}{r_{i+1}^2/r^2 - 1}$$

$$\sigma_{r_i}(r) = - \frac{p_i(r_{i+1}^2/r^2 - 1) + p_{i+1}(r_{i+1}^2/r^2 - r_{i+1}^2/r^2)}{r_{i+1}^2/r^2 - 1}$$

prema uslovu za ekvivalentna naprezanja na radijusu  $r = r_{i+1}$  i-tog sloja je:

$$E_i \varepsilon_i = \sigma_{\tau_i}(r_{i+1}) - \mu_i \sigma_{r_i}(r_{i+1}) \leq \sigma_{ei}$$

Posle uvrštavanja izraza za  $\sigma_{\tau_i}(r = r_{i+1})$  i  $\sigma_{r_i}(r = r_{i+1})$  i sređivanja dobija se:

$$\sigma_{ei} = \left( \frac{2}{r_{i+1}^2/r_i^2 - 1} \right) p_i + \left( \mu_i - \frac{r_{i+1}^2/r_i^2 + 1}{r_{i+1}^2/r_i^2 - 1} \right) p_{i+1} \quad (8)$$

Ako u relaciji (8) članove u zagradama uz pritiske označimo sa koeficijentima  $C_{i2}$  i  $C_{i3}$ , onda se relacija (8) jednostavnije može napisati u obliku:

$$\sigma_{ei} = C_{i2} p_i + C_{i3} p_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sigma_{e1} = C_{12} p_1 + C_{13} p_2$$

$$\sigma_{e2} = C_{22} p_2 + C_{23} p_3$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\sigma_{en} = C_{n2} p_n + C_{n3} p_{n+1}$$

Daljim sređivanjem relacija u matricnom obliku, uvođenjem matrice  $[K]$ , slično prethodnom slučaju, sledi:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{e1} \\ \sigma_{e2} \\ \vdots \\ \sigma_{ei} \\ \vdots \\ \sigma_{en} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{i1} & K_{i2} & \dots & K_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_i \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}$$

U vektorskoj jednačini:  $[\sigma_e] = [K][p]$ , elementi matrice  $[K]$  određeni su na isti način kao u slučaju stezanja  $[\Delta]$  na kontaktnim radijusima.

Konačno se vektor pritiska  $[p]$ , koji slojevi mogu da izdrže respektivno,

dobija nalaženjem inverzne matrice  $[K]^{-1}$ , odnosno preko relacije:

$$[p] = [K]^{-1} [\sigma_e]$$

Pri tome pritisak  $p_i$ , u stvari, predstavlja elastičnu otpornost date višeslojne cevi. Kada se znaju optimalni

kontaktni pritisci, onda se jednostavno u svakom sloju višeslojne cevi mogu odrediti odgovarajuća naprezanja.

Ako bi u kanalu višeslojne cevi (shvaćene kao monoblok istih dimenzija) delovao pritisak  $p_1$  jednak njenoj elastičnoj otpornosti (ekstreman slučaj), onda se primenom relacija Lamea može odrediti kolike kontaktne pritiske bi on izazvao na kontaktnim radijusima. Označimo ih sa  $p_{ei}$ .

Konačno se za statičke pritiske na kontaktnim radijusima izazvanih optimalnim stezanjem, primenom metode superpozicije, dobija:

$$p_{ki} = p_i - p_{ei} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{\tau i}(r=r_{i+1}) = \left( \frac{1-\mu_i}{E_i} \right) \frac{p_i \left( \frac{1+\mu_i}{1-\mu_i} + 1 \right) - p_{i+1} \left( r_{i+1}^2 / r_i^2 + \frac{1+\mu_i}{1-\mu_i} \right)}{r_{i+1}^2 / r_i^2 - 1} \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\tau i+1}(r=r_{i+1}) = \left( \frac{1-\mu_{i+1}}{E_{i+1}} \right)$$

$$p_{i+1} \left( \frac{1+\mu_{i+1}}{1-\mu_{i+1}} r_{i+2}^2 / r_{i+1}^2 + 1 \right) - p_{i+2} \left( r_{i+2}^2 / r_{i+1}^2 + \frac{1+\mu_{i+1}}{1-\mu_{i+1}} r_{i+2}^2 / r_{i+1}^2 \right) \quad (12)$$

$$\frac{\quad}{r_{i+2}^2 / r_{i+1}^2 - 1}$$

Pri tome se za  $p_i$  uzima  $p_{ki}$ , a za  $r_i$  optimalni radijus stezanja. Na ovaj način potpuno su definisane optimalne vrednosti radijusa i stezanja višeslojne cevi, odnosno odgovarajući kontaktni pritisci među slojevima cevi.

### Primer proračuna

Za numeričko rešavanje potrebnih veličina višeslojne cevi prema iznetom matematičkom modelu, izrađeno je kompletno programsko rešenje na PC računaru. Programsko rešenje u FORTRANU sadrži glavni program »MULCEV« i odgovarajuće potprograme za proračun u matricnom obliku. Kompletno programsko rešenje detaljnije je objašnjeno u [3].

Rezultati proračuna prikazani su na primeru dvoslojne cevi kalibra 158 mm.

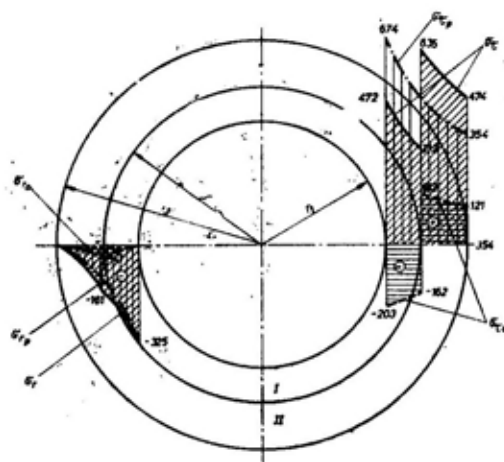
Ukupno dozvoljeno optimalno stezanje u radialnom pravcu na i-tom kontaktnom radijusu biće:

$$\Delta_i = r_i (|\varepsilon_{\tau}(r=r_{i+1})| + |\varepsilon_{\tau i+1}(r=r_{i+1})|) \quad (10)$$

gde su na osnovu relacija za ekvivalentna naprežanja cevi,  $\varepsilon_{\tau}$  — relativne tangencijalne deformacije:

Polazni podaci za proračun prikazani su u tabeli 1.

Rezultati proračunatih veličina dvoslojne cevi prikazani su u tabeli 2 i na sl. 3.



Sl. 3 — Dijagram naprežanja

Tabela 1.

Broj slojeva cevi	Unutrašnji radijus $r_i$ , (mm)	Spoljašnji radijus $r_o$ , (mm)	Granica elastičnosti $\sigma_e$ , (MPa)	Modul elastičnosti $E$ , (GPa)	Poissonov koeficijent $\mu$	Pritisak opaljenja $p_i$ , (MPa)
2	79,0	132,5	900,0	216,0	0,33	320,8

Tabela 2.

Radijus $r$ , (mm)	Stanje naprezanja						Optimalni radijus $r_{opt}$ (mm)	Optimalno apsolutno stezanje $\Delta_1$ (mm)	Elastična otpornost cevi $p_{kr}$ (MPa)
	tangencijalno, (MPa)			radijalno, (MPa)					
	$\sigma_{\tau p}$	$\sigma_{\tau o}$	$\sigma_{\tau}$	$\sigma_{r p}$	$\sigma_{r o}$	$\sigma_r$			
79,0	674,67	-202,71	471,96	-320,80	0,00	-320,80	102,31	0,1532	452,62
81,3	646,56	-196,98	449,58	-292,68	-5,72	-298,41			
83,6	620,77	-191,73	429,04	-266,89	-10,97	-277,87			
85,9	597,04	-186,90	410,14	-243,16	-15,80	-258,97			
88,3	575,17	-182,44	392,72	-221,29	-20,26	-241,55			
90,6	554,96	-178,33	376,63	-201,08	-24,37	-225,46			
92,9	536,25	-174,52	361,73	-182,37	-28,18	-210,56			
95,3	518,90	-170,99	347,91	-165,02	-31,72	-196,74			
97,6	502,77	-167,70	335,07	-148,89	-35,00	-183,89			
99,9	487,76	-164,64	323,11	-133,88	-38,06	-171,94			
102,3	473,76	-161,79	311,96	-119,88	-40,91	-160,80			
102,3	473,76	161,67	635,44	-119,88	-40,91	-160,80			
105,3	456,98	155,94	612,93	-103,10	-35,18	-138,29			
108,3	441,59	150,69	592,28	-87,71	-29,93	-117,64			
111,3	427,43	145,86	573,29	-73,55	-25,10	-98,65			
114,3	414,38	141,40	555,78	-60,50	-20,64	-81,14			
117,4	402,32	137,29	539,61	-48,44	-16,53	-64,97			
120,4	391,15	133,48	524,64	-37,28	-12,72	-50,00			
123,4	380,80	129,94	510,75	-26,92	-9,18	-36,11			
126,4	371,18	126,66	497,85	-17,30	-5,90	-23,21			
129,4	362,22	123,61	485,83	-8,35	-2,84	-11,19			
132,5	353,87	120,76	474,63	0,00	0,00	0,00			
$\sigma_{\tau p}, \sigma_{r p}$ — naprezanja usled pritiska opaljenja $\sigma_{\tau o}, \sigma_{r o}$ — naprezanje usled stezanja (statička)									

### Zaključak

Dobijeni proračunski rezultati traženih veličina dvoslojne cevi su korektni i u potpunosti saglasnosti sa podacima iz literature.

Programsko rešenje omogućuje više mogućnosti proračuna potrebnih veličina višeslojne cevi. Za zadane konačne dimenzije cevi omogućuje određivanje optimalnih radijusa, veličina optimalnog relativnog i apsolutnog stezanja na kontaktnim radijusima, kao i stanje naprezanja u slojevima cevi. Navedene veličine mogu se odrediti i u

slučaju ako su na pojedinim slojevima već definisana apsolutna ili relativna stezanja. Na ovaj način prilično dugotrajni postupak proračuna se relativno brzo izvodi i omogućuje u procesu projektovanja višeslojnih cevi procenu i izbor najpovoljnije varijante s obzirom na karakteristike materijala, čvrstoću cevi, i sl.

Naravno, programski model ne prejudicira konačno rešenje ukupne problematike višeslojnih cevi, posebno u domenu tehnoloških zahteva: izrade navlaka, tolerancija preklopa, stanja kontaktnih površina, lokalnog odstupanja

nja kontaktnog radijusa od nazivne mere, i dr. U svakom slučaju, prikazanim modelom rešavaju se najvažnija pita-

nja problematike višeslojnih cevi, uz istovremenu mogućnost njegove dalje nadgradnje.

#### Literatura:

- [1] B. Orlov, K. Larman: Ustrojstvo i projektovanje stvolov artiljerijskih orudij, Moskva, Mašinstroenie, 1976.
- [2] K. Larman: Projektovanje i proizvodstvo artiljerijskih sistem, čast 1 Voenoe izdatelstvo, Moskva, 1946.
- [3] M. Davidović: Seminarski rad, VTA UVJ Beograd, 1992.
- [4] R. Obrenović: Konstrukcija artiljerijskih oruđa I, Zagreb TSC, 1975.
- [5] Z. Ristić: Odabrana poglavlja iz artiljerijskih oruđa, CVTS Zagreb, 1990.
- [6] M. Kalezić: Projektovanje cevi artiljerijskog oruđa, VTI Beograd, 1985.

## PROTOTIP SOFTVERA ZA ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA KVALITETA SREDSTAVA NVO

### Uvod

Pored istraživanja performansi, efektivnosti i tehničkog obezbeđenja, jedan paralelan smer u oblasti zadatka operacionih istraživanja i informacionih sistema bio je obezbeđenje kvaliteta sredstava NVO. Metodologija i pristup automatizacije pomoću računara u ispitivanju kvaliteta sredstava NVO tim više su tu bili potencirani pojavom standarda serije JUS ISO 9000. [1].

Potreba automatizacije putem razvoja računarskog softvera, koja je proučena i u praksi, nije svedena samo na podršku eksperimenta provere karakteristika kvaliteta (na primer: provera pouzdanosti). Otuda je proizašao komplet softvera za ispitivanje kvaliteta sistema/uređaja/softvera (akronim: IKSUS). Softver IKSUS omogućava, dakle, po želji automatizovane proračune i izradu delova dokumentacije za definisanje zahteva kvaliteta, plana i programa ispitivanja i izveštaja o ispitivanju. Na ovakve potrebe ukazano je već u radu [2], gde su obrađivane aktivnosti ispitivanja karakteristika kvaliteta softvera.

Prototipski razvoj softvera IKSUS vođen je paralelno sa izradom idejnog projekta u vezi metodologije ispitivanja. Razume se, tome su doprinela iskustva u primeni višekriterijumskih metoda optimizacije ili rangiranja, me-

toda ekspertske statistike i ispitivanja pouzdanosti, ali i razvoj standarda serija JUS IEC 605-607 za primene jednostrukih i sekvencijalnih planova u proveri pouzdanosti proizvoda. Komplet softvera IKSUS već je u operativnom stanju i opremljen potrebnom korisničkom dokumentacijom.

### Pojmovi i zahtevi u vezi sa kvalitetom proizvoda

Pojam »kvalitet« podrazumeva skup svih svojstava i karakteristika proizvoda ili usluge koji se odnose na njihovu mogućnost da zadovolje utvrđene ili izražene potrebe. Pri tome se ovaj pojam ne koristi za izražavanje stepena savršenstva tehničke ocene u kvantitativnom smislu. Zbog toga se pojmovi »nivo kvaliteta« ili »mera kvaliteta« koriste kada su na proizvodima izvršena tehnička ocenjivanja u kvantitativnom smislu. Takođe, »relativni kvalitet« je pojam koji se koristi kada se proizvodi ili usluge međusobno upoređuju, »stepen kvaliteta« ako se svrstavaju po relativnoj osnovi. Pokazatelj kategorije ili ranga, koji se odnosi na svojstva ili karakteristike, izražava se pojmom »klasa kvaliteta«, što odražava planiranu ili ostvarenu razliku u zahtevima ili na određen način priznatu razliku u upotrebi, za proizvod ili uslugu iste namene ili potrebe [1], [3].



Pomenuti pojmovi u oblasti kvaliteta, radi njihove adekvatne upotrebe, preuzeti su u skraćenom obliku iz dokumenta JUS ISO 8402. Opšti pojam »proizvod« definisan je u okviru Tehničkog komiteta ISO/TC 176, kao rezultat aktivnosti i procesa, pa može da bude materijalan i nematerijalan ili njihova kombinacija. U načelnom smislu, proizvodi su podeljeni u dva oblika opisana izrazima:

- kategorija osnovnih proizvoda i
- industrijsko-ekonomski sektor iz kojeg proizvod potiče.

Kategoriju osnovnih proizvoda, pak, čine četiri grupe:

- hardver, proizvodi koji se sastoje od izrađenih delova ili njihovih sklopova;
- softver, proizvod koji se sastoji od pisanih ili drugačije zabeleženih informacija, koncepata, transakcija ili procedura;

— procesni materijali, gotovi ili polugotovi proizvodi koji se sastoje od čvrstih tela, tečnih tela, gasova ili njihovih kombinacija, i

— usluge, nematerijalni proizvodi koji su celovit ili najvažniji deo ponude, ili ugrađena osobina ponude, koji se odnose na planiranje, prodaju, transport, ocenu, obuku ili uslugu materijalnog proizvoda. Usluge imaju vrednost najčešće u aktivnostima u određeno vreme i mesto gde su na raspolaganju kupcu.

Sredstvo NVO, označeno kao jedinstven pojam u uvodu, očigledno može da pripada bar jednoj od prve tri grupe u kategoriji osnovnih proizvoda.

Drugi internacionalni standardi, naročito oni iz serije ISO 9000, paralelno obraćaju pažnju na kompleksno obezbeđivanje kvaliteta proizvoda, preko upravljanja kvalitetom i sopstvenih standarda proizvođača. Neugovoreni ili ugovoreni (zahtevani) nivo kvaliteta proizvoda obezbeđuje se preko tri modela:

ISO 9001, tokom projektovanja ili razvoja, proizvodnje, ugradnje i održavanja;

ISO 9002, tokom proizvodnje i ugradnje, i

ISO 9003, tokom završne kontrole i ispitivanja.

Ovi modeli podrazumevaju delovanje sistema kvaliteta čiji su elementi predviđeni standardom ISO 9004. Cela ova serija standarda nosi prefiks JUS, odnosno vode se kao domaći standardi. Važno je uočiti da ugradnja kvaliteta proizvoda ili sredstva NVO treba da bude uslovljena ili vođena sistemom kvaliteta, gde se podrazumevaju organizacija, oprema i znanje za obezbeđivanje kvaliteta. Komplet softvera IKSUS odgovara i tim zahtevima, jer je istovremeno metodologija (znanje) i automatizovana oprema za ispitivanje (proveru) kvaliteta, odnosno karakteristika kvaliteta sredstava NVO. Bitno u vezi sa sredstvima NVO jeste da se kao karakteristike kvaliteta pojavljuju njihova kompleksna svojstva, pogodnost održavanja i efektivnost, a pouzdanost je u njihovoj definiciji.

### Struktura prototipa softvera IKSUS

Dijapazon mogućnosti primene prototipa kompleta softvera IKSUS, kako je razmatrano u uvodu, u mnoštvu faza »životnog veka« sredstva NVO načelno je sledeći:

— u planiranju razvoja, za sagledavanje trajanja i troškova ispitivanja;

— u projektovanju, za izradu delova dokumentacije;

— u ispitivanju, za konstruisanje i sprovođenje eksperimenata;

— u obrazovanju, za sticanje osnovnih znanja o metodologiji ispitivanja, i

— u proizvodnji i održavanju, za proveru postignutog nivoa kvaliteta ili pouzdanosti.

Softverska struktura koja može da prihvati automatizaciju navedenih zadataka, u prototipskom razvoju, sastavljena je od četiri podsistema:

IPEKS — informacioni podsistem eksperimenata,

VVK — višekriterijumsko vrednovanje kvaliteta,

ESOK — ekspertska statistička ocena kvaliteta,

PLAN — jednostruki i sekvencijalni (redosledni) planovi ispitivanja kvaliteta.

Metodološku okosnicu IKSUS-a čine podsistemi VVK, ESOK i PLAN, dok je informacioni podsistem samo podrška korišćenju ovih podsistema, tako što je ugrađen i u njih a delom je to statistička baza podataka tokom eksperimenata.

Funkcionalne uloge pojedinih podsistema IKSUS-a, u globalnom smislu, prikazane su na slici 1 u četiri nivoa bez detaljnijih razmatranja. Može se videti da automatizovane primene IKSUS-a mogu da se pojave počev od faza planiranja i upravljanja do sprovođenja eksperimenata u obezbeđenju kvaliteta sredstava NVO.

### Informacioni podsistem IPEKS

Prikupljanje, čuvanje i obrada podataka iz eksperimenta »merenja« kvaliteta ili pouzdanosti sredstava NVO zadaci su IPEKS-a — Informacionog Podsistema Eksperimenta. U principu, svaki eksperiment iz domena ispitivanja kvaliteta sredstava NVO planira se i podrazumeva neki protokol eksperimenta, gde se registruju podaci o događajima otkaza, prekidima toka eksperimenta, popravkama, identifikaciji događaja i sredstva NVO i sl. Automatizovani vid ovakvog protokola eksperimenta, naravno sa širim mogućnostima, može da bude baza ili datoteka eksperimenta, odnosno, obuhvatnije, informacioni podsistem IPEKS.

Prepoznatljiva je funkcionalna struktura IPEKS-a, gde su taksativno:

— identifikacija sredstva NVO i njegovih delova;

— identifikacija laboratorijske opreme, hardvera i softvera;

— identifikacija izvođača eksperimenta;

— registrovanje podataka o toku eksperimenta, otkazima, prekidima i popravkama;

— obrada podataka eksperimenta;

— izrada Izveštaja o ispitivanju kvaliteta (ili pouzdanosti);

— izrada priloga o planovima i uslovima eksperimenta i slično.

Logička okosnica IPEKS-a, sa gladišta njegove potrebe u ispitivanju kvaliteta ili pouzdanosti, jeste statistička obrada pokazatelja (koeficijenata) i funkcija ponašanja sredstava NVO.

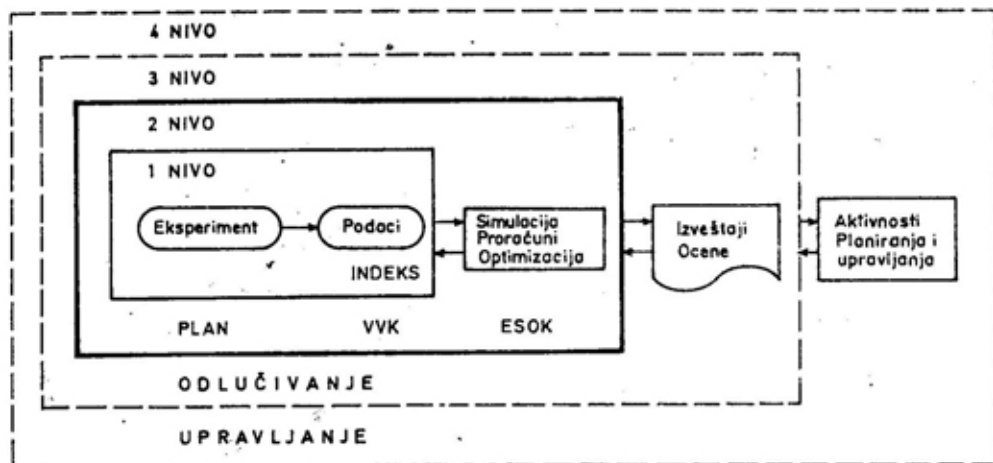
Gledano sa nivoa organizacije i upravljanja aktivnostima ispitivanja kvaliteta datog sredstva NVO, postoje tri operativna perifernijska bloka šeme na slici 1 za ekscitaciju IPEKS-a:

— laboratorijski, za rukovanje delovima laboratorijskih uređaja i njihovog povezivanje (u eksperimentu),

— ulazni, za unošenje i smeštanje podataka u datoteke, kao i generisanje zahteva za primenu programskih paketa, i

— izlazni, za dobijanje raznih izveštaja i priloga dokumentaciji razvoja sredstva NVO.

Jasno je da u dinamici rada IPEKS-a pri tome učestvuju kako sopstveni programski moduli za prihvatanje, kontrolu i obradu podataka iz baze podataka, tako i pomoćni programski moduli operativnog sistema ili simulacije/manipulacije baze podataka. Ovi poslednji moduli praktično se mogu smatrati delovima šemirane laboratorijske opreme za konkretno ispitivanje kvaliteta ili pouzdanosti.



Sl. 1

Tema eksperimenta: ..... List: .....

Uslovi: .....

Sistem/podsistem: ..... Sredstvo: .....

1	2 Vreme početka		3 Prekid eksperimenta				4 Analiza razloga prekida		
Redni broj	Datum god/mes/dan	Vreme sat/min/s	Datum god/mes/dan	Vreme sat/min/s	Razlog: — planski — otkaz — održavanje — ostalo	Opis zapažanja	Opis razloga prekida i održavanja	Zbirno vreme sat/min/s	Trajanje aktivnosti održavanja min

Sl. 2 — Protokol ispitivanja

Od značaja za konstruisanje baze podataka IPEKS-a jeste sastav protokola ispitivanja (eksperimenta). Zaglavlje jednog takvog protokola za ispitivanje (proveru) pouzdanosti sredstava NVO pri konstrukcionom ili prijemnom tipu eksperimenta prikazano je na slici 2. To zaglavlje ukazuje na sastav sloga automatizovane baze podataka, dok se u statističkoj obradi zatim izdvajaju, grupišu u uzorku ili sekvencijalno obrađuju podaci o značajnim (relevantnim) otkazima konkretnog sredstva NVO. Budući da je baza statističkog karaktera, poštujući i redosled registrovanja slogova takvog protokola, organizacija baze »sirovih« podataka IPEKS-a takođe je sekvencijalna.

Treba reći da je jedna prednost automatizovane baze podataka IPEKS-a u tome što je ona u izvesnom smislu istorijska. Po tome, podaci iz eksperimenta mogu da budu obrađivani tokom samog eksperimenta, ali i kasnije, prema potrebi. U principu, eksperimentu je izloženo istovremeno više sredstava NVO istog tipa — reprezentni statistički uzorak, shodno primenjenoj metodi iz skupa automatizovanih modula paketa PLAN. U slučaju sekvencijalnog (redoslednog) plana provere pouzdanosti sredstava NVO, već se kroz sam paket PLAN generiše izlazna informacija o prihvatanju ili odbijanju, odnosno o nastavljanju toka eksperimenta ili njegovom prekidanju.

Savremeni softverski proizvodi u područjima organizacije rada i poslovnih sistema, zatim u oblasti operativnih sistema i komunikacija, koji se nabavljaju na tržištu, praktično se mogu prema potrebi primeniti u IPEKS-u. Ovakav pomoćni softver raspoloživ je naročito za tzv. tip personalnih računara, ali i za veće računarske sisteme. Praktično, za postavljanje IPEKS-a u operativno stanje nije potrebna izrada nekog novog softvera, već primena postojećih softverskih paketa za razvoj »baza podataka«. Informaciona baza eksperimenta, kao deo šireg podsistema IPEKS, delom je već obrađena u radu

[2]. Inače, prototip softverskog kompleta IKSUS ispitivan je i operativno upotrebljiv kako na velikim računarskim sistemima opšte namene (npr. VAX), tako i na standardnim personalnim računarima.

### *Ugrađene metode za ispitivanje kvaliteta sredstava NVO*

Softverski komplet, naglašeno na slici 1 da pripada nivou 2, prototipa IKSUS-a predstavlja softverski realizovanu metodsku opremu laboratorije za ispitivanje kvaliteta sredstava NVO. Pri tome, samo ispitivanje karakteristika kvaliteta može da bude kao tip (višekriterijumskog) vrednovanja, verifikacije ili provere, zavisno od faze razvoja sredstva NVO i primenjene metode. Kako je za prototip IKSUS-a već urađena određena softverska dokumentacija, uputstva za korisnika i dr., a i zbog ograničenog prostora biće izložene samo osnove ugrađenih algoritama sa nekim primerima.

### *Višekriterijumsko vrednovanje i verifikacija kvaliteta*

Glavne razlike između vrednovanja i verifikacije kvaliteta proizlaze praktično iz toga što se vrednovanje kao tip ispitivanja primenjuje na funkcionalne karakteristike ili performanse sredstva NVO, a verifikacija se odnosi na faze životnog veka (međufazno ispitivanje) po određenim karakteristikama datog sredstva NVO. Budući da se nivo kvaliteta ili relativni kvalitet sredstva NVO najčešće posmatra (meri) preko više karakteristika, ispitivanje dobija atribut »višekriterijumsko«. Zapravo, uputno je primenjivati metode za optimalno sagledavanje nivoa kvaliteta ili relativnog nivoa kvaliteta.

Posvećujući posebnu pažnju već razvijenim metodama višekriterijumske optimizacije ili rangiranja [4] gde se može relativno lako uspostaviti analo-

gija između definicija kriterijumske funkcije (kriterijuma) i definicija karakteristika kvaliteta proizvoda, može se doći do zaključka o njihovoj primeni u ispitivanju kvaliteta proizvoda. Na primer, u radu [5] detaljno je urađen opit višekriterijumskog vrednovanja softvera po kvalitetu primenom metode iterativno kompromisno rangiranje. Tu je praktično »meren« relativni kvalitet uzimajući u obzir devet karakteristika kvaliteta poznatog softverskog paketa.

Pristup višekriterijumskog vrednovanja kvaliteta proizvoda, ugrađen u programski paket VVK, formalno može da se definiše tako da se skupom diskretnih alternativa  $E = \{e_i\}$ ,  $i=1, I$ , predstavljaju ocene kvaliteta. Pretpostavka je da je skup  $E$  u »blizini rešenja«, konačan i uređen. Kako je svaki zadatak višekriterijumske optimizacije ili rangiranja poseban, a njegovo postavljanje podrazumeva i izbor pravila o optimizaciji ili rangiranju na skupu izabranih karakteristika (kriterijuma) kvaliteta, on može da se formalizuje dvojkom  $\{E, o\}$ . Algoritam višekriterijumskog vrednovanja kvaliteta pomoću računara dalje može da se kompletira izborom, na primer, metode iterativnog kompromisnog rangiranja. Ovakav algoritam sa metodološkim detaljima predstavljen je u uputstvu [6].

### *Ekspertsko statističko ocenjivanje kvaliteta*

Primena ekspertskih metoda ocene kvaliteta proizvoda moguća je u vrlo različitim uslovima: sa učešćem ljudi ili sa učešćem mernih uređaja u ulogama eksperata. U drugom slučaju najčešće su u pitanju automatizovani ili automatski vidovi kontrole karakteristike kvaliteta. U oba slučaja primene uslovno se nameće zadatak ocene regularnosti statističke ocene, koja na iverstan način znači kontrolu kvaliteta samih eksperata.

Metodološki pristup ekspertске statističke ocene u postavci eksperimenta može da se formuliše, pri izabranoj karakteristici kvaliteta datog proizvoda, preko skupova eksperata  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_m\}$  i objekata  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}$ . Radi automatizovane kontrole kvaliteta eksperata iz skupa  $E$  posmatra se takođe skup  $R = \{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{nm}\}$  čiji su elementi  $r_{ij} \in R$ ,  $j=1, n$ ,  $i=1, n$  ekspertске ocene objekata iz skupa  $S$ . Pri tome, (ne)određenost mesta pojedinačne ocene kvaliteta  $r_{ij}$  uzrokovana je delom različitošću kvaliteta (osposobljenošću) eksperata iz skupa  $E$ . Transformacijom skupa  $R$ , odnosno njegovim preslikavanjem u skup verovatnoća  $P$ ,  $R \rightarrow P$ , može da se dobije informacija o kvalitetu ekspertске ocene. Ovde proizvoljni elemenat skupa  $P$ ,

$$P_{ik} = \frac{(m_{ik})}{m} \quad (1)$$

predstavlja tada verovatnoću toga da bi se objekat  $s_i$  našao na  $k$ -tom mestu u proceduri ekspertskog ocenjivanja.

Programski paket ESOK, dakle, osim izračunavanja ekspertске ocene kvaliteta sadrži i aspekt ocene regularnosti ove ekspertске statističke ocene. Glavni koraci ugrađenog algoritma SEKO [7] u ovaj softverski paket su:

1. šematizovanje nizova podataka na ulazu na osnovu sadržaja skupova  $E$  i  $S$ . Matrična šema uzeta je kao pogođan oblik za organizovanje skupa  $R$ ;

2. preslikavanje na skup  $P$ ,  $R \rightarrow P$ , odnosno u matričnu formu

$$\| P \| = \left\| \begin{array}{cccccc} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1k} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & \dots & P_{22} & \dots & P_{2k} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & P_{n2} & \dots & P_{nk} & \dots & P_{nn} \end{array} \right\| \quad (2)$$

3. kontrola normiranja verovatnoća po vrstama matrične šeme

$$\| P \|, \sum_{k=1}^n p_{in} = 1 \quad (3)$$

4. izračunavanje matematičkog o-

$$\text{čekivanja } M_i = \sum_{k=1}^n k \cdot p_{ik} \quad (4)$$

i standardne devijacije

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n (k - M_i)^2 \cdot p_{ik}} \quad (5)$$

za svaki element skupa S;

5. izračunavanje neodređenosti mesta koje zauzima i-ti objekat posle procedure rangiranja:

$$H_i = - \sum_{k=1}^n p_{ik} \cdot \ln p_{ik}, \quad (6)$$

kao i ukupnu neodređenost H;

6. izračunavanje koeficijenta usaglašenosti ocene

$$V = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad H_{\max} = -n \cdot \ln n; \quad (7)$$

7. organizovanje i prikazivanje rezultata.

*Ocena kvaliteta po jednostrukim i sekvencijalnim statističkim planovima*

Reprezentni statistički uzorak, na kojem može da se zasniva eksperiment ocenjivanja kvaliteta proizvoda, omogućava uslov regularnosti ocene ali ne i najjeftiniji eksperiment. Nasuprot tome, sekvencijalni plan zasnovan na statistici Wald-a omogućava jeftiniji eksperiment ocene (provere) karakteristike kvaliteta. U oba tipa statističkog eksperimenta, tj. njihov planski i proračunski deo, može da se koristi programski paket PLAN. Inače, njegov metodološki sadržaj odgovara postojećim standardima JUS IEC 606-6, 605-4, IEC 605-6.

Prihvatajući metodologiju obrađenu u radu [2], prototipski razvoj programskog paketa PLAN obuhvata znatno šire područje primene. Taksativno, njegove posebne automatizovane metode celine su:

— formiranje datoteke jednostrukih planova kada je karakteristika kvaliteta srednje vreme do/između otkaza proizvoda,

— formiranje datoteke jednostrukih planova kada je karakteristika kvaliteta verovatnoća otkaza/neispravnosti proizvoda,

— formiranje sekvencijalnog plana, sa grafikom, kada je karakteristika kvaliteta srednje vreme do/između otkaza proizvoda, i

— formiranje sekvencijalnog plana, sa grafikom plana, kada je karakteristika kvaliteta verovatnoća otkaza/neispravnosti proizvoda.

Uputstvo za korisnika [8] daje sva neophodna uputstva upotrebe za navedene programske celine paketa PLAN, sa primerima. Takođe, zavisno od raspoložive računarske hardverske opreme, moguća je upotreba ekrana pri interaktivnom radu ili samo štampača. Ugrađena je takođe i korisnička komunikaciona programska jedinica, koja vodi korisnika pri izboru, unosu i prikazivanju podataka.

Eksponecijalna, jednoparameterska raspodela vremena rada do/između otkaza uzima se kao model pouzdanosti proizvoda kao karakteristike kvaliteta. Parametar ekspanencijalne raspodele tada je srednje vreme do/između otkaza —  $m_z$ , zahtevana vrednost. Tako, u jednostrukom planu organizovanog eksperimenta testira se vrednost  $m_z$ , ili pri završavanju eksperimenta ukupnim brojem otkaza  $r_o$  ili pri ukupnom vremenu trajanja eksperimenta  $T_o$ . U odnosu na gornju  $\bar{m}_z$  i donju granicu  $\underline{m}_z$  zahtevane vrednosti  $m_z$ , definišu se verovatnoće

$$\alpha = P\{m > \bar{m}_z\}, \text{ rizik kupca } i \quad (8)$$

$$\beta = P\{m < \underline{m}_z\}, \text{ rizik prodavca, } (9)$$

proizvoda čije je postignuto srednje vreme do/između otkaza  $m = \frac{T_o}{r_n}, r < r_o$ ,

$T < T_o$ , tačkasta ocena po jednostrukom planu, odnosno statističkom reprezentnom uzorku.

Umesto  $m_z$  kao karakteristika kvaliteta može da se testira  $p_z$  — verovatnoća otkaza/neispravnosti proizvoda. No, i u slučaju parametra  $m_z$  i  $p_z$  kao ocenska raspodela verovatnoća koristi se Puasonova raspodela, na jednostrukom planu eksperimenta. Razume se, statistički uzorak većeg obima  $n$  vodi boljoj tačkastoj oceni postignute vrednosti  $p$  ili  $m$ .

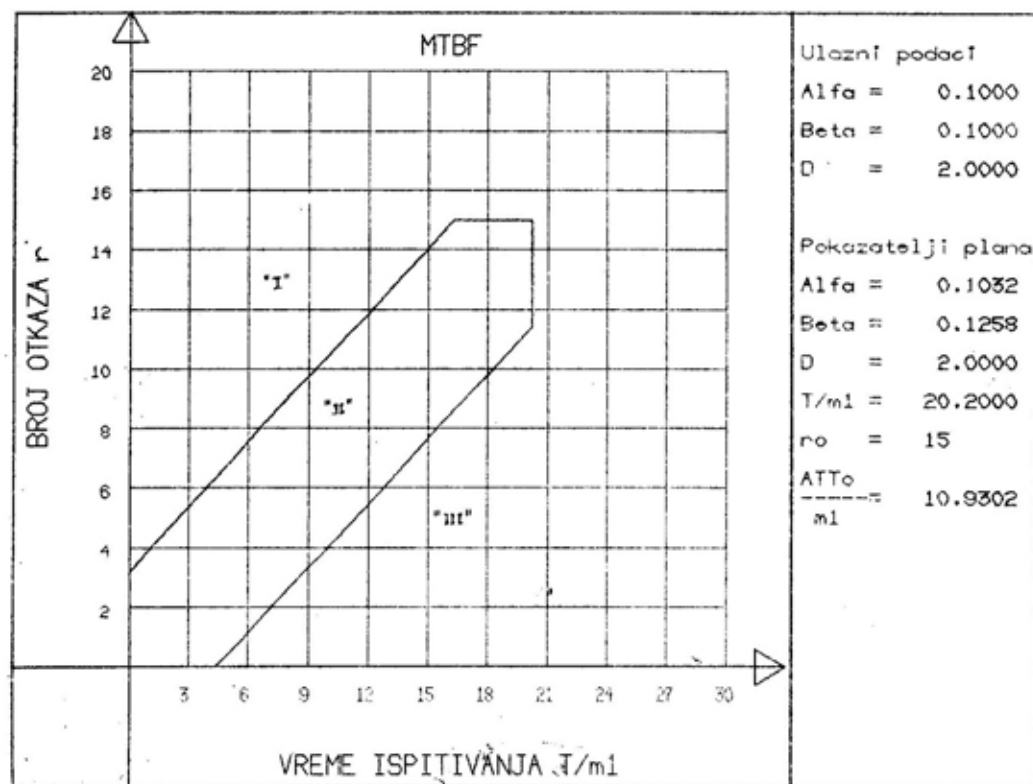
Sekvencijalni plan eksperimenta podrazumeva da se posle svakog relevantnog otkaza ispitivanog proizvoda testira postignuta pouzdanost, pa se eksperimenti nastavljaju ili prekidaju, po planu. Kako sama izrada sekvencijalnog plana, tako i testiranje postignute vrednosti  $m$ , ili  $p$ , u odnosu na zahtevane vrednosti  $m_z$ , ili  $p_z$ , respektivno, kao postupci su automatizovani programskim paketom PLAN. Kako se stalno kontroliše ukupno vreme trajanja ispitivanja, ili ukupan broj otkaza, to se sa većim obimom statističkog uzorka takođe skraćuje i pojednostavljuje ispitivanje. U principu, najmanje što je potrebno za definisanje (izradu) sekvencijalnog ili redoslednog plana ispitivanja jesu faktor diskriminacije  $D = \frac{\bar{m}_z}{m_z}$ ,  $\alpha$  i  $\beta$ . U smislu postavljanja zahteva ponekad se  $m_z = m_1$  naziva neprihvatljivim, a  $\bar{m}_z = m_0$  prihvatljivim srednjim vremenom do/između otkaza.

vani programskim paketom PLAN. Kako se stalno kontroliše ukupno vreme trajanja ispitivanja, ili ukupan broj otkaza, to se sa većim obimom statističkog uzorka takođe skraćuje i pojednostavljuje ispitivanje. U principu, najmanje što je potrebno za definisanje (izradu) sekvencijalnog ili redoslednog plana ispitivanja jesu faktor diskriminacije

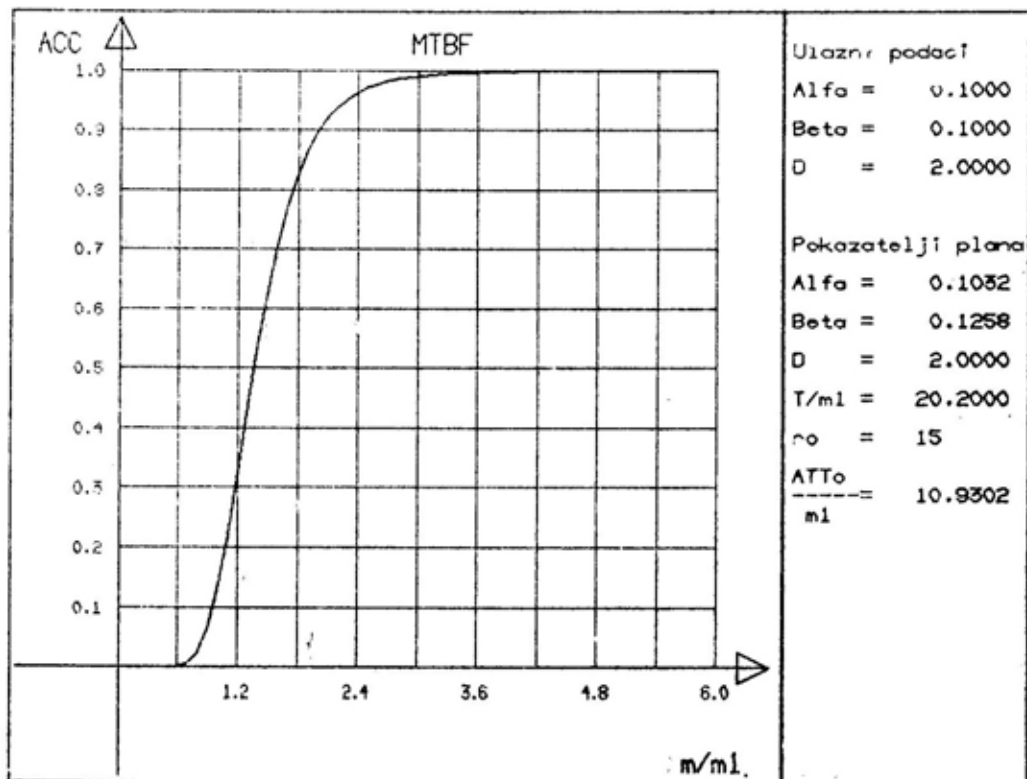
$D = \frac{\bar{m}_z}{m_z}$ ,  $\alpha$  i  $\beta$ . U smislu postavljanja zahteva ponekad se  $m_z = m_1$  naziva neprihvatljivim, a  $\bar{m}_z = m_0$  prihvatljivim srednjim vremenom do/između otkaza.

### Ilustrativni primer

Više brojevanih primera već je uključeno u komunikacionu programsku



Sl. 3 — Generalisani plan opta



Sl. 4 — Grafik operativne karakteristike

jedinicu korisnik-računar, kao pokazni primeri za obuku korisnika programskih paketa. Najbolju ilustrativnost, međutim, omogućava programski paket PLAN pri definisanju sekvencijalnog plana. Tu je, pored pratećih broječnih podataka, neophodno formirati slike plana testa, radne karakteristike i dr.

Zavisno od raspoložive opreme, personalni računar ili računar opšte namene, kao i od potrebe, izračunavanje pokazatelja i formiranje slike sekvencijalnog plana opita mogu da se organizuju različito.

U principu, formira se »generalisana« slika sekvencijalnog plana opita za ulazne podatke  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $D = m/m_1$ , dok je zahtevane pokazatelje  $m_0$  ili  $m_1$  moguće izvesti iz prikazanih podataka. Na primer, jedan takav sekvencijalni plan kao automatizovani izlaz primene pro-

gramskog paketa PLAN prikazan je na slici 3. Tu su prikazani i ulazni podaci i očekivane vrednosti pokazatelja sekvencijalnog plana opita. Ovi zadnji podaci dobijaju se delom na osnovu grafika na slikama 4 — radna karakteristika i 5 — očekivano vreme ispitivanja do odluke. Treba uzeti u obzir da se uz grafik sekvencijalnog plana na slici 3 može pomoću »miša« pratiti tačka odluke tokom opita.

Naravno, u ovom radu nema prostora da bi se mogle prikazati sve različite mogućnosti složenog programskog paketa PLAN. Ali, pod pretpostavkom da se poznaju sadržaji bar postojećih standarda MIL-STD 781 C ili JUS IEC 605-6, moguće je već na osnovu datog primera na slikama 3, 4 i 5 naslutiti te mogućnosti, kad je sam postupak oko primene ovih standarda automatizovan



pomoću računara. Podacima iz tabela 1 i 2, koji se takođe automatizovano dobijaju, mogućnosti primene programskog paketa PLAN samo se proširuju u ispitivanju karakteristika kvaliteta sredstva NVO.

Deo konstrukcijskog ili prijemnog ispitivanja nekog sredstva NVO koje se, na primer, odnosi na proveru pouzdanosti može da bude formulisano na uobičajeni način: neka se traži provera zahteva  $m_0 = 5000$  h. Tada može da bude izabran test sekvencijalnog (redoslednog) ispitivanja plana simetričnih rizika proizvođača i naručioca,  $\alpha = \beta = 0,10$ , sa povoljnim faktorom diskriminacije  $D = m_0/m_1 = 2$ . Jasno je da onda može da se upotrebi generalisani grafik plana opita kao na slici 3. Na toj slici date su i očekivane vrednosti parametara plana iz kojih, na primer, pro-

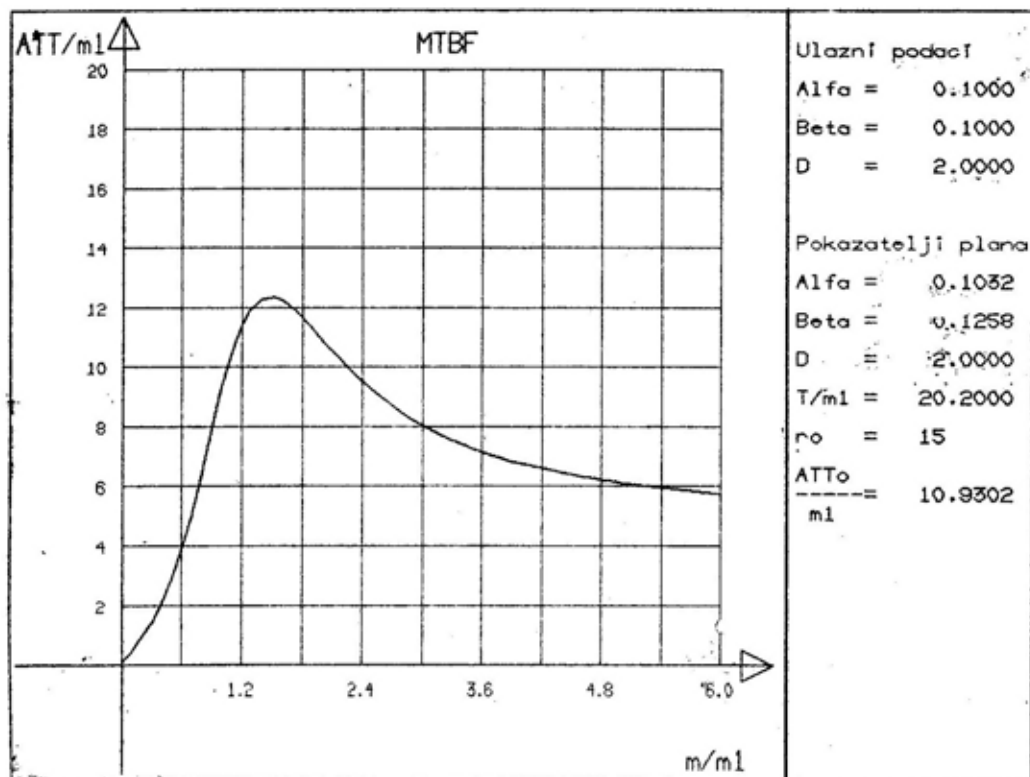
izlazi da bi ukupno vreme ispitivanja do odluke moglo da iznosi  $T = m_1 \cdot 10,9302 = 2500 \cdot 10,9302 \approx 27325$  h i broj otkaza  $r = 15$ . Grafik na slici 3 sadrži tri karakteristične oblasti:

»I« — oblast odbacivanja hipoteze da je  $m = m_0$ , odnosno prekidanja ispitivanja, jer dato sredstvo NVO nema svojstvo pouzdanosti koja se zahteva,

»II« — oblast nastavljanja opita, ako tačka generisana brojem otkaza padne u nju, i

»III« — oblast pozitivne odluke o prihvatanju hipoteze  $m = m_0$ , kada se ispitivanje završava.

Ako se raspolaze terminalom sa mišem, onda se položaj tačke odluke tokom redoslednih opita može pratiti u realnom vremenu po generisanom grafiku na ekranu. Svako stanje posle



Sl. 5 — Grafik očekivanog vremena do odluke

*Sekvencijalni plan ispitivanja:  
(nezavisna promenljiva je broj otkaza)*

Broj otkaza	Vreme ispitivanja	
	Prihvatiti	Odbaciti
0	4.4	***
1	5.8	***
2	7.2	***
3	8.6	***
4	10.0	1.1
5	11.4	2.5
6	12.8	3.9
7	14.1	5.3
8	15.5	6.6
9	16.9	8.0
10	18.3	9.4
11	19.7	10.8
12	20.2	12.2
13	20.2	13.6
14	20.2	15.0
15	***	20.2

Tabela 1

*Sekvencijalni plan ispitivanja:  
(nezavisna promenljiva je vreme ispitivanja)*

Vreme ispitivanja	Broj otkaza	
	Prihvatiti	Odbaciti
0.1 do 1.1	***	4
1.2 do 2.5	***	5
2.6 do 3.9	***	6
4.0 do 4.3	***	7
4.4 do 5.3	0	7
5.4 do 5.7	0	8
5.8 do 6.6	1	8
6.7 do 7.1	1	9
7.2 do 8.0	2	9
8.1 do 8.5	2	10
8.6 do 9.4	3	10
9.5 do 9.9	3	11
10.0 do 10.8	4	11
10.9 do 11.3	4	12
11.4 do 12.2	5	12
12.3 do 12.7	5	13
12.8 do 13.6	6	13
13.7 do 14.0	6	14
14.1 do 15.0	7	14
15.1 do 15.4	7	15
15.5 do 16.8	8	15
16.9 do 18.2	9	15
18.3 do 19.6	10	15
19.7 do 20.1	11	15
20.2	14	15

### Zaključak

Vrednovanje, verifikacija ili provera nivoa kvaliteta ili relativnog kvaliteta mogu da se pojave kao zahtevi, odnosno metodološki obrađeni postupci, u sastavu konstrukcijskih ili prijemnih ispitivanja sredstava NVO. Njihovo izvođenje mora da bude saobraženo standardima serije JUS ISO 9000. Takav je upravo metodološki sadržaj prototipa softverskog kompleta razmatranog u ovom radu. Autonomnost, moguća primenljivost i potreban nivo automatizacije omogućavaju da se programski paketi VVK, ESOK i PLAN posmatraju kao deo opreme laboratorije za atestiranje kvaliteta. Konačno, softverska automatizacija postupaka »merenja« karakteristika kvaliteta je i bio bliži cilj u zadatku operacionih istraživanja u oblasti informacionih i računarskih sistema sa primenom u siste-

mima NVO. Premda u znatno širem vidu, ovaj rad kompletira izloženu materiju u objavljenom radu [2]. Namera

ovde nije bila stvaranje nekog tipa ekspertskog sistema, ali je i takva mogućnost evidentna.

#### Literatura:

- [1] Brkić D.: Priručnik za primenu serije standarda JUS ISO 9000. SZS, Beograd, 1992.
- [2] Đokić D.: Osnovne aktivnosti za proveru pouzdanosti softverskog koda, Vojnotehnički glasnik, 1992.
- [3] Grupa autora: Vizija 2000, zbornik radova, »Posl. politika«, Beograd, 1992.
- [4] Opricović S.: Višekriterijumska optimizacija, »Naučna knjiga«, 1986.
- [5] Đokić D.: Višekriterijumsko vrednovanje softvera po kvalitetu, Naučno-tehnički pregled, 1991, 10.
- [6] Đokić D.: Modeli i primene metode IKOR u zadacima višekriterijumske optimizacije, VTI 08-01.114, Beograd, 1991.
- [7] Đokić D.: Algoritam za utvrđivanje regularnosti ekspertskih statističkih ocena, Naučno-tehnički pregled, 1993, 6 (u štampi).
- [8] Ristić B.: Uputstvo za korišćenje paketa programa PLAN na PC IBM AT kompatibilnim računarima, VTI-08-04-0017, Beograd, 1993.

Dr Dušan Rajić,  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Zoran Maletić,  
poručnik, dipl. inž.

## IDENTIFIKACIJA HEMIJSKE MUNICIJE ZAPLENJENE U RATU (I DEO)

### Uvod

Iskustva iz savremenih lokalnih ratova u svetu, uključujući i onaj koji se vodi na prostorima bivše Jugoslavije, karakteriše povremena upotreba hemijskog oružja. To pokazuje da odredbe Ženevske konvencije o zabrani korišćenja ovih sredstava u ratu nisu dovoljno efikasan i ograničavajući faktor zabrane s obzirom na mogućnosti ostvarenja strateških ciljeva ovom vrstom oružja.

Naša zemlja se dosledno pridržava odredbi Ženevske konvencije i nema nameru da koristi oružja za masovno uništavanje protivničke žive sile (ž/s). To, međutim, ne znači da naši stručni organi neće biti u poziciji da moraju, pre svega, identifikovati hemijsku municiju zaplenjenu od protivnika da bi mogli doneti valjanu odluku šta s njom činiti.

Hemijska municija u odnosu na klasičnu municiju zahteva poseban tretman u svim fazama manipulacije, pre svega zbog toksikološkog svojstva bojnog otrova (BOt), kao glavne delujuće komponente, što dovodi do masovnog izbacivanja ž/s iz stroja. Svaka pogrešna odluka pri identifikaciji ove municije izazvala bi značajne posledice.

U stranoj literaturi nema dovoljno podataka o načinima delaboracije hemijske municije niti o metodama identifikacije municije nepoznatog porekla

za koju se sumnja da može biti hemijska. Ovaj rad odgovara na moguće aspekte sagledavanja problema identifikacije protivničke hemijske municije u savremenom ratu, izuzimajući identifikaciju na osnovu oznaka, jer je ta tematika ranije izučena [1]. Na taj način biće popunjena praznina koja je postojala u domaćoj literaturi, a time će, ujedno, posao stručnih organa u vezi sa hemijskom municijom stranog ili nepoznatog porekla biti u znatnoj meri olakšan.

### *Dinamičko aktiviranje projektila*

Identifikacija hemijske municije dinamičkim aktiviranjem projektila predstavlja upućivanje (ispaljivanje) hemijskog projektila na cilj. Ovaj način identifikacije primenjivao bi se u slučaju da municija koja je postala ratni plen jedinica koje izvode borbena dejstva, nije ni na koji način obeležena, odnosno označena, pa nema vremenskih niti tehnoloških mogućnosti za identifikaciju drugim metodama. Na osnovu efekta koji bi se izazvao na cilju, moglo bi da se proceni da li se radi o hemijskoj municiji, jer se njeno dejstvo donekle razlikuje od delovanja klasičnih projektila. Razlika se sastoji u tome što se pri dejstvu hemijskog projektila čuje vrlo slaba detonacija i oslobađa toksični gas, a kod klasičnih projektila detonacija je

vrlo snažna i oslobađa se vrlo malo dima koji je sivobebe boje. Ukoliko se uporedi dejstvo hemijskog i dimnog zrna, razlike se ogledaju samo u boji dima i brzini njegovog širenja. Aktiviranjem dimnog projektila oslobađa se gust beli dim koji se vrlo sporo širi, za razliku od toksičnog oblaka, nastalog aktiviranjem hemijskog projektila, čije je širenje vrlo brzo.

Princip dejstva hemijske municije sastoji se u tome da projektil nakon dodira sa ciljem eksplodira ili sagori, pri čemu se oslobađa BOt. Oblak BOt-a se vremenom širi i biva nošen vazдушnim strujama. Usled ovih uticaja toksični oblak najčešće poprima izduženu eliptičnu formu.

Ovaj način identifikacije hemijske municije ima i svoje zahteve koji se ne smeju zanemariti. Naime, municija po kalibru i konstrukciji treba da odgovara oruđu koje poseduju naše jedinice. U blizini rasporeda neprijateljevih snaga ne sme da se nalazi naše stanovništvo, a na teritoriji koju drži neprijatelj ne sme biti snaga za borbu na PZT i naših ubačenih grupa. Isto tako, ne sme se dogoditi da efekat delovanja ove municije dovede u opasnost naše snage, u slučaju nagle promene meteoroloških uslova, a pre svega smera vetra. Pored toga, treba voditi računa o reakcijama stranog faktora (vojnih posmatrača drugih zemalja) i naše obaveze prema konvenciji o zabrani upotrebe hemijskog oružja.

## PRILOG A

### RUSKI ARTILJERIJSKI I RAKETNI HEMIJSKI PROJEKTILI

#### A.1. Hemijska artiljerijska granata 122 mm

1. Košuljica
2. Nosac eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

° Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

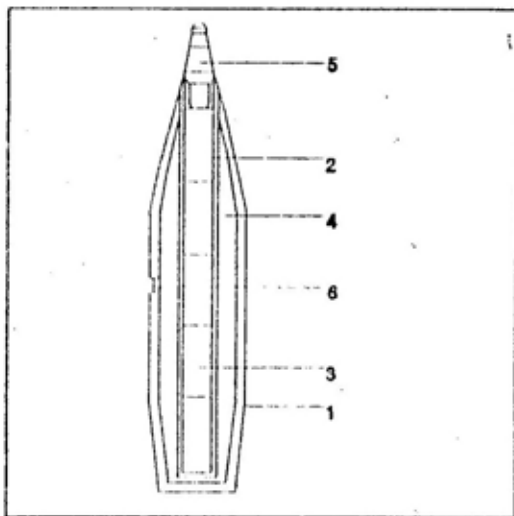
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

122 mm

sarin

para i fino dispergovani

aerosoli

detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

22,2 kg

1,3 kg

0.06

TNT

čelik, bakar, aluminijum

1. Košuljica
2. Nosač eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NAČIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

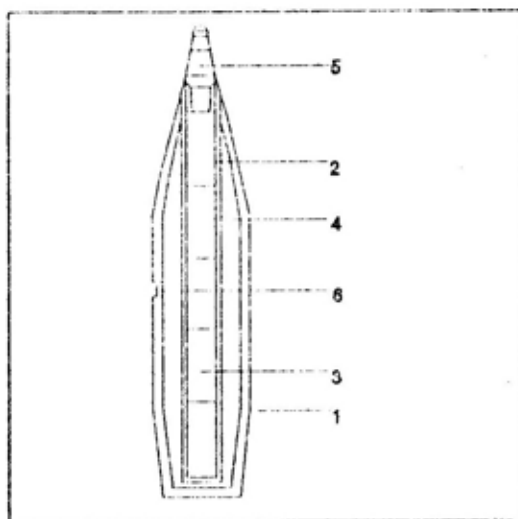
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

152 mm

sarin

para i fino dispergovani

aerosoli

detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

40,0 kg

2,8 kg

0,07

TNT

čelik, bakar, aluminijum

Informacije javnih medija protivničke strane o upotrebi hemijskog oružja, takođe, mogu biti indikator za identifikaciju i proveru vrste municije, mada te podatke treba uzimati sa rezervom, s obzirom na neobjektivnost informisanja u ratu.

### Identifikacija na osnovu konstrukcije

#### Klasični hemijski projektili

Projektili sa BOt-om, pored projektila za zadimljavanje, osvetljavanje i zapaljivog dejstva, spadaju u grupu projektila specijalne namene. Po konstruktivnim karakteristikama projektil sa BOt-om ne razlikuje se bitno od ostalih

projektila iz ove grupe [2]. Njegova primena, kao i primena ostalih specijalnih projektila, vrlo je ograničena, tako da u okviru jedne borbene operacije dolazi posle razornih i protivoklopnih projektila.

Konstruktivne karakteristike projektila sa BOt-om najsličnije su karakteristikama projektila za zadimljavanje. Ako se zanemare razlike u vrsti BOt-a kojim je laborisan projektil, postoje dve vrste hemijskih projektila koji se međusobno razlikuju u konstrukcionom pogledu i u pogledu dejstva na cilju.

Prvu vrstu čine projektili sa niskim koeficijentom punjenja BOt-a, koji odgovaraju projektilima za zadimljavanje na bazi belog fosfora i drugih tečnih ma-

### A.3. Artiljerijska hemijska granata 130 mm

1. Košuljica
2. Nosač eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

° Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

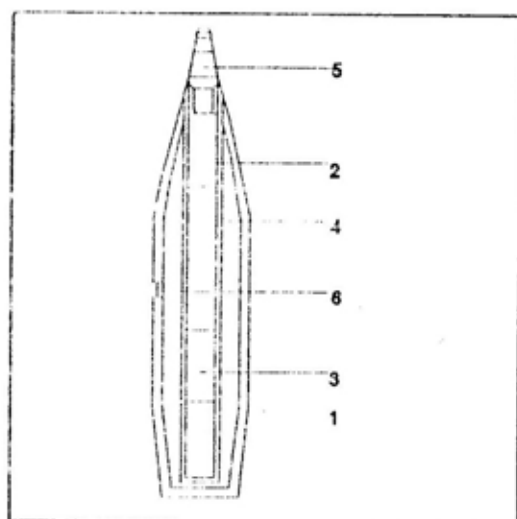
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

130 mm

sarin

para i fino dispergovani aerosoli  
detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

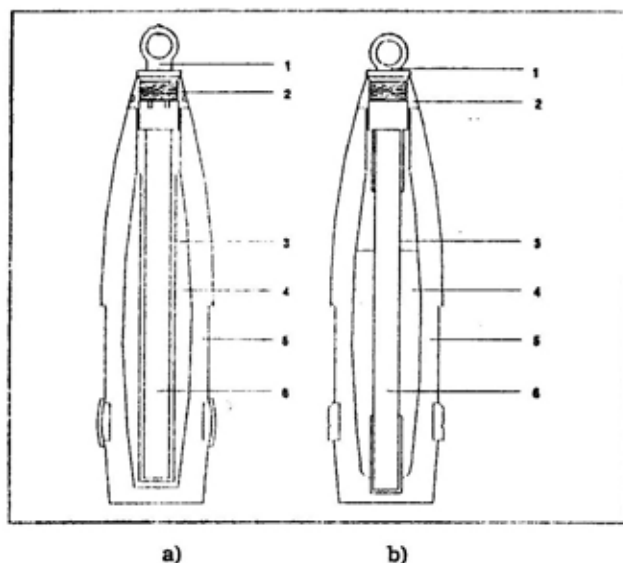
33,4 kg

1,6 kg

0,05

TNT

čelik, bakar, aluminijum



Slika — Prikaz konstrukcije hemijskog i dimnog projektila  
a) hemijski projektil M121A1 155 mm;  
b) dimni projektil M110 155 mm

1 — zaštitni čep sa alkom za prenošenje zrna; 2 — gena; 3 — nosač eksplozivnog punjenja; 4 — dimno punjenje; 5 — košuljica; 6 — eksplozivno punjenje

terija. U košuljicu projektila, koji se konstruktivno ne razlikuje od košuljice razornog projektila, smešteno je punjenje BOt-a. Kroz centralni deo košuljice od upaljača do dna košuljice, prolazi metalna cev tankog zida u koju je smešteno eksplozivno punjenje. Pošto ne postoje ograničenja u spoljnom obliku i masi projektila, pri određivanju unutrašnje trase košuljice nastoji se da se u košuljicu projektila smesti što je moguće veća količina BOt-a. Pri izboru vrste eksploziva i određivanja oblika i mase eksplozivnog punjenja mora se imati u vidu da u svakom konkretnom slučaju, za izabranu vrstu eksploziva, postoji samo jedno eksplozivno punjenje, koje obezbeđuje optimalni efekat projektila

na cilju. Svako drugo eksplozivno punjenje, veće ili manje mase, smanjuje toksična svojstva BOt-a pri dejstvu projektila na cilju. Obično masa eksplozivnog punjenja iznosi 0,34 do 0,35% od ukupne mase projektila. Pri projektovanju i realizaciji ove vrste projektila neophodna je potpuna hermetizacija punjenja sa BOt-om u košuljici projektila zbog skladištenja na duži rok. To zahteva da spojevi košuljice i gene eksplozivnog punjenja budu hermetizovani, što se postiže lemljenjem po hladnom postupku (tzv. srebrni lem za spoj košuljice i gene) ili korištenjem presovanog sklopa (za spoj gene i košuljice eksplozivnog punjenja).

#### A.4. Artiljerijska hemijska granata 122 mm

1. Košuljica
2. Nosač eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

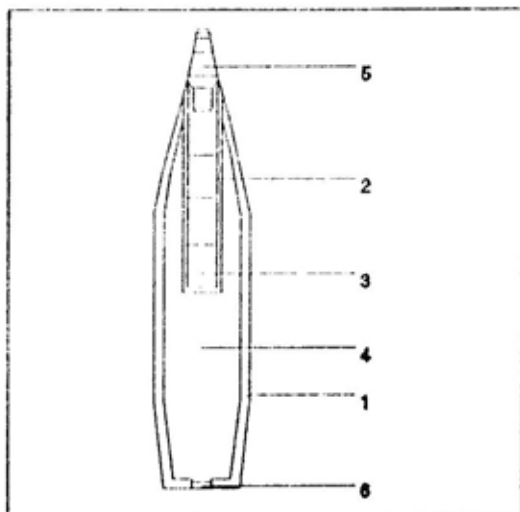
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe i nezaštićene delove kože; kontaminacija terena i građevinskih struktura.

122 mm  
viskozni luizit  
para, aerosoli i kapljice  
detonacijom eksplozivnog punjenja  
vremenski  
23,1 kg  
3,3 kg  
0,14  
TNT  
čelik, bakar, aluminijum



1. Košuljica
2. Nosač eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

MASA PROJEKTILA

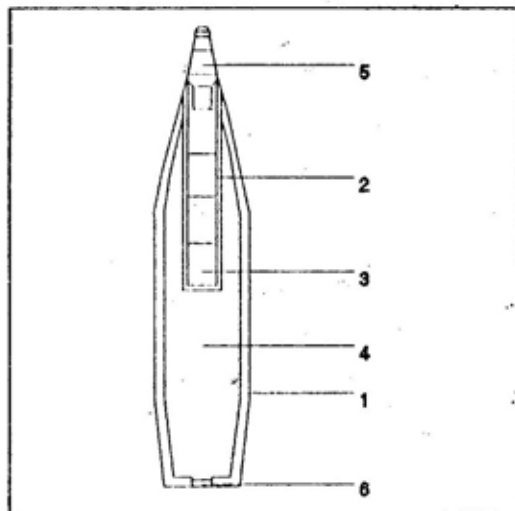
MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI

Drugu vrstu čini hemijski projektil, sa visokim koeficijentom punjenja BOt-om, koji je vrlo sličan projektilu za zadimljavanje na bazi čvrste dimne materije. Kod ove vrste projektila BOt je smešten u kutije koje se, posredstvom tempirnog upaljača i izbacnog punjenja, izbacuju iz košuljice projektila u željenoj tački putanje. BOt se laboriše u metalne cilindrične kutije koje se, zatim, ugrađuju u košuljicu projektila (zavisno od kalibra projektila u košuljicu staju tri ili četiri dimne kutije). Projektil dejstvuje na taj način što se preko upaljača aktivira izbacno punjenje (od crnog baruta) smešteno u komori u oživalnom delu košuljice. Pritisak stvoren sagorevanjem izbacnog punjenja potis-



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe i nezaštićene delove kože; kontaminacija terena i građevinskih struktura.

152 mm

viskozni luizit

para, aerosoli i kapljice

detonacijom eksplozivnog punjenja

vremenski

42,5 kg

5,4 kg

0,13

TNT

čelik, bakar, aluminijum

kuje kutije sa BOt-om preko dijafragme, dolazi do izbijanja dna košuljice projektila, ispadanja kutija iz košuljice i njihovog dospevanja na zemlju. Ova vrsta projektila snabdevena je tempirnim upaljačem, najčešće dvostrukog dejstva, bez detonatora. Zahvaljujući ovakvom upaljaču projektil deluje na unapred izabranoj tački putanje iznad cilja. Prethodnim podešavanjem — tempiranjem upaljača, određuje se vreme koje protiče od ispaljivanja projektila do dejstva upaljača. Primena upaljača samo udarnog dejstva kod projektila sa kutijama laborisanim BOt-om, nije efikasna zbog toga što je usled prodiranja projektila u tlo znatno otežano izbacivanje kutija. Pri udaru, na primer, u

meko tlo, projektil prodire toliko u zemlju da je izbacivanje kutija onemogućeno.

### Binarni hemijski projektili

Binarna oružja razlikuju se od klasičnih po tome što ne sadrže nervne BOt-ove, nego su, umesto njih, punjene sa dve »relativno netoksične« hemikalije, sposobne da pomešane proizvedu BOt. Hemikalije su odvojene jedna od druge, a njihovo mešanje nastaje tek u momentu kada se projektil uputi ka cilju. Prednosti binarnih BOt-ova su: ne zahtevaju fabrike specijalizovane za proizvodnju toksičnih materijala, omo-

gućuju veće oslanjanje na hemijsku industriju i, u slučaju potrebe, lakše se mogu nabaviti i na taj način se omogućuje smanjenje zaliha, manje su opasni i zbog toga je lakše i jeftinije s njima rukovati, lakše se prilagođavaju tehnološkom napretku, a transport, skladištenje i »demilitarizacija« binarnih BOt-ova lakši su i sigurniji nego klasičnih hemijskih projektila. Od celokupne binarne municije, binarni sarinski haubički projektil od 155 mm je najjednostavniji [3]. Njegovo hemijsko punjenje ima masu oko 6 kg i smešteno je u dve plastične posude koje se nalaze u košuljici zrna jedna iza druge. Binarni proizvod biva raspršen pomoću eksplozivnog punjenja u nosu projektila. Klasični he-

#### A.6. Artiljerijska hemijska granata 130 mm

1. Košuljica
2. Nosač eksplozivnog punjenja
3. Eksplozivno punjenje
4. BOt
5. Upaljač
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NAČIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

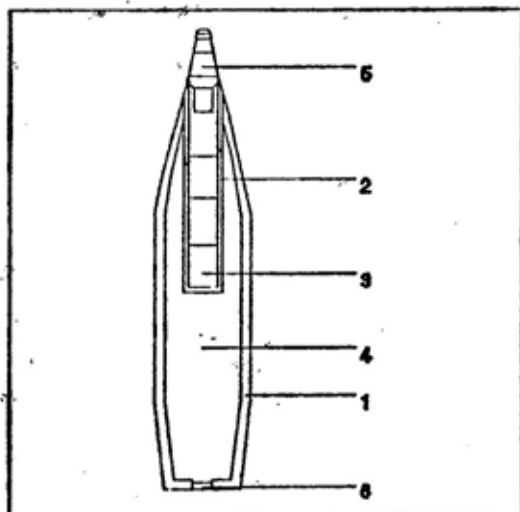
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na nezaštićene delove kože; kontaminacija terena i građevinskih struktura

130 mm

VX

gusti aerosoli i kapljice  
detonacijom eksplozivnog punjenja  
blizinski optički

33,4 kg

1,4 kg

0,04

TNT

čelik, bakar, aluminijum

## A.7. Hemijski raketni projektil 122 mm

1. Upaljač
2. Telo
3. Nosač B0t-a
4. Eksplozivno punjenje
5. B0t
6. Otvor za punjenje

• Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

B0t

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

MASA PROJEKTILA

MASA B0t

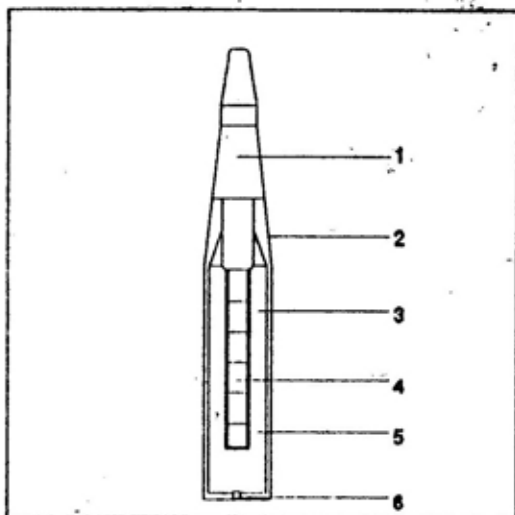
KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI

mijski projektil, za razliku od binarnog ima manje punjenje i centralno smešten eksploziv. Municija sa centralnim eksplozivom proizvodi oblak B0t-a različitog oblika, izražen kao raspodela koncentracije, za razliku od binarnog projektila.

Na sl. 1. prikazana je uporedna konstrukcija dimnog projektila od 155 mm i hemijskog projektila istog kalibra. Više podataka o načinu i principu konstrukcije hemijskih artiljerijskih projektila, ruske i američke proizvodnje, nalazi se u prilogu ovog rada.



onesposobljavanje ljudi uticajem na nezaštićene delove kože;  
kontaminacija terena i građevinskih struktura

122 mm

VX

gusti aerosoli i kapljice

detonacijom eksplozivnog punjenja

blizinski optički

19,3 kg

2,9 kg

0,15

TNT

čelik, bakar, aluminijum

*Rendgensko snimanje hemijske municije*

Radi identifikacije vrste projektila upotrebljen je rendgenski uređaj smešten na motornom vozilu. Za opit je uzet metak kalibra 40 mm RDM-848 A1 stranog porekla, kome je pokušano da se odredi struktura ovom metodom. Uslovi izvođenja eksperimenta bili su sledeći:

— rendgenski izvor  
kontinualnog  
zračenja;

— napon . . . . . 120—250 kV;

- struja pražnje-  
nja . . . . . 3—8 mA;
- vreme ekspozicije . . . . . do 10 min;
- temperatura vazduha . . . . . 27°C;
- relativna vlaž-  
nost vazduha . . . . . 70%.

Dobijeni rendgenski snimci bili su takvog kvaliteta da je iz njih bilo vrlo teško ustanoviti unutrašnji sadržaj pro-

jektila. Ovaj problem bio bi još izraženiji za municiju većeg kalibra, odnosno deblje košuljice, jer raspoloživa snaga izvora rendgenskog zračenja očigledno nije bila dovoljna za pravljenje kvalitetnijeg snimka. Ukoliko se pođe od pretpostavke da bi korištenjem jačeg izvora nastala jasnija slika, opet bi se lice koje vrši identifikaciju ovom metodom našlo u nedoumici da li se radi o hemijskom ili dimnom projektilu, zbog velike sličnosti konstrukcije ove dve vrste projektila.

#### A.8. Hemijski raketni projektil 122 mm

1. Upaljač
2. Telo
3. Nosač BOt-a
4. Eksplozivno punjenje
5. BOt
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NAČIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

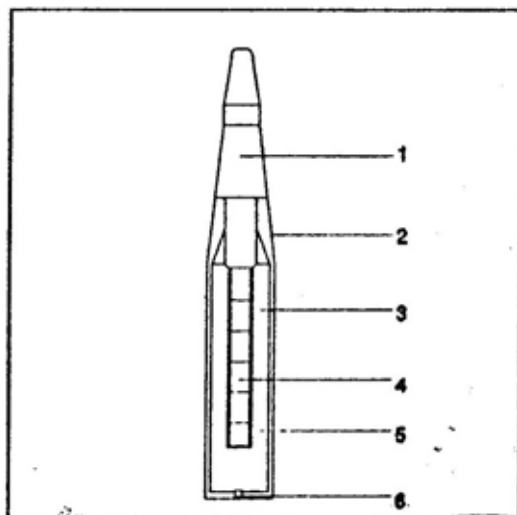
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

122 mm

sarin

para i fino dispergovani aerosoli  
detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

19,3 kg

3,1 kg

0,16

TNT

čelik, bakar, aluminijum

### A.9. Hemijski raketni projektil 140 mm

1. Upaljač
2. Telo
3. Nosač BOt-a
4. Eksplozivno punjenje
5. BOt
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NACIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

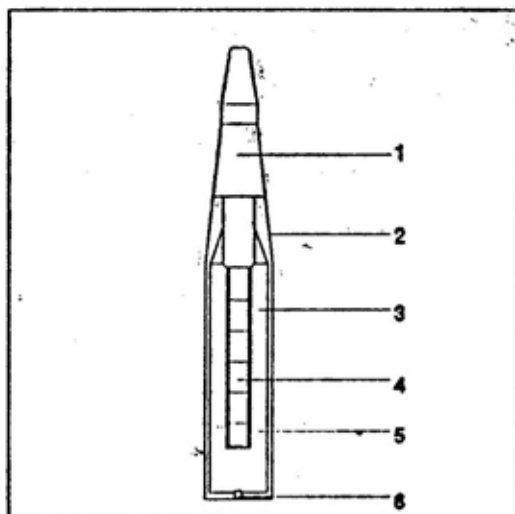
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

140 mm

sarin

para i fino dispergovani aerosoli  
detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

18,3 kg

2,2 kg

0,12

TNT

čelik, bakar, aluminijum

A.10. Hemijski raketni projektil 240 mm

1. Upaljač
2. Telo
3. Nosač BOt-a
4. Eksplozivno punjenje
5. BOt
6. Otvor za punjenje

\* Borbene karakteristike

NAMENA

KALIBAR

BOt

Ime

Stanje pri upotrebi

NAČIN RASPRŠIVANJA

UPALJAC

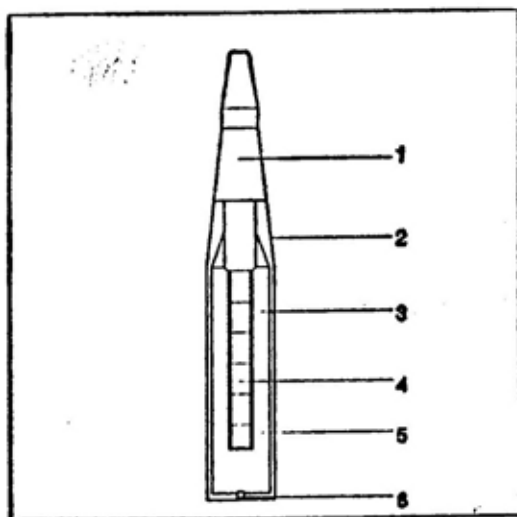
MASA PROJEKTILA

MASA BOt

KOEFICIJENT PUNJENJA

EKSPLOZIV

KONSTRUKCIONI MATERIJALI



onesposobljavanje ljudi uticajem na respiratorne organe

240 mm

sarin

para i fino dispergovani aerosoli

detonacijom eksplozivnog punjenja

trenutni

44,3 kg

8,0 kg

0,18

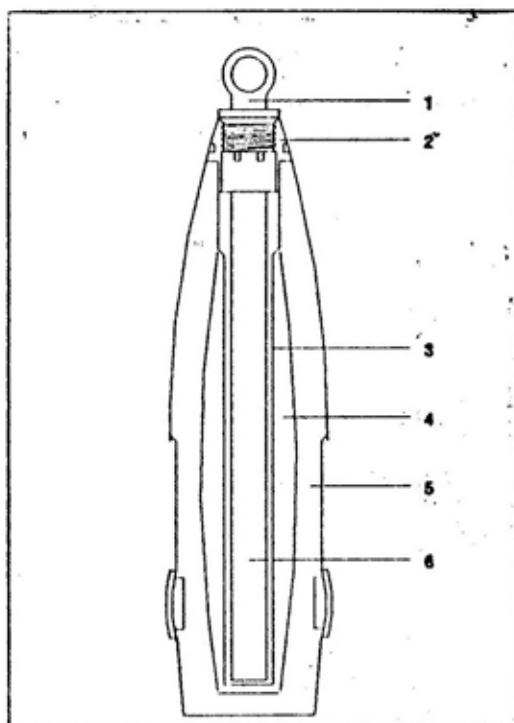
TNT

čelik, bakar, aluminijum

## AMERIČKI ARTILJERIJSKI HEMIJSKI PROJEKTILI

## B.1. Artiljerijski hemijski projektil M121A1 155 mm

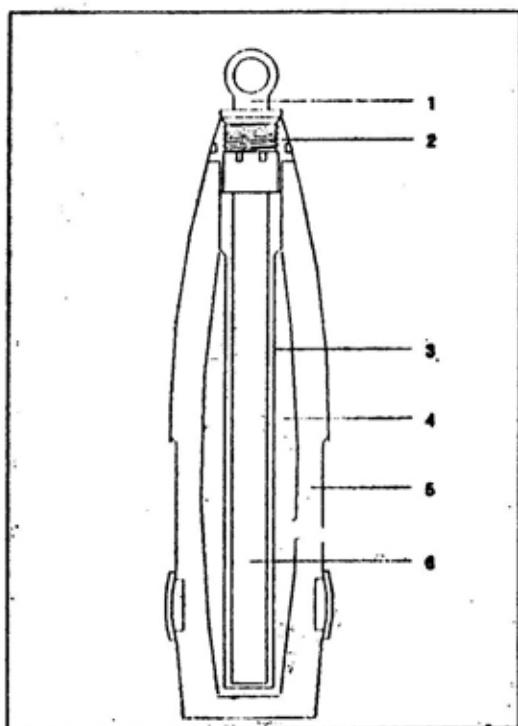
1. Čep sa alkom
2. Gena
3. Nosač eksplozivnog punjenja
4. BOt
5. Košuljica
6. Eksplozivno punjenje



DUŽINA	67,8 cm
KALIBAR	155 mm
UKUPNA MASA	45,4 kg
BOt	sarin
EKSPLOZIVNO PUNJENJE	TNT
MASA OTROVA	2,95 kg
UPALJAC	trenutni
PAKOVANJE	8 kom. (drvena paleta)

*B.2. Artiljerijski hemijski projektil M122 155 mm*

1. Čep sa alkom
2. Gena
3. Nosač eksplozivnog punjenja
4. BOt
5. Košuljica
6. Eksplozivno punjenje

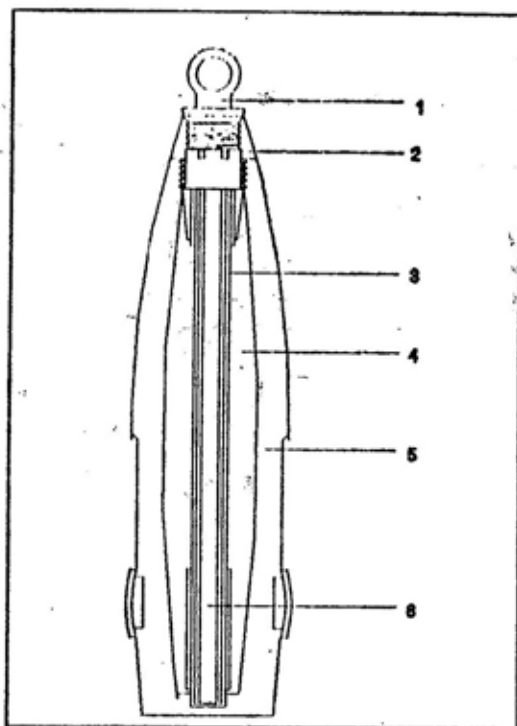


DUŽINA	67,8 cm
KALIBAR	155 mm
UKUPNA MASA	45,4 kg
BOt	sarin
EKSPLOZIVNO PUNJENJE	TNT
MASA OTROVA	2,95 kg
UPALJAČ	trenutni
PAKOVANJE	8 kom. (drvena paleta)



B.3. Artiljerijski hemijski projektil M104 155 mm

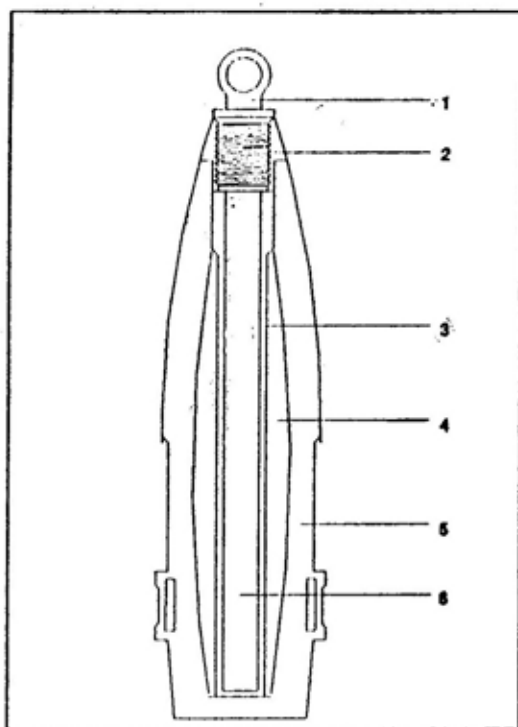
1. Čep sa alkom
2. Gena
3. Nosač eksplozivnog punjenja
4. BOt
5. Košuljica
6. Eksplozivno punjenje



DUŽINA	68,1 cm
KALIBAR	155 mm
UKUPNA MASA	43,1 kg
BOt	iperit
EKSPLOZIVNO PUNJENJE	tetritol
MASA OTROVA	5,31 kg
UPALJAČ	trenutni
PAKOVANJE	6 kom. (drvena paleta)

*B.A. Artiljerijski hemijski projektil M121A1 155 mm*

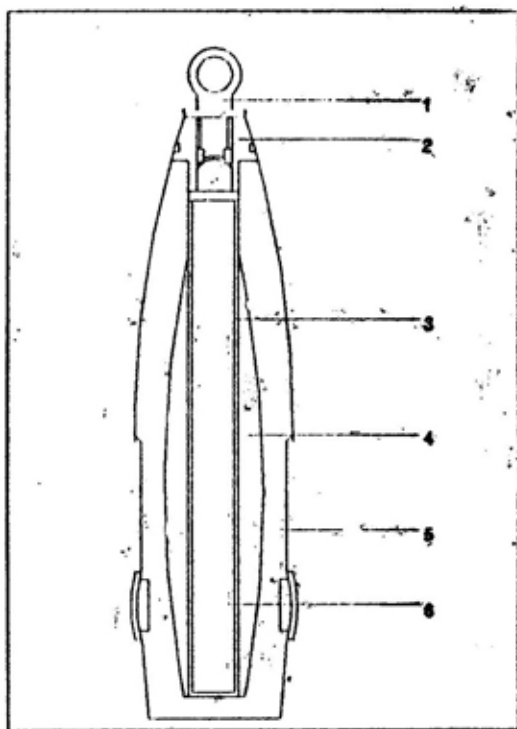
1. Čep sa alkom
2. Gena
3. Nosáč eksplozivnog punjenja
4. BOt
5. Košuljica
6. Eksplozivno punjenje



DUŽINA	67,8 cm
KALIBAR	155 mm
UKUPNA MASA	45,4 kg
BOt	VX
EKSPLOZIVNO PUNJENJE	TNT
MASA OTROVA	2,72 kg
UPALJAČ	trenutni
PAKOVANJE	8 kom. (drvena paleta)

B.5. Artiljerijski hemijski projektil M426 203 mm

1. Čep sa alkom
2. Gena
3. Nosač eksplozivnog punjenja
4. BOt
5. Košuljica
6. Eksplozivno punjenje



DUŽINA	89,15 cm
KALIBAR	203 mm
UKUPNA MASA	90,3 kg
BOt	Sarin
EKSPLOZIVNO PUNJENJE	TNT
MASA OTROVA	6,58 kg
UPALJAČ	trenutni
PAKOVANJE	6 kom. (drvena paleta)

## Zaključak

Kada određene količine municije nepoznatog porekla i sadržaja postanu ratni plen naših jedinica, a ne postoji mogućnost da se takva municija identifikuje na osnovu oznaka, jedna od mogućnosti za identifikaciju jeste njeno lansiranje na borbeni raspored jedinica protivnika. Prema efektima koje stvara na cilju može da se proceni da li se radi o hemijskoj ili klasičnoj municiji. Identifikacija nepoznate municije na ovaj način retko bi se primenjivala, pogotovo u situaciji nadmoćnosti naših snaga na frontu. Ovu metodu identifikacije treba koristiti u situacijama nadmoćno-

sti protivničkih snaga, kada nema uslova za druge metode identifikacije.

Vizuelna identifikacija, uključujući i onu pomoću rendgenskog snimka, ne omogućava da se sa sigurnošću utvrdi sadržaj projektila na osnovu njegove konstrukcije. Drugi problem koji se javlja pri identifikaciji na ovaj način jeste u sličnosti konstrukcije sa projektilima specijalne namene, pa su moguće greške. Usavršavanjem ove metode poput, na primer, uvođenja jačeg izvora rendgenskog zračenja, mogli bi se dobiti znatno pouzdaniji podaci, što bi, verovatno, doprinelo mogućnosti veće eksploatacije podataka dobijenih na ovaj način.

## Literatura:

[1] Rajlić D.: Označavanje hemijske municije stranog porekla, VTG, br. 5, 1992.

[2] Stamatović A.: Osnovi konstruisanja projektila, Beograd, 1968.

[3] Nazarkin Y.: Information on the presentation at the Shikhany military facility of standard chemical munitions and of technology for the destruction of chemical weapons at a mobile unit, Conference on disarmament, 1987.

Spec. Marko Andrejić,  
kapetan, dipl. inž.

## PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE (MULTIATRIBUTNE) ASIGNACIJE NA ODABRANOM PRIMERU

### Uvod

Često se u svakodnevnom funkcionisanju vojne organizacije srećemo sa problemom raspoređivanja određenih objekata, jedinica ili pojedinaca na određene lokacije, radna mesta, visoke dužnosti i sl., uz zahtev za zadovoljenjem više kriterijuma istovremeno.

U praksi se javljaju slučajevi kada vrednosti kriterijuma (atributa) koji se traže (poželjnih) za određene lokacije, radna mesta, dužnosti odstupaju od vrednosti atributa kojima potencijalni klijenti (lokacije, jedinice ili pojedinci i sl.) raspolazu.

U ovim okolnostima donosilac odluke treba da nađe optimalno rešenje (izabrati alternative) kojim se postiže »minimizacija najmanjih rastojanja«, odnosno najmanje odstupanje između zahtevanih vrednosti atributa i trenutno mogućih — raspoloživih vrednosti po svim kriterijumima.

Za rešavanje ovih i sličnih problema razvijene su brojne metode za višekriterijumsko odlučivanje.

Cilj ovog rada jeste da objasni primenu (provođenje) izabrane metode i pokaže kako se donosiocu odluke može olakšati da donese optimalnu odluku, istovremenim zadovoljenjem više kriterijuma, uz postizanje kompromisa između želja (zahteva) za određenim vre-

dnostima kriterijuma i raspoloživih mogućnosti.

Na izabranom, jednostavnom primeru raspoređivanja jedinica pozadinskog bataljona na određena mesta u okviru izabrane lokacije, prikazano je provođenje metode višekriterijumske asignacije i njena primena u donošenju odluke.

### Modeliranje zadatka

#### *Избор проблема*

U okviru odbrane lokacije za razvoj pozadinskog bataljona potrebno je izvršiti optimalan izbor mesta za razvoj pojedinih jedinica, uz uvažavanje određenih kriterijuma, tako da vrednosti kriterijuma tako dodeljenih mesta što više odgovaraju zahtevanim i poželjnim vrednostima.

Procenom je utvrđeno da u razmatranje treba uzeti sledeće kriterijume:

K1 — broj prilaznih puteva (bezdimenzionalna veličina);

K2 — veličina kontinuirane površine za razvoj jedinica (km<sup>2</sup>);

K3 — kvalitet zemljišta (podloge) na kojem se razvijaju pozadinske jedinice (ekspertska procena izražena brojem bodova od 0 do 100).

Taktičkom (stručnom i analitičkom) procenom izabrano je osam (8) mogućih mesta (M1 do M8).

Poželjne vrednosti kriterijuma za pojedine jedinice, kao i vrednosti kriterijuma koje pojedina mesta omogućavaju, prikazani su u tabeli broj 1.

### Matematički zapis problema

Zadana je kvadratna matrica troškova:

$$C_{ij}' = ((c'_{ij})), i, j = 1, 2, \dots, n, (n \geq 3), c'_{ij} \geq 0$$

Potrebno je naći kvadratnu matricu  $X = ((x_{ij}))$ , koja se naziva matricom dodeljivanja i zadovoljava sledeća ograničenja:

$$X_{ij} = X^2_{ij}, i = 1, 2, \dots (n \geq 3) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (2)$$

pri čemu funkcija cilja ima minimalnu vrednost

$$F_{min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c'_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

gde su koeficijenti funkcije cilja zadati na sledeći način:

$$c_{ij} = \max_{i,j} (r_{ik} - b_{jk}), \text{ za svaki } i, j, k = 1, 2, \dots, p, \text{ ako je } (r_{ik} - b_{jk}) \geq 0 \quad (4)$$

$$c_{ij} = \max_{i,j} (r_{ik} - b_{jk}) - \min_{i,j} (r_{ik} - b_{jk}) \text{ za svaki } i, j, k, \text{ ako je } (r_{ik} - b_{jk}) < 0 \quad (5)$$

Oznake su izvedene iz početnih uslova, a u konkretnom primeru mogu imati sledeće značenje:

- i — broj objekata koje treba rasporediti;
- j — broj potencijalnih lokacija;
- p — broj kriterijuma;

Tabela 1

Početna matrica sa poželjnim vrednostima atributa i vrednostima koje određene lokacije imaju

i \ k	Kriterijumi				
	K1	K2	K3		
J	1	4	9	100	$R_{ik} = [r_{ik}]$
E	2	4	4	90	
D	3	3	2	75	
I	4	2	0,5	60	
N	5	2	0,2	65	
I	6	2	0,3	60	
C	7	2	0,3	60	
E	"i"				

j \ k	Kriterijumi				
	K1	K2	K3		
M	1	3	8	85	$B_{jk} = [b_{jk}]$
E	2	3	3	75	
S	3	1	0,3	50	
T	4	1	0,4	55	
A	5	1	0,5	60	
"j"	6	2	2	70	
"j"	7	1	0,6	55	
"j"	8	1	0,2	50	

$R_{ik} = [r_{ik}]$  — matrica zahtevanih vrednosti atributa lokacija za pojedine objekte;

$B_{jk} = [b_{jk}]$  — matrica raspoloživih vrednosti atributa lokacija.

### Interpretacija metode

Postoji »m« jedinica »i« ( $i=1, 2, \dots, m$ ) koje treba rasporediti na »n« mesta »Mj« ( $j=1, 2, \dots, n$ ), uz uvažavanje »p«

kriterijuma »Kk« pri čemu je  $k = (1, \dots, p)$ . Poznate su vrednosti zahtevanih atributa » $r_{ik}$ « za razvoj pojedinih jedinica na određena mesta i raspoložive vrednosti atributa pojedinih potencijalnih mesta » $b_{jk}$ «.

Jedinice imaju sledeće oznake:

- 1 — 1. pozadinska četa;
- 2 — 2. pozadinska četa;
- 3 — sanitetska četa;
- 4 — laki artiljerijsko-raketni vod PVO;
- 5 — protivpožarno odeljenje;
- 6 — odeljenje veze;
- 7 — pozadinsko odeljenje.

Potrebno je jedinice razviti na pojedinim mestima, tako da ukupna razlika između vrednosti zahtevanih i vrednosti ostvarenih (mogućih) atributa bude minimalna.

Najprimereniji početni zapis za modeliranje i rešavanje problema je kombinovani matricni zapis sa dodatnim elementima prema tabeli broj 1.

### Postupak rešavanja

Provođenje metode odvija se po sledećim koracima:

1. korak: Svođenje atributa u početnoj matrici na jedinstveni matematički predznak

Sve vrednosti kriterijuma u matricama »R« i »B« treba svesti na jedinstveni znak »+« ili »-«, što zavisi od toga da li je bolje da atributi imaju maksimalnu ili minimalnu vrednost.

Ako su atributi elementi skupa  $K = K^+$  i  $K = K^-$ , onda:

— elementi skupa  $K^-$  imaće oznaku »-«

— elementi skupa  $K^+$  imaće oznaku »+«, tj.

»-«  $\Rightarrow k \in K^-$

»+«  $\Rightarrow k \in K^+$

U konkretnom slučaju poželjno je da vrednosti atributa imaju maksimalnu vrednost.

Zatim se određuju nove matrice  $R'$  i  $B'$ , čiji elementi imaju sledeće vrednosti

$$r'_{ik} = \begin{cases} r_{ik}, & \text{za } i = \overline{1, m}, k \in K^+ \\ \max_{i,j} (r_{ik}, b_{jk}) - r_{ik}, & \text{za } i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k \in K^- \end{cases} \quad (6)$$

$$b'_{jk} = \begin{cases} b_{jk}, & \text{za } j = \overline{1, n}, k \in K^+ \\ \max_{i,j} (r_{ik}, b_{jk}) - b_{jk}, & \text{za } i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \text{ i } k \in K^- \end{cases} \quad (7)$$

Tako se za  $k = 1, 2, 3 \in K^+$  dobija da je  $r'_{i,k} = r_{i,k}$  i  $b'_{j,k} = b_{j,k}$ , vrednosti se prepišu, odnosno matrice  $R'$  i  $B'$  su identične (tabela broj 2).

2. korak: Svođenje vrednosti elemenata matrice na bezdimenzionalne veličine.

Budući da se u daljem provođenju postupka zahteva jednakost elemenata matrica u mernim jedinicama, to se svi elementi matrica  $R'$  i  $B'$  moraju svesti na bezdimenzionalne veličine (tabela 3):

$$r''_{i,k} = \frac{r'_{i,k}}{\max_{i,j} \{r_{i,k}; b_{j,k}\}}, \quad b''_{j,k} = \frac{b'_{j,k}}{\max_{i,j} \{r_{i,k}; b_{j,k}\}} \quad (8)$$

Odnosno  $\max (r_{i,k}; b_{j,k})$

za  $k=1$   $\max (4, 4, 3, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 1, 1, 1, 2, 1, 1) = 4$

za  $k=2$   $\max (9; 4; 2; 0,5; 0,2; 0,3; 0,3; 8; 3; 0,3; 0,4; 0,5; 2; 0,6; 0,2) = 9$

za  $k=3$   $\max (100, 90, 75, 60, 65, \dots, 50) = 100$

$$r''_{1,1} = \frac{r'_{1,1}}{4} = \frac{4}{4} = 1$$

$$b''_{8,1} = \frac{b'_{8,1}}{4} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Početna matrica sa atributima svedenim na znak »+«

i \ k		Kriterijumi								
		K1	K2	K3						
J E D I N I C E  » i «	1	4	9	100						
	2	4	4	90						
	3	3	2	75						
	4	2	0,5	60						
	5	2	0,2	65						
	6	2	0,3	60						
	7	2	0,3	60						
j \ k		K1			K2			K3		
		K1			K2			K3		
M E S T A  » j «	1	3	8	85	B <sub>kj</sub> = B' <sub>kj</sub>					
	2	3	3	75						
	3	1	0,3	50						
	4	1	0,4	55						
	5	1	0,5	60						
	6	2	2	70						
	7	1	0,6	55						
	8	1	0,2	50						
max (+)		(+)	(+)	(+)						
min (-)										

$R_{ik} = R'_{ik}$

$B_{kj} = B'_{kj}$

Matrica sa normaliziranim elementima

i \ k		Kriterijumi								
		K1	K2	K3						
J E D I N I C E  » i «	1	1	1	1						
	2	1	0,44	0,9						
	3	0,75	0,22	0,75						
	4	0,50	0,06	0,60						
	5	0,50	0,02	0,65						
	6	0,5	0,03	0,60						
	7	0,5	0,03	0,60						
j \ k		K1			K2			K3		
		K1			K2			K3		
M E S T A  » j «	1	0,75	0,88	0,85	B <sub>kj</sub> " = [b <sub>kj</sub> "]					
	2	0,75	0,33	0,75						
	3	0,25	0,03	0,50						
	4	0,25	0,04	0,55						
	5	0,25	0,05	0,60						
	6	0,50	0,22	0,70						
	7	0,25	0,06	0,55						
	8	0,25	0,02	0,50						
max (+)		(+)	(+)	(+)						
min (-)										

$R_{ik}'' = [r_{ik}'']$

$B_{kj}'' = [b_{kj}'']$

jemo elemente matrice  $C = \{c_{i,j}\}$  takve da je

$c_{i,j} = \max_k \{r''_{i,k} - b''_{j,k}\}$ , što znači da za vrednost  $c_{i,j}$  u polju (i,j) »konkuriše« onoliko razlika ( $r''_{i,k} - b''_{j,k}$ ) koliko ima atributa — kriterijuma »k«, znači »p« brojeva, jer je  $k=1, p=1,3$ .

Ako bi se postavila prva jedinica na prvo mesto onda:



$$\begin{aligned}
c_{1,1} &= \max_k \{r''_{1,k} - b''_{1,k}\} = \\
&= \max_k \{r''_{1,1} - b''_{1,1}; r''_{1,2} - \\
&- b''_{1,2}; r''_{1,3} - b''_{1,3}\} = \\
&= \max \{1 - 0,75; 1 - 0,88; 1 - \\
&- 0,85\} = \max \{0,25; 0,12; \\
&0,15\} = 0,25
\end{aligned}$$

Vrednost  $c_{i,j}$  predstavlja razliku zahtevane i ostvarene vrednosti za  $i$ -tu jedinicu i  $j$ -tu lokaciju (mesto), prema svim atributima.

Izračunate vrednosti matrice  $C = \{c_{i,j}\}$  date su u tabeli broj 4.

Od ukupno 56 koeficijenata  $c_{i,j}$  atributi su ih odredili prema sledećem:

- I atribut — 41
- II atribut — 7
- III atribut — 8

To nam pokazuje da je prvi atribut najmanje ispunjen i da će imati velikog uticaja na konačan raspored jedinica na odgovarajućim mestima. Nakon dobijanja tabele broj 4 sa koeficijentima » $c_{i,j}$ «, od najvećih koeficijenata formiramo matricu  $C = \{c_{i,j}\}$ , tabela broj 5.

4. korak: Formiranje matrice za traženje minimuma.

Uobičajeno je da matrica za traženje minimuma ima oznaku

$Ao = \{a^o_{i,j}\}$ , gde je  $a^o_{i,j} = c_{i,j}$ , pa će u daljem razmatranju matrica » $C$ « biti označavana sa  $Ao$ .

Da bi matrica  $Ao$  bila kvadratna, u osmom redu dopisujemo joj vrednosti koeficijenata »0«.

Budući da su pojedini koeficijenti matrice  $Ao$  negativni, formiramo novu matricu  $Ao' = \{a'^o_{i,j}\}$  gde su:

$$\begin{aligned}
a'_{i,j} &= a^o_{i,j} = \min_{1,j} a^o_{i,j}, \text{ tako za:} \\
a'_{1,1} &\Rightarrow a'_{1,1} = a^o_{1,1} - \min_{1,j} a^o_{i,j} = \\
&= a^o_{1,1} - a^o_{6,1} = 0,25 - \\
&- (-0,25) = 0,50
\end{aligned}$$

Vrednosti ostalih koeficijenata matrice  $A'o$  dati su u tabeli broj 6. Na ovaj način problem smo sveli na jednokriterijumski asignacioni zadatak.

#### 5. korak: Dobijanje matrice dodeljivanja

Primenom postupka Flooda ili Kuhna na matricu  $A'o$  dobićemo matricu  $X = \{x_{i,j}\}$  koja zadovoljava početna ograničenja (1), (2) i (3).

Korišćenjem programa »ASIGN«, koji je dostupan na katedri Tob-a, VTA UVJ dobijena je matrica (tabela broj 7) na osnovu koje određujemo matricu  $X_{i,j} = \{X_{i,j}\}$  (tabela broj 8) koja zadovoljava početne uslove.

Matricu dodeljivanja možemo zapisati na sledeći način:

$$X = \{(1,1), (2,8), (3,2), (4,6), (5,7), (6,5), (7,3)\}$$

Funkcija cilja ima vrednost 3,50, što predstavlja vrednost optimalnog programa.

Na osnovu matrice asignacije zaključujemo da će jedinice biti raspoređene na mesta — lokacije po sledećem:

Naziv jed.	1. pozč	2. pozč	snč	larvPVO	PPO	odelj. veze	pozo
Br. jedinice	1	2	3	4	5	6	7
Mesta	1	8	2	6	7	5	3

## Određivanje elemenata &gt;Cf&gt;

		MESTA ZA RAZVOJ JEDINICA POZADINSKOG BATALJONA							
f		1	2	3	4	5	6	7	8
K1		1,00-0,75=0,25	1,00-0,75=0,25	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75	1,00-0,50=0,50	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75
K2	1	1,00-0,88=0,12	1,00-0,33=0,67	1,00-0,33=0,67	1,00-0,04=0,96	1,00-0,05=0,95	1,00-0,22=0,78	1,00-0,06=0,94	1,00-0,02=0,98
K3		1,00-0,85=0,15	1,00-0,75=0,25	1,00-0,50=0,50	1,00-0,55=0,45	1,00-0,60=0,40	1,00-0,70=0,30	1,00-0,66=0,45	1,00-0,50=0,50
	2	1,00-0,75=0,25	1,00-0,75=0,25	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75	1,00-0,50=0,50	1,00-0,25=0,75	1,00-0,25=0,75
		0,44-0,88=-0,44	0,44-0,33=0,11	0,44-0,03=0,41	0,44-0,04=0,40	0,44-0,05=0,39	0,44-0,22=0,22	0,44-0,06=0,38	0,44-0,02=0,42
		0,90-0,85=0,05	0,90-0,75=0,15	0,90-0,50=0,40	0,90-0,55=0,35	0,90-0,60=0,30	0,90-0,70=0,20	0,90-0,55=0,35	0,90-0,50=0,40
	3	0,75-0,75=0	0,75-0,75=0	0,75-0,25=0,50	0,75-0,25=0,50	0,75-0,25=0,50	0,75-0,50=0,25	0,75-0,25=0,50	0,75-0,25=0,50
		0,22-0,88=-0,66	0,22-0,33=-0,11	0,22-0,03=0,19	0,22-0,04=0,18	0,22-0,05=0,17	0,22-0,22=0	0,22-0,06=0,16	0,22-0,02=0,20
		0,75-0,85=-0,10	0,75-0,75=0	0,75-0,50=0,25	0,75-0,55=0,20	0,75-0,60=0,15	0,75-0,70=0,05	0,75-0,55=0,20	0,75-0,50=0,25
	4	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,75=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25
		0,06-0,88=-0,82	0,06-0,33=-0,27	0,06-0,03=0,03	0,06-0,04=0,02	0,06-0,05=0,01	0,06-0,22=-0,16	0,06-0,06=0	0,06-0,02=0,4
		0,60-0,85=-0,25	0,60-0,75=-0,15	0,60-0,50=0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,60=0	0,60-0,70=-0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,50=0,10
	5	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,50=0	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25
		0,02-0,88=-0,86	0,02-0,33=-0,31	0,02-0,03=-0,01	0,02-0,04=-0,02	0,02-0,05=-0,03	0,02-0,22=-0,20	0,02-0,06=-0,04	0,02-0,02=0
		0,65-0,85=-0,20	0,65-0,75=-0,10	0,65-0,50=0,15	0,65-0,55=0,10	0,65-0,60=0,05	0,65-0,70=-0,05	0,65-0,55=0,10	0,65-0,50=0,15
	6	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,50=0	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25
		0,03-0,88=-0,85	0,03-0,33=0,30	0,03-0,03=0	0,03-0,04=-0,01	0,03-0,05=-0,02	0,03-0,22=-0,19	0,03-0,06=-0,03	0,03-0,02=0,01
		0,60-0,85=-0,25	0,60-0,75=-0,15	0,60-0,5=0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,60=0	0,60-0,70=-0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,50=0,10
	7	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,75=-0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25	0,50-0,50=0	0,50-0,25=0,25	0,50-0,25=0,25
		0,03-0,88=-0,85	0,03-0,33=-0,30	0,03-0,03=0	0,03-0,04=-0,01	0,03-0,05=-0,02	0,03-0,22=-0,19	0,03-0,06=-0,03	0,03-0,02=0,01
		0,60-0,85=-0,25	0,60-0,75=-0,15	0,60-0,50=0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,60=0	0,60-0,70=-0,10	0,60-0,55=0,05	0,60-0,50=0,10
JEDINICE									
poz b									

Matrica »C«

j \ i		Mesta za razvoj pozadinskih jedinica pozb							
		1	2	3	4	5	6	7	8
J E D I N I C E  » i «	1	0,25	0,67	0,97	0,96	0,95	0,78	0,94	0,98
	2	0,25	0,25	0,75	0,75	0,75	0,50	0,75	0,75
	3	0	0	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50
	4	-0,25	-0,15	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25
	5	-0,20	-0,10	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25
	6	-0,25	-0,15	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25
	7	-0,25	-0,15	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25

Tabela 6

Matrica »A'o« na koju primenjujemo postupak Flood-a

j \ i		Mesta za razvoj pozadinskih jedinica pozb							
		1	2	3	4	5	6	7	8
J E D I N I C E  » i «	1	0,50	0,92	1,22	1,21	1,20	1,03	1,19	1,23
	2	0,50	0,50	1	1	1	0,75	1	1
	3	0,25	0,25	0,75	0,75	0,75	0,50	0,75	0,75
	4	0	0,10	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50
	5	0,05	0,15	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50
	6	0	0,10	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50
	7	0	0,10	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50
	8	0	0	0	0	0	0	0	0

LINEARNO PROGRAMIRANJE  
— Metod ASIGNACIJE —  
Ispis rezultata (printer)

Datoteka: pers

Matrica asignacije:

Tabela 7

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.50							
2								1.00
3		0.25						
4						0.25		
5							0.50	
6					0.50			
7			0.50					
8				0.00				

Vrednost funkcije cilja: Fmin = 3.50

Kvadratna matrica »X« koja zadovoljava početne uslove

i \ j		Mesta za razvoj pozadinskih jedinica pozb							
		1	2	3	4	5	6	7	8
J E D I N I C E  » i «	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	1	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	1	0	0	0
	7	0	0	1	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0

Najveće odstupanje od zahtevanih vrednosti kriterijuma iznosi 1 i to kod postavljanja jedinica »2 (2. pozadinska četa)« na mesto — lokaciju broj 8. Mesto broj 4 ostaće nedodeljeno.

### Zaključak

Primenom ove metode u rešavanju praktičnih problema smanjuje se subjektivizam u radu i olakšava rad donosioca odluke, kroz ponudu jednog na teorijskoj osnovi zasnovanog rešenja, čime se stiču dodatni uslovi za donošenje optimalne odluke.

Ovakav pristup je logičan i opravdan, on ne ograničava misaonu aktivnost donosioca odluke, njegovu inventivnost, inicijativu, intuiciju i sl., već nudi relativno objektivno i optimalno rešenje.

Na donosiocu odluke je da, na bazi procene situacije, vlastite averzije ili preferencije i odgovornosti koju snosi,

uz jedno ponuđeno rešenje donese optimalnu odluku.

Provođenje metode je prikazano na vrlo jednostavnom primeru, radi približavanja metode širokom krugu čitalaca, kroz jednostavan prikaz metodologije provođenja metode. Zbog prednosti koje poseduje preporučuje se primena višekriterijumske asignacije u rešavanju daleko »ozbiljnijih« i složenijih problema.

Prikazana metoda, svakako, ne odnosi se samo na raspoređivanje jedinica na lokacije, već je to »univerzalni alat« koji se može primeniti kod svih praktičnih problema zasnovanih na »istoj logici«, napred objašnjenom.

Ceo postupak se može kompletno automatizovati, a da se kompetentnim donosiocima odluke ostavi mogućnost da unose vlastite procene, zasnovane na znanju, iskustvu, intuiciji, averziji ili preferenciji, uz punu odgovornost za donesenu odluku.

### Literatura:

- [1] Andrejić, M. Upravljanje pozadinskim bataljonom brigade KoV u borbenim dejstvima (specijalistički rad), CVŠ, Zagreb, 1991.
- [2] Bahtijarević — Šiber, Borović S. i drugi, Organizacijska teorija, Informativ, Zagreb, 1991.

- [3] Đukić, R. Višekriterijumska asignacija postupak određivanja efikasnih rešenja, Dubrovnik, Kupar (Zbornik radova SYM OP IS '90).

## DIFERENCIRANJE SIGNALA METODOM NAJMANJIH KVADRATA

Opisan je postupak diferenciranja zašumljenih signala metodom najmanjih kvadrata. Postupak je jednostavan, rekurentan i pogodan za korišćenje u realnom vremenu. Promenom jednog parametra moguće je podesiti diferencijator za signale različitih frekventnih spektara i različitih nivoa šumova.

### Uvod

Potreba za diferenciranjem signala može se javiti u slučajevima kada se meri određena veličina, a ne brzina njene promene, kao što su:

— primena upravljačkog sistema čiji je jedan od ulaza brzina promene merene veličine;

— nadgledanje određenog procesa, pri čemu je važno pratiti brzinu promene razmatrane veličine;

— ocenjivanje parametara procesa (ili njegova identifikacija), ukoliko se korišćenjem brzine promene analizirane veličine snižava red matematičkog modela procesa;

— analiza brzine promene merene veličine.

U prva dva slučaja neophodno je vršiti diferenciranje u realnom vremenu, dakle, koristiti brzi, rekurentni postupak diferenciranja.

Obično diferenciranje, u diskretnom slučaju korišćenjem konačnih diferencija:  $y(t_k) \approx [y(t_k) - y(t_{k-1})]/\Delta t$ ,  $k=1, 2, \dots$ , gde je  $\Delta t = t_k - t_{k-1}$  period odabiranja, pri prisustvu šuma čak i vrlo malog intenziteta, daje veoma zašumljenu brzinu  $\dot{y}$  promene signala  $y$ . Zato diferenciranje signala treba, kad god je moguće, izbeći, a kada je ono neophodno, koristiti postupak koji

uzima u obzir šum signala i smanjuje njegov uticaj na dobijenu brzinu signala.

U ovom radu opisan je jednostavan, brz i efikasan postupak diferenciranja zašumljenih signala. Podrazumeva se da su izbor perioda odabiranja i merenje signala izvršeni u skladu sa uobičajenim preporukama koje se poštuju pri identifikaciji sistema i diskretnom upravljanju [1].

### Metoda diferenciranja

Određivanje parametra  $a_1$  tako da prava linija:

$$\hat{y}(t) = a_1 t + a_2 \quad (1)$$

dobro aproksimira funkciju  $y=y(t)$  u okolini tačke  $t$ , predstavlja postupak diferenciranja  $y(t)$ , jer onda približno važi:  $a_1 = \dot{y}(t) = dy(t)/dt$ . Jednačina prave može se napisati u obliku:

$$\hat{y}(t_i) = \underline{z}^T(i) \underline{a}_k, \quad i=k, k-1, \dots \quad (2)$$

gde su:

$$\underline{z}(i) = [t_i \ 1]^T, \quad (3)$$

$$\underline{a}_k = [a_{1,k} \ a_{2,k}]^T, \quad (4)$$

Vreme  $t_k$  je trenutak za koji se određuje brzina promene  $y$ .  $a_k$  se određuje iz uslova da:

$$J_k = \sum_{i=1}^k [z^T(i)\underline{a}_k - y(t_i)]^2 \delta^{k-i},$$

$$0 < \delta \leq 1 \quad (5)$$

bude minimalno.  $\delta^{k-i}$  je eksponencijalna težinska funkcija, koja daje veću težinu sabircima sa većim indeksom »i«, čime se postiže da se ranije tačke  $[t_i, y(t_i)]$  »zaboravljaju«.  $\delta$  se, uslovno, može shvatiti kao faktor »pamćenja«: što je  $\delta$  veće, to je veći broj tačaka  $[t_i, y(t_i)]$ ,  $i=k, k-1, \dots$ , kroz koje se »provlači« prava linija, a rezultat diferenciranja »glatkiji«. Međutim, preveliko  $\delta$  izaziva neprihvatljivo veliko kašnjenje rezultata u odnosu na stvarnu brzinu  $\dot{y}(t)$ .

Uslov minimuma je:

$$\delta J_k / \delta \underline{a}_k / 2 = \sum_{i=1}^k z(i) [z^T(i)\underline{a}_k - y(t_i)] \delta^{k-i} = 0, \quad (6)$$

Iz (6) sledi:

$$\underline{a}_k = H_k \underline{b}_k \quad (7)$$

$$H_k = \left[ \sum_{i=1}^k z(i) z^T(i) \delta^{k-i} \right]^{-1}, \quad (8)$$

$$\underline{b}_k = \sum_{i=1}^k z(i) y(t_i) \delta^{k-i}. \quad (9)$$

Jednačine (8) i (9) mogu se prepisati u rekurentnom obliku:

$$H^{-1}_k = \delta H^{-1}_{k-1} + z(k) z^T(k), \quad (10)$$

$$\underline{b}_k = \delta \underline{b}_{k-1} + z(k) y(t_k). \quad (11)$$

Ako se na (10) primeni inverzna matricna lema (videti npr. [2] ili [3]), dobija se:

$$H_k = [H_{k-1} - \underline{K}_k z^T(k) H_{k-1}] / \delta, \quad (12)$$

$$\underline{K}_k = H_{k-1} z(k) [\delta + z^T(k) H_{k-1} z(k)]^{-1} \quad (13)$$

Iz jednačina (7), (11) i (12) se, nakon odgovarajućih transformacija, dobija:

$$\underline{a}_k = \underline{a}_{k-1} - \underline{K}_k [z^T(k) \underline{a}_{k-1} - y(t_k)] \quad (14)$$

U trenutku  $t = 2\Delta t$ , za  $\delta = 1$ , iz (7), (8) i (9) dobija se:

$$\underline{a}_2 = [(y(t_2) - y(t_1)) / \Delta t \quad 2y(t_1) - y(t_2)]^T, \quad (15)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 2/\Delta t^2 & -3/\Delta t \\ -3/\Delta t & 5 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Izračunavanjem (15) i (16) vrši se inicijalizacija postupka diferenciranja.

### Algoritam

Formalan postupak za diferenciranje signala  $y(t)$  je:

1. Izmeriti i memorisati vremensku seriju  $y(k\Delta t)$ ,  $k=1, 2, \dots, T$ , gde je  $T\Delta t$  trajanje vremenske serije.

2. Usvojiti početnu vrednost  $\delta$  između 0,5 i 0,9. Veća vrednost  $\delta$  bira se kada je signal jače zašumljen, a manja vrednost  $\delta$  kada je nivo šuma u signalu koji se diferencira niži.

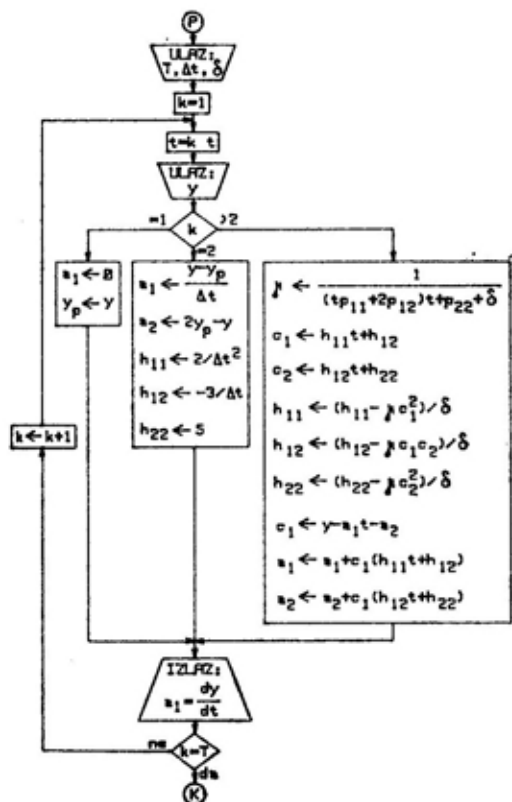
3. Izračunati  $\underline{a}_2$  prema jednačini (15) i  $H_2$  prema jednačini (16).

4. Izračunavati (13), (12) i (14), sledstveno, za  $k=3, 4, \dots, T$ . Prvi element vektora  $\underline{a}_k$  predstavlja brzinu  $\dot{y}(k\Delta t)$  promene signala  $y(k\Delta t)$ .

5. Ukoliko dobijena vremenska serija brzine  $\dot{y}(k\Delta t)$ ,  $k=1, 2, \dots, T$  sadrži preveliki šum, povećati  $\delta$  i ponoviti tačke 3 do 5. Ako je nivo šuma u rezultatu zadovoljavajući, treba ići na tačku 6.

6. Integraliti brzinu  $\dot{y}$ . Za početni uslov usvojiti  $[\Delta t, y(\Delta t)]$ . Izračunati standardno odstupanje integrala od izmerene vremenske serije  $y(k\Delta t)$ ,  $k=1, 2, \dots, T$ . Ukoliko je ono preveliko smanjiti  $\delta$  i ponoviti tačke 3 do 6. Na ovaj način, postupnim približavanjem, određuje se najpogodniji parametar diferencijatora  $\delta$  i dobija brzina promene signala zadovoljavajuće tačnosti.

Kada se na osnovu jedne ili nekoliko karakterističnih vremenskih serija



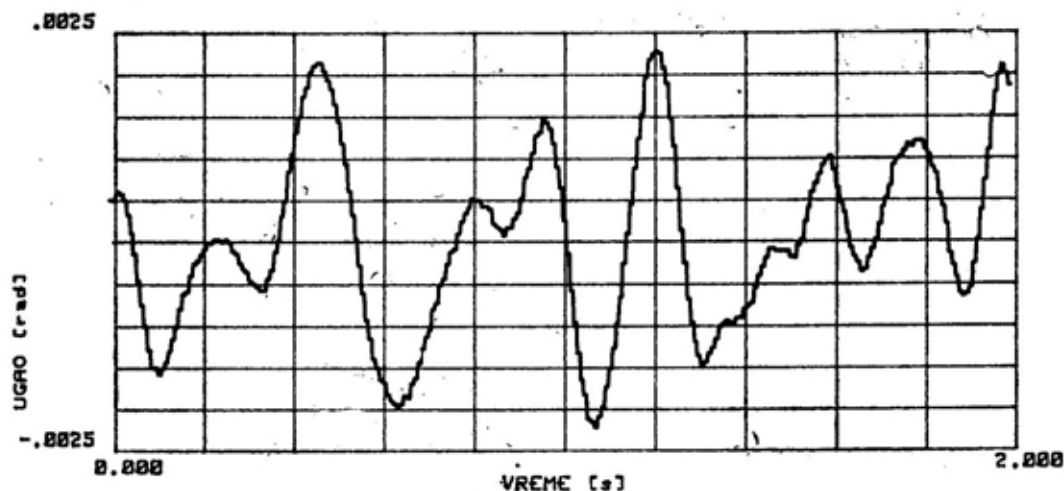
Sl. 1 — Dijagram toka algoritma za diferenciranje

signala odredi  $\delta$ , onda se diferenciranje signala može pojednostaviti — rade se samo tačke 3 i 4. Ovaj postupak može se odvijati u realnom vremenu — uporedo sa merenjem signala. Dijagram toka algoritma za diferenciranje signala, na osnovu koga se lako može izraditi računarski program, prikazan je na slici 1.

Opisani postupak diferenciranja može se koristiti i za određivanje drugog izvoda signala. Nakon što se na opisan način dobije vremenska serija prvog izvoda signala, ona se ponovo, na isti, način diferencira (tačke 1—6). U opštem slučaju, optimalne vrednosti  $\delta$  za prvo i drugo diferenciranje nisu iste. Radi konačne provere postupka dvostrukog diferenciranja, preporučljivo je dvostruko integraljenje dobijene vremenske serije drugog izvoda i poređenje rezultata sa izmerenim signalom.

### Primer

Mereno je ugaono pomeranje zakretne ploče hidrostatičkog prenosnika snage (slika 2). Zakretnu ploču pokreće hidraulični klipni motor upravljani

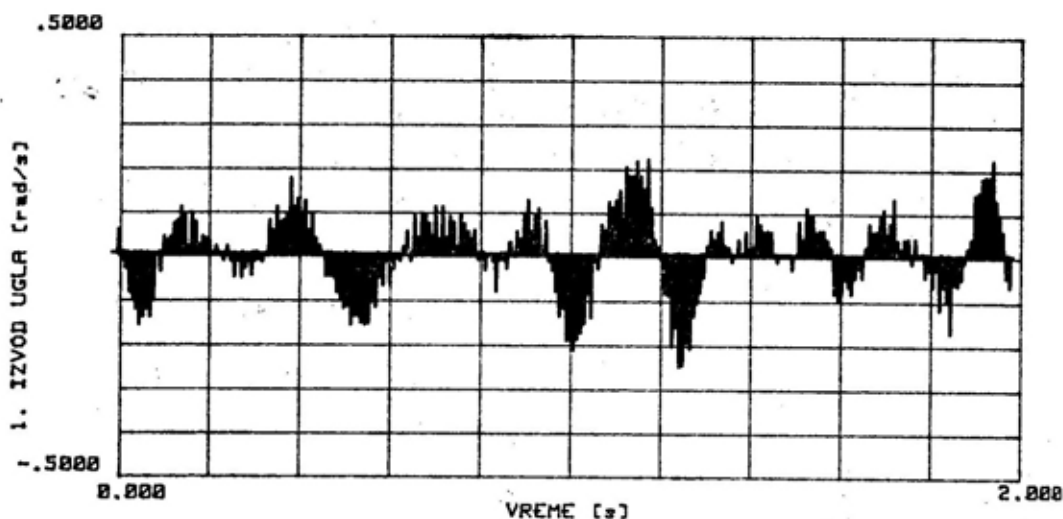


Sl. 2 — Mereni ugao zakretne ploče



servorazvodnikom. Komandni signal bio je obojeni šum frekventnog opsega od 0 do 31 rad/s. Na slici 2 uočljiv je šum koji je pretežno posledica kvantovanja signala prilikom analogno-digitalne konverzije.

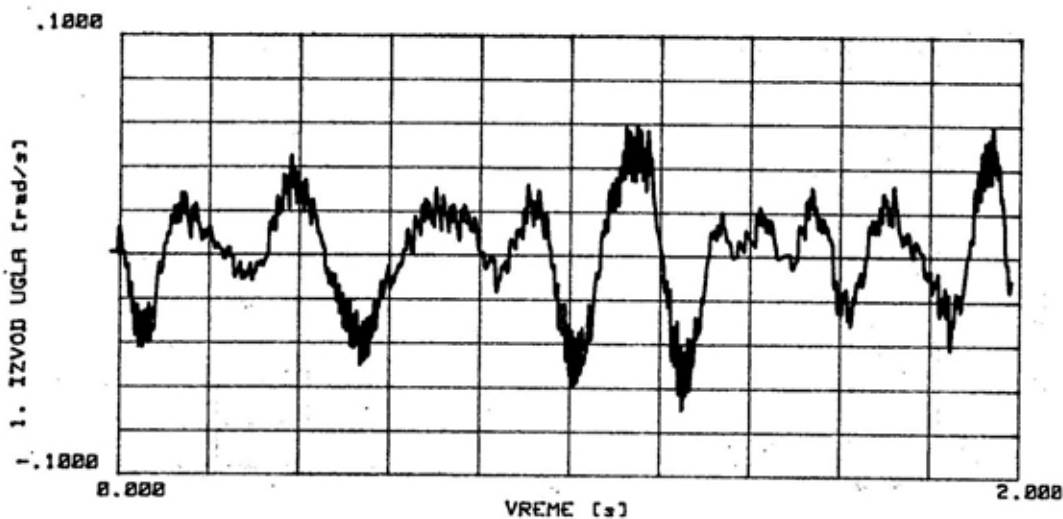
ma, ovaj rezultat je praktično neupotrebljiv. Na slici 4 prikazan je prvi izvod ugla dobijen diferenciranjem metodom najmanjih kvadrata, za  $\delta=0,6$ . Standardno odstupanje integrala (slika 5) prvog izvoda (slika 4) od izmerenog



Sl. 3 — Diferencirani ugao zakretne ploče (obično diferenciranje)

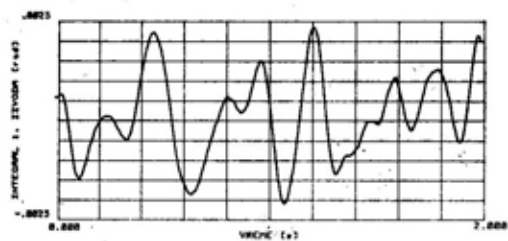
Na slici 3 prikazan je prvi izvod ugla zakretne ploče dobijen običnim diferenciranjem, korišćenjem konačnih diferencija. Zbog prisustva velikog šu-

ugla (slika 2) iznosi 0,00017 rad i prihvatljivo je malo. Nivo šuma u 1. izvodu za  $\delta=0,6$  je prihvatljivo mali i rezultat diferenciranja može se uspeš-



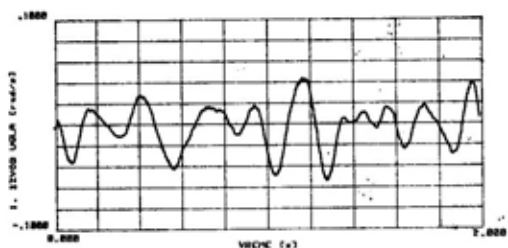
Sl. 4 — Diferencirani ugao zakretne ploče —  $\delta = 0,6$

no koristiti za ocenjivanje parametara servosistema za pokretanje zakretne ploče, na primer, metodom najveće verodostojnosti.



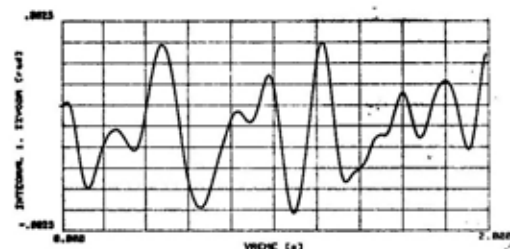
Sl. 5 — Integral ugaone brzine zakretne ploče dobijene diferenciranjem za  $\delta = 0,6$

Prvi izvod ugla zakretne ploče (prikazan na slici 6) dobijen je metodom najmanjih kvadrata, za  $\delta = 0,85$ .



Sl. 6 — Diferencirani ugao zakretne ploče —  $\delta = 0,85$

Uočljiv je mali šum u rezultatu. Standardno odstupanje integrala ovog rezultata (slika 7) od izmerenog ugla (slika 2) iznosi 0,0005 rad. Relativno veli-



Sl. 7 — Integral ugaone brzine zakretne ploče dobijene diferenciranjem za  $\delta = 0,85$

ko standardno odstupanje posledica je faznog kašnjenja integrala, odnosno faznog kašnjenja rezultata diferenciranja u odnosu na stvarnu brzinu pomeranja zakretne ploče. Ovoliko fazno kašnjenje ne može se tolerisati u procesu ocenjivanja parametara sistema ili u upravljačkom sistemu koji koristi informaciju o prvom izvodu posmatrane veličine i od koga se zahteva visoka preciznost, ali se može tolerisati prilikom praćenja (nadgledanja) procesa ili pri kinematskoj analizi objekta, s tim da se umesto izmerenog ugla koristi integral prvog izvoda ugla (slika 7), jer između prvog izvoda ugla i njegovog integrala nema fazne razlike.

Primeri uspešne primene opisanog postupka diferenciranja u praksi dati su u literaturi. U [4] i [5] dva puta su diferencirana pomeranja određenih tačaka na artiljerijskom oruđu da bi se dobile brzine i ubrzanja tih tačaka, što je korišćeno za analizu ponašanja oruđa u toku lansiranja projektila. U [6] je diferencirani ugao zaokretanja platforme jednog borbenog sredstva da bi se snizio red matematičkog modela hidrostatičkog prenosioca snage i olakšalo ocenjivanje njegovih parametara.

## Zaključak

Opisani postupak diferenciranja je jednostavan, brz i može se efikasno koristiti, kako za diferenciranje u realnom vremenu, tako i za naknadnu analizu snimljenih vremenskih serija signala. Parametar  $\delta$  bira se iz opsega od 0,05 do 0,95, zavisno od nivoa prisutnog šuma, a preporučuje se da se on utvrdi opisanim postupkom postepenog približavanja. Postupak diferenciranja uspešno je praktično primenjivan, što ga preporučuje za dalje korišćenje.

*Literatura:*

- [1] N. Dodić: Savremeni pristup estimaciji parametara servosistema, Vojnotehnički glasnik, god. XLI, br. 6, 1993.
- [2] P. Young: Recursive Estimation and Time-series Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [3] N. M. Dodić: Estimacija parametara jednog elektrohidrauličnog servosistema za pokretanje platforme borbenog sredstva — magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] M. Kalezić: Optimizacija konstrukcije artiljerijskih sistema na bazi fenomena procesa lansiranja projektila — doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [5] M. Kalezić, N. Dodić, M. Popović: Metodologija obrade rezultata merenja oscilacija vučnih artiljerijskih oruđa, VTI 02-01-0404, Beograd, 1993.

## REGENERACIJA ZUPČASTIH I OŽLEBLJENIH SPREGA

U ovom tekstu dat je pregled postojećih metoda regeneracije zupčanika i ožlebljenih delova mašinskih elemenata. U prvom delu su dati uzroci i karakter eksploatacionih oštećenja, defektacija, metodi regeneracije i ojačanja zupčanika, a u drugom delu metodi regeneracije ožlebljenih spojeva zavisno od vrste i veličine njihovih oštećenja.

Na zupčanicima i ožlebljenim delovima mašinskih elemenata nastaju raznovrsna oštećenja (istrošenost radnih površina, mehanička oštećenja, deformacije oblika i dimenzija, prskotine, lomovi i sl.). Mnogi od oštećenih zupčanika i ožlebljenih spojeva mogu se uspešno i pouzdano regenerisati.

Pod regeneracijom pohabanih zupčanika i ožlebljenih delova mašinskih elemenata podrazumeva se takav redosled operacija čiji je cilj povratak izgubljenih pokazatelja radnih sposobnosti tih elemenata. Regeneracijom se moraju obezbediti nazivne mere i zahtevani kvalitet površina, kao i pravilan geometrijski oblik i očuvanje (ili čak poboljšanje) osnovnih eksploatacionih karakteristika materijala regenerisanog elementa. Da bi se sve to uspešno ostvarilo, neophodno je dobro poznavati uzroke koji izazivaju oštećenja, karakteristike nastalih oštećenja i njihove dimenzije, metode za utvrđivanje oštećenja, opremu za regeneraciju, osnovne tehnološke i fizičko-mehaničke karakteristike metalnih slojeva koji se nanose na oštećene površine, kao i druge parametre.

### Regeneracija zupčanika

Zupčanici su mašinski elementi namenjeni za prenos kružnog kretanja. U mašinstvu imaju široku primenu. Od

njihove otpornosti na habanje i čvrstoće zavise u znatnoj meri vek trajanja i pouzdanost mašina i mehanizama. Zupčanici se izrađuju od mnogo različitih materijala, u raznim geometrijskim oblicima i dimenzijama, metodima izrade, rade u različitim eksploatacionim režimima, pa je i regeneracija zupčanika kompleksna. Osnovnu masu zupčanika, koji se primenjuju u mašinskoj industriji, čine cilindrični zupčanici sa pravim zupcima (oko 80%). Primena koničnih zupčanika svih tipova dostiže 12÷15, a cilindričnih sa kosim zupcima 3÷5. Pri tome na zupčanike sa modulom do 4 mm i prečnikom koji ne prelazi 300 mm otpada oko 90% celokupne proizvodnje.

Regeneracija zupčanika obuhvata otkrivanje njihovih oštećenja, uzroka i karaktera, primenu najracionalnijeg i najpouzdanijeg metoda regeneracije i metoda ojačanja radnih površina zubača.

### *Uzroci i karakter eksploatacionih oštećenja zupčanika*

Osnovni vidovi razaranja i oštećenja, zavisno od uslova u kojima rade zupčanici, njihovih konstruktivnih i tehnoloških parametara, mogu biti:

- lom zubaca,
- zamorno krunjenje radnih površina zubaca,

- abrazivno habanje,
- zadiranje ili zajedanje,
- plastično deformisanje površinskih slojeva materijala,
- oštećenja čela zubaca.

Izučavanje osnovnih vidova i uzroka razaranja zupčanika pokazalo je da iz pogona mnogo češće ispadaju pogonski zupčanici nego gonjeni. Obično su u mašinama lomu izložena dva-tri para zupčanika, koji su i po proračunu »slabi članovi«.

Lom zubaca izaziva iznenadno narušavanje radne sposobnosti mehanizma i cele mašine. On najčešće nastaje usled stvaranja zamornih prskotina u korenu zupca pri radu prenosnika. Ti lomovi mogu biti izazvani: višestruko ponavljajućim (cikličnim) opterećenjima na savijanje i malobrojnim, ali značajnim po veličini, preopterećenjima udarnog ili statičkog karaktera. Lom se javlja u korenu zupca zbog malog radijusa zaobljenja noge zupca i riseva od reznog alata, što stvara povećanu koncentraciju napona. Pri tome nastale zamorne prskotine u početku se razvijaju upravno na zaobljenje, a zatim se rasprostiru po dubini i duž zupca. Lom zubaca u korenu nastaje i usled dejstva zaostalih napona zatezanja u zoni međuzublja, koji nastaju pri termičkoj ili hemijsko-termičkoj obradi. Često se lom zubaca u korenu objašnjava dubokim kaljenjem i, samim tim, slabom otpornošću na udar. Posmatranja pokazuju da kod dužih zubaca često ne nastaje lom celog zupca, već samo njegovog dela. Ako na zupčaniku sa takvim oštećenjem nisu oštećeni ostali zupci, on se može koristiti za ponovnu eksploataciju.

Lom zubaca može nastati zbog velikih statičkih preopterećenja u slučaju nedovoljne čvrstoće zubaca na savijanje ili usled dinamičkih opterećenja, pri kojima nastaje prekoračenje pokazatelja udarne viskoznosti materijala. Pri velikom habanju radnih površina zubaca u prenosniku nastaje porast dinamičkih opterećenja. Pored toga, usled sma-

njenja njihove debljine dolazi do smanjenja čvrstoće zubaca, što može izazvati lom. Netačnost montaže i izrade zupčanika, a takođe i greške drugih elemenata u sklopu dovode do pojave koncentracije napona na krajevima zubaca, što pogoduje njihovom lomu. Lom i razaranje zupčanika mogu nastati pri gruboj obradi, čak i neradnih površina zubaca. Na primer, kao rezultat grube obrade čela zubaca zupčanika automobilskih menjača pri povećanom opterećenju pojavljuju se prskotine na mestima riseva od noža, usled koncentracije napona na tim mestima.

Jedan od najrasprostranjenijih vidova razaranja zupčanika je usled krunjenja radnih površina zubaca. Razlikuju se dve vrste krunjenja:

— ograničeno, ili početno, koje odgovara periodu razrađivanja zupčastog para i ograničeno je tim periodom,

— progresivno, koje postepeno raste i dovodi do razaranja radnih površina zubaca.

Ograničeno krunjenje radnih površina zubaca može nastati kod zupčanika izrađenih od mekih i viskoznih materijala. Ono je izazvano koncentracijom opterećenja na malim delovima radnih površina ili na njenim posebnim neravninama i obično se javlja u početnom periodu rada zupčastog prenosnika. Posle krunjenja ovih delova, kada se nastala opterećenja preraspodele i zahvate veliki deo radnih površina, proces se prekida. Ograničeno krunjenje praktično ne pokazuje bitan uticaj na vek trajanja zupčastog prenosnika.

Progresivno krunjenje može se odvijati u početnom periodu rada samo kod zupčanika čije radne površine imaju visoku tvrdoću. Kod zupčastih prenosnika izrađenih od tvrdih ili od mekih materijala progresivno krunjenje se može odvijati u toku celokupnog vremena rada. Krunjenje metala počinje na mestima najvećih kontaktnih napona i pojavljuje se usled zamora površinskog sloja zupca. Tanki površinski

sloj, koji je podvrgnut neprekidnom otvrdnjavanju deformacijom, puca i osipa se. To osipanje je veličine glave čiode ili malo veće, a počinje ispod kinematskog kruga. Zatim je takvom dejstvu podvrgnut sledeći sloj. Razaranje se rasprostire u dubinu materijala i zahvata sve veći i veći deo radne površine zupca. Vremenom ovo osipanje zahvata celu površinu i razara je. Pri tome je narušena tačnost sprežanja, to jest zupčasti prenosnik počinje rad sa udarima, što na svoj način doprinosi ubrzanom krunjenju radne površine. Šema odvijanja progresivnog krunjenja viskoznih materijala razlikuje se od opisane. Nastalo osipanje na površinama zubaca od viskoznih materijala, pri daljem radu prenosnika, srazmerno raste. Istovremeno se pojavljuje i razvija novo osipanje. Stvaranje i razvoj osipanja odigrava se sve dok kontaktni naponi na radnim površinama zubaca, neoštećenih krunjenjem, ne porastu do veličine koja prevazilazi granicu tečenja, ili neki drugi pokazatelj mehaničke čvrstoće materijala. Posle toga nastaje promena površine, njeno intenzivno habanje ili zadiranje. Razvoj procesa krunjenja posledica je zamora tankih slojeva (debljine  $15 \div 25 \mu\text{m}$ ) materijala radnih površina zubaca. Intenzitet krunjenja zavisi od zamorne čvrstoće materijala, podmazivanja, veličine i smera relativnog klizanja radnih površina zubaca, brzine obrtanja zupčanika, a takođe i od kvaliteta površinske obrade. Progresivnom krunjenju doprinosi smanjenje tvrdoće cementacionog sloja, koje nastaje kao posledica grešaka pri cementaciji (dekarbonizacija, to jest smanjenje količine ugljenika na površini — slabo zasićenje površinskog sloja) ili termičkoj obradi. Nedovoljna tvrdoća cementacionog sloja pogoduje pojavi površinske plastične deformacije i izvrtanju profila zupca. Pri tome dolazi do povećane sile trenja, što izaziva povećanje temperature kontaktnih površina i mogućnost otpuštanja površinskog sloja. Treba napomenuti da se u literaturi pro-

gresivno zamorno krunjenje radnih površina zubaca često naziva piting.

Abrazivno habanje je izazvano prisustvom stranih tela, mineralnih ili metalnih čestica među dodirnim površinama. Takvo habanje dominira pri nedovoljnoj zaštiti prenosnika od prljanja i slaboj filtraciji ulja. Podmazivanje smanjuje abrazivno habanje, ali ga ne eliminiše. Ovo habanje se najčešće javlja u prenosnicima rudarskih mašina. Tu ono protiče velikim intenzitetom i u većini slučajeva je vodeće. Bez obzira na to što se materijal zupčastih prenosnika rudarskih mašina, kao po pravilu, podvrgava termičkoj obradi i poseduje visoku tvrdoću, zupčanici se najčešće remontuju usled prekomernog habanja radnih površina i zupci se regenerišu. Abrazivno habanje radnih površina zubaca dovodi do slabljenja podnožja zubaca i deformisanja evolventnog profila.

Zadiranje nastaje zbog trenutnog prekida uljnog filma između radnih površina ili njegovog istiskivanja usled narušavanja režima podmazivanja. Prekid zaštitne sposobnosti uljnog filma izazvan je velikim lokalnim zagrevanjem i plastičnom deformacijom površinskog sloja. Suviše gusto sredstvo za podmazivanje može biti uzrok zadiranja. Trenutni metalni kontakti, koji nastaju pri prekidu uljnog filma, uglavnom su rezultat velikih opterećenja i velikih brzina. Kao posledica toga, pri uzajamnom klizanju materijala tvrdih površina nastaju brazde na mekšem materijalu. Zajedanje nastaje zbog velikog lokalnog zagrevanja kontaktnih površina. Karakteriše se velikim česticama materijala, koje se otkidaju od jedne površine i »zavaruju« na drugu, što i određuje stepen oštećenja zubaca. Radi odstranjivanja zadiranja i zajedanja na radnim površinama zupčanika, koji se koriste u brzohodnim i prenosnicima srednje brzine, kao i teško opterećenim sporohodnim prenosnicima, primenjuju se ulja velikog viskoziteta sa dodatkom sumpora ili hlora. Ovi elementi sprečavaju zavarivanje čestica.

Plastično deformisanje pojavljuje se na radnim površinama teško opterećenih zupčanika, izrađenih od mekih čelika. Tada dolazi do plastičnog pomeranja čestica materijala po radnoj površini jednog istog zupca. U takvom slučaju nastaje deformisanje (krivljenje) oblika zubaca. Na radnim površinama zubaca jednog zupčanika stvaraju se urezi (žlebovi), a po drugom — izbočine. Ovakva oštećenja zupčanika često nastaju pri puštanju u rad jako opterećenih vratila. Pri dužem radu, usled otvrdnjavanja deformacijom, povećavaju se mehanička svojstva materijala i smanjuje se plastično deformisanje. Da bi se izbeglo plastično deformisanje radnih površina zubaca vrši se uhođavanje zupčanika pod opterećenjem većim od radnog.

Uključivanje i isključivanje zupčanika u aksijalnom smeru (na primer, kod menjača) obično dovodi do oštećenja čela zubaca. Pri prebacivanju zupčanika s jedne na drugu brzinu, čela zubaca udaraju jedna o druga. Posledica toga je postepeno krunjenje čeonih ivica. Grebanje čestica cementiranog sloja pri čeonim udarima zubaca olakšano je povećanjem krtošću tog sloja i velikim zaostalim naponima, koji nastaju u vezi sa strukturnom heterogenošću zona cementacionog sloja. Nepotrebno zasićenje površine zubaca ugljenikom i oštro smanjenje njegove koncentracije po dubini sloja dovodi do pojave velike količine zaostalog austenita na površini. Tu pojavu prate zaostali naponi zatezanja. Pod uticajem otvrdnjavanja deformacijom, koje nastaje na čelima zubaca pri promeni brzine, zaostali austenit spoljašnje zone cementiranog sloja prelazi u martenzit. Ova pojava je praćena proširenjem jezgra i nastankom velikih unutrašnjih napona. Pri nedostatku visoke tvrdoće čela zubaca zapaža se njihovo habanje ili gnječenje, pri prekomerno visokoj tvrdoći — krto razaranje, koje vodi raspadanju čela zubaca. Pri mekom jezgru i tvrdoj površini čela zubaca nastaje probijanje površinskog sloja.

Postoji niz mera koje preduzimaju proizvođači, a koje su usmerene ka smanjenju habanja čela zubaca menjačkih zupčanika. Smanjenje ispadanja zupčanika iz pogona je postignuto:

— primenom racionalnog zaobljenja čela zubaca,

— poboljšanjem termičke obrade čela zubaca,

— primenom savremenih modela racionalnijih kočnih sistema u mašinama i mehanizmima.

Uzroci oštećenja zupčanika vezani su, s jedne strane, za netačnost podataka o opterećenjima koja deluju na prenosnik i, s druge strane, za odstupanje faktičke čvrstoće zubaca od proračunske, pod uticajem konstruktivnih, tehnoloških i eksploatacionih faktora, nedovoljno uzetih u obzir pri projektovanju. Dejstvo različitih uzroka pokazuje se u pojavi dopunskih sila, koncentraciji napona, nepovoljnom rasporedu zaostalih (unutrašnjih) napona, smanjenju mehaničkih svojstava materijala i slabljenju opasnog preseka zupca.

Mogu se navesti sledeći primeri konstruktivnih uzroka:

a) razlika karakteristika čvrstoće materijala korišćenih u proračunu, koje su dobijene standardnim ispitivanjem obrazaca, i odgovarajućih karakteristika realnih zupčanika;

b) odsustvo frikcionih spojnica u lancu glavnog pogona, neracionalna konstrukcija i raspored sistema kočenja i druge konstruktivne greške koje dovode do velikih preopterećenja dinamičkog karaktera;

c) nepravilan izbor tolerancija i zazor projektovanog prenosnika, koji dovodi do dopunskih dinamičkih opterećenja na zupcima;

d) neujednačen raspored zupčanika u odnosu na oslonce, ne uzimanje u obzir deformacija vratila, ležajeva i tela zupčanika, određivanje suviše velike širine zupčastog venca pri relativno niskoj tačnosti izrade zupčanika, što u

mnogim slučajevima dovodi do velike koncentracije napona na čeonim ivicama zubaca, i slično.

Primeri tehnoloških uzroka:

a) oštećenja materijala u vreme isporuke,

b) neracionalne šeme i režimi termičke obrade zupčanika,

c) greške mehaničke obrade: odstupanje pravca zubaca po dužini, greške u profilu, oštećenja površina zaobljenja i radnih površina zubaca, grubi tragovi obrade, postojanje prskotina, termička oštećenja nastala pri brušenju, povećanje mikroneravnina, smanjenje radijusa ivica i slično,

d) oštećenja u montaži: zakošenje, montiranje zupčanika sa neracionalnim zazorima u sprezi, postojanje nepotpunog sprezanja — po dužini zupca, nanošenje površinskih oštećenja pri montaži itd.

U eksploatacione uzroke spadaju:

a) nepravilno podmazivanje, neuredno filtriranje i zamena ulja, neispravnosti u sistemu podmazivanja (posebno kod rudarskih i poljoprivrednih mašina),

b) prekoračenje dozvoljenih režima rezanja (kod mašina alatki),

c) nepravilno upravljanje — oštro kočenje (kod transportnih uređaja, mašina alatki, građevinskih i drugih mašina),

d) preopterećenje, temperatura, vlaga i drugi uzorci.

Oštećenja zubaca nisu jedina oštećenja kod zupčanika. Na glavčinama zupčanika često se javlja habanje naležne površine na vratilo, kao i ožlebljenog dela ili žleba za klin. Pored toga, na glavčini, paucima i obodu mogu se pojaviti prskotine, iskrivljenost, radikalno bacanje i slično.

*Određivanje tehničkog stanja (defektacija) zupčanika*

Defektacija zupčanika sastoji se od vizuelnog posmatranja delova zupčani-

ka i izvođenja posebnih tehničkih merenja. Pri defektaciji zupčanika posebna pažnja obraća se na stepen habanja, pravilnost oblika i tvrdoću radnih površina zubaca, proverava se da li postoje ubivotine, prskotine ili zadori na zupcima, obodu, glavčini i žlebovima.

Vizuelnim posmatranjem pažljivo se ispituju uglavnom zupci zupčanika, na kojima može biti otkriveno niz oštećenja (zadorni metala, smicanje, plastično deformisanje, stvaranje jamica, krunjenje).

Habanje zupčanika dovodi do promene debljine i oblika zubaca. Zato čak i pri konstantnoj ugaonoj brzini pogonskog zupčanika nastaju ubrzanja i usporjenja gonjenog zupčanika. Promenljiva ugaona brzina zupčanika izaziva udarna opterećenja na zupcima, čija veličina zavisi od mase obrtnih elemenata, karaktera i veličine deformacije profila, obimne brzine i drugog. Ispitivanja su pokazala da veličina dopunskih opterećenja na zupcima, koja su izazvana deformacijom oblika usled habanja, može pri velikim brzinama porasti do trostrukih proračunskih opterećenja. Zbog toga se granično habanje zubaca zupčanika, kod kojih obimna brzina prelazi 3 m/s, usvaja od 3 do 10% debljine zupca merene po podeonom krugu. Manje vrednosti odgovaraju većim brzinama. Granično habanje čeličnih sporohodnih zupčanika ( $v < 3$  m/s) može biti od 10 do 25% debljine zupca, merene po tetivi podeonog kruga. Veličina habanja praktično se najčešće određuje merenjem debljine zubaca i mere preko zuba. Izmerena veličina upoređuje se sa dozvoljenom graničnom, pa se na osnovu toga određuje da li je zupčanik ispravan ili je za regeneraciju.

Krunjenje je najopasniji vid habanja zupčastih prenosnika. Uzrok krunjenja je zamor materijala koji se javlja usled niza uzroka, na primer, rad prenosnika sa uljem lošeg kvaliteta, rascentriranost prenosnika, slab kvalitet površina zubaca. Pri radu sa uljem slabog kvaliteta ili pri slabom kvalitetu



površina zubaca nestaje uljnog filma između površina zubaca i stvara se polusuvi kontakt metala u sprezi. To prouzrokuje plastično deformisanje materijala, povećanje tvrdoće i gubitka plastičnih svojstava, što na kraju dovodi do mikropokrskotina. Pri radu rascentriranih zupčastih prenosnika opterećenje ne prenosi cela dužina zupca, već samo deo. Usled toga prenosnik radi sa preopterećenjem, narušava se hidrodinamički režim podmazivanja i ponovo stvaraju uslovi za pojavu zamora. Ako se na površinama zubaca stvore mikropokrskotine, u njih ulazi ulje. U šupljinama mikropokrskotina stvara se kapilarni pritisak u hiljadama atmosfera. Pod dejstvom tog pritiska, ujedinjenog sa statičkim i dinamičkim opterećenjima, materijal zubaca se razara. Opasnost od krunjenja povećava se time što u većini slučajeva proces teče neprekidno do potpunog ispadanja prenosnika iz pogona. Samo odstranjivanje uzroka pojave krunjenja može ga zaustaviti. Krunjenje se lako otkriva, posebno pri posmatranju pomoću uveličavajućih lupa. Ispitivanjima je ustanovljeno da se krunjenje najčešće uočava u zoni kontakta, bliže nozi zupca. Znatno ređe ono nastaje u zoni poddeonog kruga. Inače, proces krunjenja do potpunog razaranja radnih površina zubaca obično teče u dužem vremenskom intervalu (stotine časova).

Radi određivanja dozvoljenog habanja zubaca zupčanika izvršena je analiza promene napona zatezanja na radnoj strani zupca, koja nastaje kao rezultat smanjenja njegovog opasnog preseka. Kod cementiranih, nitriranih i nitrocementiranih delova zupčanika, pri određivanju veličine habanja njihovih zubaca, potrebno je uzeti u obzir dubinu sloja ojačanja. Preporučuje se da maksimalno dozvoljena veličina habanja kod takvih zupčanika bude tolika da debljina sloja ojačanja na radnim površinama zubaca, koji ostaje posle habanja, ne bude manja od  $0,2 \div 0,25$  mm.

Prema uputstvima za remont zupčanika, koji se nalaze u sklopu vojnih

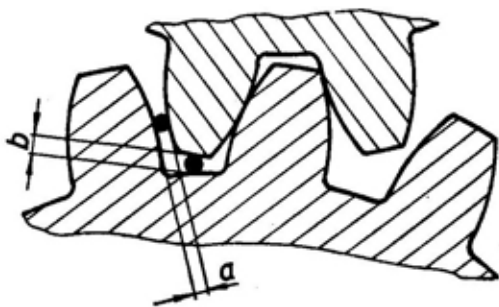
sredstava, regeneracija se preporučuje ukoliko je krunjenje površinskog sloja zubaca:

— za zupčanike sa modulom većim od 6 mm, na površini bokova zubaca od 8 mm<sup>2</sup>, krunjenje manje od 1,5 mm<sup>2</sup>,

— za zupčanike sa modulom  $4 \div 6$  mm, na površini bokova zubaca od 5 mm<sup>2</sup>, krunjenje manje od 1,5 mm<sup>2</sup>.

Pri većem krunjenju površinskog sloja zubaca zupčanici se odbacuju.

Pre remonta zupčanika moraju biti tačno određena oštećenja zupčanika i ustanovljeni njihovi uzroci. Pored veličine krunjenja, provereni moraju biti zazori između zubaca zupčanika, koji se nalaze u sprezi, i pravilnost kontakta zubaca. Bočni i radijalni zazori se proveravaju postavljanjem olovne žice u te zazoru i njenim valjanjem pri obrtanju zupčanika (slika 1). Veličina zazora određena je debljinom olovne pločice dobijene posle valjanja žice. Debljina ove spljoštene žice meri se mikrometrom.



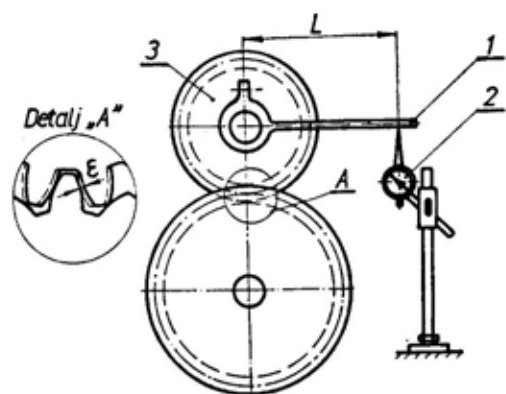
Sl. 1 — Provera zazora zupčastog prenosnika:

a — bočni zazor, b — radijalni zazor

Bočni zazor između neradnih profila dva zupca u sprezi treba da bude od  $t/40$  do  $t/20$ , zavisno od tačnosti obrade profila zubaca ( $t$  — korak ozubljenja). Radijalni zazor između glave zupca i međuzublja spregnutih zupčanika (cilindričnih i koničnih) je 0,2 modula sa maksimalnom tolerancijom  $0,5 \div 0,8$  mm.

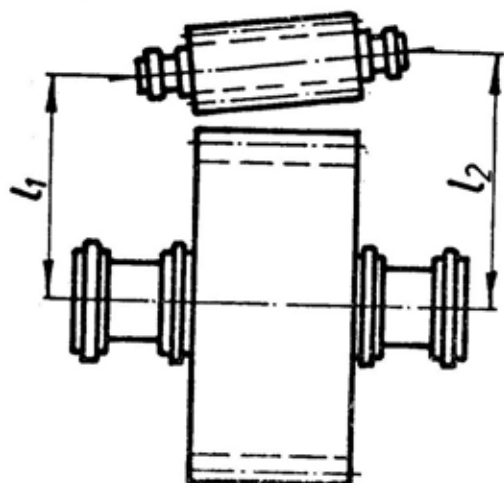
Bočni (uljni) zazor u sprezi može biti izmeren i indikatorom (slika 2). Pi-

pak indikatora (2) oslanja se na polugu (1) čvrsto vezanu za osovinu jednog od zupčanika. Traženi zazor ( $\epsilon$ ) određuje se zaokretanjem zupčanika (3) sa polugom (1), pri nepokretnom drugom zupčaniku, prvo u jednu, a zatim u drugu stranu. Sabiranjem pokazivanja indikatora određuje se veličina ukupnog bočnog zazora ( $\epsilon$ ). Pri proračunu bočnog zazora neophodno je uzeti u obzir dužinu poluge ( $L$ ).



Sl. 2 — Merenje bočnog zazora u sprezi

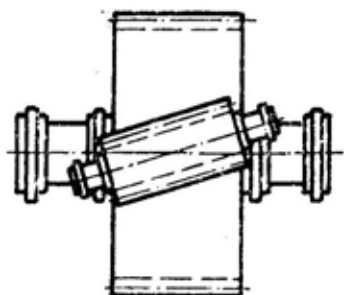
Kvalitet centriranja zupčastog para može biti određen merenjem veličine neparalelnosti (slika 3) i zakošenja (sli-



Sl. 3 — Neparalelnost osa zupčanika zupčastog prenosnika

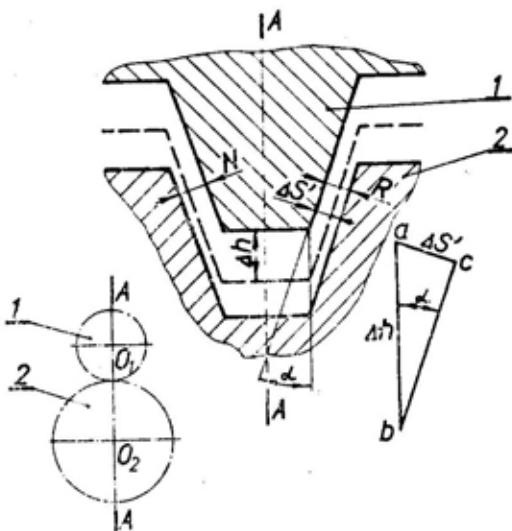
ka 4) osa zupčanika. Pod neparalelnošću osa podrazumeva se neparalelnost u ravni njihovog postavljanja. Neparalelnost se određuje nejednakošću međuosnog rastojanja  $l_1$  i  $l_2$ .

Zakošenjem se smatra neparalelnost osa u ravni koja je upravna na liniju koja spaja centre zupčanika.



Sl. 4 — Zakošenje osa zupčanika zupčastog prenosnika

Ako se pretpostavi da postoji čista neparalelnost, onda će se zapaziti promena položaja zupca (1) u odnosu na međuzublje dva susedna zupca (2) duž dužine zupca, u ravni A (slika 5). Neka na dužini zupca postoji promena položaja glave zupca  $\Delta h$ . Istovremeno će se



Sl. 5 — Položaj zupca u međuzublju pri neparalelnosti

promeniti i veličina bočnih zazora  $N$  (neradnih) i  $R$  (radnih). Promenu jednog od njih duž dužine zupca (veličinu  $\Delta S'$ ) moguće je odrediti iz pravouglog trougla ( $abc$ ):

$$\Delta S' = \Delta h \sin \alpha \quad (1)$$

Veličina  $\Delta h$  može biti predstavljena kao nekakva specifična neparalelnost, izražena preko  $X$  po jedinici dužine zupca  $l$ , obično za 1 m. Na taj način izraz (1) moguće je napisati:

$$\Delta S' = X l \sin \alpha \quad (2)$$

Kako se pri neparalelnosti menjaju i radni i neradni bočni zazori, ukupna promena bočnog zazora može se predstaviti formulom:

$$\Delta S_1 = 2 \Delta S' = 2 X l \sin \alpha \quad (3)$$

Otuda se specifična neparalelnost, ili neparalelnost na dužini zupca od 1 m, nalazi prema izrazu:

$$X = \frac{\Delta S_1}{2 l \sin \alpha} \quad (4)$$

Veličina ugla  $\alpha$  zupčastih prenosnika je  $20^\circ$ , dužina zupca  $l$  može biti izmerena neposredno. Na taj način, za određivanje veličine neparalelnosti po formuli (4) neophodno je samo merenje ukupnog bočnog zazora  $\Delta S_1$ .

Za određivanje veličine zakošenja pribegava se analognom razmišljanju. Pretpostavimo da postoji čisto zakošenje. Iz trougla ( $mpq$ ) (slika 6) nalazimo veličinu  $\Delta S''$ :

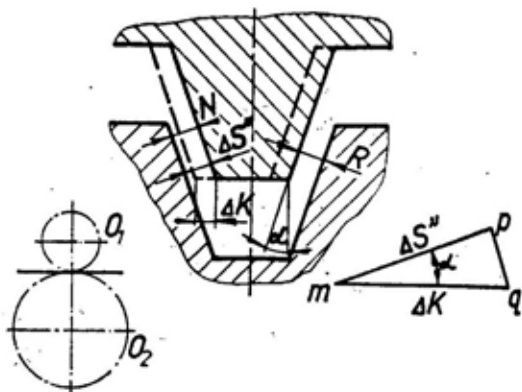
$$\Delta S'' = \Delta K \cos \alpha \quad (5)$$

Veličina  $\Delta K$  može biti predstavljena kao proizvod neke tražene veličine specifičnog zakošenja  $Y$  i dužine zupca  $l$ . Tada se, uzimajući u obzir promenu radnih i neradnih veličina bočnih zazora duž zupca, nalazi  $\Delta S_2$ :

$$\Delta S_2 = 2 \Delta S'' = 2 \Delta K \cos \alpha \quad (6)$$

Pa je:

$$\Delta K = \frac{\Delta S_2}{2 \cos \alpha} \quad (7)$$



Sl. 6 — Položaj zupca u međuzublju pri zakošenju

Veličina  $\Delta K$  može biti predstavljena kao nekakvo specifično zakošenje  $Y$  po jedinici dužine zupca  $l$ , koja obično iznosi 1 m. Tada je:

$$\Delta S'' = Y l \cos \alpha \quad (8)$$

Specifično zakošenje računa se po formuli:

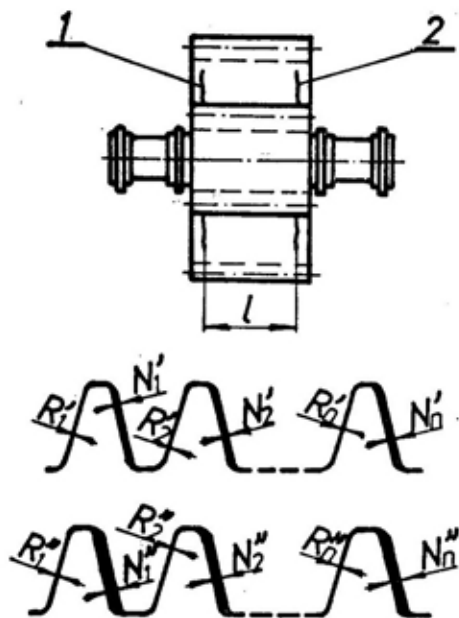
$$Y = \frac{\Delta S_2}{2 l \cos \alpha} \quad (9)$$

U formulama (4) i (9) nepoznate veličine su  $\Delta S_1$  i  $\Delta S_2$ . One se nalaze eksperimentalnim putem. Dve olovne žičice (1 i 2) dužina  $150 \div 200$  mm i prečnika oko 1 mm smeštene su između zuba zupčastog para blizu njihovih čela (slika 7). Okretanjem zupčanika u jednom pa u drugom smeru dobija se olovni otisak, koji reprodukuje bočni zazor među zupcima. Pomoću mikrometra ili indikatora izmere se veličine radnih i neradnih zazora i nađu se njihove aritmetičke sredine. Na taj način se dobiju veličine:

$$R_1 = \frac{\sum_{n1} R_i'}{n1}, \quad N_1 = \frac{\sum_{n2} N_i'}{n2}$$

$$R_2 = \frac{\sum_{n3} R_i''}{n3}, \quad N_2 = \frac{\sum_{n4} N_i''}{n4} \quad (10)$$

Ovde su  $n_1, n_2, n_3, n_4$  — brojevi odgovarajućih merenja za svaku žičicu.



Sl. 7 — Provera kvaliteta centriranja zupčaste sprege pomoću olovnih otisaka

Nije teško primetiti da se veličina promene ukupnog bočnog zazora pri neparalelnosti duž zupca  $\Delta S_1$  može izraziti veličinom:

$$\Delta S_1 = (R_1 + N_1) - (R_2 + N_2) \quad (11)$$

gde su  $(R_1 + N_1)$  i  $(R_2 + N_2)$  — ukupni bočni zazor na suprotnim krajevima zupca, tačnije na krajevima mere  $l$ .

Pri zakošenju, veličina  $\Delta S_2$  određuje se po formuli:

$$\Delta S_2 = \frac{(R_1 - R_2) + (N_1 - N_2)}{2 l \cos \alpha} \quad (12)$$

gde su  $(R_1 - R_2)$  i  $(N_1 - N_2)$  — promene radnog i neradnog bočnog zazora duž zupca na bazi mere  $l$ .

Postavljanjem nađenih veličina  $\Delta S_1$  i  $\Delta S_2$  u formule (4) i (9) dobijamo neparalelnost i zakošenje datog zupčastog para. Dobijene veličine upoređuju

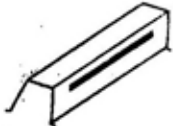
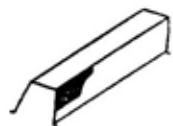
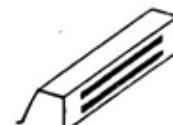

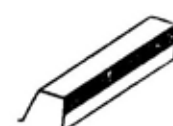
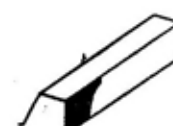
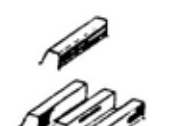
se sa graničnim tolerancijama. Tolerancije neparalelnosti i zakošenja kreću se od 0,05 do 0,1 mm. Ponekad se zakošenje izražava u radijanima.

Kvalitet centriranja zupčastog para može biti ocenjen prema veličini kontakta u sprezi, to jest proverom traga kontakta. Pri ovom metodu radne površine zubaca jednog od spregnutih zupčanika premažu se ravnomernim slojem uljane boje. Posle kontakta na radnim površinama zubaca spregnutog zupčanika ostaje trag kontakta, koji omogućuje procenu radijalnog zazora i paralelnosti osa. Pri pravilnom sprezanju trag kontakta prostire se simetrično u odnosu na osu simetrije i liniju podeonog kruga zupčanika. Pri nepravilnom centriranju zupčanika karakter položaja traga kontakta pokazuje, u osnovi, grešku u montaži (tablica 1). Kontakt se smatra zadovoljavajućim ukoliko duž zupca on iznosi 80÷90% od njegove dužine i 40÷50% od njegove visine.

Pri nepravilnom sprezanju zupčasti prenosnik u radu stvara šum. Karakter šuma je pokazatelj vrste greške pri montaži prenosnika (tablica 1).

Na radnim površinama zupčanika, pužnih zupčanika i puževa, a takođe i na površinama zaobljenja noge zupca ne dozvoljava se pojava šupljina, čak ni ograničenih. Na neradnim površinama livenih zupčanika (obod, glavčina, paok) dozvoljene su male zasebne šupljine čija površina nije veća od 25 mm<sup>2</sup>, dubina od 3 mm, a broj od 10 na 1000 cm<sup>2</sup> površine. Zavarivanje prskotina na paocima i obodu livenih zupčanika se ne dopušta. Samo kod čeličnih zupčanika moguće je u nekim slučajevima zavariti prskotine oboda i paoka (ne više od tri, koje se ne prostiru jedna za drugom). Defektacija glavčine zupčanika, pored vizuelnog otkrivanja prskotina i drugih oštećenja, obuhvata i pregled merenjem otvora glavčine, žleba za klin ili ožlebljenog otvora glavčine. Preciznim merenim instrumentima meri se prečnik otvora, širina žleba za klin ili širina žlebova i prečnik ožlebljenog dela glavči-

## PROCENA KVALITETA MONTAŽE ZUPČASTOG PARA

	Karakter šuma	Ocena kvaliteta zupčastog para
	Lako zujanje niskog tona	dobar
	Bez opterećenja — zujanje Sa opterećenjem — buka	škart
	Pod opterećenjem — buka i povremena lupnjava Bez opterećenja — zujanje ili mala buka Povremena lupnjava pri praznom hodu i buka pod opterećenjem	škart
	Pod opterećenjem — buka niskog tona	zadovoljavajući
	Laka buka, veoma mala povremena lupnjava	škart
	Laka buka srednjeg tona i laka povremena lupnjava	škart
	Povremena lupnjava	škart

ne. Te mere se upoređuju sa dozvoljenim graničnim merama. Ukoliko je habanje veće od dopuštenog, glavčina se regeneriše.

Menjački zupčanici se podvrgavaju pregledu radi utvrđivanja nedozvoljenih nagnječenja i habanja čeonih površina zubaca. Dopušteno je nagnječenje i habanje čeone površine zubaca do dužine od 1 mm sa izlaskom na radnu površinu zupca površine manje od 5 mm<sup>2</sup>. Za razliku od zupčanika sa polomljenim i pohabanim radnim površinama zubaca, za zupčanike sa čeonim oštećenjima zubaca ne odgovaraju oštri kriterijumi za odbacivanje. Kao po pravilu, zamena zupčanika sa čeonim oštećenjima zubaca vremenski se podešava tekućem ili generalnom remontu. Najčešće razoreni deo zubaca zupčanika u momentu zamenje je 15÷30% od prvobitne dužine zubaca (širine zupčastog venca). Ipak, sreću se slučajevi zamene zupčanika sa zupcima pohabanim samo za 10%.

Provera krunjenja površinskog sloja, nagnječenja i habanja čeonih površina zubaca često se vrši komparativnim (uporednim) metodom sa etalon zupčanicima.

### Metodi regeneracije zupčanika

Kod zupčanika habanju su najviše izloženi zupci, a zatim otvori, ožlebljeni otvori i žlebovi za klin na glavčinama. Uzroci regeneracije, takođe, mogu biti i prskotine u telu, glavčini i vencu zupčanika. Prema tome, regeneracija zupčanika može se podeliti na: regeneraciju glavčine, regeneraciju tela i regeneraciju zubaca zupčanika.

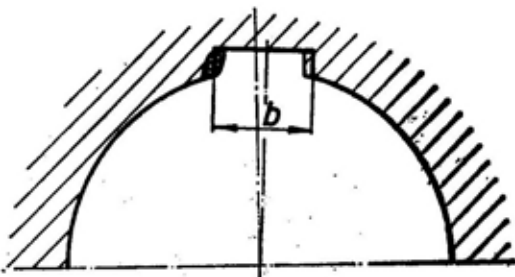
Na glavčinama se habaju mesta sprezanja sa vratilima (naležuće površine). Tako oštećeni zupčanici regenerišu se elektrolučnim navarivanjem pohabane površine. Zatim se ta površina obrađuje na nominalne ili remontne mere (zavisno od stanja površine vratila na koju naleže). Regeneracija glavčine zupčanika navarivanjem racionalnija je

od regeneracije, istim metodom, vratila na kojem se obrće zupčanik. Ova preporuka potvrđena je praktično i uslovljena je sledećim:

— stepen termičkog dejstva i pogoršanje strukture i mehaničkih karakteristika materijala glavčine zupčanika znatno je manje usled veće mase glavčine i zbog toga što se zupčanici, u većini slučajeva, izrađuju od niže ugljeničnih čelika u poređenju sa vratilima,

— vratila su podvrgnuta većim promenljivim naponima uvijanja i savijanja, pri kojima je veoma opasno pogoršanje mehaničkih karakteristika površinskih slojeva materijala, koje izaziva navarivanje.

Pri regeneraciji pohabanih bočnih površina žlebova za klin potrebno je navariti jednu bočnu površinu žleba (slika 8). U tom slučaju jedna od radnih površina žleba, i to ona koja nije podvrgnuta navarivanju, zadržava neizmennu strukturu i mehanička svojstva materijala. Zatim se vrši mehanička obrada, pri kojoj se dimenzije širine žleba očuvaju na račun sloja navarenog materijala, s jedne, i usecanja u osnovni materijal glavčine, s druge strane.



Sl. 8 — Regeneracija glavčine zupčanika sa pohabanim žlebom za klin

Regeneracija tela zupčanika najčešće se svodi na zavarivanje neprolaznih prskotina. Čelični zupčanici sa naprslim paocima, obodom i glavčinom regenerišu se zavarivanjem. Regeneracija paoka zavarivanjem dopuštena je ukoliko se naprsli paoci nalaze između celih.

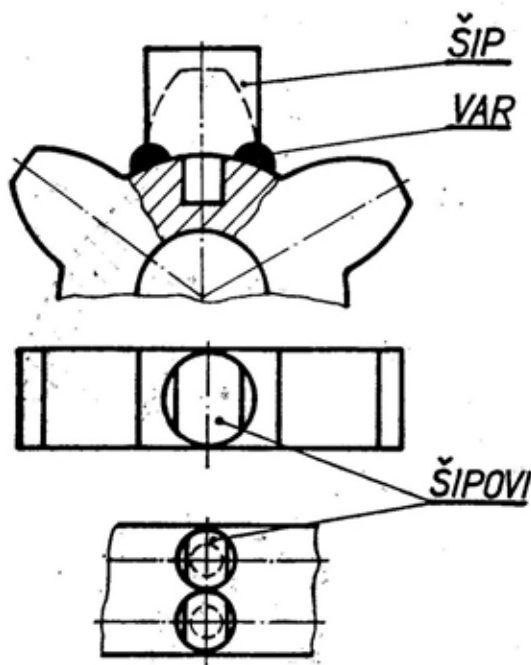
Pored toga, privremeno se može vršiti remont bravarskim metodom. Tada se obod steže čvrstom stegom ili spaja spojnicom sa vijcima. Zupčanici remontovani na ovakav način moraju u kratkom roku biti zamenjeni novim. Poželjno je zupčanike menjati u paru. Zamenjena jednog oštećenog zupčanika povlači brzo habanje novog. Nije dopušteno zavarivanje paoka i naprslih oboda live-nih zupčanika.

Najodgovornija remontno-regeneracijska operacija jeste regeneracija zubaca zupčanika. Regeneracija zubaca zupčanika može biti hladnim — bravarskim metodima i vrućim navarivanjem.

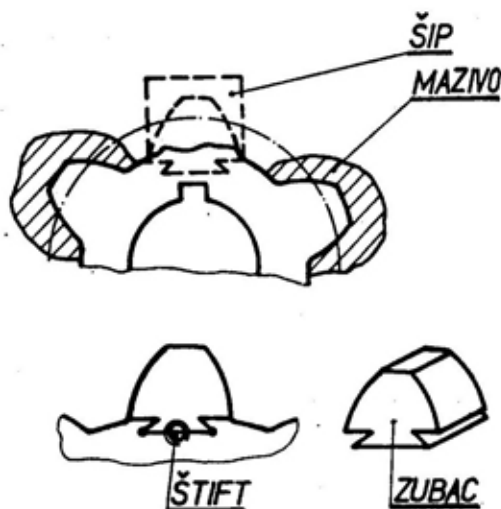
Zupčanici sporohodnih prenosnika ( $v < 2$  m/s) regenerišu se hladnim metodima pomoću zavrtnjeva ili umetaka. Regeneracija primenom zavrtnjeva moguća je pri lomu pojedinih zubaca, ali ne više od dva uzastopna, kod zupčanika velikih modula. Deformisani zubac se odseče ili odrubi do osnove. Zatim se u telu zupčanika, na očišćenim površina-

ma, probuši nekoliko rupa, po celoj širini oboda, prečnika  $0,5 \div 0,8$  od debljine zupca. Broj rupa zavisi od širine oboda. U te rupe urezuje se navoj, a u nje-ga se uvrću čelični zavrtnji (šipovi), koji imaju prečnik jednak debljini zupca. Zavrtnji se zavare u osnovi i profil zupca se obrađuje na glodalici ili se turpijaju ručno — prema šablonu. Šema ovog metoda regeneracije zupca pomoću jednog i dva šipa prikazana je na slici 9.

Savršenija varijanta hladnog metoda regeneracije zubaca zupčanika sastoji se u sledećem (slika 10). Očišćeno mesto slomljenog zupca se otpušta. Susjedni zupci, radi izbegavanja oštećenja pri otpuštanju, premazuju se mazivom u sastavu: 50% vatrootporna glina, 45% isitnjeni (meki) azbest i 5% vode-



Sl. 9 — Regeneracija zubaca zupčanika uvr-tanjem šipova



Sl. 10 — Regeneracija zubaca zupčanika po-stavljanjem šipa u »lastin rep«

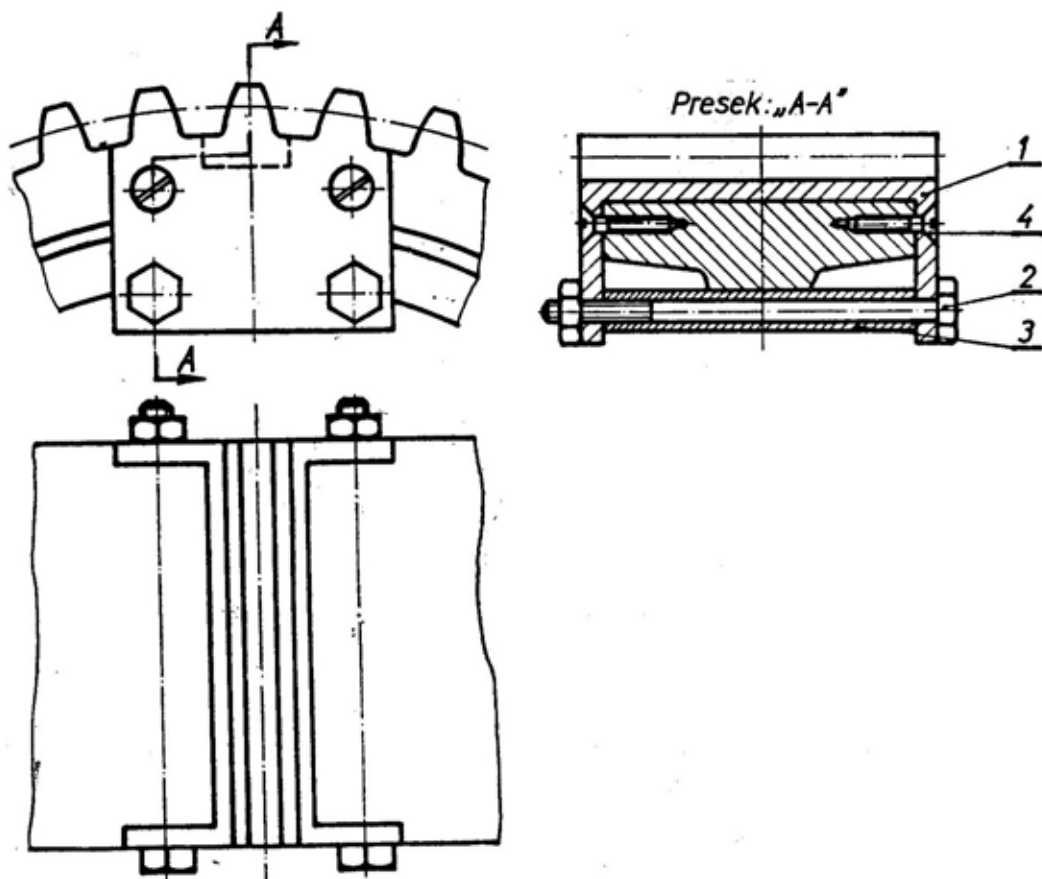
no staklo. Posle otpuštanja mazivo se udaljuje. Na mestu gde je bio zubac iz-vadi se žleb u obliku lastinog repa du-bine  $1/4 \div 1/3$  visine zupca. U taj žleb se sa strane stavlja zubac, ili šip, ranije pripremljen, koji se učvršćuje navoj-nim štiftom, vijkom sa upuštenom glav-om ili se sa čela osigura elektrolučnim

zavarivanjem. Zatim se, ukoliko je potrebno, vrši obrada na tačan oblik zupca.

Ukoliko bušenje otvora za zavrtnje, ili urezivanje »lastinog repa«, slabi presek oboda zupčanika, preporučuje se regeneracija zupčanika primenom dodatka. Za postavljanje dodatka (slika 11) sa čela oboda se prave žlebovi dubine  $0,4 \div 1,0$  modula. Širina žleba bira se na taj način da dodatak (1) zahvata sa svake strane po jedan neoštećeni zubac. Dodatak se postavlja u žlebove i učvršćuje zavrtnjima (4). Krajevi dodatka se učvršćuju vijcima (2), koji se postavljaju ispod oboda zupčanika. Da bi se ograničilo savijanje krajeva dodatka, na vijke (2) se postavlja-

ju distantne čaure (3). Posle podešavanja dodatka zupci se obrađuju na običnim univerzalnim glodalicama.

Pri habanju (krunjenju) ili lomu nekoliko uzastopnih zubaca, regeneracija čeličnih zupčanika vrši se postavljanjem umetaka sa odgovarajućim brojem zubaca. Posle odrubljivanja ili odsecanja oštećenih zubaca, u obod se ukopa žleb dubine  $1/4 \div 1/2$  visine zupca, u obliku lastinog repa. Zatim se u njega postavi umetak, izrađen od čelika podudarnog materijalu zupčanika (slika 12). Umetak se učvršćuje na obodu, s boka, zavrtnjima ili elektro-lučnim zavarivanjem (slika 12a). Pri velikoj dužini umetak se učvršćuje s čela zavrtnjima ili vijcima (slika 12b i c). Pre početka re-

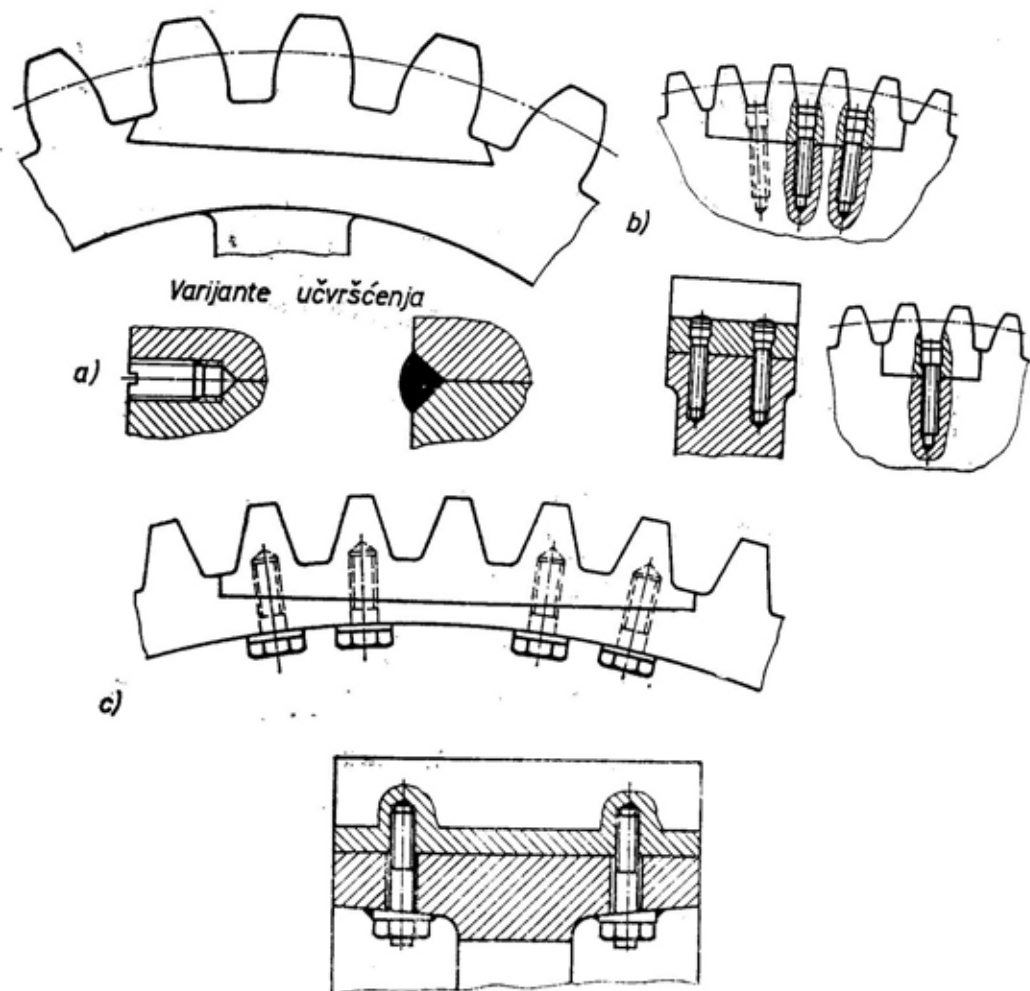


Sl. 11 — Regeneracija zubaca zupčanika pomoću dodatka



generacije obod zupčanika na mestu ukopavanja žleba treba otpustiti. Mesta koja ne podležu otpuštanju treba prekriti premazom.

Najsavremeniji način regeneracije oštećenih zubaca zupčanika jeste navarivanjem. Regeneracija dimenzija pohabanih zubaca čeličnih zupčanika vrši se



Sl. 12 — Metod regeneracije slomljenih zubaca zupčanika pomoću umetaka, koji su učvršćeni:

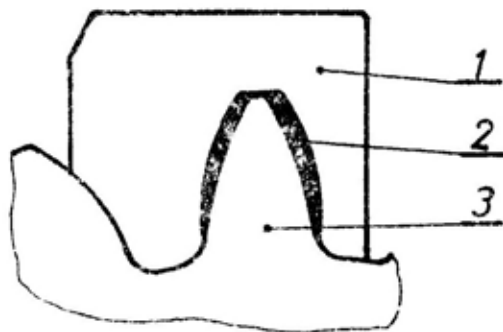
a — s boka zavrtnjima ili zavarivanjem, b — odozgo zavrtnjima i c — odozdo vijcima

[U poljskim uslovima, na sporohodnim prenosnicima izvodi se regeneracija zubaca zupčanika bravarskim metodom. To je uvrtnanje šipova ili pričvršćivanje umetaka sa narezanim zupcima. Očigledno je da su to samo privremena rešenja.

navarivanjem. Navarivanje može biti elektrolučno, ručno ili poluautomatsko, ili gasno, pomoću oksii-acetilenskog plamena. Elektrolučno navarivanje vrši se običnim zavarivačkim elektrodama ili specijalnim elektrodama za navarivanje sa debelom oblogom. Površina za nava-

rivanje se prethodno pripremi čišćenjem čeličnom četkom do metalnog sjaja. Elektrolučno navarivanje vrši se pri jačini struje od 150 do 250 A, u jednom sloju, čija debljina posle mehaničke obrade mora biti najmanje 1,5 mm. U navarenom sloju neophodno je ostaviti mali dodatak za čišćenje i obradu navarenog zupca. Oblik zupca se kontroliše šablonom. Pri navarivanju zubaca malih modula (do 5÷6 mm) ceo zupčanik se neprekidno zagreva toplom vodom.

Da bi se izbeglo bacanje zupčanika, navarivanje zubaca se ne vrši uzastopno (jedan za drugim), već svaki 5÷10 zubac. Radi izbegavanja bacanja (vitoperenja), zupčanik se potopi u vodu tako da nepotopljeno ostane samo mesto koje se navaruje. Ono se prekrije azbestnom trakom sa prorezom za navarivanje. Pored toga moguće je zagrevanje zupčanika do 200÷260°C. Posle navarivanja zupčanik se otpušta, zatim se vrši mehanička i termička obrada. Mehanička obrada se vrši na glodalicama ili rendisaljicama za izradu zupčanika. U nekim slučajevima, kada se ne zahteva velika tačnost, moguća je ručna obrada zubaca, turpijanjem ili ručnim električnim brusilicama.



Sl. 13 — Šema navarivanja zubaca zupčanika pomoću šablona:

1 — šablon, 2 — navareni sloj, 3 — regenerisani zupčanik

Za zupčanike sa malim modulom ( $m < 5$  mm) navarivanje posebnih zubaca zamenjuje se potpunim navarivanjem

zupčastog venca, koje se vrši po celom njegovom obimu. Zatim se na njemu narezuju zupci.

Pri regeneraciji zupčanika velikih modula poželjno je navariti zupce pomoću šablona, izrađenog od bakra ili mesinga (slika 13). Šablon sa regenerisanim zupcem obrazuje zatvorenu zapreminu koja se popunjava rastopljenim metalom. Da bi se zadržao korak između zubaca, šablon mora imati oslanjanje na susjedni zubac.

Ako je zupčanik ranije bio termički obrađen (kaljen), neophodno je kaliti i nove zupce. Oni se zagrevaju gasnim gorionikom do 750÷820°C. Susjedni zupci moraju pri tome biti premazani zaštitnim mazivom. Posle zagrevanja zupci se brzo hlade vodom i čiste abrazivnim točilom.

Zupčanici regenerisani navarivanjem otpuštaju se, mehanički obrađuju i termički dovode tvrdoću radnih površina zubaca do normi datih na crtežima ili u tehničkim uputstvima. Tvrdoća mora biti, za zupčanike izrađene od ugljeničnih čelika običnog kvaliteta (č. 0545, č. 0645) prosečno HRC 30÷45, a za zupčanike od kvalitetnih čelika HRC 45÷65. Regenerisane zupčanike, koji rade sa jednosmernim opterećenjem, svrsishodno je, ukoliko postoji mogućnost, montirati u mehanizme sa zaokretanjem za 180°. Tako bi se postiglo da regenerisane površine budu neradne, a površine zubaca sa nepromenjenom strukturom — radne.

Pri regeneraciji zupčanika izrađenog izjedna sa vratilom može biti primenjen metod regeneracije dela mašinskog elementa. Tada se na pripremljeno (struganjem, glodanjem i sl.) telo zupčanika (ili, bolje reći, vratilo) navuče polufabrikat ili novoizrađeni zupčasti venac u hladnom ili zagrejanom stanju. Taj polufabrikat zavaruje se po celoj čeonj površini za telo zupčanika. Dalje se obrađuje na zahtevane dimenzije i vrši narezivanje zubaca. Pri tome se pre regeneracije termički obrađeni zupčanici otpuštaju, radi olakšanja mehaničke

obrade. Posle presovanja, mehaničke obrade i narezivanja zubaca ponovo se kale.

Rotiranje mnogih sklopova vrši se pomoću cilindričnog zupčanika, spregnutog sa zupčastim vencem. Obično su to zupčasti venci velikih modula i velikih dimenzija. Primer za to je kupola na tenku. Ovakva sprega može raditi do habanja od 20% od prvobitne debljine zupca. Kada se habanje približi graničnom, elementi se šalju na regeneraciju navarivanjem. Da bi se izbeglo bacanje (vitoperenje) venca, treba ga zagrejati do temperature  $250\div 300^{\circ}\text{C}$ , a posle navarivanja lagano hladiti. Umesto zagrevanja moguće je venac potopiti u kadu sa vodom, tako da iznad njene površine ostane nekoliko zubaca. Posle navarivanja jedne grupe zubaca, venac se zaokreće u vodi i nastavlja navarivanje. Gornji sloj zubaca svrsishodno je navariti tvrdim legurama ili uvesti u topitelj elemente koji obrazuju karbide — hrom, molibden, volfram, titan. Posle navarivanja venac se proverava i ako je potrebno obrađuje na čeonom ili vertikalnom strugu i profil zubaca koriguje na mašini za obradu ozubljenja. Profil zubaca, navarenih tvrdim legurama, obrusi se abrazivnim tocilima, koja se dovode u pogon od elektromotora preko savitljivog vratila. Oblik zubaca proverava se prema šablonu.

Kada zupčasti venac ostaje u pogonu sa habanjem zubaca od 20%, s njim spregnuti zupčanik mehanizma za obrtanje svrsishodno je obraditi tako da profil zubaca odgovara povećanom međuzublju zupčastog venca.

Zupčaste letve se regenerišu navarivanjem pohabanih radnih površina zubaca i oslonih klizača (slika 14). Za navarivanje zupčastih letvi primenjuju se iste elektrode kao i pri navarivanju zubaca zupčanika. Posle navarivanja potrebna je obrada oslonih klizača na glodalicama ili brušenje tocilom. Navareni zupci se proveravaju šablonom.

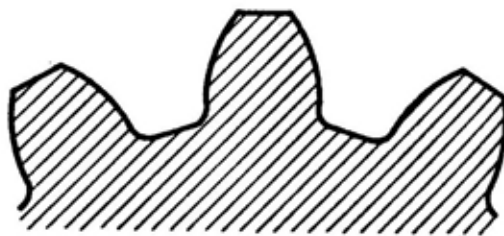


Sl. 14 — Regeneracija zupčaste letve navarivanjem

Ukoliko konstrukcija prenosnika to dozvoljava, pohabani zupci zupčanika mogu se regenerisati naknadnim korigovanjem. Korigovanje se vrši na račun smanjenja prečnika i, samim tim, međuosnog rastojanja.

### Metodi ojačanja zupčanika

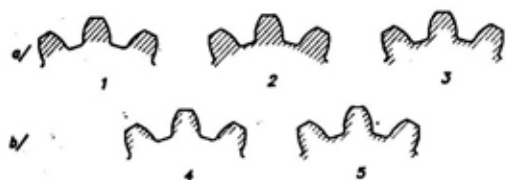
Za većinu zupčanika, a posebno za zupčanike koji prenose veliku snagu modula  $m=2,5\div 6$  mm, primenjuje se površinsko ojačanje zubaca. To ojačanje može biti: termičko (indukciono kaljenje) i hemijsko-termičko (cementacija sa kaljenjem i nitriranje). Normalizacija, žarenje i poboljšanje svuda se koriste za prethodnu termičku obradu zupčanika, koji se podvrgavaju površinskom ojačanju. Ove operacije izvode se radi povećanja mehaničkih karakteristika materijala zubaca i smanjenja velikih unutrašnjih napona.



Sl. 15 — Raspored zona ojačanja pri zapreminskom kaljenju

Zapreminsko kaljenje (u pećima ili u kadi sa rastvorom soli) primenjuje se za zupčanike koji su prošli cementaciju ili nitrocementaciju. Zapreminsko ojačanje koristi se veoma retko, kao po pravilu, za slabo opterećene zupčanike

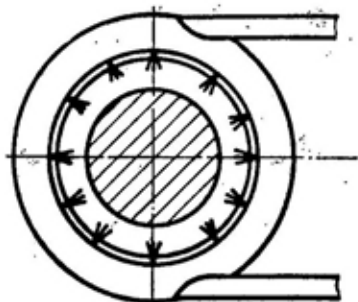
malih i velikih modula. Pri ovom metodu ojačana je cela zapremina zupčanika, kao što je prikazano na slici 15.



Sl. 16 — Raspored zona ojačanja pri indukcijom kaljenju:

a — prodorno kaljenje u prstenastom induktoru (jednovremeno), b — površinsko kaljenje u specijalnim induktorima (sukcesivno); 1 — nepotpuno, 2 — sa zahvatanjem dna međuzublja, 3 — čelik smanjene prokaljivosti, 4 — kaljenje radnih površina, 5 — konturno kaljenje

Indukciono kaljenje pri zagrevanju visokofrekventnim strujama se deli: po šemi zagrevanja zubaca u toku vremena (jednovremeno i sukcesivno) i prema karakteru rasporeda okaljenih zona u telu zupca (prodorno — nepotpuno i sa zahvatanjem dna međuzublja, konturno i po radnim površinama). Na slici 16 prikazane su različite varijante rasporeda zona ojačanja. Najprimenjeniji način je

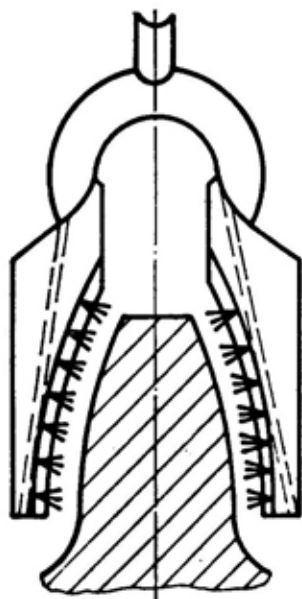


Sl. 17 — Sema indukcionog kaljenja sa prstenastim induktorom

jednovremeno kaljenje zupčastog venca sa prstenastim induktorom (slika 17), pogotovu za zupčanike sa modulom do 6 mm. Prednosti su: visoka produktivnost, male teškoće u radu, obezbeđenje

zadovoljavajuće otpornosti na habanje i kontaktne čvrstoće zubaca. Zahtevana savojna čvrstoća noge zubaca ne dostiže se skoro nikada.

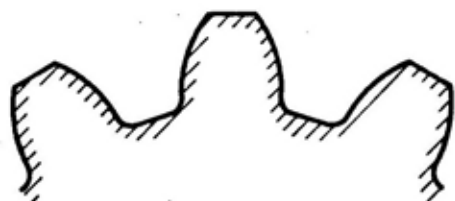
Sukcesivno kaljenje svakog zupca po radnim površinama, zagrevanjem u specijalnom induktoru (slika 18), primenjuje se obično za zupčanike sa modulom većim od 6÷7 mm i prečnikom većim od 300 mm, koji ne mogu biti zagrejani u prstenastom induktoru. Ovakav način kaljenja obezbeđuje zadovoljavajuću izdržljivost na habanje i kontaktnu čvrstoću radnih površina zubaca. Savojna čvrstoća je relativno niska i određena je mehaničkim karakteristikama neokaljenog materijala u zoni opasnog preseka zupca.



Sl. 18 — Sema indukcionog kaljenja sa konturnim induktorom

Cementacija sa kasnijim kaljenjem primenjuje se za najopterećenije zupčanike. Obezbeđuje visoku čvrstoću (zamor i udarnu) i otpornost na habanje zubaca. Efekat ojačanja zavisi od tvrdoće i debljine sloja, koncentracije ugljenika i zaostalog austenita, rasporeda karbidnih sastava u sloju, tvrdoće i

mikrostrukture jezgra. Temperatura cementacije je  $920 \div 950^{\circ}\text{C}$ . Površinska tvrdoća zubaca posle cementacije, kaljenja i otpuštanja nalazi se u granicama HRC  $56 \div 62$ . Dobijanju većih vrednosti teži se radi maksimalne otpornosti na habanje (pri odsustvu velikih dinamičkih preopterećenja), a manjih — radi dostizanja maksimalne zamorne i udarne čvrstoće (pri savijanju). Debljina cementacionog sloja kreće se u granicama od 0,4 do 1,8 mm. Koncentracija ugljenika u površinskom sloju je  $0,8 \div 1,1\%$ . Dobijanju kvalitetnog cementacionog sloja doprinosi korišćenje čelika koji sadrže, molibden i vanadijum, koji povećavaju prokaljivost, nisu skloni zasićivanju sloja ugljenikom i povećanju zaostalog austenita u njemu. Mikrostruktura površinskog sloja, za dobijanje optimalne čvrstoće zubaca, mora biti sitnozrnasta, jednorodna i da ne sadrži grube karbidne mrežice. Raspored zona ojačanja prikazan je na slici 19.



Sl. 19 — Raspored zona ojačanja pri hemijsko-termičkoj obradi (cementacija, nitrocementacija, nitriranje)

Tvrdoća jezgra zupca obično se nalazi u granicama HRC  $30 \div 40$  za zupčanike sa  $m = 2 \div 6$  mm i HRC  $27 \div 35$  za veće zupčanike. Za dobijanje optimalne tvrdoće jezgra pri cementaciji zupčanika sa većim modulom primenjuju se čelici sa većim sadržajem ugljenika (0,25%) i legirajućih elemenata, koji povećavaju prokaljivost.

Nitriranje se primenjuje radi ojačavanja zupčanika, prvenstveno kada je neophodno izbeći brušenje zubaca (zupčanici složene konfiguracije, sa unutrašnjim ozubljenjem, tankim obodom i sl.).

Istovremeno obezbeđuje neophodnu tačnost, a takođe i maksimalnu otpornost na habanje radnih površina zubaca. Nitriranje obezbeđuje visoku otpornost na habanje, što je vezano za stvaranje submikroskopskih čestica — nitrita u površinskom sloju, a takođe i zadovoljavajuću zamornu čvrstoću zubaca. Nedostatak procesa je njegova dužina i povećana osetljivost nitriranih zupčanika na preopterećenja udarnog karaktera usled krtosti sloja. Debljina sloja za zupčanike sa  $m \leq 6$  mm je 0,1 modul, a zupčanike sa  $m > 6$  mm je  $0,5 \div 0,6$  mm. Povećanje karakteristika čvrstoće nitriranih zupčanika velikog modula (u vezi sa smanjenjem relativne debljine sloja ojačanja) obezbeđuje se povećanjem tvrdoće jezgra zubaca.

U mašinskoj industriji je sve rasprostranjeniji proces gasne nitrocementacije zupčanika. On po osnovnim karakteristikama zauzima prelazni položaj između cementacije i nitriranja. Nitrocementirani zupčanici u poređenju sa cementiranim imaju veću otpornost na habanje i kontaktnu čvrstoću zubaca. Međutim, po zamornoj čvrstoći na savijanje, oni, kao po pravilu, zaostaju za cementiranim. Usled relativno malih deformacija pri obradi, nitrocementirani zupčanici u mnogim slučajevima mogu biti izrađeni bez primene brušenja zubaca. Tvrdoća nitrocementiranih površina zupčanika je HRC  $57 \div 60$ , tvrdoća jezgra zubaca HRC  $30 \div 38$  (pri  $m = 2 \div 5$  mm). Debljina sloja se uzima za nekoliko manja nego pri cementaciji, ali veća nego pri nitriranju  $\approx (0,13 \div 0,2)$  m. Temperatura nitrocementacije je  $820 \div 850^{\circ}\text{C}$ .

Pored termičkog i hemijsko-termičkog ojačanja, zupčanici se ojačavaju i plastičnim deformisanjem. Jedan od načina je valjanjem međuzublja, čije su radne površine okaljane, profilisanim valjcima. Ovako se povećava granica izdržljivosti za  $40 \div 55\%$ . To povećanje objašnjava se ojačanjem materijala zidova noge zupca i međuzublja i stvaranjem visokih zaostalih napona pritiska u toj zoni.

Ukoliko remontna preduzeća raspo-  
lažu mogućnostima, najsvrsishodnije je  
organizovati masovnu proizvodnju zup-  
čanika metodom vruće plastične defor-  
macije, ili takozvanim vrućim kova-  
njem. Ovim načinom skraćuje se odva-  
janje materijala tako što se zupci for-  
miraju na račun istiskivanja materijala  
iz međuzublja. Za  $40 \div 50\%$  povećava se  
njihova otpornost na habanje i produk-  
tivnost proizvodnje, jer se može istovre-  
meno iskivati  $8 \div 10$  zupčanika.

Koliko je značajno ojačanje zupča-  
nika najbolje pokazuju neki podaci do  
kojih se došlo ispitivanjima:

— zupčanici transportnih mašina,  
mašina alatki i drugih uređaja, koji ra-  
de na savijanje i sa velikim kontaktnim  
opterećenjima, površinski se kale i za-  
tim obrađuju valjanjem — imaju pove-  
ćani vek trajanja za  $8 \div 12$  puta, moć  
nošenja im se povećava za 1,5 put.

— pogonski i gonjeni zupčanici,  
ojačani cementacijom, imaju povećanu  
otpornost na habanje za  $2 \div 10$  puta i  
povećanje granice izdržljivosti za  $2 \div 3$   
puta,

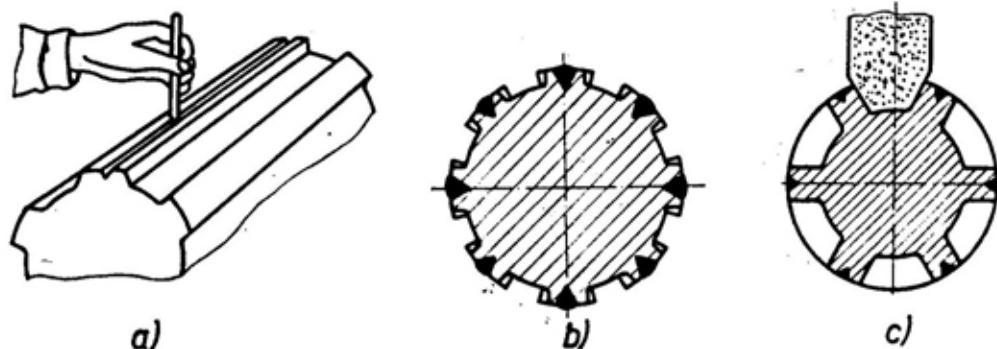
— mali pogonski zupčanici zupčastih  
prenosnika, ojačani nitrocementaci-  
jom, imaju povećanu otpornost na ha-  
banje za  $10 \div 15$  puta i povećanje gra-  
nice izdržljivosti za  $2 \div 4$  puta.

### Regeneracija ožlebljenih spojeva

Najčešća eksploataciona oštećenja  
na ožlebljenim delovima mašinskih ele-  
menata su: zadori, ogrebotine, habanje,  
prskotine, uvijenost i savijenost. Ovak-  
vim oštećenjima izloženi su vratila i  
osovine, kao i glavčine elemenata koji  
se navlače na njih (zupčanici, kaišnici,  
spojnice i dr.).

Oštećenja žlebova kao što su: uvije-  
nost, savijenost, zadori, ogrebotine i pr-  
skotine otkrivaju se vizuelnim meto-  
dom. Prskotine se otkrivaju posmatra-  
njem kroz lupu sa uvećanjem uz isto-  
vremeno udaranje čekićem. Na mestu  
gde postoje prskotine nastaje nejasan  
zvuk. Pored toga, prskotine se mogu ot-  
kriti, ukoliko konstrukcija i oblik ma-  
šinskog elementa to dozvoljavaju, me-  
todima magnetne ili ultrazvučne defek-  
toskopije ili prosvetljivanjem rendgen-  
skim zracima. Habanje se određuje me-  
todom tehničkog merenja.

Mašinski elementi čiji su ožleblje-  
ni delovi savijeni ili uvijeni se odbacu-  
ju. Isto se odnosi i na postojanje velikih  
prskotina. Mogu se regenerisati samo  
ograničene, neprolazne prskotine čija je  
dubina do  $15\%$  prečnika i dužina manja  
od  $10\%$  dužine ožlebljenog dela. U tak-  
vom slučaju prskotina se razdvoji do



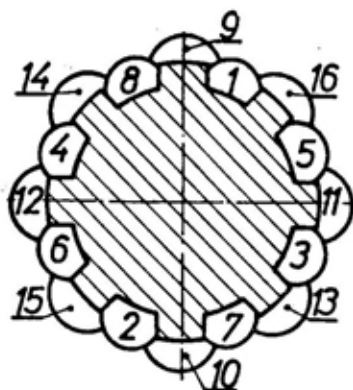
Sl. 20 — Regeneracija ožlebljenog dela vratila metodom razdvajanja

zdravog materijala, zatim se popuni navarivanjem (najčešće elektrolučnim), pa se otpusti i mehanički obradi.

Pohabanost radnih površina (to jest bočnih površina) ožlebljenih delova mašinskih elemenata najčešće je oštećenje ovih delova. Preciznim mernim instrumentima mere se debljina (širina) žleba i prečnik ožlebljenog dela. Ukoliko su mere manje (odnosno veće) od granično dopuštenih, mašinski element se označava za regeneraciju. Zavisno od eksploatacionih karakteristika i veličine habanja mašinskih elemenata, postoji više načina regeneracije metodom navarivanja.

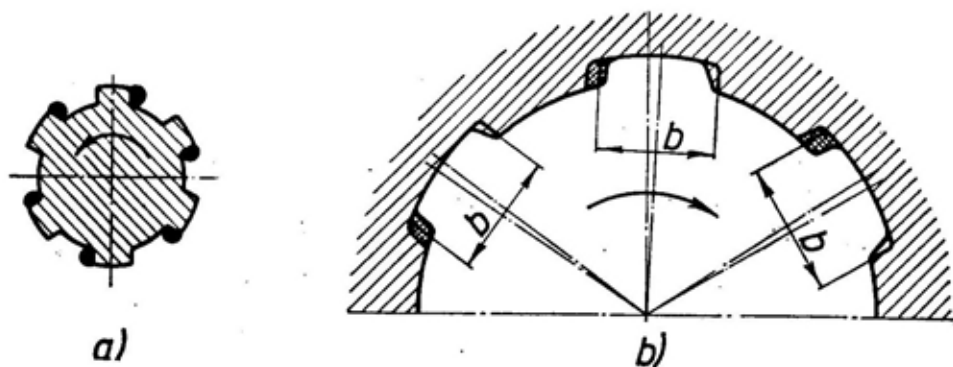
Pohabani žlebovi se mogu regenerisati pomoću njihovog razdvajanja. Tada se habanje spoljašnje površine kompenzira na račun smanjenja debljine zida. Regeneracija žlebova ovim metodom sastoji se u tome da se oni otpuštaju, a zatim se po sredini i po celoj dužini razdvajaju. Razdvajanje se vrši pomoću čekića i tupog sekača (slika 20a). Na taj način se bočne strane žleba šire za  $1,5 \div 2$  mm. Zatim se u stvorene proreze (šliceve) elektrolučno navaruje materijal, koji koriguje i ojačava radne površine žlebova (slika 20b). Na kraju se radne površine žlebova bruse na bruslici za ravno brušenje (slika 20c).

Ukoliko habanje radnih površina žlebova ne prelazi 0,8 mm i mašinski element se obrće samo u jednom smeru, regeneracija se može izvesti na jednostavniji način. U tom slučaju se na neradne strane žlebova navaruje sloj metala (slika 21a i b). Ožlebljeni deo se koriguje na glodalici na taj način što će na radnim stranama opet biti osnovni materijal, a ne navareni sloj.



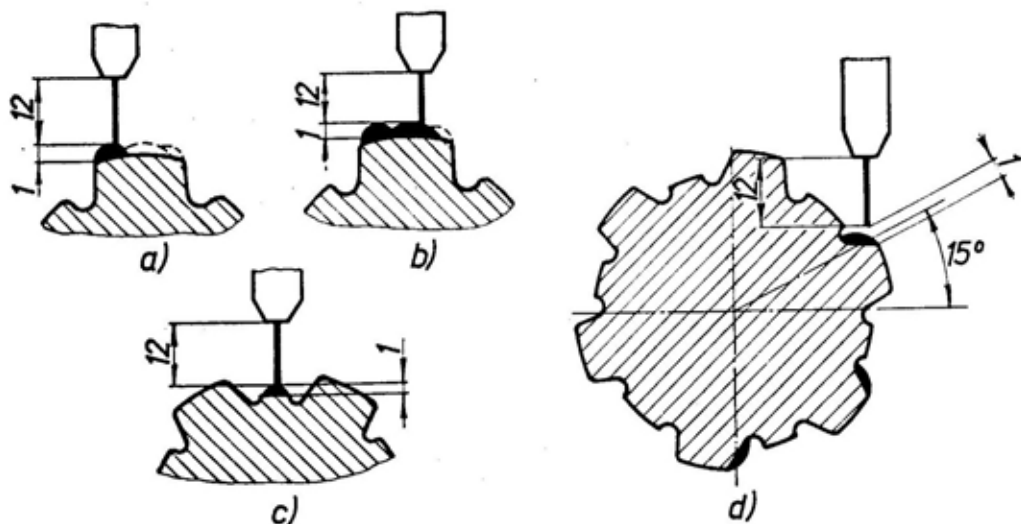
Sl. 22 — Redosled navarivanja u krug veoma oštećenog ožlebljenog dela vratila

Žlebove sa izdrobljenim stranama i prekomernim habanjem najkorisnije je navariti u krug i urezati nove žlebove. Radi sprečavanja deformacija elemen-



Sl. 21 — Regeneracija pohabanih ožlebljenih delova mašinskih elemenata koji se obrću u jednom smeru:

a — vratila (osovine), b — glavčine



Sl. 23 — Seme navarivanja žlebova i postavljanja elektrode:

a i b — navarivanje spoljne površine žleba, c — navarivanje unutrašnje površine žleba, d — navarivanje bočne površine žleba

ta, navarivanje treba vršiti prema redosledu datom brojevima na slici 22. Navarivanje je elektrolučno, ručno ili automatsko.

U praksi je čest slučaj ožlebljenih delova mašinskih elemenata koji imaju kanale i otvore. Pri regeneraciji takvih elemenata u kanale se uvrću (nabijaju) čelični čepovi, radi izbegavanja deformacija.

Pohabani ožlebljeni delovi vratila regenerišu se ručnim ili automatskim navarivanjem. Na slici 23 prikazane su šeme navarivanja ožlebljenih delova vratila metodom vibrolučnog navarivanja pod slojem topitelja. Režim navarivanja žicom prečnika 1 mm je: napon luka  $30 \div 32$  V, jačina struje  $80 \div 85$  A, brzina dovođenja žice 138 m/h.

Tvrdoća navarenog materijala kreće se u granicama od HB  $370 \div 450$ , zavisi od osnovnog materijala, vrste elektrode i topitelja, kvaliteta navarivanja i drugih faktora.

### Zaključak

Regeneracija zupčanika i ožlebljenih mašinskih elemenata zauzima veoma značajno mesto u remontnoj praksi. Ona ima veliku primenu pri remontu elemenata složene konfiguracije, čija je izrada skupa. Primena vrućih metoda regeneracije (navarivanje) znatno je češća od hladnih metoda. Pri izboru metoda regeneracije potrebno je izvršiti analizu pouzdanosti i racionalnosti metoda.

Regeneracijom se moraju povratiti izgubljene geometrijske mere i oblici, kvaliteti površina i druge eksploatacione karakteristike oštećenih zupčastih i ožlebljenih sprega. Istovremeno, mora se voditi računa o rentabilnosti izabranog postupka regeneracije. Sve to daje prednost regeneraciji zupčanika i ožlebljenih delova mašinskih elemenata navarivanjem, sa kasnijom mehaničkom i termičkom obradom.

Da bi se povratile mehaničke karakteristike regenerisanih elemenata, često se vrši njihova termička ili hemijsko-termička obrada.



Regeneracija zupčanika i ožlebljenih mašinskih elemenata, kao i drugih delova TMS ima izuzetan značaj u kriznim i ratnim uslovima, kada je proizvodnja novih delova otežana ili onemogućena. U takvim uslovima regeneracija može biti jedini izvor snabdevanja

rezervnim delovima i jedina mogućnost da se oštećena i neispravna TMS osposobe.

Zbog toga se izučavanju regeneracije i njenoj primeni mora posvetiti odgovarajuća pažnja.

#### Literatura:

- [1] Adam J. I., Ovumjan, G. G. Spravočnik zurboreza, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1964.
- [2] Arhangorodskij L. A., Tartakovskij M. A., Jacevič V. A.: Remont i montaž oborudovanija predprijatij po hraneniju i prerabotke zerna, »Kolosa«, Moskva, 1967.
- [3] Ašeko S. M., Klauz P. L., Sokolov K. A.: Remont stroiteljnih, putevih i pogruzočno-razgružočnih mašin, »Transport«, Moskva, 1967.
- [4] Banatov P. S.: Iznos i povišenije dolgovečnosti gornih mašin, »Nedra«, Moskva, 1970.
- [5] Veriga S.: Mašinski elementi III, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.
- [6] Vitas D. J., Trbojevič M. D.: Mašinski elementi III »Naučna knjiga«, Beograd, 1981.
- [7] Elizavetin M. A.: Povišenije nadežnosti mašin, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1973.
- [8] Elizavetin M. A., Satelj E. A.: Tehnologičeskiye sposobi povišenija dolgovečnosti mašin, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1969.
- [9] Ivanov M. N.: Detalji mašin, »Visšaja škola«, Moskva, 1967.
- [10] Iosilevič G. B.: Detalji mašin, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1988.
- [11] Kolb P. I.: Remont eskavatorov, »Nedra«, Moskva, 1967.
- [12] Kuzmin R. V.: Defektacija sudovih mehanizmov, »Transport«, Moskva, 1967.
- [13] Kuklin N. G., Kuklina, G. S.: Detalji mašin, »Visšaja škola«, Moskva, 1987.
- [14] Nantev G. G.: Tehničeskoe obsluživanje i remont avtomobiljnih kranov, »Transport«, Moskva, 1966.
- [15] Pinegin S. V.: Kontaktnaja pročnost i soprotivijenje kačeniju, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1969.
- [16] Proizvodstvo zubčatih koles (spravočnik), »Mašinstrojenje«, Moskva, 1990.
- [17] Rešetov D. N.: Detalji mašin, »Mašinstrojenje«, Moskva, 1989.
- [18] Savič Z.: Mašinski elementi, Mašinski fakultet, Beograd, 1974.
- [19] Tanasijevič S.: Osnovi tribologije mašinskih elemenata, »Naučna knjiga«, Beograd, 1989.
- [20] Forrest P. G.: Fatigue of metals, Pergamon press, Oxford — London — New York — Paris, 1962.



## prikazi iz inostranih časopisa

### MAGNETOHIDRODINAMIČKI POGON

Bez propelera koji bi im usporavali kretanje, brodovi i podmornice, čiji bi se pogon zasnivao na superprovodljivim elektromagnetima, mogli bi u bliskoj budućnosti savladivati mora i okeane neslučenom brzinom.

Prva probna vožnja japanskog eksperimentalnog brodića bez propelera *Jamato 1* juna 1992. godine mogla bi u istoriji pomorstva biti od istog značaja kao i prva vožnja parobroda *Klermon* Roberta Fultona 1807. godine ili prvo putovanje nuklearne podmornice *Nautilus* 1955. godine. Nova tehnologija pogona plovila bez propelera mogla bi im obezbediti gotovo nečujnu i mnogo bržu plovidbu nego što su svi dosadašnji sistemi pogona to mogli da učine. Međutim, na toj novoj tehnologiji, koja je eksperimentalnom japanskom brodiću *Jamato 1* omogućila zasada najveću brzinu od svega 6 čvorova (ili 13 km/č), pomorski stručnjaci će još mnogo imati da rade pre nego što postane konkurent plovilima koja se kreću na sadašnje sisteme pogona.

#### *Sistem magnetohidrodinamičkog pogona*

Eksperimentalni brodić *Jamato 1* je za svoje kretanje po vodi, umesto

propelera ili brodskih točkova, koristio mlaz vode koje je stvarao sistem magnetohidrodinamičkog pogona, ili skraćeno *MHD* (*Magnetohydrodynamic propulsion system-MHD*). Tehnologija *MHD* se zasniva na fundamentalnom zakonu elektromagnetizma: kada se magnetsko polje i električna struja presecaju u tečnosti njihovo odbojno uzajamno dejstvo potiskuju tečnost u pravcu upravnom na to polje i struju.

U slučaju brodića *Jamato 1* tečnost je predstavljala morska voda, koja provodi elektricitet jer u sebi ima soli. Oblik donje strane brodskog korita usmeravao je i uvlačio morsku vodu u dva potisna cilindra sistema *MHD*, koji su se nalazili na donjim i bočnim stranama korita.

U unutrašnjosti svakog potisnog cilindra morska voda je ulazila kroz šest identičnih cevi koje su bile postavljene u krug, po sličnom sistemu kao što se cevi u krug postavljaju oko raketnih motora. Oko svake od tih cevi, čiji je prečnik iznosio 25,4 cm, bila je navučena

na košuljica od superprovodljivih magnetskih kalemova u kojima su žice bile napravljene od legure niobijuma i titanijuma, a jezgro i spoljni omotač od bakra. Tečni helijum, čija je temperatura iznosila minus 269 stepeni Celzijusovih, što je bilo blizu apsolutnoj nuli, hladio je magnetske kalemove, držeći ih, tako, u stanju superprovodljivosti u kojem se protoku elektriciteta ne pojavljuje gotovo nikakav otpor.

Elektricitet koji protiče kroz magnetske kalemove stvara u cevima u potisnim cilindrima snažno magnetsko polje. Kada električna struja protiče između para elektroda u svakoj cevi voda se u njima snažno potiskuje i izbacuje unazad, stvarajući tako brodu potisak za kretanje unapred.

Sistem magnetohidrodinamičkog pogona ima nekoliko prednosti u odnosu na konvencionalne sisteme pogona. Najznačajnija od tih prednosti ogleda se u tome što brodovima i podmornicama omogućava da se kreću velikim brzinama. Neki od vizionara-stručnjaka smatraju da bi te brzine mogle biti i do stotinu čvorova na sat, ili preko 210 km/č, dok drugi, realniji stručnjaci smatraju da su te procene veoma optimističke.

Kensaku Imaiči, profesor na Univerzitetu Osaka u Japanu i ključna figura u projektu *Jamato 1*, smatra da bi tek tehnologija 21. veka mogla omogućiti brzine od 40 i 50 čvorova na sat, ili od 85 do 107 km/č. Brzine bi, po njemu, mogle biti i veće kada bi se pronašli otporniji materijali za brodski trup i kada bi se postigla veća stabilnost broda na vodi.

Brzinu brodova sa pogonom na propeler ograničava fenomen poznat kao kavitacija. Kada propeler počne suviše brzo da se okreće ispred njegovih lopatica se obrazuje region niskog pritiska koji dovodi do isparavanja vode. Ovo ne samo što smanjuje efikasnost broda, već može i da uništi propelere.

Druga velika prednost sistema pogona MHD je njegova nečujnost. »Pošto

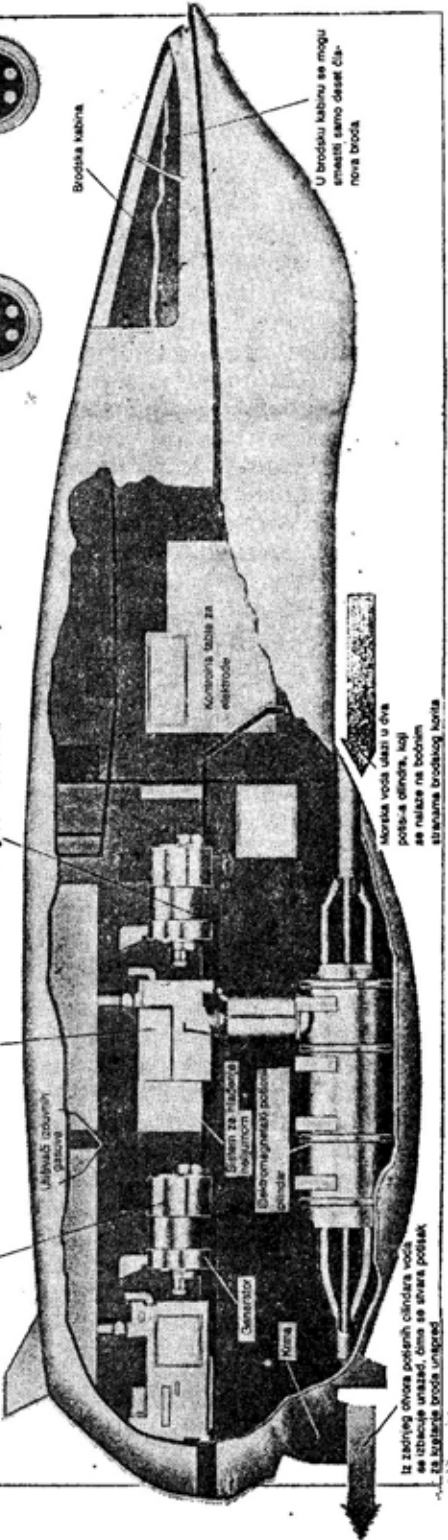
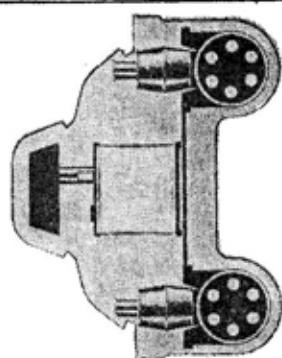
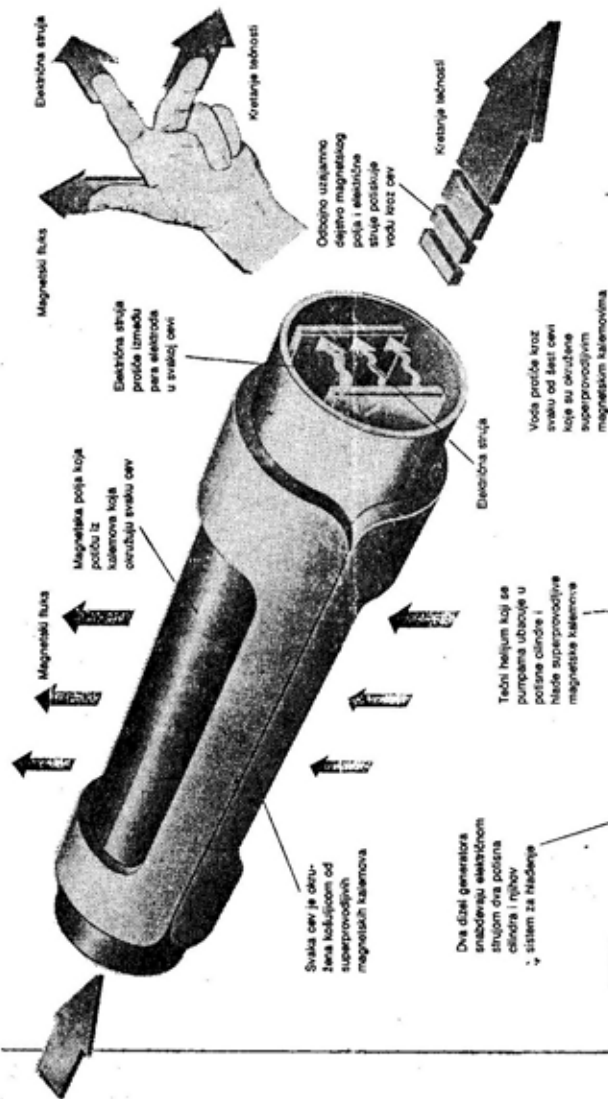
nema više buke od propelera, to nema više ni buke koju stvara fenomen kavitacije«, kaže Seizo Motora, profesor na Univerzitetu u Tokiju i šef naučne komisije za projektovanje trupa brodića *Jamato 1*. Vojnotehnički stručnjaci koji u mnogim zemljama rade na projektovanju nečujnih podmornica, najviše su i zainteresovani za nečujnost sistema pogona MHD.

Pošto u sistemu pogona MHD ne postoje nikakvi pokretni delovi, on ne samo što je nečujan i bez vibracija, već ga je i mnogo lakše tehnički održavati nego konvencionalne sisteme pogona. A pošto više nema potrebe ni za pogonskom osovinom koja motore spaja sa propelerima to konstruktori brodova mogu da eksperimentišu i projektuju nove i bolje oblike brodskog trupa. U tom pogledu oni su već počeli da projektuju velike teretne podmornice čiji bi oblik bio sličan savremenim mlaznim avionima ili takozvanim katamaran-brodovima.

#### *Podvodni transport u budućnosti*

Prvenstveni cilj konzorcijuma Brodska i okeanska fondacija (Ship and Ocean Foundation), koja izvodi projekt eksperimentalnog brodića *Jamato 1* bio je da se pokrene iz mrtvila japanska industrija brodogradnje. Pomenuta fondacija je u prvu fazu eksperimenta sa brodićem *Jamato 1* uložila preko 40 miliona američkih dolara, ali su i druge velike japanske korporacije, kao što su Tošiba, Kobe Stil, Sumitomo Električar, Micubiši i druge pokazale spremnost da finansiraju dalje eksperimente sa pomenutim brodićem.

Čitava ova grupacija jakih industrijskih korporacija želi, u stvari, da izgradi veliku flotu brzih i ekonomičnih trgovačkih podmornica, jer u njima vide budućnost prekomorskog transporta roba. Takvim transportom (pod morem) oni žele da izbegnu sve one atmosferske i druge teškoće i nevolje (bure, oluje, veliki talasi i dr.) koje se dešavaju na



površini mora. Pored toga, oni namera-  
vaju za transport putnika između mno-  
gobrojnih japanskih ostrva da sagrađe  
flotu manjih podmornica.

### Razvoj ideje o sistemu pogona MHD

Ideju o sistemu magnetohidrodina-  
mičkog pogona izneli su još početkom  
šezdesetih godina američki naučnici,  
među kojima je glavni pobornik bio  
Sjuart Vej, iz Vestinghauzovog istraži-  
vačkog centra (*Westinghouse Research  
Center*). On je uspeo da napravi manji  
model podmornice, ali je na njoj upo-  
trebio obične magnete koji nisu bili u  
stanju da proizvedu jaka elektromag-  
netska polja.

Do jednog Vejovog izveštaja došao  
je 1968. godine japanski naučnik Joširo  
Sadži, sa Univerziteta za pomorsku tr-  
govinu u Koebu (*Kobe Mercantile Ma-  
rine University*). Njegova specijalnost  
je bila kriogenika (grana fizike koja se  
bavi vrlo niskim temperaturama) i bilo  
mu je poznato da se tečnim helijumom  
izvesni materijali mogu učiniti super-  
provodljivim. On je tečnim helijumom  
hladio određene legure do njihove kri-  
tične temperature — do temperature na  
kojoj električni otpor u njima nestaje.

Sadži je shvatio da se jako magnet-  
sko polje, potrebno za povećanje efikas-  
nosti sistema pogona MHD, može stvo-  
riti samo superprovodljivim kalemovi-  
ma. Pet godina je proveo na teoretskim  
proračunima da bi sa praktičnim ekspe-  
rimentima počeo 1973. godine. Sadži je  
sa grupom saradnika uspeo 1978. godine  
da napravi model broda sa sistemom po-  
gona MHD, ali se kao jedini problem  
pojavilo to da brod nije hteo da plovi  
pravo, već je stalno skretao sa pravca.

Model broda je bio dugačak 1,5 me-  
tar dok su superprovodljivi kalem i ele-  
ktrode bili smešteni u jednoj kutiji u  
obliku peraja koje je iz dna broskog  
korita izvirivalo pravo nadole. U tak-  
vom rasporedu kalema i elektroda elek-  
tromagnetsko polje nije obuhvatalo cev

kroz koju se voda potiskivala unazad,  
već se rasipalo u otvorenu vodu ispod  
broda. To se nazivalo sistem eksternog  
elektromagnetskog polja i u njemu je  
ležao čitav problem.

Zemljin magnetizam je povećavao  
jačinu magnetskog polja na jednoj stra-  
ni dok ga je smanjivao na drugoj strani  
peraja, stvarajući veću silu potiska na  
jednoj, a manju na drugoj strani modela  
broda zbog čega nije mogao ni držati  
pravac kretanja. Sadži je zatim izgradio  
veći model broda i da bi izbegao uticaj  
zemljinog magnetskog polja superpro-  
vodljivi kalem i elektrode postavio je  
horizontalno na ravan deo broskog ko-  
rita. Taj veći model broda uspeo je da  
održava pravac kretanja i da postigne  
brzinu od oko jednog metra u sekundi.

### Razrada projekta Jamato 1

Sadžijevi radovi na sistemu pogona  
MHD privukli su pažnju bogatog indu-  
strijalca Sasakave koji je stajao na čelu  
pomenute brodske i okeanske fondacije.  
On je prikupio grupu naučnika sa Ken-  
saku Imaičijem na čelu, kojoj je dao za-  
datak da dalje razradi i poboljša sistem  
pogona MHD. Grupa naučnika je počela  
sa radom 1985. godine i već na samom  
početku se odlučila da umesto ekster-  
nog primeni sistem internog magnet-  
skog polja. Naučnici su se, naime, bojali  
da bi nekontrolisana magnetska polja  
koja su se javljala iz sistema eksternog  
magnetskog polja mogla uticati na dru-  
ge brodove i pomorsku sredinu.

Grupa naučnika je prvo napravila  
jedan potisni cilindar sa jednom cevi  
oko koje su postavili superprovodljivi  
kalem, ali se to pokazalo da je davalo  
nedovoljnu snagu za pokretanje broda,  
pa su napravili dva potisna cilindra i u  
svakom po šest cevi sa superprovodlji-  
vim kalemom. Sve su to smestili u eks-  
perimentalni brodić *Jamato 1* sa kojim  
su, onda, počela laboratorijska ispitiva-  
nja. Posle sedam godina ispitivanja, is-

pravljjanja grešaka i nedostataka i doterivanja brodić *Jamato 1* je bio spreman za prvu probnu plovidbu na otvorenom moru.

### *Rezultati probe i izgledi za budućnost*

Kada su japanski naučnici smestili potisne cilindre, sistem za hlađenje i dva dizel generatora od 2000 kilovata svaki u trup brodića *Jamato 1* ispalo je ukupno 143 tone, ili oko 70 procenata ukupnog deplasmana broda od 204 tona. Za upoređenje valja istaći da sistem pogona kod današnjih prekookeanskih teretnih brodova zauzima manje od 10 procenata brodskog deplasmana. Maksimalna efikasnost koju je brodić *Jamato 1* pokazao na probnim vožnjama bila je manja od 4 procenta, dok se maksimalna efikasnost kod današnjih komercijalnih brodova kreće od 22 procenta za hidrokrilce do 60 procenata za klasične teretne brodove.

Grupa japanskih naučnika je zaključila da bi sistem pogona MHD postao efikasan i praktičan za korišćenje, na njemu bi magneti morali da budu mnogo lakši i snažniji. Magnetski kalemi na brodiću *Jamato 1* stvaraju maksimalno magnetsko polje od četiri jedinice tesla, a naučnik Imaiči smatra da bi se za dve decenije mogli napraviti magneti koji bi stvarali magnetsko polje od 30 jedinica tesla, čime bi se postigla efikasnost broda od 22 do 23 procenta.

Veliko poboljšanje bi se, po mišljenju Imaičija, moglo postići upotrebom helijuma koji superprovodljive kalemove može ohladiti do temperature od 1,8 stepeni Kelvina (minus 271,4 stepena Celzijusova), čime bi se povećala jačina magnetskog polja. Žice od legure niobijuma i kalaja u kalemovima takođe bi povećale jačinu magnetskog polja, ali je od te legure mnogo teže napraviti žicu za kalemove nego od legure niobijuma i titanijuma. Dalje, poboljšanja bi se mogla postići i upotrebom novih keramičkih superprovodljivih materijala,

koji su i po težini za dve trećine lakši od sadašnjih metalnih. Što je još značajnije, keramički materijali postaju superprovodljivi već na 77 stepeni Kelvina (minus 191,2 stepena Celzijusova), pa se ne moraju hladiti tečnim helijumom, već tečnim azotom, koji je mnogo jeftiniji i lakši za rukovanje.

Uzimajući sva ova poboljšanja u obzir Imaiči i njegovi saradnici smatraju da bi se krajnja efikasnost sistema pogona MHD mogla povećati na 50 procenata, što približno odgovara efikasnosti današnjih klasičnih teretnih brodova. Nadajući se da će nove tehnologije i novi superprovodljivi materijali omogućiti pogonskom sistemu MHD da postane konkurent postojećim pogonskim sistemima, uz veće brzine i nečujnost plovidbe, japanski naučnici pokazuju spremnost da pristupe izgradnji druge generacije brodova sa MHD pogonom.

(Popular Science, novembar 1992.)

M. Đurić

---

## **APACHE TAKTIČKI KRSTAREĆI PROJEKTIL VAZDUH-ZEMLJA**

APACHE (Apaš) je taktički krstareći projektil vazduh — zemlja lansiran sa aviona van dometa PVO sistema (koji bi mogao da ugrozi avion) i jedina je vrsta naoružanja ovog tipa koji se razvija u Evropi. Ugovor o razvoju ovog naoružanja sklopili su u septembru 1989. Francuski DGA (Delegation pour l'Armement). Matra Defense (prvi ugovarač) i Aerospatiale kao kooperant u programu APAS. Ovaj projektil treba da bude osnova za buduću grupu projektila ispaljenih van dometa PVO sistema koje bi bile primenljive na više različitih tipova aviona.

\* Prema podacima iz: Military Technology — MILTECH — 5/92.

Razvoj ovakvih projektila za zemlje NATO-a ima dugačku istoriju. Nekoliko projektila je rađeno radi definisanja opšteoperacionalnih i tehničkih mogućnosti za razvoj i izradu navigacije i kasetne municije. Posebno je značajan projekat VS-zrna MSOW (Modular stand-off Weapon), započet u 1987. godini sa Kanadom, Španijom, Francuskom, Italijom, Nemačkom i Velikom Britanijom, koji je naglo završen prethodnim probnim evropskim kooperativnim programom. U 1988. Francuska i Kanada napustile su program MSOW koji je nakon toga potpuno propao. Odlučeno je da se stečeno korisno iskustvo primeni na nacionalne programe i da se počne sa programom APACHE. Značajan faktor ovakve odluke bio je novi sistem kojim se nameravalo dokazati da je novo oružje postavljeno na lovački avion RAFALE isto tako ubojito i efikasno kao konvencionalno oružje (za napad) kod MIRAGE-2000. APACHE je, takođe, deo opreme, a ugrađuje se na nemačke avione TORNADO.

### Opšta operativna razmatranja

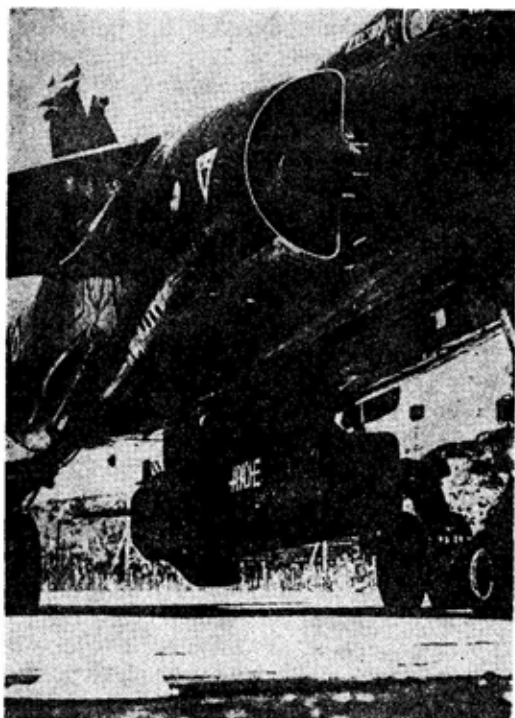
Projekat APACHE namenjen je za napade na aerodrome, komande i centre za prikupljanje i obradu informacija, lansiranih rampi projektila zemlja—zemlja i zemlja—vazduh, industrijskih postrojenja, komunikacija i neprijateljeve žive sile. Pošto su navedeni ciljevi obično branjeni PVO sistemima, čija je efikasnost velika i stalno se povećava, mogućnost iznenadnih udara je znatno smanjena. U skoroj budućnosti napad aviona iz vazduha kod dobro organizovanih PVO sistema neće moći da se izvede bez velikih gubitaka. To je jedan od glavnih razloga interesovanja (razvoja) za stand off sisteme koji treba da omogući lansiranje projektila (APACHE) sa distance, van dometa PVO za avion). Granica ove sigurne zone danas je najmanje oko 50 km.

Nakon odvajanja veza od aviona putanja projektila ima tri faze:

I faza: projektil dostiže »početnu tačku« čije su geografske koordinate unete u računar pre lansiranja. Međutim, putanja leta do početne tačke ne mora biti uneta u računar, već pilot može da izabere trenutak i lansira projektil zavisno od taktičke situacije;

II faza: projektil prati programirani kurs od početka do tačke gde počinje udarna faza. Postoji i mogućnost unošenja novih podataka u računar (preprogramiranja) ako se imaju nove informacije o PVO sistemima neprijatelja. Povremeno projektil upoređuje trenutno stanje (kurs) sa zadatim stanjem;

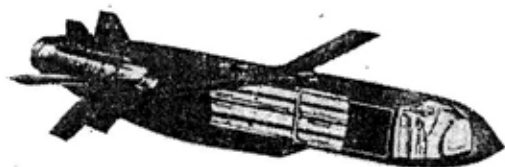
III faza: u završnoj fazi projektil leti optimalnom putanjom do cilja. Cilj se identifikuje i eventualno koriguje njegova pozicija.



Sl. 1 — APACHE taktički krstareći projektil podvešen na avionu MIRAGE F1CR

Imajući u vidu različitu prirodu ciljeva koji se napadaju (prostorni, tačkasti, do zaštićenih ciljeva), projektil

mora imati više različitih kasetnih bojnih glava (KBG). Bombe, mine i rakete u kasetnoj bojnoj glavi sa razbacivačem mogu biti različitih namena. Prototip je ispitivan sa novom generacijom francuskih bombi za pravljenje levkova u aerodromskim pistama sa istim dejstvom kao sa mnogom većim bombama.



Sl. 2 — Projektil APACHE delimičan presek

Tačna fiksirana pozicija i identifikacija cilja, takođe, zahteva odgovarajuće senzore u internom sistemu vođenja. Ponekad nije dovoljna tačnost putanje samo praćenjem reljefa na dužim letovima. Tačnost pogađanja biće bolja sa boljom navigacijom, naročito sa mogućnošću povremene provere pozicije projektila sa zadatom i eventualne korekcije leta.

### Apache sistem

APACHE (Arme Planante A Charges Ejectables, klizeće oružje sa kasetnom bojnom glavom sa više raketa manjeg kalibra, odnosno bombi, mina, aerosolnih bombi) može se primeniti na više različitih tipova ciljeva i danju i noću pod svim vremenskim uslovima u opsegu do 150 km. Projektil je konstruisan tako da leti nisko prateći reljef terena, tako da ga je teško otkriti radarom. Projektil je zasnovan na modularnoj konfiguraciji, tako da može da zadovolji više rešenja optimalnih za različite akcije.

Projektil APACHE je dug 5,10 m i sastoji se od 4 dela:

- nosnog (80 kg);
- repnog (270 kg);

- oklopnog (180 kg), i
- kontejnera sa punjenjem (740—770 kg).

Ukupna masa je između 1200 i 1230 kg, uključujući i 95 kg goriva.

Prednji konus sadrži sistem vođenja i navigacije, uglavnom od elektronske opreme. APACHE projektil može biti napunjen inertnom podlogom koja periodično upoređuje kombinaciju radarske slike i korektora puta, tj, površinsku i visinsku korelaciju (odnose).



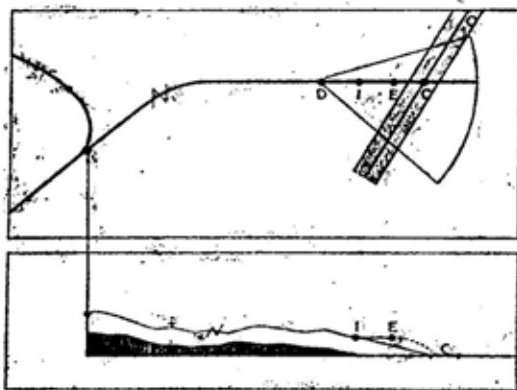
Sl. 3 — Dejstvo projektila APACHE na aerodromsku pistu

Površinska korelacija obavlja se poređenjem programiranog radarskog signala određenih tačaka duž trajektorije (putanje) sa stvarnim likom opažene tačke tokom leta, a odgovarajući softver omogućava raketi da ustanovi gde se stvarno nalazi i odnos prema traženoj putanji. Isti princip koristi se za identifikaciju cilja u završnoj fazi leta. Visoka korelacija zasniva se na korišćenju podataka i iz inertne platforme (koja daje nivo i približnu poziciju) i korektora puta radi utvrđivanja pozicije projektila. Zahvaljujući kombinaciji senzora i sistema. APACHE projektil može kontrolisati i korigovati poziciju više puta duž trajektorije do cilja, koristeći referentni radarski lik tačaka, kao i digitalnu mapu koja pokriva trajektoriju i koja je uneta u memoriju računara pre lansiranja.

Alternativno rešenje treba da se realizuje na NAVSTAR GPS (opšti pozicioni sistem) satelitske navigacije i po-



kazivanja pozicije. Time se izbegava potreba za navigacionim podacima koji se upisuju u memoriju računara projektila pre lansiranja. Primena NAVSTAR GPS na APACHE projektil je vrlo verovatna mogućnost.



Sl. 4 — Sa udaljenosti od 50 km od cilja APACHE se ispaljuje i nakon toga prati relief terena pre prelaska na proveru, identifikaciju i napada na cilj

D — detekcija cilja; I — identifikacija piste; E — tačka izbacivanja punjenja iz kontejnera projektila; C — mesto dejstva na cilj

Repni deo sastoji se od krilnih stabilizatora, sistema za otvaranje sa dva vertikalna stabilizatora (kormilo), turbomlaznog motora i rezervoara goriva.

Oklop projektila obuhvata vezu sa nosačem na avionu, nosače krila i kućište autuatora, kao i zaštitni uređaj za razvijanje krila.

Projektil APACHE ima nekoliko različitih tipova kontejnera za različite vrste punjenja i rasturanja koji se mogu koristiti. Zavisno od tipa punjenja, kontejneri su projektovani za izbacivanje sa obe strane ili aksijalno. Svi su modularni i zamenljivi, dok broj punjenja (bombi, mina i raketa) zavisi od

uloge, veličine i zahteva akcije. Može se koristiti širok opseg specijalizovanih punjenja koja se i dalje usavršavaju. Posebno su zapažena punjenja MIMOSA (opšte upotrebe) i KRIS (razorna). U razvoju su, trenutno, VELIFER GIE, KRIS zasnovan na Matrinjoj razornoj bombi DURANDAL (više od 15.000 prodato u 19 zemalja, uključujući i USA) i ARCOLE protivoklopna bomba. KRIS ima odličnu prodornu moć i mogućnost pravljenja kratera, kao i bomba DURANDAL. Projektil APACHE može primiti 10 KRIS (dve serije od po 5 raketa). Drugi tipovi punjenja su trenutno u projektu, proučavanju i koncipiranju konačne faze. U projektu su protivoklopni model mine TGSM i ACADIE, kao i mine MAGRA.

Matra Defense, koja proučava i razvija stand-off razbacivače od 1980. godine, smatra da će APACHE biti najsavremeniji projektil vazduh—zemlja u svojoj generaciji i moći će se upotrebiti širom sveta. Sistem je napravljen da bude kompatibilan sa savremenim borbennim avionima sadašnje i buduće generacije (MIRAGE 2000, RAFALE, MIRAGE FICR i CT, TORNADO, F-16, F-15E, F/A-18, F-4) i biće u mogućnosti da 1995. zadovolji borbene zahteve mnogih vazduhoplovnih snaga (ovi zahtevi su posledica iskustva u zalivskom ratu).

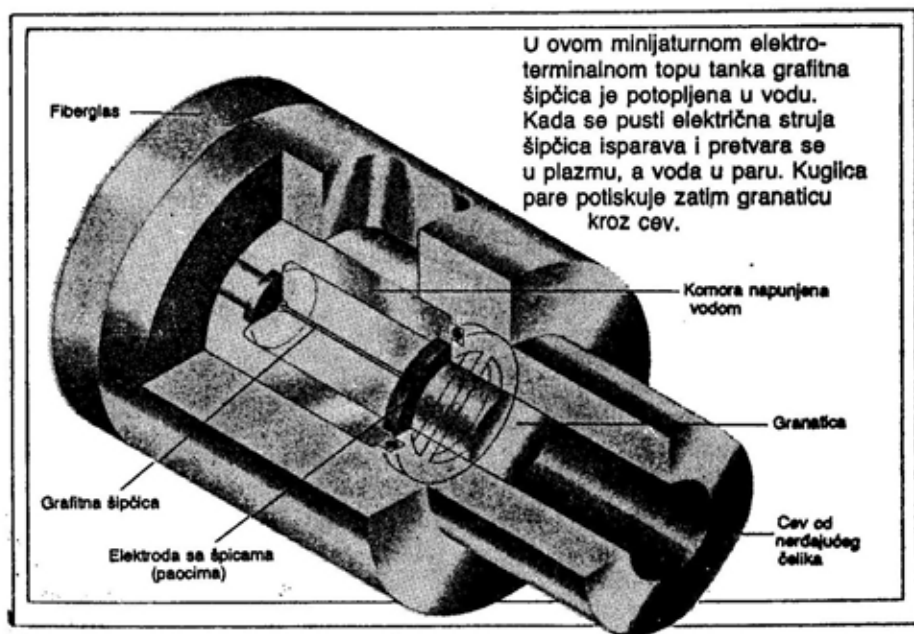
Sarađuje se sa nekoliko zemalja, naročito sa Nemačkom. Posle propasti multinacionalnog MSOW programa, nemačko vazduhoplovstvo je definisalo MAW (Modulare Abstand Waffe) zahteve i proučavanje preorijentisalo u moguće stapanje sa programom APACHE. APACHE je zapažen kao vodeći u porodici taktičkih krstarećih projektila koja treba da potvrdi međunarodne kooperacione programe.

# tehničke novosti i zanimljivosti

## Top na elektrotermalni pogon

Klasična artiljerijska oruđa koja granate izbacuju trenutnim sagorevanjem, odnosno eksplozijom barutnog punjenja nisu, po oceni američkih vojno-tehničkih stručnjaka, pogodna za izbacivanje savremenih i složenih grana-

ta u kojima priličan prostor zauzimaju elektronski uređaji za njihovo samona-vođenje na cilj. Iz tog razloga naučnici i vojnotehnički stručnjaci u Nacionalnoj laboratoriji Los Alamos u Novom Meksiku (Los Alamos National Laboratory) istražuju i eksperimentišu sa svim novim tipom artiljerijskih oruđa na elektrotermalni pogon.



Oni su u tom cilju izradili jedan mali model elektrotermalnog topa čija cev ima dužinu od svega deset santimetara. U zadnjaku cevi postoji komora u koju se smešta tanka grafitna šipčica oko koje se onda uliva voda da ispuni čitavu komoru. U grafitnu šipčicu se zatim dovodi električna struja od 4000 volti, čijim dejstvom grafitna šipčica u komori isparava i pretvara se na temperaturi od 11.650 stepeni Celzijusovih u plazmu dok se voda pretvara u kuglicu pare koja malu granaticu potiskuje kroz cev.

Prednost elektrotermalnog pogona ogleda se u tome što se sagorevanje šipčice i vode u komori može tačno kontrolisati. Ovo kontrolisano sagorevanje ne samo što pojednostavljuje konstrukciju topa i granate, već se takvim kontrolisanim sagorevanjem dobija i veća kinetička energija, što znači da granata na ustima cevi postiže i veću brzinu. Pri sagorevanju grafitne šipčice i vode u komori se stvara pritisak od 14.000 kilograma na kvadratni santimetar.

Šef grupe naučnika i vojnotehničkih stručnjaka, Harold Dejvis, fizičar za fiziku visoko-energetske gustine u laboratoriji Los Alamos, napominje da su oni prvo napravili model elektrotermalnog topa u istoj razmeri normalnog klasičnog topa, ali kada su na opitnom poligonu počeli sa njim eksperimente on je počeo sasvim nepredviđeno da se ponaša. Zbog toga su morali da naprave drugi model takvog topa, sasvim minijaturnih dimenzija, i da uz pomoć laboratorijskih uređaja obave na njemu sva potrebna bazična istraživanja, kako bi bolje razumeli fizičke procese koji se tu odvijaju. »Pomoću X-zraka posmatrali smo granične pojave koje se dešavaju između plazme i tečnosti na tako visokim pritiscima i temperaturama. Ti snimci su nam otkrili da se u graničnom pojasu između plazme i tečnosti pojavljuje određena nestabilnost, pa ćemo

konstrukciju topa morati nešto izmeniti kako bi tu nestabilnost otklonili«, kaže fizičar Dejvis.

(Popular Science, avgust 1993.)

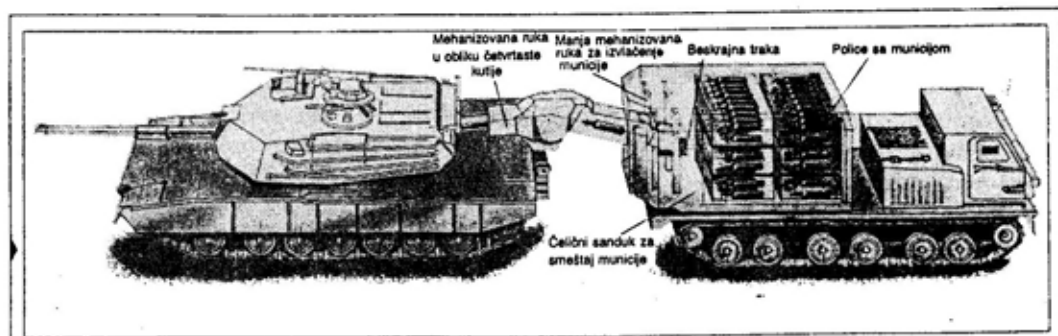
M. Đurić

## Automatizovano prebacivanje municije

Dosadašnji način prebacivanja municije iz snabdevačkih vozila u tenkove bio je prilično spor, zamoran i rizičan jer su vojnici iz vozila i članovi tenkovske posade morali municiju prebacivati rukama, pri čemu su često na bojištu bili izloženi protivničkoj vatri.

Da bi pomenuti postupak učinila bržim, lakšim i bezbednijim Nacionalna laboratorija u Ouk Ridžu (Oak Ridge National Laboratory) u Tenesiju razradila je postupak za automatizovano prebacivanje municije tako da je jedan postojeći tip guseničarskog oklopnog vozila preuredila i snabdela ga potrebnim uređajima. Na zadnji deo vozila stručnjaci su postavili poveći čelični sanduk u koji su smestili police sa municijom i mehanizovane ruke, dizalice i beskrajnne trake za automatizovano prebacivanje municije iz vozila u tenk. Vozilo se svojim zadnjim delom približi tenku i svoju mehanizovanu ruku u obliku četvrtaste cevi, u kojoj je smeštena beskrajna traka, spoji sa kupolom tenka. Jedna manja mehanizovana ruka u sanduku vozila izvlači municiju iz police, podiže je i smešta na beskrajnju traku, da bi je zatim prenela u kupolu tenka. U samoj kupoli tenka poseban mehanizam takođe automatski prihvata municiju i smešta je u određena ležišta.

Pri ovakvom prebacivanju municije posada tenka i poslužiocu snabdevačkog vozila nemaju potrebe da se nalaze izvan vozila i tenka i da eventualno budu izloženi protivničkoj vatri. Celu opera-



ciju prebacivanja municije kontroliše računar kojim komanduje jedan operator u snabdevačkom vozilu.

Komanda kopnene vojske američke armije planira da ovaj sistem snabdevanja municijom oklopnih jedinica na bojištu uvede kao standardni postupak sa sledećom generacijom tenkova, što po svoj prilici neće biti tako brzo.

(Popular Science, februar 1993.)

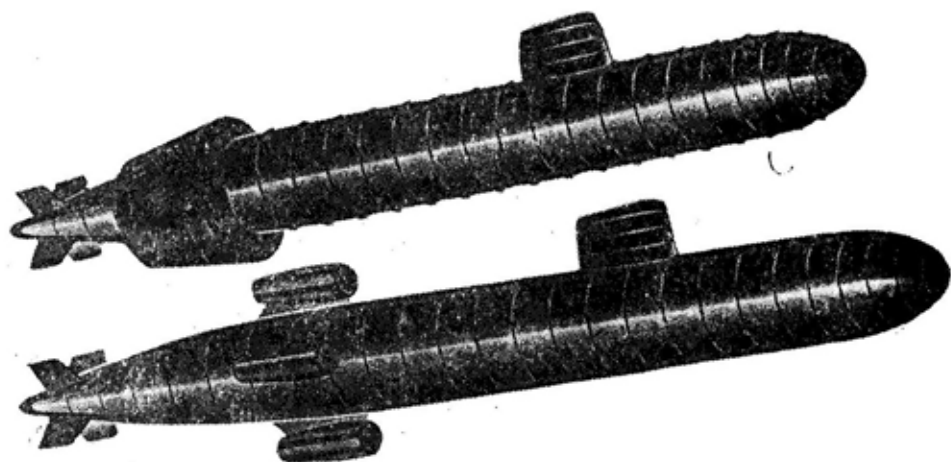
M. Đurić

## Američke nečujne podmornice

Iako se za američke naučnike može reći da su prvi pristupili istraživanju sistema magnetohidrodinamičkog pogo-

na još početkom šezdesetih godina, za njihova današnja istraživanja u toj oblasti može se reći da su gotovo u stanju mirovanja. Neki od istraživačkih centara, kao na primer Nacionalna laboratorija Argon (Argonne National Laboratory) u Illinoisu, uspela je u međuvremenu da izgradi superprovodljivi magnet dužine 7 metara koji je stvarao trideset hiljada puta jače magnetsko polje od Zemljinog i koji je potiskivao vodu kroz cev prečnika 46 cm.

Iako je pomenuti superprovodljivi magnet bio nekoliko puta jači i efikasniji od onog koji je bio upotrebljen na japanskom eksperimentalnom brodiću *Jamato 1*, efikasnost broda na koji je bio postavljen ovaj magnet bila je svega 10 procenata. Jedan od razloga je i velika težina magneta — 180 tona. Drugi razlog je što se u priobalnim američkim vodama javljaju velike količine sla-



tke vode, tako da električna struja između elektroda u cevi nije bila onoliko efikasna kao u slanoj vodi.

Pomorsko-tehnički stručnjaci u laboratorijama američke ratne mornarice vršili su, takođe, istraživanja sistema pogona MHD, ali samo na omanjim modelima podmornica. Oni su razradili dva tipa superprovodljivih magneta: jedan sa većim brojem potisnih cilindara postavljenih u krug oko podmornici i drugi sa jednim potisnim cilindrom u obliku prstena. Zaključili su da je potisni cilindar u obliku prstena efikasniji.

Međutim, od ovih istražnih radova se nije zasada krenulo dalje, jer pomorski komandanti koji odlučuju o ovim stvarima nisu pokazali veće interesovanje za gradnju podmornica po ovom sistemu navodeći da, s jedne strane, nemaju dovoljno novaca za dalja istraživanja a, sa druge, da takve podmornice i ne bi bile baš mnogo efikasne jer ih protivnik, iako su nečujne, po jakom magnetskom polju i po tragu hlora koji za sobom ostavljaju (stvara se elektrolizom morske vode) može lako otkriti.

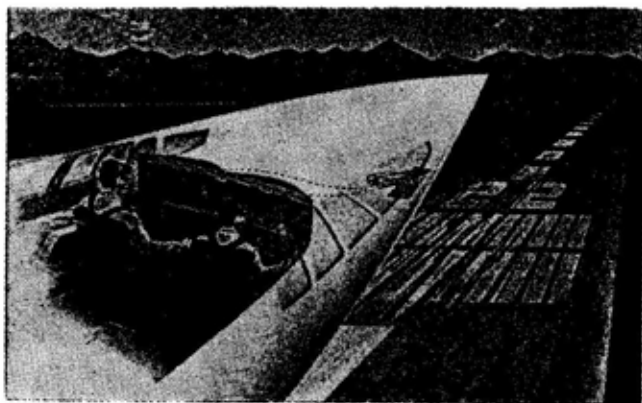
(Popular Science, novembar 1992.)

M. Đurić

## Pilotske kabine bez prozora

Piloti američkog ratnog vazduhoplovstva nisu za vreme rata »Pustinjska oluja« mogli u većini slučajeva koristiti konvencionalne uređaje za spuštanje svojih aviona na aerodrome u lošim vremenskim uslovima. Većina vojnih aviona nije poletala i sletala na postojeće aerodrome, opremljene uređajima potrebnim za »slepo sletanje«, već na privremene i pomoćne aerodrome na kojima takvi uređaji nisu postojali.

Da bi otklonili ovaj nedostatak piloti vojnih aviona bili su opremljeni specijalnim kamerama na infracrvenu svetlost koja im je omogućavala da i po magli, kroz oblake i noću sleću na piste tih aerodroma. Pomenutu kameru sa senzorima na infracrvenu svetlost, ekran koji je bio postavljen ispred pilota i na koji su se prikazivali podaci o svemu što su senzori videli kroz maglu, oblake i noću i čitav postupak poletanja i sletanja u lošim vremenskim uslovima razradila je Merilenska laboratorija za razvoj u Grinbeltu (Maryland Advanced Development Laboratory) specijalno za potrebe američkog ratnog vazduhoplovstva i njeno dejstvo u operaciji »Pustinjska oluja«. Ove uređaje i postupak



američko civilno i sportsko vazduhoplovstvo nije smelo ranije da koristi, ali je i njemu, posle upornih zahteva, najzad dozvoljeno njihovo korišćenje.

Posle veoma uspešne primene pomenutih uređaja i postupka u Zalivskom ratu Merilenska laboratorija nije ostala jedina firma zainteresovana za dalju primenu i usavršavanje ovih uređaja i postupka. U rad na njihovom usavršavanju uključio se i Lenglijev istraživački centar agencije NASA u Hemp-tonu (*NASA's Langley Research center*) i to posebno za buduće nadzvučne putničke i borbene avione. Umesto spuštanja kljuna aviona nadole kako bi što bolje osmotrili sletnu pistu, što danas

rade piloti francuskog putničkog aviona »Konkord«, stručnjaci ove firme predviđaju da će njihovi novi uređaji sa snopom infracrvene svetlosti i radarskim snopom milimetarske talasne dužine omogućiti pilotima budućih putničkih i borbenih aviona potpuno bezbedno »slepo« letenje, poletanje i sletanje i to pod najlošijim atmosferskim uslovima. Oni čak predviđaju da na pilotskim kabinama budućih aviona, opremljenih ovakvim uređajima, neće biti potrebni ni prozori.

(Popular Science, septembar 1993.)

M. Đurić

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Birčaninova 5  
Telefoni: 645-020 i 656-122, lokali: 22-584 i 22-788  
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

## NARUDŽBENICA

Preplaćujem(o) se na časopise za period od 1. januara do 30. juna 1994. godine, i to:

kompleta

1. VOJNO DELO (opštevojni, teorijski časopis) izlazi dvomesečno. Polugodišnja pretplata: 8,00 n. dinara .....
2. NOVI GLASNIK (vojno-stručni intervidovski časopis VJ) izlazi dvomesečno, u koloru sa posebnim dodatkom uz svaki broj. Polugodišnja pretplata: 21,00 n. dinara .....
3. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Polugodišnja pretplata: 8,00 n. dinara .....
4. VOJNOISTORIJSKI GLASNIK (časopis Vojnoistorijskog instituta) izlazi četvromesečno. Polugodišnja pretplata: 8,00 n. dinara .....



Broj primeraka časopisa koji naručujete upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5, 11002 Beograd. Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioći uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun: 40823-849-0-2393 (sa naznakom za koji časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenu.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Časopis slati na adresu:

Kupac .....  
(prezime i ime, naziv ustanove i broj telefona)

Mesto ..... ul. .... br. ....

Dana ..... 1994. godine

M. P.

.....  
Potpis naručioca

## Uputstvo saradnicima

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 redova.

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 stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. 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 cibrzaca (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



**LIKOVNO-TEHNIČKI UREDNIK**

Slobodan Mihailović

**LEKTOR**

Dobrila Miletić, prof.

**KORICE**

Mihajlo Stankić, dipl. inž.

**KOREKTOR**

Anđelija Kosanović

**SEKRETAR REDAKCIJE**

Branka Stojakov  
(telefon 656-122 lokal 23-156)