

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I



NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA  
„VOJSKA“

## NACELNIK

Pukovnik  
STANOJE JOVANOVIĆ

## UREDIVAČKI ODBOR

General-major  
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)

General-major  
dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika)

General-major  
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major  
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-major  
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.

Pukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

Pukovnik  
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik  
MILAN UZELAC, dipl. inž.

Potpukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

●  
GLAVNI I ODGOVORNI  
UREDNIK

Pukovnik  
Miroslav Čojbašić, dipl. inž.  
(tel. 846-277, 23-59-133 ili 33-133)

Urednik  
Potpukovnik  
Stevan Josifović, dipl. inž.  
(tel. 23-59-323 ili 33-323)

Sekretar redakcije  
Zora Pavličević  
(tel. 23-59-258 ili 33-258)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5.  
Pretplata 645-020 i 22-584, žiro-račun: NIU  
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)  
40823-849-0-2393 Beograd. Polugodišnja  
pretplata 25,00 dinara. Rukopisi se ne  
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —  
Beograd, Generala Zdanova 40 b.

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

# 1



## SADRŽAJ

<b>Dr Radovan Maksić,</b> pukovnik, dipl. inž.	5	Neke mogućnosti optimizacije u sistemu elektroenergetskog obezbeđenja
<b>Mr Dušan Korolija,</b> major, dipl. inž.	15	Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja
<b>Mr Petar Stanojević,</b> kapetan I klase, dipl. inž. <b>Slobodan Ilić,</b> kapetan, dipl. inž.	23	Model ocene uspešnosti sistema održavanja
<b>Mr Radenko Dimitrijević,</b> major, dipl. inž. <b>Dr Radun Jeremić,</b> potpukovnik, dipl. inž.	37	Ispitivanje nekih detonacionih osobina malodimnih baruta
<b>Dr Milan Novaković,</b> dipl. inž.	50	Impuls eksplozivnog punjenja pri kontaktnoj detonaciji
<b>Mr Zoran Ristić,</b> pukovnik, dipl. inž.	63	Kočeno kretanje mase pomoću hidraulične kočnice
<b>Mr Lazar Petrović,</b> pukovnik, dipl. inž.	70	Uticaj elektromagnetnog zračenja na bezbednost prenosa i obrade informacija
<b>Mr Milovan Unković,</b> dipl. inž.	77	Automatizovano određivanje greške linearnosti testerastog napona i napona rampe
<b>Dr Slavko Tomović,</b> dipl. inž.	85	Prognoziranje stanja tehničkih proizvoda korišćenjem linije regresije i koeficijenta varijacije
<b>Dr Vitomir Miladinović,</b> profesor, dipl. inž.	95	Organizacija ručnog pretovara u vojnom transportu
<b>Dr Dragutin Jovanović,</b> potpukovnik, dipl. inž.	102	Koncepcija razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije do 2010. godine — prikaz sa stručnog skupa —

## PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

105	Višecevni raketni bacač GRAD — P.M.
107	Mogućnosti minobacača — V.R.
111	Rotacioni rovokopač BTM-4M TUNDRA — P.M.

- 114 Informacioni sistem održavanja KoV Francuske — M.S.
- 116 Avionska kasetna ubojna sredstva (dispenseri) koja se odbacuju van dometa protivničke PVO — P.M.
- 120 Raketni protivtorpedni sistem za zaštitu brodova — P.M.
- 124 Kompleksni trenadžeri za obuku posada oklopnih borbenih vozila — P.M.

**Dr Radovan Maksić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## NEKE MOGUĆNOSTI OPTIMIZACIJE U SISTEMU ELEKTROENERGETSKOG OBEZBEĐENJA

UDC: 621.311.1:519.863

### Rezime:

*U procesima snabdevanja potrošača električnom energijom i održavanja energetskih tehničkih sredstava jedinica u miru i ratu javljaju se specifični problemi vezani za elektroenergetsko obezbeđenje. Sistemskom analizom dobijaju se parametri za projektovanje, za obezbeđenje uslova za obuku, život i rad u miru, kao i za izvršavanje zadataka u borbenim dejstvima. Primena metoda operacionih istraživanja sastavni je deo analiza, projektovanja i planiranja elektroenergetskog obezbeđenja.*

*Ključne reči: elektroenergetsko obezbeđenje, logistika, operaciona istraživanja, borbeno dejstva.*

### SOME POSSIBILITIES FOR OPTIMISATION IN AN ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM

#### Summary:

*Tools for providing electric power to all consumers and all electric equipment as well as maintenance of those tools give rise to specific problems in processes of the electric power supply to all military units both in peace and war time. A set has been obtained during the system analysis of parameters necessary for a design at highest level, for providing a needed conditions for successful electric power supply in training, living and working in peace as well as for performing all tasks in combat circumstances. The application of operational research methods is an essential and a necessary part of any analysis, design and planing of electric power supply.*

*Key words: electric power supply, logistics, operational research, combat operation*

### Uvod

Realizacija elektroenergetskog obezbeđenja u sistemu tehničkog obezbeđenja odvija se kroz procese planiranja, nabavke, popune, rukovanja i raspolaganja, kao i procese održavanja elektroenergetskih tehničkih sredstava. Upravni i izvršni organi tehničke službe VJ nosioci su i izvršioci elektroenergetskog obezbeđenja jedinica i ustanova u miru, mobilizaciji i ratu. Područje funkcionisanja elektroenergetskog obezbeđenja obuhvata niz radnji i pos-

tupaka od postavke organizacije, propisivanja kriterijuma, normativa, tehnologije i drugih normativno-regulativnih propisa, koji se obavljaju na najvišem nivou do obezbeđenja neovsnog korisnika-potrošača električne energije.

Propisivanje, organizacija i sprovođenje elektroenergetskog obezbeđenja vezani su za taktičke, tehničke i materijalne nosioce. Na ovom nivou, pored ostalog, realizuju se zadaci snabdevanja i održavanja, materijalno-finansijskog poslovanja, određivanja for-

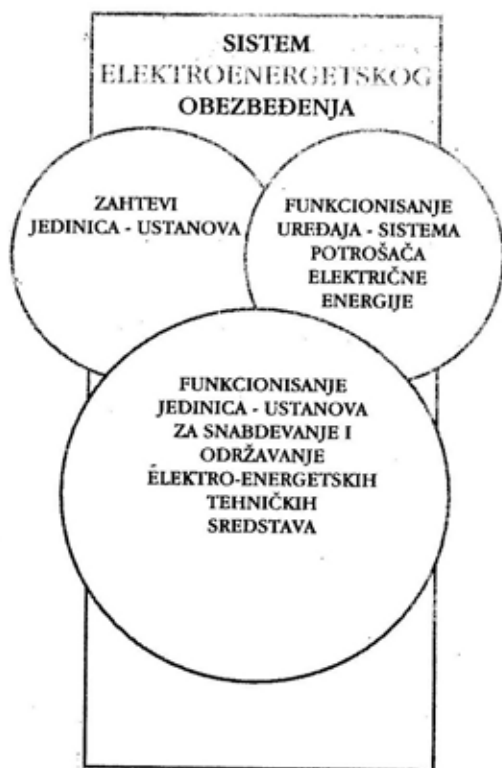
macije, planiranja školovanja i obuke kadra za elektroenergetsko obezbeđenje, itd. Ovi poslovi su prostor na kojem je danas već nužan rad uz primenu metoda operacionih istraživanja i savremene informatičke tehnologije. Određivanje organizacijsko-formacijskih struktura, planovi priprema i funkcionisanja sistema u ratu jesu područja na kojima se vrše zahvati na optimizaciji, pri svakoj većoj promeni stanja okruženja.

Sistemskom analizom utvrđuju se ključni problemi u elektroenergetskom obezbeđenju i nalaze rešenja, pa se preduzimaju zahvati za optimizacije u sistemu tehničkog obezbeđenja. Na osnovu sistemske analize izrađuju se modeli (matematički, simulacioni, hibridni, itd.) za potrebe istraživanja i odlučivanja zasnovanog na rezultatima primene naučnih metoda. Projektovanje, izgradnja i ocena uspešnosti informacionih i ekspertnih sistema u oblasti elektroenergetskog obezbeđenja se, takođe, zasniva na rezultatima sistemske analize. Jedan od prvih koraka u analizi jeste sagledavanje uslova u kojima sistem funkcioniše.

### Uslovi za realizaciju elektroenergetskog obezbeđenja

Ako se elektroenergetsko obezbeđenje posmatra kao sistem (podsystem sistema tehničkog obezbeđenja), odnosno celokupan kompleks elemenata u interakciji i jedinstvu sa okruženjem, moguće je analizirati karakteristične uslove u kojima se realizuju zadaci ovog sistema. Karakteristični uslovi delovanja odnose se na jedinice — ustanove Vojske Jugoslavije — korisnike, sisteme — uređaje kao neposredne potrošače električne energije i na jedinice — ustanove za snabdevanje i održavanje elektroenergetskih tehničkih sredstava. Ilustracija sistema elektroenergetskog obezbeđenja sa okruženjem prikazana je na slici 1.

U miru se u jedinicama i ustanovama VJ realizuju zadaci obuke i priprema za rat, pa se električna energija o-



Sl. 1 — Dijagram toka određivanja parametara sistema elektroenergetskog obezbeđenja

bezbeđuje iz energetskog sistema zemlje, osim u posebnim uslovima (izvođenje združenih taktičkih vežbi, kada su jedinice autonomne itd.). U okviru sistema tehničkog obezbeđenja obezbeđuju se uslovi za elektroenergetsko obezbeđenje u mobilizaciji i borbenim dejstvima. Radi određivanja potrebnih resursa (nužan i dovoljan broj tehnoloških elemenata, ljudi za izvršavanje poslova, rezervi hemijskih izvora struje, itd.) u sistemu, posebno se moraju analizirati uslovi u kojima se realizuje elektroenergetsko obezbeđenje za vreme izvođenja borbenih dejstava. Za utvrđivanje karakteristika organizacije



sistema tehničkog obezbeđenja, u pod-sistemu elektroenergetskog obezbeđenja, jedinice — ustanove koje realizuju zadatke u borbenim dejstvima treba da analiziraju:

— karakteristike organizacije sistema uslovljene oblikom borbe u kojem jedinice treba obezbeđivati električnom energijom (pretežno frontalni ili kombinovani oblik, itd.);

— karakteristike uslovljene vidom borbenih dejstava (napad, odbrana, dejstva sa savlađivanjem vodenih prepreka, itd.);

— karakteristike uslovljene ambijentom u kojem se izvode borbena dejstva (manevarsko zemljište, naseljena mesta, planinsko, ravničasto, itd.);

— karakteristike uslovljene vremenom (trajanje dejstava, meteorološki uslovi, itd.),

— karakteristike uslovljene načinom upotrebe — namenom jedinice (mesto u borbenom rasporedu, karakteristični zadaci, osnovna namena).

Izrađeni planovi operacije — boja mogući su izvor podataka za sprovođenje analize, radi dobijanja pokazatelja za utvrđivanje karakteristika elektroenergetskog obezbeđenja sa aspekta osnovnih operativno-taktičkih elemenata.

Funkcionisanje TMS kao potrošača električne energije moguće je posmatrati kroz:

— autonomiju rada sistema i sredstava u karakterističnom režimu i uslovima funkcionisanja,

— kvalitet i količinu potrošača, — karakteristike izvora za napajanje sistema — uređaja električnom energijom koje se odnose, pre svega, na kvalitet izvora i količinu izvora za napajanje po vrstama — tipovima,

— obučenosť kadra i neposrednih rukovalaca potrošača i izvora,

— temperaturne uslove rada sistema — uređaja,

— prioritete u elektroenergetskom obezbeđenju po sistemima i sredstvima i jedinicama u borbenim dejstvima.

Mogući izvori podataka za analizu funkcionisanja TMS, kao potrošača električne energije, jesu uputstva za TMS (opis, rukovanje i održavanje TU-1 i TU-2), materijalne formacije jedinica — ustanova, kriterijumi i normativi sledovanja, itd.

Funkcionisanje izvršnih organa tehničke službe treba analizirati preko tokova informacija i materijala značajnih za elektroenergetsko obezbeđenje. Od operativno-taktičkih parametara za analizu su značajni:

— raspored elemenata tehničkog snabdevanja i tehničkog održavanja u borbenom rasporedu jedinice za karakteristična borbena dejstva,

— premeštanje elemenata tehničkog obezbeđenja (tehničkog snabdevanja i održavanja) po vremenu i prostoru tokom realizacije karakterističnih zadataka u borbenim dejstvima,

— vremena trajanja dotura i evakuacije (matematičko očekivanje) elektroenergetskih sredstava po karakterističnim elementima borbenog rasporeda, itd.

Sva karakteristična dejstva i funkcionisanje jedinica i ustanova potrošača električne energije, uređaja i sistema i izvršnih organa tehničke službe, pri realizaciji zadataka elektroenergetskog obezbeđenja u borbenim dejstvima, treba posmatrati u međusobnoj interakciji.

### **Određivanje potrebne električne energije**

Rezultati sistemske analize predstavljaju ulazni skup podataka za rešenje problema elektroenergetskog obezbeđenja u miru i borbenim dejstvima. Za potrebe rešavanja obezbeđenja električnom energijom u miru (npr. objekata za održavanje, skladišta, kasar-

ne, itd.) postoje razrađeni postupci koji su opisani u literaturi. Kad je u pitanju proračun potrošnje električne energije za infrastrukturu stacionarnih objekata za održavanje i proizvodnju, za radne napone 380/220 V, 50 Hz, u literaturi [1] se daje model proračuna snage za pogonske transformatore, za ventilaciju i za osvetljenje radnih mesta.

Aktivna snaga niskog napona pogonskih transformatora određuje se prema izrazu:

$$P_a = \Sigma P_{ugr} \cdot K_s \quad (1)$$

gde je:

$P_a$  — aktivna snaga pogonskih transformatora,

$P_{ugr}$  — snaga ugrađenih potrošača,

$K_s$  — koeficijent neravnomernosti potražnje (usled neravnomernog opterećenja po snazi i vremenu i zbog nejednakosti rada).

Pri tome su preporuke za vrednosti koeficijenta  $K_s$  date u tabeli 1, a grube ocene energetske potreba za neke pogone i specifične potrošače za duži vremenski period (bar godinu dana) u tabeli 2.

Tabela 1

Vrednosti koeficijenta neravnomernosti potražnje električne energije u stacionarnim objektima

Vrsta potrošača	Vrednost $K_s$
Mašine alatljike za skidanje strugotine	0,20 — 0,25
Peći za kaljenje, kade za zagrevanje i uređaji za termičku obradu	0,60
Visokofrekventni uređaji	0,30
Uređaji za opstrujavanje, ventilatori	0,70 — 0,75
Električni i elektronski instrumenti	0,30

Tabela 2

Procena energetske potreba u pogonima

Pogon	Procena potrošnje po ugrađenoj mašini [kWh]
Pogon šasijske za kamione	10 — 11
Pogon izrade mehaničkih prenosnika snage	8,5 — 10
Montaža automobila	7,5 — 10
Pogon za elektroinstalaciju	0,4 — 0,6

Pri projektovanju treba uzeti u obzir budući porast potreba za snagom transformatora:

$$\Sigma P_a = (\Sigma P'_a + \Sigma P_b \cdot K_s) \cdot K_{pp} \quad (2)$$

$$\Sigma P'_a = P_{ugp} \cdot S \cdot K_S \quad (3)$$

gde je:

$P_b$  [kW] — snaga ugrađenih ventilatora pogonjenih električnom energijom,

$P_{ugp}$  — procenjena srednja snaga po ugrađenoj mašini (prema tabeli 2),

$K_{pp}$  — koeficijent porasta energetske potreba (kreće se od 1,25 do 1,30),

$S$  — broj ugrađenih potrošača.

Za električnu energiju ventilatora  $W_e$  [kWh] koristi se obrazac:

$$W_e = 8800 \cdot \Sigma N_e \quad (4)$$

gde je:

$N_e$  [kW] — ugrađena snaga ventilatora sa električnim pogonom,

8800 — koeficijent dobijen na osnovu broja časova i uslova rada.

Godišnje potrebe električne energije za mašinske pogone, proizvodni

park i ventilatore u pogonima računaju se po izrazu:

$$W = \Sigma P'_a \cdot F + W_e \quad (5)$$

gde je:

F — fond časova rada (4015 za rad u dve smene).

Za osvetljenje radnih mesta potrebna je električna energija:

$$W_{osv} = \frac{2,26}{K_o} (32,5N_o + 37,7R) + 6,2R \text{ [kWh]} \quad (6)$$

gde je:

$K_o$  — koeficijent uticaja prirodnog osvetljenja (0,5—0,9),

$N_o$  [m<sup>2</sup>] — zbir površina koje treba osvetljivati,

R — broj radnika u pogonu.

Numeričke vrednosti (2,26; 32,5; 37,7 i 6,2) dobijene su na osnovu normi koje su propisane standardima za osvetljenja radnih mesta.

Kad se razmatraju potrebe za energijom na terenu (na vežbama, u borbenim dejstvima), uzimaju se u obzir uticajni elementi u zavisnosti od uslova u kojima se energija troši. Prema literaturi [2] treba uzeti u obzir osnovne taktičke elemente, elemente tehničkog obezbeđenja i izvršiti proračun potreba za električnom energijom.

### Model za izradu bilansa električne energije jedinica u terenskim uslovima

Model za izradu bilansa električne energije sadrži sledeće relacije:

— instalirana električna energija hemijskih izvora  $W_{in}$  [Wh].

$$W_{in} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot U_i \quad (7)$$

gde je:

$K_i$  [Ah] — kapacitet i-tog izvora,

$U_i$  [V] — napon i-tog izvora.

Energija punjenja svih akumulatora  $W_p$  [Wh]:

$$W_p = \sum_{i=1}^n W_{pi} = \sum_{i=1}^n U_{pi} \cdot I_{pi} \cdot t_{pi} \quad (8)$$

gde je:

$U_{pi}$  [V] — napon punjenja i-tog izvora,

$I_{pi}$  [A] — jačina struje punjenja i-tog izvora,

$t_{pi}$  [h] — vreme punjenja i-tog izvora.

Prema tipu i vrsti akumulatora energija punjenja može se računati po izrazu:

$$W_{pi}(v) = Q_v \cdot W_{in}(v) \text{ [Wh]} \quad (9)$$

gde je:

v — indeks vrste akumulatora,

$Q_v$  — 1,38 za olovne i 1,61 za alkalne akumulatore.

U trenutku upotrebe, raspoloživa električna energija akumulatora  $W_r$  [Wh] iznosi:

$$W_r = k \cdot W_{in} = k \cdot \sum_{i=1}^n K_i \cdot U_i \quad (10)$$

gde je:

k — koeficijent kojim se uzima u obzir starost akumulatora, uticaj zagrevanja, samopražnjenja, itd. (k=0,7 za olovne akumulatore i k=0,8 za alkalne akumulatore).

Dnevna energija potrebna za punjenje akumulatora iznosi:

$$W_d = \sum_{i=1}^n \frac{W_{pi}}{A_i} \text{ [Wh/dan]} \quad (11)$$

gde je:

$A_i$ [dana] — autonomija rada uređaja koji se napaja električnom energijom akumulatora (zavisi od vremena rada potrošača pod različitim režimima i uslovima, kao i od mogućnosti popune izvorima u toku izvršenja zadatka).

Jačina struje punjenja akumulatora na dan  $I_d$ [A] iznosi:

$$I_d = \sum_{i=1}^n \frac{W_{di}}{W_{pi}} \cdot I_{pi} [A] \quad (12)$$

gde je:

$I_{pi}$ [A] — jačina struje punjenja i-tog izvora,

$W_{di}$ [Wh/dan] — dnevna energija punjenja za i-tu vrstu akumulatora.

Za potrebe izrade bilansa, za određenu jedinicu, formiraju se tabele podataka, kao što je npr. tabela 3.

Pregled hemijskih izvora po TMS za jedinicu

Tabela 3

Tip sredstva	Tip izvora	Napon U[V]	Kapacitet K[Ah]	Jačina struje punjenja $I_p$ [Ah]	Vreme punjenja izvora $t_p$ [Ah]	Autonomija rada A[h]	Energija izvora $W_i$ [Wh]	Dnevna energija $W_d$ [Wh]	Broj izvora
Radio-uređaj RUP-33	7TB-0,5	8,4	0,45	0,045	14	6,5	15,12	25	4 (2 u radu)
· · ·									
Računar NR25	Ni-Cd 2TB-0,5	2,4	0,45	0,05	14	15	1,2	0,2	2 (1 u radu)

Za posmatranu jedinicu sredstva za punjenje izvora određuju se prema proizvodno-tehnološkim karakteristikama raspoloživih punjača i raspoloživog vremena za rad.

Proračun električne snage za punjenje akumulatora  $P$ [W] računa se prema izrazu:

$$P = \frac{W_d}{k_p \cdot t_p} \quad (13)$$

gde je:

$k_p$  — stepen iskorišćenja punjača (0,9 do 0,95 po punjaču — to je ugrađena karakteristika),

$t_p$  — raspoloživo vreme za punjenje (zavisi od uslova izvođenja borbenog dejstva logističkih vremena, itd.).

Navedene relacije omogućuju određivanje broja punjača po vrstama i tipovima. Svakako da predloženi način proračuna obezbeđuje odgovarajuće podatke za dalje analize potrebne za određivanje materijalne formacije, kriterijuma ešeloniranja i drugih elemenata iz domena elektroenergetskog obezbeđenja. Može se postaviti pitanje u kojoj meri se mogu prognozirati vremena rada uređaja, potrošača, izvora i drugih tehnoloških elemenata u odre-

đenim uslovima borbenih dejstava. Pitanje je značajno, jer ova vremena znatno utiču na broj potrebnih brzih punjača hemijskih izvora, raspored — ešeloniranje i organizacijsko-formacijsku strukturu jedinica za logističku podršku.

### **Mogućnosti primene metoda operacionih istraživanja za rešavanje elektroenergetskog obezbeđenja**

Određivanje vremena rada tehnoloških elemenata značajnih za elektroenergetsko obezbeđenje u toku borbenih dejstava donedavno se zasnivalo na procenama eksperata za taktiku, logistiku, organizaciju, tehnologiju, itd. Razvoj informatičke tehnologije jedan je od razloga za uspostavljanje pouzdanijeg alata za rešavanje problema iz domena elektroenergetskog obezbeđenja. Na slici 2 prikazan je dijagram toka mogućeg pristupa određivanju značajnih parametara ovog sistema.

Izradom odgovarajućih modela i programa, i simulacijama na računaru karakterističnih zadataka u borbenim dejstvima, može se doći do raspodela značajnih parametara (vremena zadržavanja borbenih elemenata u određenim rejonima, angažovanja logističkih elemenata u toku dinamike, itd.). Rad potrošača u određenim režimima znatno utiče na razmatranje mogućnosti za sabiranje zahteva za punjenje izvora električne energije, pa je ova vremenska raspodela značajna za dalje analize. U literaturi [3] prikazana je mogućnost za dobijanje vremenskih karakteristika za specifične uslove izvođenja borbenih dejstava (konkretno za artiljerijske divizione za podršku). Raspodele su dobijene simulacijom borbene upotrebe ovih jedinica, a značajne su za razmatranje potreba i mogućnosti snabdevanja municijom u borbi, gorivom, elektroenergetsko obezbeđenju, održavanje TMS, itd.

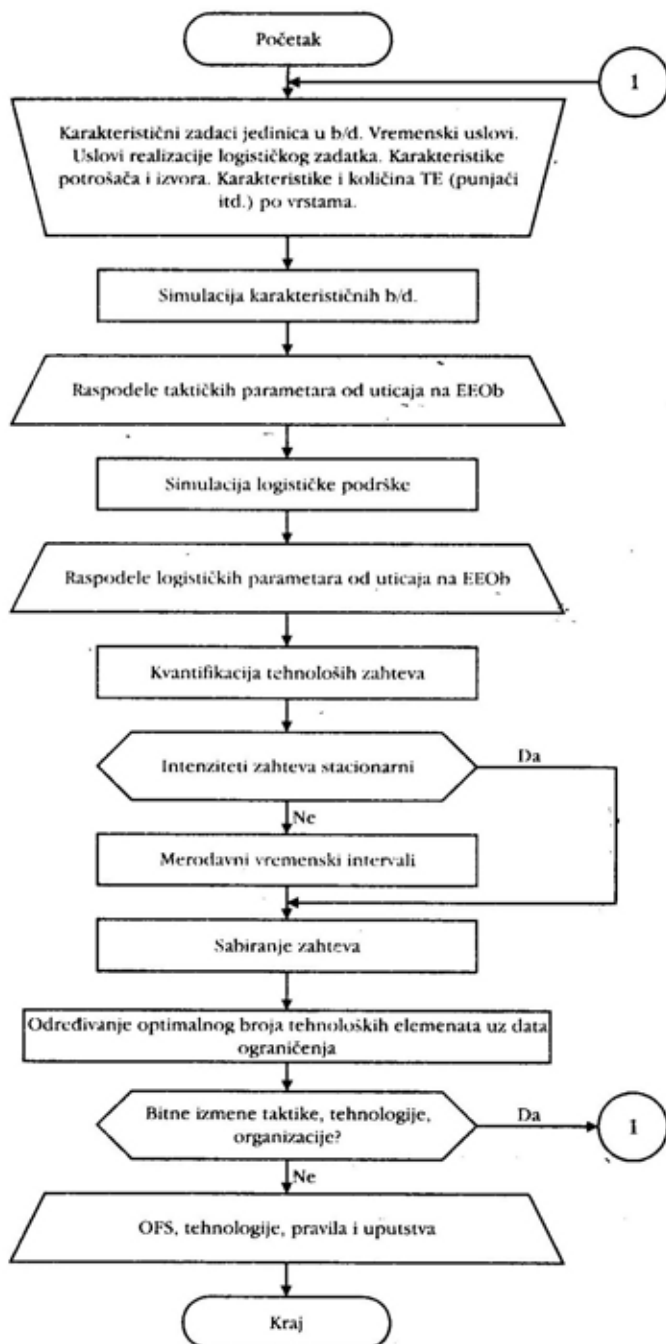
Sabiranje zahteva za punjenje izvora električne energije obavlja se radi razmatranja mogućnosti ublažavanja uticaja nestacionarnosti\*. Zatim se sprovedi postupak analize vremena kada zahtevi mogu i treba da budu zadovoljeni i potrošači popunjeni izvorima električne energije. Oblik ovih vremenskih intervala zavisi od principa dotura i evakuacije TMS u borbi i uslova u kojima se realizuju. Postupkom ilustrovanim na slici 2 dolazi se do jednovremene zauzetosti punjača izvora, po vrstama. Ovi podaci slede iz analize intenziteta zahteva za punjenje u merodavnim intervalima vremena i trajanja punjenja. Za viši nivo, gde se zahtevi sabiraju (npr. zahtevi iz potčinjenih jedinica za punjenje akumulatora u brigadnoj stanici za održavanje TMS), jednovremena zauzetost resursa veoma je značajna za određivanje tipa i broja punjača hemijskih izvora struje.

Pri određivanju broja potrebnih tehnoloških elemenata u elektroenergetskom obezbeđenju uzimaju se u obzir zahtevi za elektroenergetskim obezbeđenjem u vremenu i potrebna verovatnoća zadovoljenja zahteva, kao i ograničenja koja se moraju poštovati (finansijska sredstva, ograničenja u nabavci, itd.). Optimalni izbor se obavlja primenom metoda operacionih istraživanja (linearno programiranje, višekriterijumsko rangiranje, itd.). Rezultati simulacije borbenih dejstava, rada uređaja — potrošača i jedinica logističke podrške treba, pored ostalog, da posluže i za određivanje kriterijuma za formiranje i ešeloniranje TMS za elektroenergetsko obezbeđenje. Za svaki nivo (taktički, operativni) ešeloniraju se elektroenergetska sredstva da bi se obezbedilo pouzdano autonomno snabdevanje električnom energijom u definisanim uslovima, na racionalan način. Kriterijumom se propisuje količina elektroenergetskih sredstava po vrstama

\* U literaturi [4] detaljno je opisan postupak sabiranja više tehnoloških zahteva i uključivanja intervala strpljivosti u njihovu kvantifikaciju.

i nivoima ešeloniranja, transportno-manipulativna sredstva i skladišni prostor za »nepokretne« rezerve.

Po izvršenoj popuni, u jedinicama-ustanovama odvija se proces rukovanja i raspolaganja elektroenergetskim



Sl. 2 — Sistem elektroenergetskog obezbeđenja sa okruženjem

sredstvima, u kojem je za tehničko obezbeđenje značajan smeštaj i čuvanje rezervi ovih sredstava. Za hemijske izvore električne energije je, uz obezbeđenje neophodnih uslova smeštaja i postupaka čuvanja, veoma značajno planiranje znavljanja. Za elektroagregate, punjače, uređaje za startovanje motora i druga elektroenergetska sred-

stava, praćenje stanja elektroenergetskih sredstava znatno je olakšano u odnosu na raniji period. Pregled stanja moguće je voditi kao što je prikazano u tabeli 4, pri čemu se programski može rešiti da se sa svakim unosom stanja obavlja ažuriranje i signaliziranje kada neku akciju treba preduzeti

Tabela 4

Praćenje stanja elektroenergetskih sredstava

Tip elektroenergetskog sredstva	Registarski — fabrički broj	Mera za preventivno održavanje	Stanje					
			Godina proizvodnje	Ukupno radio (r/č)	Preostali resursi			
					Tehnički pregled	Srednji remont	Generalni remont	Zanavljanje
Elektroagregati: AB 05-230	A 13024	TP 6/12 meseci SR 800 r/č GR 1600 r/č	1987.	692	6/96	108	908	—
· · · ADP 15-3x x400/230	N-3611	TP 6/12 meseci SR 3000 r/č GR 5000 r/č	1990.	2218	12/96	782	2782	—
Suvopunjeni akumulatori Olovni: ..... Za m/v FAP 12B, 143 Ah	56 komada	Zanavljanje na 5 godina	1992.	—	—	—	—	2/1997.
· · · Ni-Cd: · · · 7 TB 0,5	12 komada	Zanavljanje na 10 godina	1988.	—	—	—	—	3/1988.

stva važno je praćenje resursnog stanja, planiranje i realizacija preventivnog i korektivnog održavanja. S obzirom na raspolaganje informatičkom o-

(prijavu sredstva za generalni remont ili izdavanje sredstava, formiranje suvopunjenih akumulatora i zanavljanje, itd.).

## Zaključak

Na području elektroenergetskog obezbeđenja neprekidno se preduzimaju mere za održanje ili povećanje verovatnoće realizacije zadataka. U oblasti organizacije, definisanja kriterijuma i normativa, kao i na neposrednom izvršavanju zadataka snabdevanja i održavanja elektroenergetskih sredstava vrši se optimizacija. Pri tome se koriste naučne metode i savremena informatička tehnologija. Sistemska analiza koristi se u projektovanju, postavljanju i oceni funkcionisanja i upotrebljavaju metode operacionih istraživanja.

Niz specifičnih zahteva postavlja se kada je u pitanju elektroenergetsko obezbeđenje u borbenim dejstvima, pre svega, zbog neophodne autonomnosti jedinica u toku izvršavanja zadataka. Proučavanjem uslova u kojima se zadaci realizuju treba doći do karakteristika organizacije elektroenergetskog obezbeđenja kao funkcije oblika borbe, vida borbenih dejstava, ambijenta i vremena, kao i karakteristika upotrebe jedinica. Funkcionisanje uređaja — potrošača i rad izvršnih organa tehničke službe mora se posmatrati u interakciji sa uslovima u kojima se realizuju zadaci. Rezultati analize ovih uslova osnova su za definisanje ulaznog skupa podataka za rešavanje problema elektroenergetskog obezbeđenja u borbenim dejstvima.

Za stacionarne objekte postoje u literaturi matematički modeli uz odgovarajuće iskustvene podatke za potrebe proračuna električne energije, projektovanja, održavanja elektroenergetskih sredstava, itd. Za borbena dejstva, takođe, postoje razrađeni modeli za utvrđivanje bilansa električne energije, određivanje broja punjača, elektroagregata i drugih TMS. U većini ovih modela parametri vezani za borbena dejstva određivani su procenom eksperata. S obzirom na promene u organizaciji vojske, uslova i načina izvođenja borbenih dejstava, neophodne su češće izmene ovih veličina. Mogućnosti koje pruža savremena informatička tehnologija koriste se u vidu izrade simulacionih modela i programa kojima se dolazi do potrebnih podataka za dalje analize. Sabiranje zahteva za npr. punjenje hemijskih izvora električne energije, analiza vremena do kada moraju biti zahtevi realizovani i organizacije dotura TMS u borbi, obezbeđuje skupove podataka za određivanje tehnoloških elemenata za punjenje. Optimalni izbor se obavlja primenom linearnog programiranja, višekriterijumskog rangiranja i drugih metoda operacionih istraživanja.

Praćenje resursnog stanja elektroenergetskih sredstava ostvaruje se korišćenjem računara i programa kojima se obezbeđuje automatsko ažuriranje podataka i planiranje zahvata zavljanja i korektivnog održavanja ovih TMS.

## Literatura:

- [1] Anders, A. A., Potapov, N. M., Suleškin, A. V.: Proektirovanie zavodov i mehanosborečnih cehov v avtotraktornoi promišlennosti, Moskva, Mašinstroenie, 1982.
- [2] Jurković, B., Maksić, R., Matijević, V.: Elektroenergetsko obezbeđenje artiljerijskih diviziona i mabr u terenskim uslovima, CVTŠ, 1990.
- [3] Mišković, V., Maksić, R.: Uticaj intenziteta upotrebe na mogućnost popune municijom artiljerijskih divizionu za podršku, VTG 6/95.
- [4] Vukićević, S.: Skladišta, Preving, Beograd, 1985.



Mr Dušan Korollja,  
major, dipl. inž.  
VP 6684 Zrenjanin

## TROŠKOVI TRANSPORTA REZERVNIH DELOVA ZA ODRŽAVANJE MODULARNO GRAĐENIH ELEKTRONSKIH UREĐAJA

UDC: 519.863:621.38.04-7.004.54

### Rezime:

Savremeni elektronski uređaji su modularno građeni i njihova tehnologija održavanja zasniiva se na zameni popravljivih modularnih celina. U radu je prikazan model troškova transporta ovih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa. Analizirani su troškovi transporta u funkciji od pojedinih parametara. Na kraju rada, uključujući troškove transporta, razmatran je problem optimizacije zaliha modularnih celina.

*Ključne reči:* troškovi transporta, popravljiva modularna celina, redovni transport, vanredni transport, optimizacija.

### TRANSPORTATION COSTS OF SPARE PARTS FOR MAINTENANCE OF MODULE CONSTRUCTED DEVICES

#### Summary:

Modern electronic equipments are module constructed and theirs maintenance technology is based on repairable module units replacement. This work deals with a transportation costs model for these units, in a two level maintenance system. Transportation costs in function of some parameters are analysed. At the end of the work spare units stock optimisation, including transportation costs, is considered.

*Key words:* transportation costs, repairable module unit, normal transportation, special transportation, optimisation.

### Uvod

Savremeni modularno građeni elektronski uređaji minimalno se transportuju pri korektivnom održavanju. Takvi uređaji se popravljaju zamenom neispravnih modularnih celina sa ispravnim rezervnim celinama na mestu korišćenja uređaja ili u radionici koja nije mnogo udaljena od tog mesta (radionica LR). Zbog toga su troškovi transporta ovih uređaja pri održavanju relativno mali. Nekretanje elektronskog uređaja izaziva potrebu povećanog kretanja neispravnih i popravljenih modularnih celina. Neispravne modularne celine transportuju

se od mesta ili radionice gde se zamenjuju do radionice u kojoj se popravljaju. Popravljene modularne celine transportuju se do kompleta iz kojeg su utrošene ili do radionice u kojoj se zamenjuju. Stoga, troškovi transporta modularnih celina mogu znatno uticati na ukupne troškove održavanja uređaja.

Svi razvijeni modeli snabdevanja rezervnim delovima, kod nas, ne uzimaju u obzir troškove transporta rezervnih delova već samo troškove početnih zaliha rezervnih delova. Kako troškovi transporta modularnih celina jednog elektronskog uređaja mogu doći znatnu vrednost, njihovo izostav-

ljanje u modelima i programima za proračun optimalnih količina rezervnih delova predstavlja nedostatak tih modela i programa. Asortiman i količine rezervnih delova, dobijeni pomoću njih, zbog toga ne moraju biti u tom slučaju optimalni.

### Matematički model troškova transporta popravljivih modularnih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa

U [2] je dat koncept održavanja i snabdevanja rezervnim delovima modularno građenih elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Na slici 1 prikazan je, po tom konceptu, tok popravljivih modularnih celina, koje se menjaju na I-tom nivou održavanja, a popravljaju na neposredno višem K-tom nivou održavanja.



Sli. 1 — Tok popravljivih modularnih celina

U radionici I-tog nivoa održavanja elektronski uređaj popravlja se zamenom popravljive više ili niže modularne celine. Pored popravke celog uređaja, u radionici je moguća i popravka više modularne celine uređaja zamenom popravljive niže modularne celine. Potrebne celine se, kao rezervni delovi, nalaze u grupnom kompletu-I (GK-I) i u grupnom kompletu-K (GK-K). Pri popravci uređaja ili više modularne celine na I-tom nivou, potrebna celina se uzima iz GK-I. Ako celine nema u GK-I, obavlja se vanredna po-

puna tog kompleta celinom iz GK-K. Ako celine nema ni u GK-K, neispravna celina se šalje u radionicu na K-tom nivou održavanja, gde se popravlja, a zatim vraća na I-ti nivo. U slučaju postojanja celine u kompletima, neispravna celina se redovno šalje u radionicu na K-tom nivou, a odatle se, kada se popravi, redovno vraća u komplet rezervnih delova iz kojeg je uzeta.

Analizom kretanja modularnih celina mogu se uočiti sledeće vrste njihovog transporta:

— vanredni transport rezervne celine od GK-K do GK-I (u slučaju da potrebne rezervne celine nema u GK-I);

— redovni transport rezervne celine od GK-K do GK-I (u slučaju da potrebne rezervne celine ima u GK-I);

— vanredni transport neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja (u slučaju da potrebne rezervne celine nema ni u GK-I ni u GK-K);

— redovni transport neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja (u slučaju da potrebne rezervne celine ima u GK-I i/ili u GK-K).

U skladu sa nabrojanim vrstama transporta mogu se definisati i cene transporta j-te modularne celine.

$Q_{pvj}$  — cena vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I;

$Q_{prj}$  — cena redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I,

$Q_{tvj}$  — cena vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja,

$Q_{trj}$  — cena redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja,

U radionici na I-tom nivou održavanja javljaju se zahtevi za rezervnom celinom. Zavisno od popunjenosti gru-

pnih kompleta potrebnom celinom dolaziće do odgovarajućeg transporta. Ako se sa  $P_{Ij}$  označi verovatnoća otkaza GK-I, a sa  $P_{Kj}$  verovatnoća otkaza GK-K, u slučaju potrebe j-te modularne celine, mogu se napisati izrazi za verovatnoće izvođenja pojedinog transporta:

— verovatnoća vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$P_{pvj} = P_{Ij} \quad (1)$$

— verovatnoća redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$P_{prj} = 1 - P_{Ij} \quad (2)$$

— verovatnoća vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$P_{tvj} = P_{Ij} P_{Kj} \quad (3)$$

— verovatnoća redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$P_{trj} = 1 - P_{Ij} P_{Kj} \quad (4)$$

U svakom od izraza od (1) do (4) pojavljuje se verovatnoća otkaza GK-I. Do izraza za ovu verovatnoću može se doći ako se uvedu događaji:

$A_j$  — otkaz GK-I,  $B_j$  — otkaz GK-K.

Verovatnoće tih događaja su  $P_{Ij}$  i  $P_{Kj}$ . Događaj  $A_j$  može se dogoditi pri dva uslova:

$a_j$  — neophodna celina nalazi se u GK-K,  $\bar{a}_j$  — neophodna celina ne nalazi se u GK-K.

Na osnovu obrasca za totalnu verovatnoću dobije se da je verovatnoća otkaza GK-I:

$$P(A_j) = P(a_j)P(A_j/a_j) + P(\bar{a}_j)P(A_j/\bar{a}_j) \quad (5)$$

gde su: —

$P(a_j)$  i  $P(\bar{a}_j)$  — verovatnoće navedenih uslova,

$P(A_j/a_j)$  i  $P(A_j/\bar{a}_j)$  — uslovne verovatnoće otkaza GK-I pri datim uslovima ( $a_j$  i  $\bar{a}_j$ ).

Verovatnoća otkaza GK-K je:

$$P(\bar{a}_j) = P(B_j) = P_{Kj} \quad (6)$$

i

$$P(a_j) = 1 - P(B_j) = 1 - P_{Kj} \quad (7)$$

Ako se uslovne verovatnoće označe:

$$P(A_j/a_j) = P_{IKj} \text{ i } P(A_j/\bar{a}_j) = P_{IRj} \quad (8)$$

verovatnoća otkaza GK-I može se napisati kao:

$$P_{Ij} = (1 - P_{Kj})P_{IKj} + P_{Kj}P_{IRj} \quad (9)$$

Opšti izraz za određivanje verovatnoća  $P_{IKj}$ ,  $P_{IRj}$  i  $P_{Kj}$  je:

$$P_j = \frac{A_j N_j}{N_j \left( \sum_{z=0}^{\infty} A_j^z / z \right)} \quad (10)$$

gde je:  $A_j = t_j \lambda_{juk}$  (11)

$N_j$  — broj j-tih rezervnih celina u kompletu,

$t_j$  — srednje vreme obnavljanja utrošene celine iz kompleta,

$\lambda_{juk}$  — ukupni intenzitet otkaza svih j-tih sastavnih celina elektronskog uređaja koje se obnavljaju u kompletu.

Broj zahteva za rezervnom celinom u radionici I-tog nivoa održavanja, za period eksploatacije uređaja T, može se dobiti pomoću izraza:

$$Y = \lambda_{Ijuk} T \quad (12)$$

Poznavanjem broja zahteva i verovatnoće i cene svake vrste transporta, moguće je odrediti ukupne troškove transporta j-te modularne celine, za jednu radionicu i komplet rezervnih delova na I-tom nivou, u periodu eksploatacije T po vrstama transporta:

— troškovi vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$C_{pvj} = P_{Ij} Q_{pvj} Y \quad (13)$$

— troškovi redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$C_{prj} = (1 - P_{Ij}) Q_{prj} Y \quad (14)$$

— troškovi vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$C_{tvj} = P_{Ij} P_{Kj} Q_{tvj} Y \quad (15)$$

— troškovi redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$C_{trj} = (1 - P_{Ij} P_{Kj}) Q_{trj} Y \quad (16)$$

Na osnovu izraza (13) do (16) ukupni troškovi transporta j-te modularne celine u radionici na I-tom nivou održavanja su:

$$C_{tranj} Y P_{Ij} Q_{pvj} + (1 - P_{Ij}) Q_{prj} + P_{Ij} P_{Kj} Q_{tvj} + (1 - P_{Ij} P_{Kj}) Q_{trj} \quad (17)$$

### Analiza troškova transporta modularnih celina

Troškovi transporta popravljivih modularnih celina zavise od mnoštva parametara sistema održavanja, sistema snabdevanja rezervnim delovima i od tehničkih parametara modularnih celina. Pomoću računarskog programa, realizovanog na osnovu modela troškova transporta modularnih celina, izvršena je analiza ovih troškova. Pri a-

nalizi su korišćene sledeće vrednosti parametara:

- broj uređaja koji se održavaju u radionici I-tog nivoa 100
- broj radionica na I-tom nivou 5
- srednje vreme vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 25 h
- srednje vreme redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 100 h
- srednje vreme vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 25 h
- srednje vreme redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 100 h
- cena vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 5 din
- cena redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 0,5 din
- cena vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 5 din
- cena redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 0,5 din
- vreme eksploatacije uređaja 10 god.
- intenzitet otkaza celine  $350 \cdot 10^{-6}$  otkaza/h
- cena celine 1 000 din

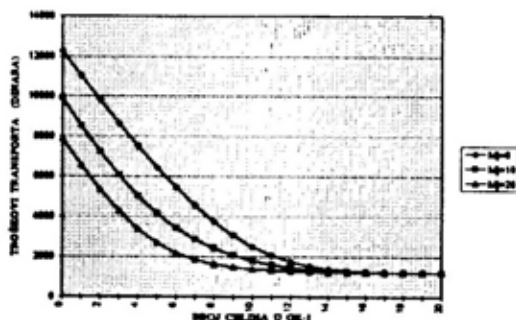
## ANALIZA ZAVISNOSTI TROŠKOVA TRANSPORTA CELINA

*Period eksploatacije elektronskog uređaja (T)*

Na osnovu izraza (12) i (17) vidi se da troškovi transporta modularne celine linearno rastu sa porastom perioda eksploatacije uređaja.

*Broj rezervnih celina u GK-I ( $N_j$ )*

Na slici 2 prikazani su troškovi transporta j-tih modularnih celina u funkciji broja tih celina u GK-I, pri njihovom konstantnom broju u GK-K ( $M_j = \text{const.}$ ).



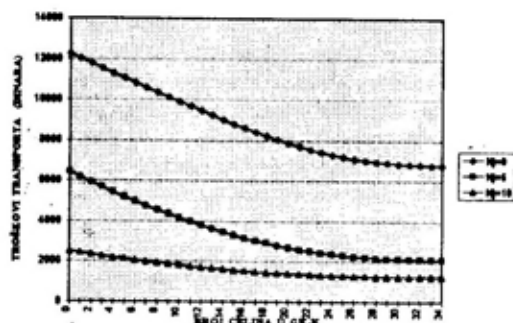
Sl. 2 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od njihovog broja u GK-I

Može se uočiti da su troškovi transporta celina jako zavisni od broja celina u GK-I, i da približno linearno opadaju sa povećanjem njihovog broja. Kod neke vrednosti parametra  $N_j$  troškovi transporta postaju nezavisni od povećanja tog parametra, zbog toga što pri toj količini modularnih celina ne dolazi do otkaza GK-I, odnosno do vanrednog transporta modularnih celina. Tada se izvodi samo redovni transport celina, pa su troškovi transporta celina minimalni.

*Broj rezervnih celina u GK-K ( $M_j$ )*

Na slici 3 prikazani su troškovi transporta j-tih modularnih celina u

funkciji broja tih celina u GK-K, pri njihovom konstantnom broju u GK-I ( $N_j = \text{const.}$ ).



Sl. 3 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od njihovog broja u GK-K

Troškovi transporta celina manje zavise od broja celina u GK-K nego od broja celina u GK-I, što je posebno izraženo pri većim vrednostima parametra  $N_j$ .

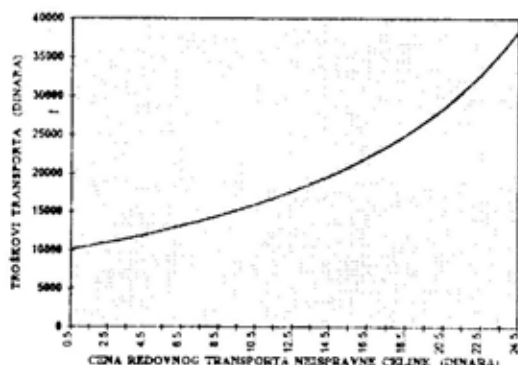
*Cene vanrednog transporta rezervnih i neispravnih celina ( $Q_{pvj}$  i  $Q_{trj}$ )*

Ove cene zavise od vremena trajanja vanrednog transporta tih celina. Pri dužem vremenu transporta (železnički prevoz) cena transporta je manja, i obrnuto, pri manjem vremenu transporta (avionski prevoz) cena transporta je veća. Iz izraza (13) i (15) vidi se da troškovi transporta modularnih celina linearno rastu sa povećanjem ovih cena.

*Cene redovnog transporta neispravnih i rezervnih celina ( $Q_{prj}$  i  $Q_{trj}$ )*

Ove cene zavise od vremena trajanja redovnog transporta celina, na isti način kao i cene vanrednog transporta. Na slici 4 prikazani su troškovi transporta j-tih modularnih celina u

funkciji cene redovnog transporta neispravne celine ( $Q_{trj}$ ).



Sl. 4 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od cene redovnog transporta neispravne celine

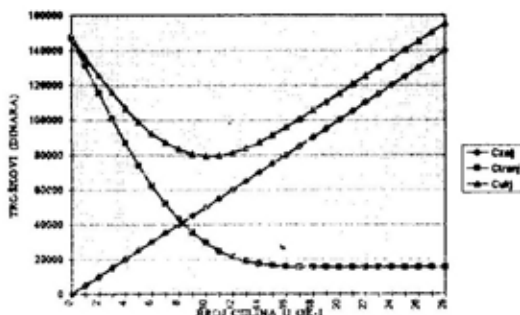
### Optimizacija zaliha rezervnih celina

Cilj optimizacije zaliha rezervnih delova jeste postizanje maksimalne raspoloživosti elektronskog uređaja, uz istovremene minimalne troškove za rezervne delove. Iz prethodne analize se vidi da su troškovi transporta rezervnih celina veoma zavisi od nekih parametara sistema snabdevanja i održavanja uređaja. Stoga zanemarivanje ovih troškova u optimizaciji može dovesti do pogrešno određenog asortimana i količina rezervnih celina.

Na slici 5 prikazani su ukupni troškovi snabdevanja  $j$ -tim rezervnim celinama ( $C_{ukj}$ ), kao suma troškova transporta ( $C_{tranj}$ ) i troškova zaliha ( $C_{zalj}$ ) tih celina, u funkciji njihovog broja u GK-I.

Povećanjem broja rezervnih celina u GK-I, do neke vrednosti, dolazi do smanjenja troškova snabdevanja rezervnim celinama. Od te vrednosti troškovi snabdevanja počinju da rastu, prateći troškove zaliha rezervnih celina. Očigledno je da ta vrednost ( $N_{jmin}$ ), sa stanovišta troškova snabdevanja, predstavlja optimalan broj  $j$ -tih

rezervnih celina. Ovaj broj neće uvek biti rešenje proračuna optimalnih zaliha rezervnih celina za jedan elektronski uređaj, i to zbog sledećih razloga:



Sl. 5 — Ukupni troškovi snabdevanja modularnim celinama

— raspoloživa finansijska sredstva za kupovinu početnih zaliha rezervnih celina su nedovoljna za obezbeđivanje minimalnih troškova snabdevanja rezervnih celina;

— traži se veća raspoloživost elektronskog uređaja od raspoloživosti uređaja obezbeđene sa  $N_{jmin}$ .

Za hipotetički elektronski uređaj, sastavljen od 6 viših modularnih celina (tabela 1), primenom metode približnog dinamičkog programiranja, izvršena je optimizacija zaliha rezervnih celina. Pri ovom postupku u komplete GK-I i GK-K uvođena je ona rezervna celina u onaj komplet rezervnih delova za koje je odnos priraštaja novčanih sredstava za zalihe rezervnih celina i smanjenja zastoja zbog nedostatka rezervnih celina minimalan:

$$D_{minj} = \frac{\Delta C_{zalj}}{\Delta t_j} \quad (18)$$

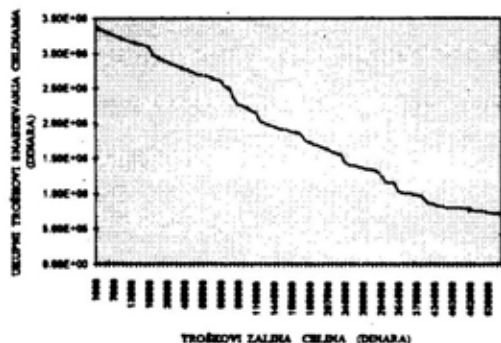
ali pod uslovom da uvođenje te rezervne celine smanjuje ukupne troškove snabdevanja tom rezervnom celinom ( $C_{ukj}$ ). Proces optimizacije se završava kada se postignu minimalni ukupni troškovi snabdevanja svim modularnim celinama  $C_{ukmin}$ .

Tabela 1

Intenziteti otkaza i cene celina uređaja

Sastavni deo	Intenzitet otkaza ( $\times 10^{-4}$ )	Cena (dinara)
VMC-1	300	6000
VMC-2	350	4500
VMC-3	100	1500
VMC-4	250	1500
VMC-5	50	1000
VMC-6	500	3000

Na slici 6 prikazana je zavisnost ukupnih troškova snabdevanja svim rezervnim celinama  $C_{uk}$  od troškova zaliha rezervnih celina  $C_{zal}$  koja je dobijena u toku optimizacije zaliha rezervnih celina za održavanje ovog uređaja u trajanju od 10 godina.



Sl. 6 — Ukupni troškovi snabdevanja modularnim celinama u toku optimizacije

U tabeli 2 date su količine rezervnih celina u GK-I i GK-K, koje su dobijene kao rešenje optimizacije zaliha rezervnih celina.

Da model snabdevanja ne sadrži troškove transporta i da ovi troškovi nisu uzeti u obzir, pri optimizaciji za-

Tabela 2

Optimalne zalihe rezervnih celina

Rezervni deo	GK-I	GK-K
VMC-1	4	12
VMC-2	4	14
VMC-3	3	6
VMC-4	4	12
VMC-5	2	4
VMC-6	6	21

liha rezervnih celina, »optimalne zalihe« bile bi drugačije. Tada bi ukupni troškovi snabdevanja rezervnim celinama, u ukupnom veku ovog uređaja, bili veći.

### Zaključak

U ovom radu prikazana je neophodnost uključivanja troškova transporta modularnih celina u matematičke modele snabdevanja i održavanja modularno građenih elektronskih uređaja, a i njihovog uključivanja u algoritme za optimizaciju zaliha rezervnih delova za održavanje elektronskih uređaja. Model troškova transporta rezervnih celina dat je samo za popravljive celine koje se održavaju na neposredno višem nivou. Na osnovu ovog modela moguće je razraditi i model troškova dotura nepopравljivih celina, a i troškova transporta popravljivih celina koje se popravljaju na više nivoa održavanja. Na taj način bi se matematička formalizacija procesa snabdevanja rezervnim delovima upotpunila delom koji se odnosi na troškove transporta, koji bi se mogli uključiti u optimizaciju zaliha rezervnih delova i održavanja elektronskog uređaja.

Radi poboljšanja pogodnosti održavanja mašinskih uređaja i sistema, kod njih se sve više koristi modularna

konstrukcija, pa je problematika razmatrana u ovom radu za njih aktuelna. Izrazi u matematičkom modelu troškova transporta popravljivih modularnih celina od (1) do (17) važe i za

modularno građeni mašinski uređaj, osim izraza (10, 11 i 12) koji se mogu primeniti samo za one mašinske modularne celine koje imaju konstantan intenzitet otkaza.

*Literatura:*

- [1] Blanchard, B.: *Logistics engineering and management*, Prentice Hall, New Jersey, Prentice Hall, 1986.
- [2] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [3] Kuljbak, L. I.: Osnovi račeta obespećenija elektronoj aparaturi zapasnam elementami, Sovetskoe radio, Moskva, 1970.
- [4] Korolija, D.: Model troškova transporta popravljivih modularnih celina elektronskog sredstva, Kupari, SYM-OP-IS '90, 1990.
- [5] Barković, M.: Modeliranje troškova održavanja tehničkih sistema, Kupari, SYM-OP-IS '90, 1990.



Mr Petar Stanojević,  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Slobodan Plić,  
kapetan, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## MODEL OCENE USPEŠNOSTI SISTEMA ODRŽAVANJA

UDC: 62-7.001.24:519.865

### Rezime:

U radu je prikazan specifičan model za ocenu uspešnosti sistema održavanja i formalizovan zapis postavke problema. Određeni su kriterijumi za ocenu i njihovi uticaji, kao i relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenim nivoima rangiranja. Poseban značaj razvijenom modelu daje zasnovanost na svetskim dostignućima i standardima vezanim za oblast održavanja tehničkih sredstava. Primena modela testirana je na karakterističnom primeru.

*Ključne reči:* model, uspešnost, sistem održavanja, višekriterijumsko odlučivanje.

## EVALUATION MODEL OF MAINTENANCE SYSTEM EFFICIENCY

### Summary:

A specific model for evaluating maintenance system efficiency is presented and the problem is formalized. Evaluation criteria and their effects are determined as well as the relative values of the criteria and the values of postcriteria functions at determined ranking levels. The developed model is based on the latest achievements and standards in the field of technical equipment maintenance, which gives a special importance to the model. Its application is tested on a characteristic example.

*Key words:* model, efficiency, maintenance system, multicriteria decision making.

### Uvod

Konkretni sistem održavanja (Sod) tehničkih sredstava (TS) određen je izabranom strategijom i karakterističnim konceptijskim, organizacionim i tehnološkim rešenjima uz specifičnosti sistema integralne logističke podrške (ILS). Povoljnija varijanta konceptijskog, organizacionog i tehnološkog rešenja sistema održavanja omogućava sprovođenje potrebnih, odnosno predviđenih postupaka u kraćem vremenu, sa manjim troškovima. To se prvenstveno odnosi na:

— vreme potrebno da se tehnički sistem iz stanja »u otkazu« vrati u stanje »u radu«, odnosno na ukupno tra-

janje postupaka održavanja u posmatranom periodu, i

— troškove sprovođenja postupaka održavanja, odnosno na ukupne troškove održavanja u posmatranom periodu.

Izboru optimalne varijante SOD prethodi analiza i ocena mogućih strategija održavanja.

Za ocenu sistema održavanja, odnosno njegovih varijantnih rešenja, ima više mogućnosti, više metodologija i postupaka. Ove metode su, u najvećem broju slučajeva, usmerene na analizu i ocenjivanje pogodnosti održavanja, u širem smislu. U ovom radu je,

zbog toga, razvijena metodologija za integralno ocenjivanje sistema održavanja.

### Osnove modelovanja ocene uspešnosti sistema održavanja

Položaj sistema održavanja na granici između pojedinačnog i velikoserijskog tipa tehnologije nameće višedimenzionalnost posmatranja uspešnosti. To je očigledno i iz određenih ciljeva i potciljeva SOD. Ipak, kada je osnovni cilj postizanje visoke vrednosti raspoloživosti, to treba uraditi uz najmanje moguće troškove.

Tipične i atipične tehnologije, odnosno tehnološki elementi (TE), koji se koriste u održavanju, već postoje ili u SOD, koji treba racionalizovati, ili na tržištu. Cilj projektanta SOD jeste da se izabere takva varijanta tehnološke koncepcije i organizacione strukture koja će po tačnom dimenzioniranju tehnoloških elemenata, prema karakterističnim potrebama, dati najbolje vrednosti kriterijuma-parametara-mera uspešnosti u skladu sa postavljenim osnovnim ciljem. Ne treba zaboraviti da je moguće da se neki od parametara uspešnosti zadaju unapred u vidu ciljeva i ograničenja koje treba postići projektovanjem ili u vidu intervala dozvoljenih odstupanja. Određivanjem parametara uspešnosti, njihovih minimalnih ili maksimalnih vrednosti koje se moraju postići pri projektovanju, formira se FUNKCIJA CILJA, preko koje će se vrednovati varijantna rešenja.

Kod nas se određivanju uspešnosti SOD najviše posvetio S. Brdarević [1] koji je naveo 28 domaćih i stranih metoda ocene uspešnosti sistema održavanja i svrstao ih u 6 grupa. On tvrdi da uspešnost SOD najbolje ocenjuju metode koje u izrazima za uspešnost obuhvataju samo promenljive koje karakterišu SOD. Svetska dostignuća u ovoj oblasti najbolje odslikavaju standardi vezani za održavanje i

neka karakteristična rešenja poput onih u Japanu [2].

Da bi model ocene SOD dao prave rezultate on mora zadovoljiti sledeće kriterijume: da obuhvati pojave (promenljive) o kojima, uglavnom, postoje podaci u poslovnom sistemu; da omogućiti ocenjivanje kako postojećeg, tako i novoprojektovanog SOD; da bude invarijantan u odnosu na specifičnosti pojedinih SOD; da zadovolji zahteve učesnika u upravljanju SOD; da obezbedi sagledavanje ostvarenja ciljeva i potciljeva SOD; da se zbog stohastičke suštine procesa zasniva, prvenstveno, na teoriji verovatnoće, ali i da obuhvati veličine koje opisuju razne aspekte produktivnosti i troškova; da uzme u obzir parametre uspešnosti koji se već zahtevaju u karakterističnim standardima i drugim rešenjima u svetu; da omogućiti praćenje promena u vremenu; da je primenljiv kako za ceo SOD, tako i za njegove nivoe, pojedinačne radionice ili tehnička sredstva kada se projektuju sa stanovišta održavanja i da omogućiti lako uključivanje u neki od optimizacionih modela operacionih istraživanja.

U postojećim SOD, većinom zbog potreba uslovljenih pravnim propisima i osnovnom logikom poslovanja, postoje dokumenti kao što su: radni nalog, radna lista, trebovanje materijala, planovi (godišnji ili mesečni), osnovna konstrukciona dokumentacija i uputstva za eksploataciju, dokumenti koji obrađuju personalnu problematiku, računovodstveni, knjigovodstveni, itd. Sadržaj ovih dokumenata je svuda veoma sličan. Razlike nastaju u stepenu primene nauke u održavanju, pa su dokumenti negde sadržajno bogatiji. Međutim, na to sadržajno bogatstvo ne treba se uvek oslanjati; dovoljno je da su samo osnovni podaci korektno unošeni.

Ukoliko se projektuje sasvim novi SOD podaci dobijeni tehnološkim projektovanjem i projektovanjem organizacione strukture, za odabrane varijante, predstavljaju ulazne podatke.

Omogućavanje ocenjivanja postojećeg ili projektovanog SOD zahteva da se uvek određuju iste mere uspešnosti i to one koje sa najvećim obuhvatom opisuju realno stanje. Svako projektovanje upravo i započinje ocenom postojećeg stanja.

### Model ocene uspešnosti sistema održavanja

Koncipiranje modela uspešnosti inherentno je najvećem broju sistema održavanja (obezbeđuje invarijantnost) i zasniva se na obuhvatu celine funkcionisanja SOD, koji ima odlike poslovnog sistema. Ukupna uspešnost SOD ( $E(t)$ ) sastoji se od uspešnosti tehnološke ( $E_t$ ), organizacione ( $E_o$ ) i ekonomske komponente ( $E_e$ )

$$E(t) = f(E_t, E_o, E_e) \quad (1)$$

Svaka od ovih komponenti istovremeno određuje uspešnost SOD u obliku serijske veze koja se može tumačiti na sledeće načine:

$$E(t) = (\text{uspešnost fizičkog dela SOD}) \times (\text{uspešnost veza između elemenata SOD}) \times (\text{uspešnost procesa u SOD}).$$

Fizički deo definiše se tehnološkim projektom, veze određuju organizacionom strukturom, a procesi ostvaruju upravljanjem, pa se ova jednačina može prikazati i kao

$$E(t) = (\text{uspešnost projekta}) \times (\text{uspešnost organizacije}) \times (\text{uspešnost upravljanja})$$

Ovaj model grafički je prikazan na slici.

Da bi zadovoljili zahteve učesnika u upravljanju SOD isti parametri uspešnosti ne zanimaju glavnog rukovodioca, rukovodioca koji operativno upravlja sistemom održavanja i one koji upravljaju operativnim delom i uje-

dno da bi se ostvarila veza sa strukturom ciljeva sistema održavanja, potrebno je uvesti određenu hijerarhiju parametara.

Tako se na vrhu piramide parametara nalaze veličine raspoloživosti (operativne gotovosti) i troškova. Izrazi za izračunavanje raspoloživosti (operativne gotovosti) poznati su u teoriji i zasnivaju se na odnosu vremena kada se grupa ili jedno TS moglo angažovati prema vremenu kada se to angažovanje zahtevalo.

Kod vojnih sistema gde postoje gubici TS, bilo povratni ili nepovratni, i gde je cilj SOD još i spasavanje TS izvlačenjem i evakuacijom, raspoloživost se, uslovno, može odrediti:

— parametrima i funkcijom raspodele broja ispravnih TS u toku vremena borbene operacije i odnosom te srednje vrednosti prema ukupnom broju TS na početku operacije,

— brojem ispravnih i TS koja se mogu popraviti na kraju operacije i odnosom prema ukupnom broju TS na početku operacije.

Troškovi održavanja nastaju kao posledica instaliranih tehnoloških elemenata ( $n$ ) i obuhvataju investicione i tekuće troškove korišćenja  $TE$ , troškove zaposlenih izvršilaca radova ( $z$ ), zaposlenih u upravljačkoj strukturi ( $m$ ) i radnika na obuci ( $k$ ) u širem smislu, prema izrazu (2):

$$C = \sum_{i=1}^n C_{Ti} + \sum_{i=1}^n C_{INi} + \sum_{i=1}^n C_{Ti} + \sum_{i=1}^n C_{Di} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{j=1}^k N_{00j} t_{0j} C_{C0j} + C_{mz} \sum_{i=1}^n P_{zi} + P_o C_{m0} + B K_c \left( \sum_{z=1}^z C_{NCz} N_{iz} + \sum_{m=1}^M C_{NCm} N_{tm} + 2 \sum_{i=1}^n C_{Ai} + C_{el} + C_{te} + C_{sv} + C_{vp} + C_R + C_m + C_v + C_{sc} + C_{tel} + C_o \right) \quad (2)$$

gde je:

$C$  — ukupni troškovi održavanja,

$C_i$  — nabavni, odnosno investicioni troškovi,

$C_{IN}$  — troškovi instaliranja TE,

$C_T$  — troškovi transporta TE od isporučioaca do SOD,

$C_D$  — troškovi prateće tehničke dokumentacije,

$R$  — cena rashoda,

$N_{on}$  — broj zaposlenih na obuci,

$t_o$  — vreme trajanja obuke u časovima,

$C_{co}$  — cena časa obuke,

$P_z$  — površina radioničkog prostora,

#### TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA USPEŠNOST

1. Sopstvena, Dostignuta raspoloživost;
2. Broj TZ (preventivnih-korektivnih) za posmatrani period;
3. Čovek sati održavanja po jedinici mere eksploatacije vrste TS;
4. Srednje vreme aktivne korektivne opravke po vrsti TS;
5. Srednje vreme preventivnog održavanja po vrsti TS;
6. Odnos vremena za dijagnostiku i montažu-demontažu prema ukupnom vremenu održavanja;
7. Broj izvršilaca po TZ;
8. Broj TE po času održavanja ili TZ;
9. Radna površina po TZ ili vrsti TS;
10. Broj ostalih elemenata ILS po času održavanja, TZ ili TS;
11. Tačnost primenjene dijagnostičke opreme;
12. Broj radova ili časova rada po reklamacijama prema ukupnom vremenu ili broju radova;
13. Procenat supstituisanih od uvezenih delova;
14. Procenat regenerisanih i opravljenih delova prema ukupnom broju otkazalih;
15. Broj povreda na radu ili oboljenja na broj zaposlenih;
16. Broj inovacija.

#### USPEŠNOST SISTEMA ODRŽAVANJA

1. Raspoloživost;
2. Troškovi

#### ORGANIZACIONA USPEŠNOST

1. Procenat zadovoljenih zahteva za održavanjem;
2. Raspoloživost kadra;
3. Kompetentnost kadra;
4. Raspoloživost elemenata ILS;
5. Iskorišćenje TE;
6. Iskorišćenje radne snage;
7. Administrativno vreme čekanja;
8. Logističko vreme čekanja;
9. Brzina komuniciranja;
10. Odnos planskog prema ukupnom broju radova na održavanju ili vremenu;
11. Opterećenost čvorišta komunikacije;
12. Veličina upravnog prema operativnom delu.

#### EKONOMSKA USPEŠNOST

##### OPŠTI POKAZATELJI

1. Troškovi po radnom času ili akciji održavanja (TZ);
2. Produktivnost

##### POKAZATELJI ZA SOD SA PRIVREDNIM RAČUNOM

1. Ekonomičnost
2. Rentabilnost

Model ocene uspešnosti sistema održavanja

- $C_{mz}$  — cena kvadratnog — kubnog metra radioničkog prostora,
- $P_o$  — površina otvorenog prostora,
- $C_{mo}$  — cena kvadratnog metra otvorenog prostora,
- $B$  — broj godina za koje se vrši proračun,
- $K_c$  — koeficijent svođenja cene na godinu u kojoj se projektuje,
- $C_{NC}$  — cena norma-časa radnika određene kvalifikacije i radnog staža,
- $N_I$  — godišnji fond časova rada radnika (izvršilaca održavanja) određene kvalifikacije i radnog staža,
- $N_{Tf}$  — godišnji fond časova rada zaposlenog u upravljačkoj strukturi određene kvalifikacije i radnog staža,
- $C_{el}$  — godišnji troškovi električne energije,
- $C_{te}$  — godišnji troškovi toplotne energije,
- $C_{sv}$  — godišnji troškovi energije sabijenog vazduha,
- $C_{vp}$  — godišnji troškovi energije vodene pare,
- $C_g$  — godišnji troškovi tečnog goriva,
- $C_m$  — godišnji troškovi maziva,
- $C_v$  — godišnji troškovi vode,
- $C_{sc}$  — godišnji troškovi sredstava za čišćenje,
- $C_{te}$  — godišnji troškovi telekomunikacija,
- $C_o$  — ostali godišnji troškovi.

Ovako dat izraz za troškove može se primeniti za izračunavanje troškova celokupnog SOD, troškova njegovih delova i troškova održavanja pojedinih TS.

Proračun troškova obavlja se za period za koji to investitor zahteva (godinu dana ili eksploatacioni vek projektovanog sistema). Postoje jednokratni troškovi koji se samo jednom zaračunavaju i ponovljivi, odnosno pro-

menljivi, koji se izračunavaju za svaku godinu. Veličine nekih od ovih troškova, kao npr. investicione ili cena kvadratnog metra se znaju, obično, unapred ili do njih nije teško doći. Veličine ostalih troškova mogu se uzeti prema proteklom periodu ili proračunavati jednostavnim izrazima poznatim u literaturi [3, 4, 5]. Troškovi održavanja mogu se izjednačiti sa troškovima amortizacije održavanih TS koristeći metodu Grothusa [6]. Zbog toga u jednačini (2) nema troškova održavanja, jer bi njihovo dalje određivanje značilo rešavanje problema održavanja sistema održavanja koji je, u načelu, zanemariv u odnosu na problem šireg sistema.

Da bi se izvršio proračun troškova po varijantama, nije potrebno, ali je dobro, znati veličine svih komponenti troškova. Veličine koje su nepoznate, koje ne postoje ili se za njih unapred oceni da su zanemarive, uzimaju se sa vrednošću 0. Važno je samo da se isti troškovi zaračunavaju kod svih varijanti, kako bi se moglo izvršiti upoređenje.

Varijante koje zahtevaju više TE ili zaposlenih, mogu se odmah odbaciti, sa gledišta veličine troškova. Preliminarno rangiranje varijanti može se izvršiti i prema npr. potrebnom broju zaposlenih, broju TE, potrebnoj radnoj površini, jer oni čine sigurno najveći deo troškova [5]. U vezi s tim tvrdi se da su troškovi projektovanog sistema obično proporcionalni predviđenim TE uz troškove tehnoloških zahteva (zahteva za održavanjem — TZ) koji su proporcionalni vremenu realizacije i broju neopsluženih TZ [7]. To je korisno znati naročito pri početnoj kvantifikaciji tehnoloških zahteva ili, kako se još naziva, svedenog — orijentacionog projektovanja [3, 7].

Sledeći nivo parametara predstavljaju komponente funkcionisanja SOD. Ekonomska komponenta je razdvojena na opšte pokazatelje i pokazatelje za SOD sa privrednim računom. To je

učinjeno zbog toga što se parametri ekonomičnosti i rentabilnosti praktično ne mogu izračunati ako se ne zna veličina dobiti i stepen učešća u stvaranju dobiti, a ti podaci se teško dobijaju za SOd bez samostalnog privrednog računa. Za praktičnu primenu može se smatrati da su tehnološka i organizaciona uspešnost komponente raspoloživosti, uz ekonomske pokazatelje kao komponente ekonomske uspešnosti.

Parametri narednog, nižeg nivoa predstavljaju bazične pokazatelje uspešnosti. Oni su koncipirani tako da zadovolje ostale kriterijume uspešnosti ocene SOd. Pri koncipiranju ovih parametara važno je izbeći njihovo sadržajno ponavljanje.

Kriterijumi uspešnosti koje postavljaju standardi vezani su za nivo pojedinačnog TS. Standard JUS-IEC 706-1 kao parametre određuje one koji su navedeni pod rednim brojem 2, 3, 4, 5 i 6, u komponenti tehnološke uspešnosti i zahteva izračunavanje troškova održavanja po radnom času održavanja TS, što je, u stvari, izvedena veličina. Uputstvo AD 750-1 američke vojske traži, kao i JUS-IEC 706-1, i izračunavanje veličina MTBF, MTBM i učestanosti preventivnog održavanja, pored pokazatelja koji su već ušli u model. Ove mere uključene su u veličine raspoloživosti (gotovosti), pa nema potrebe za sadržajnim dupliranjem pokazatelja. Predlog standarda SNO 1096/92 zahteva poznavanje istih parametara kao i prethodni, s tim što ne zahteva izračunavanje troškova, ali traži proračun vremena zastoja (u modelu uključeno kao parametri na red. br. 7 i 8 u organizacionoj komponenti).

Veličine tehničko-tehnološke uspešnosti jednostavno se izračunavaju iz podataka kojima bi trebalo da raspolaže ili da ih bez mnogo napora prikupe svaki SOd. Za izračunavanje veličina pod rednim brojem 1, 4, 5 (slika, deo tehničko-tehnološka uspešnost) postoje matematički izrazi u literaturi

[4, 11, 12, 13]. Ostale veličine predstavljaju odnose, a za formulisanje njihovog izračunavanja dovoljna je elementarna logika. Ukoliko se sistem projektuje, veličine koje se stavljaju u odnos biće proračunate na osnovu poznavanja karakteristika SOd koji se projektuje, TZ, TE i elemenata upravljanja. Važno je napomenuti da su kvantitativne vrednosti ovih veličina vezane za operativni nivo organizacije.

Veličine tehnološke uspešnosti izračunavaju se za SOd u celini ili za svako TS posebno i prikazuju jednostavnim tabeliranjem podataka. Na taj način ističe se stepen ispunjenja projektnih zahteva za održavanjem i podrška njihovoj relativnoj važnosti za širi sistem. Za analizu uspešnosti održavanja pojedinačne vrste TS može se formirati, praktično, još jedan nivo parametara na kome se određuje važnost TS za postizanje cilja šireg sistema.

Covek — sati održavanja po jedinici mere eksploatacije TS ili TZ, posle raspoloživosti, predstavlja, u svetu, glavnu meru kvaliteta TS, sistema održavanja i njihove adekvatnosti. Ove mere govore o uspešnosti sprečavanja otkaza, otklanjanja slabih mesta, produžavanju radnog veka i skraćivanju vremena zastoja. Zajedno sa parametrima pod radnim brojevima 6, 7, 8, 9 i 10, parametar 3 govori o dostignutom tehnološkom nivou SOd, relativnom učešću u troškovima i složenosti sredstava koja se održavaju. Manje vrednosti ovih parametara u poređenju sa sličnim SOd ili projektnim varijantama bolje su. Broj TZ treba smanjivati koristeći sve poznate metode sprečavanja i predviđanja otkaza. Veličine pod rednim brojevima 10 i 11 govore o kvalitetu održavanja. Za tačnost primenjene dijagnostičke opreme postoji podatak [14] da je, tadašnja<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Prema metodama dijagnostike koje nabraja autor vidi se da današnja oprema za dijagnostiku kod mašinskih TS nije odmakla daleko u svom razvoju.

tačnost dijagnostike vozila bila 87%. Prema literaturi [15] reklamacija, odnosno grešaka održavanja, ne bi trebalo da bude više od 8 do 10<sup>0</sup>/o<sup>2</sup>. Ove dve veličine, ako ne mogu da se izračunaju iz postojećih podataka u SOD, treba uzeti kao pretpostavljene ulazne veličine pri projektovanju. Tačnost dijagnostike trebalo bi da bude što veća, a odnos reklamacija što manji. Procenti ponovo iskorišćenih i supstituisanih delova ukazuju na tehnološki nivo i sniženje troškova održavanja. Oni treba da budu što veći. Postoje podaci da bi procenat ponovo iskorišćenih delova na generalnom remontu trebalo da bude najmanje 60%, a trebalo bi težiti ka 70 do 75% [16]. Broj povreda — profesionalnih oboljenja jeste veličina koja se snima u postojećem SOD (ili pretpostavlja, kao ulazna promenljiva, pri projektovanju npr. vojnih SOD) i govori o uslovima rada i primeni mera HTZ. Poželjno je da vrednost ovog parametra bude što manja, a broj tehnoloških inovacija što veći.

Parametri koji opisuju komponentu organizacione uspešnosti izračunavaju se za celinu SOD ili njegovog dela. Procenat zadovoljenja zahteva za održavanjem računa se kao odnos ukupnog broja zadovoljenih zahteva prema ukupnom broju zahteva, i ima smisao verovatnoće održavanja. On govori o dimenzijama kvaliteta usluge, kao što su opipljivost, pouzdanost, spremnost na odziv i sigurnost. Prema američkom vojnom uputstvu AR-750-1 (1978) traži se da on bude na mesečnom nivou najmanje 70%. Parametri raspoloživosti kadra, i raspoloživost po elementima ILS, izračunavaju se odnosom njihovog projektovanog broja i stvarnog stanja SOD. Ovi pokazatelji služe projektantu i upravljačima za ocenu stanja SOD i upućuju na uzroke zastoja. Vrednosti ovih parametara trebalo bi da teže 100%, ili da se zadaju kroz zahtev za verovatnoću op-

sluge, uz izuzetak kod raspoloživosti rezervnih delova za koju MIL-STD 1390A zahteva vrednost 95% za verovatnoću zadovoljenja tražnje. Parametar kompetentnost kadra (obučenost) mogao bi da se izračuna prema jednačini:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i + RS_i)}{\sum_{i=1}^n (S_{zi} + RS_{zi})} \quad (3)$$

gde je:

- K — relativna kompetentnost kadra [%],
- S<sub>i</sub> — stvarni broj godina školovanja i-tog zaposlenog,
- RS<sub>i</sub> — stvarni radni staž (iskustvo) i-tog zaposlenog,
- S<sub>zi</sub> — zahtevani broj godina školovanja i-tog zaposlenog,
- RS<sub>zi</sub> — zahtevani radni staž (iskustvo) i-tog zaposlenog.

Jedan od pokazatelja kompetentnosti kadra i kvalitetnog izvršavanja održavanja [18] mogao bi biti da treba postići takav odnos da na jednog VKV radnika dolazi 15—18 KV i 20—30 polukvalifikovanih. Pri projektovanju, vrednost ovog parametra zadaje se, unapred, kao ograničenje, i ona mora da bude što veća.

Parametri iskorišćenja radne snage i TE govore o mogućnostima smanjenja troškova i izbalansiranosti funkcionisanja SOD. Što su ove vrednosti veće, u načelu, stanje je bolje. Ovi parametri izračunavaju se po grupama struka radne snage i grupama TE, odnosno radnim mestima. Uputstvo AR 750-1 (1978) zahteva da iskorišćenje radne snage na najnižem nivou u sistemu održavanja bude prosečno 85%, najmanje 75%, a na višim nivoima prosečno 50%, a najmanje 30%. Iskorišćenje preko 90% smatra se odličnim [19]. Vremena administrativnog, logis-

<sup>2</sup> U sistemu totalnog kvaliteta u Japanu prihvatljiviji nivo grešaka iznosi 0,07—0,09% [14].

tičkog i čekanja na prenos informacija (brzinu komunikacije) snimaju se u konkretnom ili sličnim SOD, preuzimaju iz literature i upotrebljavaju kao ulazni podaci za projektovanje. Potrebno ih je što više skratiti. Odnos planskog broja prema ukupnom broju akcija održavanja govori o obuhvatu kontrole koji je ostvaren nad procesima u konkretnom SOD. Može se računati kao odnos broja preventivnih ili broja korektivnih akcija održavanja prema ukupnom broju akcija, ukoliko se sistem projektuje ili utvrditi snimanjem stanja na planskoj dokumentaciji konkretnog SOD kao odnos planskih ili vanplanskih akcija održavanja prema ukupnom broju akcija održavanja. Ukoliko planski rad obuhvati 70—80% od ukupnog broja radova smatra se da je postignut zadovoljavajući stepen kontrole procesa [19]. Teži se, naravno, da obuhvat kontrole procesa bude i veći. Veličina upravljačkog dela prema operativnom može biti zadata u procesu projektovanja, kao ulazna veličina, preko usvojene organizacione strukture. Izlazna veličina upravljačkog dela određuje se preko simulacionih modela sistema održavanja i opterećenja komunikacionih čvorišta, o čemu će još biti reči u ovom radu. Ova veličina može se i prostije odrediti metodama analogije i komparacije sa podacima iz dosadašnjih istraživanja [20]. Što je manja veličina upravljačkog dela, izražena brojem ljudi, kao i opterećenost čvorišta komunikacija, izražena srednjim vremenom obrade podataka po komunikacionom čvorištu na dan — SOD je uspešnije organizovan.

Najvažnije parametre ekonomske komponente predstavljaju troškovi po akciji — času — TZ održavanja i produktivnost. Troškovi po akciji — času — TZ održavanja računaju se iz odnosa ukupnih troškova i ukupnog broja akcija — časova — TZ održavanja u sistemu. Ovi troškovi treba da budu što manji. Mogu se računati i za svako TS iz istog razloga kao i parametri

tehnološke komponente i mogu se dati uključivanjem u tabelarni prikaz parametara tehnološke uspešnosti. Produktivnost se računa kao odnos ukupnog (planskog ili efektivnog) vremena potrebnog za akcije održavanja i raspoloživog fonda časova za održavanje. Ukupni raspoloživi fond časova dobija se sabiranjem fonda direktnih izvršilaca radova na održavanju i fonda zaposlenih u upravljačkom delu organizacije. Poželjno je da ova veličina bude što veća.

Ekonomičnost i rentabilnost računaju se prema izrazima poznatim u ekonomskoj nauci i treba da budu što veći [1].

Pre pristupanja vrednovanju mogućih varijantnih rešenja treba odmah odbaciti ona koja svojim izlaznim vrednostima parametara ne zadovoljavaju vrednosti zadane korektnim projekt-nim zadatkom ili se ne uklapaju u ograničenja izneta u tekstu.

Za rešavanje problema rangiranja mogućih varijanti rešenja najbolje je koristiti neku od metoda višekriterijumskog odlučivanja, prilagođenu sistemu parametara, s više nivoa gde će težine (ponderi) pridodate parametrima označavati specifičnosti konkretnog sistema održavanja. U ovom slučaju najpraktičnija je primena metoda AHP i MENOR<sup>3</sup>.

Vrednovanje varijantnih rešenja mora biti zadatak šireg radnog tima, prvenstveno tehnologa, kao i ekonomista, pravnika, ekologa i psihologa. Ovako koncipiran model prvenstveno je prilagođen potrebama tehnologa i projekatnata organizacije, dok bi se u realnom sistemu, zbog pojave problema vezanih za izvore i uslove finansiranja, ekološke probleme, bezbednost, carinske i poreske propise itd., model

<sup>3</sup> Kod modela ocene uspešnosti SOD, u literaturi, koriste se i metode ciljnog programiranja, linearnog programiranja, a od metoda višekriterijumske analize metode *Promethee I, II, III i Electre*.



mogao dograditi prema istim kriterijumima i uz korišćenje istih metoda za odlučivanje.

### Metoda MENOR

U ovom radu predlaže se metoda normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa (MENOR), nastala iz potrebe da se postupak rangiranja alternativna pojednostavi kako bi se pomoglo donosiocima odluka pri pravilnom izboru najpovoljnije varijante, uz istovremeno uvažavanje velikog broja karakteristika i parametara. U ovakvom pristupu problemu rangiranja javlja se više nivoa značajnosti kriterijuma, a time i više nivoa rangiranja prema tim kriterijumima — potkriterijumima (preporučuje se da to ne bude više od tri nivoa). Na svakom nivou određuju se koeficijenti relativne važnosti kriterijuma-potkriterijuma koji ispoljavaju svoj uticaj na dalji tok rangiranja.

Metoda MENOR izabrana je zbog svojih prednosti:

— opštenamenskog je karaktera, zasnovana na načelima i logici sistemskog pristupa i uvažavanju stručnosti kompetentnih donosilaca odluke;

— ne zahteva prethodnu analizu međuzavisnosti kriterijuma;

— dopušta da se kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor varijanti mogu kvantitativno i kvalitativno izraziti;

— omogućava razlaganje složenih kriterijuma na više potkriterijuma, uvođenje više nivoa značajnosti kriterijuma, a time i nivoa rangiranja;

— sve veće »popularnosti« metoda za višekriterijumsko odlučivanje;

— subjektivizam donosioca odluke svodi se na najmanju meru, jer pruža mogućnost da se kroz detaljno razlaganje kriterijuma na potkriterijume dođe do vrednosti parametara i karakteristika kriterijuma koje su merljive veličine.

Postupak provođenja predložene metode ima sledeći tok: prvo se detaljno proučava zadatak i, po potrebi, prikupljaju dodatne informacije radi što potpunijeg shvatanja; drugi korak čini definisanje kriterijuma i ocena njihove valjanosti, odnosno izmena ukoliko se neki od njih pokaže kao nesvrshodan ili nepodoban za ocenjivanje; u trećem koraku razrađuju se potkriterijumi. Potom se pristupa formalizovanom zapisu problema, određivanju uticaja kriterijuma, relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenom nivou rangiranja. Zatim se određuju varijante koje će se ocenjivati.

### Definisanje kriterijuma

Kriterijumi mogu biti:

- tehničko-tehnološki  $K_1^{(0)}$
- organizacioni  $K_2^{(0)}$
- ekonomski  $K_3^{(0)}$

Daljom razradom tehničko-tehnološkog kriterijuma mogu se uočiti kriterijumi drugog reda:

- $K_{1,1}^{(1)} - A_i$  — sopstvena raspoloživost,
- $K_{1,2}^{(1)}$  — broj tehnoloških zahteva,
- $K_{1,3}^{(1)}$  — čovek — sati održavanja po jedinici mere eksploatacije TS,
- $K_{1,4}^{(1)} - M_c$  — srednje vreme aktivne korektivne opravke po TS,
- $K_{1,5}^{(1)} - M_p$  — srednje vreme aktivnog preventivnog održavanja po TS,
- $K_{1,6}^{(1)}$  — odnos vremena za dijagnostiku i(ili) montažu-demontažu prema ukupnom vremenu održavanja,
- $K_{1,7}^{(1)}$  — broj izvršilaca prema tehnološkom zahtevu (TZ),

- $K_{1,8}^{(1)}$  — broj tehnoloških elemenata (TE) po času održavanja ili TZ,
- $K_{1,9}^{(1)}$  — radna površina po TZ ili vrsti TS,
- $K_{1,10}^{(1)}$  — broj ostalih elemenata ILS po času održavanja, TZ ili TS,
- $K_{1,11}^{(1)}$  — tačnost primenjene dijagnostičke opreme,
- $K_{1,12}^{(1)}$  — broj radova ili časova rada po reklamacijama prema ukupnom vremenu ili broju radova,
- $K_{1,13}^{(1)}$  — procenat supstituisanih od uvezenih delova,
- $K_{1,14}^{(1)}$  — procenat regenerisanih i opravljenih delova prema ukupnom broju otkazalih,
- $K_{1,15}^{(1)}$  — broj povreda na radu ili oboljenja na broj zaposlenih,
- $K_{1,16}^{(1)}$  — broj inovacija.

Kriterijumi drugog reda koji opisuju organizacionu uspešnost su:

- $K_{2,1}^{(1)}$  — procenat zadovoljenih zahteva za održavanjem,
- $K_{2,2}^{(1)}$  — raspoloživost kadra,
- $K_{2,3}^{(1)}$  — kompetentnost kadra,
- $K_{2,4}^{(1)}$  — raspoloživost elemenata ILS,
- $K_{2,5}^{(1)}$  — iskorišćenje tehnoloških elemenata,
- $K_{2,6}^{(1)}$  — iskorišćenje radne snage,
- $K_{2,7}^{(1)}$  — logističko i administrativno vreme čekanja,
- $K_{2,8}^{(1)}$  — brzina komuniciranja,
- $K_{2,9}^{(1)}$  — odnos planskog vremena prema ukupnom broju radova na održavanju ili ukupnom vremenu,
- $K_{2,10}^{(1)}$  — veličina upravnog prema operativnom delu,

Kriterijumi drugog reda koji opisuju ekonomsku komponentu su:

- $K_{3,1}^{(1)}$  — troškovi po radnom času ili akciji održavanja (TZ),
- $K_{3,2}^{(1)}$  — troškovi zbog zastoja opreme koja se održava.

### *Formalizovani zapis problema*

Formalizovani zapis problema, svedenje na oblik podesan za primenu navedene metode i rešavanje problema uz primenu računara obavlja se pomoću početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje. Vrednosti parametara koji opisuju kriterijume na oba nivoa za sve varijante prikazane su u tabeli 1.

Koeficijenti težine potkriterijuma (kriterijuma 1. ranga) obeleženi su u tabeli sa  $T_1$ , a koeficijenti težine kriterijuma (kriterijuma 0. ranga) sa  $T_0$ . Početna matrica je konstruisana tako da omogućava standardni zapis problema, bez obzira na to koja će se metoda višekriterijumskog odlučivanja primeniti. Vrednosti karakteristika i parametara kriterijuma određuju se na osnovu merljivih pokazatelja, uvek kada je to moguće, odnosno korištenjem drugih informacija neophodnih za odlučivanje. Tamo gde to nije moguće izmeriti ili izračunati, ekspertsku proceduru izvršice kompetentni rukovodioci, odnosno stručnjaci za konkretne oblasti.

Vrednosti kriterijumskih funkcija za konkretan slučaj određuju se na osnovu merenja i podataka iz konkretnog SOd. Uticaj kriterijuma (+ ili -) određuje se na osnovu toga da li je za rešenje konkretnog problema povoljnije da vrednost kriterijuma bude (+) ili (-). Pri određivanju uticaja na nižim nivoima rangiranja vodi se računa o tome kako kriterijum na tom nivou utiče na neposredno viši kriterijum, a ne na objekat razmatranja (varijantu). Važnost kriterijuma oce-

Početna matrica za višekriterijumsko odlučivanje

Kriterijum	Potkrite-rijum	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>
K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	0,581	0,625	0,619	0,631	3	2
	K <sub>2</sub>	454	455	455	454	2,5	
	K <sub>3</sub>	0,321	0,261	0,253	0,249	-2,5	
	K <sub>4</sub>	15,6	15,3	12,6	11,9	-2,5	
	K <sub>5</sub>	90,5	68,3	69,7	70,1	-2	
	K <sub>6</sub>	45,25	34,15	34,85	35,05	2	
	K <sub>7</sub>	0,0859	0,0615	0,0616	0,0615	-2	
	K <sub>8</sub>	0,145	0,0967	0,0969	0,0967	-1,5	
	K <sub>9</sub>	88,1	87,9	88,1	87,9	-1,2	
	K <sub>10</sub>	0,21	0,268	0,313	0,27	-1,5	
	K <sub>11</sub>	92,63	91,72	92,33	92,36	3	
	K <sub>12</sub>	0,108	0,105	0,105	0,105	-1,5	
	K <sub>13</sub>	0	0	0	0	1	
	K <sub>14</sub>	0	0	0	0	1	
	K <sub>15</sub>	0	0	0	0	-1	
	K <sub>16</sub>	0	0	0	0	1	
K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	56,4	64,4	63,3	64,1	3	2,5
	K <sub>2</sub>	95	95	95	95	2,5	
	K <sub>3</sub>	100	100	100	100	3	
	K <sub>4</sub>	95	95	95	95	2,5	
	K <sub>5</sub>	0,66	0,42	0,41	0,404	1,7	
	K <sub>6</sub>	0,7	0,45	0,44	0,434	2	
	K <sub>7</sub>	21,7	19,4	21,6	21,3	-3	
	K <sub>8</sub>	10	10	10	10	-2,5	
	K <sub>9</sub>	0,718	0,617	0,585	0,573	1,5	
	K <sub>10</sub>	5	5	5	5	-1,5	
K <sub>3</sub>	K <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	2
	K <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	

njuje se ocenama od 1 do 3, pri čemu se vodi računa da to bude »fino ocenjivanje« jednih u odnosu na druge. Posle formiranja početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje može se pristupiti korišćenju programa kojim se rešava problem izbora optimalne varijante.

Vrednosti karakteristika i parametara u početnoj matrici za višekriterijumsko odlučivanje za četiri moguće organizaciono-tehnološke varijante S0d, na nivou jedne združene taktičke jedinice, uzete su iz literature [20]. Konkretno vrednosti dobijene su simulacionim eksperimentom na modelu S0d posmatrane jedinice. Varijante se ukratko mogu odrediti na sledeći način:

— A1. Na nivou združene taktičke jedinice izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, a u slučaju borbenih dejstava rešenje se traži u ispomoći od pretpostavljenog nivoa. Organizaciona struktura je linijsko-štapskog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou združene taktičke jedinice.

— A2. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanija radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je matričnog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou združene taktičke jedinice.

Tabela 2

Rezultati primene metode MENOR

TABELA NORMALIZOVANIH INDEKSA POSLE 1. RANGA					
K 1	0	437	518	629	3
K 2	2629	2278	2149	2144	2,5
TABELA NORMALIZOVANIH INDEKSA POSLE 0. RANGA					
K 1	0	276	327	397	2
K 2	714	619	584	583	2,5
UKUPNO	714	895	911	980	
VREDNOST NORMALIZOVANIH INDEKSA					
A 4	=980	A 2	=895		
A 3	=911	A 1	=714		
ALTERNATIVE					
A 4	*****				
A 3	*****				
A 2	*****				
A 1	*				

— A3. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanija radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je linijskog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou osnovne taktičke jedinice.

— A4. Na nivou osnovnih taktičkih jedinica izvode se korektivni radovi u trajanju do 10 h i tehnički pregledi, ali se obavlja dehomogenizacija prema manje iskorišćenim TE. Pri tome, angažovanija radna snaga preuzima zadatke od manje angažovanih struka radne snage radi povećanja iskorišćenja. Organizaciona struktura je matičnog tipa, a rezervni delovi se ešeloniraju na nivou osnovne taktičke jedinice.

Na osnovu izlaza iz računara (tabela 2), jasno je da je najbolje rešenje za konkretni SOD varijanta A4, da je gotovo izjednačeno prate varijante A2. i A3, dok je A1. najlošija. Vrednosti normalizovanih indeksa date su zbog ilustracije načina na koji se primenom metode MENOR vrši upoređenje varijanti. Najveća broječna vrednost normalizovanog indeksa govori o najpovoljnijem krajnjem rešenju, što je slikovito prikazano brojem zvezdica, uz oznaku pojedine varijante.

## Zaključak

Cilj ovog rada bio je da se donosiocima karakteristične odluke skрати i olakša put izbora objektivno najboljeg rešenja sistema održavanja. To je učinjeno kreiranjem specifičnog modela za ocenu uspešnosti sistema održavanja i formalizovanjem zapisa postavke problema. Određeni su kriterijumi za ocenu i njihovi uticaji, kao i relativne važnosti kriterijuma i vrednosti potkriterijumskih funkcija na određenim nivoima rangiranja. Poseban značaj razvijenom modelu daje zasnovanost na svetskim dostignućima i standardima vezanim za oblast održavanja tehničkih sredstava. Osim rešenja konkretnog problema daje se i metodološka osnova i preporuka za rešavanje srodnih problema.

Svođenje subjektivizma donosioca odluke na dopustivu meru omogućila je suština primenjene metode višekriterijumskog rangiranja — odlučivanja, delom i kroz omogućavanje uvođenja u razmatranje fizički merljivih veličina. Prednost metode jeste što pruža mogućnost da se kroz detaljno razlaganje kriterijuma na potkriterijume dođe do vrednosti parametara i karakteristika kriterijuma koje su merljive veličine.

Primenljivost i rezultati primene datog modela testirani su i pokazani na primeru više mogućih varijanti karakterističnog sistema održavanja dobijenih simulacionim modelovanjem.

## Literatura:

- [1] Brdarević, S.: Uspešnost održavanja, OMO, Beograd, 1988.
- [2] Vasiljević, D.: Koncept totalnog produktivnog održavanja u JIT okruženju, Zbornik radova, XXIII SYMOPIS, Zlatibor, oktobar 1986., str. 600—603.
- [3] Zrnić, Đ.: Fabrička postrojenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Petković, R., Kokanović, M., Čirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVVŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [5] Anders, A. A., Potapov, N. M., Suleškin, A. V.: Projektirovanije zavodov, Mašinstrojenije, Moskva, 1982.
- [6] Grothus, H.: Planiranje troškova održavanja, OMO, Beograd, 1977.
- [7] Vukićević, S.: Skladišta, Preving, Beograd, 1985.
- [8] Standard: JUS IEC 706 — 1,2,3 — Guide on Maintability of Equipment, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, Geneve, 1982.

- [9] AD 750 — 1 Army materiel Maintenance concepts and Policies, 1978, Headquarters, Department of the Army, Washington DC.
- [10] Standard: Predlog SNO 1096/92, 1992, TU GS VJ.
- [11] Ivanović, G., Stanivuković, D.: Pouzdanost analiza i projektovanje, TU SSNO, 1988.
- [12] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [13] Klarin, M., Ivanović, G., Stanojević, P., Raičević, R.: Principi terotehnoških postupaka, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [14] Kolesnik, P. A.: Tehničeskoe obsluživanje i remont avtomobilei, Transport, Moskva, 1976.
- [15] Cunningham, C. E., Coks, W.: Applied Maintainability Engineering, A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, 1972.
- [16] Taratuta, A. I., Svržkov, A. A.: Progresivne metodi remonta mašin, Minsk, Urožaj, 1979.
- [17] DoD MIL-STD-1390 A (Level of Repair), Department of Defense USA, 1974.
- [18] Dunn, J. D., Stephens, E. C.: Management of Personnel (Manpower, Management and Organizational Behavior), McGraw-Hill Book Company, New York, 1972.
- [19] Maynard, H. B.: Handbook of Modern Manufacturing Management, Mc Graw — Hill, 1979.
- [20] Stanojević, P.: Uticaj tehničkih faktora na organizacionu strukturu sistema održavanja, Materijal za doktorsku disertaciju, Beograd, 1996.
- [21] Đukić, R.: Rangiranje alternativa metodom normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa, NTP 6/89, str. 27—32.

Mr Radenko Dimitrijević,  
major, dipl. inž.  
Dr Radun Jeremić,  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## ISPITIVANJE NEKIH DETONACIONIH OSOBINA MALODIMNIH BARUTA

UDC: 662.311.001.4

### Rezime:

Za pouzdanu procenu pirotehničke bezbednosti neophodno je poznavati količinu eksplozivnih materija u uskladištenim ubojnim sredstvima koja može odjednom detonirati u masi. U određenim uslovima i malodimni baruti su skloni detonaciji. S obzirom na to da čine preko 50% ukupne mase eksplozivnih materija laborisanih u ubojnim sredstvima vrlo je važno da se tačno utvrdi njihov udeo u neto količini čistog eksploziva. To je i cilj ispitivanja detonacionih osobina nekoliko tipova malodimnih baruta koji se kod nas najčešće primenjuju za pogon projektila, a u radu su izneti eksperimentalni rezultati.

**Ključne reči:** detonacione osobine, malodimni baruti, kritični prečnik.

## TESTING DETONATION PROPERTIES OF SMOKELESS POWDERS

### Summary:

For the reliable evaluation of pyrotechnic safety it is necessary to know the quantity of explosive materials in stored explosive ordnance which can suddenly detonate in the mass. Under certain conditions smokeless powders also have a tendency to detonate. Bearing in mind that smokeless powders amount to more than 50% of the total mass of explosive materials in explosive ordnance, it is very important to determine their accurate content in the pure explosive net weight. This was the objective of testing the detonation properties of several types of smokeless powders most commonly used for projectile charges in our country. The experimental results of these tests are presented as well.

**Key words:** detonation properties, smokeless powders, critical cross section.

### Uvod

Malodimni baruti su vrsta potisnih eksplozivnih materija (EM) kod kojih je proces sagorevanja (deflagracije) osnovni oblik eksplozivnog pretvaranja. Pri tome se toplota potrebna za odvijanje procesa hemijskog razlaganja prenosi kroz EM, uglavnom, termičkom provodljivošću. Zato je i brzina sagorevanja relativno mala i, zavisno od vrste EM i pritiska, kreće se od nekoliko milimetara pa do nekoliko desetina metara u sekundi, za razliku od procesa detonacije, čija

je brzina reda veličine nekoliko hiljada metara u sekundi.

Sagorevanje potisnih EM u eksploatacionim uslovima odvija se pri relativno visokim pritiscima, koji u slučaju baruta mogu iznositi i nekoliko hiljada bara. U takvim uslovima proces sagorevanja poprima karakter eksplozivnog sagorevanja ili deflagracije koje prati i pojava udarnog talasa. Čak i u tim uslovima proces sagorevanja ima karakter stabilnog, slojevitog sagorevanja.

Međutim, u određenim kritičnim uslovima potisne EM mogu i detonirati, pri čemu su posledice po okolnu sredinu slične kao i pri detonaciji brizantnih eksploziva. Takvih primera bilo je u prošlosti. Na primer, na francuskim brodovima »Jena«, 1907. godine, i »Liberta«, 1911. godine, došlo je do eksplozije nitroceluloznih baruta. Samo na »Liberti« eksplozija je usmrtila više od 200 mornara i oficira.

Proces detonacije potisnih EM može se inicirati detonacijom određene količine brizantnog ili inicijalnog eksploziva ili može doći do prelaska procesa sagorevanja u detonaciju, ako se postignu kritični uslovi.

Zato je proučavanje procesa detonacije potisnih EM od velikog teorijskog i praktičnog značaja za utvrđivanje uslova pri kojima proces sagorevanja može preći u detonaciju, kao i za predviđanje mogućnosti prihvatanja i prenošenja detonacije realnih pogonskih punjenja u ubojnim sredstvima (UbS) u slučaju masovne eksplozije uskladištenih UbS.

Prema našim starijim propisima [1] malodimni baruti činili su polovinu mase neto količine eksploziva za proračun dejstva udarnog talasa na okolnu sredinu u slučaju masovne eksplozije uskladištenih UbS. Međutim, za to nisu postojale nikakve teorijske i empirijske osnove.

Prema propisima novijeg datuma [2] masi brizantnih eksploziva dodaje se odgovarajući ekvivalent za malodimne barute, raketna goriva i pirotehničke smeše, ako postoji. Taj ekvivalent određuje se posebnim testovima za koje nema podataka u literaturi. U nedostatku tih testova ove EM tretiraju se kao i ostali brizantni eksplozivi, tj. celokupnom svojom količinom, ulaze u neto količinu čistog eksploziva.

Poseban problem jeste što se, bez odgovarajućih testova, UbS ne mogu

svrstati u odgovarajuću grupu opasnosti prema preporukama UN [3].

U oružanim snagama SAD nelaborisani baruti i raketna goriva sa tog aspekta tretiraju se kao i ostali brizantni eksplozivi. Međutim, baruti i raketna goriva laborisana u UbS, podvrgavaju se posebnim ispitivanjima prema odgovarajućim standardima i propisima radi utvrđivanja njihovog učešća u količini čistog eksploziva koja se uzima u obzir prilikom procene posledica dejstva UbS koja detoniraju u masi. Ova ispitivanja uključuju određivanje kritičnih prečnika malodimnih baruta, prenos detonacije u sredstvima pakovanja, između sredstava pakovanja, između stokova UbS, paljenje na lomači, itd.

S obzirom na to da baruti čine preko 50% [4] ukupne mase EM u UbS, posledice nepreciznosti u određivanju neto količine eksploziva mogu biti velike. Zbog toga nije pravilno određen stepen ugroženosti objekata oko skladišta UbS, niti verovatnoća prenosa detonacije sa jednog magacina UbS na drugi.

Imajući sve to u vidu može se zaključiti da je za precizno utvrđivanje doprinosa malodimnih baruta količini EM laborisanih u UbS, koje mogu odjednom detonirati, neophodno detaljno ispitati njihove detonacione karakteristike, kao što su: sposobnost prihvatanja detonacije, brzina detonacije, kritični uslovi detonacije, itd.

### Osnovne postavke teorije detonacije

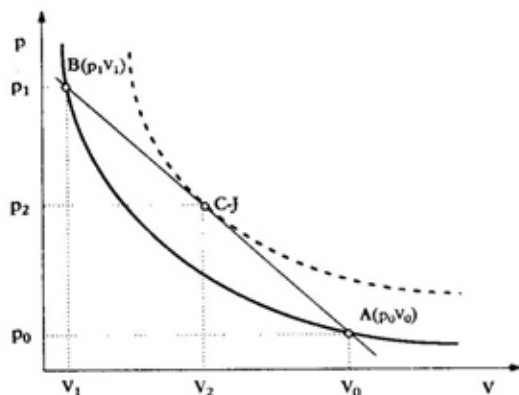
Detonacija predstavlja proces supersoničnog prostiranja fronta reakcija hemijskog razlaganja kroz eksplozivnu materiju pomoću udarnog talasa. Ako su brzine reakcija toliko velike da se dostiže stanje hemijske ravnoteže, onda se radi o stacionarnoj ili



normalnoj detonaciji čija se brzina određuje samo na osnovu zakona termodinamike i hidrodinamike.

Prema hidrodinamičkoj teoriji, proces detonacije uslovljen je rasprostranjem udarnog talasa po EM. Ako je pritisak na frontu udarnog talasa veći od neke kritične vrednosti, onda je on u stanju da iza fronta pobuđuje intenzivne hemijske reakcije usled kojih se oslobađa energija neophodna za održavanje parametara udarnog talasa i stacionarnog karaktera detonacije.

Reakcije eksplozivnog pretvaranja započinju usled dinamičkog sabijanja sloja EM, koja se nalazi pod normalnim pritiskom  $p_0$ , i koja ima specifičnu zapreminu,  $V_0$  ( $\rho_0 = 1/V_0$  je njena početna gustina). Po EM, brzinom  $D$ , prostire se front udarnog talasa koji sabija materiju u skladu sa Hugoniotovom (ili udarnom) adijabatom za čvrstu EM, dovodeći je u stanje  $p_1V_1$  (slika 1). Reakcije se odigravaju u zoni debljine nekoliko desetina mikrona do nekoliko desetina milimetara. Nakon završetka reakcije pritisak i specifična zapremina poprimaju vrednosti  $p_2$ ,  $V_2$ , koje odgovaraju tački na udarnoj adijabati produkata detonacije. Nakon toga produkti detonacije se šire po izentropi (talas Taylora) koja prolazi kroz tačku  $p_2$ ,  $V_2$ .



Sl. 1 — Udarne adijabate eksplozivne materije i produkata detonacije

U slučaju da tačke  $(p_0, V_0)$ ,  $(p_2, V_2)$  i  $(p_1, V_1)$  leže na istom pravcu, što znači da je brzina fronta udarnog talasa jednaka brzini zadnje granice zone hemijskih reakcija, radi se o stacionarnoj detonaciji. Ove tačke definišu Miheljsоновu pravu koja tangira udarnu adijabatu produkata detonacije u tački  $(p_2, V_2)$ , poznatu kao Chapman-Jougeotova tačka ili C-J tačka.

Na osnovu zakona o očuvanju mase, energije i količine kretanja, pomoću hidrodinamičke teorije detonacionog talasa mogu se izvesti sledeće jednačine za parametre detonacionog talasa:

$$p - p_0 = \rho_0(D - w_0)(w - w_0), \quad (1)$$

$$D - w_0 = V_0 \sqrt{\frac{p - p_0}{V_0 - V}}, \quad (2)$$

$$w - w_0 = \sqrt{(p - p_0)(V_0 - V)}, \quad (3)$$

$$U - U_0 = \frac{1}{2}(p + p_0)(V_0 - V) + Q_v, \quad (4)$$

gde je:

- $D$  — brzina detonacije,
- $w$  — brzina produkata detonacije iza fronta detonacionog talasa,
- $U$  — unutrašnja energija produkata detonacije,
- $Q_v$  — toplota eksplozije, (indeks »0« označava stanje polazne eksplozivne materije).

Brzinu detonacije, pri ostalim jednakim uslovima, uglavnom, diktira toplota eksplozije. Pored nje, na brzinu detonacije utiču i drugi parametri, kao što su: prečnik eksplozivnog punjenja, gustina, agregatno stanje, vrsta i kvalitet obloge, dimenzije čestica i sl.

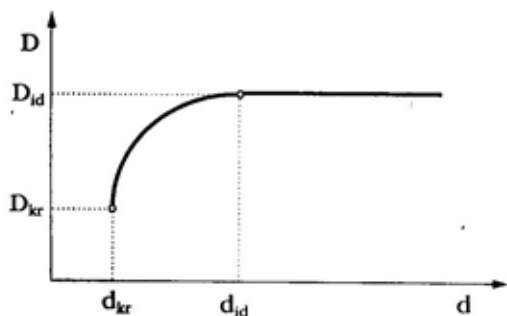
## Pojam kritičnog prečnika

Zavisnost brzine detonacije od prečnika punjenja bila je predmet mnogobrojnih istraživanja [5, 6, 7] koja su pokazala da:

— postoji minimalni prečnik eksplozivnog punjenja ispod kojeg nije moguća detonacija, bez obzira na način i jačinu inicijacije, koji se naziva kritični prečnik,  $d_{kr}$ .

— sa povećanjem prečnika do određene granice brzina detonacije raste, sve dok ne dostigne maksimalnu vrednost.

Prečnik kod kojeg se postiže maksimalna brzina detonacije naziva se granični prečnik,  $d_{gr}$ , a brzina detonacije kod tog prečnika — idealna brzina detonacije,  $D_{id}$  (slika 2).



Sl. 2 — Opšta zavisnost brzine detonacije od prečnika eksplozivnog punjenja

Na veličinu kritičnog prečnika utiču mnogobrojni parametri od kojih su najvažniji vrsta i sastav EM, početna temperatura, gustina eksplozivnog punjenja, karakteristike i debljina obloge eksplozivnog punjenja, granulacija EM, itd.

Sa povećavanjem početne temperature smanjuje se i kritični prečnik, što se objašnjava njenim uticajem na brzinu hemijskih reakcija u zoni hemijskih reakcija detonacionog talasa [8].

Sa smanjenjem veličine čestica EM smanjuju se takođe,  $d_{kr}$  i  $d_{gr}$ , kao i razlika između njih. To važi kako za homogene tako i za smese EM. Pored toga, veličina čestica ne utiče na veličinu  $D_{id}$ , ukoliko je gustina eksplozivnog punjenja (EP) ostala ista, ali utiče na brzinu dostizanja te vrednosti.

Obloga na EP otežava prodiranje bočnih talasa razređenja u produkte detonacije i njihovo delovanje na zonu hemijskih reakcija u detonacionom talasu, čime se smanjuje i kritični prečnik. Uticaj obloge izraženiji je kod eksploziva sa manjom brzinom detonacije, npr. privrednih eksploziva, nego kod brizantnijih, kao što je heksogen, a pogotovo kod inicijalnih eksploziva.

Obloga deluje na detonacione procese najviše kod relativno malih prečnika i gustina, dok je kod velikih prečnika i gustina delovanje obloge minimalno.

Što je obloga masivnija, manji je i kritični prečnik.

### Uticaj gustine EM na brzinu detonacije

Ukoliko je prečnik punjenja veći od graničnog prečnika onda na brzinu detonacije utiču samo toplota eksplozije  $Q$  i gustina punjenja  $\rho_0$ . Svi ostali faktori utiču samo na mogućnost pobuđivanja detonacije, procese prenosa, veličinu početnog impulsa, itd.

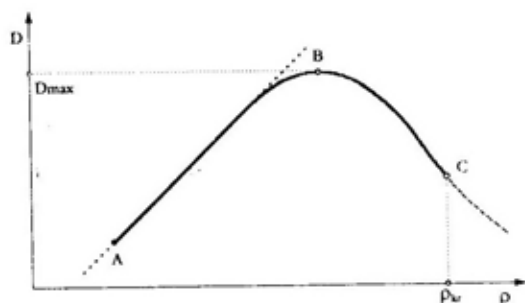
Mnogobrojni eksperimentalni rezultati ukazuju na to da brzina detonacije sa povećanjem gustine raste. Za eksplozive tipa  $C_n-H_b-O_c-N_d$  i njihove smese, brzina detonacije uglavnom linearno zavisi od gustine i može se prikazati sledećom empirijskom jednačinom [9]:

$$D = A + B\rho_0, \quad (5)$$

gde su:  $A$  i  $B$  konstante.

Međutim, brzina detonacije ne raste monotono za sve vrednosti gusti-

ne EP. Usled pogoršanih uslova za odvijanje hemijskih reakcija, kod većih gustina, funkcija  $D=f(\rho_0)$  dobija drugačiji karakter, kako je prikazano na slici 3.



Sl. 3 — Opšta zavisnost brzine detonacije od gustine EM

U početnom delu krive brzina detonacije raste sa gustinom i za neku vrednost gustine dostiže maksimum (tačka B). Sa daljim porastom gustine brzina se ili gasi ili naglo pada, da bi se kod neke gustine  $\rho_{kr}$  ugasila (tačka C). Ovaj oblik zavisnosti važi samo za punjenja dovoljno malog prečnika i, uglavnom, za smese na bazi amonijumnitrata, kao i slične kompozicije. Za ostale EM, u području gustina koje se mogu tehnološki ostvariti, zavisnost je, uglavnom, linearna.

### Opis eksperimenta

Ispitivanje detonacionih karakteristika sprovedeno je na sledećim vrstama malodimnih baruta:

— nitroglicerinski pločasti baruti tipa balistita, NGB, tip A, B, C i D,

— nitroglicerinski cevasti topovski baruti, NGH, tip A i B,

— nitrocelulozni pločasti baruti, NC, tip A i B,

— nitrocelulozni zrnasti barut, NC, tip C,

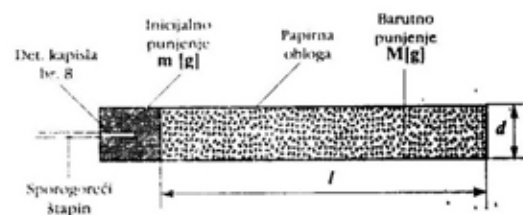
— nitrocelulozni cevasti baruti, NC, tip D i E.

Oblik, dimenzije i sastav ovih baruta dati su u tabeli 1.

Merenje brzine detonacije vršeno je pomoću uređaja za merenje brzine detonacije EXPLOMET. Princip rada uređaja je u merenju vremena za koje detonacioni talas pređe određeno rastojanje po eksplozivnoj materiji. Kao senzori za registrovanje nailaska udarnog talasa koriste se optička vlakna.

Uređaj omogućuje merenje brzine detonacije svih vrsta eksploziva: čistih jedinjenja i njihovih smeša, privrednih eksploziva, kašastih (slurry) eksploziva, itd. Merenje brzine detonacije moguće je u temperaturnom intervalu od 0 do 50°C. Preciznost instrumenta je  $\pm 10$  m/s.

Detonacija je ispitivana na standardizovanim cilindričnim punjenjima, različitih prečnika, a konstantne dužine od 600 mm. Punjenja pločastih i zrnastih baruta formirana su u oblogama od papira, nasipanjem do približno gravimetrijske gustine, tako da se ovakva punjenja mogu smatrati punjenjima bez obloge (slika 4). Punjenja od cevastih baruta formirana su u obliku snopova određenog prečnika.



Sl. 4 — Izgled barutnog punjenja za ispitivanje detonacije

Za aktiviranje barutnih punjenja, pri određivanju kritičnog prečnika, korišćeno je eksplozivno punjenje od plastičnog eksploziva na bazi pentri-

Oblik, dimenzije i sastav ispitivanih malodimnih baruta

Vrsta baruta	Oblik	Debljina w. [mm]	Širina a [mm]	Dužina L [mm]	Spoljni prečnik D [mm]	Unutr. prečnik d [mm]	NC [%]	NGI [%]
NGB, tip A	Pločica	0,10	0,6	0,6			57,5	40,5
NGB, tip B	Pločica	0,20	1,5	1,5			57,5	40,5
NGB, tip C	Pločica	0,55	3,0	3,0			57,5	40,5
NGB, tip D	Pločica	0,90	10,0	10,0			57,5	40,5
NGH, tip A	Jednokanalna cilind. cevčica	1,8		256	5,8	2,2	56,0	26,8
NGH, tip B	Jednokanalna cilind. cevčica	2,40		363	7,32	2,52	56,0	26,8
NC, tip A	Pločica	0,10	1,3	1,5			98,7	
NC, tip B	Pločica	0,30	1,25	1,35			98,6	
NC, tip C	Jednokanalni cilindar	0,45		6,5	1,2	0,3	98,6	
NC, tip D	Jednokanalna cilind. cevčica	1,85		305	5,7	2,0	98,6	
NC, tip E	Jednokanalna cilind. cevčica	1,23		265	5,05	2,6	98,6	

ta, mase 75 g, a za ispitivanje osjetljivosti na udarni talas korišćena su eksplozivna punjenja promjenljive mase od istog eksploziva. Iniciranje je obavljeno standardnom detonatorskom kapslom br. 8 i sporogorećim štapinom.

Za ispitivanje uticaja obloge punjenja na brzinu detonacije korišćena je čaura metka 40 mm. Pored merenja brzine detonacije praćene su i druge pojave bitne za ocenu ponašanja baruta, kao što su: razbacani delovi punjenja ili čaure, oblik i dubina traga na peščanoj podlozi, itd.

## Rezultati ispitivanja i diskusija

### Određivanje kritičnog prečnika

Aktiviranje je obavljano na podlozi od sitnog peska. U slučaju da detonacija nije prihvaćena, na mestu eksplozije pronalazeni su ostaci punjenja ili njegovi delovi. U slučaju potpune detonacije, na pesku se jasno raznavalo izduženo udubljenje, dugo oko 750 mm, nešto šire i dublje na mestu gde se nalazilo podsticajno punjenje. Ukoliko nije prihvaćena deto-

nacija otisak na peščanoj podlozi je kraći ili je postojao samo otisak od podsticajnog metka.

U tabeli 2 prikazani su rezultati ispitivanja kritičnog prečnika za barut NGB, tip C.

najsličniji eksplozivima na bazi amonijum-nitrata ili amonijum-perhlorata.

Analizom eksperimentalnih rezultata ne može se uočiti opšta zavisnost kritičnih prečnika pločastih malodimnih baruta tipa balistita od srednje

Tabela 2

Rezultati određivanja kritičnog prečnika za barut NGB, tip C

Pločasti barut NGB, tip C					
d [mm]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	M [g]	L [mm]	m [g]	Opis rezultata
10,5	0,800	41	600	75	Detonacija nije prihvaćena
14,5	0,858	85	600	75	Detonacija nije prihvaćena
18,5	0,878	141	600	75	Detonacija nije prihvaćena
23	0,901	224	600	75	Vrlo malo prihvatanje
26	0,887	282	600	75	Vrlo malo prihvatanje
27	0,908	312	600	75	Detonaciju prihvatila 1/10 b/p
30	0,967	410	600	75	Detonaciju prihvatile 2/3 b/p
36	0,872	532	600	75	Detonacija prihvaćena potpuno
39	0,939	673	600	75	Nije vršena proba
41	0,972	769	600	75	Detonacija prihvaćena potpuno
$d_{kr} \approx 34$ mm					

Na analogan način određeni su i kritični prečnici za ostale ispitivane barute (tabela 3).

Dobijeni rezultati (tabela 3) pokazuju da se kritični prečnici malodimnih baruta dosta razlikuju od kritičnih prečnika ostalih eksploziva. Kod inicijalnih i brizantnih eksploziva kritični prečnici kreću se od 0,01 mm (olovni azid) do 10 mm (presovani trotil). Kod malodimnih baruta najmanji  $d_{kr} \approx 14$  mm je za barut NGB, tip A. Kod ostalih baruta kritični prečnici su daleko veći. Što se tiče veličine kritičnih prečnika, malodimni baruti su

gustine punjenja. Ispitivanja su sprovedena u dosta širokom rasponu nasipnih gustina, što je posledica relativno velike granulacije i specifičnog oblika (pločice) ispitivanih baruta. Naime, kod većih granulacija nasipna gustina se povećava sa prečnikom punjenja. Pored toga, oblik (grafitirane pločice) omogućava sleganje prilikom manipulacije pripremljenim punjenjima. Raspon nasipnih gustina je minimalan kod sitnijih baruta.

Međutim, kod pločastih nitroceluloznih baruta zapaža se rast kritičnih prečnika sa porastom nasipne gustine,

što ukazuje na sličnost sa eksplozivima na bazi amonijum-nitrata.

Za cevaste barute, zbog malog broja opita, ne može se utvrditi bilo kakva zavisnost  $d_{kr}$  od gustine. Nasipne gustine punjenja od ovih baruta veće su od gustina pločastih i zrnastih ba-

nitrocelulozne barute. Sa porastom dimenzija (zapremine) barutnih zrna rast kritičnih prečnika je sve manji, tako da se može pretpostaviti da ima svoj maksimum iza koga bi trebalo da pada i približava se vrednosti kritičnih prečnika barutne mase.

Tabela 3

Rezultati određivanja kritičnih prečnika ispitivanih baruta

Vrsta baruta	Kritični prečnik $d_{kr}$ [mm]	Zapremina barutnog zrna [mm <sup>3</sup> ]	Srednja gustina punjenja $\rho_{pr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]
NGB, tip A	14	0,036	0,870
NGB, tip B	20	0,45	0,858
NGB, tip C	34	4,95	0,898
NGB, tip D	55	90	0,803
NGH, tip A	> 80	5791	1,107
NGH, tip B	> 80	13466	1,128
NC, tip A	20	0,195	0,539
NC, tip B	24	0,506	0,628
NC, tip C	> 80	6,89	0,783
NC, tip D	> 80	6825	1,03
NC, tip E	> 80	3901	0,817

ruta. Međutim, punjenja sa cevastim barutima poseduju relativno velike i izdužene šupljine. Za ove barute karakteristično je gotovo potpuno odsustvo poroznosti, jer se pomenute šupljine ne mogu smatrati vazдушnim uključcima.

Očigledno da na veličinu  $d_{kr}$  malodimernih baruta, pored gustine, presudan uticaj imaju oblik i veličina barutnih zrna. Dobijeni rezultati pokazuju da kritični prečnici rastu sa povećanjem zapremine barutnih zrna. To važi, kako za balistite, tako i za

Posebno interesantni su cevasti baruti. Oni koji su ispitivani imaju velike kritične prečnike koji nisu dostignuti na ispitivanim uzorcima. Ispitivanja su prekinuta na  $d \approx 80$  mm, što su približni prečnici konkretnih b/p u artiklima UBS.

Ovi baruti imaju relativno velike gustine punjenja (oko 1,10 g/cm<sup>3</sup>), tako da je logično bilo očekivati manje vrednosti kritičnih prečnika. Očigledno je da presudan uticaj na kritične prečnike imaju dimenzije i oblik barutnih cevčica.

Ovaj fenomen može se objasniti mehanizmom iniciranja i prostiranja detonacije. U ovom slučaju, zbog velikih šupljina, svaka cevčica se ponaša kao individualno punjenje, tako da presudnu ulogu na prihvatanje i prenos detonacije ima debljina svoda barutnog zrna ( $w_a$ ). Pod pretpostavkom da je  $w_a < d_{kr}$ , razumljivo je što su i  $d_{kr}$  ovih baruta daleko iznad najvećih vrednosti za pločaste barute. Velike šupljine između cevčica sprečavaju iniciranje i prostiranje detonacije mehanizmom udarnog sabijanja vazdušnih uključaka.

Kod balistita i sitnih nitroceluloznih baruta vazduh između zrna baruta je pomagao prostiranju detonacije (udarno sabijanje vazdušnih uključaka, prodiranje produkata, sagorevanje pojedinih zrna), ali u slučaju cevastih baruta, zbog svojih dimenzija, imao je suprotan efekat.

Analizom dobijenih rezultata za balistite i poređenjem sa realnim b/p (uglavnom kod minobacačkih projektila) može se zaključiti da u slučaju masovne eksplozije uskladištenih UbS ova b/p neće prihvatiti detonaciju. Dimenzije školjki kod dopunskih b/p minobacačkih projektila su, uglavnom, manje od utvrđenih kritičnih prečnika. Pored toga, školjka kod dopunskih b/p, i telo stabilizatora kod osnovnih b/p, veoma otežavaju proces prenošenja detonacije. Shodno tome, ti baruti ne moraju se uzimati u obzir pri proračunu neto količine eksploziva uskladištenih UbS.

Laborisani krupnozrnasti višekanalni baruti, kao i cevasti baruti, na osnovu analogije sa barutima NC-tip C, D i E i NGH-tip A i B, takođe nemaju uslova da detoniraju. To se posebno odnosi na b/p artiljerijske municije srednjeg kalibra (57 do 100 mm) koja su najčešće formirana od ovih vrsta baruta.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da većina realnih

b/p ne mogu detonirati u uslovima masovne eksplozije uskladištenih UbS. Međutim, za pouzdano utvrđivanje ekvivalenta malodimnih baruta u neto količini eksploziva, potrebna su dodatna ispitivanja, pre svega na konkretnim b/p (bez projektila) u skladišnim jedinicama (sanduk, paletna jedinica, stok UbS i sl.), kako bi se detaljnije proučio uticaj konfiguracije punjenja, čaure, ambalaže, načina pakovanja, i sl.

#### *Osetljivost malodimnih baruta na detonacioni talas*

Kao mera osetljivosti malodimnih baruta na detonacioni talas uzeta je minimalna količina plastificiranog pentrita koja je inicirala stabilnu detonaciju standardizovanog barutnog punjenja. Pri tome je korišćeno barutno punjenje identično punjenju za određivanje kritičnog prečnika. Barutna punjenja su formirana sa prečnicima koji su bili veći od kritičnih za 20 do 50%.

Iniciranje je vršeno standardnom detonatorskom kapislom br. 8, a onda je masa pentrita povećavana za po 1 g dok nije postignuta stabilna detonacija. Rezultati ispitivanja osetljivosti malodimnih baruta prikazani su u tabeli 4. Osetljivost je određivana samo za one barute kojima je određen kritični prečnik.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je osetljivost malodimnih baruta približna osetljivosti nekih brizantnih eksploziva, na primer, livenom trotilu, smesama na bazi amonijum-nitrata, i sl.

Polovina od ispitivanih baruta se lako iniciraju standardnom detonatorskom kapislom br. 8, a ostali zahtevaju minimalni pojačnik (1 do 8 g plastificiranog pentrita).

Slično kao i kod kritičnog prečnika zapaža se veliki uticaj dimenzija (zapremine) barutne pločice na osetljivost baruta. Na primer, balistit NGB,

povećanje kreće se čak i preko 20% kod baruta NC, tip A. Utvrđeno je da je najveće povećanje brzine detonacije kod baruta NGB, tip C, (16,8%) od

Tabela 4

Vrednosti osetljivosti malodimnih baruta

Vrsta baruta	Osetljivost [g]	Gustina punjenja $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Zapremina barutnog zrna [mm <sup>3</sup> ]	d [mm]	d <sub>z</sub> [mm]
NGB, tip A	kap. br. 8	0,917	0,036	25	14
NGB, tip B	1	0,856	0,45	27	20
NGB, tip C	3	0,939	4,95	40	34
NGB, tip D	8	0,845	90	63	55
NC, tip A	kap. br. 8	0,566	0,195	30	20
NC, tip B	kap. br. 8	0,646	0,506	30	24

tip A, koji je najsitniji, lako detonira pri iniciranju sa kapislom br. 8, ali porastom dimenzija pločice količina pentrita potrebnog za izazivanje detonacije raste, da bi kod najkrupnijeg baruta NGB, tip D, iznosila 8 g.

Dakle, sa smanjenjem dimenzija barutnih pločica osetljivost baruta raste, što se slaže sa podacima iz literature [5].

#### Uticaj čaure na brzinu detonacije

Cilj ovih merenja bio je da se približno ispita uticaj čaure artiljerijskog metka na detonacione osobine malodimnih baruta, prvenstveno na brzinu detonacije. Ispitivanja su obavljena sa čaustom 40 mm za top D/40 i M1 sa svim ispitivanim barutima.

Kao što se i očekivalo, zapaža se povećanje brzine detonacije u čauri u odnosu na brzinu detonacije punjenja sa papirnom oblogom (tabela 5). To

svih ispitivanih balistita. Sa povećanjem brzine detonacije bez obloge smanjuje se uticaj čaure tako da kod baruta NGB, tip B, dolazi do povećanja od 8,8%, a kod baruta NGB, tip A, koji je najbrizantniji, čak smanjenje od 5,2%. Ovi rezultati su u skladu sa literaturnim podacima o uticaju obloge na brzinu detonacije brizantnih eksploziva [5].

Slični rezultati dobijeni su i kod nitroceluloznih baruta. Barut NC, tip A, ima povećanje brzine detonacije od 21,2%, dok barut NC, tip B, sa većom brzinom detonacije u papirnoj oblozi ima povećanje od samo 3,8%.

Kako su svi ostali uslovi merenja bili konstantni, može se zaključiti da presudan uticaj na stepen povećanja brzine detonacije u čauri, u odnosu na brzinu detonacije u papirnoj oblozi, imaju dimenzije i oblik barutnih pločica.

Pored povećanja brzine detonacije zapaža se i pojava detonacije baruta NGB-tip D, NC-tip C i NGH-tip A,



koji pri tim prečnicima nisu mogli detonirati. Ostala tri cevasta baruta nisu prihvatila detonaciju. To je u skladu sa literaturnim podacima [5] prema kojima metalna obloga smanjuje kritični prečnik.

Oznaka »st« odnosi se na brzine detonacije pri standardnoj gustini  $\rho_{st}$  pri kojoj je određivan odnos: brzina detonacije (D) — prečnik punjenja (d).

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da čaura u određenoj meri smanjuje kritične prečnike ma-

potrebno je, po ovoj metodologiji, ispitati sva barutna punjenja konkretnih UbS.

### Sposobnost baruta za prenos detonacije

Cilj ovih ispitivanja bio je da se utvrdi sposobnost malodimnih baruta, kao aktivnih EP, da prenesu detonaciju na pasivno punjenje od brzantnog eksploziva. Izabran je pravac prenosa detonacije u smeru prostiranja detonacionog talasa — aksijalni pre-

Tabela 5

Poređenje brzine detonacije u čauri i brzine detonacije bez obloge za  $d=45$  mm

Barut	$D_{st}$ [m/s] u čauri	$D_{st}$ [m/s] bez obloge	Pove- ćanje [%]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_{st}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Primedba
NGB, tip A	4738	5000	-5,2	0,945	0,877	
NGB, tip B	4993	4590	8,8	0,881	0,898	
NGB, tip C	4814	4120	16,8	0,951	0,957	
NGB, tip D	3361	—	—	0,860	0,808	$d_{kr}$ veće od 45 mm
NGH, tip A	2750	—	—	0,853	—	$d_{kr}$ veće od 45 mm
NC, tip A	3540	2920	21,2	0,552	0,557	
NC, tip B	3840	3700	3,8	0,628	0,621	
NC, tip C	3494	—	—	0,796	—	$d_{kr}$ veće od 45 mm

lodimnih baruta laborisanih u njoj. Međutim, sa sigurnošću se može tvrditi da barutna punjenja artiljerijske municije malog kalibra, laborisana zrnastim nitroceluloznim barutima (20, 23, 25, 30 i 37 mm), nemaju dovoljno velike prečnike za stabilnu detonaciju.

Za pouzdanu ocenu uticaja čaure na kritični prečnik laborisanih baruta i ocenu verovatnoće prihvatanja detonacije u uslovima masovne eksplozije

nos. Ovim eksperimentima simulirana je moguća situacija u praksi kada bi, zbog različitih razloga, došlo do detonacije konkretnih barutnih punjenja u UbS. U stvari, to bi bila simulacija prenosa detonacije sa barutnih punjenja na EP projektila. Pored toga, ova ispitivanja trebalo je da pokažu razlike u sposobnosti prenosa detonacije pojedinih vrsta malodimnih baruta. Kao aktivno punjenje korišćen je stan-

dardizovani oblik barutnog punjenja, a kao pasivno trotilski metak TM-100. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 6.

Za ocenu ponašanja municije sa aspekta prenosa detonacije potrebna su detaljnija istraživanja kojima bi se obuhvatio i prenos detonacije u sup-

Tabela 6

Poređenje prenosa detonacije na standardni trotilski metak TM-100

Barut	Daljina prenosa [mm]	M [g]	d [mm]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Zapremina zrna [mm <sup>3</sup> ]	$p_{it}$ [kbar]	D [m/s]
NGB, tip A	17	375	29,5	0,914	0,036	54,8	4898
NGB, tip B	14	374	30	0,905	0,45	39,6	4182
NC, tip B	7	263	30	0,612	0,506	13,4	2956

Mase punjenja baruta NC, tip B, i NGB, tip B, međusobno se razlikuju za oko 30%. Prečnici barutnih punjenja su im isti, a i dimenzije barutnih pločica su slične. Istovremeno, daljine prenošenja detonacije razlikuju se za 50%. Veći procenat povećanja daljine prenosa u odnosu na procenat razlike u masama može se pripisati različitim hemijskim sastavima tih baruta.

Barutna punjenja od balistita NGB, tip A, i NGB, tip B, imaju skoro istu masu, prečnike i iste hemijske sastave. Gustine punjenja im se razlikuju minimalno — za 0,009 g/cm<sup>3</sup>. Ipak, balistit NGB, tip A, prenosi detonaciju na daljini koja je za 21% veća od daljine za NGB, tip B. Ova bitna razlika u daljinama prenosa može se objasniti samo velikim razlikama u dimenzijama barutnih pločica, zbog kojih se i brzine detonacije ovih baruta razlikuju.

Na osnovu dobijenih rezultata, a uzevši u obzir realan položaj barutnih punjenja prema EP projektila (međusobna udaljenost i različite prepreke među njima), sa sigurnošću se može tvrditi da je prenos detonacije sa barutnog punjenja na EP projektila malo verovatan.

rotnom smeru, sa EP projektila na barutno punjenje, uticaj različitih prepreka (kartonski distanceri, dance projektila, donji upaljači i sl.), zatim prenos detonacije u radijalnom smeru, itd.

### Zaključak

Rezultati ispitivanja pokazuju da presudan uticaj na veličinu kritičnih prečnika malodimnih baruta imaju dimenzije i oblik barutnih zrna. Kritični prečnici malodimnih baruta slični su kritičnim prečnicima eksploziva malih gustina, kao što su eksplozivi na bazi amonijum-nitrata.

Kod ispitivanih cevastih baruta debljina svoda cevčice manja je od kritičnog prečnika, tako da barutna punjenja ne prihvataju detonaciju bez obzira na njihov prečnik.

Poređenjem vrednosti kritičnih prečnika ispitivanih baruta sa dimenzijama konkretnih barutnih punjenja može se zaključiti da jedan njihov deo ne može detonirati u uslovima masovne eksplozije U<sub>b</sub>S. To se naročito odnosi na barutna punjenja formirana od cevastih baruta.

Dobijeni rezultati ispitivanja osetljivosti malodimnih baruta pokazuju da presudan uticaj imaju dimenzije i oblik barutnih zrna. Malodimni baruti su po vrednostima osetljivosti slični nekim brzantnim eksplozivima, kao što su: liveni trotil, smese amonijum-nitrata i trotila, pikrinska kiselina itd.

Utvrđeno je da čaura artiljerijskog metka povećava brzinu detonacije malodimnih baruta. Najveće povećanje je kod malodimnih baruta sa najmanjom brzinom detonacije (veće granulacije), dok je kod baruta sa najvećom brzinom detonacije (manje granulacije) to povećanje minimalno.

Utvrđeno je, takođe, da pojedini baruti detoniraju u čauri iako je utvr-

đeni kritični prečnik veći od prečnika čaure. To znači da čaura, bez obzira na relativno malu debljinu plašta, bitno smanjuje kritični prečnik malodimnih baruta. To smanjenje iznosi i do 50%.

Radi pouzdanog predviđanja ponašanja realnih barutnih punjenja u uslovima masovne eksplozije uskladištenih UbS i određivanja njihovog ekvivalenta u neto količini eksploziva, ova istraživanja potrebno je proširiti ispitivanjima procesa iniciranja, razvoja, prostiranja i prenošenja detonacije unutar i između skladišnih jedinica UbS (metak, sanduk, paletna jedinica, stok).

#### Literatura:

- [1] Uputstvo za smeštaj i rukovanje municijom i MES, TS-V,3, TU DSNO, Beograd, 1970.
- [2] Uputstvo za određivanje rastojanja pri skladištenju municije, MES i UbS u nadzemnim objektima OS SFRJ (privremeno), TU SSNO, Beograd, 1989.
- [3] Uputstvo za primenu međunarodnih propisa o prevozu opasnih materija u pomorskom i vazdušnom saobraćaju, SDPR, Beograd, 1987.
- [4] Municija, deo I i II, knjiga I, TU SSNO, Beograd, 1974.
- [5] Stanjukovič, K. P.: Fizika vzriva, Nauka, Moskva, 1975.
- [6] Drjomin, A. N., Savrov, S. D., Trofimov, V. S., Švedov, K. K.: Detonacionne volni v kondensirovannih sredah, Nauka, Moskva, 1970.
- [7] Beljajev, A. F.: Gorenje, detonacija i rabota vzriva kondensirovannih sistem, Nauka, Moskva, 1968.
- [8] Beljajev, A. F., Kurbangal'ina, R. H.: Zh. Phys. Khim., 34 (1960), 603.
- [9] Andrejev, K. K., Beljajev, A. F.: Teorija vzrivicatih veščestv, Oborongiz, Moskva, 1960.

Rezime:

U radu je, na osnovu teorije detonacije, definisan opšti analitički matematički model impulsa eksplozivnog punjenja pri kontaktnoj detonaciji sa metalnom preprekom. Iz opšteg modela izvedene su partikularne varijante za razne kombinacije eksplozivnih punjenja (neobložena, obložena tankim ili masivnim oblogama) i prepreka (pokretne ili nepokretne, stišljive ili nestišljive). Izvedeni modeli su komparativno analizirani sa postojećim analitičkim modelima, definisanim na osnovu hipoteze o upravnoj srazmernosti detonacionog impulsa sa masom aktivnog dela eksplozivnog punjenja. Računski rezultati analize dati su numerički i dijagramima.

Ključne reči: kontaktna detonacija, detonacioni impuls, detonacija zatvorenih punjenja.

EXPLOSIVE CHARGE IMPULSE DURING THE  
CONTACT DETONATION

Summary:

This article gives mathematical models of the impulses of detonations of the explosive charges which are in contact with metal plates of various features (movable and fixed, compressible and incompressible). The mathematical models are based upon the general detonation theory for the various explosive charges (with metal coverings both compressible and incompressible or without). These models are compared with the existing analytical models based upon the hypothesis that the impulse is direct ratio with »the active mass of the explosive charge«. Their computer analysis is also included.

Key words: contact detonation, detonation impulse, detonation of the covered charges.

Uvod

Veličina impulsa eksplozivnog punjenja prenetog na prepreku pri kontaktnoj detonaciji zavisi od karakteristika prepreke, karakteristika eksplozivnog punjenja i procesa detonacije.

Prepreke mogu biti:

- nepokretne nestišljive,
- nepokretne stišljive,

- pokretne nestišljive,
- pokretne stišljive.

Pod nepokretnom preprekom podrazumeva se ona koja se ne može pokrenuti pod dejstvom detonacionog impulsa pri kontaktnoj detonaciji, bez obzira na veličinu (masu) eksplozivnog punjenja.

Eksplozivno punjenje karakteriše se masom, gustinom i brzinom deto-

nacije, a proces detonacije načinom iniciranja detonacije (tačkasto, osno, kanalno, ravansko, jednostrano, dvostrano i sl.) i uslovima širenja produkata detonacije.

Ako je prepreka nepokretna i nestišljiva i ako se iniciranje detonacije vrši sa jednog kraja, uslovi širenja produkata detonacije zavise samo od karakteristika obloge eksplozivnog punjenja. Sa tog stanovišta obloge eksplozivnog punjenja mogu se podeliti na:

- masivne nestišljive,
- masivne stišljive,
- tanke nestišljive,
- tanke stišljive.

Pod masivnim oblogama podrazumevaju se obloge koje se ne rasprskavaju pri detonaciji eksplozivnog punjenja, bez obzira na njegovu veličinu (masu). Tanke obloge su one koje se rasprskavaju pri detonaciji eksplozivnog punjenja.

Neobložena eksplozivna punjenja predstavljaju, u teorijskom smislu, granični slučaj obloženih eksplozivnih punjenja kod kojih debljina i masa obloge teže nuli.

Pod aktivnim delom mase eksplozivnog punjenja podrazumeva se masa čiji se produkti detonacije kreću duž ose simetrije u pozitivnom smeru apscise koordinatnog sistema. U literaturi je definisan aktivni deo mase eksplozivnih punjenja obloženih masivnom oblogom i neobloženih eksplozivnih punjenja, ali aktivni deo mase eksplozivnih punjenja, koja su obložena uslovno tankom oblogom, do sada nije definisan. U ovom radu definisan je opšti matematički model za određivanje aktivnog dela mase za obložena i neobložena eksplozivna punjenja.

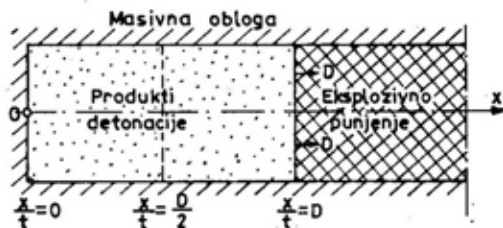
Impuls eksplozivnog punjenja, koji se prenosi na prepreku pri kontaktnoj detonaciji teorijski je definisan za eksplozivno punjenje obloženo ma-

sivnom oblogom pri kontaktnoj detonaciji sa nepokretnom nestišljivom preprekom. Za neobložena eksplozivna punjenja impuls je definisan odnosom aktivnog dela mase i ukupne mase eksplozivnog punjenja. Za punjenja obložena tankom oblogom impuls je definisan zbirom impulsa neobloženog eksplozivnog punjenja i impulsa stvorenog pod uticajem obloge. U ovom radu impuls je teorijski definisan opštim rešenjem za sve tipove obloženih i neobloženih eksplozivnih punjenja.

### Gribov model detonacije

Kao i u drugim oblastima fizike, tako i u fizici eksplozije postoje analitički i numerički modeli detonacije. Među analitičkim modelima najšire je prihvaćen tzv. Gribov model detonacije [1], [2], dok su među numeričkim modelima najširu primenu dobili numerički modeli C. L. Madera.\* U ovom radu primenjen je Gribov analitički model, jer je pogodniji za teorijsku analizu.

Gribov model teorijski interpretira detonaciju valjkastog eksplozivnog punjenja, smeštenog u masivnu nestiš-



Sl. 1 — Skica Gribovog modela detonacije eksplozivnog punjenja

ljivu oblogu, zatvorenu na zadnjem kraju sa kojeg se inicira detonacija (slika 1).

U slučaju ravnog detonacionog talasa i izentropskog širenja produkata

\* C. L. Mader: Numerical modelling of detonation, Los Alamos, SAD, 1978.

detonacije,  $p = A \rho^k$  ( $k = \text{const.}$ ), svi parametri iza detonacionog talasa zavise samo od koordinate  $x$  i vremena  $t$ .

U takvom slučaju osnovne jednačine gasne dinamike mogu se objediniti u izraz:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( u \pm \frac{2}{k-1} c \right) + (u \pm c) \frac{\partial}{\partial x} \left( u \pm \frac{2}{k-1} c \right) = 0 \quad (1)$$

gde je:

- $u$  — brzina produkata detonacije,
- $c$  — brzina zvuka u produktima detonacije,
- $k$  — eksponent izentropije.

Partikularno rešenje jednačine (1) za jak detonacioni talas ima oblik:

$$x = (u \pm c)t + F(u), \quad u = \pm \frac{2}{k-1} c + \text{const.} \quad (2)$$

gde je:

$F(u)$  — proizvoljna funkcija koja se određuje iz početnih i graničnih uslova.

U jednačinama (1) i (2) uslovno se uzima znak  $+$  kada se detonacioni talas kreće u pozitivnom smeru  $x$ -ose, a znak  $-$  kada se kreće u suprotnom smeru.

Kada detonacija počinje u koordinatnom početku, tada je za  $t=0$ ,  $x=0$ , pa je  $F(u)=0$ .

U slučaju jakog detonacionog talasa u ravni Čepmen-Žuge (CJ) je  $u_n = D/(k+1)$  i  $c_n = kD/(k+1)$ , odakle sledi da je  $\text{const.} = -D/(k-1)$ .

Kada se dobijena rešenja za  $F(u)$  i konstantu uvrste u izraze (2), dobijaju se sledeće jednačine kretanja talasa razređenja neposredno iza detonacionog talasa:

$$x/t = u + c, \quad u = \frac{2c - D}{k-1} \quad (3)$$

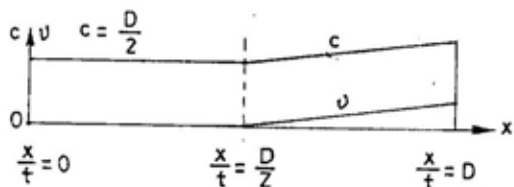
Jednačine (3) opisuju jednosmerno kretanje, što je karakteristično za detonacione procese. U konkretnom slučaju, talasi i produkti detonacije kreću se u pozitivnom smeru  $x$  ose, a detonacija počinje u tački  $x=0$  sa zatvorenog kraja obloge eksplozivnog punjenja.

Kada se u (3) uvrsti vrednost  $k=3$  za detonaciju čvrstih eksploziva (jak detonacioni talas), dobijaju se proste relacije između parametara kretanja talasa i kretanja produkata detonacije:

$$x/t = u + c, \quad -D/2 = u - c \quad (4)$$

$$c = x/2t + D/4, \quad u = x/2t - D/4 \quad (5)$$

Iz jednačina (5) sledi da je u intervalu  $0 \leq x/t \leq D/2$  brzina produkata detonacije  $u=0$  i brzina zvuka u produktima detonacije  $c=D/2$ , a da se u intervalu  $D/2 < x/t \leq D$  brzina produkata detonacije i brzina zvuka menjaju linearno (slika 2).



Sl. 2 — Raspodela brzine produkata detonacije i zvuka iza ravnog detonacionog talasa

Pritisak u produktima detonacije čvrstih eksploziva ( $k=3$ ) definisan je izrazom:

$$p = p_n (\rho/\rho_n)^3 = p_n (c/c_n)^3 \quad (6)$$

gde su:

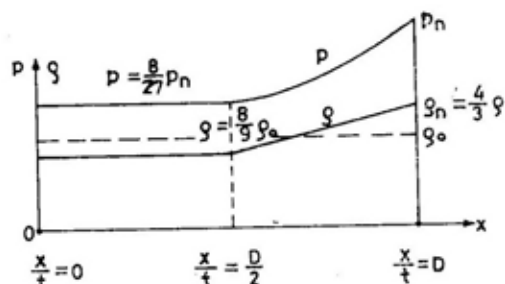
$p_n, \rho_n$  i  $c_n$  — pritisak, gustina i brzina zvuka u produktima detonacije u ravni (CJ).

U području gde je brzina produkata  $u=0$  (slika 3) pritisak i gustina su:

$$p = \frac{8}{27} p_n, \quad \rho = \frac{2}{3} \rho_n = \frac{8}{9} \rho_0, \quad (7)$$

a u ravni (CJ):

$$c_n = \frac{3}{4} D, \quad u_n = D/4, \quad \rho_n = \frac{4}{3} \rho_0, \\ p_n = \rho_0 D/4 \quad (8)$$



Sl. 3 — Raspodela pritiska i gustine produkata detonacije iza ravnog detonacionog talasa

Pošto svi parametri detonacije zavise samo od količnika  $x/t$ , sa vremenom  $t$  ne menja se oblik talasa već se talas samo rasteže, pa je kretanje automodelno (samo sebi slično). Pri tome se čelo detonacionog talasa kreće brzinom  $D$ , a talas razređenja brzinom zvuka:

$$v_r = c = D/2 \quad (9)$$

### Razletanje produkata detonacije

Razletanje produkata detonacije razrađeno je za mnoge slučajeve [2].

Ako detonacija eksplozivnog punjenja smeštenog u masivnu cev počinje sa otvorenog kraja eksplozivnog punjenja, pri  $x=0$ , tada se proces detonacije i isticanja produkata opisuje jednačinama (3).

U ravni (CJ) brzina zvuka je  $c_n = kD/(k+1)$ , pa je brzina produkata  $u = D/(k+1)$ . Brzina zvuka u koordinat-

nom početku (tački inicijalizacije) zavisi od sredine sa kojom se graniči otvoreni kraj eksplozivnog punjenja. Ako se on graniči sa atmosferom, tada je  $c \approx 340$  m/s, a ako se graniči sa vakuumom tada je  $c=0$ . Pošto je u oba slučaja  $2c < D$ , produkti detonacije ističu u suprotnom smeru od kretanja detonacionog talasa. Maksimalna brzina isticanja dešava se pri  $c=0$  i iznosi:

$$u_{1\max} = D/(k-1) \quad (10)$$

Ako je eksplozivno punjenje dovoljne dužine, brzina isticanja u suprotnu stranu je:

$$u = \frac{3k-1}{k^2-1} D - \frac{2c}{k-1} \quad (11)$$

Pošto je brzina isticanja  $u > 0$ , isticanje je u smeru kretanja detonacionog talasa. Maksimalna brzina isticanja je, takođe, pri  $c=0$  i iznosi:

$$u_{2\max} = \frac{3k-1}{k^2-1} D \quad (12)$$

Odnos brzina isticanja produkata detonacije u jednom i drugom smeru je, za  $k=3$ :

$$\frac{u_{1\max}}{u_{2\max}} = \frac{k+1}{3k-1} = 0,5$$

Na slici 4 šematski je prikazan opšti slučaj nesimetričnog razletanja produkata detonacije. Ako detonacija počinje u proizvoljnom preseku koji eksplozivno punjenje deli na dva nejednaka dela ( $a$  i  $b$ ), iz teorije o istovremenom razletanju produkata detonacije sledi da se u suprotnim smerovima produkti detonacije razleću po sledećim relacijama:

$$M_1/M_0 = \frac{1}{9} \cdot \frac{4a+5b}{a+b}, \\ M_2/M_0 = \frac{1}{9} \cdot \frac{5a+4b}{a+b}, \\ I_1 = I_2 = \frac{4}{27} M_0 D \quad (13)$$

$$E_1/E_0 = \frac{1}{27} \cdot \frac{16a+11b}{a+b},$$

$$E_2/E_0 = \frac{1}{27} \cdot \frac{11a+16b}{a+b}$$

gde je:

$M_0 = \rho_0(a+b)$  — masa eksplozivnog punjenja,

$E_0 = M_0 Q = M_0 D^2 / 16$  — energija eksplozivnog punjenja,

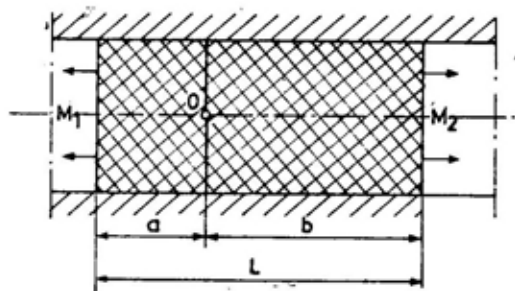
$Q$  — toplota eksplozije po jedinici mase eksploziva,

$M_1$  — masa punjenja koja se razleće u levu stranu,

$M_2$  — masa punjenja koja se razleće u desnu stranu,

$E_1$  — energija produkata koji se razleću u levu stranu,

$E_2$  — energija produkata koji se razleću u desnu stranu.



Sl. 4 — Razletanje produkata detonacije valjkastog eksplozivnog punjenja

Jednakost impulsa, bez obzira na položaj tačke inicijalizacije, proističe iz činjenice da u procesu detonacije deluju samo unutrašnje sile.

Odnos masa i energija za levu i desnu stranu eksplozivnog punjenja je:

$$M_1/M_2 = \frac{4a+5b}{5a+4b},$$

$$E_1/E_2 = \frac{16a+11b}{11a+16b} \quad (14)$$

Kada detonacija počinje sa levog kraja ( $a=0$ ) dobijaju se odnosi:

$$M_1/M_2 = 5/4, \quad E_1/E_2 = 11/16$$

Iz prikazanih relacija vidi se da se u smeru kretanja detonacionog talasa razleće 4/9 ukupne mase produkata detonacije eksplozivnog punjenja, ali ti produkti nose 16/27 ukupne energije, dok su impulsi jednaki.

### Aktivni deo mase eksplozivnog punjenja

Pod aktivnim delom mase (aktivnom masom) eksplozivnog punjenja podrazumeva se deo eksplozivnog punjenja čiji se produkti detonacije razleću u određenom (zadatom) smeru, što znači da se pri kontaktnoj detonaciji javljaju produkti detonacije koji se kreću prema kontaktnoj površini.

Ako eksplozivno punjenje nije obloženo, tada na razletanje produkata detonacije, pored aksijalnog, utiče i radijalni (bočni) talas razređenja, čime se masa produkata detonacije, koji se kreću duž ose simetrije eksplozivnog punjenja ka kontaktnoj površini, još više smanjuje.

Brzina kretanja radijalnog talasa razređenja približno je jednaka brzini kretanja aksijalnog talasa razređenja  $v_r = D/2$ . Ako je eksplozivno punjenje valjkasto, poluprečnika  $r_0$  i dužine  $L \geq \frac{9}{2} r_0$ , masa produkata detonacije

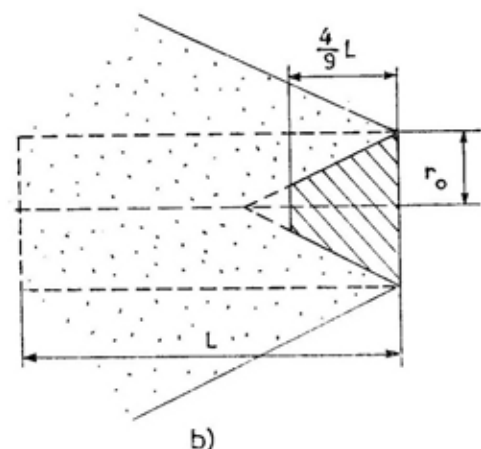
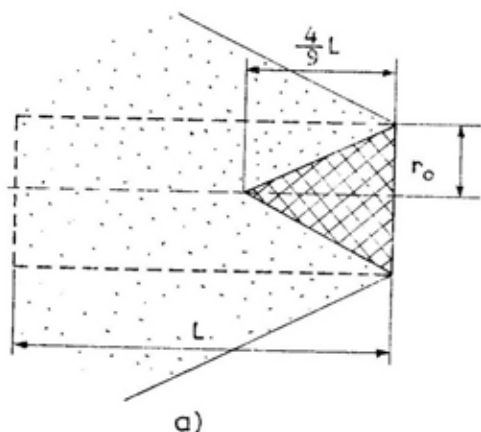
koja se razleće duž ose simetrije eksplozivnog punjenja ka kontaktnoj površini jednaka je masi nezaružljene kupe poluprečnika  $r_0$  i visine  $h = 2r_0$  (slika 5 pod a):



$$M'_2 = \frac{4}{27} \bar{u} r_0^2 L \rho_0 \quad (15)$$

Ako je dužina eksplozivnog punjenja  $L < \frac{4}{9} r_0$  aktivna masa eksplozivnog punjenja jednaka je masi zarubljene kupe, poluprečnika  $r_0$  i visine  $h = \frac{4}{9} L$  (slika 5 pod b):

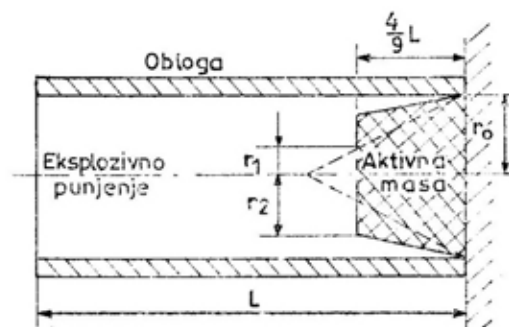
$$M_2'' = \bar{u} r_0^2 \left( \frac{4}{9} L - \frac{8}{81} \cdot \frac{L^2}{r_0^2} + \frac{16}{2187} \cdot \frac{L^3}{r_0^3} \right) \rho_0 \quad (16)$$



Sl. 5 — Aktivna masa neobložene eksplozivnog punjenja

Ako eksplozivno punjenje nije smešteno u masivnu nestišljivu oblogu, već u uslovno tanku nestišljivu oblogu koja se pod dejstvom detonacionog impulsa rasteže i rasprskava, tada će za vreme rastezanja i rasprskavanja obloge, kretanje produkata detonacije u radijalnom pravcu biti usporeno, a time i radijalnog talasa razređenja, čime se povećava masa produkata detonacije (aktivna masa eksplozivnog punjenja) koji se kreću prema kontaktnoj površini. U poznatoj literaturi ne postoji ni teorijsko ni eksperimentalno rešenje koje definiše oblik i veličinu aktivne mase eksplozivnog punjenja smeštenog u relativno tanku oblogu.

Ako je eksplozivno punjenje smešteno u relativno tanku oblogu (slika 6), neće odmah po pristizanju detonacionog talasa u neku ravan poprečnog preseka punjenja doći do prodora talasa razređenja u produkte detonacije,



Sl. 6 — Aktivna masa valjkastog eksplozivnog punjenja obložene tankom nestišljivom oblogom

već sa zakašnjenjem koje će se manifestovati povećanjem poluprečnika  $r_1$  zarubljene kupe do poluprečnika  $r_2$ . Povećanje zavisi od debljine (mase) obloge i geometrijskih parametara eksplozivnog punjenja: dužine  $L$  i poluprečnika  $r_0$ .

Matematički model koji približno opisuje takav uticaj obloge eksplozivnog punjenja ima opšti oblik:

$$r_2 = r_1 + \frac{r_0 - r_1}{\sqrt[n]{1 + f \frac{m}{M} \left(\frac{L}{r_0}\right)^q}} \quad (17)$$

gde je:

- L — dužina eksplozivnog punjenja,  
 $r_0$  — poluprečnik eksplozivnog punjenja,  
 m — masa eksplozivnog punjenja,  
 M — masa obloge,  
 $n, f$  i  $q$  — parametri procesa.

Iz izraza (17) može se zaključiti (za realne vrednosti  $L/r_0$ ):

— ako je eksplozivno punjenje neobloženo ( $M=0$ ), tada je  $r_2=r_1$ ,

— ako je eksplozivno punjenje obloženo masivnom oblogom ( $M=\infty$ ), tada je  $r_2=r_0$ .

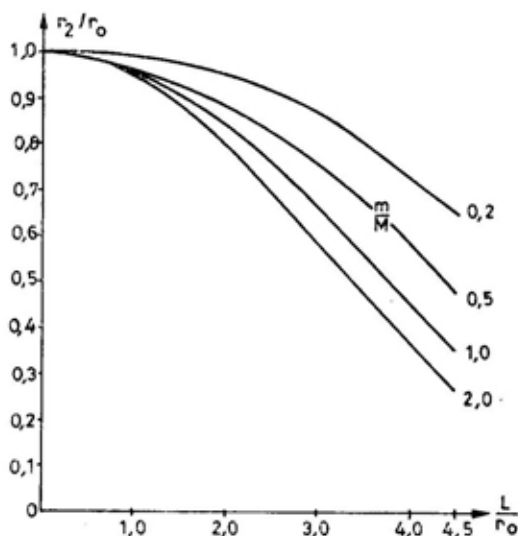
Obe granične vrednosti saglasne su sa prirodom procesa i očigledne su. Veličina  $r_2$ , bez sumnje, neposredno zavisi od brzine kretanja obloge eksplozivnog punjenja  $v_k$ , pre njenog potpunog raspada. Za približno rešenje mogu se primeniti sledeće vrednosti parametara  $n, f$  i  $q$ :

$$n=2, \quad f=\frac{1}{3}, \quad q=2$$

Sa ovim vrednostima parametara izraz za  $r_2$  ima konačan oblik:

$$r_2 = r_1 + \frac{r_0 - r_1}{\sqrt{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{M} \left(\frac{L}{r_0}\right)^2}} \quad (18)$$

Na slici 7 prikazan je dijagram zavisnosti veličine  $r_2$  od količnika  $m/M$  i  $L/r_0$  prema izrazu (18).



Sl. 7 — Zavisnost veličine  $r_2$  od parametara  $\frac{m}{M}$  i  $\frac{L}{r_0}$

Iz dijagrama sledi da kod veoma kratkih eksplozivnih punjenja ( $L/r_0 < 2,0$ ) debljina obloge znatno manje utiče na povećanje aktivne mase nego kod dužih punjenja ( $L/r_0 \geq 2,0$ ). Uočljivo je da je već kod granične dužine punjenja  $L=4,5 r_0$  potrebna deset puta veća debljina obloge da bi se znatnije povećala veličina  $r_2$ , a time i aktivna masa eksplozivnog punjenja.

Kada se aktivna masa valjkastog eksplozivnog punjenja izrazi preko ukupne mase eksplozivnog punjenja  $M_0$ , dobijaju se sledeći izrazi:

— za eksplozivno punjenje, dužine  $L$  i poluprečnika  $r_0$ , smešteno u masivnu nestišljivu oblogu (cev):

$$M_a = \frac{4}{9} M_0$$

— za eksplozivno punjenje, dužine  $L$  i poluprečnika  $r_0$ , smešteno u relativno tanku nestišljivu oblogu (cev):

$$M_a = \frac{4}{27} \left( 1 + \frac{r_2}{r_0} + \frac{r_2^2}{r_0^2} \right) M_0$$

— za neobloženo eksplozivno punjenje dužine  $L < \frac{9}{2} r_0$ :

$$M_a = \left( \frac{4}{9} - \frac{8}{81} \frac{L}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{L^2}{r_0^2} \right) M_0$$

— za neobloženo eksplozivno punjenje dužine  $L \geq \frac{9}{2} r_0$ :

$$M_a = \frac{2r_0}{3L} M_0$$

Aktivna masa konusnih i sličnih neobloženih eksplozivnih punjenja detaljno je analizirana u literaturi [3].

### Impuls eksplozivnog punjenja

*Totalni impuls eksplozivnog punjenja*

Ako je eksplozivno punjenje smešteno u masivnu nestišljivu oblogu (cev), otvorenu na krajevima, kao što je prikazano na slici 4, i ako detonacija počinje sa levog slobodnog kraja ( $a=0$ ), tada je impuls jednak količini kretanja produkata detonacije koji ističu u smeru detonacije i u suprotnom smeru:

$$I_1 = I_2 = \frac{4}{27} M_0 D,$$

a ukupni (totalni) impuls eksplozivnog punjenja:

$$I_0 = I_1 + I_2 = \frac{8}{27} M_0 D$$

Ako se na desnom kraju punjenja nalazi masivna nestišljiva prepreka (slika 8), za određivanje impulsa može se koristiti opšte rešenje gasodinamičke jednačine (1):

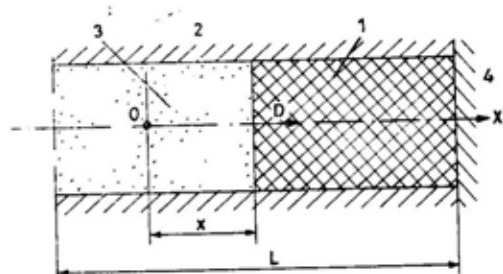
$$x = (u+c)t + F_1(u+c) = (u-c)t + F_2(u-c) \quad (20)$$

gde je:

$F_1$  i  $F_2$  — proizvoljne funkcije  $(u+c)$  i  $(u-c)$  respektivno.

Za talas odbijen od nestišljive prepreke rešenje je određeno za  $t=L/D$  i  $x=L$ . Pri tome je  $u=0$ ,  $c=D$ ,  $F_1=0$  i  $F_2=2L$ , pa je:

$$\begin{aligned} x &= (u+c)t, & x &= (u-c)t, & u &= (x-L)/t, \\ c &= L/t \end{aligned} \quad (21)$$



Sl. 8 — Eksplozivno punjenje u beskonačno dugačkoj masivnoj oblogi pri kontaktnoj detonaciji sa nepokretnom nestišljivom preprekom:

1 — eksplozivno punjenje, 2 — obloga, 3 — produkti detonacije, 4 — prepreka

Pošto je pri  $k=3$ ,  $p = p_n (c/c_n)^3$ , a  $c_n = \frac{3}{4} D$ , pritisak na kontaktnoj po-

vršini je:

$$p = \frac{64}{27} p_n (L/Dt)^3 \quad (22)$$

Dejstvo impulsa na prepreku počinje u trenutku  $t_1=L/D$  i traje do trenutka  $t_2=\infty$ , kada je obloga (cev) bes-

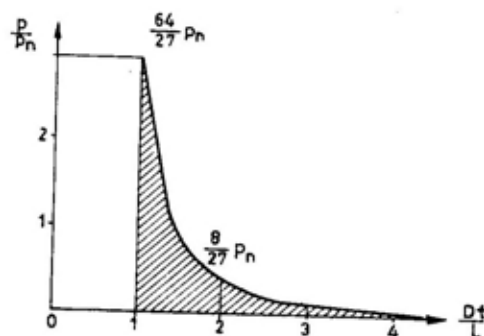
konačno dugačka, pa je maksimalni (totalni) impuls:

$$I_0 = \int_{L/D}^{\infty} Sp \, dt = \frac{64}{27} Sp_n (L/D)^3$$

$$\int_{L/D}^{\infty} \frac{dt}{L^3} Sp_n L/D \quad (23)$$

gde je:

S — površina poprečnog preseka eksplozivnog punjenja.



Sl. 9 — Dijagram pritiska na kontaktnoj površini

Kada se u (23) uvrste vrednosti  $p_n = \frac{1}{4} \rho_0 D^2$  i  $S = M_0 / \rho_0 L$ , dobija se konačno

$$I_0 = \frac{8}{27} M_0 D \quad (24)$$

*Impuls neobloženog eksplozivnog punjenja*

U slučaju kontaktne detonacije neobloženog valjkastog eksplozivnog punjenja sa nepokretnom nestišljivom preprekom, vreme dejstva impulsa na prepreku nije jednako po celom preseku punjenja, već zavisi od rastojanja  $r$  od ose simetrije punjenja (slika 10). Pritisak u produktima detonacije na kontaktnoj površini opada sa tre-

ćim stepenom vremena  $t$ , pa je impuls aktivne mase veći od impulsa ostalog dela eksplozivnog punjenja iste zapremine. U literaturi se, međutim, uzima da je impuls eksplozivnog punjenja u svim slučajevima upravo srazmeran aktivnoj masi [1]:

$$I = \frac{M_a}{M_0} I_0 \quad (25)$$

Da bi se u praksi ispravile netačnosti koje se time stvaraju, u [1] su, pri razmatranju kumulativnog dejstva eksplozivnog punjenja, uvedene dve korekture u izrazima za početnu brzinu kumulativne obloge (str. 392 i 393):

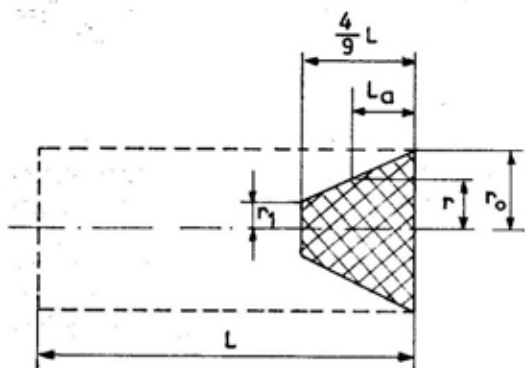
— pošto je gustina energije po jedinici aktivne mase eksplozivnog punjenja veća u smeru detonacije (16:11), uveden je u formulu faktor  $\beta = \sqrt{4/3} = 1,155$ ;

— pošto je srednja gustina produkata detonacije aktivne mase eksplozivnog punjenja veća od početne gustine kumulativnog punjenja  $\rho_0$ , uvećana je aktivna masa kumulativnog punjenja  $m_a$  povećanjem gustine po formuli:

$$\rho = \frac{1}{2} \left( \frac{4}{3} \rho_0 + \frac{8}{9} \rho_0 \right) = \frac{10}{9} \rho_0$$

Nije poznato koliko su navedene korekture kompenzovale početne principijelne greške, niti u raspoloživoj inostranoj literaturi postoje drugačiji pristupi u određivanju impulsa neobloženog eksplozivnog punjenja pri kontaktnoj detonaciji. Kod nas je definisana metoda neposrednog određivanja impulsa neobloženih eksplozivnih punjenja pri kontaktnoj detonaciji [4], čiji su rezultati pokazali da postoje značajne razlike u veličini impulsa između njegovog posrednog određivanja preko veličine aktivne mase i neposrednog određivanja na osnovu polaznih pretpostavki o procesu detonacije

si razletanju produkata, tj. pri definisanju totalnog impulsa pri kontaktnoj detonaciji.



Sl. 10 — Zavisnost vremena trajanja impulsa od rastojanja  $r$  od ose simetrije neobloženog eksplozivnog punjenja

Ako se pretpostavi da se  $\frac{4}{9}M_0$  produkata detonacije razleće u smeru detonacije i da je brzina kretanja radijalnog talasa razređenja  $v_r = D/2$ , vreme prestanka dejstva impulsa na preku je:

$$t_2 = L/D + 2L_a/D \quad (26)$$

gde je:

$$L_a = \frac{4}{9}L = \text{const.}, \text{ za zarubljeni deo aktivne mase,}$$

$$L_a = 2(r_0 - r) \text{ — za konusni deo aktivne mase.}$$

Kada se vrednosti jedinične aktivne mase  $L_a$  uvrste u izraz (26) dobija se vreme prestanka dejstva impulsa:

$$t_2 = \frac{17}{9}L/D = \text{const. za zarubljeni deo aktivne mase} \quad (27)$$

$$t_2 = \frac{L + 4(r_0 + r)}{D} \text{ za konusni deo aktivne mase.} \quad (28)$$

Specifični impuls predstavlja impuls koji deluje na elementarnu površinu prepreke  $dA = 2\bar{u}dr$ :

$$i = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \frac{64}{27} p_n (L/D)^3 \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{t^3} \quad (29)$$

Posle integracije, zavisno od gornje granice  $t_2$ , dobijaju se sledeći izrazi za specifični impuls:

$$i = \frac{32}{27} p_n \frac{L}{D} \left(1 - \frac{81}{289}\right) = \text{const. za zarubljeni deo,} \quad (30)$$

$$i = \frac{32}{29} p_n \frac{L}{D} \left(1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{4}{L}(r_0 - r)\right]^2}\right)$$

za konusni deo (31)

Ukupan impuls eksplozivnog punjenja dobija se integracijom specifičnih impulsa

$$I = \frac{32}{27} p_n \frac{L}{D} r_1^2 \left(1 - \frac{81}{289}\right) + \frac{32}{27} p_n \frac{L}{D} \int_{r_1}^{r_0} \left(1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{4}{L}(r_0 - r)\right]^2}\right) \cdot 2\bar{u}dr \quad (32)$$

Kada se izvrši integracija izraza (32) i izraz sredi, dobija se opšti izraz za impuls neobloženog valjkastog eksplozivnog punjenja u funkciji  $L$ ,  $r_0$  i  $r_1$ :

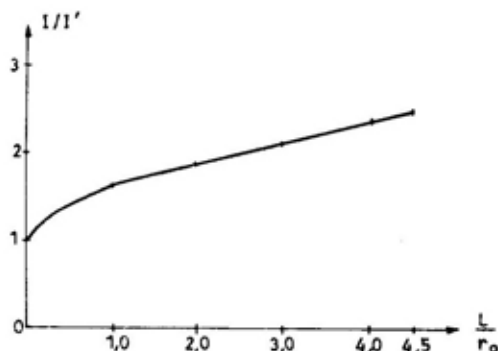
$$I = \frac{8}{27} M_0 D \left[1 - \frac{81}{289} \frac{r_1^2}{r_0^2} + \frac{L}{2r_0^2} \left(r_0 + \frac{L}{4}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{4}{L}(r_0 - r_1)} - 1\right) + \frac{L^2}{8r_0^2} \ln \left(1 + \frac{4}{L}(r_0 - r_1)\right)\right] \quad (33)$$

Ako je  $L \geq \frac{9}{2} r_0$ , tada konus nije zarubljen, pa je  $r_1 = 0$ .

Ako je punjenje obloženo masivnom oblogom, tada je  $r_1=r_0$ , pa je

$$I = \frac{8}{27} M_0 D \left( 1 - \frac{81}{289} \right) = 0,72 I_0 \quad (34)$$

Na slici 11 prikazan je dijagram količnika između neposredno određene impulsa  $I$  po izrazu (33) i posredno određenog impulsa  $I'$  po izrazu (25) u funkciji geometrijskih veličina neobloženog valjkastog punjenja  $L/r_0$ .



Sl. 11 — Dijagram  $I/I'$  u funkciji  $L/r_0$ .

Iz dijagrama se vidi da kod realnih odnosa dužine i poluprečnika eksplozivnog punjenja  $L/r_0=1,0$  do  $4,5$ , odnos impulsa  $I/I'$  raste linearno, dok je kod izuzetno kratkih punjenja ( $D < L/r_0 < 1$ ) promena nelinearna.

#### Impuls obloženog eksplozivnog punjenja

Ako je valjkasto eksplozivno punjenje smešteno u masivnu oblogu (cev), otvorenu na oba kraja (slika 4), tada u generisanju impulsa i energije učestvuju samo unutrašnje sile, pa su količine kretanja (impulsi) produkata detonacije jednaki na oba kraja punjenja ( $I_1=I_2$ ). Ako detonacija počinje sa levog kraja punjenja tada je  $M_1 = \frac{5}{9} L$ , a  $M_2 = \frac{4}{9} L$ . Obe mase su u

celini aktivne, pa su posredno određeni impulsi:

$$I_1 = \frac{M_1}{M_0} I_0 = \frac{5}{9} I_0, \quad I_2 = \frac{M_2}{M_0} I_0 = \frac{4}{9} I_0, \quad \text{a time } I_1 \neq I_2$$

Ako je eksplozivno punjenje konačne dužine  $L$ , smešteno u masivnu nestišljivu oblogu iste dužine, sa nepokretnom nestišljivom preprekom na jednoj strani (slika 8), tada vreme prestanka dejstva impulsa  $t_2$  nije beskonačno, već je  $t_2 = \frac{L}{D} + \frac{8}{9} \frac{L}{D} = \frac{17}{9} \frac{L}{D}$ . Kada se ta vrednost gornje granice integrala uvrsti u (23), dobija se sledeća vrednost impulsa prenetog na prepreku:

$$I = \frac{8}{27} M_0 D \left( 1 - \frac{81}{289} \right) = 0,72 I_0 \quad (35)$$

Dakle, dobijen je identičan izraz kao i u slučaju neobloženog eksplozivnog punjenja koje prelazi u punjenje obloženo masivnom nestišljivom oblogom, što se i očekivalo.

Ako masa obloge eksplozivnog punjenja nije beskonačna, tada impuls koji se prenosi na nepokretnu nestišljivu prepreku zavisi od debljine, odnosno mase obloge.

Zavisnost impulsa od debljine, odnosno mase obloge eksplozivnog punjenja, definisana je kao zbir impulsa  $[I]$ :

$$i = i_1 + i_2$$

gde je:

- $i_1$  — impuls neobloženog eksplozivnog punjenja,
- $i_2$  — povećanje impulsa pod uticajem obloge.

Impuls neobloženog eksplozivnog punjenja definisan je posredno preko aktivne mase:

$$i_1 = \frac{16}{81} D \rho_0 r_0 \text{ za } L \geq \frac{9}{2} r_0,$$

$$i_1 = \frac{8}{27} D \rho_0 L \left( \frac{4}{9} - \frac{8}{81} \frac{L}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{L^2}{r_0^2} \right) \text{ za } L < \frac{9}{2} r_0$$

Povećanje impulsa pod uticajem obloge definisano je pod pretpostavkom da je detonacija trenutna i da je promena pritiska proporcionalna šestom stepenu tekućeg radijusa širenja obloge:

$$p/p_{sr} = (\rho/\rho_0)^3 = (r/r_0)^6$$

Pod tim pretpostavkama konačan izraz za impuls  $i_2$  glasi:

$$i_2 = \frac{3\bar{u}}{128} \rho_0 D d \sqrt{2 \frac{M_k}{M_0}}$$

gde je:

- $M_k$  — masa obloge (košuljice),  
 $M_0$  — masa eksplozivnog punjenja,  
 $d=2r_0$  — prečnik eksplozivnog punjenja.

Za kratka punjenja ( $L \leq d$ ), impuls je nešto manji:

$$i_2 = \frac{\bar{u} \sqrt{2}}{44} D \rho_0 r_0 \sqrt{\frac{M_k}{M_0}}$$

Iz datih izraza za impulse sledi da je pri  $M_k=0$   $i=i_1$ , a pri  $M_k=\infty$ ,  $i_2=\infty$ ,  $i=i_1+i_2=\infty$ , što, naravno, nije moguće.

Ako su poznati geometrijski parametri  $L$ ,  $r_0$  i  $r_2$  aktivne mase eksplozivnog punjenja, obloženog relativno tankom oblogom, tada se impuls aktivne mase može odrediti po formuli (33),

kada se umesto poluprečnika  $r_1$  uvrsti poluprečnik  $r_2$ .

Kada je prepreka pokretna i stišljiva, impuls eksplozivnog punjenja pri kontaktnoj detonaciji zavisi od veličine parametara inercije i stišljivosti prepreke. Uticaj inercije prepreke na veličinu impulsa pri kontaktnoj detonaciji sa pokretnom nestišljivom preprekom definisan je u [5], a uticaj stišljivosti prepreke pri kontaktnoj detonaciji sa stišljivom nepokretnom preprekom u literaturi [6].

## Zaključak

Hipoteza da je impuls neobloženog eksplozivnog punjenja upravo srazmeran aktivnoj masi ( $m_a/M_0=I/I_0$ ) suprotan je hipotezi o razletanju produkata detonacije prema kojoj se u smeru kretanja detonacionog talasa razleće  $4/9$  ukupne mase punjenja  $M_0$ , a u suprotnom smeru  $\frac{5}{9} M_0$ .

Detonacioni impuls eksplozivnog punjenja obloženog masivnom oblogom pri kontaktnoj detonaciji sa nepokretnom nestišljivom preprekom upravo je srazmeran površini ispod krive pritiska, odakle proizlazi da je  $m_a/M_0=4/9$ , a  $I/I_0=0,72$ , što je, takođe, u suprotnosti sa hipotezom:  $m_a/M_0=I/I_0$ .

Izvedeni teorijski opšti matematički model obloženog ili neobloženog eksplozivnog punjenja pri kontaktnoj detonaciji u potpunoj je saglasnosti sa opšteprihvaćenim analitičkim modelima detonacije [1, 2], a time i sa hipotezom o razletanju produkata detonacije i raspodelom pritiska u produktima detonacije na kontaktnoj površini.

Izvedeni opšti matematički model impulsa eksplozivnog punjenja praktično je primenljiv, kako na neobložena punjenja, tako i na punjenja oblo-

žena bilo kakvom oblogom — i to prostom smenom relevantnih parametara.

Izvedeni opšti matematički model impulsa eksplozivnog punjenja primenljiv je i u slučaju kontaktne detonacije sa stišljivom i (ili) pokretnom preprekom, uvođenjem odgovarajućih parametara prepreke, definisanih u [5, 6 i 8].

Računska analiza pokazuje da hipoteza  $m_n/M_0=I/I_0$  umanjuje realnu vrednost impulsa neobloženih eksplozivnih punjenja pri kontaktnoj detonaciji i do 2,5 puta (slika 11) i da je praktično primenljiva samo kod kratkih konusnih punjenja, definisanih u [3 i 7].

#### Literatura:

- [1] Stanjuković, K. P.: Neustanovivšiesja dviženija splošnoj sredy, Nauka, Moskva, 1971.
- [2] Stanjuković, K. P.: Fizika vzryva, Moskva, 1975.
- [3] Stamatović, A.: Uticaj oblika eksplozivnog punjenja na pojavu odvaljivanja prepreke napadnute kontaktnom detonacijom, Naučno-tehnički pregled br. 10, 1975.
- [4] Novaković, M.: Impuls i aktivna masa eksplozivnog NTP, br. 2, 1989.
- [5] Novaković, M.: Uticaj inercije prepreke i geometrijskih parametara eksplozivnog punjenja na veličinu impulsa pri kontaktnoj detonaciji, Naučno-tehnički pregled br. 8, 1989.
- [6] Novaković, M.: Uticaj stišljivosti prepreke na veličinu impulsa pri kontaktnoj detonaciji, Naučno-tehnički pregled br. 9, 1989.
- [7] Stamatović, A.: Konstruisanje projektila, Beograd 1995.
- [8] Novaković, M.: Uticaj inercije i stišljivosti prepreke na veličinu impulsa pri kontaktnoj detonaciji, 19. simpozijum JKEM o eksplozivnim materijama, Zbornik radova, Beograd, 1993.



**Rezime:**

U radu se razmatra matematički model kretanja pokretne mase u slučaju njenog kočenja pomoću hidraulične kočnice sa površinom protočnog otvora koja se linearno menja u zavisnosti od hoda klipa. Zakon promene površine otvora, dobijen tačnim analitičkim rešenjem, aproksimira se linearnim zakonom metodom najmanjih kvadrata. Za oba slučaja određeni su potrebni parametri hidraulične kočnice i izvršena uporedna analiza. Odstupanja proračunatih parametara kreću se u granicama koje su prihvatljive za praksu.

*Ključne reči:* hidraulična kočnica, površina otvora, ubrzanja, put kočenja, vreme kočenja, tečnost (ulje).

**BRAKING OF MOVING MASSES BY MEANS OF  
HYDRAULIC BRAKES**

**Summary:**

The paper deals with a mathematical model of the braking of moving masses by means of hydraulic brakes whose orifice surface linearly changes with respect to the piston stroke. The law of orifice surface change, obtained by an accurate analytical solution, is approximated by the linear law — the least square method. The necessary parameters of hydraulic brakes are determined and the comparative analysis is made for both cases. The deviations of calculated parameters are within the acceptable limits.

*Key words:* hydraulic brakes, orifice surface, acceleration, braking path, time of braking, liquid (oil).

**Uvod**

Hidraulična kočnica (HK) služi da apsorbuje kinetičku energiju pokretnih delova mašina i uređaja. Pri tome, zavisno od konstruktivnog rešenja protočnih otvora za proticanje tečnosti, omogućuju različitu promenu parametara kočenog kretanja (put, vreme, brzina kočenog kretanja).

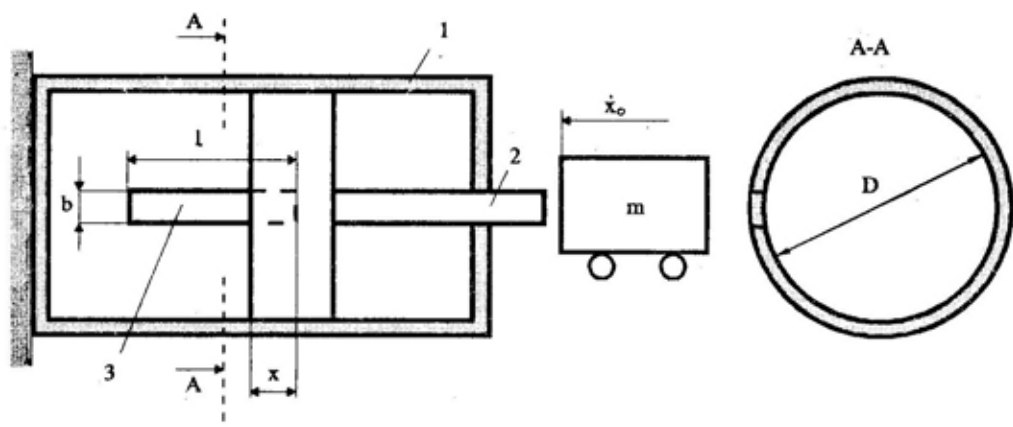
U literaturi su u nekim radovima opisani slučajevi kočenja pokretne mase pomoću HK sa površinama pro-

točnih otvora koje se menjaju po različitim zakonima. Međutim, u teorijskom smislu posebno su važni zadaci određivanja parametara kočenog kretanja sa promenljivim površinama protočnih otvora, kao i izbor potrebnih parametara kretanja pri zadatom zakonu kočenja pokretne mase.

Ideja rada je da se, prema [1, 2, 3], teorijski prikažu neki od najvažnijih parametara HK koji mogu da posluže kao polazna osnova za analizu sličnih ili mogućih rešenja tipičnih za artiljerijska oruđa.

## Opis problema i određivanje parametara kočenog kretanja

Za opisivanje problema kočenja, mase tela koja se kreće nekom brzinom kretanja, pomoću hidraulične kočnice (HK), u kojoj se površina otvora za proticanje tečnosti linearno menja u zavisnosti od hoda klipa, usvađa se model prema sl. 1.



Sl. 1 — Sema modela hidraulične kočnice

Telo mase ( $m$ ) kreće se brzinom  $\dot{x}_0$  i posle udara u klipnjaču sa klipom (2), koči se dejstvom kočnice (sl. 1). Delovanje spoljnih sila na pokretnu masu se zanemaruje.

Klip se pomera unutar cilindra (1), sabija tečnost kroz otvor za proticanje (3) pravougaonog preseka, istovremeno smanjujući njegov poprečan presek. Zanemaruje se trenje klipa i klipnjače, kao i kinetička energija tečkova. Takođe je uzeto da udar mase u klipnjaču nije elastičan, a pad pritiska u protočnom otvoru zavisi od gubitka tečnosti, tj. brzine pomeranja pokretne mase.

Uz navedene pretpostavke diferencijalna jednačina kretanja pokretne mase ima oblik:

$$(m + m_0)\ddot{x} + F_k = 0 \quad (1)$$

gde je:

$$F_k = \frac{\zeta \rho A_0^3}{2 a_x^2} \dot{x}^2 \quad \text{— sila otpora HK}$$

$$A_0 = \frac{D^2 \pi}{4} \quad \text{— radna površina klipa,}$$

$$a_x = b(1-x) \quad \text{— promenljiva površina protočnog otvora u cilindru HK.}$$

Posle sređivanja izraza, jednačina kretanja (1) može se napisati u obliku:

$$x + k \frac{\dot{x}^2}{(1-x)^2} = 0 \quad (1)$$

gde su:

$$k = \zeta \frac{\rho}{2} \left( \frac{\pi}{4} \right)^3 \frac{1}{m + m_0} \frac{D^6}{b^2} \quad (2)$$

$\zeta = 2$  do  $22$  — koeficijent otpora proticanju tečnosti,

$\rho$  — gustina hidraulične tečnosti (ulja),

$m_0$  — masa klipa sa klipnjačom,

$D$  — prečnik cilindra kočnice,

$b$  — širina otvora,

- l — dužina otvora,  
x — pomak klipa.

Integracijom (1) dobija se brzina kočenog kretanja:

$$\dot{x} = C e^{-\frac{k}{1-x}} \quad (3)$$

C — konstanta integracije određuje se iz početnih uslova da je za  $t = x = 0$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_0$  i data je jednačinom:

$$C = \dot{x}_0 e^{\frac{k}{1}} \quad (4)$$

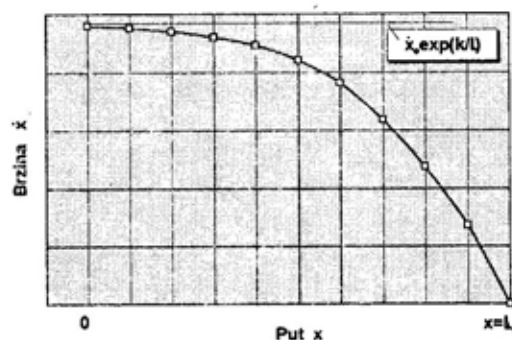
Posle sređivanja izraza (3) konačan oblik za brzinu kočenog kretanja je:

$$\dot{x} = \dot{x}_0 e^{-\frac{kx}{1-x}} \quad (5)$$

Granične vrednosti funkcije prema (5) za  $x \rightarrow 0$  i  $x \rightarrow -\infty$  biće:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \dot{x} = \dot{x}_0 ; \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} \dot{x} = \dot{x}_0 e^{\frac{k}{1}} \quad (6)$$

Zavisnost  $\dot{x}(x)$  ima horizontalnu asimptotu čija je kvalitativna promena data na sl. 2.



Sl. 2 — Promena brzine kočenog kretanja

Diferenciranjem jednačine (5) dobija se izraz za ubrzanje pri kočenom kretanju (usporenje) koji glasi:

$$\ddot{x} = -\frac{k \dot{x}_0^2}{(1-x)^2} e^{\frac{2kx}{1-x}} \quad (7)$$

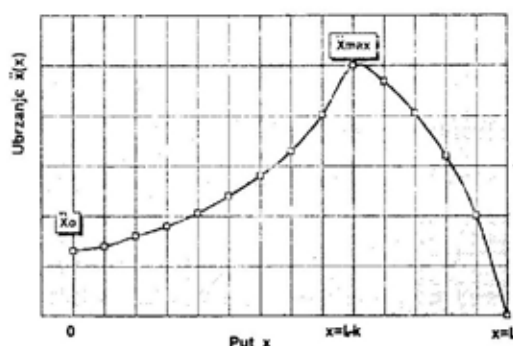
Ubrzanje  $\ddot{x}(x)$  na intervalu  $-\infty \leq x \leq l$  ima najveću vrednost u tački  $x = l - k$  i jednako je:

$$\ddot{x}_m = -\frac{\dot{x}_0^2}{k} e^{\frac{2(k-1)}{1}} \quad (8)$$

Na početku kretanja za ( $t = x = 0$  i  $\ddot{x} = \ddot{x}_0$ ) prema (7) početna vrednost ubrzanja kočenog kretanja  $\ddot{x}(x)$  biće:

$$\ddot{x}_0 = -\frac{k \dot{x}_0^2}{l^2} \quad (9)$$

Promena ubrzanja  $\ddot{x}(x)$  prikazana je na sl. 3.



Sl. 3 — Promena ubrzanja kočenog kretanja

Veza osnovnih parametara HK prema (2) sa parametrima kočenog kretanja prema (5) i (8) uslovljena je veličinom k.

Za problem koji se razmatra veličina k određuje se iz uslova da ubrzanje  $\ddot{x}_m$  ima najmanju vrednost.

Prema (8), iz uslova za ekstremnu vrednost  $\frac{\partial \ddot{x}_m}{\partial k} = 0$ , veličina k prema [1] iznosi  $k = l/2$ . Na osnovu toga,

vrednosti početnog i najmanjeg ubrzanja pri kočenom kretanju su:

$$\ddot{x}_0 = -0,5 \frac{\dot{x}_0^2}{l},$$

$$(\ddot{x}_m)_{\min} = -0,735 \frac{\dot{x}_0^2}{l} \quad (10)$$

Ako se dobijena vrednost za  $k = 1/2$  uvrsti u (2), osnovni parametri HK posle sređivanja izraza imaju oblik:

$$\frac{D^6}{b^2} = \frac{l(m+m_0)}{\zeta_p \left(\frac{\pi}{4}\right)^3} \quad (11)$$

a širina otvora:

$$b = D^3 \sqrt{\frac{\zeta_p \left(\frac{\pi}{4}\right)^3}{l(m+m_0)}} \quad (12)$$

Za HK razmatranog tipa karakteristično je da se mogu unapred definisati granične vrednosti maksimalnog pritiska tečnosti u cilindru i ubrzanja klipa.

Ako se ograniče vrednosti  $|\ddot{x}_m|$  i  $p_m$ , onda se prema (10) i (12) nakon sređivanja izraza dobijaju sledeće relacije:

$$m+m_0 = \frac{D^2 \pi}{4 \ddot{x}_m} p_m,$$

$$l = 0,735 \frac{\dot{x}_0^2}{\ddot{x}_m} \quad (13)$$

$$S = D^3 \sqrt{\frac{\zeta_p \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 l}{(m+m_0)}}$$

gde je:

$S = b l$  — površina protočnog otvora.

Vreme kočenog kretanja određuje se prema (5), rešavanjem integrala oblika:

$$t = \frac{1}{\dot{x}_0} \int_0^1 e^{\frac{k}{1-x}} dx, \quad r_0 = e^{k/l} \quad (14)$$

Pošto je za rešenje integrala dobijena funkcija koja nema konačni analitički oblik (beskonačno veliko vreme kočenja u okolini tačke  $x=1$ ), vreme kočenog kretanja određuje se kao vreme za koje brzina  $\dot{x}_0$  opadne do veličine  $\alpha \dot{x}_0$  ( $\alpha$  odnos krajnje i početne brzine kočenog kretanja).

Za ovakav pristup proračuna vremena kočenog kretanja neophodno je da se odredi nova granica integracije u (14).

Prema [1] nova granica integracije je:

$$x^* = 1 - \frac{k}{\frac{k}{l} - \ln \alpha} \quad (15)$$

Za  $k = 1/2$  i  $\dot{x}_0 = 0,1 \dot{x}_0$  ( $\alpha = 0,1$ ) prema (15) sledi  $x^* = 0,821$ . Relacija (14) dobija oblik:

$$t_{0,1} = \frac{1}{\dot{x}_0 e^{0,5}} \int_0^{0,821} e^{\frac{0,5}{1-x}} dx \quad (16)$$

Ako se integral (16) reši metodom numeričke integracije (Simpsonova formula,  $n=10$  intervala), za vreme kočenog kretanja dobija se:

$$t_{0,1} = 1,705 \frac{1}{\dot{x}_0} \quad (17)$$

### Definisanje zakona promene protočnih površina

Za određivanje parametara HK kod koje se površine protočnih otvora linearno menjaju sa hodom klipa

usvojen je metod prema [1]. Zakon promene površine protočnih otvora, dobijen analitičkim postupkom, izraziće se približnim rešenjem kojim se obezbeđuje kočenje klipa sa konstantnim ubrzanjem  $\ddot{x}_a$ . Pri  $\ddot{x}_a = \text{const}$ . pređeni put kočenog kretanja je:

$$x = \dot{x}_0 t - \frac{\ddot{x}_a t^2}{2} \quad (18)$$

Deriviranjem (18) po vremenu i zamenom promenljivih, posle sređivanja izraza, dobija se zavisnost brzine  $\dot{x}$  od hoda klipa  $x$ .

$$\dot{x} = \sqrt{\dot{x}_0^2 - 2\ddot{x}_a x} \quad (19)$$

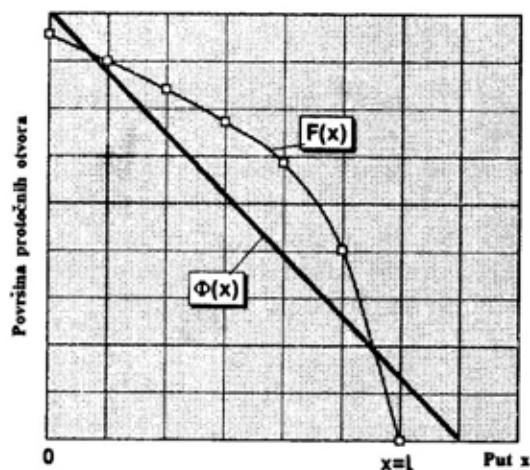
Konačno se potrebni zakon promene površine otvora određuje uvrštavanjem (19) u (1) i glasi:

$$F(x) = \sqrt{\frac{k_k}{\ddot{x}_a}} \sqrt{\dot{x}_0^2 - 2\ddot{x}_a x} \quad (20)$$

gde je:  $k_k = kb^2$ .

Promena površine  $F(x)$  data je na sl. 4.

Sada linearni zakon promene površina protočnih otvora  $\Phi(x)$  treba definisati tako da su odstupanja u od-



Sl. 4 — Zakon promene površine protočnih otvora

nosu na zahtevanu promenu  $F(x)$  najmanja. Za rešavanje ovog problema usvojena je metoda najmanjih kvadrata.

$$J = \int_0^y [F(x) - \Phi(x)]^2 dx \quad (21)$$

gde su:

$$y = \frac{\dot{x}_0^2}{2\ddot{x}_a} \quad \text{— gornja granica intervala integracije, a}$$

$$\Phi(x) = a_0 - a_1 x \quad \text{— usvojeni zakon linearne promene površina protočnih otvora.} \quad (22)$$

Koeficijenti  $a_0$  i  $a_1$  u (22) određuju se iz uslova minimuma integrala (21). Odgovarajućim programskim modelom dobijena su njihova rešenja:

$$a_0 = 1,066 \dot{x}_0 \sqrt{\frac{k_k}{\ddot{x}_a}},$$

$$a_1 = 1,066 \frac{\ddot{x}_a}{\dot{x}_0} \sqrt{\frac{k_k}{\ddot{x}_a}} \quad (23)$$

Ako je put kočenog kretanja pri tačnom i približnom rešenju isti, veličina maksimalnog ubrzanja  $x_{mk}$  pri kvadratnom približenju postiže se za:

$$x = 1 - \frac{k_k}{a_1^2} \quad (24)$$

i iznosi:

$$\ddot{x}_{mk} = - \frac{\dot{x}_0^2 a_1^2}{k} e^{\frac{2(k_k - l_k a_1^2)}{a_1^2 l_k}} \quad (25)$$

gde je:

$$\frac{k_k}{a_1^2} = 0,39 \frac{\dot{x}_a}{\ddot{x}_a}, \quad l_k = 0,66 \frac{\dot{x}_0^2}{\ddot{x}_a} \quad (26)$$

Uvrštavanjem (26) u (25) konačno se dobija:

$$\ddot{x}_{mk} = 1,12 \ddot{x}_a \quad (27)$$

Vreme kočenog kretanja (pada brzine  $\dot{x}_0$  do  $0,1\dot{x}_0$ ) pri kvadratnom približenju (14) iznosi:

$$t_k = \frac{1}{x_{0r1}} \int_0^{x^*} e^{\frac{k_k}{a_1^2(1k-x)}} dx \quad (28)$$

gde je:

$$x^* = 0,791 \frac{k_k}{a_1^2} = 0,58 l, \quad r_1 = e^{\frac{k_k}{a_1^2 l k}}$$

Analognim postupkom rešavanja (28), kao u slučaju (16), dobija se:

$$t_k = 1,67 \frac{1}{x_0} \quad (29)$$

### Komentar proračunatih parametara

Uporednom analizom proračunatih parametara HK po tačnom i približnom rešenju dobija se:

— po tačnom rešenju najveće ubrzanje  $\ddot{x}_{mk}$  kočenog kretanja dobijeno je za  $x=0,5 l$ , a na osnovu (10) i (27) odnos ubrzanja biće:

$$\frac{\ddot{x}_{mk}}{\ddot{x}_{mt}} = 1,014$$

Ubrzanje  $\ddot{x}_{mk}$  po približnom rešenju je za 1,4% veće u odnosu na tačno rešenje;

— iz odnosa proračunatih vremena kočenog kretanja:

$$t_i/t_k = 1,017$$

Vreme kočenja, odnosno pada brzine  $\dot{x}_0$  do  $0,1\dot{x}_0$  po tačnom rešenju je za 1,7% veće u odnosu na vreme po približnom rešenju;

— pri linearnom zakonu promene protočnih površina maksimalna ubrzanja kočenog kretanja za oba slučaja su:

$$\ddot{x}_{mt} = \ddot{x}_{mk}$$

Iz jednačine ubrzanja sledi da je dužina otvora:

$$l_i = 0,656 \frac{\dot{x}_0^2}{x_a} \quad (30)$$

Za upoređivanje vremena kočenog kretanja, prema (15), nove granice integracije su:

$$x_i^* = 0,538 \frac{\dot{x}_0^2}{x_a}, \quad i \quad x_k^* = 0,531 \frac{\dot{x}_0^2}{x_a}$$

Rešavanjem (14) analognim postupkom za oba slučaja određena su vremena kočenog kretanja  $t_i$  i  $t_k$ , a njihov odnos je:

$$\frac{t_k}{t_i} = 1,042$$

Dakle, vreme kočenog kretanja pri izabranom linearnom zakonu promene površine protočnih otvora po približnom rešenju je za 4,2% veće od dobijenog po tačnom rešenju.

### Zaključak

Kočeno kretanje mase pomoću HK sa površinama protočnih otvora koje se linearno menjaju sa hodom klipa poseban je slučaj opšteg problema kočenja pokretne mase, što je interesantno i za problematiku protivtrazajućeg uređaja na oruđima.

Dato analitičko rešenje omogućuje da se ovaj slučaj detaljnije teorijski istraži i dobiju konačne relacije za izračunavanje parametara kočenog kretanja pokretne mase, koje treba proveriti i verifikovati u praksi.

Na osnovu uslova za ekstremne vrednosti ubrzanja, datim modelom rešenja mogu se odrediti relacije kojima su povezani najvažniji parametri i veličine HK (dimenzije elemenata HK, protočne površine).

Provedena uporedna analiza maksimalnog ubrzanja i vremena kočenog kretanja, koji su dobijeni tačnim i približnim rešenjem, pokazuje da su raz-

like manje od 2%, što se može smatrati prihvatljivim za inženjersku praksu.

Pri primeni datog modela na konkretna rešenja protivtrajućeg uređaja na oruđima važno je da se utvrdi za koji dijapazon promene parametara kretanja trzajuće mase je opravdana primena HK sa linearnim zakonom promene protočnih površina.

#### Literatura:

- [1] Lunev, B. B.: O častnom slučaju tormoženija, massi pri pomoći gidrodempfera, Mašinstroenie Moskva, 8/1981.
- [2] Čuhanova, E. A. i dr.: Rasčot gidrodempfera s učotom diapazona izmenenija massi, Mašinstroenie, Moskva, 1981.

- [3] Levitsky, H.: Rasčot upravljajušćih ustrojstv dljatormnoženija gidroprivoda mašin avtomatov, Mašinstroenie, 1971.

## UTICAJ ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA NA BEZBEDNOST PRENOSA I OBRADE INFORMACIJA

UDC: 621.391.822/.823

### Rezime:

Svako elektronsko sredstvo je tokom eksploatacije izloženo raznovrsnim elektromagnetnim efektima, ali i samo tokom rada generiše elektromagnetnu energiju i utiče na druga sredstva u svom okruženju. Da bi se ograničio ovaj međusobni uticaj, propisuju se standardi kojima se regulišu dozvoljeni nivoi zračenja, odnosno definiše se osetljivost pojedinih sredstava na elektromagnetna zračenja. Pored ovih opasnosti koje postoje pri radu elektronskih sredstava (prvenstveno telekomunikacionih i računarskih sredstava) postoji i opasnost oticanja sadržaja podataka (informacija) koji se obrađuju u konkretnom sredstvu ili se prenose preko telekomunikacionih sistema. To je posebno aktuelno i opasno u funkcionalnim telekomunikacionim i računarskim sistemima gde postoji potreba da se prenose i obrađuju podaci i informacije poverljive prirode.

*Ključne reči:* elektromagnetno zračenje, elektromagnetni efekti, elektromagnetna kompatibilnost, nivo zračenja, funkcionalni telekomunikacioni i računarski sistemi, nivo zračenja, osetljivost, mere zaštite.

## ELECTROMAGNETIC RADIATION EFFECTS ON THE SECURITY OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROCESSING

### Summary:

All electronic devices are exposed to different electronic effects during their use but they alone generate EM energy as well and produce effects on surrounding devices. In order to determine the limits of this mutual influence, the standards which regulate permissible tolerance radiation levels are prescribed, i.e. the sensitivity of particular devices to electromagnetic radiation is defined. Beside this harmfulness during the functioning of electronic devices (especially computers and telecommunication devices) there is a danger of leakage of data (information) processed by a computer or transmitted by a telecommunication system. This danger especially concerns telecommunication and computer systems which transmit and process classified data and information.

*Key words:* electromagnetic radiation, electromagnetic effects, electromagnetic compatibility, radiation level, functional telecommunication and computer systems, sensitivity, protection measures.

### Uvod

Kada električna struja teče kroz provodnik ona generiše elektromagnetni (EM) talas koji se prostire brzinom svetlosti kroz okolinu i obrnuto. Elektromagnetni talas, takođe, generiše e-

lektričnu struju u bilo kojoj provodnoj strukturi koja se nađe na njegovom putu, a koja zavisi od njegove amplitude. Tako, električni i elektronski sistemi, svi računari i telekomunikaciona oprema, kao i svi metalni kablovi kojima se spajaju, zrače na opisani način



i u merljivim iznosima. Elektromagnetna energija se od izvora do prijemnog uređaja može prenositi vođenjem, kada su izvor i prijemnik direktno spojeni vodovima ili vodljivim pločama, ali, isto tako, električnom ili magnetnom spregom na manjim udaljenostima ili zračenjem na većim udaljenostima.

Dobro poznavanje pojave u EM sistemima i veze između korisnih i parazitenih signala važno je ne samo za ispravan rad pojedinih vrsta uređaja nego je često od prvorazrednog značaja za tajnost poruka u komunikacijskim ili računarskim sistemima. Za radio-komunikacijske sisteme je jasno da se poruke koje se predaju pomoću EM talasa mogu primati i na velikim udaljenostima, pa se unapred, pre predaje, provode mere u svrhu zaštite tajnosti poruke. Kod računarskih sistema, a posebno terminala, nisu preduzete nikakve mere zaštite, osim u izuzetnim slučajevima, pa se lako mogu primati poruke i to najčešće preko parazitenih signala. Proučavanje EM sistema na korisnim i parazitnim frekvencijama, kao i postupci koji osiguravaju elektromagnetsku kompatibilnost (EMK) mogu vrlo dobro poslužiti i za provođenje mera zaštite tajnosti poruka, bilo u fazi dok se uređaji i sistemi projektuju i proizvode ili na već gotovim uređajima i sistemima. Prema tome, svi uređaji koji koriste EM energiju neminovno, uz energiju na željenim frekvencijama, generišu i signale na neželjenim frekvencijama. Signali na neželjenim frekvencijama javljaju se kao EM smetnje i svojim prisustvom i nivoima mogu ugroziti rad drugih uređaja u svojoj okolini. Pored toga, u generisanim neželjenim signalima može biti sadržan podatak o informaciji koja se prenosi, što često predstavlja poslovnu, vojnu ili drugu vrstu tajni.

## Problemi elektromagnetnog uticaja

Elektronsko sredstvo (telekomunikaciona oprema, elektronski računar) izloženo je raznovrsnim EM efektima u okruženju, ali i ono generiše uticaje takve vrste. Ovi efekti se opisuju kao EM uticaj. Za svako elektronsko sredstvo važno je znati koji nivo EM uticaja ono može izdržati, a i koji nivo EM uticaja proizvodi tokom normalnog rada. Podaci o nivoima ovih uticaja važni su pri projektovanju opreme i definisanju stepena zaštite od raznovrsnih uticaja. Za ispravno i normalno funkcionisanje elektronske opreme važno je poznavanje dejstva oba navedena uticaja. Zbog toga je podatak o EM uticaju veoma važan i govori o pažnji koja se mora pokloniti sistemima i njihovom okruženju. Mnogi faktori u telekomunikacijama i računarskim komunikacijama su u postupku veoma brzog razvoja, kao što je: brzina rada elektronskih sklopova, povećanje broja priključenih upravljačkih i računarskih naprava, brzina prenosa i obrade podataka, izbor elektronskih proizvoda, gustina kablovskih mreža sa metalnim provodnicima, što doprinosi povećanju problema koji se odnose na EM uticaj.

Tehnički problemi koji se javljaju u vezi sa EM uticajem mogu se posmatrati kao:

— pojava elektromagnetnih smetnji (EMS) koje ugrožavaju kompatibilnost posmatranog elektronskog sredstva u neposrednom okruženju,

— pojava elektromagnetnih zračenja (EMZ) koja su štetna po zdravlje ljudi (posebno zračenja u mikrotalasnom EM spektru),

— pojava informacionih (parazitenih) elektromagnetnih zračenja (IEMZ) preko kojih neželjeno mogu oticati informacije koje se prenose i obrađuju u uređajima ili sistemima.

Pojava EM smetnji obuhvata dve vrste smetnji: izračene EMS (polje EMS) i konduktivne EMS. Nivoi ovih EMS definišu se međunarodnim i nacionalnim standardima (IEC, JUS, MIL, SNO i dr.).

Pojava informacionih elektromagnetnih zračenja intenzivno se izučava u svetu, ali se rezultati tih istraživanja čuvaju u najvećoj tajnosti i javno se ne publikuju. Zahtevi za IEMZ obično se postavljaju za opremu koja se koristi u funkcionalnim sistemima, ali se sve više postavljaju ovi zahtevi i za opremu druge primene. Energija takvog zračenja u direktnoj je vezi sa podacima koji se obrađuju i prenose sistemima. Rezultujući EM talasi takvog zračenja mogu biti nosioci poverljivih podataka koji se mogu dekodovati i analizirati, kako u lokalnu, tako i sa određenog rastojanja. Ovi talasi mogu u originalnim podacima prouzrokovati greške, bilo superponiranjem sa drugim podacima ili brisanjem kompletnih podataka. To se koristi u oblasti tzv. »industrijske i druge špijunaže« kada se EM talasi, koji sadrže podatke nad kojima se obavlja neka obrada, mogu detektovati i zabeležiti pomoću vrlo osetljivih prijemnika. Zbog toga treba izvršiti određenu zaštitu od ovih zračenja. Čak i kada se ovakvo zračenje ne može u potpunosti sprečiti, ono se, ipak, primenom određenih mera zaštite, u znatnoj meri može smanjiti.

Iako su zahtevi za dozvoljene nivo zračenja (EMS, EMZ i IEMZ) međusobno različiti, blokiranjem jednog tipa smetnji, odnosno zračenja, blokiraju se u određenoj meri i ostala zračenja. Podela neželjenog elektromagnetnog zračenja na EMS, EMZ i IEMZ izvršena je prema efektima koje konkretno zračenje može izazvati. S obzirom na područje koje ta zračenja zauzimaju u EM spektru, korektnije je reći da se radi o radio-frekvencijskim smetnjama (RFS). Ovako definisane RFS predstavljaju EM energiju koja izaziva neželjene posledice (ugrožava-

nje kompatibilnosti, štetnost po zdravlje, oticanje informacija).

Problemi elektromagnetnog uticaja mogu se razvrstati u:

— probleme u vezi sa bezbednošću podataka (TEMPEST) koji se odnose na prijem, analizu i dekodovanje signala uticaja,

— probleme zaštite od uticaja, koja obuhvata zaštitu od oštećenja usled električnog uticaja i zaštitu od korišćenja električnog uticaja u špijunske svrhe.

*Merenje EM uticaja* obavlja se raznim metodama merenja i analize osetljivosti opreme koja se ispituje u odnosu na njenu izdržljivost na EM uticaj. Postoje dve kategorije merenja:

— merenje reakcije opreme na elektromagnetno okruženje,

— merenje elektromagnetnog zagađenja prouzrokovanog opremom koja je u radu.

Merenje prve kategorije sastoji se u detekciji nivoa određenih parametara (frekvencija, amplituda, emitovana snaga), koji dovode do nepravilnosti u radu ispitivanog sredstva ili, čak, prouzrokuju oštećenja na ispitivanoj opremi. Ova merenja zasnovana su na utvrđivanju stanja ispitivanog sredstva posle njegovog izlaganja tim uticajima (merenje imunosti).

Druga grupa merenja sastoji se u određivanju određenih parametara (frekvencija, amplituda, emitovana snaga) koje proizvodi ispitivano sredstvo (EM smetnje).

U obe grupe vrše se merenja nivoa konduktivnih sprega i nivoa zračenog EM polja.

Problemi u vezi s bezbednošću podataka nastaju usled pojave industrijskog EM uticaja, pa postoji potreba za zaštitom od takvog uticaja. Bezbednost sistema (telekomunikacionih i računar-

skih) u kojima se vrši prenos i obrada informacija predstavlja pitanje stepena poverenja u podatke koji se prenose ili obrađuju u takvim sistemima. Bezbednost se može sagledati sa više različitih aspekata, i to kao: fizička bezbednost opreme, bezbednost primenjenog softvera i bezbednost primenjenih kodova. Poseban aspekt u pogledu bezbednosti jeste zaštita od oticanja podataka («curenje» podataka) koja, ako nije pravilno projektovana, ima za posledicu emitovanje parazitnog zračenja, pre provođenja zaštitnog kodovanja. Ovo zračenje se može detektovati direktno ili indirektno, ili se može primiti konduktivnim putem. Podaci do kojih se dolazi na ovaj način mogu biti nenamenski upotrebljeni, što predstavlja nedozvoljeni pristup poverljivim informacijama. Za prijem, merenje i analizu podataka koje generiše, prenosi i obrađuje telekomunikaciona i računarska oprema koriste se specijalni, vrlo osetljivi merni prijemnici. tzv. prijemnici TEMPEST. Ovaj problem postoji i u analognim i u digitalnim sistemima.

Nivoi EM uticaja, koji potiču od računara i telekomunikacionih sistema, čak iako veoma mali, još uvek su dovoljno visoki da bi se mogli detektovati prijemnicima TEMPEST. Ako se prijemnik poveže sa dodatnom opremom može se analizirati sadržaj signala, uz odgovarajuća upoređivanja sa referentnim signalom. Ukoliko se na ovakav način zaključi da dolazi do oticanja sadržaja poverljivih podataka, potrebno je izvršiti odgovarajuću zaštitu. Oprema kojom se obavljaju ovakva ispitivanja i analize uglavnom je programabilna, što pojednostavljuje proces ispitivanja, a ako se takva analiza obavlja u špijunske svrhe to znači da se celokupan proces može pratiti u realnom vremenu.

*Zaštitne mere* kojima se nastoji sprečiti ili umanjiti EM uticaj, radi povećanja bezbednosti podataka koji se

obrađuju i prenose određenim sistemom, provode se na hardveru ili pomoću dodatnih hardverskih zahvata. Normalni postupak jeste definisanje različitih nivoa potrebne zaštite ili prihvatljivih nivoa osetljivosti za konkretnu opremu, što se obavlja još u fazi projektovanja opreme. Na nesreću, ponekad iz tehničkih, a ponekad iz komercijalnih razloga, ovaj postupak se, u mnogim slučajevima, primenjuje nedovoljno i neadekvatno.

Ako se dovoljno pažnje pokloni «oklapanju» u fazi projektovanja, moraju se primeniti kompenzacione mere protiv EM uticaja na koji je oprema osetljiva i to dodavanjem zaštitnih naprava u vidu filtera, zaklona (zaštitne rešetke), oklapanjem kablova ili primenom optičkih kablova, koji su kao prenosni medijum imuni na ovakav uticaj. U mnogim se slučajevima zadovoljavajuća zaštita postiže kombinovanjem raznih vrsta mera: oklapanjem radi sprečavanja oticanja signala koji mogu biti emitovani u vidu EM polja i filtriranjem radi sprečavanja oticanja podataka konduktivnim putem. Tako, na primer, za prenosne sisteme sa standardizovanim karakteristikama postoje i standardizovani filtri TEMPEST. Ovi filtri za frekvencije 50 Hz i 400 Hz, koji se koriste u sistemima za napajanje, stvaraju veoma male padove napona i obezbeđuju gušenje od preko 100 dB za signale EM uticaja u frekventnom opsegu od 10 kHz do 10 GHz. Ovakvi filtri postoje za struje napajanja od 16, 32, 64 i 100 A, a mogu se upotrebiti na bilo kojoj opremi koja zahteva zaštitu, ali se prethodno mora znati kolika je njena potrošnja da bi se odabrao adekvatan filter. Filtri TEMPEST koji se koriste u telefonskim sistemima od 0 do 4000 Hz, obezbeđuju gušenje od preko 100 dB za signale EM uticaja iz frekventnog opsega 10 kHz do 10 GHz.

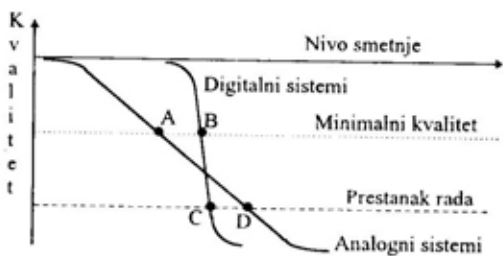
## Osetljivost na elektromagnetne smetnje

Da bi se mogla provesti analiza smetnji koje deluju na neki sistem koji prenosi poruku u vidu električnog signala potrebne su odgovarajuće definicije kvaliteta i osetljivosti na smetnje. Kaže se da su smetnje prešle dozvoljenu vrednost ako je kvalitet sistema pao ispod neke dozvoljene vrednosti.

Pri prenosu analognih signala važna je verna reprodukcija talasnog oblika. Kao mera kvaliteta uzima se srednja vrednost kvadrata odstupanja primljenog od predatog signala. Tu statističku veličinu moguće je izraziti odnosom spektralne gustoće snage signala i smetnje, pa je time definisan kvalitet prenesene poruke (odnos signal-šum S/N).

Pri prenosu digitalnih signala važno je da li signal postoji ili ne postoji, dok talasni oblik primljenog impulsa nije bitan, jer se u prijemniku redovno koriguje. U tom slučaju svrsishodna je mera kvaliteta verovatnoće greške, tj. broj pogrešno primljenih impulsa u odnosu na broj poslanih (BER).

Ako se želi prikazati osetljivost analognih i digitalnih sistema na smetnje, kvalitet (odnos snage signala prema smetnji za analogne, odnosno verovatnoća greške za digitalne sisteme) treba izraziti kao funkciju nivoa smetnji. Na slici 1 prikazan je tipičan slučaj analognog i digitalnog sistema.



Sl. 1

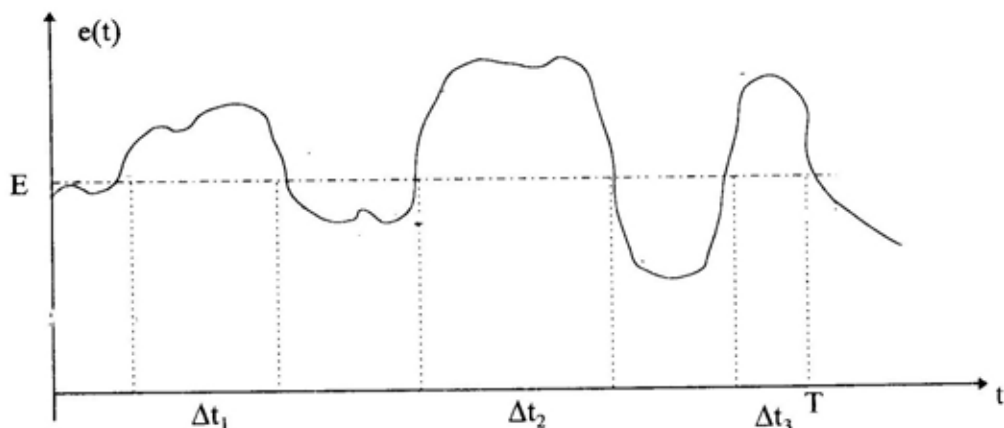
Sa slike se vidi da digitalni sistemi rade sa zadovoljavajućim kvalitetom kod viših nivoa smetnji nego analogni. Međutim, razlika nivoa između minimalnog kvaliteta (tačka B) i prekida rada (tačka C) manja je kod digitalnih u odnosu na analogne sisteme.

Kada izvorna poruka nije električni signal (već akustički ili svetlosni), kao kod komunikacionih sistema, posebno je teško definisati kvalitet i osetljivost na smetnje, jer poruke izvršavaju u svesti čoveka. Mera kvaliteta mora da sadrži kvantitativan iskaz o kvalitetu kojim komunikacioni sistem reprodukuje poslatu poruku. Ona treba da odgovara subjektivnom pojmu o kvalitetu reprodukcije primljene poruke. Model komunikacionog sistema mora, dakle, da sadrži i psihofizički proces percepcije poruke koji može da zavisi i od sadržaja poruke. Na primer, za hitne intervencije policije, vatrogasaca ili hitne pomoći bitna je razumljivost govora, dok je za slušanje muzike važan estetski doživljaj. Zbog svoje redundancije govor je daleko manje osetljiv na smetnje od muzike. Iako televizijska slika ima veliku redundanciju, jer se signali dva uzastopna reda ili poluslika međusobno vrlo malo razlikuju, ipak je prijem televizijske slike vrlo osetljiv na smetnje, budući da je i ovde bitan estetski momenat.

Bez obzira na vrstu prenosa poruka, preterano bi bilo zahtevati da nivo smetnji u jednom dužem vremenskom periodu nikada ne pređe iznos koji odgovara minimalnom kvalitetu. Zbog ekonomičnosti je potrebno da se za jedan, makar i mali postotak vremena, dozvoli da sistem bude ispod minimalnog kvaliteta. Za pojedine vrste poruka (govor, merne veličine u analognom i digitalnom obliku, podaci, slike, upravljački signali, itd.), taj postotak vremena i dozvoljeni nivo smetnji biće različiti, bez obzira na to da li se prenose u osnovnom pojasu ili kao modulirani signali. Zbog toga je potrebno poznavati statistiku smetnji. Najsvrsishodnija veličina koja povezuje vreme

i trenutnu amplitudu smetnje jeste verovatnoća prekoračenja, koja pokazuje koliki se deo vremena (obično u %), unutar jednog dužeg perioda, amplituda signala smetnje nalazi iznad određene vrednosti. Za neku opštu vremensku funkciju  $e(t)$  to je prikazano na slici 2.

ta uzima se razumljivost. Merenje se izvodi tako da jedna izvežbana osoba polako i razgovetno izgovara slogove ili reči bez povezanog sadržaja. Slogovi ili reči mogu biti snimljeni i na magnetofonskoj traci. Ovako poslat govor se prima, ali se na određenom mestu u sistemu dodaje smetnja. Za sva-



Sl. 2

Verovatnoća da je smetnja veća od  $E$  dobija se iz jednačine:

$$v_p(E) = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^N \Delta t_n$$

U statistici se verovatnoća prekoračenja može dobiti ili iz funkcije distribucije  $\Phi$  ili pomoću verovatnoće  $v(e)$  iz sledećeg izraza:

$$v_p(E) = 1 - \Phi(E) = \int_E^{\infty} v(e) de$$

Bez obzira na način na koji se dolazi do verovatnoće prekoračenja — da li teorijski ili eksperimentalno, ona predstavlja ključnu veličinu pri utvrđivanju dozvoljenog nivoa smetnji, odnosno njenog uticaja na kvalitet prenesene poruke.

Kod komunikacionih sistema kojima se prenosi govor kao mera kvalitete

ki nivo smetnje određuje se postotak ispravno primljenih slogova ili reči, pa se dobije razumljivost kao funkcija nivoa smetnji. Kao granica ispravnog rada redovno se uzima razumljivost od 90%. Međutim, za manje kvalitetne sisteme može se odabrati i niža granica. To ne znači da prenos neće biti moguć, nego samo da se neke reči moraju ponavljati, odnosno da slušalac mora pažljivo pratiti poruku koju je moguće shvatiti i iz neke pogrešno primljene reči, zbog redundancije govora.

Pri prenosu slike, bilo da se radi o televizijskoj emisiji, faksimilu ili videotelefonu, mogu nastupiti vrlo različite smetnje koje ne deluju jednako na subjektivnu ocenu kvaliteta reprodukcije. Ovde je mnogo teže nego kod govora dobiti meru kvaliteta. Ispitivanja se obavljaju sa većim brojem osoba koje subjektivno ocenjuju sliku ocenama (npr. odlična, vrlo dobra, dobra, granična i neupotrebljiva). Na određ-

nom mestu u sistemu ubacuje se smetnja promenljivog nivoa. Za svaki nivo smetnje izvodi se subjektivno ocenjivanje ocenama, pa se utvrđuje koliko posto osoba je pri određenom nivou smetnji prihvatilo tu ocenu. Kao minimalni kvalitet uzima se npr. ona slika za koju je 50% osoba izjavilo da je granična, a time je određen i dozvoljeni nivo smetnje. Za različite tipove smetnji dobijaju se i različiti dozvoljeni nivoi smetnji, jer subjektivni utisak zavisi od tipa smetnje.

## Zaključak

Svi elektronski uređaji koji u bilo kom obliku reaguju na EM energiju mogu biti ometani u svojoj osnovnoj funkciji.

Dobro poznavanje pojava u elektromagnetnim sistemima i veze između korisnih i parazitnih signala važno je ne samo za ispravan rad pojedinih vrsta uređaja nego je često od prvorazrednog značaja za tajnost prenosa i obrade informacija u komunikacionim i računarskim sistemima.

Proučavanje EM pojava u sistemima na korisnim i parazitnim frekvencijama, kao i postupci koji osiguravaju elektromagnetnu kompatibilnost, mogu vrlo dobro poslužiti i za izvođenje mera zaštite tajnosti poruka u fazi projektovanja i proizvodnje ili na već gotovim uređajima i sistemima.

Svaki elektronski uređaj koji služi za prenos i obradu informacija može biti izvor EM smetnji, koje mogu uticati na rad drugih uređaja u okolini, ili mogu predstavljati način za oticanje informacija koje se u sistemu prenose i obrađuju. Zato se pri projektovanju i realizaciji ovakvih sistema mora voditi računa o nivou EM zračenja. To je vrlo opasno u računarskim sistemima, jer se rekonstrukcija slike sa video displej jedinice može vršiti i sa udaljenosti od nekoliko stotina metara [2]. Ova rekonstrukcija može se obavljati i pomoću neprofesionalne opreme, tj. pomoću običnog TV prijemnika, uz dodatnu sinhronizaciju radi stabilizovanja slike. Primenom profesionalne opreme za detekciju i dešifrovanje, ovaj efekat može biti i poražavajući. Ukoliko se primeni oklapanje, efekti prisluškivanja mogu se umanjiti, ali to povećava cenu uređaja za 2 do 4 puta.

Nivoi zračenja elektronskih uređaja mogu se smanjiti ukoliko se koriste digitalna kola one brzine koja je potrebna za normalan rad, i ako se pri konstrukciji uređaja izbegava pravljenje velikih petlji. Postoji čitav niz i drugih jednostavnih postupaka za povećanje stepena elektromagnetske kompatibilnosti telekomunikacionih i računarskih uređaja i sistema u kojima se obrađuju i prenose informacije, kao što su oklapanje, uzemljenje i filtriranje.

Stepen elektromagnetne kompatibilnosti uređaja i sistema jednako je važan kao i ostale funkcionalne karakteristike.

## Literatura:

[1] Win van Eck: Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eavesdropping Risk?, Computers & Security 4, 269-286, B. V. (North Holland), 1985.

[2] Donald, R. J. White: Electromagnetic interference and compatibility, vol. 5, Don White Consultants, Inc. 1973.

[3] Jevtović, M.: Neka iskustva u blokiranju elektromagnetskih smetnji na video terminalima, Telekomunikacije br. 1, 1993.

Mr Milovan Unković,  
dipl. inž.  
VP 2342-20, Radovići

## AUTOMATIZOVANO ODREĐIVANJE GREŠKE LINEARNOSTI TESTERASTOG NAPONA I NAPONA RAMPE

UDC: 621.373.13.08

### Rezime:

Linearnost testerastog napona i napona rampe važne su karakteristike generatora funkcija i generatora sa prebrisavanjem frekvencije. Pri testiranju ovih instrumenata utvrđuje se greška linearnosti za testerasti signal i signal rampe. Za utvrđivanje greške linearnosti, metodom merenja korak po korak, potrebno je mnogo vremena. Međutim, ako se koristi automatizovani metod merenja sa sistemskim voltmetrom HP 3437A, kompletni rezultati dobijaju se za 2 do 3 minuta.

**Ključne reči:** generator funkcija, generator sa prebrisavanjem frekvencije, testerasti napon, napon rampe, greška linearnosti.

## AUTOMATIC DETERMINATION OF THE TRIANGLE AND RAMP VOLTAGE LINEARITY ERROR

### Summary:

Triangle and ramp voltage linearity are important characteristics of function and sweep generators. In performance test for these instruments linearity error for triangle and ramp signals is established. When using the step-by-step measuring method the process of the establishing linearity error can be very time consuming. However, system voltmeter HP 3437A, as obtain the complete measuring results in 2-3 minutes.

**Key words:** function generator, sweep generator, triangle voltage, ramp voltage, linearity error.

### Uvod

Generatori funkcija, pored sinusoidnog i četvrtastog, generišu i trougao-  
ne (testeraste) signale. Neki generatori funkcija generišu i signal pozitivne i negativne rampe. Generatori sa prebrisavanjem frekvencije (svip generatori) takođe generišu signal rampe. Jedna od karakteristika generatora funkcija koja se pri etaloniranju obavezno testira jeste linearnost testerastog napona. Pri etaloniranju svip generatora obavezno se ispituje linearnost signala rampe. Utvrđivanje greške linearnosti testerastog napona i napona rampe može se izvoditi manuelno, korak po korak, ali zahvaljujući HP-IB priključ-

cima mernih instrumenata proces merenja i obrade rezultata može se potpuno automatizovati. Bez obzira na to o kojoj metodi se radi, ključni merni instrument koji se koristi jeste sistemski voltmetar HP 3437A.

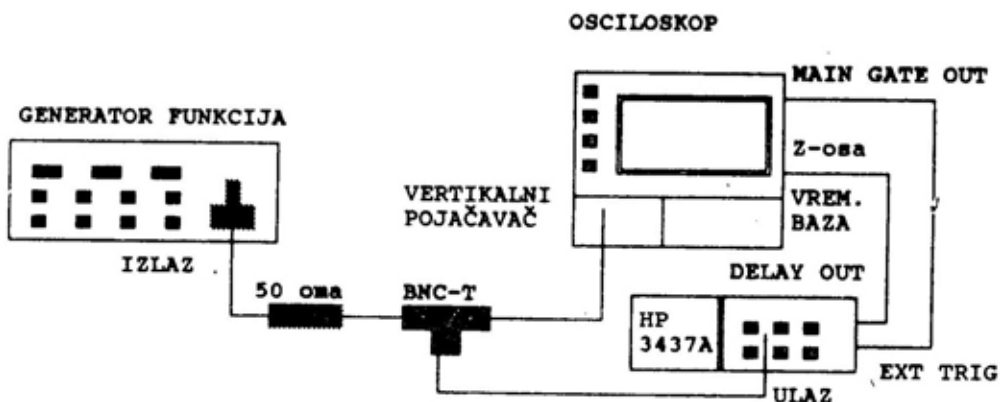
U ovom radu prezentirana je automatizovana metoda utvrđivanja greške linearnosti testerastog napona i napona rampe.

### Merenje napona u pojedinim tačkama testere ili rampe

Sistemski voltmetar HP 3437A posebno je koristan kada se koristi sa osciloskopom. Kada se koristi zakasnela

vremenska baza osciloskopa sa voltmetrom HP 3437A, dolazi do poboljšavanja tačnosti osciloskopa. Na slici 1 pokazano je na koji način se koristi osciloskop sa voltmetrom HP 3437A pri merenju napona u pojedinim tačkama sinusoidnog, četvrtastog ili testerastog signala generatora funkcija.

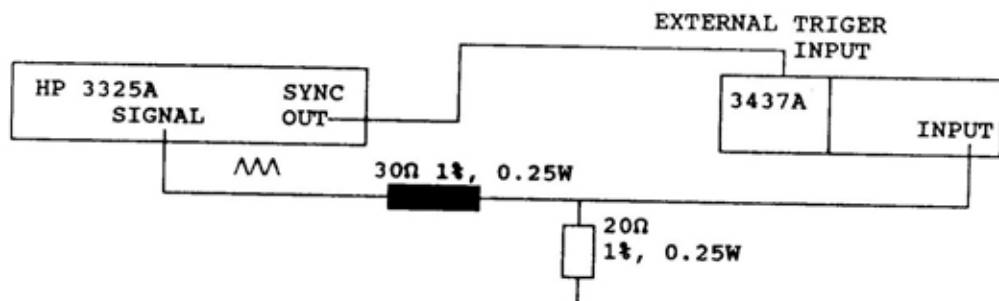
pe ili testere. Okidanje se vrši negativnom ivicom okidnog signala. Digitalna logika kašnjenja voltmetra HP 3437A ima mogućnost da zakasni spoljni okidni signal od 0 do 1 sekunde (u koracima od 100 ns) i može interno generisati 9999 okidnih signala (za svaki primljeni eksterno generisani okidni



Sl. 1 — Proširenje mernih mogućnosti osciloskopa korišćenjem sistemskog voltmetra HP 3437A

Sistemski voltmetar HP 3437A koristi se za merenje testerastog napona i napona rampe. Na slici 2 pokazano je način merenja u pojedinim tačkama testerastog napona generatora funkcija HP 3325A.

signal) sa frekvencijom od 1 Hz do 5700 Hz. Interno generisani okidački signali iniciraju merenje do 9999 tačaka, pri čemu je maksimalna frekvencija merenja 5700 tačaka (uzoraka) u sekundi.



Sl. 2 — Merenje u pojedinim tačkama testerastog napona voltmetrom HP 3437A

Pri merenju se koristi spoljni okidački signal (triger) koji na ulaz EXT.TRIG voltmetra 3437A (nalazi se na zadnjoj ploči) dolazi sa izvora ram-

Slike 3 i 4 pojašnjavaju način merenja sa HP 3437A.

Na slici 3 je prikazano merenje u tački koja kasni za okidačkim signa-

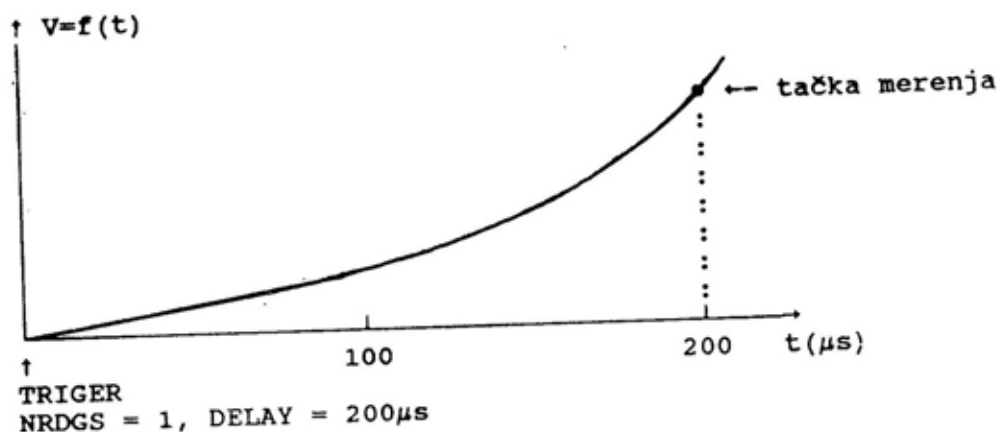


lom 200 ms (DELAY=200 ms). Pošto je NRDGS=1 (broj čitanja) to se generiše samo jedan interno generisani okidački signal koji kasni 200 ms iza spoljašnjeg okidačkog signala.

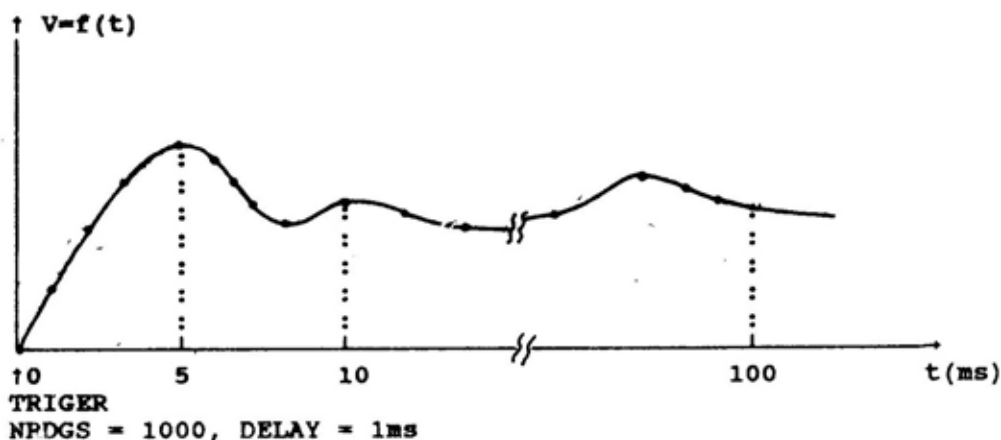
Na slici 4 prikazano je uzorkovanje ulaznog napona u 1000 tačaka sa kašnjenjem 1 ms između dveju susjednih tačaka. Naime, komande NRDGS=

1000 puta u intervalima od 1 ms. U vremenu između uzimanja uzoraka poslednja vrednost izmerenog napona se digitalizuje i šalje na HP-IB izlaz voltmetra. Voltmetar HP 3437A radi u tri opsega: 0,1; 1,0 i 10 V sa mogućnošću merenja do  $\pm 19,98$  V (prekoračenje od 100% na svakom opsegu).

Obzirom da u praktičnim primenama napon testere ili rampe ne pre-



Sl. 3 — Merenje u tački koja kasni za okidačkim signalom za vreme  $t$



Sl. 4 — Uzorkovanje ulaznog napona 1000 tačaka sa kašnjenjem od 1 ms

=1000 i DELAY=1 ms označavaju da se generiše 1000 internih okidačkih signala tako da se ulazni signal uzorkuje

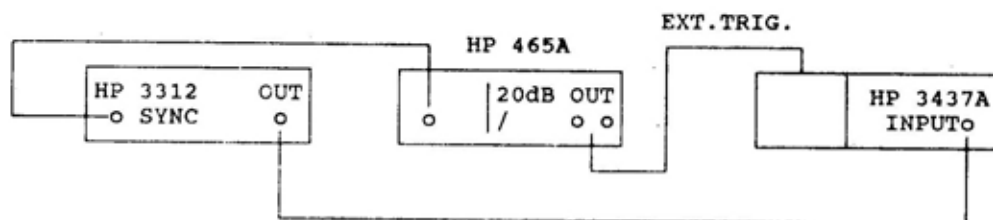
koračuje navedenu maksimalnu vrednost, to se posebno mora voditi računa o amplitudi spoljašnjeg okidačkog sig-

nala. Predviđeno je da se HP 3437A okida TTL signalom (negativnom-padajućom ivicom). Ukoliko se TTL nivo logičke jedinice (5 V) prekorači, moguće je da dođe do uništenja EXT.TRIG ulaza. U tom slučaju moraju se koristiti oslabljivači. Oslabljivači se nekada koriste i za slabljenje ulaznog napona testere (rampe). U nekim slučajevima nivo okidačkog signala koji reprezentuje TTL logičku jedinicu je nedovoljan, pa se moraju koristiti pojačavači za pojačavanje okidačkog signala. Primer je generator funkcija HP 3312 kod koga se merenje testerastog napona izvodi prema šemi povezivanja mernih instrumenata prikazanoj na slici 5.

mer za generator funkcije HP 3325 ova greška je  $\pm 0,05\%$ , mora se voditi računa o izboru kablova za povezivanje generatora funkcije i sistemskog voltmetra, a nekada se testerasti signal pre uvođenja u sistemski voltmetar filtrira kroz filter propusnik niskih frekvencija.

### Proračun »idealnog napona testere ili rampe«

Neka je u xOy ravni dato n tačaka sa koordinatama  $(x_i, y_i)$ . Potrebno je definisati kriterijum po kome će prava:



Sl. 5 — Merenje testerastog napona pri nedovoljnom nivou okidačkog signala

Ovde se koristi pojačavač od 20 dB da bi se dobio zadovoljavajući nivo okidačkog signala. Pri merenju napona u pojedinim tačkama testere sistemskim voltmetrom 3437A vrlo važno je da se nađe odnos testerastog napona i okidačkog signala. Razlikuju se tri slučaja:

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa negativnim vrhom (minimumom) testere,

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa pozitivnim vrhom (maksimumom) testere,

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa 0 V testere.

Ovi uslovi se mogu uzeti u obzir pri programiranju izbora mernih tačaka na testerastom naponu.

Ukoliko je greška linearnosti testerastog napona izrazito mala (na pri-

$$y = ax + b \quad (1)$$

prolaziti najbliže navedenim tačkama.

Greška (po ordinati) između stvarne i idealne koordinate je:

$$V_i = y_i - y = y_i - ax_i - b \quad (2)$$

Za određivanje koeficijenta  $a$  i  $b$  u jednačini (1) koristi se Gaussova metoda najmanjih kvadrata (3) po kojoj je suma kvadrata grešaka minimalna, tj:

$$V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 = \min \quad (3)$$

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (4)$$

Iz jednačine (2) sledi:

$$\sum_{i=1}^n V_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 = F(a, b) \quad (5)$$

Po metodi najmanjih kvadrata funkcija  $F(a,b)$  mora biti minimalna, pa je:

$$\frac{\partial F(a,b)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) X_i = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial F(a,b)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0$$

Iz sistema jednačina (6) dobija se sledeći sistem jednačina po  $a$  i  $b$ :

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i - a \sum_{i=1}^n X_i^2 - b \sum_{i=1}^n X_i = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i - a \sum_{i=1}^n X_i - b \sum_{i=1}^n 1 = 0$$

Linearne jednačine iz sistema (7) po  $a$  i  $b$  se zovu normalne jednačine. Rešavajući sistem jednačina (7) po  $a$  i  $b$  dobija se:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - a \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (9)$$

*Primer:*

Date su tačke: (1; 4,2); (2; 1,67); (3; 2,01); (4; 2,92); (5; 3,47) (6; 3,61).

Treba naći pravu koja prolazi najbliže ovim tačkama. Koristeći metod najmanjih kvadrata dobija se sistem jednačina:

$$\begin{aligned} 61,48 - 91a - 21b &= 0 \\ 15,10 - 21a - 6b &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Rešenja ovog sistema su:

$$a = 0,493 \text{ i } b = 0,79 \quad (11)$$

a jednačina prave je:

$$y = 0,493x + 0,79 \quad (12)$$

Odnos ove idealne prave i zadanih tačaka prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1

$X_i$	$Y_i$	$Y_{na \text{ pravo}}$	$V_i$
1	1,42	1,28	0,14
2	1,67	1,78	-0,11
3	2,01	2,27	-0,26
4	2,92	2,76	0,16
5	3,47	3,26	0,21
6	3,61	3,37	-0,14
			$\sum V_i = 0$

Navedeni primer na ilustrativan način prikazuje način određivanja idealne prave iz zadatih tačaka i računanje greške u pojedinim tačkama (greške su date u apsolutnom iznosu).

U skladu sa tačkom 1.188 Standarda JUS. G7.102 [4] greška linearnosti  $\Delta f$  je greška zavisnoprocentne u odnosu na idealnu pravu liniju (slika 6).

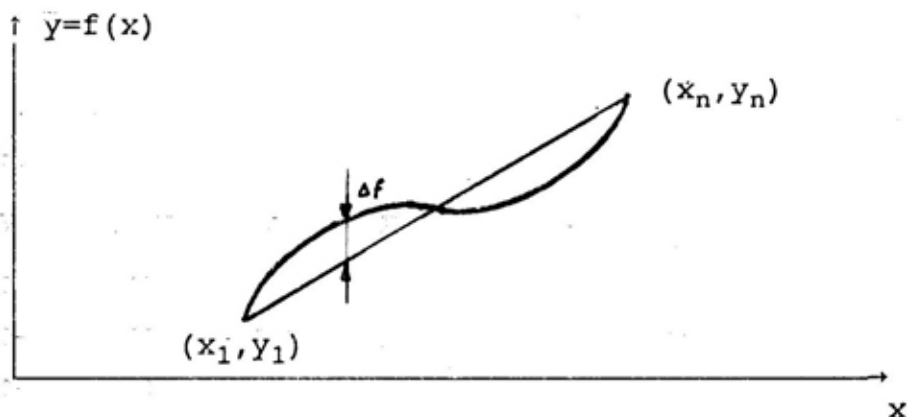
Greška linearnosti testerastog napona rampe uvek se izražava u procentima. Greška linearnosti računa se u intervalu 10%, 90% maksimalne vrednosti napona.

Prema tome, bilo da se greška linearnosti testerastog napona ili rampe određuje ručno ili automatski, postupak je sledeći:

— meri se napon u pojedinim tačkama testere (rampe) pri čemu se tačke nalaze u dijapazonu (10,90) % vršne vrednosti napona. Prvo se odredi po-

četna tačka, a zatim se sledeće tačke uzimaju za fiksno vremensko kašnjenje. Ne bi trebalo uzimati manje od 9 tačaka;

serijskom broju instrumenta koji se testira, frekvenciji ulaznog signala, datumu testiranja i broju test-tačaka. Maksimalni broj test-tačaka je 250.



Sl. 6 — Greška linearnosti del  $f$

— iz izmerenih vrednosti napona računa se idealni napon po formulama (8) i (9);

— proračunava se greška linearnosti kao razlika izmerenog napona i »idealnog napona«.

Povezivanje mernih instrumenata za automatsko određivanje greške linearnosti prikazano je na slici 7.

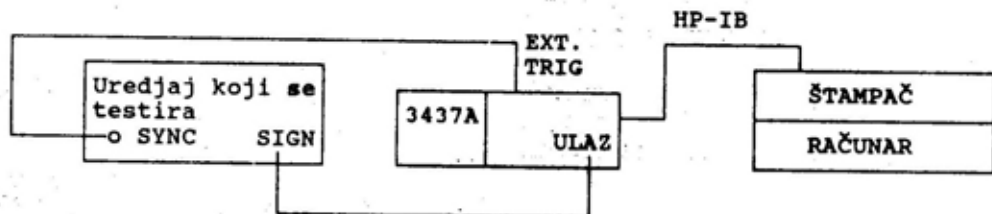
#### Opis programa za određivanje greške linearnosti

Početni deo programa omogućava upis osnovnih podataka o amplitudi ulaznog napona, slabljenju, modelu i

Program je pisan modularno, a sastoji se od četiri potprograma. Potprogramom *Ucit* očitava se vrednost napona, potprogramom *Kasn* postavlja se kašnjenje, potprogramom *Vcit* čita se ulazni napon da bi se postavio opseg, a potprogramom *Ops* postavlja se opseg merenja.

Ukoliko se radi o testeru, merenja se posebno vrše za rastući, a posebno za padajući deo testere. Kašnjenje se posebno postavlja za tri navedena slučaja odnosa testerastog napona i okidačkog signala.

Da bi se smanjila slučajna greška obračunava se srednja vrednost iz pet očitavanja. Nakon izvršenog merenja, program pristupa računanju »idealnog



Sl. 7 — Povezivanje mernih instrumenata za automatsko određivanje greške linearnosti

napona«, a zatim se proračunava greška linearnosti u procentima, koja se upoređuje sa dozvoljenom greškom.

Ukoliko se merenje obavlja u deset tačaka, čitav proces merenja, obrade rezultata merenja i štampanje rezultata traje 2 do 3 minuta.

### Prikazivanje rezultata merenja

Nakon izvršenog merenja i obrade rezultata rezultati se štampaju na štampaču.

Posebno za pozitivan nagib i posebno za negativan nagib, daju se sledeći podaci: redni broj merne tačke, kašnjenje od okidačkog impulsa (u sekundama), izmereni napon, »idealni napon« i greška u procentima. Ukoliko su greške veće od dozvoljenih, uz vrednost greške upisuje se zvezdica (\*).

Ispod navedenih rezultata upisana je dozvoljena maksimalna greška u procentima od vršnog napona. Ispod ovog podatka dozvoljena greška je da-

Tabela 2

Linearnost testerastog napona					Model: HP 3321A			
Serijski broj: 502G02206					Datum: 26. 09. 1996.			
Frekvencija: 5000,00 Hz; Vršni napon: 10,0 V; Slabljenje: 1,00X								
Pozitivni nagib:					Negativni nagib:			
Merna tačka	Kašnjenje od trig(s)	Izmereni napon (V)	Idealni napon (V)	Greška (%)	Kašnjenje od trig(s)	Izmereni napon (V)	Idealni napon (V)	Greška (%)
1.	0,0000100	-7,540	-7,575	0,355	0,0001100	8,004	8,081	-0,767
2.	0,0000153	-6,580	-6,573	-0,066	0,0001153	7,058	7,086	-0,277
3.	0,0000207	-5,580	-5,571	-0,087	0,0001207	6,074	6,091	-0,168
4.	0,0000260	-4,592	-4,569	-0,228	0,0001260	5,104	5,096	0,081
5.	0,0000313	-3,598	-3,567	-0,310	0,0001313	4,128	4,101	0,271
6.	0,0000363	-2,576	-2,565	-0,111	0,0001367	3,134	3,106	0,280
7.	0,0000420	-1,567	-1,563	-0,044	0,0001420	2,158	2,111	0,469
8.	0,0000473	-0,560	-0,561	0,003	0,0001473	1,180	1,116	0,637
9.	0,0000527	0,464	0,441	0,222	0,0001527	0,207	0,121	0,858
10.	0,0000580	1,469	1,444	0,259	0,0001580	-0,804	-0,874	-0,697
11.	0,0000633	2,464	2,446	0,184	0,0001633	-1,934	-1,869	-0,653
12.	0,0000687	3,472	3,448	0,243	0,0001687	-2,940	-2,864	-0,764
13.	0,0000740	4,454	4,450	0,042	0,0001740	-3,910	-3,859	-0,515
14.	0,0000793	5,434	5,452	-0,179	0,0001793	-4,886	-4,853	-0,326
15.	0,0000847	6,414	6,454	-0,400	0,0001847	-5,866	-5,848	-0,176
16.	0,0000900	7,468	7,456	0,118	0,0001900	-6,808	-6,843	0,353
Dozvoljena greška 1,000% od vršnog napona.								
Idealni NAPON $\pm$ 0,1000 V								
Max. neg. greška: -0,400%					Max. neg. greška: -0,767%			
Max. poz. greška: 0,355%					Max. poz. greška: 0,858%			

ta u apsolutnom iznosu u obliku *Idealni NAPON*  $\pm G_{\text{apsol}}$ , gde je  $G_{\text{apsol}}$  maksimalna apsolutna dozvoljena greška. Takođe, daje se maksimalna pozitivna i maksimalna negativna greška. U tabeli 2 prikazani su rezultati jednog merenja linearnosti testerastog napona.

Program za određivanje linearnosti rampe jeste modifikacija programa za određivanje greške linearnosti testere. Naime, ukoliko se radi o pozitivnoj rampi, merenja se vrše samo na pozitivnom nagibu, a pri štampanju rezultata ispod naslova *negativni nagib* navode se samo nule. Slično je za negativnu rampu.

## Zaključak

Linearnost testerastog napona i napona rampe važne su karakteristike generatora funkcija i svip generatora i obavezno se proveravaju pri etaloniranju ovih izvora signala. Ukoliko se merenja i proračun greške linearnosti testerastog napona i napona rampe vrše bez primene računara, ovaj proces može trajati i do dva sata. Međutim, ukoliko se koristi automatizovana metoda merenja, opisana u ovom radu, čitav postupak traje 2 do 3 minuta. Ne samo da se na ovaj način dobija u vremenu, već se postiže i veća tačnost merenja. Naime, svako merenje se ponavlja po pet puta, pa se time smanjuje uticaj slučajnih grešaka na rezultate merenja.

### Literatura:

- [1] System Voltmetar HP 3437A, Operating and Service Manual, Loveland, Co., USA, 1976.
- [2] Synthesiser / function generator HP 3325A, Operating and Service Manual, Loveland, Co., USA, 1978.
- [3] Vranić, V.: Vjerojatnost i statistika, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [4] JUS.G7.102: Signal generatori — Termini i definicije, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1988.

## PROGNOZIRANJE STANJA TEHNIČKIH PROIZVODA KORIŠĆENJEM LINIJE REGRESIJE I KOEFICIJENTA VARIJACIJE

UDC: 519.246/248

### Rezime:

U procesu razvoja, proizvodnje i korišćenja tehničkih proizvoda važno mesto ima kontrola i predviđanje (prognoza) karakteristika kvaliteta i pouzdanosti. U ovom članku razmatran je mogući prilaz, zasnovan na pretpostavci da se promena parametra stanja proizvoda može izraziti matematičkom funkcijom. Za to se može koristiti dvoparameterska stepena funkcija kao linija regresije. Dat je metod za ocenu parametara ovakve funkcije. U slučaju kada se Vejbulova raspodela može primeniti na vreme rada do otkaza kao slučajnu veličinu, metoda koeficijenta varijacije korišćena je za ocenu parametra oblika te raspodele. Metodologija je ilustrovanu praktičnim primerom i može se analogno primeniti i u slučajevima kada egzistira neki drugi model funkcije koja izražava promenu parametra stanja proizvoda.

Ključne reči: prognoziranje stanja proizvoda, funkcija regresije, standardna devijacija, vreme do otkaza, koeficijent varijacije, stepena funkcija, Vejbulova raspodela.

## FORECASTING OF A TECHNICAL PRODUCT STATE USING THE REGRESSION FUNCTION AND THE VARIATION COEFFICIENT

### Summary:

In the process of the development, manufacture and use of technical products an important place has the control and forecast (prediction) of the quality and reliability characteristics. This paper gives an approach which is based on the assumption that the change of a state parameter of the product can be expressed by a mathematical function. For this purpose the two-parameter power function as the regression function can be used. In addition, the method for estimating the parameters of this function is presented. In the case when the Weibull distribution can be used for the time to failure as a random value, the method of the variation coefficient is used for estimating the shape parameter of this distribution. This methodology is illustrated by a practical example and can be used as well in the cases when here are some other models of the function which represents the change of a product state parameter.

Key words: product, state forecasting, regression function, standard deviation, time to failure, variation coefficient, power function, Weibull distribution, shape parameter product state parameter.

### Uvod

Teorija prognoziranja i matematičkog modelovanja dobila je široku primenu u svim oblastima života i ra-

da, posebno u industriji i eksploataciji tehničkih proizvoda.

Prognoziranje je neophodan preduslov za optimizaciju bilo koje aktivnosti u sferi proizvodnje, korišćenja i

održavanja proizvoda. Radi toga razrađuju se osnove opšte teorije prognoziranja.

Osnovni zadatak prognoziranja jeste iznalaženje optimalnih promena prognoziranih karakteristika i parametara sa ciljem da se postigne maksimalan efekat po nekom unapred utvrđenom kriterijumu (ekonomskom, tehničkom, tehnološkom, ekološkom itd.). Tri osnovne etape u ukupnom ciklusu prognoziranja su: retrospekcija, dijagnostika i prognoza.

U prvoj etapi prati se ponašanje parametara stanja proizvoda u prošlosti, proučava se i razrađuje matematički model promene stanja, određuju se karakteristični parametri stanja elemenata i sklopova i definišu kriterijumi za dozvoljeno odstupanje parametara, kao i kriterijumi za definisanje otkaza.

U etapi dijagnostike utvrđuju se početne vrednosti parametara stanja i dozvoljena, granična vrednost odstupanja parametara u odnosu na referentnu ili nazivnu vrednost. U ovoj etapi istovremeno se mere parametri i određuje metoda prognoziranja.

Treća etapa obuhvata prognoziranje toka promena vrednosti parametara u budućnosti i njihov uticaj na ukupno stanje procesa u trenutku dijagnostike.

Tehničko stanje proizvoda određuje se sveukupnošću parametara i fizičkih veličina koji karakterišu sposobnost propisanog funkcionisanja proizvoda od čijih vrednosti zavise aktivnosti u oblasti održavanja, remonta, planiranja rezervnih delova i troškova u procesu tehničkog opsluživanja tokom veka proizvoda.

Ovaj članak posvećen je inženjerskom prognoziranju tehničkog stanja proizvoda korišćenjem odabranog modela funkcije regresije (trenda) za po-

smatrani parametar stanja i koeficijenta varijacije kao statističkog pokazatelja.

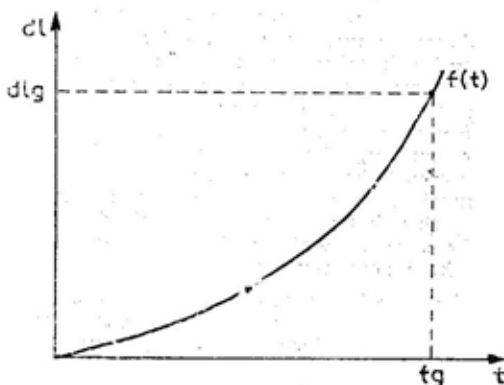
### Prognoziranje stanja tehničkih proizvoda

Pod linijom regresije (ili trenda) podrazumeva se kriva koja odražava promenu vrednosti neke funkcije u vremenu. Ova linija može se predstaviti linearnom, stepenom ili nekom drugom funkcijom.

Pretpostavlja se da se promena stanja proizvoda pokorava takvoj vremenskoj zavisnosti sve do vremena kada se dostiže granična vrednost i nastupa otkaz proizvoda. Na primer, sistem četkice-kolektor, kod kolektorske električne mašine, u toku rada stalno se haba, što na kraju dovodi do prestanka rada (do otkaza) mašine. Trošenje četkica (izraženo u milimetrima), može se pratiti u vremenu i izraziti funkcijom:

$$dl = f(t) \quad (1)$$

koja je prikazana na slici 1.



Sl. 1 — Promena parametra stanja u vremenu

Istrošenost četkica  $dl$  sve više se povećava i u trenutku  $t_g$  dostiže vrednost  $dl_g$  (granično) kada nastupa ot-



kaz mašine, odnosno opasnost nastanka težeg kvara.

S obzirom na to da se teži da ovo vreme bude što duže (vreme rada bez otkaza), onda se takva karakteristika deklariše i kao svojstvo kvaliteta. Kupac je zainteresovan da proveri ovu karakteristiku, pa će u određenim slučajevima izvršiti potrebna ispitivanja, kako bi što brže i jeftinije došao do podataka. U normalnim uslovima korišćenja proizvoda bilo bi neekonomično da se ispitivanje vrši sve do nastupanja otkaza. Osim toga, to bi bilo i neracionalno, jer bi se dugo čekalo na podatke (utoliko duže ukoliko je pouzdanost veća).

Korišćenjem funkcije (1) ovo vreme može se skratiti. Ispitivanja se sprovode u nekom realnom vremenu  $t_r$ , a onda se poznavanjem funkcije (1) izračunava (prognozira) vreme rada do otkaza  $t_g$  (granično vreme):

$$t_g = f(t_r, dl_g) \quad (2)$$

Teorijski elementi ove metode dati su u jednačinama (2) i (3).

Na primer, ako je trošenje četkica prikazano stepenom funkcijom oblika:

$$dl = at^b \quad (3)$$

u kojem su  $a$  i  $b$  poznate konstante, a  $t$  je vreme rada, onda moment otkaza karakteriše vrednost parametra stanja:

$$dl_g = at_g^b \quad (4)$$

Iz izraza (3) može se izračunati vreme rada do otkaza:

$$t_g = \left( \frac{dl_g}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (5)$$

Analogno ovom jednostavnom primeru i kod drugih proizvoda mogu se posmatrati neki parametri stanja, npr. kapacitet električnog akumulatora,

frekvencija neke veličine, greška regulatora, promena snage, pritiska, temperature, otpornost izolacije, potrošnja goriva i ulja, intenzitet svetla, razni zabori u mašinstvu, habanje elementa prenosa, temperatura, elektromagnetske smetnje, nivo buke, elektronsko pojačanje, perzistencija katodne cevi, itd.

Od konkretnog proizvoda zavisi koja će se fizička komponenta i veličina pratiti u radu. Za dati referentni parametar stanja ( $y$ ) treba naći, analogno izrazu (1), funkciju:

$$y = f(t) \quad (6)$$

U praksi najčešće ova funkcija nije poznata pa se mora zameniti nekom drugom funkcijom poznatog oblika. Generalno, može se pretpostaviti da je to polinom [1]:

$$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \dots + a_n t^n \quad (7)$$

Koeficijenti  $a_0, a_1, \dots, a_n$  mogu se odrediti po metodi najmanjih kvadrata koja pretpostavlja da dati skup tačaka ( $y, t$ ) najbolje povezuje ona linija  $y = f(t)$  za koju matematičko očekivanje

$$M[(y - a_0 - a_1 t - a_2 t^2 \dots - a_n t^n)^2] \quad (8)$$

ima minimum, a to je slučaj kada su njihovi parcijalni izvodi po parametrima  $a_i$  jednaki nuli. Na taj način može se dobiti  $(n+1)$  jednačina i iz takvog sistema izračunati svi koeficijenti ( $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ).

U praksi je obično zadovoljavajućim linearni slučaj:

$$y = a_0 + a_1 t \quad (9)$$

ili stepena funkcija:

$$y = at^b \quad (10)$$

gde su  $a$  i  $b$  bilo koji konstantni koeficijenti. Koeficijenti  $a$  i  $b$  mogu se odrediti, takođe, metodom najmanjih kvadrata. Radi toga izraz (10) prethod-

no treba logaritmovanjem transformisati u oblik:

$$\ln y = \ln a + b \ln t \quad (11)$$

Konačni izrazi za izračunavanje koeficijenta  $a$  i  $b$  su:

$$\ln a = (\ln y)_{sr} - b(\ln t)_{sr} \quad (12a)$$

$$b = \frac{\sum_{k=1}^m [\ln t_k - (\ln t)_{sr}] [\ln y_k - (\ln y)_{sr}]}{\sum_{k=1}^m [\ln t_k - (\ln t)_{sr}]^2} \quad (12b)$$

Ovde su

$$(\ln y)_{sr} = \frac{\sum_{k=1}^m \ln y_k}{m}, \quad (\ln t)_{sr} = \frac{\sum_{k=1}^m \ln t_k}{m} \quad (13)$$

Praktično odabere se  $n$  ispitnih primeraka proizvoda i izvrše merenja vremena rada, koje se podeli u 5 do 8 intervala. Unutar ovakvih intervala vremena posmatraju se odgovarajuće vrednosti parametra stanja. Za svaki interval izračuna se srednja vrednost vremena rada i odgovarajuća srednja vrednost parametra koji se prikazuju kao  $y_i$  i  $t_i$  (za interval  $i$ ). Na svakom ispitnom primerku izvrši se samo jedno merenje, a ako je izvršeno više merenja uzima se srednja vrednost za taj primerak.

Pošto se prema izrazima (12a) i (12b) izračunaju koeficijenti  $a$  i  $b$  za svaki ispitni primerak izračuna se prognozirano vreme rada do otkaza preko izraza:

$$t_{gi} = t_i \left( \frac{y_g}{y_i} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (14)$$

gde je:

$t_{gi}$  — vreme rada do otkaza  $i$ -tog primerka ( $i = 1$  do  $n$ ),

$t_i$  — vreme kada je izmerena vrednost  $y_i$ ,

$y_g$  — granična vrednost parametra pri kojoj nastupa otkaz, odnosno nepropisni rad.

Srednje vreme rada do otkaza izračunava se iz izraza:

$$T_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{gi} \quad (15)$$

Ako se pretpostavi da se vreme rada do otkaza, kao slučajna veličina, pokorava dvoparametarskom Vejbulovom zakonu raspodele, tada je funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = \exp[-\gamma t^\beta] \quad (16)$$

Za ovu raspodelu parametri  $\gamma$  i  $\beta$  mogu se izračunati iz statističkih podataka za vremena rada do otkaza i to preko koeficijenta varijacije koji se definiše kao količnik standardne devijacije  $\sigma$  i srednje vrednosti slučajne veličine  $t$ :

$$v = \frac{\sigma}{T_{sr}} \quad (17)$$

Srednja vrednost  $T_{sr}$  definisana je izrazom (15), a standardna devijacija  $\sigma$  izrazom:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{gi} - T_{sr})^2} \quad (18)$$

gde je:

$t_{gi}$  — prognozirano vreme rada do otkaza  $i$ -tog primerka.

Za dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu koeficijent varijacije zavisi od parametra oblika  $\beta$  i iznosi:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]^2}} - 1 = \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_{gi}}{T_{sr}} - 1\right)^2} \end{aligned} \quad (19)$$

Izrazi

$$\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \text{ i } \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (20)$$

su vrednosti gama-funkcije koja se definiše kao:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (21)$$

Vrednosti gama-funkcija mogu se odrediti iz tablica.

Za Weibulovu raspodelu srednje vreme rada od otkaza može se dati u obliku:

$$T_{sr} = \frac{1}{\gamma \beta} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (22)$$

pa se iz tog izraza može izračunati parametar razmere  $\gamma$ .

Ako se imaju u vidu izrazi (17) i (19), onda se preko koeficijenta vari-

jacije  $\nu$  može odrediti parametar  $\beta$  ekstrapolacijom pomoću tabela za vrednosti gama-funkcije.

U tabeli 1 date su neke vrednosti ove funkcije.

Ako se za vrednost parametra oblika 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 1,9; 2,1; 2,3; 2,5; 2,7; 2,9 po izrazu (19) izračunaju odgovarajući koeficijenti varijacije, može se formirati niz parova: (1,1; 0,91022), (1,3; 0,77572), (1,5; 0,67897), (1,7; 0,60548), (1,9; 0,54745), (2,1; 0,50029), (2,3; 0,46108), (2,5; 0,42791), (2,7; 0,39942), (2,9; 0,37466).

Iz ovog niza metodom najmanjih kvadrata mogu se odrediti parametri  $m$  i  $\alpha$  stepene funkcije:

$$\beta = m\nu^\alpha \quad (23)$$

Ovom funkcijom može se približno, iz poznate vrednosti za koeficijent varijacije  $\nu$ , izračunati vrednost parametra oblika  $\beta$ . Prikazanom nizu od-

Tabela 1

X	$\Gamma(X)$	X	$\Gamma(X)$	X	$\Gamma(X)$
1,00	1,00000	1,10	0,95135	1,55	0,88887
1,01	0,99433	1,15	0,93304	1,60	0,89352
1,02	0,98884	1,20	0,91817	1,65	0,90012
1,03	0,98355	1,25	0,90640	1,70	0,90864
1,04	0,97844	1,30	0,89747	1,75	0,91906
1,05	0,97350	1,35	0,89115	1,80	0,93138
1,06	0,96874	1,40	0,88726	1,85	0,94561
1,07	0,96415	1,45	0,88566	1,90	0,96177
1,08	0,95973	1,50	0,88623	1,95	0,97988
1,09	0,95546			2,00	1,00000

govaraju, za dijapazon  $\beta$  od 1,1 do 2,9  $m \approx 0,985$ ; i  $\alpha \approx -1,096$ .

Sa ovim vrednostima izraz (23) poprima oblik:

$$\beta = 0,985 v^{-1,096} \quad (24)$$

U dijapazonu  $\beta$  od 1,10 do 2,9 dobijaju se preko izraza vrednosti  $\beta$  sa greškom manjom od 0,73%.

jacije on zavisi od potrebne relativne tačnosti i statističkog poverenja. Za slučaj Vejbulove raspodele u tabeli 2 može se odabrati broj primeraka. Tabela 2 [3] važi za slučaj velikog osnovnog skupa, a za manji skup mogu se izvršiti korekcije pomoću dijagrama na slici 2.

Krive 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 5000, karakterišu opšti broj primeraka osnovnog skupa.

Tabela 2

Relativna tačnost	Koeficijent varijacije												
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
poverenje 0,80													
0,05	50	60	70	90	108	125	140	160	180	225	275	285	300
0,10	14	18	23	27	31	39	46	51	56	61	67	74	80
0,15	7	9	11	13	16	19	22	25	28	30	32	40	45
0,20	5	6	8	9	10	12	14	15	18	20	22	25	27
poverenje 0,90													
0,05	100	152	180	220	265	300	360	420	460	510	550	570	600
0,10	30	37	46	57	70	80	92	100	125	150	167	185	200
0,15	15	19	24	28	34	39	45	51	59	67	73	81	90
0,20	10	12	15	19	20	25	29	32	37	40	45	50	55
poverenje 0,90													
0,05	172	218	270	340	430	500	560	640	720	820	900	940	1000
0,10	47	59	74	93	115	135	155	178	208	227	242	270	300
0,15	24	30	37	45	53	61	72	82	98	112	120	139	150
0,20	15	19	23	29	33	39	45	50	57	65	72	79	90

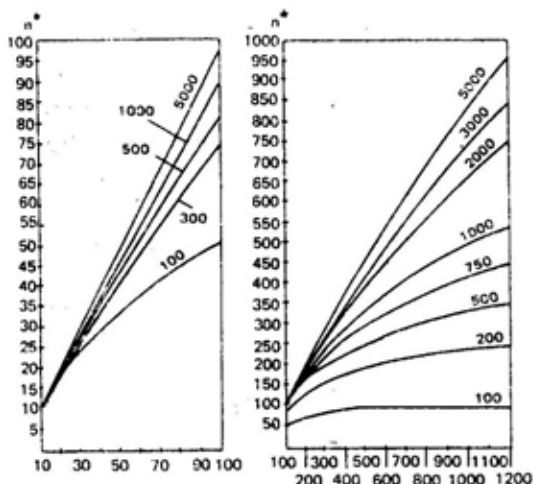
Za prognoziranje po ovoj metodi na početku se treba odlučiti za broj ispitnih primeraka. Za datu raspodelu i procenjenju vrednost koeficijenta vari-

Pri prognoziranju po opisanoj metodi redosled postupaka je sledeći:

1. Odabere se parametar stanja koji odgovara bitnoj funkciji proizvo-

da i odredi se granično odstupanje (ili degradacija)  $y_g$ .

2. Zavisno od namene analize odabere se željena tačnost i poverenje.



Sl. 2 — Dijagram za korekciju broja ispitivanih primeraka (rezultata eksperimenata) u zavisnosti od broja elemenata osnovnog skupa.

Tačnost se bira u opsegu od 0,05 do 0,25, a poverenje od 0,95 do 0,80 [2, 3]. Za grube i prethodne analize biraju se niže vrednosti za poverenje i manje tačnosti.

3. Iz tabele 2 i sa slike 2 odabere se broj ispitnih primeraka za datu tačnost i poverenje. Pri tome se mora proceniti koeficijent varijacije posmatranog parametra stanja. U tabeli 2 predviđene su vrednosti koeficijentata varijacije od 0,4 do 1,00 što odgovara Vejbulovom zakonu raspodele.

Srednja vrednost i standardna devijacija ispitivanog parametra stanja obično se određuju na osnovu informacija o radu elemenata istih ili sličnih sistema. Ako informacije nema, treba ili izmeniti broj ispitnih primeraka ili, ako je to moguće, prihvatiti drugu tačnost i poverenje.

Kada su u pitanju elektrotehnički proizvodi može se, radi lakše procene, koristiti MILHDBK-217 E koji za razne proizvode sadrži podatke o intenzitetima otkaza. Iz tih podataka može se proceniti  $t_{sr}$ , što znatno olakšava prilaz.

4. Odredi se koeficijent varijacije iz izraza (19), a pomoću tabela za gamma-funkciju, ili preko izraza (24) odredi se parametar  $\beta$ , a zatim i parametar  $\gamma$  preko izraza (22).

*Primer:*

Dat je statistički niz vrednosti parametra  $y(t)$  — habanje kolektora za  $n=25$  primeraka univerzalnih električnih motora iste serije. Granična (dopuštena) vrednost trošenja je 2 mm. Niz je dat u rastućem poretku vremena (tabela 3).

Treba odrediti karakteristike dinamike ovog parametra, eksponent stepene funkcije, srednju brzinu promene parametra, srednje vreme rada do otkaza, kao i parametre Vejbulove raspodele vremena rada do otkaza.

Parametar stanja  $y(t)$  za svaki motor izmeren je samo jedanput.

Rešenje: ukupan vremenski period podeli se na 6 intervala. Za svaki interval izračuna se srednja vrednost parametra i srednje vreme rada (tabela 4.).

Po tačkama  $(y_j, t_j)$  ( $j=1$  do 6) provodi se eksperimentalna kriva promene parametara. Izračunaju se koeficijenti stepene funkcije  $a$  i  $b$ :

$$b = \frac{\sum_{j=1}^6 (\ln t_j - X) (\ln y_j - Z)}{\sum_{j=1}^6 (\ln t_j - X)^2} = 1,27$$

Tabela 3

Redni broj	Vreme $t_i$ (h)	Parametar $Y_i$ (mm)
1.	5,0	0,01
2.	23	0,04
3.	38	0,03
4.	38	0,07
5.	56	0,06
6.	90	0,06
7.	130	0,34
8.	135	0,23
9.	145	0,27
10.	145	0,39
11.	147	0,39
12.	200	0,29
13.	245	0,32
14.	245	0,53
15.	262	0,51
16.	269	0,10
17.	377	1,23
18.	525	1,76
19.	607	2,18
20.	648	0,62
21.	810	3,09
22.	931	3,65
23.	974	3,85
24.	1005	1,36
25.	1058	4,25

$$a = \exp(Z - bx) = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ mm/h}$$

$$X = \frac{1}{6} \sum_1^6 \ln t_j = 5,42$$

$$Z = \frac{1}{6} \sum_1^6 \ln y_j = -0,73$$

Sa ovako određenim parametrima  $a$  i  $b$  izvrše se sva ostala izračunavanja, koja su prikazana u tabeli 5.

U tabeli 6 data su izračunata prognozirana vremena rada do otkaza po izrazu (14). Na osnovu ovih parametara izračunava se:

$$T_{sr} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} t_i \left[ \frac{y_g}{y_i(t_i)} \right]^{\frac{1}{b}} = 838,61 \text{ h}$$

i koeficijent varijacije:

$$v = \sqrt{\frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \left( \frac{t_{gi}}{T_{sr}} - 1 \right)^2} = 0,626$$

Preko izraza (20) izračunava se vrednost parametra oblika Weibulove raspodele:

$$\beta = 0,985 \cdot 0,626^{-1,006} = 1,646$$

a pomoću izraza (22) parametar razmere:

$$\gamma = \left[ \frac{\Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)}{T_{sr}} \right]^{\beta} = \left[ \frac{0,89443}{838,61} \right]^{\frac{1}{1,645}} = 1,29 \cdot 10^{-5} \quad (24)$$

Tabela 4

	Vremenski intervali					
	1	2	3	4	5	6
Opseg (h)	0 — 60	60 — 145,5	145,5 — 245,5	245,5 — 400	400 — 900	900 — 1100
$t_j$ (h)	32	125	184,25	288,25	647,5	992
$y_j$ (mm)	0,042	0,225	0,3475	0,5925	1,9125	3,2775

Tabela 5

Broj intervala	Vreme (h)	$Int_j$	Habanje (mm)	$lny_j$	$Int_{j-1}$	$lny_{j-1}$	$(Int_{j-1}) / (lny_{j-1})$	$(Int_j - X)^2$
1.	32	3,4657	0,0420	-3,1701	-1,9588	-2,4357	4,7710	3,8369
2.	125	4,8283	0,2250	-1,4917	-0,5962	-0,7573	0,4515	0,3555
3.	184,25	5,2163	0,3475	-1,0570	-0,2082	-0,3226	0,0672	0,0433
4.	228,25	5,6638	0,5925	-0,5234	0,2393	0,2110	0,0505	0,0573
5.	647,50	6,4731	1,9125	0,6484	1,0486	1,3828	1,4500	1,0996
6.	992	6,8997	3,2775	1,1871	1,4752	1,9215	2,8346	2,1762

Tabela 6

Red. br.	Vreme do otkaza $t_{ot}$ (h)	Red. br.	Vreme do otkaza $t_{ot}$ (h)	Red. br.	Vreme do otkaza $t_{ot}$ (h)	Red. br.	Vreme do otkaza $t_{ot}$ (h)
1.	322,44	8.	567,22	15.	700,25	22.	1361,06
2.	498,61	9.	575,32	16.	739,57	23.	1418,42
3.	523,72	10.	580,09	17.	767,33	24.	1627,64
4.	524,41	11.	580,52	18.	882,57	25.	2837,00
5.	530,52	12.	581,95	19.	913,09		
6.	531,64	13.	584,86	20.	1032,93		
7.	552,54	14.	696,17	21.	1035,21		

## Zaključak

U oblasti proizvodnje i tehničkog opsluživanja proizvoda primenjuju se radikalne mere za optimizaciju procesa i postizanje maksimalne efikasnosti. Posebno važno mesto među ovim merama zauzima optimalno upravljanje pouzdanošću proizvoda. Radi toga se pristupa prognoziranju tehničkog stanja proizvoda. Sa tačke gledišta prognoziranja najveći značaj ima modeliranje funkcije koja karakteriše izmenu parametra stanja  $f(t)$ . Kao kriterijum za izbor funkcije (linearne, stepene, eksponencijalne i dr.) služi bliskost vrednosti aproksimirajuće funkcije sa stvarno realizovanim vrednostima parametra stanja.

## Literatura:

- [1] Tomović, S.: Metode skraćenih ispitivanja pouzdanosti teh. sistema, NTP, xxx, 1980. br. 6.
- [2] Petrić, J., Jevtić, M., Stojanović, V.: Analiza pouzdanosti, Beograd, Savremena administracija, 1979.

U velikom broju praktičnih primera, kao aproksimirajuća funkcija, može se koristiti stepena funkcija  $y=at^b$  koja omogućava dosta elastično aproksimiranje jer ima dva parametra. Primena ovog matematičkog modela, uz pretpostavku da važi dvoparametarski Vejbulov zakon raspodele vremena rada do otkaza, omogućava efikasnu matematičko-analitičku osnovu za prognoziranje tehničkog stanja proizvoda.

Metodologija je ilustrovana na praktičnom primeru, a može se analogno primeniti i za druge modele aproksimirajuće funkcije.

- [3] Mihlin, V. M.: Prognoziranje tehničkog sastojanja mašina, Moskva, Kolos, 1976.



Dr Vitomir Miladinović,  
profesor, dipl. inž.

## ORGANIZACIJA RUČNOG PRETOVARA U VOJNOM TRANSPORTU

UDC: 656.073.2:623

### Rezime:

Ručni pretovar pri prevoženju značajan je za sve grane transporta, posebno pri prekidu lanca snabdevanja u ratnim uslovima. Kao specifična delatnost ima svoje zakonitosti u tehnološkom procesu i metode za planiranje optimalne upotrebe transportnih sredstava i radne snage. Važan faktor predstavlja izbor i upotreba priručnih sredstava i uređaja, čime se obezbeđuje veća produktivnost i humanizacija rada. Poznavanje osnovnih principa tehnologije i organizacije rada važno je za upravne organe pri planiranju pretovara, a za komandire izvršnih jedinica za neposrednu realizaciju.

**Ključne reči:** ručni pretovar, organizacija, vojni transport, radna snaga, broj vozila.

## MANUAL RELOAD ORGANIZATION IN MILITARY TRANSPORTATION

### Summary:

Manual reload in transportation is important for all types of transport, especially when the supply chain is broken in war conditions. As a specific field of activity, it has its own technological process laws as well as methods for planing the optimal use of transportation means and man power. An important factor is a choice and use of improvised tools and devices, which attributes to increased productivity and human engineering. The knowledge of basic principles of work technology and organization is important for administration officers in the reload planing phase as well as for executive officers in the realization phase.

**Key words:** manual reload, organization, military transportation, man power, number of vehicles.

### Uvod

U uslovima distribucije, koja se sreće pri manipulaciji teretima u armijama, kada neminovno dolazi do transformacije iz jedinica rukovanja u jedinice tereta ili obrnuto, manuelni rad je praktično nemoguće izbeći, što je naročito karakteristično za poslednju fazu manipulacije pre neposredne upotrebe (potrošnje). Sa druge strane, izvesna materijalna sredstva će se relativno dugo transportovati u komadima koji, u suštini, predstavljaju jedi-

nice proizvoda — odnosno jedinice rukovanja. U tim uslovima takođe je nemoguće potpuno istisnuti manuelni rad. Međutim, iako je pretovar masovna pojava, relativno malo se teoretski izučava, a i regulativa za tu oblast je skromna.

U savremenom ratu ručni pretovar biće najčešći pratilac svih pokreta jedinica kao i pri doturu i evakuaciji. Njegova primena zavisice od količine, vrste i karakteristika tereta, od postojanja i mogućnosti uvođenja mehani-

zacije. Pogodan je pri improvizovanim pretovarnim stanicama, malih količina tereta čije dimenzije i težina ne zahtevaju upotrebu pretovarnih mašina. Osnovna karakteristika i prednost ručnog pretovara je njegova prilagodljivost raznim uslovima pa i uslovima savremenih borbenih dejstava.

Mesta gde se ovakav pretovar najčešće može očekivati u miru i ratu su [1]:

- baze snabdevačkih službi,
- luke i pristaništa, železničke stanice.
- javna skladišta, distributivni robno-transportni centri,
- aerodromi.

Kako se može očekivati da će jedan broj ovih objekata biti delimično ili potpuno oštećen u uslovima rata, dobar deo pretovara moraće da se obavlja na improvizovanim pretovarnim stanicama, sa mehanizacijom pogodnom za rad u ovakvim uslovima ili ručno.

Znatna količina tereta, koja će biti transportovana iz pozadine ka jedinicama i obrnuto u vidu evakuacije i pomoći iz inostranstva (naročito u lukama i pristaništima), a koja će zbog otežane maskiranosti često biti izložena dejstvu protivnika, zahtevaće odlično opremljen, prilagođen za ovakve uslove rada i dobro organizovan mehanizovan, ali i odgovarajući dopunski ručni pretovar. Deo ovih pretovara obaviće profesionalna radna snaga kao svoj redovni posao, ali deo će morati da obave pozadinski i saobraćajni organi Vojske Jugoslavije (VJ). Dobra organizacija ručnog pretovara u miru obezbeđuje kraće zadržavanje transportnih sredstava na ovim poslovima, angažovanje optimalnog broja radne snage i ekonomske uštede.

Za povećanje proizvodnosti rada ručne operacije utovara, istovara i pretovara tereta, koriste se razna jednostavna pomoćna sredstva. Korišćenjem

ovih sredstava, zavisno od uslova, poboljšava se organizacija i ekonomičnost ručnog pretovara. Primena pomoćnih sredstava za ručne operacije pretovara moguća je u svim vidovima transporta.

Organizacija rada u ručnom pretovaru vojnih tereta veoma je značajna, zbog obezbeđenja maksimalnog učinka radnika, uz olakšanja korišćenja odgovarajućih priručnih sredstava i uređaja. Upravni organi saobraćajne i ostalih snabdevačkih službi moraju poznavati osnovne elemente za planiranje, a izvršni organi organizaciju rada i postupke pri obavljanju ručnog pretovara [2].

### **Osnovni principi tehnološkog procesa ručnog pretovara**

Tehnološki proces, odnosno organizacija rada u ručnom pretovaru, moguća je u više varijanti, zavisno od konkretnih uslova svakog pretovara. Glavna prednost ručnog nad mehanizovanim pretovarom, je u tome što se organizacija rada može prilagoditi vrstama transportnih sredstava, mogućnosti njihovog rasporeda, teretima, meteorološkim prilikama i uslovima koje nameće karakter savremenih borbenih dejstava. Osnovni principi tehnološkog procesa ručnog pretovara su [3]:

— pri određivanju pravca kretanja tereta i ljudi treba birati najkraće puteve;

— u povratnom hodu vojnici ili radnici u pretovaru ne smeju da presecaju put kretanja tereta;

— za teže ili određene vrste osetljivih tereta (municija, eksploziv, itd.) rad se odvija po grupama ili fazama, pri čemu jedna grupa vrši istovar tereta, druga ga prenosi, a treća utovara;

— za terete teže od 40 kg određuju se dva vojnika po koletu;

— s obzirom na to da će pretovar najčešće biti vezan za izvršenje borbe

nog zadatka, treba nastojati da se obavi za najkraće moguće vreme;

— maksimalno koristiti zahvatna priručna sredstva i uređaje;

— pri radu noću najbolje je organizovati lančani pretovar, ako se raspoložuje sa dovoljno radne snage, kretanja svesti na najmanju meru a pravce kretanja, ako su duži, obeležiti;

— odstojanja između transportnih sredstava svesti na najmanju meru;

— obavezno preduzeti odgovarajuće mere bezbednosti, da ne bi došlo do povrede ljudi i oštećenja tereta;

— u svakoj grupi odrediti vojnika odgovornog za njen rad, koji će i sam učestvovati u radu.

Primena pojedinih principa zavisi od konkretnih uslova.

### Planiranje optimalnog broja vozila i broja vojnika

Pri planiranju pretovara ovo je prvi zadatak upravnih saobraćajnih organa. Potreban broj vozila (A) zavisi od ukupne količine tereta, koji treba da se pretovara (Q), broja obrta (Z) koji vozila mogu da načine za raspoloživo vreme i od količine tereta koja se može smestiti na jedno vozilo (Q<sub>v</sub>) [4]:

$$A = \frac{Q}{Q_v \cdot Z} \text{ (vozila).}$$

Količina tereta koja treba da se pretovari poznata je upravnom organu saobraćajne službe (SbSl). Zavisno od situacije, nekad će biti potrebno proračunavati količinu tereta koja se sa raspoloživim transportnim kapacitetima i za određeno vreme može pretovariti. Ručni pretovar u tom slučaju ispoljava uticaj preko trajanja vremena utovara-istovara (t<sub>u</sub>, t<sub>i</sub>), prema kojem se određuje broj obrta vozila (Z), koji

se može obaviti zavisno od srednje saobraćajne brzine (V<sub>s</sub>), dužine transporta (L<sub>t</sub>) i vremena (T<sub>s</sub>) za koje treba izvršiti zadatak:

$$Z = \frac{T_s \cdot V_s}{(t_u + t_i)V_s + 2L_t} \text{ (obrta).}$$

Radnu snagu obezbeđuje starešina jedinice za koju se obavlja transport. Najčešće će biti korišćeno ljudstvo jedinica i civilna radna snaga, koji se nalaze na samom mestu pretovara ili u blizini.

Jedna od mera saobraćajnog obezbeđenja, ili organa koji organizuju ručni pretovar, jeste određivanje potrebnog broja vojnika za izvršenje pretovara u određenom vremenu. Ovaj broj (Z<sub>v</sub>) zavisi od količine koja treba da se pretovari (Q), od toga koliko jedan vojnik može da pretovari za jedan sat rada (od njegove proizvodnosti W<sub>v</sub>) i od vremena za koje pretovar treba da se obavi (T<sub>p</sub>) [2].

$$Z_v = \frac{Q}{W_v \cdot T_p} \text{ (vojnika).}$$

Najvažniji elemenat od kojeg zavisi broj vojnika za pretovar jeste njihova proizvodnost. Ona zavisi od mnogih faktora, kao što su dužina prenošenja, vrsta i karakteristike tereta, vrsta i razmeštaj transportnih sredstava, razlike u nivou, dobu dana, odmornosti, obučenosti, dužine trajanja pretovara, i dr. Ako se pretovar obavlja uz korišćenje sredstava ručnog pretovara, onda je proizvodnost sredstava ujedno i proizvodnost pretovarnog radnika (vojnika).

Proizvodnost vojnika u ručnom pretovaru, za sada nije normirana, ali se može izračunati, preko broja prenošenja radnih ciklusa (n), koje vojnici načini za jedan sat i težine tereta koji prenosi u jednom ciklusu (q<sub>k</sub>):

$$W_v = n \cdot q_k \text{ (t/h).}$$

Broj ciklusa u jednom satu zavisi od toga koliko sekundi traje jedan radni ciklus ( $T_c$ ):

$$n = \frac{3600}{T_c} \text{ (ciklusa).}$$

Sa druge strane, tereti u ručnom pretovaru su male težine, a podaci se najčešće dobijaju u kilogramima, pa se moraju pretvoriti u tone, jer se proizvodnost meri u t/h.

$$W_z = \frac{3600}{T_c} \cdot \frac{q_k}{1000} = \frac{3,6 \cdot q_k}{T_c} \text{ (t/h)}$$

Do vremena trajanja ciklusa može se doći snimanjem u neposrednoj realizaciji pretovara, dok se pri planiranju izračunava. Vreme trajanja jednog ciklusa može biti veoma različito, zavisno od konkretnih uslova, ali načelno ga čine: vreme uzimanja tereta, vreme prenosa i povratka po novi teret, (koje zavisi od daljine prenosa i brzine kretanja) i vreme ostavljanja tereta:

$$T_c = t_{uz} + \frac{2l}{v} + t_{os} \text{ (s)}$$

gde je:

$t_{uz}(s)$  — vreme uzimanja tereta (u proseku 3 do 5 s),

$l(m)$  — put prenosa tereta,

$v(m/s)$  — srednja brzina kretanja (za daljine do 30 m iznosi 0,5 do 1 m/s),

$t_{os}(s)$  — vreme ostavljanja tereta (u proseku 3 do 5 s).

Zamenom vrednosti u osnovnoj jednačini dobija se potreban broj vojnika:

$$Z_v = \frac{Q \cdot T_c}{3,6 \cdot q_k \cdot T_p} = \frac{Q[(t_{uz} + t_{os})v + 2l]}{3,6 \cdot q_k \cdot v \cdot T_p} \text{ (vojnika)}$$

Ako se uzme da je prosečno vreme uzimanja i ostavljanja tereta 4 s i brzina kretanja 1 m/s, što je karakteristično za prosečne uslove rada, proračun se pojednostavljuje, pa je potreban broj vojnika:

$$Z_v = \frac{Q(4+l)}{1,8 \cdot q_k \cdot T_p} \text{ (vojnika)}$$

Za slučaj poznatog broja radne snage može se odrediti vreme trajanja pretovara:

$$T_p = \frac{Q(4+l)}{1,8 \cdot q_k \cdot Z_v} \text{ (h)}$$

Ako se kao količina tereta uzme nosivost vozila ( $q$ ), može se odrediti vreme utovara-istovara, zavisno od broja vojnika koji to obavljaju:

$$t_u = \frac{q(4+l)}{1,8 \cdot q_k \cdot Z_v} \text{ (h)}$$

Poznato je da proizvodnost kod pretovarnih radnika iznosi 0,6 do 1,2 t/h, što se odnosi na duži rad dok se u vojnom transportu predviđa da pretovari traju kraće, u nepovoljnim uslovima i sa neobučenom radnom snagom. Utvrđivanje proizvodnosti u raznim uslovima, normiranje trajanja pretovara, tabelarno ili nomogramsko prikazivanje potrebne radne snage, obezbedilo bi brzo i realno planiranje ručnog pretovara. Planiranje radne snage na osnovu iskustva bez proračuna, ili prema normama koje važe za utovar i istovar, najčešće dovodi do viška vojnika za pretovar, što izaziva gužvu i ometanje pretovara ili manjka, što produžava vreme pretovara.

### Korišćenje priručnih sredstava u pretovaru

U tehnološkom procesu ručnog pretovara veći deo priručnih sredstava koristi se po sistemu periodičnog dejstva (kolica dizalice), a manji deo po

sistemu neprekidnog dejstva (gravitacione naprave) [5, 6].

U organizaciji pretovara mogu se, kombinovanom primenom različitih sredstava, postići značajniji efekti, a posebno kod složenijeg tehnološkog procesa pretovarnih radova. Primena ovih naprava pogodna je uglavnom za pretovarne radove kod svih prevoznih sredstava, kao i u skladištima. Neke od ovih naprava, kao što je spiralna kliznica i valjkasti gravitacioni transporter, primenjuju se za transport paketa unutar zatvorenih prostorija i između spratova. Sa izuzetkom kliznice sva ostala jednostavna priručna sredstva i uređaji primenjuju se za pretovar manjih količina tereta, kao i neredovnih tokova tereta, gde veliki efekti i proizvodnost nemaju veći značaj za ekonomičnost pretovara, ali olakšavaju i humanizuju rad i skraćuju vreme manipulacija.

Tehnološki proces pretovara može biti jednostavniji ili složeniji s obzirom na vrste robe (komadna, rasuta, lakši ili teži komadi) i konkretne uslove, zavisno od vrste transportnih sredstava, opšteg i posebnog zadatka (skladištenje ili direktan pretovar), itd.

Pretovar komadnih tereta vrši se u zavisnosti od težine komada i uslova pretovara. Komadi do 500 kg, kojih u transportu ima znatno više, podižu se pomoću palica (pajsera) ako sanduk sa teretom leži celom svojom površinom na tlu. Za podizanje komada na visinu od 20 do 40 mm i stavljanje tereta na kolica dovoljna su tri radnika koji ovaj posao mogu izvršiti za 1 do 4 minuta, zavisno od gabarita tereta, njegove mase (250 do 500 kg) i obučenosti radnika. Premeštanje tereta kolicima može se izvršiti brzinom od 5 do 20 m/min. Teret se može istovariti, zavisno od vrste kolica i naprava za dizanje, za 1 do 2 minuta. Za transport tereta na veća odstojanja mogu se koristiti i palice sa valjcima. Za veće terete treba koristiti ručnu dizalicu ili čekrk.

Pri pretovaru predmeta teških od 500 do 3500 kg, ukoliko leže celom površinom na tlu, moraju se jednim svojim krajem podizati palicama. Pod teret se postavljaju rolne, šapa ručne dizalice ili uže, zavisno od toga na koji način će se dalje odvijati pretovarni proces, odnosno kakvi su uslovi i kakav je zadatak u pretovaru. Ukoliko teret leži na gredicama, tako da postoji slobodan prostor između tla i donje površine predmeta-tereta, onda se početni proces pretovara znatno pojednostavljuje, jer je moguća primena dizalice ili vitla. Proces se pojednostavljuje ako se u transportu primenjuju palete, a za transport koriste ručni viljuškari.

Proizvodnost ovih naprava zavisi od mnogih okolnosti koje se odnose na vrste tereta, pakovanje, sistem transporta, vrste transportnih sredstava, potrebe skladištenja, vrste skladišta, i sl.

Proizvodnost sredstava u ručnom pretovaru, koja rade po sistemu periodičnog dejstva, može se izraziti obrascem:

$$W_t = \frac{3,6 \cdot q_k}{T} \quad (\text{t/h})$$

gde je:

$W_t$  (t/h) — tehnička proizvodnost,

$q_k$  (kg) — masa tereta,

$T$  (s) — vreme trajanja jedne periode-ciklusa.

Vreme trajanja jednog ciklusa može biti vrlo različito, zavisno od tehnološkog procesa pretovara. U slučaju jednostavnijeg tehnološkog procesa, utovara, istovara i premeštanja tereta, vreme trajanja jednog ciklusa sastoji se od vremenskih intervala pri odeljenim operacijama.

$$T = t_{diz} + t_v + t_{sp} \quad (\text{s})$$

gde je:

$t_{diz}$  (s) — vreme potrebno za podizanje tereta i njegovo stavljanje na

odgovarajuće sredstvo ili uređaj za dalje pomeranje,

$t_v$  (s) — vreme potrebno za pomeranje-vožnju do mesta ostavljanja i povratka po novi teret,

$t_{sp}$  (s) — vreme potrebno za spuštanje tereta.

Trajanje pojedinih delova operacije zavisi od primenjene naprave, težine i oblika tereta.

Trajanje vožnje ( $t_v$ ) može se izraziti obrascem:

$$t_v = \frac{l_1}{v_{ter}} + \frac{l_2}{v_p} \quad (s)$$

gde je:

$l_1$  (m) — daljina transporta u odlasku,

$l_2$  (m) — daljina transporta u povratku,

$v_{ter}$  (m/s) — brzina kretanja pod opterećenjem,

$v_p$  (m/s) — brzina u povratku.

Ukoliko je tehnološki proces složeniji, kao što je pretovar posredstvom skladišta, umesto ranije navedena tri dela operacije biće šest, jer će se teret jedanput podizati sa vozila, prevoziti do skladišta i tu istovarati, a zatim ponovo podizati sa skladišta, prevoziti do drugog vozila i ponovo spuštati. Prema tome u ovakvom slučaju vreme trajanja jednog ciklusa ( $T_d$ ) biće:

$$T_d = t_{1diz} + t_{1v} + t_{1sp} + t_{2diz} + t_{2v} + t_{2sp} \quad (s)$$

Ovde postoje dva odvojena ciklusa, od kojih je jedan istovar na skladište, a drugi utovar sa skladišta, što znači da postoje dvojne operacije sa istim teretom ukoliko bi se proces odvijao neprekidno. Odnos vremena ciklusa dvojnih operacija i direktnog pretovara izražava se preko koeficijenta dvojnih operacija ( $\varphi$ ):

$$\varphi = \frac{T_d}{T} \geq 1$$

Vreme trajanja jednog ciklusa može se utvrditi samo analizom tehnološkog procesa u konkretnim uslovima, dok se, prema opštim uslovima, može pretpostaviti njegovo približno trajanje.

Pretovar komadne robe uz korišćenje naprava koje rade po sistemu neprekidnog dejstva, dolazi u obzir kada se radi o spuštanju ambalažiranih ili neambalažiranih komada tereta (sanduka, kutija, vreća, bala, drvne mase, železnih delova i sl.) sa višeg nivoa na niži ili kraćeg transporta po skladištu. U ovom slučaju proizvodnost može biti dvojaka.

Ako se količina tereta izražava u težini proizvodnost  $W_t$  se, zavisno od rastojanja između komadnih tereta a utvrđuje po obrascu:

$$W_t = 3,6 \frac{q_k}{a} \cdot v \quad (t/h)$$

Ako se transportovane količine izražavaju u broju komada, proizvodnost  $W_k$  se utvrđuje pomoću izraza:

$$W_k = \frac{3600 \cdot v}{a} \quad (kom./h)$$

Vrednosti brzina  $v$  zavise od vrste naprave koja se koristi.

Pretovar rasutih tereta može se, uglavnom, obavljati uz primenu kolica sa korpom, kada se tehnološki proces odvija po sistemu periodičnog dejstva, i primenom kliznih kanala, ukoliko to uslovi omogućuju s obzirom na to da ove naprave rade po sistemu neprekidnog dejstva.

Tehnološki proces pretovara počinje i u jednom i u drugom slučaju utovarom rasutog materijala u kolica ili u klizni kanal. Ovo utovarivanje može, u izvesnim prilikama, da bude automatsko usled dejstva sile teže, ako se ma-

terijal nalazi u bunkeru, odnosno silosu sa ćelijama ili džepovima.

Materijal se u uslovima rada sa ovakvim napravama, uglavnom utovara ručno lopatama, ali se vremenski moraju uskladiti sve pojedinačne operacije pretovarnog procesa.

Tehnička norma proizvodnosti kolica za rad sa rasutim teretom može se izraziti prema obrascu:

$$W_t = \frac{3,6}{T} \cdot q \cdot n \quad (\text{t/h})$$

gde je:

$q$  (kg) — količina materijala u količima,  $q = V \cdot \rho$ , gde je  $V$  ( $\text{dm}^3$ ) zapremina korpe kolica a  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) zapreminska težina materijala,

$n$  — broj kolica koja učestvuju u pretovaru,

$T$  — vreme ciklusa za kolica.

Proizvodnost kliznog kanala može se izračunati po obrascu koji važi za trakasti transporter, ako se materijal kontinuirano nasipa u kanal:

$$W_t = 3,6 q \cdot v \quad (\text{t/h})$$

gde je:

$q$  (kg/m) — masa materijala,

$v$  (m/s) — brzina kretanja materijala.

#### Literatura:

- [1] Lakić, V., Miladinović, V.: Mehanizacija utovara, istovara i pretovara motornih vozila, VTI KoV, Beograd 1973.
- [2] Materijali, Saobraćajna uprava SSNO, Beograd 1975-85.
- [3] Miladinović, V.: Organizacija i ekonomika pretovara, Saobraćajni školski centar, Titograd 1968.

Realni eksploatacioni dnevni kapacitet pomenutih naprava, kako za komadnu, tako i za rasutu robu u datoj organizaciji pretovara, proračunava se uzimajući u obzir odgovarajuće gubitke umanjivanjem preko koeficijenata zbog manjeg zahvata tereta i neproduktivnog vremena.

Pri korišćenju izloženih postupaka, za upravne organe to je samo osnova koja se dograđuje unošenjem faktora konkretnog pretovara, što se najčešće odnosi na moguće promene u radnim ciklusima i vrednostima pojedinih normi.

#### Zaključak

Ručni pretovar materijalno-tehničkih sredstava prateća je pojava vojnog transporta u miru i ratu.

Ova delatnost ima svoje zakonitosti u tehnološkom procesu i odnosu transportnih sredstava i radne snage. Znatno povećanje efekata i humanizacije rada postiže se upotrebom raznovrsnih priručnih sredstava i uređaja.

Poznavanje dosadašnjih iskustava u organizaciji ručnog pretovara omogućuje upravnim organima saobraćajne i snabdevačkih službi izradu optimalnih planova korišćenja transportnih sredstava i radne snage, a izvršnim organima neposrednu realizaciju zadatka, uz zaštitu ljudi od ozleda i tereta od oštećenja.

- [4] Miladinović, V.: Organizacija putnog transporta, Tehnički školski centar, Zagreb 1976.
- [5] Suvajdžić, S.: Mehanizacija pretovarno-transportnih radova, Građevinska knjiga, Beograd 1972.
- [6] Sergejevič, S. i dr.: Mehanizacija skladskih radot, Urožaj, Avtotransizdat, Kljev, 1975.

## **KONCEPCIJA RAZVOJA SAOBRAĆAJNOG SISTEMA JUGOSLAVIJE DO 2010. GODINE**

— prikaz sa stručnog skupa —

Savez inženjera i tehničara Jugoslavije (SITJ) i Savez inženjera i tehničara saobraćaja i veza Jugoslavije, u saradnji sa Saveznim ministarstvom za saobraćaj i veze, Saveznim ministarstvom za razvoj, nauku i životnu sredinu i Privrednom komorom Jugoslavije, organizovali su VI jugoslovensko savetovanje »KONCEPCIJA RAZVOJA SAOBRAĆAJNOG SISTEMA JUGOSLAVIJE DO 2010. GODINE«, koje je održano 19. i 20. septembra 1996. godine u Subotici. Suorganizatori savetovanja bili su: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Ministarstvo za saobraćaj i veze Republike Srbije, Zajednica jugoslovenskih železnica, Jugoslovenski aerotransport, NIS — Naftna industrija Srbije, Srbijatranspot, Luka Beograd, Saobraćajni institut CIP i Skupština opštine Subotica.

Osnovni cilj ovog naučno-stručnog skupa bio je da se dobiju poruke od naučne i stručne javnosti kompetentne za oblast saobraćaja, koje bi pomogle u donošenju optimalnih odluka o budućem razvoju saobraćajnog sistema Jugoslavije, njegovom efikasnom uključivanju u evropski i svetski saobraćajni sistem, a time i uključivanje jugoslovenske privrede u savremene svetske tokove.

Na savetovanju su obrađena sledeća tematska područja:

Politika razvoja saobraćaja; infrastruktura u saobraćaju; tehnologija u saobraćaju; informacioni sistemi u sa-

obraćaju; transportna sredstva; bezbednost u saobraćaju; ekologija u saobraćaju; naučnoistraživački rad i kadrovi u saobraćaju; organizacija i menadžment u saobraćaju.

U uvodnom referatu, predsednik programskog odbora, redovni profesor Saobraćajnog fakulteta u Beogradu dr Vujadin Vešović, istakao je da se, imajući u vidu veliku ulogu i značaj saobraćajnog sistema za društveno-ekonomski razvoj SR Jugoslavije i njeno efikasno uključivanje u Evropu i svet, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, u saradnji sa Saveznim ministarstvom za saobraćaj i veze, PKJ — Udruženjem za saobraćaj i veze, Saobraćajnim fakultetom u Beogradu i drugim naučnim organizacijama i velikim sistemima u saobraćaju, kontinuirano bavi problemima saobraćaja radi iznalaženja optimalnih rešenja za unapređenje saobraćajnog sistema. U tom smislu u poslednje vreme SITJ je organizovao naučno-stručne skupove:

— Optimizacija razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije (1990).

— Unapređenje tehnologije i kvaliteta u saobraćaju (1991).

— Menadžment u saobraćaju (1992).

— Jugoslavija u međunarodnom saobraćajnom okruženju (1994).

— Stanje i perspektive saobraćajnog koridora 5B (Budimpešta — Bukurešt — Beograd — Bar — Bari), (1995).



Osnovni razlozi za organizovanje stručnog skupa na temu »Konceptija razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije do 2010. godine« su:

1) Evropska unija je tretirala saobraćaj kao integratora Unije. On je dobio istu ulogu u povezivanju Centralne i Istočne Evrope sa ovom Unijom. Takođe, saobraćaj u Jugoslaviji je osnovna pretpostavka povezivanja Jugoslavije sa Evropskom unijom i čitavim svetom.

2) Kako u razvijenim zemljama, tako i u zemljama u razvoju, što se sada posebno odnosi na zemlje istočne Evrope, saobraćaj je bio i ostao nosilac promena i razvoja. U Jugoslaviji je svrstan u najuže prioritete budućeg razvoja zemlje.

3) Saobraćaj ne poznaje nacionalne granice i ne završava se na njima, odnosno ne može se planirati i razvijati u zatvorenim sistemima, već uvek u odnosu na okruženje. To znači da je saobraćajni sistem Jugoslavije, kao podsistem saobraćajnog sistema Evrope i sveta, potrebno razvijati u skladu sa tendencijama razvoja ovih sistema.

4) Po svom prirodno-geografskom i saobraćajnom položaju Jugoslavija ima izvanredne uslove za razvoj saobraćajnog sistema. Pored toga, kao pomoravska i podunavska zemlja, ona se nalazi na raskršću tranzitnih magistralnih pravaca koji povezuju Zapadnu, Severnu i Srednju Evropu sa Bliskim i Dalekim istokom, kao i Srednju i Istočnu Evropu sa ostalim svetom. Takav položaj pruža Jugoslaviji velike pogodnosti zbog kratkih rastojanja, a konfiguracija terena obezbeđuje i najekonomičniju izgradnju saobraćajne infrastrukture po jedinicama (kilometar puta ili pruge), što obezbeđuje komparativne prednosti u odnosu na susjedne balkanske zemlje.

Evropska unija definisala je svoju saobraćajnu politiku, kojom je predvidela liberalizaciju tržišta i usklađivanje ekonomskih uslova za sve saobraćajne grane. Tako su i definisane politike pojedinih saobraćajnih grana.

Evropska unija opredelila se za formiranje transevropske mreže pruga za velike brzine i za stvaranje integracionog sistema auto-puteva. Puštanjem u saobraćaj plovnog puta Rajna — Majna — Dunav rečni saobraćaj dobio je na značaju. Na taj način stvaraju se uslovi, a i predviđa se razvoj multimodalnog sistema Evrope u kojem će biti integrisani železnički, drumski i vodeni saobraćaj.

Osnovni pravci razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije podrazumevaju i strukturne promene u tom sistemu i njegovo prilagođavanje strukturnim promenama privrede Jugoslavije, Evrope i sveta.

U skladu sa tim potrebno je:

— modernizovati i izgraditi magistralne pruge koje su ušle u sastav evropske mreže pruga za velike brzine (Subotica — Beograd — Niš — Dimitrovgrad; Beograd — Šid; Niš — Preševo; Beograd — Pančevo — rumunska granica);

— rekonstruisati i izgraditi velike železničke čvorove (zajednička pogranična stanica JŽ — MAV u Subotici, beogradski železnički čvor i dr.),

— izgraditi novu prugu Valjevo — Loznica;

— elektrificirati sve značajnije železničke pruge i osavremeniti njene uređaje i postrojenja;

— modernizovati i izgraditi puteve (mađarsko-jugoslovenska granica — Subotica — Novi Sad — Beograd; Beograd — Niš sa kracima Skoplje — Atina i Sofija — Istanbul; Beograd — Požega — Podgorica — Južni Jadran; hrvatsko-jugoslovenska granica — Beograd — Vršac — jugoslovensko-rumunska granica; Preljina — Kraljevo — Kruševac — Pojate; Ribarevine — Berane — Rožaje — Priština;

— modernizovati plovne puteve na Dunavu, Savi i drugim plovnim rekama, izgraditi nove kanale, modernizovati rečne luke i pristaništa na međunarodnim plovnim putevima, sa ciljem prihvatanja porasta prometa sa

plovnog puta Rajna — Majna — Dunav;

— nastaviti sa daljom izgradnjom i modernizacijom luke Bar i ostalih jugoslovenskih luka;

— Aerodrom Beograd modernizovati i dograditi kao svetsku vazдушnu luku.

Na osnovu podnetih referata, diskusija i predloga, a imajući u vidu da je u toku priprema politike razvoja SRJ sa procenom makroekonomskih kretanja do 2005. godine, utvrđeni su sledeći zaključci:

1. Radi obezbeđenja optimalnog razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije i valorizovanja prirodno-geografskih, saobraćajnih i drugih komparativnih prednosti, neophodno je definisati strategiju razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije i saobraćajnu politiku, uvažavajući specifičnosti pojedinih grana, saglasno potrebama društveno-ekonomskog razvoja Jugoslavije, a u skladu sa saobraćajnom politikom u EU i trendovima razvoja saobraćajnog sistema u Evropi i svetu. Strategijom treba da se definiše dugoročni razvoj saobraćajnog sistema Jugoslavije (saobraćajne i telekomunikacione infrastrukture, savremene tehnologije i informacionih sistema, transportnih sredstava, naučnoistraživačkog rada, obrazovanja kadrova u saobraćaju, i dr.) sa utvrđenim prioritetima. Ova strategija istovremeno bi bila i strategija svih ostalih koji učestvuju u njenoj realizaciji (korisnika, proizvođača transportnih sredstava i saobraćajne opreme i dr.).

Imajući u vidu značaj ove strategije za dalji razvoj saobraćajnog sistema i društveno-ekonomskog razvoja Jugoslavije, prioritetan zadatak i obaveza Savezne vlade, odnosno Saveznog ministarstva za saobraćaj i veze, jeste da organizuje izradu ove strategije koja bi trebalo da se donese do polovine 1997. godine i da se pristupi njenoj realizaciji.

Na izradi strategije saobraćajnog sistema Jugoslavije treba uključiti naj-

kompetentnije naučnike, stručnjake i institucije iz ove oblasti.

2. Država treba da obezbedi odgovarajuće uslove za efikasno funkcionisanje saobraćajnog sistema Jugoslavije i njegovo uključivanje u evropski i svetski saobraćajni sistem. Pored saobraćajne politike i strategije razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije, neophodno je definisanje odgovarajuće ekonomske regulative i donošenje zakona u svim oblastima saobraćaja, zasnovanih na savremenim rešenjima tržišne privrede koja se primenjuju u okviru EU. Time bi se stvorili uslovi za savremeno organizovanje ovih sistema, a posebno velikih sistema (železnica, PTT), kao jedinstvenih tehničko-tehnoloških celina na nivou Jugoslavije, usklađivanje propisa i standarda, međunarodnih ugovora i sporazuma i njihovo prilagođavanje zakonodavstvima razvijenih zemalja, u prvom redu EU.

3. Potrebno je, odmah, preduzeti sve odgovarajuće mere i aktivnosti radi dovođenja saobraćajnog sistema u uslove normalnog funkcionisanja. Tu se, pre svega, misli na: optimalno korišćenje svih raspoloživih resursa (kadrovskih, materijalnih, finansijskih, informacionih i dr.); dalji rad na razvoju i primeni savremenih tehnologija, organizacije i menadžmenta; revitalizaciju i modernizaciju postojećih kapaciteta (infrastrukture, transportnih sredstava i dr.); preispitivanje postojećih razvojnih planova i izradu neophodnih elaborata, studija i projekata; pripremu kadrova za primenu savremenih tehnologija i tržišni koncept privredivanja i dr.

4. Potrebno je preduzeti odgovarajuće aktivnosti za realizaciju strukturnih reformi u saobraćaju (vlasnička, organizaciona i upravljačka).

5. Radi daljeg unapređenja saobraćajnog sistema Jugoslavije potrebno je održati kongres o saobraćaju i vezama na kojem bi se detaljno razmotrila kompletna problematika ove izuzetno značajne oblasti.



## prikazi iz inostranih časopisa

### VIŠECEVNI RAKETNI BACAČ GRAD\*

Prvobitni sistem višecevnog raketnog bacača GRAD sastojao se od parčadno-razornog nevođenog raketnog projektila M-21OF (indeks 9M22U), borbenog vozila BM-21 i kompleta stelaža 9F37.

Originalna konstrukciona rešenja omogućila su masovnu proizvodnju sa visokim kriterijumom cena-efikasnost. Neke evropske zemlje otkupile su licencu za sopstvenu proizvodnju, tako da više od 50 zemalja u svom naoružanju imaju VRB GRAD ili njegove modifikacije.

Proizvođači su stalno radili na daljem razvoju sistema kalibra 122 mm, na proširenju spektra korišćene municije, kao i na metodama za proširenje borbene primene VRB GRAD.

Do danas su razvijeni:

— raketni projektili za polaganje minskih prepreka daljinskim putem, koji mogu jednim plotunom od 20 projektila minirati 1 km fronta na daljini od 13,4 km;

— raketni projektili za polaganje protivoklopnih minskih polja, koji dejstvuju na donju površinu oklopnog

vozila eksplozivnim punjenjem usmerenog dejstva velike moći probijanja. Za miniranje 1 km fronta potrebno je 90 projektila;

— raketni dimni projektili čiji plotun od 10 jedinica stvara dimnu zavesu širine do 1000 m, dubine 800 m i na daljini do 20,2 km;

— komplet raketnih projektila za ometanje u opsegu 1,5 do 120 MHz sa daljinom dejstva do 18,3 km;

— raketni osvetljavajući projektili koji na zemljištu mogu da osvetle prostor prečnika 1000 m sa visine 450 do 500 m, osvetljenjem od 2 lx u trajanju od 90 s.

Najvažniji element daljeg razvoja VRB GRAD bila je njegova municija. Balistitno čvrsto gorivo po svojim energetskim karakteristikama ostaje za mešanim gorivom koje poboljšava tehničke karakteristike sa aspekta povećanja maksimalnog dometa i snage bojne glave. Zbog zamene vrste goriva bila je potrebna potpuna rekonstrukcija, kako pogonskog dela, tako i projektila u celini. Zbog toga se razvijaju novi projektili za VRB GRAD.

Prvi od njih — projektil maksimalnog dometa do 35 km sa jačom bojnom glavom, pored pogonske gorivne smeše, ima i razornu bojnu glavu sa blokom gotovih parčadi i eksplozivom veće snage. Utvrđeno je da je

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

efikasnost uništenja cilja ovim projektilom povećana oko 2 puta.

Drugi projektil, koji se nalazi u fazi razvoja, ima odvajajuću bojnu glavu parčadno-razornog dejstva, a maksimalni mu je domet do 33 km. Može se opremiti upaljačima dva tipa: elektronskim ili daljinskim mehaničkim i kontaktnim. U prvom slučaju do odvajanja bojne glave dolazi po komandi elektronskog upaljača a koja se uvođi pre lansiranja, bilo ručno, bilo daljinskim putem iz kabine borbenog vozila. Pri uvođenju komandi daljinskim putem potrebna je mala dorada borbenog vozila — na lansirnim cevima potrebno je postaviti uređaj za beskontaktno uvođenje komande, a u kabini vozila uređaj za daljinsko uvođenje, i to spojiti kablovskom mrežom.

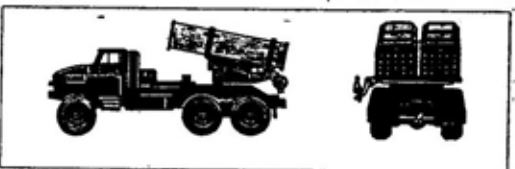
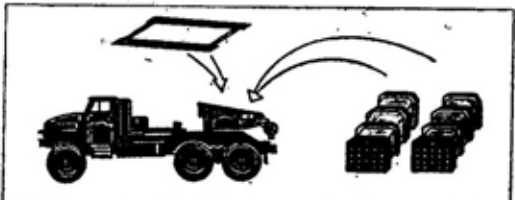
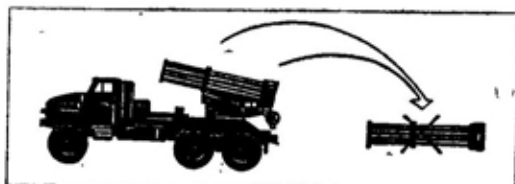
U drugom slučaju uvođenje vremena odvajanja bojne glave u distancioni upaljač obavlja se pomoću ručnog tempirača. Posle dejstvovanja bilo kojeg tipa daljinskog upaljača dalji algoritam rada projektila odvija se po sledećim fazama: dolazi do odvajanja bojne glave, otvaranja padobrana, usporavanja pada, stabilizacije i prilaska bojne glave cilju pod pravim uglom. Kada bojna glava udari u cilj dolazi do dejstva udarnog (kontaktnog) upaljača i eksplozije.

Ukoliko je cilj gađanja ostvarivanje razornog dejstva, u tempirni upaljač se ne uvođi komanda i bojna glava se ne odvajaju od projektila. Dejstvo parčadno-razorne bojne glave koje se odvajaju od projektila, pri gađanju tipiziranih ciljeva, prosečno je 6 puta veće nego kod projektila 9M22U, zahvaljujući praktično vertikalnom padu na zemlju.

Treći novi projektil, koji može da bude razvijen za VRB GRAD, jeste projektil sa samonavođenim ubojnim elementima za uništenje oklopnih vozila i sa maksimalnim dometom od 33 km. Za njega je potrebno konstruisati novu bojnu glavu u kojoj će biti smeštena dva ubojna samonavođena elemen-

ta, elektronsko-vremenski blok i motor na čvrstu gorivnu smešu. Moguć je i razvoj projektila sa dometom 32 do 35 km i sa drugim vrstama bojnih glava, na primer, sa kasetnom sa protivoklopnim i protivpešadijskim minama za miniranje zemljišta, ili sa predajnicima za elektronsko ometanje.

Pored modernizacije projektila za VRB GRAD radi se i na usavršavanju



Modernizovano borbeno vozilo BM-21

Osnovne karakteristike modernizovanog borbenog vozila

Tip šasije	URAL-375, URAL 4320
Broj transportno-lansirnih kontejnera (kom.)	2
Broj vodećih cevi u jednom kontejneru (kom.)	20 (4 x 5)
Masa jednog transportno-lansirnog kontejnera (kg):	
— bez raketnih projektila	370
— sa raketnim projektilima	1770
Vreme punjenja borbenog vozila (min)	5

borbenog vozila BM-21. Tu spada poboljšanje eksploatacionih kvaliteta vozila, kao i zamena sklopa metalnih lansirnih cevi sa dva monobloka jedno-

Transportno-lansirni kontejner obezbeđuje transportovanje i lansiranje raketnih projektila kao i njihovo čuvanje na borbenom vozilu i u skladiš-

Osnovne karakteristike raketnih projektila

	Domet (km)	Dužina projektila (mm)	Masa projektila (kg)	Masa bojne glave (kg)
Za protivoklopno miniranje	32	3037	65,5	25
Za protivpešadijsko miniranje	32	3037	65,5	25
Za elektronsko ometanje	34	2850	59	18,4

kratnih transportno-lansirnih kontejnera koji su izrađeni od kompozitnih polimernih materijala. Oni se postavljaju na borbeno vozilo na specijalnom dopunskom ramu.

tima. Ponovno punjenje vozila transportno-lansirnim kontejnerima obavlja se pomoću dizalica, a električno spajanje preko specijalnog rastavljača.

P. Marjanović

## MOGUĆNOSTI MINOBACAČA\*

Minobacači su na početku nove ere. Od prve primene, kada su dodeljeni pešadiji, i pojavili se tokom Prvog svetskog rata, pretrpeli su velike promene, a krajem XX veka potpuno su izmenili svoje performanse i taktičku ulogu.

Međutim, i posle 80 godina od svog nastanka, minobacač se puni odozgo kroz cev koja je postavljena na lakom postolju, uz dejstvo sa velikim silama trzanja, koje se apsorbuju preko osnovne ploče. Projektili se ispaljuju pod velikim, gornjim vrednostima uglova elevacije, tako da padaju gotovo vertikalno na cilj. Materijali koji se primenjuju u konstrukciji minobacača moraju da podnose nove uslove razvoja, kako bi se prilagodili zahtevima za sve većim dometom.

Većina metoda povećanja dometa minobacača u direktnoj je vezi sa po-

gonskim gorivom. To često može poboljšati zahtevane performanse, ali samo po cenu toplotnih ili drugih naprezanja cevi, koja mogu prouzrokovati eroziju, dok temperatura duž cevi znatno smanjuje brzinu gađanja, jedne od osnovnih karakteristika minobacača. Naprezanje može dovesti i do kraćeg životnog veka cevi ili ozbiljnih strukturnih oštećenja.

Sve češće se uvode jače i lakše legure gvožđa za proizvodnju cevi, mada one nalaze primenu i u izradi postolja i osnovne ploče. Takvi materijali omogućavaju da minobacač bude relativno lako oružje za podršku pešadije. Laki minobacači su kalibara od 50 do 60 mm i uvek su pokretni, posebno takozvani »comando« modeli. Savremene legure, koje su jače od ostalih materijala, omogućavaju konstruktorima da proizvedu dužu cev što podrazumeva i veći domet. Prema tome, nedostatak gađanja malim minobacačkim minama na ograničenim dometima donekle je nadoknađena njihovom sposobnošću da dosegnu udaljenije ciljeve.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA International 3/1996.

Postoje i drugi razlozi za povratk manjih kalibara. Mada limitirani kalibri od 50 do 60 mm kumulativnim minama smanjuju efikasnost, mali kalibri mina mogu se isporučivati kao svetleće rakete sa padobranom, za osvetljenje ciljeva dejstva. To određuje značajnu taktičku ulogu minobacača malih kalibara koji se održavaju u upotrebi na nivou čete — bataljona. Tokom 1995. godine firma Royal Ordnance sklopila je ugovor sa britanskom armijom o proizvodnji 400 000 komada mina za laki minobacač kalibra 51 mm L9A1. Od tog broja 100 000 komada su kumulativne, a 100 000 dimne mine. Ostatak su osvetljavajuće mine sa vremenom osvetljavanja od 45 s, na visini od 775 m, i masom od svega 850 g.

Za razliku od lakih minobacača minobacači kalibra 120 mm ne mogu se brzo prenositi. Mada se, često, razvijaju kao sistemi vatrene podrške pešadije, u mnogim armijama smatraju se artiljerijskom podrškom i organizuju se na taj način što se, posebno, odnosi na minobacač 120 mm THOMPSON BRANDT koji se od sadašnjih modela teških minobacača verovatno najčešće koristi.

U mnogim armijama minobacači 150 mm koriste se kao sredstvo opšte vatrene podrške za vazdušne ili brzo-dejstvjujuće snage. Mada je masa skriveni adut potrebne mobilnosti i logističke prednosti za svaku formaciju minobacača 120 mm, oni zahtevaju laka vozila za vuču i transport municije.

Armija SAD je zbog toga očekivala razradu metoda koje će minobacače 120 mm učiniti lakšim, mada je masa njihovog sistema M120/M121, koji je zasnovan na K6 izraelskom neizolučenom projektu SOLTAM, sa municijom firme Lockheed Martin i Olin Ordnance, znatno manja od mase modela 4,2" (107 mm). Lockheed Martin ima prototip lakog minobacača 120 mm, koji je izrađen od kompozitnih materijala, čiji se domet i brzina vatre nisu promenili, ali je masa cevi drastično

smanjena na 18,1 kg umesto 50 kg za konvencionalne cevi kalibra 120 mm.

U svojim daljim istraživanjima firma Lockheed Martin već je ispitala kompozitnu tehnologiju za municiju. Dalje inovacije usmerene su na minobacače 81 mm sa još većim poboljšanjima u pogledu smanjenja mase.

Uvođenje »pametne« tehnologije u minobacačke mine ne ogleda se samo u povećanju verovatnoće pogađanja, već i u podizanju nivoa minobacačke vatre u kategoriju protivoklopnog oružja, što omogućava pešadiji novi način napada na njenog moćnog protivnika — tenka.

Za sada se proizvodi samo švedski sistem STRIX koji je sličan modelu MERLIN, koji razvija British Aerospace Dynamics, dok se nemačko-američka precizno vođena municija za minobacače i ruski GRAN još uvek pripremaju za proizvodnju. Samo je MERLIN municija kalibra 81 mm, a ostale su kalibra 120 mm, što je uslovljeno složnošću njihovih sistema vođenja, koji i u današnjoj eri minijaturizacije zahtevaju određenu zapreminu za adekvatan i funkcionalan smeštaj elemenata za vođenje. Pored toga, municija MERLIN je, verovatno, tehnički najpogodnija za korišćenje radarskih talasa milimetarskog opsega u prednjem delu spektra za konačnu korekciju kursa. Korišćenje takvog sistema vođenja omogućava da ova vrsta municije bude ispaljena na tačno određeni način kao »nečujna« minobacačka mina.

Maksimalni domet mine, određen njenom dužinom od 900 mm i masom od 7 kg, limitiran je na oko 4200 m. Smatra se da je mina MERLIN 81 mm, sa jednostrukim punjenjem bojne glave isuviše malog kalibra da bi imala prednost u odnosu na mogućnosti napada odozgo, i da tehnika vođenja može bolje da se primeni u ekvivalentnom sistemu kalibra 120 mm. Trenutno se ova mina nalazi u finalnoj fazi ispitivanja.

Vođeni projektil 120 mm STRIX, koji proizvode Bofors i Saab Missiles za švedsku armiju, koristi infracrveno vođenje, zahteva programiranje pre lansiranja i dopunski raketni motor za dostizanje dometa preko 5000 m (max 7500 m).

Pojava precizno vođene minobacačke municije (Precision Guided Mortar Munition) kalibra 120 mm (PGMM) zasnovana je na nemačkom projektu koji datira iz sredine sedamdesetih godina. Projekat je razvila firma Diehl Bussard, ali je ubrzo bio napušten.

Kasnije su izvršene razne modifikacije radi proizvodnje poslednje konfiguracije PGMM, koja ima dva modela konačnog vođenja. Za borbene zadatke tipa »ispali i zaboravi« (fire — and — forget) za PGMM je razvijen infracrveni senzor za samonavođenje. Drugi model ima laserski označavač cilja, a vođenje je gotovo istovetno kao kod artiljerijskog projektila kalibra 155 mm COPPERHEAD. Zahtevani mod za vođenje se bira pre lansiranja i nema dugih pripremnih aktivnosti ili delova (elemenata) koji se naknadno dodaju. Protivoklopne performanse poboljšavaju se primenom tandem-kumulativne bojne glave.

Očekuje se da 1998. godine budu završena ispitivanja municije PGMM a proizvodnja se neće komercijalizovati za još nekoliko godina. Preliminarni proračuni predviđaju maksimalni domet od 15 000 m, a masa projektila pri lansiranju biće 17,2 kg. Postoji namera da se municija PGMM uvede u minobacački bataljonski sistem M120/M121 kao dugoročna alternativa, s tim što će se manuelno voditi preko optičkog kablja. Noviji tip municije još uvek je u ranoj fazi ispitivanja u firmi Boeing Defence and Space Group.

U sličnoj fazi razvoja nalazi se i ruski sistem 120 mm GRAN, laserski vođene municije koja zahteva osmatrača na zemljištu sa laserskim obeleživačem cilja. Pretpostavlja se da

GRAN nema stabilizator za vođenje, spolja je sličan konvencionalnom artiljerijskom projektilu, a mali upravljački raketni motor koristi se za promenu kursa na završnom delu putanje. Na cilju oslobađa 5,1 kg razornog eksplozivnog punjenja, i nema posebno razvijenu protivoklopnu bojnu glavu. Procenjuje se da ima masu oko 25 kg, ukupnu dužinu 1225 mm i maksimalni domet 7500 m.

Bilo je pokušaja da se izrade nečujne bombe sa sposobnošću penetracije oklopa, pa je tako firma Rheinmetall razvila minu kalibra 120 mm, kao projekat vazdušne eksplozije sa mnoštvom pancirnih fragmenata od volframa, dok je mađarski Mechanikai Músek proizveo minu kalibra 82 mm sa dvonamenskim kumulativnim punjenjem bojne glave.

Elektronski upaljači imaju posebnu primenu za kasetnu municiju. Kao i kod vođenih bombi, broj kasetnih bombica (bomblets) nije veliki i prvenstveno je limitiran kapacitetom mina manjih kalibara, pa čak i kod onih od 120 mm. Kompanija TAAS — Israeli Industries proizvodi minu 120 mm CL1344 koja nosi 24 dvonamenske bombice BANTAM. Ta municija opremljena je vremenskim upaljačem M760 koji se proizvodi u firmi Reshef Technologies u Izraelu. Površina dejstva mine je oko 110 m. Greak Powder & Cartridge Company (Pyrkal), takođe, proizvodi kasetnu bombu GRM20 sa 20 bombica za američki minobacač 4,2" (107 mm), koji se nalazi u naoružanju grčke armije.

Povećanje dometa je značajan aspekt poboljšanja minobacača. Na primer, minobacač 82 mm M37, pre nekoliko godina široko korišćen u zemlji Varšavskog ugovora, ima maksimalni domet od 3000 m, dok minobacač koji proizvodi firma Royal Ordnance, kalibra 81 mm L16A1, može doseći skoro 5800 m. To je ekstreman primer koji ukazuje na trend poboljšanja municije za minobacače.

U odnosu na familiju mina za minobacač M37, mine za L16A1 su aerodinamičnije i koriste poboljšane sisteme goriva tako da pritisak na ustima cevi može biti štetan za posadu minobacača. To je ublaženo na američkoj verziji minobacača M252 dodatkom komore na ustima cevi koja eliminiše štetan uticaj pritiska. Drugi modeli imaju sličan dodatak, kao, na primer, minobacač 82 mm 2B1 PODNOS koji se koristio u zemljama Varšavskog ugovora, na kojem dodatak na ustima cevi sprečava mogućnost dvostrukog punjenja iz nepažnje, to jest, ne dozvoljava da se dve mine, ukoliko jedna nije ispaljena, ubace istovremeno u cev.

U razvoju minobacača, pored povećanja dometa i uvođenja sofisticirane municije poboljšanih karakteristika, pažnja mora da se posveti i pokretljivosti, tj. mobilnosti. U mnogim armijama minobacač će se uvek nositi ili vući lakim vozilima. Oklopne grupacije montiraju minobacače na oklopne transportere (borbena vozila pešadije), ispaljujući projektele kroz otvor na krovu, dok je druga mogućnost primena horizontalno okretljive kupole.

Minobacačke kupole razvijene su za više vrsta oklopnih vozila, posebno za vozila proizvođača Thompson Brandt. Ta kompanija razvila je minobacač 120 mm, 2R2M, sa mogućnostima montaže na laka oklopna vozila. Prvi model na vozilu PIRANHA 8x8, bio je predstavljen na izložbi naoružanja i vojne opreme Eurosatory. Danas minobacač 2R2M ima poluautomatski punjač, mogućnost ugradnje preciznog navigacionog sistema i primene komplementarne »pametne« municije.

Drugi primer oružja montiranog na vozilo jeste kupolni minobacački sistem kalibra 120 mm AMS (Armoured Mortar System), koji je proizvela firma Royal Ordnance. Predviđeno je da se 79 kupola ugradi na šasiju oklopnog borbenog vozila LAV 8x8 (za potrebe Saudijske Arabije). Maksimalni

domet pri korišćenju municije sa startnim raketnim motorom biće 12 000 m.

Ruski kupolni sistem 120 mm 2A60, montira se na gusenično vozilo 2S9 ili 2S23, koje je zasnovano na oklopnom borbenom vozilu točkašu BTR-80. Sistem 2S60 ima punjač sa punjenjem odozdo, a kombinovan je sa novom familijom municije 120 mm, posebno razvijenom za ovaj sistem. Pored kumulativnih mina, zastupljene su i protivoklopne mine maksimalnog dometa 8800 m.

Kombinacije vozilo—minobacač znatno poboljšavaju mogućnosti minobacača. Sistem kao što je AMS danas koristi ručno punjenje, ali neće proći dugo vremena do uvođenja automatskog punjenja. Kada se takva poboljšanja kombinuju sa novim generacijama sistema za upravljanje vatrom minobacača, vatrena moć i mobilnost biće respektivne.

Minijaturizacija sistema za upravljanje vatrom na bazi računara zamenice ranije ručne metode određivanja položaja cilja, a rezultiraće jačom, vremenski raspoloživom vatrom i povećanom tačnošću. Sledeća generacija tih sistema, potpuno integrisana u globalni sistem za pozicioniranje (GPS — Global Positioning System), znatno će poboljšati preciznost, što može eliminisati potrebu korekcije vatre i omogućiti planiranje najbržeg dolaska oklopnih kupolnih minobacačkih sistema visoke pokretljivosti i dobre oklopne zaštite na unapred određeni vatreni položaj. To će omogućiti sistem za upravljanje vatrom kojim se zauzima unapred proračunata elevacija i pravac uz angažovanje sistema automatskog punjenja za ispaljivanje projektila. Kada se projektil ispali, vozilo sa minobacačem može da se pomeri na drugi položaj pre nego što se ostvari efekat na cilju, i pre nego što protivnik može radarom da detektuje poziciju minobacača.

V. Radić



## ROTACIONI ROVOKOPAČ BTM-4M TUNDRA\*

Postojeći rovokopač u opremi ruskih inženjerskih jedinica BTM-3 ne može da obezbedi kopanje rovova u zamrznutom zemljištu. Njegova šasija, uzeta od tegljača na gusenicama AT-T, ima maksimalnu transportnu brzinu od 35 km/h, što ne može da zadovolji savremene uslove ratovanja, a i radni organ ovog rovokopača je zastareo.

Zbog toga je konstruisan novi rovokopač BTM-4M TUNDRA za kopanje



Sl. 1 — Rovokopač BTM-4M u prelaznom položaju

rovova i saobraćajnica u zamrznutoj i nezamrznutoj zemlji (od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ ) sa dosta visokom produktivnošću i maksimalnom transportnom brzinom od 50 km/h.

Rotacioni rovokopač BTM-4M TUNDRA sastoji se od osnovne šasije,

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

radnog rovokopačkog organa i buldozerske opreme.

Kao šasija koristi se gusenična osnova samohodnog topa 203 mm 2S7M MALKKA koja je dorađena tako da se na nju može ugraditi rovokopačka oprema. Pri doradi osnovne šasije izvršena je izmena konstrukcije kabine, transmisije, prednjeg i zadnjeg dela tela. Dvosedna kabina oklopljena je i ima ugrađen uređaj za filtriranje i ventilaciju vazduha. Zbog poboljšanja vidljivosti radna mesta članova posade su, u odnosu na visinu radnih mesta samohodnog topa MALKKA, pomerena naviše za 400 mm, a povećano je i ostakljenje kabine. Kontrolno-merni instrumenti i organi upravljanja osnovnom šasijom i radnim organom rovokopača smešteni su ispred radnog mesta vozača.

Motor je dizel višegorivni sa prehranjivanjem. Na pumpi visokog pritiska postavljen je dvopoložajni ograničivač maksimalnog dovoda goriva. Zapremina rezervoara za gorivo je 2 200 l. Predviđena je mogućnost napajanja gorivom iz različitih grupa rezervoara koji su izrađeni od nerđajućeg čelika. Motor ima sistem zagrevanja i sistem signalizacije o stanju njegovih uređaja.

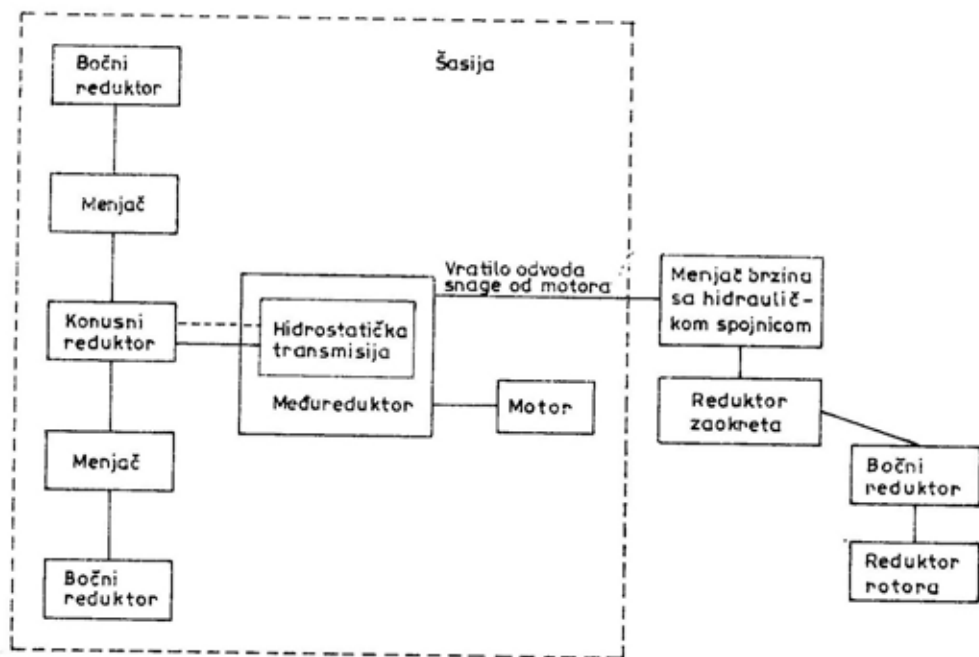
Transmisija je (slika 2) dopunjena međureduktorom koji obezbeđuje prenos obrtnog momenta na pogon rovokopačke opreme, na obezbeđenje rada hidrauličkog reduktora brzine kretanja kada se rovokopač kreće pomoću hidrostatičkog prenosa u radnom režimu, obezbeđuje rad pumpi hidrauličkog pogona radnog organa i prenos obrtnog momenta od motora ka menjačima osnovne šasije pri transportnom kretanju rovokopača. U transportnom režimu transmisija obezbeđuje 7 stepeni prenosa za kretanje napred i 1 stepen prenosa za kretanje unazad. U konstrukciji hodnog dela predviđeno je kočenje četiri tačke oslanjanja u radnom režimu: prvi par oslonih točkova

— pri radu buldozerske opreme i sedmi par — pri kopanju rova.

Hidrostatički prenos koristi dve garniture hidrostatičke transmisije GST-90. U telu osnovne šasijske je menjač sa hidrauličkom spojnicom

ne zemlje u rov, čime se povećava produktivnost rovokopača.

Rotor beskašikastog tipa sa centralnim pogonom ima reduktor radnog organa koji je ugrađen u njegovoj glavčini. Po spoljašnjem obodu tela rotora



Sl. 2 — Kinematska šema rovokopača BTM-4M

transmisije radnog rovokopačkog uređaja. Time je omogućeno kompaktnije postavljanje radne opreme u transportni položaj koji odgovara propisu 02-T za transportovanje železnicom.

Rovokopački radni uređaj ima konstrukciju koja je zglobno pričvršćena sa zadnjim delom tela šasijske. U odnosu na rovokopač BTM-3, radna oprema ima principijelno novu konstrukciju koja se sastoji od rama, rotora bez kašikastog tipa i papuča za raščišćavanje. Na ram je pričvršćen rotor, bočni reduktor, skidači zemlje i hidraulički cilindar za pomeranje radnog organa.

Korišćenje dvostepenog praznjenja rotora smanjuje povratak iskopa-

zavareno je 15 traverzi i na njima su postavljena sečiva (noževi) koja su armirana pločama od tvrdog čelika. Razmeštena su tako da obezbeđuju 6 linija rezanja tla i izradu rova zadate širine.

Transmisija za pogon rotacionog kopača (radnog organa) sastoji se od vratila za odvod snage motora, međureduktora, menjača brzina, povratnog reduktora, bočnog reduktora, reduktora rotora i kardanskih vratila.

Mehanizam za podizanje radnog organa obezbeđuje:

— postavljanje radnog organa u transportni položaj i njegovo prevođenje u radni položaj,

— utiskivanje radnog organa u zemlju pri kopanju rova i njegovo vađenje iz zemlje,

— zaokretanje radnog organa u odnosu na površinu zemljišta u granicama  $\pm 7^\circ$  pri kopanju rova,

— zaokretanje radnog organa u odnosu na uzdužnu osu mašine za ugao  $\pm 15^\circ$  pri kopanju rova.

U prednjem delu osnovne šasijske postavljena je buldozerska oprema koja se sastoji od raonika i rama koji su međusobno zglobno povezani i hidrauličkih cilindara koji služe za prevođenje raonika iz transportnog u radni položaj, utiskivanje u zemlju, držanje raonika u stalnom i promenljivom (plivajućem) položaju, a, takođe, postavljanje u grejderni položaj (levi i desni), kao i za promenu ugla rezanja raonika. To omogućuje da buldozerska oprema obavlja različite poslove na kopanju i prenošenju zemlje.

Za kopanje prolaza određene širine raonik ima dodatne elemente za njegovo proširivanje koji se, u transportnom položaju, sklapaju i pričvršćuju zavrtnjima, radi smanjivanja ukupne širine rovokopača.

Kopanje rova obavlja se pri kretanju rovokopača na radnom režimu preko reduktora promenljivim brzinama od 2 do 4 km/h, a brzina rezanja zemlje zavisi od izbora brzine u menjaču brzina.

Dubina iskopanog rova (1,1 m ili 1,5 m) zavisi od položaja papuče za račišćavanje koja služi i kao dodatni spoljašnji oslonac radnog organa, i za čišćenje i ojačavanje zidova rova i njegovog dna.

Pet hidrauličnih cilindara drže radni organ u stalnom i promenljivom (plivajućem) položaju u odnosu na telo šasijske, a koriste se i za prevođenje radnog organa iz transportnog u radni položaj i obratno. Plutajući položaj cilindra za podizanje i spuštanje koristi

se, takođe, i za utiskivanje u zemlju i kopanje rovova, kako pravolinijskih, tako i krivolinijskog oblika.

Radnim organom i buldozerskom opremom upravlja se iz kabine pomoću elektrohidrauličkih uređaja, kao i

*Osnovne karakteristike rovokopača BTM-4M*

Tehnička produktivnost pri kopanju rova do 1,5 m (m/h):	
— na zamrznutom zemljištu	250
— na nezamrznutom zemljištu II i III kategorije	1000
Tehnička produktivnost pri kopanju rova dubine do 1,1 m (m/h):	
— na zamrznutom zemljištu	300
— na nezamrznutom zemljištu II i III kategorije	1200
Profil iskopanog rova (m):	
— dubina	1,1 i 1,5
— širina na dnu	0,6
— širina na vrhu na nezamrznutom zemljištu	0,9 i 1,1
— širina na vrhu na zamrznutom zemljištu	0,6
Brzina rovokopača (km/h):	
— transportna	do 50
— radna pri kopanju rova	0—2
— pri premeštanju zemlje	4—10
Savlađivanje prepreka:	
— maksimalni ugao uspona ( $^\circ$ )	25
— bočni nagib ( $^\circ$ )	15
— dubina gaza (m)	1,2
— širina rova (m)	2,5
Motor:	
— oznaka	V-94T
— maksimalna snaga (kW)	618,24
Vreme prevođenja iz transportnog položaja u radni i obratno (min)	5
Masa (uračunavajući i RAP) (t)	43,9
Sredstva za vezu:	
— radio-stanica	R-173
— daljina održavanja veze pri kretanju (km)	20
— vojnotelegrafska stanica	R-174
Posada (članova)	2

pomoću komandi menjača brzina. U transportnom položaju radni organ se drži na osloncu.

Osnovna šasija rovokopača BTM-4M i samohodnog oruđa 2S7M MALKa potpuno su unificirani po sistemima motora, osnovnim elementima transmisije (menjač, bočni prenosi, konusni reduktor), a hodni deo je unificiran sa tenkom T-80, i obezbeđuje resurs od 10 000 km.

Sistem zaštite rovokopača stalno kontroliše, pronalazi, signalizira i upravlja izvršnim mehanizmima sredstava zaštite.

Rovokopač BTM-4M ima rezervni agregat koji služi za prevođenje radne opreme iz radnog položaja u transportni kada otkaže hidraulički pogon, motor i njegovi sistemi ili električna oprema, a potrebno je da se rovokopač evakuše sa mesta izvođenja radova.

P. Marjanović

---

---

## INFORMACIONI SISTEM ODRŽAVANJA KoV FRANCUSKE\*

Projekat informacionog sistema održavanja (ISO) KoV Francuske ušao je u fazu konkretizacije instalisanjem prvih softvera i najsavremenijih informatičkih uređaja na opitnim mestima. Od sredine 1996. godine obavlja se ocenjivanje i validacija sistema održavanja u operativnim uslovima rada.

ISO KoV je globalni informacioni sistem koji je projektovan da funkcioniše u bilo kojim uslovima — mira, krize ili rata; na svakom mestu — na

stajanci, u pokretu ili u operaciji koja se izvodi izvan zemlje; u okviru međunarodnih (ili) međunarodnih (UN, NATO...) operacija; na polju održavanja tehničkih sredstava — na svim nivoima održavanja, od prvog nivoa održavanja u trupi, do trećeg nivoa održavanja u ustanovama koje omogućavaju industrijsko održavanje tehnike; na svim vrstama sredstava — od najjednostavnijih do najsloženijih borbenih sistema.

Ovaj sistem jedan je od glavnih projekata KoV Francuske. Nalazi se u fazi instaliranja prvih softvera na mestima za opitovanje koja su opremljena informatičkim uređajima, računarima za prikupljanje podataka ili za komunikaciju, personalnim računarima sa kancelarijskim softverom tipa WINDOWS, štampačima, modemima i softverom ISO KoV (SIMAT — Systeme d'information de la maintenance de l'armee de terre) namenjenom za podršku održavanju.

Osnovna namena informacionog sistema jeste da verifikuje funkcionisanje sistema održavanja od nivoa pučka do nivoa generalštaba, prateći funkciju održavanja u pozadinskim četama i pukovima, da obezbedi direktnu ili centralizovanu podršku i da obezbedi centralizovan rad snabdevanja i upravljanja.

ISO KoV je globalan i konzistentan projekat koji ne samo što treba da verifikuje ono što funkcioniše na svim nivoima, već da obezbedi i dobru cirkulaciju informacija između nivoa.

Opitovanje ovog softvera biće organizovano i u jedinicama naoružanim tenkovima LEKLERK za koji je industrija GIAT, u očekivanju ISO KoV-a, razvila softver DESPROMAT za podršku u održavanju koji će sada biti zamenjen. U drugim pozadinskim jedinicama biće opitovani moduli koji se odnose na cirkulaciju tehnike između nivoa održavanja u kojima je do sada

\* Prema podacima iz časopisa TERRE MAGAZINE 74, Jun 1996.

postojao stari softver, kao i modul koji se odnosi na održavanje municije, a sada je instalisan u skladištima municije pod imenom GTSM (Tehnike upravljanja zalihama municije).

Da bi ovaj informacioni sistem funkcionisao, potrebni su mu, kao i drugim informacionim sistemima, odgovarajući podaci. Izvori tih podataka već postoje, ali su do sada podaci prikupljeni ručno. To su sistemi za prikupljanje podataka SAF — u trupnim jedinicama i SIGMA i UNIMAT u pozadinskim jedinicama. Ovi sistemi za prikupljanje podataka sada su automatizovani.

ISO KoV je nezamenljiva osnova za planiranje aktivnosti održavanja radi boljeg planiranja i izvođenja operativnih zadataka jedinica. Za komandanta to znači obezbeđivanje gotovosti tehničkih sredstava za manevar, vežbu ili operaciju, uz smanjivanje troškova i zahvaljujući vezi koja je stvorena između tehnike i operativne upotrebe.

ISO KoV je globalan i konzistentan sistem koji daje odgovore na pitanja koja se neprestano postavljaju:

1. Kako obezbediti uspostavljanje integralne logističke podrške?

To je strateški cilj u upravljanju ukupnim troškovima životnog ciklusa sistema naoružanja, uz uvažavanje potreba za održavanjem, koje proizilaze iz koncepcije sistema, društvenih zahteva, zahteva Generalštaba i industrije.

Sve češće i sve verovatnije učešće u međuarmijskim i međunarodnim akcijama zahteva i od informacionih sistema kompatibilnost, tj. prilagodljivost za međusobnu razmenu podataka. To vodi ka definisanju i korišćenju normi koje će omogućiti razmenu podataka, a područja rada i sisteme učiniti kompatibilnim.

2. Kako poboljšati izvršne funkcije?

To je osnovni cilj izvršilaca funkcije održavanja i leži u osnovi svih želja samih korisnika.

Na nivou trupnih jedinica, ISO KoV omogućava povezivanje aktivnosti održavanja sa operativnim aktivnostima (logorovanje, pokreti, manevri, operacije...) Tehničke radionice, uz pomoć ovog sistema, mogu planirati radove i odlučivati između popravke i zamene. To je vrlo koristan alat, namenjen za upravljanje rezervama i resursima, kako ljudskim tako i tehničkim (oprema, alati).

3. Kako pribaviti sredstva koja će omogućiti ekonomično upravljanje održavanjem radi obezbeđivanja maksimalne operativne gotovosti tehničkih sredstava?

To je dugoročan cilj koji ne zavisi od toga u kojoj su meri prethodna dva problema rešena.

ISO KoV, za onoga ko donosi odluku, predstavlja alat kojim može da optimizuje korišćenje svojih resursa koji mu stoje na raspolaganju za realizaciju zadataka. Istovremeno, ISO omogućava zaposlenima da učestvuju u sprovođenju odluka prema predviđenom scenariju (popraviti ili zameniti), tehnologu nudi alat za odlučivanje i omogućava mu da doprinese poboljšanju kvaliteta, pa i konstrukcije samog sredstva, itd.

Glavna aktivnost kojoj je u praksi dat prioritet jeste instalisanje prvog dela softvera ISO KoV u trupne i njihove pozadinske jedinice. Na taj način obezbeđuju se izvršne funkcije koje su i razvijene prve. Ipak, korisnici, po pravilu, ne žele da na svom radnom mestu »otkriju« neku novu opremu ili softver koji je instalisan. S tim u vezi, jedan od osnovnih ciljeva ovog projekta je obezbeđivanje učešća budućih korisnika u fazi razvoja, kao i mogućnosti verifikacije da proizvod u toku proizvodnje odgovara njihovim zahtevima.

Prototipovi koji su sada ponuđeni imaju savremen izgled i ergonomiju tipa WINDOWSA, ili različitih menija.

Ovakav izgled moguć je zahvaljujući pristupu kakav imaju komercijalni softveri koji, polazeći od već postojećeg softvera, mogu da se prilagode zahtevima korisnika.

Mogućnosti integracija, koje su od vitalnog značaja za ostvarivanje objedinjene funkcije sistema u okviru KoV, biće sprovedene u područjima komunikacija, formacija, razvoja i inicijalizacije podataka.

Definisanje i aktiviranje funkcija vezanih za komunikacije obezbedila je Uprava veza već u fazi razvoja. Rano definisanje ovih funkcija uticalo je i na stvaranje formacija za jedinice održavanja uz uvažavanje potreba razvoja.

Redakcija dokumentacije korisnika, koja je provedena kroz proučavanje i simuliranje potpuno realističnih i namenski pripremljenih primera, omogućava brzo korišćenje sistema na optimalan i efikasan način, praktično već nakon početnog perioda obuke.

Uvođenjem centra za automatizaciju pristupa na celoj teritoriji biće obezbeđena zaštita podataka.

M. Savanović

---

---

## **AVIONSKA KASSETNA UBOJNA SREDSTVA (DISPENSERI) KOJA SE ODBACUJU VAN DOMETA PROTIVNIČKE PVO\***

Nedavna isporuka prvih proizvedenih sistema DWS39 švedskim OS označava znatan korak u istoriji razvo-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 10/1985.

ja ubojnih sredstava vazduh-zemlja. Autonomni dispenser DWS39 koji se odbacuje van zone dejstva protivničke PVO prvi je svoje vrste. Imajući u vidu sva preimućstva koja daje, čak i sa postojećom submunicijom, a postoji perspektiva korišćenja »pametnih« potkalibarskih ubojnih sredstava, nije teško prognozirati da će dispenser koji se odbacuju van dometa PVO (stand-off) postati vrlo važan činilac u naoružanju aviona.

Po svojoj koncepciji, »stand-off« dispenser su logična kombinacija dva različita trenda u naoružanju aviona ubojnim sredstvima vazduh-zemlja. Prvo, svežnjevi bombi (cluster) uvedeni su za povećanje efikasnosti napada aviona na površinske ciljeve na zemlji, koristeći razbacujuće bombe za napad na »meke« i na »tvrde« ciljeve. Drugo, napredak u razvoju protivavionskih ubojnih sredstava povećao je interesovanje za ubojna sredstva koja se odbacuju van dometa protivničke PVO koja bi omogućavala da avion napadne svoj cilj sa daljine gde ne može da bude izložen dejstvu protivničke PVO.

U okviru NATO pojavio se zahtev za razvoj kasetnog avionskog ubojnog sredstva koje bi razbacivalo potkalibarna ubojna sredstva za onesposobljavanje poletno-sletnih staza i malih mina za sprečavanje dejstva sa aerodroma. Te operacije smatraju se najvažnijim i najopasnijim borbenim zadacima koji bi se izvršavali u ranim fazama opšteg sukoba.

Pri korišćenju svežnja bombi tipa CBU problem je u tome što su slobodnopadajuće i napunjene potkalibarskim ubojnim sredstvima (submunicijom). Zato imaju dvostruki faktor nepreciznosti: zanošenje bombe posle odbacivanja i zanošenje submunicije kada ona ispada iz bombe.

Alternativna opcija za korišćenje CBU bio je »preletajući« dispenser, kao što su JP233, CH-TABO ili MW-1, koji

omogućuju da se cilj podvrgne »kiši« razbacanih ubojnih sredstava malog kalibra. Smatra se da je ovaj viši stepen preciznosti neophodan za dejstva na zaprečavanju aerodroma, gde se protivbetonska submunicija mora baciti dijagonalno na poletno-sletnu stazu.

Iako »preletajući« dispenser predstavlja korak ispred CBU, napadački avion ipak je izložen dejstvu protivničke PVO. U nekim vazduhoplovstvima, kao što je britansko, smatra se da bi se ovaj problem mogao prevazići letom na maloj visini, tako da bi se smanjilo vreme izlaganja aviona protivniku, ali mnogi stručnjaci, posebno američki, sumnjaju da je to rešenje, naročito na osnovu iskustava iz operacije »Pustinjska oluja« gde su Englezi izgubili 13% svojih aviona TORNADO. Posle toga prestao je dalji razvoj »preletajućih« dispensera.

»Pustinjska oluja« je, takođe, potvrdila da je potrebno ubojno sredstvo koje bi se lansiralo van dejstva PVO. Sa operativne i komercijalne tačke gledišta zahtev za ubojnim sredstvom »stand-off« ne odnosi se isključivo na scenario trećeg svetskog rata, već bi to bio preduslov za njegovo preživljavanje.

Mada su Englezi izvukli potrebne i logičke zaključke iz operacije »Pustinjska oluja« i danas traže nova »stand-off« ubojna sredstva, kako za protivoklopnu upotrebu, tako i za napade na važne ciljeve sa unitarnim bojnim glavama. Istovremeno se veruje da se zadaci na izolaciji aerodroma mogu izvesti sa »preletajućim« dispenserima. Nije poznato da postoje planovi za zamenu JP233 nekim novim »stand-off« sistemom.

Bitni elementi »stand-off« dispensera su:

- odgovarajuća ubojna sredstva u njemu,
- precizni navigacioni sistem,

— autonomni sistem za pronalazanje cilja i upravljanje u završnoj fazi leta,

— pouzdani sistem za razbacivanje submunicije.

Ukoliko bi trebalo da se napadnu neplanirani ciljevi, korisnik bi morao da ima sistem za izviđanje bojišta, kao što su J-STARS ili HORIZON. Naime, moguće je napraviti izbor između bezmotornog ubojnog sredstva, kao što su DWS39 ili JSOW, ili motorizovanih sistema kao što je APACHE.

Gotovo je sigurno da će se za najodgovornije borbene zadatke napada na važne i dobro branjene ciljeve koristiti ubojna sredstva sa sopstvenim pogonom i da će biti progresivno razmeštana u okviru najopremljenijih RV (izvesno je ne u velikom broju). Međutim, još nije jasno kako će ovaj problem rešiti ostale zemlje sa manje opremljenim vazduhoplovstvom. Naime, postavljaju se dva ključna pitanja: da li će vazduhoplovstva vodećih zemalja utvrditi (i biti u stanju da plate) potrebu za zamašnim brojem planirajućih dispensera radi dopune svojih amortizovanih dispensera i da li će vazduhoplovstva srednjih snaga shvatiti da su planirajući dispenser rentabilno rešenje problemima gađanja protivničkih ciljeva sa bezbednih daljina.

Većina ovih ubojnih sredstava prima podatke za lansiranje i podatke o lokaciji cilja od avionskih sistema. Oni su predviđeni za odbacivanje sa malih i srednjih visina pri visokim podzvučnim brzinama (obično 0,8 do 0,9 Maha) i lete sopstvenim pogonom ili planiraju prema cilju, koristeći inercijalni navigacijski sistem (potpomognut globalnim sistemom za određivanje pozicije — GPS) i radio-visinomer. Oni koji su spremni da plate veću cenu mogu dodati radar koji radi u milimetarskom talasnom području ili optički termovizor radi prepoznavanja cilja i za upravljanje u završnoj fazi leta.

Slične tehnologije potpuno su odgovarajuće za lansiranje »stand-off« unitarnih bojnih glava. Naravno, dispenser sa unitarnom bojnog glavom je krstareći projektil opremljen bojnog glavom koja razbacuje submuniciju (slučaj nekoliko predloženih ili već uvedenih u naoružanje verzija krstarećeg projektila TOMAHAWK).

U poslednje vreme mnogo se radi na primeni tehnologije »stealth« (male primetljivosti) u konstrukciji dispensera. Francuska je preduzela mere da rekonstruiše program APACHE, naročito kostur dispensera radi smanjivanja radarskog poprečnog preseka i IC odraza. Time bi se smanjila verovatnoća obaranja dispensera i povećale mogućnosti iznenadnog napada na cilj.

Sledeći činilac koji može bitno da utiče na karakteristike dispensera (posebno što se tiče paketa za vođenje do cilja) i njegovu komercijalnu perspektivu jeste vrsta i prioritet glavnih ciljeva koje bi trebalo napasti. Kako teoretski ne postoje ograničenja tipova submunicije koje bi dispenser mogao koristiti, u praksi su »stand-off« dispenseri sada namenjeni za izvršavanja dva osnovna borbena zadatka:

— za operacije na zaprečavanju aerodroma, za koje je potrebna mešavina submunicije za razaranje poletno-sletnih staza, malih rasprskavajućih bombi i mina (protiv žive sile i protiv vozila) radi usporavanja radova na rekonstrukciji oštećenih aerodroma. Ovi zadaci bi se mogli proširiti i submunicijom za uništavanje betonskih bunkera;

— zaprečavanje rejona i napad na mehanizovane formacije (uključujući i neoklopljena i lako oklopljena vozila) pomoću višenamenskih kumulativnih malih bombi, protivoklopnih mina i malih mina. Ovaj oblik napada ograničen je na situacije kada su napadnuta vozila gusto parkirana ili se

kreću putem u koloni. Štaviše, veliki broj malih bombi koje treba razbacati da bi se obezbedio minimum pogodaka zahteva da one budu malih dimenzija (da bi što više stalo u dispenser), pa se ne može očekivati da nanesu veća oštećenja tenkovima i drugim jače oklopljenim vozilima. Submunicija sa senzorskim upaljačima (koja bi mogla da bude verzija artiljerijskih sistema, kao što su BONUS, SMART i SAD-ARM) omogućila bi napad na oklopljena borbena vozila u tesnacima i na mestima koncentracije. Kada se u budućnosti bude raspolagalo »intelligentnom« submunicijom sa vođenjem u završnoj fazi putanje, koja bi imala odgovarajuća kumulativna punjenja, može se očekivati korišćenje »stand-off« dispensera za napad na oklopne jedinice na maršu.

Odgovarajući prioritet, koji će svako RV dati navedenim borbenim zadacima, zavisiće ne samo od uočene opasnosti i odgovarajuće odluke da se toj opasnosti suprotstavi, već i od znatne razlike među relevantnim tehnologijama. Dok dispenser i za zaprečavanje aerodroma već daju potpuno zadovoljavajući odgovor na specifične operativne probleme koje treba da reše (gotovo je pouzdano da će svoj ubojni teret baciti na cilj), napad na mehanizovane i oklopne kolone biće uspešniji kada se razvije autonomna »inteligentna« submunicija koja se navodi u završnoj fazi putanje.

Faktor koji bi mogao da utiče da RV prihvati »stand-off« dispenser kao oružje za zaprečavanje aerodroma ili za dejstvo protiv površinskih ciljeva jeste i nivo kvaliteta obaveštajnih informacija o njima. Dok bi lokacija velikih vazduhoplovnih baza protivnika bila poznata još pre izbijanja rata, prepoznavanje i lociranje površinskih ciljeva bi u većini slučajeva zahtevalo dovoljno velike mogućnosti za izviđanje i osmatranje iznad protivničke teritorije. Te mogućnosti moglo bi da ima samo mali broj vazduhoplovstava.



Poučna su različita rešenja koja su do danas primenjena. Švedska je prihvatila mešoviti ubojni teret u dispenseru DWS39 za dejstvo protiv vozila, i to: male bombe MUSJAS 1, protiv neoklopljenih i lako oklopljenih vozila, i MUSJAS 2, protiv teške opreme i oklopnih borbenih vozila. Oba tipa imaju senzorske blizinske upaljače. Nasuprot tome, Francuska i Nemačka koristiće dispenser APACHE za zadatke zaprečavanja aerodroma od 1997. godine. Međutim, Nemačka će finansirati integraciju jedne varijante za zaprečavanje određene zone sa kombinacijom submunicije za zaprečavanje zone MUSPA, malih rasprskavajućih bombi MUSA i protivoklopnih mina MIFF. Ovaj sistem trebalo bi da se nađe na raspolaganju oko 2000. godine, a za njega su zainteresovani i Francuzi. Sve ostale buduće varijante dispensera APACHE zasnovane su na unitarnim bojnim glavama, dok se jedna varijanta sa »inteligentnom« protivoklopnom submunicijom nalazi u fazi prethodne studije.

### *Stanje u oblasti dispensera submunicije*

O aktivnostima u oblasti razvoja »stand-off« dispensera danas se ne zna mnogo zbog nedostatka podataka o međunarodnoj saradnji u njihovom razvoju. Više puta ponavljani naporu još od sredine sedamdesetih godina za pokretanje (a možda i uvođenje u naružanje) višenacionalnih programa za razvoj »stand-off« dispensera nisu doveli do rezultata.

*Dispenser APACHE* — Francuska firma MATRA završila je razvoj osnovne verzije za zaprečavanje aerodroma (sa 10 potkalibarskih ubojnih sredstava za rušenje poletno-sletnih staza KRISSE). U Francuskoj nosi oznaku AP a u Nemačkoj MAW. Serijska proizvodnja trebalo bi da počne 1997. godine.

Pored osnovne verzije za zaprečavanje aerodroma i verzije sa unitarnim bojnim glavama, Nemačka će finansirati još jednu verziju za zaprečavanje aerodroma koju bi, takođe, mogla da prihvati i Francuska. U njoj bi mogle da budu smeštene, kao submunicija, protivoklopne mine MIFF, zaprečne mine MUSPA i male rasprskavajuće bombe MUSA. I u Francuskoj i u Nemačkoj obavljaju se prethodne studije za razvoj budućih protivoklopnih verzija koje razbacuju »pametnu« submuniciju.

Masa »stand-off« dispensera APACHE je 1,23 t i ima turboventilatorski motor TRI 60-30 sa dovoljnom količinom goriva za dolet od 140 km. U početnoj fazi leta koristi INS vođenje koje se u kasnijim fazama leta dopunjuje sa radio-visinomerom i aktivnim milimetarskim radarom PROMETEE koji se koristi i za završno vođenje i za kontrolisanje orijentira za navigacijsko manevrisanje.

*Dispenser JSOW* — Dispenser AGM-154 JOSW bio je na početku konstruisan za američku mornaricu kao unapređeni sistem oružja za zaprečavanje AIWS, a zatim je 1992. godine preimenovan u zajedničko »stand-off« oružje. AGM-154 je planirajući dispenser, čija je masa 483 kg sa INS/GPS vođenjem, a nosi submuniciju sa kombinovanim dejstvom BLU-97 za napad na prostorne ciljeve. Planirano je da verzija za RM nosi submuniciju BLU-108 sa senzorskim upaljačima. Prvo vođeno ispitivanje dispensera JSOW obavljeno je krajem 1994. godine. Dve firme obrazovale su tim za dve verzije dispensera JOSW, poznate kao GRIFFIN-38, odnosno GRIFFIN-36 za britanske programe CASOM.

*Projekt HAVE SLICK* — Američki program razvoja »stand-off« dispensera, koji je namenjen za naoružavanje nove generacije »neprimetnih« (stealth) aviona, navodno je ušao u fazu završnog razvoja pod oznakom HAVE

SLICK. Ima telo od fiberglasa sa malim čeonim otporom, malim radarskim poprečnim presekom i masom pri odbacivanju od 1,4 t. Ovaj dispenser imaće domet od 35 km, koristiće radarsku glavu za samonavođenje u milimetarskom talasnom području i IC glavu za samonavođenje. Koristan teret biće 900 kg submunicije, unitarna bojna glava ili mali vođeni projektili prethodno nanišanjani na cilj.

*Familija dispensera DWS* — Familija dispensera DWS, koji je verzija dispensera MW-1 koji dejstvuje pri preletanju cilja, konstruisan je kao privatni poduhvat početkom osamdesetih godina. Isporuca sistema DWS39 za avione švedskog RV AJ-37 VIGGEN i JAS-39 GRIPEN je u toku. Vođenje je INS + radarski visinomer, a podaci o koordinatama cilja i položaju za odbacivanje dobijaju se od matičnog aviona preko magistralne podataka MIL. Ovaj dispenser je u stanju da obavlja popravke svog kursa prema mesnoj topografiji i da se usmeri na cilj koji se nalazi van pravca leta matičnog aviona. Pri izbacivanju sa male visine i pri brzini od 0,9 Maha dispenser DWS39 ima domet do 10 km. Submunicija se izbacuje iz 24 cevi.

Na osnovu DWS tehnologije firma CASA je konstruisala sistem autonomnog samopadajućeg dispensera AFDS koji je specijalno optimiziran za avione F-16. Ima poboljšani inercijalni meri uređaj i dodat mu je prijemnik globalnog sistema za određivanje pozicije (GPS) radi poboljšanja preciznosti vođenja. Krajem 1994. godine uspešno je obavljen dvogodišnji program ispitivanja kompatibilnosti i sada sistem može da bude ponuđen svim zemljama članicama NATO koje koriste lovce F-16. Ovaj dispenser je kompatibilan i sa drugim američkim avionima, kao što su A-7 i A-4, a modifikovana verzija odgovara i avionu TORNADO.

Firme DASA i BOFORS će na osnovu DWS39 razviti familiju vođenih

projektila vazduh-zemlja i motorizovanih dispensera srednjeg i dugog dometa. Sada se glavna pažnja posvećuje projektu KEPD (Kinetic Energy Penetrating Destroyer — probojnorazarajuće ubojno sredstvo koje dejstvuje kinetičkom energijom). Tehnologija DWS je osnova za razvoj protivoklopnog dispensera SWAARM 2000 (Smart Weapon Anti-ARMour 2000). To će biti motorizovani dispenser sa 16 komada submunicije koja ima senzorske upaljače.

*ALADA* — Španska firma CASA objavila je 1994. godine plan razvoja familije motorizovanih dispensera i krstarećih vođenih projektila (unitarnih bojnih glava) pod nazivom ALADA (Arma Lanzada a Distancia y Autonomia) za naoružavanje aviona EF-18 HORNET, AV-8B HARRIER i EF-2000. Predložene su dve verzije — jedna sa raketnim, a druga sa turbomlaznim pogonom. Vođenje bi trebalo da bude INS + GPS + radarski visinomer ili pomoću sofisticiranijeg sistema SMAC (Scene Matching Auto-Correlation).

P. Marjanović

---

## RAKETNI PROTIVTORPEDNI SISTEM ZA ZAŠTITU BRODOVA\*

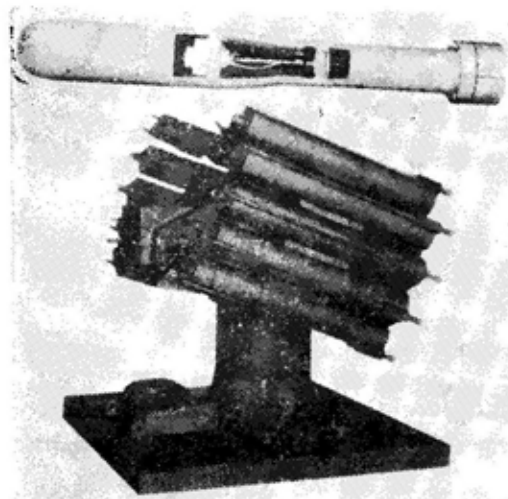
Visoki nivo razvoja podvodnih ubojnih sredstava zahteva rešavanje složenih zadataka organizovanja odbrane površinskih brodova u više ešelona, što se, takođe, odnosi i na odbranu obalskih objekata. Veliki značaj ima zaštita od napadačkih podmornica i torpeda u bližoj zoni (do 6 km). Zbog toga

---

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

oružje za odbranu poslednje linije odbrane mora da bude velike ubojne snage i sa maksimalnom efikasnošću.

Zbog toga je prvi put u svetu konstruisan raketni sistem protivtorpedne zaštite brodova UDAV-1M (slika 1).



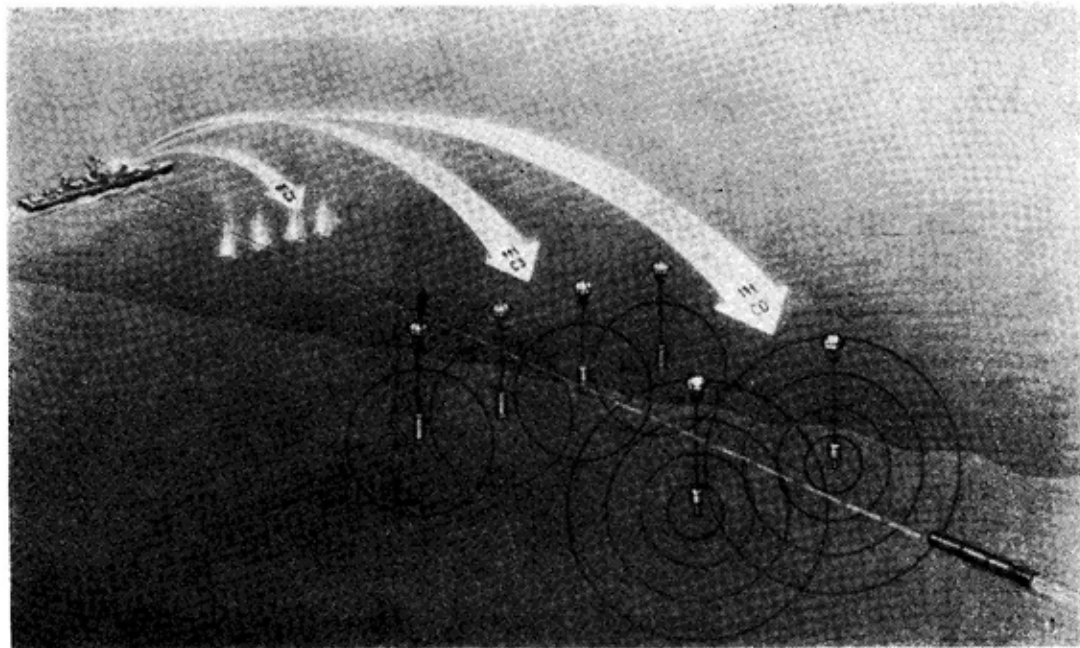
Sl. 1 — Raketni projektil i bacač sistema UDAV-1M

U ovaj sistem utkani su rezultati istraživanja i razvoj efikasnog načina aktivnog dejstva protiv napadačkih torpeda. Jednim plotunom ovaj sistem uništava nevođena (neposredno usmerena) torpeda sa verovatnoćom 0,9, a samonavođena torpeda sa verovatnoćom 0,76.

Sistem čine reaktivni projektili (hidroakustički lažni cilj i zaprečno-dubinski), automatizovani desetocevni bacač, automatizovani uređaj modularnog tipa za punjenje bacača pomoću konvejera i sredstva za upravljanje gađanjem. Sistem UDAV-1M radi spregnuto sa stanicom za otkrivanje torpeda.

Sistem funkcioniše na principu postavljanja nekoliko tipova »plutajućih zavesa« na putu kretanja torpeda (slika 2).

Zaveza od raketnih projektila — lažnih ciljeva koji utiču na sistem za samonavođenje torpeda i od raketnih projektila zaprečno-dubinskog tipa (u zaprečnom režimu) koristi se za daljin-



Sl. 2 — Sema borbene primene sistema UDAV-1M

sko miniranje dela mora na putu kretanja torpeda.

Ako torpeda probije obe navedene zavese, gađa se zaprečno-dubinskim projektilima u režimu dubinskog projektila za uništenje torpeda. Algoritmi gađanja određuju se za svaki konkretan slučaj, zavisno od taktičke situacije. Zaprečno-dubinskim projektilima može se gađati i u režimu dubinskog projektila, pa služe i za uništenje podmornice, uključujući i mini-podmornice, kao i diverzantske snage i sredstva.

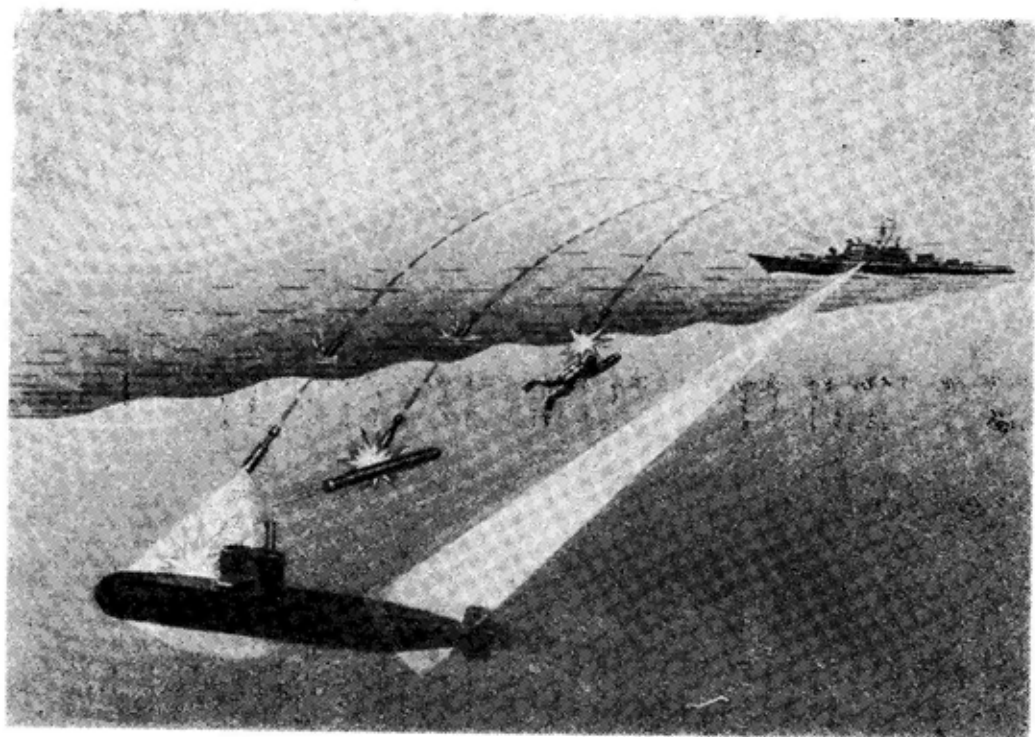
Krajem osamdesetih godina bio je završen razvoj raketnog protivpodmorničkog sistema RPK-8 (slika 3) za zaštitu brodova od podmornica. Pri korišćenju ovog sistema verovatnoća uništenja podmornice jednim plotunom iznosi 0,8.

U razvoju ovog sistema korišćeni su osnovni elementi sistema SMERČ-2

(bacač, uređaji za punjenje bacača i donošenje projektila, sredstva za upravljanje gađanjem) koji su potvrdili svoje kvalitete pri korišćenju na brodovima.

Specifičnost sistema RPK-8, koji u odnosu na sistem SMERČ-2 poboljšava verovatnoću uništenja podmornice za 8—10 puta, jeste korišćenje protivpodmorničkog raketnog projektila sa odvajajućim podvodnim gravitacionim projektilom posle ulaska u vodu, koji se samonavodi na podmornicu.

Sistem RPK-8 čine: protivpodmornička raketa sa gravitacionim podvodnim projektilom, raketni lanser RBU-6000, uređaji za čuvanje i punjenje i sredstva za upravljanje gađanjem. I ovaj sistem radi spregnuto sa hidroakustičkom stanicom (PEL). Sistem se, takođe, može koristiti i za uništavanje torpeda i podvodnih diverzantskih snaga i sredstava.



Sl. 3 — Sema borbene primene sistema RPK-8

Domet (m):	
maksimalni:	
— hidroakustičkog lažnog cilja	3000
— zaprečno-dubinskog cilja	2000
minimalni:	
— hidroakustičkog lažnog cilja	700
— zaprečno-dubinskog cilja	100
Kalibar projektila (mm)	300
Borbena gotovost sistema od trenutka otkrivanja cilja (s)	15

Protivpodmornička raketa je rezultat serije ispitivanja u oblasti hidrodinamike, hidroakustike i fizike eksplozije. Raketa obezbeđuje:

— gađanje bez rikošetiranja pri padu u vodu bez padobrana,

— odvajanje dubinskog projektila ispod površine vode,

— stabilizaciju plovidbe dubinskog projektila na račun stabilizatora koji se otvaraju u vodi.

Bojna glava podvodnog projektila probija čvrsto telo jednotrupnih i dvotrupnih savremenih i perspektivnih podmornica na dubinama do 1 000 m.

Kada se gađa podmornica posle pada u vodu i kada se odvoji gravitacioni podvodni projektil, on obavlja aktivno hidroakustičko lociranje okolnog vođenog prostranstva i kada »uhvati« cilj usmerava se ka njemu.

Za zaštitu ulaza u brodske i podmorničke baze, kao i za zaštitu operativnih delova pomorske granice od podvodnih diverzantskih snaga i sredstava razvijen je samohodni obalski raketni sistem višecevnog bacača DAMBA (»brana«). Pri razvoju ovog sistema korišćeno je iskustvo razvoja višecevnog raketnog bacača za snage KoV tipa GRAD i GRAD-1.

Sistem DAMBA čine:

— borbeno vozilo BM-21PD,

— transportno vozilo 95 TM,

— raketni projektil PRS-60.

Kao borbeno vozilo koristi se BM-21 sa 40 cevi u kome se čuvaju projektili, i koje služi za obavljanje borbenih zadataka pri neprekidnom boravku na borbenom položaju u toku jedne godine u temperaturnom opsegu  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$ . Oprema borbenog vozila obezbeđuje borbeno dejstva napajanjem kako iz svoje električne mreže,

Osnovne karakteristike sistema RPK-8

Domet (m):	
— maksimalni	4300
— minimalni	800
Dubina uništenja cilja (m):	
— podmornica	do 1000
— torpeda i podvodnih diverzantskih snaga i sredstava	4 do 10
Kalibar rakete (mm)	212
Borbena gotovost sistema od momenta otkrivanja cilja (s)	15

Tehničke karakteristike sistema DAMBA

Domet (m):	
— maksimalni	5000
— minimalni	300
Kalibar raketnog projektila (mm)	122
Masa eksploziva (kg)	20
Dubina borbenog korišćenja (m)	3 do 200
Verovatnoća uništenja podvodnog diverzanta poluplotunom	0,99

tako i iz industrijske električne mreže sa naponom od 380 V i sa frekvencijom od 50 Hz.

Raketni projektil sa svojom bojnog glavom netradicionalnog oblika obezbeđuje gađanje bez rikošetiranja.

Pored razvoja sistema za protivpodmorničku i protivtorpednu zaštitu

razvijena je i gama-čaura za brodska artiljerijska oruđa, oruđa obalske artiljerije i drugih plovnih objekata.

Konstruisane su sledeće čaure:

— za automate M-110, 110PM (kalibar 25 mm), A0-18, NN-30 (kalibar 30 mm), SM-20 i SM-21 (kalibar 45 mm);

— za brodska oruđa AK-726, AK-176 (kalibar 70 mm), AK-100 (kalibar 100 mm);

— za oruđa CM-5-1S (kalibar 100 mm), SM-2, SM-4 (kalibar 130 mm), za krstaricu ADMIRAL MAKAROV (kalibar 150 mm), krstaricu KERČ (kalibar 152 mm).

P. Marjanović

---

## KOMPLEKSNI TRENAŽERI ZA OBUKU POSADA OKLOPNIH BORBENIH VOZILA\*

Od nivoa obuke ljudstva zavisi i efikasnost borbene upotrebe naoružanja i borbenih sredstava visoke tehnologije, što se odnosi i na oklopna sredstva kao što su tenkovi, borbena vozila pešadije, borbena vozila desantnih jedinica i oklopni transporteri. Međutim, borbena obuka posada borbenih vozila suočava se sa nizom poteškoća usled nemogućnosti stvaranja potrebnih uslova i situacija u nastavnim centrima i na poligonima, a i zbog cene eksploatacionih resursa.

Zbog toga se u sve većoj meri za obuku posada koriste specijalizovani sistemi za obuku — trenažeri. U Rusiji se koriste trenažeri serije TKNO koji su izrađeni na osnovi savremenih ra-

čunara, tako da u nišanskim spravama sintetizuju veoma realne slike koje prikazuju ne samo situaciju na bojištu, osobine zemljišta, doba godine i dana, već i optičke specifičnosti nišanskih sprava i sredstava za osmatranje. Originalni softver obezbeđuje da se pri proračunu putanje projektila uzmu u obzir brzina i pravac vetra, temperatura, pritisak vazduha i još mnogo drugih faktora. Time se dobija ne samo veliki stepen verodostojnosti pri modeliranju gađanja već se, uz korišćenje preciznih imitatora organa upravljanja i sredstava za vezu, rad sa trenažerom približava realnim borbenim uslovima.

Pri razvoju trenažera velika pažnja posvećena je metodološkoj strani obuke. Radi toga je kod svih trenažera predviđen razvoj sredstava za nadgledanje postupaka izvršilaca i za kontrolu postignutih rezultata. Rukovodilac obuke može da nadgleda bojište, kako u celini, tako i sa mesta svakog izvršioca, da preuzme upravljanje bilo kojim vozilom i da prikaže postupke pri navođenju oružja i otvaranju vatre. U svakom trenutku rukovodiocu su dostupne informacije o broju pogođenih i o utrošenoj municiji. Postoji mogućnost pojedinačnog evidentiranja, memorisanja i pregleda rezultata svakog izvršioca, a automatski se registruju nepravilni ili suvišni postupci izvršilaca prilikom pripreme naoružanja za borbu.

U trenažerima je kombinovana pogodnost korišćenja postojećih metoda obuke i fleksibilnost pri prelasku na nove metode. Omogućavaju korišćenje različitih vežbi koje se koriste pri obuci u gađanju, a postoji i mogućnost stvaranja sopstvenih vežbi.

Trenažeri omogućuju uvežbavanje usaglašenih dejstava pojedinih posada i celog odeljenja. Sve komponente, koje ulaze u sastav jednog trenažera, objedinjene su u lokalnu mrežu. Pored toga, svi trenažeri serije TKNO odgovaraju međunarodnom standardu raspodeljenog interaktivnog modelovanja, čime se omogućuje objedinjava-

---

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

nje sa trenažerima drugih tipova, i formiranje jedinstvenog sistema trenažera. Sistem može da se sastoji od trenažera za modelovanje dejstva različitih rodova vojske, koji su geografski međusobno udaljeni, a sadejstvuju preko globalnog sistema veze, kao što je INTERNET i drugi.

Na taj način, pored sprovođenja standardnih vežbi, moguća je obuka posada i u složenim, kritičnim situacijama, što u realnim uslovima nije moguće bez opasnosti po život. Ranije su iskustva iz sličnih situacija mogla biti stečena samo kao rezultat borbenih dejstava.

Trenažer TKNO-675 je nastavno-trenažni sistem, namenjen za obuku komandira i poslužilaca-nišandžija borbenog vozila pešadije BMP-2, koji omogućava uvežbavanje:

— otvaranja vatre iz svih vrsta naoružanja vozila BMP-2,

— gađanja iz mesta, pokreta i sa kratkih zastanaka,

— gađanja nepokretnih i pokretnih ciljeva na zemlji i ciljeva u vazdušnom prostoru na malim visinama,

— gađanja svim vrstama municije, uključujući i vođene projekte,

— merenja daljine i navođenja oružja ka cilju, korišćenjem formacijskih sprava ugrađenih u BMP-2: nišanskih i za dnevno i noćno osmatranje,

— popravke gađanja prema putanjama i eksplozijama zrna i projektila,

— dejstva u vanrednim situacijama,

— sadejstva među članovima posade i među posadama (izviđanje, pokazivanje cilja, itd.),

— postupaka pripreme sistema za upravljanje gađanjem.

Trenažer omogućuje rukovodiocu obuke da:

— odabere jednu od nekoliko varijanti tipiziranih vežbi, utvrđenih zavisno od tečaja gađanja;

— menja parametre postojećih vežbi i formira nove vežbe;

— bira reljef zemljišta (ravničarski, srednje ispresecani, planinski ili pustinjiski),

— bira doba godine (zima, leto) i doba dana (dan, noć);

— razmešta na zemljištu objekte (zgrade, drveće, pokretne mete i borbeno vozila protivnika);

— utvrđuje količinu, vrstu, položaj i vreme prikazivanja meta;

— zadaje količinu i vrstu municije za izvršenje vežbe;

— nadgleda rad sa »komandnog mesta« ili sa mesta izvršioca;

— uspostavlja vezu sa izvršiocom uz pomoć uređaja za unutrašnju vezu;

— preuzme upravljanje svakim od borbenih vozila radi demonstriranja postupaka za navođenje i gađanje;

— ocenjuje rezultate uništenja cilja u automatskom režimu;

— ocenjuje izvršavanje vežbe, zavisno od zahteva obuke gađanja, i da štampa ocene (prema utvrđenom obrascu, sa popisom učinjenih grešaka);

— vodi razdvojenu evidenciju rezultata gađanja za komandira i nišandžiju, kao i ciljeva uništenih različitim vrstama naoružanja.

Na raspolaganju su dve različite varijante trenažera: TKNO-675 (osnovna varijanta) i TKNO-675M (pokretna varijanta). Slične po funkcionalnim mogućnostima, varijante se razlikuju po stepenu realnosti radnog mesta u trenažeru i radnog (borbenog) mesta u vozilu BMP-2.

Osnovna varijanta trenažera sastoji se od tri modula koji imitiraju tri posade borbenog vozila pešadije (vod). Svaki modul ima dva radna mesta: ra-

dno mesto komandira vozila i radno mesto nišandžije. Radna mesta predstavljaju vernu kopiju vatrenog odeljenja BMP-2. Dva monitora, spojena računarom, daju sliku koju izvršilac vidi u okularima nišana. Radna mesta opremljena su tablom za upravljanje stabilizatorom, imitatorom zadnjaka cevi topa, lanserom protivoklopnih vođenih projektila i drugim sredstvima.

Osnovna varijanta trenažera TKNO-675 omogućuje jednovremenu obuku šest izvršilaca (tri posade, a svaka se sastoji od komandira i nišandžije).

Pokretna varijanta trenažera smanjena je u odnosu na osnovnu varijantu i može da bude postavljena u poljskim uslovima, na primer, na vozilu. U sastav minimalne konfiguracije ulazi radno mesto izvršioca koje je opremljeno imitatorom nišana i tablom za komandovanje stabilizatorom BMP-2,

i radno mesto instruktora. Modularna konstrukcija trenažera omogućuje da se lako poveća broj izvršilaca do veličine tenkovske čete.

Za obavljanje složenih taktičkih vežbi moguće je objedinjavanje trenažera serije TKNO sa trenažerima koji prihvataju DIS specifikaciju.

Za sada razvijeni su trenažeri serije TKNO, za posade borbenih vozila BMP-2 i BMD-3, koji su uspešno prošli i trupna ispitivanja.

U toku je dorada modifikacije trenažera TKNO-675 za posade borbenog vozila pešadije BMP-3 i oklopnog transportera BTR-80A. Pored toga, radi se na razvoju trenažera za vatrenu obuku posada borbenih desantnih vozila BMD-1, BMD-2 i tenkova T-90, T-80U i T-72S.

P. Marjanović



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, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, 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.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, 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 obraza (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.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija 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. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

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

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, 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.

**LEKTOR**

Dobriła Miletić, prof

**KORICE**

Miojko Milinković

**KOREKTOR**

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž: 1400 primeraka

---

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis »Vojnotehnički glasnik« je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

---