

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA  
„VOJSKA“

## NACELNIK

Pukovnik  
STANOJE JOVANOVIĆ

## UREĐIVAČKI 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.

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  
dr SLOBODAN BURSAC, 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. 646-277, 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.  
Pretpлата 645-020 i 22-584, žiro-račun: NIU  
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)  
40823-849-0-2393 Beograd. Polugodišnja  
pretpлата 25,00 dinara. Rukopisi se ne  
vraćaju. Štampe: Vojna štamparija —  
Beograd, Generala Zdenova 40 b.

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

# VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

# 6

*Čitaocima i saradnicima  
čestitamo Novu godinu*

*Redakcija časopisa*

## S A D R Ž A J

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Mr Zoran Popović,</b><br/>potpukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Slobodan Milidrag,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Dragan Lazarević,</b><br/>pukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Svetomir Minić,</b><br/>pukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Žilvan Arsenić,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Jovan Todorović,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Miroslav Demić,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Mr Milinko Minić,</b><br/>dipl. inž.</p> <p><b>Dr Milan Milovanović,</b><br/>dipl. inž.</p> <p><b>Dr Predrag Petrović,</b><br/>dipl. inž.</p> <p><b>Mr Branislav Todorović,</b><br/>dipl. inž.</p> <p><b>Dr Milan Šunjevarić,</b><br/>pukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Žarko Barbarić,</b><br/>potpukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Đorđe Matić,</b><br/>pukovnik</p> <p><b>Dr Dragan Acketa,</b><br/>profesor</p> <p><b>Dr Nedeljko Krstajić,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Vladimir D. Jović,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Branislav Bilen,</b><br/>profesor, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Zoran Nikolić,</b><br/>dipl. inž.</p> <p><b>Mr Stanojko Stojković,</b><br/>potpukovnik, dipl. inž.</p> <p><b>Dr Vlado Radić,</b><br/>major, dipl. inž.</p> | <p>653 Izbor optimalne periodičnosti preventivne aktivnosti održavanja motornih vozila tokom skladištenja</p> <p>663 Trade-off model preventivnog održavanja tehničkih sistema</p> <p>667 Prilog definisanju parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova teretnih motornih vozila</p> <p>675 Primena numeričkih metoda za predikciju buke izduvnog sistema motora SUS</p> <p>685 Novi metod protivelektronske zaštite radio-veza u kanalima sa fedingom</p> <p>699 Uprošćeni matematički model za formiranje slike terena optoelektronskim senzorima</p> <p>711 Program za testiranje kompatibilnosti VF radio-uređaja</p> <p>721 Aktivna katodna zaštita čeličnih konstrukcija u rečnoj i morskoj vodi</p> <p>730 Fizika eksplozije — prikaz knjige —</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA**

- 733 Protivtenkovsko oružje pešadije — V.R.
- 740 Arena — aktivni zaštitni sistem za tenkove
- 743 Mobilni višekanalni sistem vođenog protivavionskog projektila S-300V — P.M.
- 747 Helikopterski protivoklopni vođeni projektili — P.M.
- 751 Promene kod borbenih inženjerijskih vozila i oklopnih vozila za opravke i evakuaciju — P.M.
- 758 Razvoj izviđačkog naoružanog helikoptera RAH-66 COMANCHE — P.M.
- 761 Verzija okeanskog minolovca tip 266ME — Z.H.

## **TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

- 765 OCSW kombinovani bacač bombi i mitraljez 12,7 mm
- 765 Pištolj Mk 23 Mod 0 HECKLER & KOCH
- 766 Ispitivanje glave za samonavođenje projektila AS3
- 766 Razvoj daljinskog ubojnog sredstva MUPSOW
- 767 Program ASTAMIDS za otkrivanje minskog polja iz bespilotne letelice
- 768 Sistem SSA za zaštitu tenkova od vođenih projektila
- 768 Novo oklopno vozilo COBRA
- 769 Noviteti u razvoju motora i pogonskih grupa u Velikoj Britaniji
- 769 Mikrotalasni reflektometar PR-17 — P.M.

**Mr Zoran Popović,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

**Dr Slobodan Milidrag,**  
profesor, dipl. inž.  
Fakultet tehničkih nauka,  
Novi Sad

**Dr Dragan Lazarević,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Uprava za snabdevanje SMO,  
Beograd

## **IZBOR OPTIMALNE PERIODIČNOSTI PREVENTIVNE AKTIVNOSTI ODRŽAVANJA MOTORNIH VOZILA TOKOM SKLADIŠTENJA**

UDC: 681.322.06:629.119.001.573

### **Rezime:**

*Motorna vozila se tokom radnog veka često moraju skladištiti. U periodu skladištenja izložena su nizu štetnih uticaja koji dovode do otkaza. Održavanje ovih sredstava time se nameće kao neophodno, iako ona ne obavljaju radne zadatke. Ovaj rad prikazuje jedan od matematičkih modela namenjenih optimizaciji sistema održavanja uskladištenog vozila, kao i način primene elektronskog računara u rešavanju tog problema.*

*Ključne reči: motorno vozilo, održavanje, skladištenje.*

## **CHOICE OF OPTIMAL PERIODICITY IN PREVENTIVE MAINTENANCE OF VEHICLES DURING STORAGE**

### **Summary:**

*Vehicles have to be often stored during their service life. While stored, they are exposed to a lot of harmful influences leading to their failure. Although they are not used for performing actual work tasks, their maintenance is necessary. In this paper one of mathematical models for the stored vehicles maintenance system optimization is presented as well as a method of computer application in solving the problem.*

*Key words: vehicle, maintenance, storage*

### **Uvod**

Skladištenje tehničkih sredstava jedna je od faza njihovog životnog ciklusa, a javlja se u složenim sistemima pred koje se postavlja zahtev da što efikasnije funkcionišu u slučaju ukazane potrebe. Do tog trenutka, najčešće, nema potrebe za radom pojedinih tehničkih sredstava, pa je njihovo skladištenje i čekanje poziva na upotrebu neminovnost. Skladištenje tehničkih sredstava javlja se u mnogim područjima kao što su: vojni sistemi, poljoprivredna mehanizacija, građevinarstvo i veliki proizvodni sistemi.

Ipak, od ovih uskladištenih delova sistema očekuje se, najčešće, vrlo visok nivo tehničke ispravnosti, tj. što veći procenat delova (podсистема) koji će stupiti u rad pri pozivu na upotrebu. Od broja podсистема koji su stupili u rad, tj. odazvali se pozivu na upotrebu, umnogome zavisi da li će opisani sistem izvršiti planirani zadatak ili ne.

Tehničko sredstvo je u toku dugotrajnog skladištenja izloženo, suprotno nekim očekivanjima, nizu štetnih uticaja. Motorna vozila, poljoprivredne mašine i građevinska mehanizacija, kao izrazito kompleksna tehnička sredstva, podložni su dejstvu najrazličitijih uti-

caja, koji im umanjuju tehničke karakteristike i izazivaju njihovu nerazpoloživost, a najdestruktivnije pojave su:

- narušavanje zaptivanja sklopova, uslovljeno starenjem materijala od kojeg su izrađeni zaptivači;

- žapeknuća koja sprečavaju relativnu pomerljivost pojedinih delova, a izazvana su korozijom metala i pojavom smole u pogonskim materijama usled njihovog raspadanja;

- otkazi elektroinstalacije izazvani korozijom na pojedinim kontaktima i starenjem izolacije;

- koroziona oštećenja zupčanika, ležajeva, osovina i vratila za prenos snage;

- zamor materijala elemenata koji su, i pored odsustva radnih opterećenja, izloženi naprezanju (opruge uređaja za razvođenje radne materije, opruge u pumpi visokog pritiska, opruge spojnice, gibnjevi i slično).

Ove pojave vremenom izazivaju pad tehničkih karakteristika. Pad karakteristika ispod određene granične vrednosti prevodi tehničko sredstvo u stanje U OTKAZU, što znači da nije raspoloživo za upotrebu.

Radi izbegavanja pomenutih pojava razvijeni su posebni sistemi održavanja uskladištenih sredstava. Njihov osnovni zadatak jeste da u što većoj meri eliminišu uticaje još pre perioda skladištenja, kao i da sprovedu određene radnje tokom perioda skladištenja, radi ublažavanja posledica tih štetnih uticaja, čime bi se ostvarila što veća raspoloživost pomenutih sredstava.

### Sistemi održavanja motornih vozila

Sistem održavanja određenog tehničkog sistema može da se realizuje na više načina, u konceptijskom, tehnološkom i organizacionom pogledu. Razlike naročito dolaze do izražaja u

konceptiji sistema održavanja. Sa tog aspekta dve su osnovne mogućnosti: korektivno i preventivno održavanje. Kada je reč o održavanju motornih vozila, preventivno održavanje nameće se kao imperativ zbog sledećih činjenica:

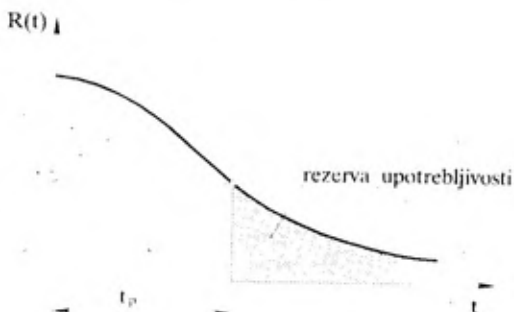
- povećava se bezbednost vozača, rukovaoca, putnika i transportovanog tereta;

- izbegavaju se teži sekundarni otkazi;

- izbegavaju se skupe i otežane intervencije na terenu (na mestu nastanka otkaza);

- moguće je planirati angažovanje remontnih kapaciteta, nabavku rezervnih delova i slično.

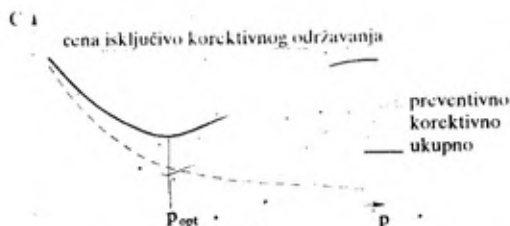
Efekti ove konceptijske varijante umanjuju se činjenicom da se sistem ne koristi do potpunog otkaza, pa se jedan deo resursa ne iskorišćava (slika 1). Od izabrane periodičnosti, uglavnom, zavisi kolika će se korist dobiti preduhitranjem korektivne aktivnosti, i koliki će biti gubici nastali nekorisćenjem »rezerve upotrebljivosti«. Kriterijum za određivanje periodičnosti su, u ovom slučaju, ukupni troškovi održavanja, koji predstavljaju zbir troškova preventivnih aktivnosti i onih



Sl. 1 — Rezerva upotrebljivosti

korektivnih aktivnosti koje nisu preduhitrene (slika 2). Optimalan period za izvođenje preventivne aktivnosti očit će biti onaj čiji će ukupni troškovi

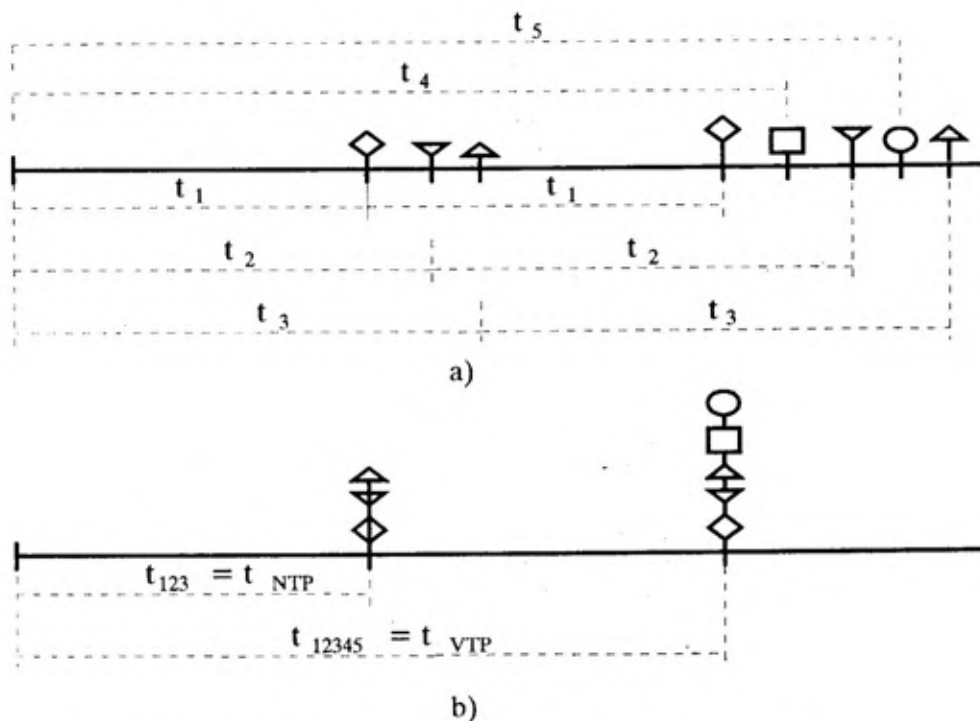
biti minimalni. Oblik krivih, prikazanih na slici 2, uslovljen je funkcijom pouzdanosti dela-sklopa čiji se period održavanja određuje.



Sl. 2 — Troškovi održavanja

Očito je da se navedeni model optimizacije zasniva na otkazu samo jednog dela. Drugim rečima, primenom ovog modela dobija se optimalan period preventivne aktivnosti koji se od-

nosi isključivo na taj deo. Međutim, bilo bi iluzorno, imajući u vidu složenost vozila kao sistema, očekivati da samo jedan deo može otkazati. Poznajući funkciju raspodele  $f(x)$  za pojedine delove i primenjujući prikazani metod za svaki deo može se odrediti optimalna periodičnost preventivne intervencije sa stanovišta troškova (slika 3 pod a). Ako bi se aktivnosti održavanja izvodile strogo po »lokalnim« periodičnostima nastali bi prilično veliki troškovi zbog čestog boravka vozila u radionici, kao i zbog ponavljanja pojedinih operacija, zajedničkih za više »lokalnih« intervencija. Na taj način smanjila bi se gotovost, a sistem održavanja bi se višestruko zakomplikovao. Da bi se to izbeglo, pristupa se grupisanju pojedinih operacija (slika 3 pod b).



Sl. 3 — Objedinjavanje pojedinih operacija u tehničke preglede  
 $t_1, t_2, \dots, t_i$  — periodičnost izvođenja pojedinih operacija  
 $t_m, \dots, i$  — periodičnost izvođenja objedinjenih  $i$ -operacija  
 $t_{NTP}, t_{VTP}$  — periodičnost nižeg i višeg pregleda

Pri tome se polazi od sledećih postavki:

$$C_{123...n} < C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i + \dots + C_n \text{ i} \\ t_{123...n} < t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i + \dots + t_n$$

gde su  $C_i$  i  $t_i$  cena i vreme izvođenja i-te operacije, a  $C_{123...n}$  i  $t_{123...n}$  cena i vreme oportunističke (objedinjene) aktivnosti za svih  $n$  elemenata. Na taj način dolazi se do sadržaja niza pregleda koji definišu politiku održavanja. Neki od njih obuhvataju aktivnosti čija je periodičnost manja (»niži« tehnički pregledi — NTP), a neki obuhvataju, osim pomenutih, i aktivnosti čija je periodičnost veća (»viši« tehnički pregledi — VTP). Može se uočiti da su »niži« tehnički pregledi sadržani u »višim«.

### Sistemi održavanja uskladištenih motornih vozila

Kada se radi o uskladištenim motornim vozilima koja se koriste samo u slučaju potrebe, prednosti preventivnih konceptijskih rešenja su neosporne. Razlike u odnosu na sredstva koja se redovno koriste su:

— trenutak nastanka otkaza ne može se primetiti bez izvođenja preventivnog pregleda koji će ga otkriti;

— troškovi održavanja nisu jedini kriterijum pri određivanju optimalnog perioda preventivne aktivnosti;

— za sredstva u skladištu preventivna i korektivna aktivnost jednako koštaju (izvode se istim sredstvima, u istim uslovima, i sl.).

Ove razlike uslovljavaju i razliku u načinu određivanja sadržaja preventivnih aktivnosti i njihove periodičnosti.

Kod nekih uskladištenih sredstava (poljoprivredne mehanizacije i građevinskih mašina) troškovi održavanja mogu ostati osnovni kriterijum pri odlučivanju, dok kod vojnih sistema troškovi nisu najvažniji kriterijum. U ovom slučaju to je raspoloživost uskla-

dištenog kontingenta sredstava. Pri tom do izražaja dolaze pomenute činjenice da poziv na upotrebu nije ranije najavljen (nastupa iznenada), kao i to da se trenutak nastanka otkaza ne može primetiti bez izvođenja preventivnog pregleda koji će ga otkriti i eliminisati. Odsustvo takve aktivnosti rezultovalo bi jako dugim periodom otkaznog stanja, što bi raspoloživost uskladištenog kontingenta vozila spustilo na nizak nivo (praktično jako mali broj sredstava bi se mogao upotrebiti). Učestaliji preventivni pregledi obezbeđuju kraće trajanje ovog prikrivenog otkaza, a time i povećanu raspoloživost uskladištenog voznog parka, što, naravno, više košta. Očigledno je da su funkcije raspoloživosti  $A=A(p)$  i cene  $C=C(p)$  ( $p$  — periodičnost) monotono opadajuće, pa se periodičnost ne može izabrati na osnovu minimalnih troškova ili maksimalne pouzdanosti.

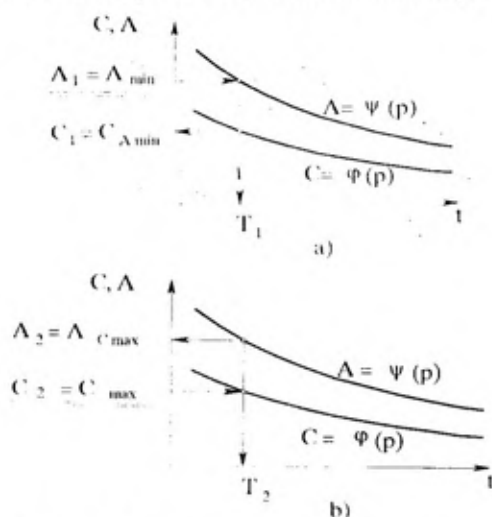
Odluka se može doneti na više načina:

1. Ukoliko se zada minimalna raspoloživost, postupak određivanja perioda aktivnosti obavlja se kao na slici 4 pod a. Povlačenjem paralele iz tačke  $A=A_{\min}$  do krive  $A=\psi(p)$  dobija se najveća periodičnost koja će obezbediti uslov  $A \geq A_{\min}$  (svaki veći period dao bi jeftiniji sistem održavanja, ali bi rezultovao nižom raspoloživošću od dozvoljene). Ovoj periodičnosti odgovara cena  $C=C_{A \min}$ .

2. Ukoliko se zada maksimalna cena, postupak određivanja perioda aktivnosti obavlja se kao na slici 4 pod b. Povlačenjem paralele iz tačke  $C=C_{\max}$  do krive  $C=\varphi(p)$  dobija se najmanja periodičnost koja će obezbediti uslov  $C \leq C_{\max}$  (svaki manji period dao bi skuplji sistem održavanja, što ne bi bilo u skladu sa postavljenim zahtevom). Ovoj periodičnosti odgovara cena  $A=A_{C \max}$ .

3. Na osnovu maksimalne ekonomičnosti. Naime, formira se funkcija  $\eta(t) = \frac{\psi(t)}{\varphi(t)}$ , koja pokazuje, za svaku pe-

riodičnost preventivne aktivnosti, koliko se procenata raspoloživosti postiže ulaganjem jedne novčane jedinice. Njen maksimum ukazuje na optimalan period preventivne aktivnosti. Ipak,



Sl. 4 — Određivanje optimalnog perioda održavanja

valja naglasiti da je ova metoda nepraktična. S obzirom na tok funkcija  $C=\varphi(p)$  i  $A=\psi(p)$  može se desiti da funkcija  $\eta(p)$  nema izražen maksimum, što otežava donošenje odluke. Osim toga, moglo bi se desiti da eventualni maksimum ove funkcije pada u područje vrlo visokih periodičnosti, čime bi kriterijum postao neupotrebljiv.

4. Na osnovu eksploatacionih troškova. Pretpostavlja se da je za izvršenje zadatka potreban vozni park od  $N$  vozila, tj. bez obzira na periodičnost preventivne aktivnosti mora se obezbediti  $N$  raspoloživih vozila u momentu poziva na upotrebu. To podrazumeva postojanje određenog broja rezervnih vozila, tj. potrebno je imati uku-

pno  $S$  vozila, gde je  $S = \frac{N}{A}$ . Drugim rečima, mora se nabaviti  $R$  rezervnih vozila gde je:

$$R = S - N = \frac{N}{A} - N = \frac{N - NA}{A}$$

Cena ove rezerve za vozni park od  $N$  vozila je:

$$C_{RN} = \frac{N - NA}{A} \cdot \frac{C_v}{T_{amort}} = \frac{N}{A} \cdot \frac{C_v}{T_{amort}} - N \cdot \frac{C_v}{T_{amort}}$$

gde je:

$C_v$  — cena jednog vozila,

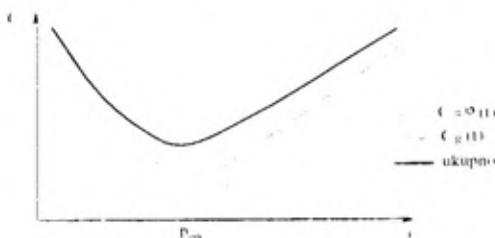
$T_{amort}$  — »životni« (eksploatacioni) vek vozila (rezervnog) izražen u godinama.

To znači da za svako vozilo iz voznog parka treba obezbediti sredstva u visini od  $C_R$  novčanih jedinica za nabavku potrebne rezerve:

$$C_R(t) = \left( \frac{1}{A_t} - 1 \right) \cdot \frac{C_v}{T_{amort}}$$

Funkcija  $C_R(t)$  je rastuća, jer za veće vrednosti  $t$  opada  $A$  (slika 5), čime raste član  $\frac{1}{A}$ . Ukupni troškovi ovako koncipiranog sistema održavanja su:

$$C(t) = C_R(t) + \varphi(t)$$



Sl. 5 — Primena metode rezerve u određivanju periodičnosti

Očigledno je da svi navedeni kriterijumi zahtevaju poznavanje funkcija  $C=\varphi(p)$  i  $A=\psi(p)$ .

Određivanje toka ovih funkcija izuzetno je složeno. Na njega utiče čitav niz faktora, kao što su troškovi preventivne aktivnosti, troškovi korektivne

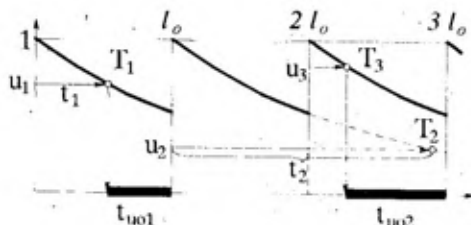
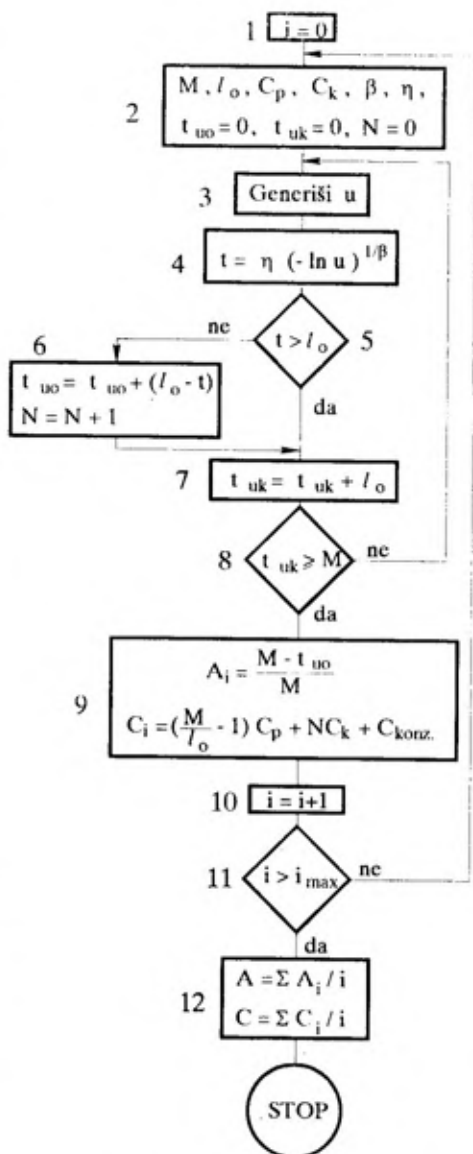
aktivnosti, funkcija raspodele pojedinih otkaza u vremenu, itd. Korišćenje analitičkih metoda uslovalo bi i značajna uprošćenja, koja bi olakšala matematički opis problema, ali bi neminovno rezultirala i određenom greškom izlaznog rezultata. Zbog toga se ovde pristupilo određivanju navedenih krivih primenom metoda simulacije (metoda Monte Karlo). Ova metoda se sve češće koristi za rešavanje složenih zadataka koji spadaju u »matematički teško ukrotivu kategoriju«. To su, najčešće, problemi pri čijem rešavanju treba uzeti u obzir mnogo faktora. Korišćenjem ove metode simulacije, uz pomoć elektronskog računara, dobija se veliki broj realizacija istraživanog procesa, a zatim se te realizacije podvrgavaju statističkoj obradi.

### Određivanje funkcija raspoloživosti i cene metodom simulacije

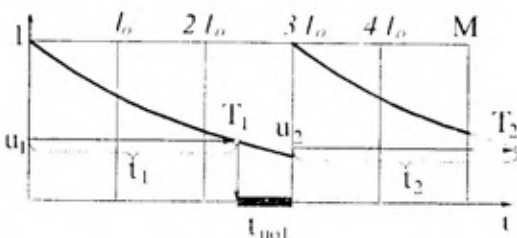
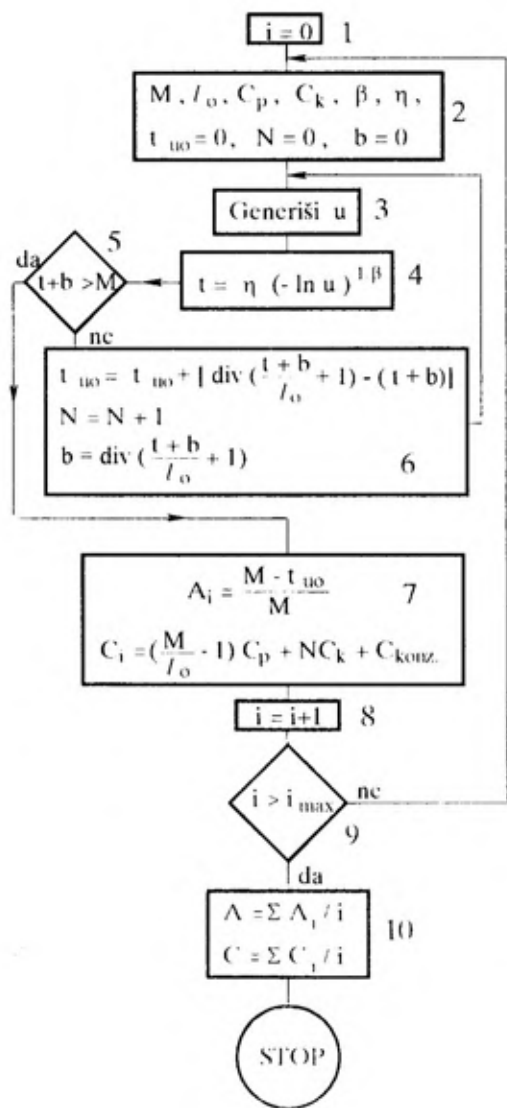
Uz pretpostavku da je navedena simulaciona metoda opštepoznata, ovde će biti prikazan samo način njene primene na probleme održavanja.

Pretpostavka je da se optimizacija sistema održavanja vrši samo na osnovu jednog otkaza, čiji je zakon raspodele poznat (npr. Weibulova raspodela sa poznatim parametrima  $\beta$  i  $\eta$ ). Takođe, pretpostavlja se da je posmatrani sklop obnovljen posle svakog periodičnog pregleda, bez obzira na to da li je konstatovan otkaz ili ispravno stanje. Proces i algoritam određivanja funkcija raspoloživosti ( $A$ ) i cene ( $C$ ) prikazani su na slici 6. U računar se unose potrebni početni podaci (cene preventivnih i korektivnih aktivnosti, početni period preventivne aktivnosti, period rekonzervacije i slično), kao i parametri raspodele otkaza u vremenu. Računar generiše pseudoslučajni broj  $u_i$  i na osnovu njega pronalazi vreme do otkaza  $t_i$ . Vreme sistema U OT-

KAZU  $t_{uo1}$  je period između tako određene tačke i trenutka izvođenja periodične aktivnosti. Ukoliko je  $t_i$  veće od



Sl. 6 — Proces i algoritam određivanja  $A_{(p)}$  i  $C_{(p)}$



Sl. 7 — Proces i algoritam određivanja  $A(p)$  i  $C(p)$

analizirane periodičnosti  $l_o$ , to znači da je preventivna aktivnost preduhitrila otkaz, pa je  $t_{uoi}=0$ . Pseudoslučajni broj generiše se kod svake periodične aktivnosti ( $t=l_o, 2l_o, 3l_o, \dots$ ). Računar sabira vreme U OTKAZU, broji otkaze i nakon  $i$  — ponavljanja ovog postupka izračunava  $A$  i  $C$  za pomenutu periodičnost  $p=l_o$ . Variranjem vrednosti  $p$  ( $p=l_o+\Delta l$ ) dobijaju se kompletne krive  $A=A(t)$  i  $C=C(t)$ .

Ukoliko se sistem obnavlja samo nakon pregleda koji je otkrio otkaz, određivanje vrednosti  $C$  i  $A$  teče po nešto izmenjenoj šemi (slika 7). Računar, takođe, generiše pseudoslučajni broj  $u_i$  i na osnovu njega pronalazi vreme do otkaza  $t_i$ . Vreme sistema U OTKAZU  $t_{uoi}$  je period između tako određene tačke i trenutka izvođenja prve naredne periodične aktivnosti koja će uočiti otkaz. Ako ta tačka pada iza tačke  $M$  (trenutak rekonverzije), to znači da je otkaz preduhitren, pa je  $t_{uoi}=0$ . Pseudoslučajni broj  $u_i$  generiše se samo u trenutku preventivnih aktivnosti koje su otkrile otkaz i nakon intervencije obnovile sistem. Dalji proces određivanja kompletnih krivih  $A=A(t)$  i  $C=C(t)$  (ponavljanje postupka i puta i variranje periodičnosti  $p$ ) identičan je prethodnom slučaju.

Metoda simulacije može se koristiti i pri određivanju  $A(p)$  i  $C(p)$  pri postojanju više otkaza koji simultano utiču na stanje vozila. Za svaki otkaz računar ponavlja jedan od opisanih postupaka i memoriše periode na vremenskoj osi (u obliku parova  $x_i$  i  $y_i$ ) u toku kojih je postojao neki otkaz. Periodi u kojima je vozilo bilo U OTKAZU dobijaju se kao unija skupova ( $x_i$  i  $y_i$ ) — slika 8.

Pri tome je:

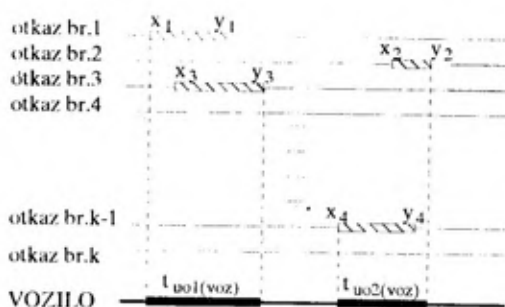
$$C = \left( \frac{M}{l_o} - 1 \right) C_p + C_{lk} N_1 + \dots + C_{kk} N_k + C_{konz}$$

$$A = \frac{M - t_{uoi}(\text{voz})}{M} = 1 - \frac{t_{uoi}(\text{voz})}{M}$$

gde su:

$C_p$  i  $C_{ik}$  — cene preventivne i i-te korektivne aktivnosti.

Radi provere navedenih postavki formiran je precizan matematički aparat za optimizaciju konceptijske komponente sistema održavanja razmatranih sredstava. Aparat je podržan i softverskim paketom RASPOLOZ koji, osim optimalnog rasporeda aktivnosti održavanja i njihove optimalne periodičnosti, ukazuje i na kritične otkaze koji su najviše uticali na pad raspoloživosti i porast troškova održavanja.



Sl. 8 — Vreme vozila u otkazu

Za potrebe tog aparata definiše se načelan sistem održavanja. Na usklađivanom vozilu obavlja se dve vrste pregleda: niži tehnički pregledi (NTP) bez startovanja motora i viši tehnički pregledi (VTP) sa startovanjem motora. Uočeni otkazi otklanjaju se odmah. Spisak operacija NTP i VTP posebno će se definisati, a njihove cene i trajanje unesu se u računar. Takođe, poznata su vremena i cena otklanjanja pojedinih otkaza.

Sistem će biti tako koncipiran da vremenski period između dva pregleda ima dužinu  $p$  — meseci. Nakon  $k$  — izvršenih NTP obavlja se jedan VTP. Nakon  $M$  — meseci obavlja se rekonverzija i ponavljanje procesa.

Na vozilu se mogu dogoditi 33 vrste otkaza koji su nezavisni jedan od drugog. Svi otkazi podležu Vejbulovoj raspodeli, s tim što su parametri ras-

podele za pojedine otkaze različiti. Pored ovih podataka, u računar se unose i sledeći podaci:

— da li se otkaz može otkriti pri NTP ili samo pri VTP;

— da li svaki pregled obnavlja sistem, ili samo onaj koji je otkrio otkaz i rezultirao opravkom;

— da li navedeni otkaz utiče na raspoloživost vozila;

— cena otklanjanja otkaza;

— vreme otklanjanja otkaza;

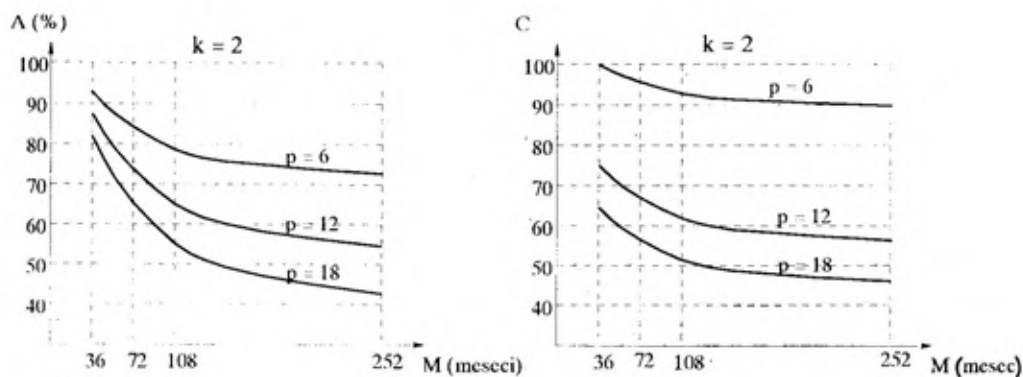
— potrebni rezervni delovi za otklanjanje otkaza.

Ovi elementi imaju ulogu polaznih podataka i moraju biti određeni eksperimentalnim putem u realnim uslovima.

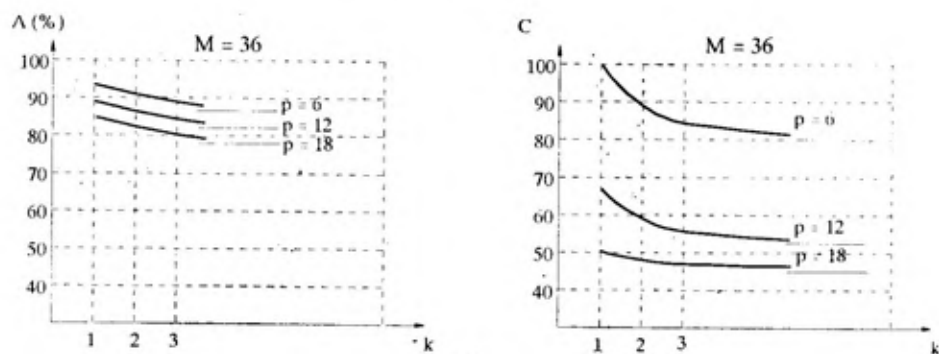
Primenom opisane metode računar obavlja traženi broj simulacija, izračunava cene i raspoloživosti, varirajući pri tom veličine  $p$ ,  $k$  i  $M$ . Za veliki broj kombinacija ( $p$ ,  $k$ ,  $M$ ) računar daje tabelarni prikaz troškova održavanja ( $C$ ) i ostvarene raspoloživosti ( $A$ ). Ovi podaci mogu se prikazati dijagramski i primenjuju se na način prikazan na slikama 4 pod a, 4 pod b i 5.

Za izabranu varijantu ( $p^+$ ,  $k^+$ ,  $M^+$ ) računar daje specifikaciju i količinu rezervnih delova po jednom vozilu, prosečno vreme trajanja i broj pojedinih otkaza. Ovi podaci mogu se koristiti za finu regulaciju sistema održavanja.

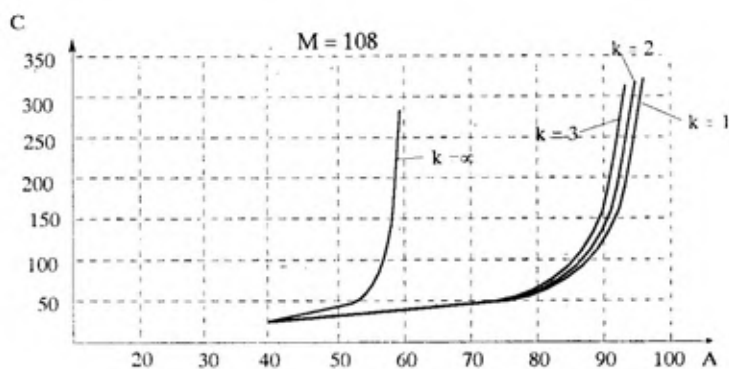
Kako navedeni model izračunava raspoloživost i troškove za čitav niz kombinacija ( $p$ ,  $k$ ,  $M$ ), kao rezultat se dobija familija krivih tipa  $A = \psi(p, k, M)$  i  $C = \varphi(p, k, M)$ . Iz njih je moguće konstruisati i krive međuzavisnosti pojedinih veličina, i na osnovu njih rasuđivati o značaju pojedinih uticajnih faktora. Nekoliko takvih krivih prikazano je na slici 9: slike pod a) ukazuju na pad cene i raspoloživosti povećanjem perioda rekonverzije, slike pod b) prikazuju pad cene i raspoloživosti povećanjem broja NTP između dva VTP, a slika pod c) pokazuje vezu između raspoloživosti i cene.



a)



b)



c)

Sl. 9 — Funkcije međuzavisnosti pojedinih karakteristika sistema održavanja

## Zaključak

Iz navedenih razmatranja može se zaključiti da je održavanje motornih vozila u periodu skladištenja neophodno, a da je varijanta preventivnog održavanja višestruko povoljnija od isključivo korektivne varijante. Pri tome je neophodno pravilno odrediti periodičnost i sadržaj pojedinih preven-

tivnih zahvata, u čemu veliku pomoć pruža metoda simulacije i prikazani simulacioni model. Krive prikazane na slici 9 upozoravaju da pri formiranju sistema održavanja treba biti prilično obazriv, jer pogrešno odabiranje uticajnih faktora može dovesti do višestruko nepovoljnih izlaznih karakteristika tog sistema.

## Literatura:

- [1] Todorović, J., Zalenović, D.: Efektivnost sistema u mašinstvu. Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [2] Todorović, J.: Osnovi teorije održavanja, Mašinski fakultet Beograd, 1984.
- [3] Jorgenson, McCall, Radner: Optimal replacement policy, Nort Holand New York, 1974.
- [4] Todorović, J., Kodžopeljić, J.: Kvalitet sistema održavanja TMS i njegov uticaj na b/g, VTG 2/85.
- [5] Stanković, R.: Simulacioni metod za izbor periodičnosti održavanja m/v, VTG 6/86.
- [6] Popović, Z.: Optimizacija sistema održavanja m/v za vreme dugotrajnog skladištenja, Magistrski rad, Beograd, 1988.

**Dr Svetomir Minić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Odeljenje za naučnoistraživačku delatnost GS VJ,  
Beograd

**Dr Živan Arsenić,**  
profesor, dipl. inž.

**Dr Jovan Todorović,**  
profesor, dipl. inž.  
Mašinski fakultet,  
Beograd

## TRADE-OFF MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.573:519.872

### Rezime:

Razvijen je složeni model preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi »kompromisa« kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova. Za različite odnose troškova preventivnog i korektivnog održavanja dobijeni su rezultati simuliranja modela. Postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«) određen je »optimalni« interval postupaka preventivnog održavanja.

Ključne reči: model održavanja, simulacija, interval održavanja, kompromisni izbor rešenja.

## THE TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE TRADE-OFF MODEL

### Summary:

A complex technical system preventive maintenance model based on a »trade-off« between maximum availability and cost-effectiveness criterions was developed. The model simulation results are obtained for different relations of preventive and corrective maintenance costs. The optimal interval of preventive maintenance activities is obtained by the »trade-off« analysis.

Key words: maintenance model, simulation, maintenance interval, trade-off.

### Uvod

Modeli preventivnog održavanja tehničkih sistema zasnivaju se na pokazateljima pouzdanosti i kriterijumima optimizacije sa stanovišta maksimalne gotovosti ili minimalnih troškova na osnovu kojih se, rešavanjem matematičkog modela, dobija »optimalno« rešenje za odlučivanje o trenutku kada treba sprovesti postupke preventivnog održavanja [1, 2].

Koristeći posebno razvijen programski paket [3, 4] za simulaciju modela preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti (MAXGOT) i modela na osnovu krite-

rijuma minimalnih troškova (MIN-TRO), [1] dobijeni su, za ulazne podatke iz realnog sistema održavanja i različite odnose troškova preventivnog i korektivnog održavanja ( $C_p/C_k$ ), rezultati simulacije definisanih matematičkih modela u grafičkom i analitičkom obliku.

Postupkom »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«), [1, 5], određen je »optimalni« interval postupaka preventivnog održavanja posmatranih elemenata sistema, na vremenskom intervalu definisanom ekstremnim vrednostima kriterijumskih funkcija gotovosti i troškova.

## Model MAXGOT

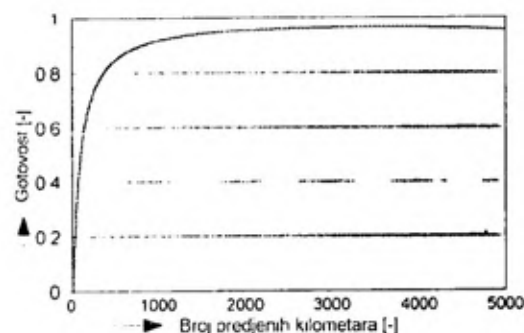
Modelom MAXGOT [1] definiše se izraz za gotovost, čijim se rešavanjem dobija optimalni interval preventivnog održavanja koji obezbeđuje maksimalnu gotovost tehničkog sistema.

Matematički model MAXGOT ima oblik [1]:

$$G(t) = \frac{t_r}{t_r + t_0} = \frac{t_r}{t_r + t_p + t_k} = \frac{t_r}{t_r + t_p + \frac{F(t)}{R(t)} \cdot t_p} \quad (1)$$

gde je:

- $G(t)$  — gotovost,
- $t$  — interval preventivnog održavanja,
- $t_r$  — vreme »u radu«,
- $t_0$  — vreme »u otkazu«,
- $t_p$  — vreme preventivnog održavanja,
- $t_k$  — vreme korektivnog održavanja,
- $F(t)$  — funkcija nepouzdanosti,
- $R(t)$  — funkcija pouzdanosti.



Sl. 1 — Rezultati simulacije modela MAXGOT

Dakle, za rešavanje modela MAXGOT neophodno je poznavati vreme preventivnog i korektivnog održavanja i funkciju nepouzdanosti posmatranog elementa sistema.

Rezultati simulacije modela MAXGOT dobijaju se u obliku dijagramskog prikaza funkcije gotovosti, čija ekstremna vrednost definiše optimalni interval preventivnog održavanja. U konkretnom primeru simulacije (slika 1), dobijen je grafik funkcije gotovosti.

## Model MINTRO

Model MINTRO (model Vajsbauma) [1, 5] zasniva optimizaciju procesa održavanja na kriterijumu minimalnih troškova održavanja.

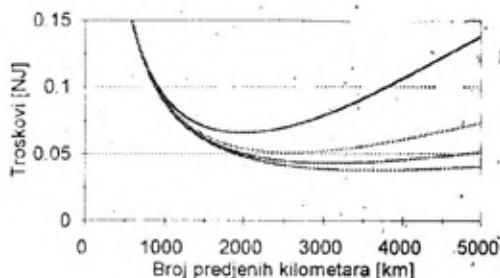
Matematički model MINTRO ima oblik [1]:

$$C(t) = \frac{C_k - (C_k - C_p) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t) dt} \quad (2)$$

gde je:

- $C(t)$  — ukupni troškovi održavanja,
- $C_p$  — troškovi preventivnog održavanja,
- $C_k$  — troškovi korektivnog održavanja,
- $R(t)$  — zakon pouzdanosti posmatranog elementa.

Modelom MINTRO određuju se ukupni troškovi održavanja  $C(t)$  svedeni



Sl. 2 — Rezultati simulacije modela MINTRO

na jedinicu rada u zavisnosti od vremena rada do pojave otkaza. Za rešavanje modela neophodno je poznavati troškove korektivnog i preventivnog održavanja i funkciju pouzdanosti posmatranog elementa. Optimalni interval preventivnog održavanja egzaktno je definisan minimumom funkcije troškova.

Kao rezultat simulacije modela MINTRO dobijeni su dijagrami funkcije troškova u zavisnosti od vremena rada sistema, za razne vrednosti odnosa troškova preventivnog i korektivnog održavanja ( $C_p/C_k$ ), (slika 2).

### Trade-off model održavanja

U literaturi, koliko je poznato, nisu dostupni matematički modeli koji povezuju kriterijume gotovosti i troškova, kao kompromisno rešenje optimizacije, odnosno, razmena koja ide od jednog u korist drugog kriterijuma (»trade-off«), kojem se teži. Postupak optimizacije zahteva da se prethodno precizno definišu kriterijumi prema kojima treba odabrati »najbolje« rešenje, odnosno »optimalno« rešenje za interval preventivnog održavanja, kao i bitna ograničenja o kojima treba voditi računa.

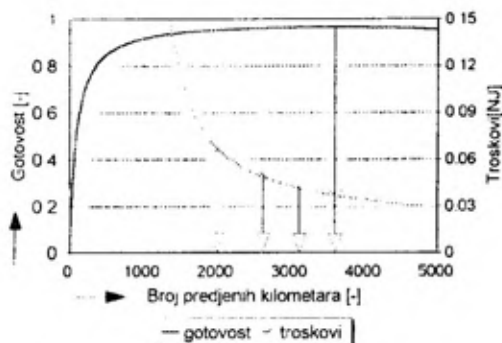
Prema [1] »optimalno« je ono rešenje koje pruža najveću gotovost posmatranog tehničkog sistema i »optimalno« je ono rešenje koje daje najmanje troškove održavanja.

Kriterijum gotovosti i kriterijum troškova ne mogu se, međutim, istovremeno uzeti u obzir, jer se ne može postići maksimalna gotovost uz minimalne troškove održavanja. Umesto toga, moguće je postići maksimalnu gotovost pri zadatim troškovima održavanja ili minimizirati troškove održavanja pri zadatoj gotovosti.

Drugim rečima, kada se optimizacija vrši prema kriterijumu gotovosti, najveći dozvoljeni troškovi predstavljaju ograničenja, a u obrnutom slučaju, ako su troškovi održavanja definisani kao kriterijum optimizacije, mini-

malni nivo gotovosti definiše se kao ograničenje [1, 5].

Radi rešavanja problema »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«), neophodno je rezultate simulacije modela MAXGOT (slika 1) i MINTRO (slika 2), sistematizovati kako je to prikazano na slici 3.



Sl. 3 — »Trade-off« model — »kompromisni izbor najpovoljnijeg rešenja za interval preventivnog održavanja«

Koristeći sistematizovane podatke (slika 3), a radi mogućnosti izbora »optimalnog« intervala preventivnog održavanja, neophodno je odrediti funkcionalne zavisnosti troškova ( $C_u(t_p)$ ) od vremena preventivnog održavanja ( $t_p$ ). Za iznalaženje ove zavisnosti korišćena je već dosada, za ovakve i slične potrebe, proverena metoda matematičkog modeliranja [6]. Dobijeni su sledeći modeli:

a) prema rezultatima dobijenim pomoću modela MINTRO:

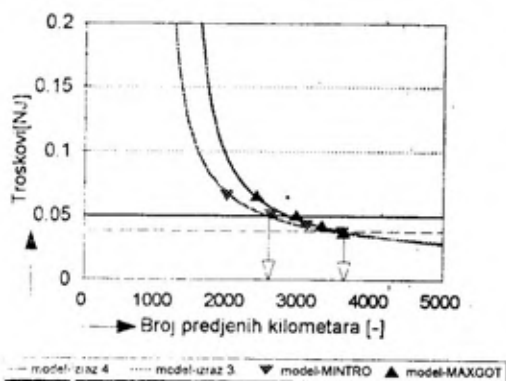
$$C_u(t_p) = \frac{0,048}{\ln(1,02 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (3)$$

b) prema rezultatima dobijenim prema modelu MAXGOT:

$$C_u(t_p) = \frac{0,038}{\ln(0,75 \cdot 10^{-3} \cdot t_p)} \quad (4)$$

Na slici 4 dati su dijagramski prikazi zavisnosti  $C_u(t_p) = f(t_p)$  dobijeni pomoću modela MAXGOT i MINTRO i

pomoću izraza (3) i (4), kao i intervali graničnih vrednosti »optimalnog« vremena preventivnog održavanja prema kriterijumu maksimalne gotovosti — donja linija i prema kriterijumu maksimalnih troškova — gornja linija.



Sl. 4 — Izbor »optimalnog« intervala preventivnog održavanja

Analizirajući rezultate prikazane na slici 4 može se konstatovati da primenjeni postupak matematičkog modeliranja obezbeđuje adekvatnu simulaciju zavisnosti  $C_u(t_p) = f(t_p)$ , čime se ostvaruje dobra osnova za usvajanje »optimalnog« intervala preventivnog održavanja. Za navedeni primer simulacije usvaja se »optimalni« interval preventivnog održavanja  $t_{opt} = 3200$  km.

#### Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema - Maintainability Engineering, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Gertsbakh, I. B.: Models of Preventive Maintenance, North-Holland Publishing Company, Amsterdam-New York-Oxford, 1977.
- [3] Arsenić Z., Vasić B.: Efektivnost tehničkih sistema-rešavanje karakterističnih problema primenom računara, Mašinski fakultet Beograd, 1991.
- [4] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.

#### Zaključak

Kao rezultat razvijenog složenog modela preventivnog održavanja na osnovu kriterijuma maksimalne gotovosti i minimalnih troškova, dobija se, primenom tehnike simulacije i »kompromisnog izbora najpovoljnijeg rešenja« (»trade-off«) »optimalni« interval preventivnog održavanja, koji predstavlja relevantnu informaciju prilikom donošenja odluke korisnika za pravovremeno i efikasno preduzimanje postupaka preventivnog održavanja tehničkih sistema. Međutim, to je samo jedan novi pokušaj u načinu rešavanja problema, što, svakako, ukazuje na konstataciju da je u toku daljih istraživanja neophodno:

a) potvrditi, tj. proveriti opravdanost ovakvog načina usvajanja »optimalnog« vremena preventivnog održavanja na većem broju elemenata istih ili sličnih tehničkih sistema,

b) u slučaju pozitivnih rezultata iz zadataka navedenih u tački a), učiniti pokušaj iznalaženja sledećih metoda koje bi obezbedile iznalaženje, a ne usvajanje »optimalnog« vremena preventivnog održavanja,

c) izvršiti verifikaciju ostvarenih rezultata iz tačke b) u stvarnom procesu rada i održavanja nekog tehničkog sistema.

- [5] Minić, S., Arsenić, Z.: Razvoj modela preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi kompromisa kriterijuma gotovosti i troškova, XXII jugoslovenski simpozijum o operacionim istraživanjima, Donji Milanovac, 1995.
- [6] Arsenić, Z.: Istraživanja mogućnosti predviđanja funkcionalnih karakteristika frikcionih materijala za kočnice motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.

**Dr Miroslav Demić,**  
profesor, dipl. inž.\*  
Mašinski fakultet  
Kragujevac

**Mr Milinko Minić,**  
dipl. inž.  
SZR Abacus,  
Priboj

**Dr Milan Milovanović,**  
dipl. inž.  
Naučni saradnik Instituta  
za automobile, ZASTAVA,  
Kragujevac

## **PRIOLOG DEFINISANJU PARAMETARA GEOMETRIJE OSLANJANJA UPRAVLJAČKIH TOČKOVA TERETNIH MOTORNH VOZILA**

UDC: 629.113.5.027-44

### **Rezime:**

Geometrija oslanjanja upravljačkih točkova teretnih motornih vozila od velikog je značaja za eksploatacione karakteristike, jer utiče na upravljivost (stabilnost upravljačkih točkova), opterećenje elemenata sistema za upravljanje i oslanjanje i habanje pneumatika. Pomenuti fenomeni povezani su i sa zamorom vozača, pa se pravilnom izboru pomenutih parametara mora posvetiti posebna pažnja, kako u fazi projektovanja, tako i u toku održavanja vozila. U ovom radu učinjen je pokušaj da se razvije analitička metoda za određivanje orijentacionih vrednosti parametara geometrije u fazi projektovanja teretnih motornih vozila. Metoda je zasnovana na minimiziranju sile u poprečnoj sponi trapeza upravljačke osovine pri pravolinijskoj vožnji konstantnom brzinom, maksimiziranju momenata stabilizacije upravljačkih točkova pri njihovom zaokretanju u toku spore vožnje i minimiziranju momenta otpora zaokretanju upravljačkih točkova u mestu.

**Ključne reči:** vozilo, geometrija oslanjanja upravljačkih točkova, optimizacija.

## **A CONTRIBUTION TO DEFINITION OF SUSPENSION GEOMETRY PARAMETERS OF TRUCKS STEERING WHEELS**

### **Summary:**

Steering wheels suspension geometry of trucks is of great importance for operational characteristics, since it affects vehicles handling (stability of steering wheels), loading of steering system elements and suspension and support and wear of tires. The mentioned phenomena are related to driver's fatigue, so a considerable attention must be devoted, to the optimal choice of parameters both in the phase of design and during the trucks maintenance. In this paper an attempt was made to develop an analytical method for the determination of approximate values of the steering wheels suspension geometry parameters in the trucks design phase. The method is based on the minimization of forces in the lateral connecting rod of the steering shaft trapeze during the straight line motion with constant speed and on the maximization of the stabilizing moment of steering wheels during in slow drive as well as on the minimization of the moment of resistance to turning steering wheels at stand.

**Key words:** trucks, steering wheels suspension geometry, optimization.

### **Uvod**

Geometrija oslanjanja upravljačkih točkova pokazuje značajan uticaj na opterećenje sistema za upravljanje,

vibracije i stabilnost upravljačkih točkova, habanje pneumatika, moment otpora zaokretanju u mestu, moment na točku upravljača (u vezi sa zamorom vozača), itd. Bliža definicija i objašnjenja pomenutih pojmova dati su u radovima [2, 3, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14], pa

\* Akademik Akademije transporta Ruske Federacije.

se ovde neće detaljnije izlagati. Na osnovu izloženog može se zaključiti da je ovom problemu neophodno posvetiti maksimalnu pažnju, kako u fazi projektovanja, tako i u fazi održavanja teretnih vozila.

Kao što je poznato, u fazi izrade idejnog projekta teretnog vozila mnogi njegovi parametri nisu poznati. Zbog toga se geometrija oslanjanja upravljačkih točkova (GUT) najčešće, u ovoj fazi razvoja projekta, definiše po analogiji sa sličnim već izvedenim rešenjima. Međutim, pored analognih tehničkih rešenja, projektanti moraju raspolagati i analitičkom metodom za brzo definisanje orijentacionih vrednosti parametara geometrije, čija bi se konačna optimizacija obavila uz korišćenje eksperimentalnih postupaka (ispitivanje prototipova, nulta serija) [3].

## Metod

Ideja za optimizaciju geometrije oslanjanja upravljačkih točkova data je u [6], a izbor njenih parametara, u ovom radu, izvršen je primenom metode »STOHAŠTIČKE PARAMETARSKÉ OPTIMIZACIJE«. radi:

— minimizacije sile u sponi trapeza upravljačke osovine pri pravolinijskom kretanju vozila;

— maksimizacije momenta stabilizacije usled podizanja prednjeg kraja vozila pri maksimalnom zaokreta-

nju upravljačkih točkova i minimalnim brzinama kretanja vozila;

— minimizacije momenta otpora  
zaokretanju upravljačkih točkova u  
mestu.

*Sila u poprečnoj sponi trapeza  
pri pravolinijskom kretanju vozila*

U radu je analiziran uticaj otpora kotrljanja i bočnih sila od konvergencije točkova na veličinu sile u sponi trapeza upravljačke osovine. Na slici 1 šematski su prikazani parametri geometrije u horizontalnoj (a), vertikalnoj (b) i bočnoj ravni (c).

Komponenta radijusa zaokretanja  
točka usled  $\gamma$ ,  $\gamma$  i  $\delta$  data je izrazom:

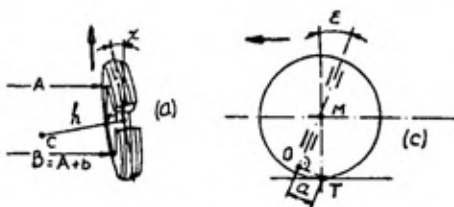
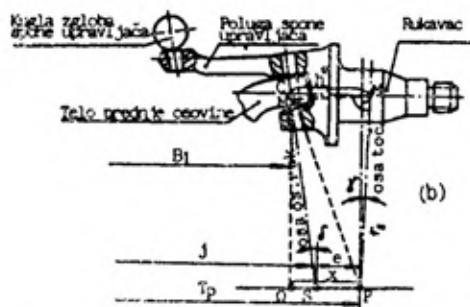
$$e = \overline{SP} = \overline{PQ} - \overline{SQ} = h \cos \chi (\cos \gamma - \sin \gamma \operatorname{tg} \delta) - r_s (\sin \gamma + \cos \gamma \operatorname{tg} \delta) \quad (1)$$

Komponenta radijusa zaokretanja  
točka usled zatura točka data je izrazom:

$$d = \overline{CS} \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\overline{OC}}{\cos \delta} \operatorname{tg} \varepsilon = (r_s \cos \gamma + h \sin \gamma \cos \chi) \frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{\cos \delta} \quad (2)$$

Poluprečnik zaokretanja [7] definiše izraz:

$$r_0 = \sqrt{e^2 + d^2} \quad (3)$$



- $h$  - dužina rukavca,
- $r_s$  - statički poluprečnik pneumatika,
- $\gamma$  - ugao bočnog nagiba točka,
- $\chi$  - ugao konvergencije (uvlačenje),
- $\delta$  - ugao bočnog nagiba osovin. rukavca

Sl. 1 — Šematski prikaz parametara geometrije oslanjanja desnog prednjeg točka

Sa slike 1 očigledna je i sledeća relacija:

$$a = \overline{MT} \sin \varepsilon = r_s \cos \gamma \sin \varepsilon \quad (4)$$

Kao što je poznato [6, 7, 8, 12], sila otpora kotrljanju ( $R_t$ ), pri pravolinijskom kretanju vozila malim i konstantnim brzinama na horizontalnom putu može se izračunati za oba upravljačka točka u obliku:

$$R_t = m_1 g f \quad (5)$$

gde je:

$m_1$  — masa vozila koja se preko prednjeg mosta prenosi na tlo,

$f$  — koeficijent otpora kotrljanju,

$g$  — ubrzanje Zemljine teže.

Bočna sila, usled konvergencije točkova, pod pomenutim uslovima kretanja vozila, približno se može odrediti izrazom:

$$Y_x = K_x m_1 g \chi \quad (6)$$

gde je:

$K_x$  — koeficijent povodenja pneumatika,

$m_1$  — masa vozila koja se preko prednjeg mosta prenosi na tlo,

$g$  — ubrzanje Zemljine teže,

$\chi$  — ugao konvergencije.

Radi daljeg izlaganja, na slici 2 šematski je prikazano delovanje pome-

$$h_L = h \cos(\gamma + \delta) \sin \delta \sin(1 - \cos \alpha_n) -$$

$$- r_1 \cos \gamma + r_1 \sqrt{1 - [\sin(\gamma + \delta) \cos \delta - \cos(\gamma + \delta) \sin \delta \cos \alpha_n]^2} \quad (8)$$

Slično se može izračunati i veličina podizanja desnog točka:

$$h_D = h \cos(\gamma + \delta) \sin \delta \sin(1 - \cos \beta_n) -$$

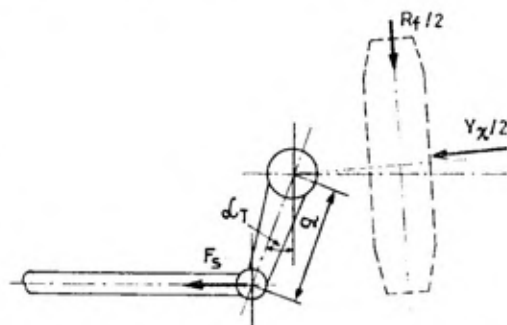
$$- r_1 \cos \gamma + r_1 \sqrt{1 - [\sin(\gamma + \delta) \cos \delta - \cos(\gamma + \delta) \sin \delta \cos \beta_n]^2} \quad (9)$$

Veličine  $\alpha_n$  i  $\beta_n$  izračunavaju se na osnovu izraza [11, 12]:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \delta} \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \delta}$$

nutih sila na desni upravljački točak. Sa slike se vidi da  $Y_x$  teži da istegne poprečnu sponu, a  $R_t$  da je sabije.



Sl. 2 — Šema sila na desnom upravljačkom točku

Na osnovu izraza (1—6) i slike 2 sila u sponi trapeza upravljačke osovine može se odrediti preko formule:

$$F_s = \frac{m_1 g (f r_0 - K_x \chi a)}{q \cos \alpha_T} \quad (7)$$

*Moment stabilizacije usled podizanja prednjeg kraja vozila*

Izrazi koji definišu ovaj moment poznati su iz literature [2, 3, 6, 7, 8, 11, 12], pa se neće posebno izvoditi, već će se dati kao gotovi.

Podizanje centra osovinice levog točka dato je izrazom [11, 12]:

$\alpha, \beta$  — odgovarajući uglovi zaokretanja levog i desnog točka,

$r_1$  — veličina koja približno odgovara maksimalnom poluprečniku naplatka,

$\gamma, \delta$  — odgovarajući uglovi geometrije oslanjanja upravljačkih točkova.

Prema [6, 7, 11, 12], a na osnovu izraza (8, 9), može se izračunati moment stabilizacije upravljačkih točkova pri maksimalnom zaokretanju vozila koje se kreće malim, konstantnim brzinama po horizontalnom putu:

$$M_s = \frac{h_L + h_D}{2} m_i g \quad (11)$$

gde  $m_i$  i  $g$  imaju ista značenja kao i u izrazima (5, 6, 7).

### *Moment otpora zaokretanju upravljačkih točkova*

U literaturi postoji više izraza za približno izračunavanje momenta otpora zaokretanju upravljačkih točkova [2, 3, 7, 13]. Ovdje je ocenjeno celishodnim da se koristi izraz iz [2, 7]:

$$M_z = M_L + M_D (i/\eta_o \eta_k) \quad (12)$$

gde je:

$M_L, M_D$  — momenti otpora zaokretanju levog i desnog točka,

$i$  — prenosni odnos trapeza upravljačke osovine,

$\eta_o, \eta_k$  — stepen iskorišćenja veze osovinice rukavca, odnosno zglobova poprečne spine trapeza.

Veličine  $M_L$  i  $M_D$  određuju se na osnovu izraza:

$$M_L = m_1 [f e + 0,14 \varphi r_s - h (tg \epsilon \cos \alpha - tg \delta \sin \alpha)] \frac{g}{2 \eta_o}$$

$$M_D = m_1 [f e + 0,14 \varphi r_s - h (tg \epsilon \cos \beta - tg \delta \sin \beta)] \frac{g}{2 \eta_o} \quad (13)$$

gde je:

$m_1, g, f, e, r_s, h, \epsilon, \delta, \alpha, \beta$  — ranije definisane veličine,  
 $\varphi$  — koeficijent pri-  
 anjanja.

Pri analizi je korišćen veći prenosni odnos trapeza [7]:

$$i = \frac{\sin (\Theta + \alpha + \tau)}{\sin (\Theta - \beta - \tau)} \quad (14)$$

gde je:

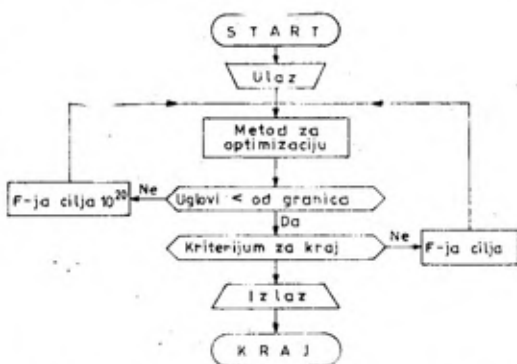
$$\Theta = 90 - \alpha_T;$$

$$tg \tau = \frac{q[\sin (\Theta + \alpha) - \sin (\Theta - \beta)]}{b_1 - q[\cos (\Theta + \alpha) + \cos (\Theta - \beta)]};$$

$b_1$  — rastojanje između osovinica rukavaca prednjeg mosta.

### *Metod optimizacije parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova*

Za određivanje minimalnih i maksimalnih vrednosti funkcije cilja korišćena je metoda Hooke-Jeevesa [1, 4, 5, 11], metoda spoljašnjih kaznenih funkcija i program razvijen u PASCALU (algoritam je prikazan na slici 3). U radovima [4, 5, 6] detaljno je obrađena procedura optimizacije.



Sl. 3 — Algoritam metode optimizacije

Primenom razvijenog programa na personalnom računaru PENTIUM, izračunavane su:

— minimalna vrednost sile u spojni trapeza (izraz 7),

— maksimalna vrednost momenta stabilizacije (izraz 11) i

— minimalna vrednost momenta otpora zaokretanju upravljačkih točkova (izraz 12).

U proces optimizacije uključene su i granične vrednosti parametara geometrije koje su date u tabeli 1 [6].

Tabela 1

|                                           |
|-------------------------------------------|
| $-1^{\circ} \leq \gamma \leq 5^{\circ}$   |
| $-2^{\circ} \leq \delta \leq 15^{\circ}$  |
| $-0,5^{\circ} \leq \chi \leq 0,5^{\circ}$ |
| $0^{\circ} \leq \epsilon \leq 10^{\circ}$ |

S obzirom na to da sve poznate metode stohastičke parametarske optimizacije konvergiraju ka najbližem ekstremu funkcije cilja, [1] proces optimizacije je započet sa tri grupe po-

četnih vrednosti [7, 8] izračunatih na osnovu relacija:

$$(a) \frac{|\min| + |\max|}{2},$$

$$(b) \frac{|\min + \max|}{3},$$

$$(c) 0,9 |\max|$$

gde su:

$|\min|$  i  $|\max|$  — minimalne i maksimalne vrednosti date u tabeli 1.

Metoda je proverena na primeru teretnog vozila FAP, čiji su parametri:  $m_1 = 7500$  kg (5000 kg),  $r_s = 0,577$  m,  $h = 0,161$  m,  $q = 0,230$  m,  $\alpha_T = 12^{\circ}$ ,  $b_1 = 1,75$  m,  $L = 4,45$  m,  $K_x = 5,40$  N/rad,  $\alpha/\beta = 33^{\circ}/40^{\circ}$ .

Tabela 2

Sila u sponi trapeza (izraz 7)

| Veličine              | a                   | b               | c               |
|-----------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                       | Optimalne vrednosti |                 |                 |
| $\gamma [^{\circ}]$   | 0,134 (0,134)       | 0,137 (0,137)   | 0,134 (0,134)   |
| $\delta [^{\circ}]$   | 14,987 (14,987)     | 14,984 (14,984) | 14,987 (14,987) |
| $\chi [^{\circ}]$     | 0,499 (0,499)       | 0,499 (0,499)   | 0,499 (0,499)   |
| $\epsilon [^{\circ}]$ | 9,992 (9,992)       | 9,992 (9,992)   | 9,992 (9,992)   |
| F, [N]                | -1044 (-696)        | -1043 (-695)    | -1044 (-696)    |

Tabela 3

Moment stabilizacije (izraz 11)

| Veličine            | a                   | b               | c               |
|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                     | Optimalne vrednosti |                 |                 |
| $\gamma [^{\circ}]$ | -0,995 (-0,995)     | -0,996 (-0,996) | -0,995 (-0,995) |
| $\delta [^{\circ}]$ | -1,993 (-1,993)     | -1,993 (-1,993) | -1,993 (-1,993) |
| M, [Nm]             | 6,45 (4,30)         | 6,45 (4,30)     | 6,45 (4,30)     |

Moment otpora zaokretanju u mestu (izraz 12)

| Veličine            | a                   | b               | c               |
|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                     | Optimalne vrednosti |                 |                 |
| $\gamma [^\circ]$   | 4,892 (4,892)       | 4,984 (4,984)   | 4,984 (4,984)   |
| $\delta [^\circ]$   | -1,986 (-1,986)     | -1,992 (-1,992) | -1,982 (-1,982) |
| $\epsilon [^\circ]$ | 9,969 (9,969)       | 9,969 (9,969)   | 9,969 (9,969)   |
| $M_r [\text{Nm}]$   | 5693 (3795)         | 5692 (3794)     | 5694 (3796)     |

Podaci u zagradama u tabelama 2, 3 i 4 odnose se na  $m_1 = 5000 \text{ kg}$ .

### Analiza dobijenih rezultata

Iz tabela 2, 3 i 4 može se videti da masa vozila utiče na minimalne ili maksimalne vrednosti posmatranih veličina, a zanemarljivo malo na optimalne vrednosti parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova. To se može objasniti činjenicom da razvijene metode ne uzimaju u obzir elastičnosti i prigušenja u sistemima za upravljanje i oslanjanje pneumaticima, kao i neravnine puta, vibracije, itd. Pored toga, uočljivo je da početne vrednosti neznatno utiču na optimalne vrednosti, što ukazuje na mogućnost da se za brzo izračunavanje parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova u fazi izrade idejnog projekta proces optimizacije obavi samo sa jednom grupom početnih vrednosti. U tom smislu formirana je tabela 5 sa graničnim vrednostima parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova, koje se primenjuju kod savremenih teretnih vozila [9].

Upoređivanjem podataka iz tabela 2, 3 i 4 i tabele 5 može se zaključiti da jedino metoda zasnovana na minimizaciji sile u sponi trapeza daje očekivane

Tabela 5

|                   |                   |                     |                 |
|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| $\gamma [^\circ]$ | $\delta [^\circ]$ | $\epsilon [^\circ]$ | $\chi [^\circ]$ |
| 0-1,5             | 3-9,5             | 0-3                 | 0-0,5           |

rezultate, pa može biti korišćena za brzo određivanje parametara GUT u fazi izrade idejnog projekta teretnog vozila. Ona, istovremeno, uključuje i uticaj sva četiri parametra GUT-a.

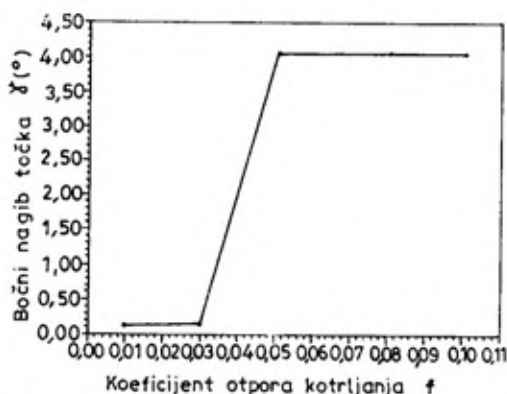
Uticaji dinamičkih pojava (inercijalne sile i momenti, vibracije) i neravnina puta su zanemareni, pa se izračunate veličine mogu koristiti kao orijentacione, dok se konačan izbor može izvršiti posle ispitivanja prototipa vozila.

Takođe, treba napomenuti da su projektanti vozila, odnosno sistema za upravljanje, u fazi izrade idejnog projekta teretnog vozila često suočeni sa nizom unapred zadatih tehničko-tehnoloških ograničenja (unifikacija prednjih osovin, isplativost serije, razmeštaj drugih sistema i agregata, različiti pneumatici i sl.), što dodatno otežava problem iznalaženja optimalnog rešenja.

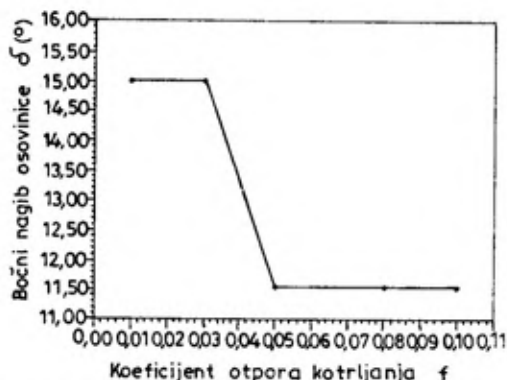
Ocenjeno je celishodnim da se izvrše i analize uticaja promene nekih konstruktivnih i eksploatacionih uslova na parametre geometrije oslanjanja upravljačkih točkova. U tom smislu, posebno je analiziran uticaj promene koeficijenta otpora kotrljanja, koeficijenta bočne krutosti pneumatika, koeficijenta prijanjanja, poluprečnika točka, osnovog rastojanja i mase vozila (osovinskog opterećenja).

Radi ilustracije, na slikama od 4. do 9. dat je prikaz uticaja  $f$ ,  $K_x$ ,  $r_s$  na uglove  $\gamma$ ,  $\delta$  i  $\epsilon$ . Pri tome treba napomenuti da ostale posmatrane veličine nisu uticale na geometriju oslanjanja upravljačkih točkova, već samo na veličinu sile u sponi trapeza upravljača, moment usled podizanja prednjeg kraja vozila i moment zaokretanja točkova u mestu, pa zbog toga ovde nisu grafički prikazani.

Slike 4, 5. i 6. pokazuju da sa porastom  $f$  raste  $\gamma$ , a opadaju  $\delta$  i  $\epsilon$ . To govori o tome da bi sa promenom otpora puta trebalo menjati geometriju oslanjanja upravljačkih točkova ( $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), što bi u praksi izazvalo velike probleme, pa se zbog toga to ne čini.

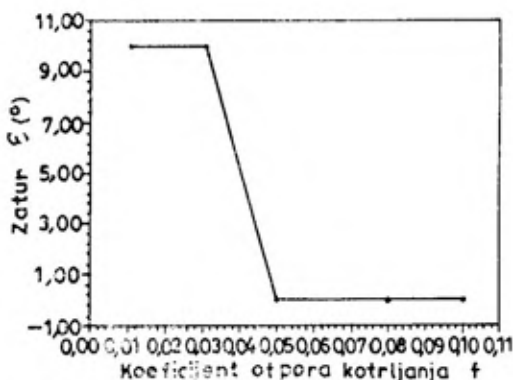


Sl. 4 — Uticaj koeficijenta otpora kotrljanja na bočni nagib točka



Sl. 5 — Uticaj koeficijenta otpora kotrljanja na bočni nagib osovine rukavca

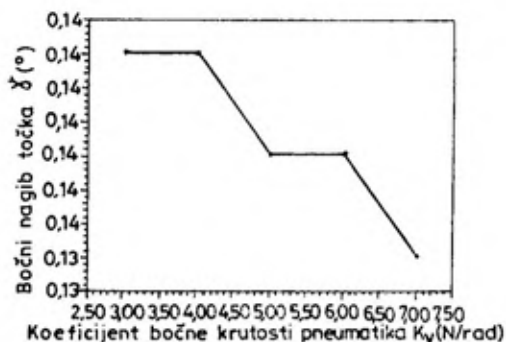
Na slici 7. prikazan je uticaj koeficijenta bočne krutosti na ugao  $\gamma$ . Očigledno je da se porastom  $K_x$  (bočno krući pneumatici) on opada. To govori o tome da bi sa promenom vrste pneumatika ili pritiska vazduha trebalo menjati i ugao bočnog nagiba točkova, što se u praksi ne može činiti iz konstruktivnih razloga.



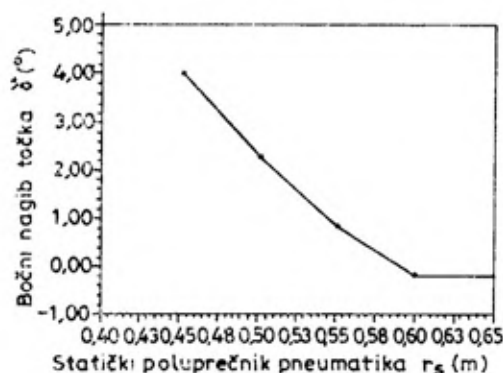
Sl. 6 — Uticaj koeficijenta otpora kotrljanja na zatur točka

Na kraju, slike 8. i 9. pokazuju kako promena poluprečnika točka  $r_s$  utiče na  $\gamma$  i  $\delta$ . Očigledno je da porast  $r_s$  dovodi do opadanja  $\gamma$  i  $\delta$ . To, praktično, znači da bi sa promenom poluprečnika točkova trebalo promeniti i geometriju ( $\gamma$  i  $\delta$ ), što kod već izvedenih vozila nije moguće.

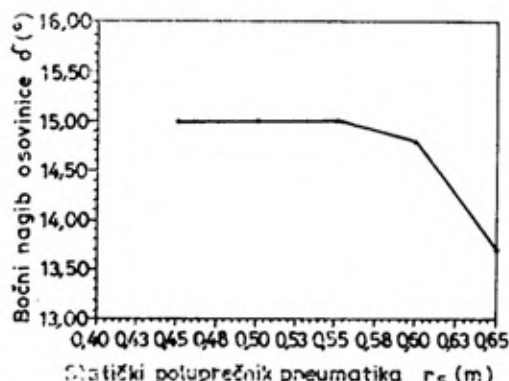
Prethodna analiza pokazuje da se, još u fazi idejnog projektovanja, mo-



Sl. 7 — Uticaj koeficijenta povođenja pneumatika na bočni nagib točka



Sl. 8 — Uticaj poluprečnika točka na ugao bočnog nagiba točka



Sl. 9 — Uticaj poluprečnika točka na ugao bočnog nagiba osovinice rukavca

#### Literatura:

- [1] Bunday, P.: Basic Optimization Methods, Spottiswoode Ballantyne, Colchester and London, 1984.
- [2] Viskilj, S. i dr.: Gruzovije avtomobil, Mašinstroenie, Moskva, 1979.
- [3] Gincburg, L. i dr.: Metodika opredelenia optimalnih uglov ustanovki upravljajemih koles, Avtomobilnaja promišlenost 3., 1970.
- [4] Demić, M.: Optimization of Vehicles Elasto-Damping Elements Characteristics from the Aspect of Ride Comfort, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 23., 1994, pp. 351–377.
- [5] Demić, M.: Optimization of Characteristics of Elasto-Damping Elements of Cars from the Aspect of Comfort and Handling, *Internal Journal of Vehicle Design*, Vol. 13., No 1, 1982.
- [6] Demić, M., Minić, M., Savić, R.: Analitičko definisanje parametara geometrije upravljačkih točkova u fazi projektovanja teretnih vozila SIS — FAP, Priboj, 1993.
- [7] Janković, D., Todorović, J.: Teorija kretanja motornih vozila, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [8] Milidrag, S., Casnji, F., Muzikravić, V., Požnanović, N.: Sistemi upravljanja motornih vozila, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.
- [9] Minić, M.: Sistemi za upravljanje teretnih vozila, ABC glasnik, Beograd, 1992.
- [10] Mitschke, M.: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, Springer Verlag, 1983.
- [11] Petrić, J.: Nelinearno programiranje, Beograd, 1979.
- [12] Savić, R.: Istraživanje metoda ispitivanja dinamičke čvrstoće spona za realne eksploatacione uslove rada sistema upravljanja automobila, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1988.
- [13] Simić, D.: Dinamika motornih vozila — stabilnost upravljanja, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
- [14] Simić, D.: *Motorna vozila*, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [15] Hachaturov, A. i dr.: *Dinamika sistemi: dorogašina-avtomobilj-voditelj*, Mašinstroenie, Moskva, 1975.

raju imati u vidu pretežno zastupljeni eksploatacioni uslovi, jer je u odnosu na njih neophodno definisati optimalne parametre geometrije oslanjanja u pravljačkih točkova.

#### Zaključak

Na osnovu izvršenih istraživanja, može se zaključiti:

— poznate metode optimizacije mogu se koristiti za određivanje orijentacionih vrednosti parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova u fazi izrade idejnog projekta vozila;

— razvijena metoda, zasnovana na minimiziranju sile u sponi trapeza u pravljačke osovine, pri pravolinijskoj vožnji, uz korišćenje realnih konstrukcionih ograničenja, dovodi do prihvatljivih vrednosti parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova, neophodnih u fazi izrade idejnog projekta vozila;

— konačan izbor optimalnih parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova mora se vršiti ispitivanjem prototipova vozila u stvarnim eksploatacionim uslovima. Imajući u vidu značaj koji ovi parametri imaju na ukupno ponašanje vozila, neophodno ih je u toku eksploatacije održavati u optimalnim granicama.

## **PRIMENA NUMERIČKIH METODA ZA PREDIKCIJU BUKE IZDUVNOG SISTEMA MOTORA SUS**

UDC: 621.432.065:534.832

### **Rezime:**

*U radu je prikazana numerička metoda za predikciju buke izduvnog sistema motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Motor je modeliran sistemom nelinearnih diferencijalnih jednačina a izduvni sistem linearnim diferencijalnim jednačinama. Uspostavljena je korelacija matematičkih modela motora i izduvnog sistema korišćenjem početnih graničnih uslova. Sistemi jednačina rešavaju se eksplicitnim postupkom, korišćenjem osnovnih termodinamičkih procesa u cilindru i veličinom akustičkog polja u izduvnom sistemu.*

**Ključne reči:** buka, izduvni sistem, numerička metoda, predikcija, motor.

## **NUMERICAL METHOD APPLICATION TO THE PREDICTION OF NOISE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE EXHAUST SYSTEM**

### **Summary:**

*A numerical method for the prediction of noise of the internal combustion engine exhaust system is presented in the paper. The engine has been modelled by the system of nonlinear differential equations while the exhaust system has been modelled by linear differential equations. The correlation between the engine mathematical models and the exhaust system has been established using initial boundary conditions. The systems of equations are solved by the explicit procedure using fundamental thermodynamic processes in the cylinder and the size of acoustic field in the exhaust system.*

**Key words:** noise, exhaust system, numerical method, prediction, engine.

### **Uvod**

Buka izduvnog sistema veoma je kompleksna a njeno formiranje rezultira mnogobrojnim ispitivanjima, pa je zbog toga poželjna primena metoda za izradu modela i predikciju performansi izduvnog sistema, kako bi se stvorila mogućnost njenog smanjenja još u fazi projektovanja.

Predikcija se zasniva na linearnom modelu izduvnog sistema koji je u funkciji nelinearnog modela motora. Mo-

tor je modeliran procesom sagorevanja i bilansom energije svakog cilindra.

Sistem nelinearnih diferencijalnih jednačina definiše modeliranje motora, a sistem linearnih diferencijalnih jednačina modeliranje izduvnog sistema. Matematički model motora je u korelaciji sa modelom izduvnog sistema, uz korišćenje odgovarajućih početnih i graničnih uslova. Glavne jednačine sistema rešavaju se eksplicitnim postupkom termodinamičkih procesa u cilindru i veličine akustičkog polja u izduvnom sistemu.

Redukcija buke izduvnog sistema je veoma kompleksna i rezultira mnogobrojnim ispitivanjima i izradom modela različitih oblika i materijala, što prouzrokuje povećanje troškova pri optimizaciji izduvnog sistema. Zbog toga je poželjna primena metoda za izradu modela i predikciju performansi izduvnih sistema, kako bi se stvorila mogućnost smanjenja buke još u fazi projektovanja.

Postoji nekoliko pristupa u primeni numeričkih analiza za akustičko modeliranje i predikciju buke izduvnog sistema. Biće razmatrana eksplicitna metoda integracije sa predviđanjem zvučnog polja unutar izduvnog sistema motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Veoma značajna osobina modela je uspostavljanje korelacije između termodinamičkih procesa u motoru i dinamičkih jednačina izduvnog sistema. Izduvni sistem je predstavljen kao niz međusobno povezanih akustičkih elemenata. Korišćena je teorija ravnog talasa za predikciju prenosa buke izduvnog sistema, uz pretpostavku konstantnog pritiska i održavanja mase.

Teorija sadrži pretpostavku da je talasna dužina velika u odnosu na poprečne dimenzije elemenata izduvnog sistema. Izduvni sistem motora je modeliran i analiziran, radi predikcije buke izduvnog sistema, koja se zasniva na linearnoj reakciji izduvnog sistema, koja zavisi od nelinearne reakcije motora. U tom kontekstu predikcija buke na određenom rastojanju od izlaza zadnje cevi, pretpostavlja da ubrzanje zapremine protoka izaziva prostiranje buke prostog izvora.

Posmatranjem modela cilindar — izduvni ventil date su jednačine za modeliranje termodinamičkog procesa u cilindru i izrazi za količinu protoka mase kroz usisni i izduvni ventil, u zavisnosti od zapremine, pritiska i temperature u cilindru.

Modelom cilindar — ventil prikazan je mehanizam za izračunavanje mehaničkih i termodinamičkih aspekata fluida sa predikcijom buke izduvnog sistema. Teorijsko razmatranje važi za četvorotaktne motore bilo kakvog rasporeda i broja cilindara i sa bilo kojim redom paljenja. Izračunavaju se protoci usisnog i izduvnog ventila za svaki cilindar, a vrednost količine protoka svakog izduvnog ventila cilindra korišćena je kao osnova za predikciju buke izduvnog sistema.

Zapremina cilindra kao funkcija vremena (ugla kolenastog vratila) određena je izrazom:

$$V = \frac{2\pi b^2}{4} \left( x + \frac{s}{\varepsilon - L} \right),$$

gde je:

$$x = \frac{s}{2} \left[ (L - \cos \omega t) + \frac{s}{4L} \sin^2 \omega t \right]$$

b — unutrašnji prečnik cilindra,

s — hod klipa,

L — dužina klipnjače,

$\varepsilon$  — stepen kompresije,

$$\varepsilon = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$V_h$  — radna zapremina,

$V_c$  — kompresiona zapremina,

$\Theta$  — ugao kolenastog vratila,

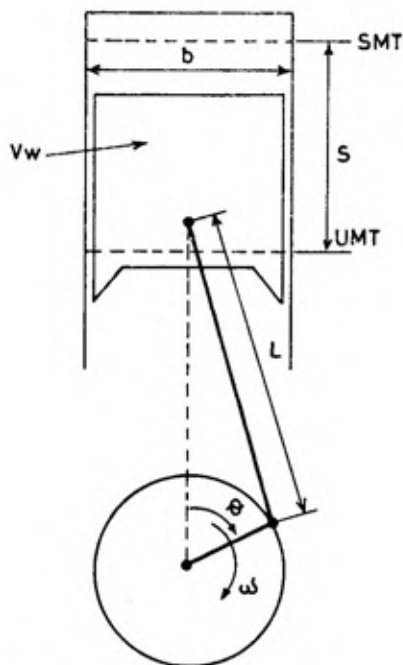
$\omega$  — ugaona brzina kolenastog vratila,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

n — broj obrtaja kolenastog vratila,

t — vreme (s).

Na slici 1 prikazane su osnovne geometrijske mere i navedeni parametri motora sa unutrašnjim sagorevanjem.



Sl. 1 — Kinematski sklop motora

Pretpostavka je da se zapreminski sadržaj usisne i izduvne cevi sastoji samo od čistog vazduha, koji se ponaša prema jednačini stanja za idealni gas koja glasi:

$$p_c \cdot V = m_c RT$$

gde je:

$p_c$  — pritisak u cilindru,  
 $V$  — zapremina cilindra,  
 $m_c$  — masa fluida u cilindru  
 $R$  — konstanta gasa,  
 $T$  — temperatura u cilindru.

Prema jednačini stanja za idealni gas izračunava se pritisak u cilindru, na osnovu  $V$ ,  $m_c$  i  $T$ . Ukupni stepen

promene mase zapremine cilindra određen je očuvanjem mase, koja definiše

$$\frac{dm_c}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_u$$

gde je:

$\dot{m}_i$  i  $\dot{m}_u$  — količine protoka kroz usisni i izduvni ventil, pri čemu je usvojena konvencija da je protok fluida kroz usisni ventil pozitivan a kroz izduvni negativan.

Količina protoka mase kroz usisni i izduvni ventil određuje se jednačinom za kompresibilni protok. Ova jednačina izvodi se iz jednodimenzionalne analize izentropskog protoka [1]:

$$\dot{m} = C_d \cdot C_2 \cdot T_u^{-\frac{1}{2}} \cdot A_o \cdot p_u \cdot f_1 \left( \frac{p_d}{p_u} \right)$$

gde je:

$\dot{m}$  — masena količina protoka,  
 $C_d$  — bezdimenzionalni koeficijent isticanja kroz otvore,

$$C_2 = g \sqrt{\frac{K}{R \left( \frac{K+1}{2} \right)^{\frac{K-1}{K+1}}}}$$

gde je:

$R$  — konstanta gasa,  
 $T_u$  — temperatura izduvnog gasa,  
 $A_o$  — površina protoka ventila,  
 $p_u$  — izduvni pritisak,  
 $p_d$  — usisni pritisak,  
 $K$  — koeficijent specifične toplote,  
 $f_1$  — funkcija  $p_d/p_u$ ,

$$f_1 = \frac{C_1}{C_2} \left[ \frac{p_d}{p_u} \right]^{\frac{1}{K}} \sqrt{1 - \left( \frac{p_d}{p_u} \right)^{\frac{K-1}{K}}}$$

kada je  $p_d/p_u > 0,528$  ili  
 $f_1 = 1,0$ , kada je  $p_d/p_u < 0,528$ .

Jednačine za  $m$  i  $f_1$  imaju sledeće granične uslove:

Ako je:

$$\begin{aligned} p_d &> p_c & p_u &= p_p \\ p_d &= p_c & T_u &= T_p \end{aligned}$$

Ako je:

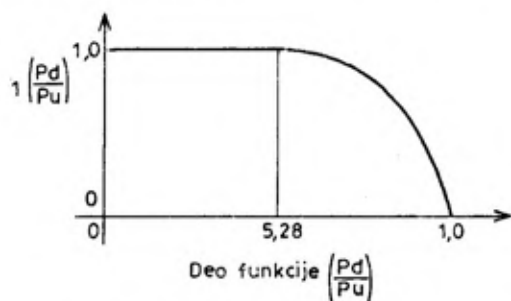
$$\begin{aligned} p_c &> p_p & p_u &= p_c \\ p_d &= p_p & T_u &= T_c \end{aligned}$$

Ako je:

$$p_c = p_p \quad m = 0$$

gde su  $p_p$  i  $T_p$  pritisak i temperatura u otvoru.

Funkcija  $f_1$  ( $p_d/p_u$ ) grafički je prikazana na slici 2.



Sl. 2 — Grafikon funkcije  $f_1$

Može se konstatovati da pritisak u otvoru nikada ne pada ispod 0,528  $p_u$  postignute brzine zvuka, a količina protoka ostaje konstantna.

Koeficijent praznjenja  $C_d$  znatno varira sa geometrijom otvora. Dosadašnja istraživanja su pokazala da je  $0,6 > C_d > 1$  za različite oblike otvora i neznatno se povećava opadanjem odnosa pritiska  $p_d/p_u$ , kada je  $p_d/p_u < 0,5$  za protok kroz otvor određene konfiguracije.

Ova varijacija  $C_d$ , u zavisnosti od pritiska, obično je mala, pa se može, pri određenim analizama, i zanemariti.

Kod modela u ovom radu varijacija  $C_d$  se zanemaruje i uzima se konstantna vrednost od 0,8.

Količina protoka kroz ventile zavisi on vrednosti pritiska i temperature u cilindru i otvora i površine protoka ventila.

Za izračunavanje unutrašnje energije  $U$ , u sadržini gasa svakog cilindra, koristi se jednačina energije:

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - p_c \frac{dV}{dt} + \dot{m}_i h_i - \dot{m}_e h_e$$

gde je:

$\dot{Q}$  i  $h$  — toplota sagorevanja, odnosno entalpija.

Temperatura cilindra dobija se iz odnosa:

$$T_c = \frac{U}{m_o \cdot c_v}$$

gde je:

$c_v$  — specifična toplota.

Prenos toplote do rashladnog fluida definiše se gubitkom toplote u zavisnosti od stepena efikasnosti sagorevanja. Energija sagorevanja izračunava se prema izrazu:

$$\int_0^T \dot{Q} dt = \frac{\eta m_a H}{\lambda}$$

gde je:

$\eta$  — stepen efikasnosti sagorevanja,

$m_a$  — težina usisanog vazduha,

$$m_a = \int_0^T \dot{m}_i dt$$

$\lambda$  — odnos vazduh—gorivo  
 $\lambda = m_a/m_f$ ,

$H_d$  — toplotna moć goriva,

$T$  — vreme jednog ciklusa motora  
 $T = 120^\circ/\text{min}$ .

U prethodnoj jednačini odnos vazduh—gorivo  $\lambda$  je traženi podatak.

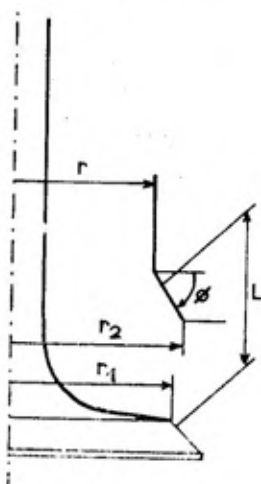
Na osnovu prethodno izvedenih jednačina, zapremine cilindra i jednačina energije, dobija se:

$$\frac{dm_e}{dt} = G(T, p_e, p_p, A_0)$$

$$\frac{dU}{dt} = G(\dot{Q}, T, p_e, p_p, A_0)$$

To su nelinearne proste diferencijalne jednačine prvog reda.

Površina protoka ventila  $A_0$  aproksimira se u funkciji hoda ventila, poluprečnika i geometrije sedišta, kao što je naznačeno na slici 3.



Sl. 3 — Geometrija ventila i sedišta

Hod ventila  $L$  izračunava se u funkciji ugla kolena kolenastog vratila  $\theta$ , polinomskom jednačinom sedmog reda [1]:

$$L(\theta) = \sum_{i=0}^7 a_i \theta^i$$

Koeficijenti  $a_i$  određuju se na osnovu sledećih uslova [1]:

$$L \Big|_{\theta_a} = 0 \quad L \Big|_{\theta_b} = 0$$

$$\frac{dL}{d\theta} \Big|_{\theta_a} = 0 \quad \frac{dL}{d\theta} \Big|_{\theta_b} = 0$$

$$L \Big|_{\theta_c} = L_{\max} \quad \frac{dL}{d\theta} \Big|_{\theta_c} = 0$$

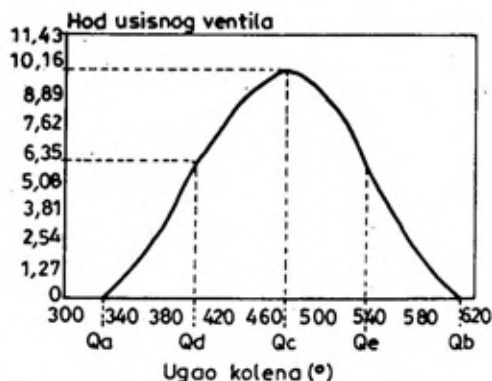
$$L \Big|_{\theta_d} = L_{\text{mpl}} \quad L \Big|_{\theta_e} = L_{\text{mpr}}$$

gde je:

$\theta_a$  — ugao kolena bregastog vratila na početku otvaranja usisnog ventila,

$\theta_b$  — ugao kolena bregastog vratila na kraju zatvaranja usisnog ventila.

Zavisnost hoda usisnog ventila od ugla bregastog vratila prikazana je na slici 4.



Sl. 4 — Zavisnost hoda usisnog ventila i ugla bregastog vratila

Maksimalni hod ventila  $L_{\max}$  je u slučaju kada je

$$\theta_c = (\theta_a - \theta_b)/2 + \theta_a$$

Srednje vrednosti hodova  $L_{\text{mpl}}$  i

$L_{\text{mpr}}$  su u zavisnosti od  $\theta_d$  i  $\theta_e$ .

$$\theta_d = (\theta_c - \theta_d)/2 + \theta_a$$

$$\theta_e = (\theta_b - \theta_e)/2 + \theta_e$$

parametri  $\theta_a$ ,  $\theta_b$ ,  $L_{\max}$  i  $L_{\text{mp}}$  su traženi podaci.

Koeficijent zapreminskog protoka je:

$$\eta_v = \frac{m_i'}{p_o V_h}$$

gde je:

$$m_i' = \frac{1}{g} \int_0^T m_i dt$$

$m_i'$  — masa usisnog vazduha u cilindru po ciklusu,

$p_0 \cdot V_h$  — masa koja odgovara istisnutoj zapremini pri atmosferskoj gustini vazduha.

Sledi da  $\eta_v$  definiše koeficijent punjenja u cilindru po ciklusu. Maksimalne vrednosti  $\eta_v$ , za motore sa prirodnom usisavanjem iznose od 80 do 100%.

### Model izduvne cevi

Za predikciju buke izduvne cevi neophodno je poznavanje dinamike gasova. Postoji više metoda matematičkog modeliranja, kompletnog izduvnog sistema ili elementa izduvnog sistema. U većini slučajeva protok se može adekvatno razmatrati kao jednodimenzionalan, pa se primenom odgovarajućih metoda mogu dobiti jednačine protoka kroz izduvnu cev. Za protok u cevi određenog poprečnog preseka, koji se u izvesnoj meri menja u osnom pravcu, i zanemarujući trenje na zidovima cevi, jednačina kontinuiteta glasi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\rho \cdot u dA(x)}{A(x) \cdot dx} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

gde je:

$\rho(x,t)$  — gustina fluida,

$u(x,t)$  — brzina,

$p(x,t)$  — pritisak,

$A(x) \neq A(x,t)$  — poprečni presek izduvne cevi.

S obzirom na to da se rad zasniva na eksprimiranju numeričke metode za

predikciju buke, a ne i na optimizaciji geometrije izduvnog sistema, proces se posmatra sa aspekta jednodimenzionalnog strujanja, odnosno nepromenljivosti poprečnog preseka cevi ( $A(x) \neq A(x,t)$ ), mada se pouzdaniji rezultati dobijaju uključenjem promene poprečnog preseka ( $A(x)=A(x,t)$ ) zbog veće fleksibilnosti usled pojava kontrakcija, ekspanzija i dr.

Transformacija sistema parcijalnih diferencijalnih jednačina vrši se metodom konačnih razlika (MKR), uz definisanje prostornih i vremenskih graničnih uslova.

Da bi se dobile linearne jednačine neophodne su određene proksimacije koje pojednostavljaju primenu akustičke teorije za analizu buke izduvnog sistema motora.

Primenom linearnih jednačina mogu se dobiti jednačine akustičkog ravnog talasa, koje se izvedu iz jednačine kontinuiteta i jednačine momenta.

Izduvni sistem se posmatra kao mreža cevastih elemenata koji imaju akustičku impedancu ( $Z \sim 0$ ) na izlazu zadnje cevi. Pretpostavlja se da je u svakoj cevi protok promenljiv, jednodimenzionalan i kompresibilan.

Vrednosti operativnih tačaka početnog i promenljivog stanja za promenljive vrednosti  $p$ ,  $u$  i  $\rho$ , određuju se iz odnosa:

$$U = U_0 + \hat{U}$$

$$p = p_0 + \hat{p}$$

$$\rho = \rho_0 + \hat{\rho}$$

gde je:

$U_0$  — srednji protok,

$p_0$  — prosečni atmosferski pritisak,

$p$  — promenljivi akustički pritisak,

$\rho_0$  — prosečna gustina.

Koristeći ove odnose u jednačini kontinuiteta i momenta, a zanemarujući promenu poprečnog preseka, dobija se:

$$\frac{\partial \hat{p}}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + u_0 \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} = 0$$

$$\rho_0 \frac{\partial \hat{u}}{\partial t} + \rho_0 u_0 \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} = 0$$

U delovima cevi akustički talasi su elastično sabijeni bez promene entropije, a sa promenom pritiska i gustine i odgovarajućim pomeranjima čestica. Svi poremećaji bez promene entropije prenose se kroz fluid brzinom prostiranja talasa  $c_0$ , koju određuje:

$$c_0^2 = \frac{\hat{p}}{\hat{\rho}} = kRT_0$$

gde je:

$T_0$  — prosečna temperatura cevi. To je podatak koji se traži.

Za uslove konstantne entropije, promene akustičke gustine i pritiska definisane su odnosom:

$$\hat{\rho} = \frac{\hat{p}}{c_0^2}$$

Pretpostavlja se da je u izduvnom sistemu na početku  $M \approx 0$ , a prosečna brzina protoka mala u odnosu na brzinu zvuka i približno je jednaka Machovom broju 0,1 tj.  $M = \frac{u_0}{c_0} \approx 0,1$ .

Korišćenjem prethodne jednačine i zanemarivanjem efekta  $u_0$  dobijaju se još jednostavnije linearne jednačine:

$$\frac{\rho_0}{A(x)} \cdot \frac{\partial \hat{f}}{\partial t} + \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{c_0^2} \cdot \frac{\partial \hat{p}}{\partial t} + \frac{\rho_0}{A(x)} \cdot \frac{\partial \hat{f}}{\partial x} = 0$$

gde je:

$\hat{f} = \hat{A} \cdot \hat{u}$  — protok fluida u bilo kojoj tački cevi izduvnog sistema.

Za svaku cev prethodne parcijalne diferencijalne jednačine podležu početnim graničnim uslovima.

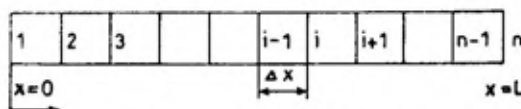
Za vreme  $t=0$  pretpostavlja se da cevi miruju kao i brzina i pritisak što znači da je potrebno:

$$\hat{f}(x,0) = 0$$

$$\hat{p}(x,0) = 0$$

U sledećem trenutku ( $t > 0$ ) stvara se pritisak u cevima. Na spojevima cevi uzimaju se u obzir gubici protoka, dok su akustički pritisak i protok fluida kompatibilni.

Svaka cev može se podeliti na konačan broj segmenata, odnosno tačaka koordinatne mreže, kao što je prikazano na slici 5.



Sl. 5 — Jednodimenzionalni model izduvne cevi

Parcijalne diferencijalne jednačine kontinuiteta i momenta transformišu se (MKR) u sistem prostih diferencijalnih jednačina. Na slici 5 i predstavlja čvor mrežnih koordinata numerisanih u prostoru od 1 do n, a  $\Delta x$  je širina segmenta, odnosno rastojanje tačaka u prostoru.

Korekcija jednačina za svaku cev formira sistem simultanih jednačina koje se mogu izraziti kao [4]:

$$\{\dot{Y}\} = [A]\{Y\} + \{F\}$$

gde je:

$\{\dot{Y}\}$  — vektor gradijenta veličine polja  $\hat{p}$  i  $\hat{f}$ ,

- [A] — dijagonalna matrica konstantnih koeficijenata jednačine konačnih razlika,  
 {Y} — vektor nepoznatih veličina polja  $\hat{p}$  i  $\hat{f}$ ,  
 (F) — nepoznati vektor graničnih uslova.

### Model cilindar — ventil — izduvni sistem

U prethodnim poglavljima prikazana je teorija modeliranja termodinamičkih procesa u sistemu cilindar — ventil i akustičke promenljive u elementima izduvnog sistema. U ovom delu biće razmatrane glavne jednačine modela motor — izduvni sistem, kao i numeričke metode za rešavanje sistema jednačina.

Posmatranjem svih cilindara, jednačine

$$\frac{dm_c}{dt} = G(T, p_c, p_p, A_o) \quad \text{— masa fluida u cilindru,}$$

$$\frac{du}{dt} = G(\dot{Q}, T, p_c, p_p, A_o) \quad \text{— unutrašnja energija fluida u cilindru}$$

mogü se izraziti u vektorskoj formi:

$$\begin{Bmatrix} \dot{m}_{e1} \\ \dot{u}_1 \\ \vdots \\ \dot{m}_{en} \\ \dot{u}_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_1 \\ \vdots \\ G_n \\ G_n \end{Bmatrix} \quad i=1,2,3,\dots,n$$

gde je n ukupan broj cilindara.

Vektorska jednačina može da se izrazi u nešto izmenjenom obliku:

$$\{\dot{X}\} = \{Z\}$$

gde je:

- {X} — vektor gradijenta veličina  $m_e$  i  $u$ ,  
 {Z} — vektor koji sadrži funkcije G.

Posmatranjem svih cevi u izduvnom sistemu, a na osnovu jednačine

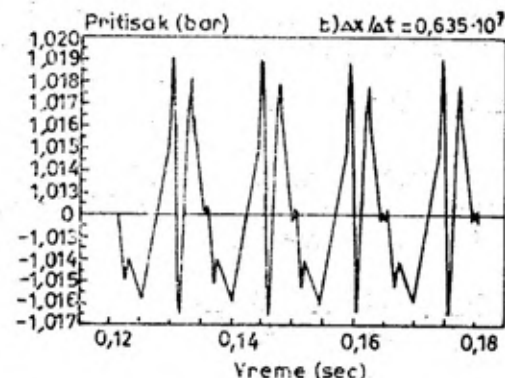
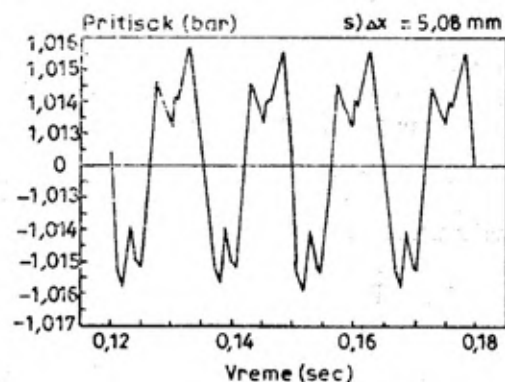
$$\{\dot{Y}\} = [A] \cdot \{Y\} + \{F\}$$

može se napisati:

$$\begin{Bmatrix} \dot{Y}_1 \\ \dot{Y}_2 \\ \vdots \\ \dot{Y}_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A]_1 \\ [A]_2 \\ \vdots \\ [A]_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix}$$

gde je n ukupan broj cevi u izduvnom sistemu.

Prethodne jednačine formirane su uz ispunjavanje uslova o trenutnom pritisku i brzini zapremine fluida iz-



Sl. 6 — Predikcija prelaznog režima pritiska za različite odnose  $\Delta x/\Delta t$

među izduvnog ventila i otvora izduvnog sistema. Izračunavanje jednodimenzionalnog kompresibilnog promjenljivog protoka fluida u motoru, odnosno izduvnom sistemu, zahteva rešavanje sistema jednačina.

Primenom eksplicitne nelinearne integracije metode u vremenskom domenu za  $\{X\}$  i  $\{Y\}$  i vremenskim korakom  $\Delta t$  za uslov kriterijuma stabilnosti potrebno je da je  $\Delta x / \Delta t \geq 5,08 \cdot 10^7$ .

Na slici 6 prikazano je nekoliko primera izračunatih vrednosti akustičkog pritiska u tačkama cevi izduvnog sistema četvorocilindričnog motora.

Može se uočiti da rešenje postaje nerearno kada je  $\Delta x = 5,08$ ;  $\Delta t = 8,0 \cdot 10^{-7}$  ili ekvivalentno kada je  $\Delta x / \Delta t = 0,635 \cdot 10^7$ . U ovom slučaju variran je broj čvorova kako bi se utvrdio njihov efekat na tačnost rešenja.

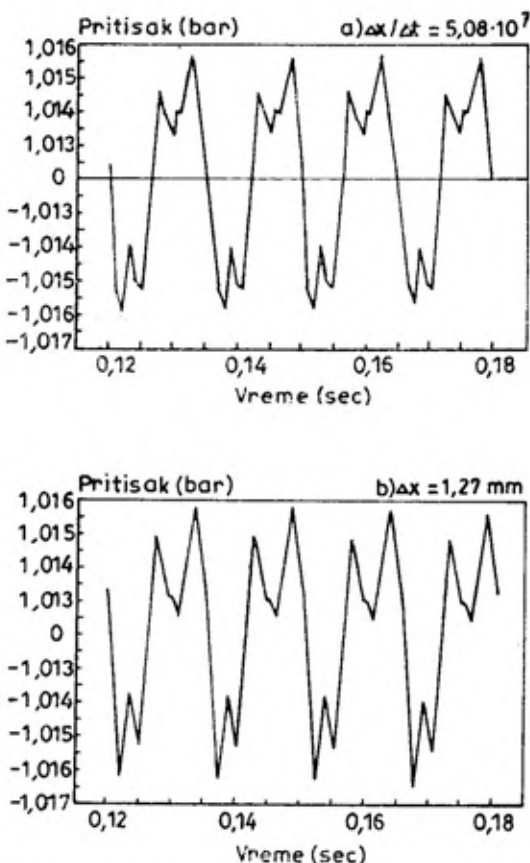
Na slici 7 vidi se da se tačnost rešenja ne povećava znatno za  $\Delta x < 5,08$ . Vreme izračunavanja povećava se sa brojem čvorova i zbog toga je neophodno napraviti kompromis između tačnosti rezultata i vremena izračunavanja.

### Predikcija buke zadnje cevi izduvnog sistema

Akustički pritisak i brzina fluida dobijaju se rešavanjem sistema jednačina u vremenskom domenu za određeni broj uzastopnih ciklusa motora. Nivo zvučnog pritiska na određenoj udaljenosti od otvora zadnje cevi dobija se izračunavanjem ubrzanja zapremine  $Q = d\dot{V}/dt$  na izlazu zadnje cevi za svako povećanje ugla kolenastog vratila od jednog stepena. Na taj način dobija se 720 repera u toku svakog ciklusa za određeni broj obrtaja u minuti (slika 7).

Zatim se ubrzanje zapremine aproksimira Furijevim nizom i izračuna-

vaju se veličine harmonijskih komponenti ubrzanja zapremine na određenim frekvencijama.

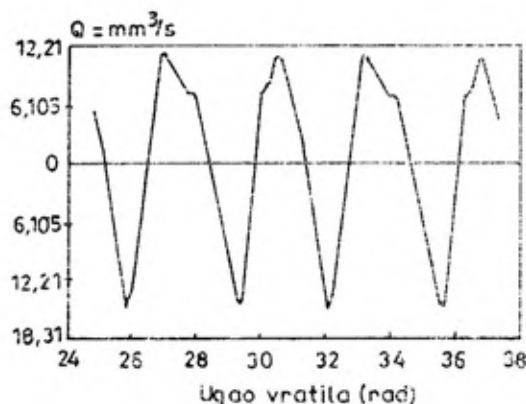


Sl. 7 — Predikcija prelaznog režima pritiska za različite vrednosti  $\Delta x$  kada je  $\Delta t = 1 \cdot 10^{-7}$  s

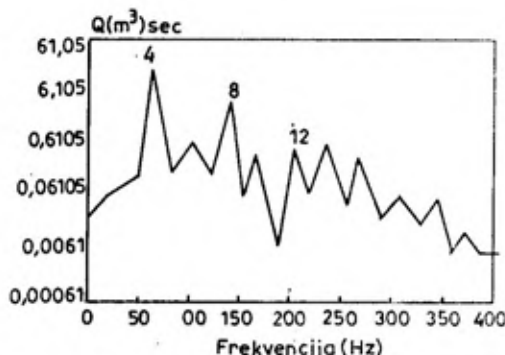
Na slici 8 prikazane su veličine harmonijskih komponenti za  $Q$  sa slike 7 i odgovarajuće harmonijske frekvencije, a na slici 9 spektar frekvencije ubrzanja zapremine gasa izduvne cevi.

Na slici 8 i 9 vidi se da za prikazani primer prve tri dominantne komponente nastaju na IV, VIII, odnosno XII harmonijskoj frekvenciji.

Amplituda efektivne vrednosti pritiska (RMS) na određenoj udaljenosti od otvora zadnje cevi procenjuje se pod pretpostavkom da je izvor tačkast.



Sl. 8 — Grafikon ubrzanja zapremine gasa u izduvnoj cevi u funkciji ugla kolenastog vratila



Sl. 9 — Spektar frekvencije ubrzanja zapremine gasa izduvne cevi

Na taj način može se izraziti:

$$\hat{P}_n(\text{RMS}) = \frac{\rho_0 |Q|_n}{\sqrt{32\pi \cdot r}} \quad n=1,2,3,\dots,25$$

gde je  $r$  radijalna udaljenost od izvora.

#### Literatura:

- [1] Grafour, M. M., Ricci, G.: A numerical Method for the prediction of Exhaust noise in internal combustion engine exhaust systems — GM, SAE 93/348.
- [2] Veselinović, B., Petrović, P. i dr.: Kvalitet buke izduvnog sistema vozila, VI simpozijum Motorna vozila i motori 1990. Kragujevac.
- [3] Petrović, P., Veselinović, B.: Uticaj izduvnog sistema na unutrašnju buku vozila, IX savetovanje Zaštita od buke i vibracija, 1988. Beograd.
- [4] Veselinović, B., Petrović P., Babić, Z.: Prilog optimizaciji izduvnog sistema u cilju smanjenja buke vozila, XIV savetovanje Zaštita od buke i vibracija, 1993. Niška Banja.

Nivo zvučnog pritiska na svakoj harmonijskoj frekvenciji izračunava se pomoću amplituda srednjeg efektivnog pritiska i izražava se u (dB), pa je:

$$\text{SPL}(\text{dB})_n = 20 \log_{10} \hat{P}_n + 170$$

gde je referentni pritisak  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

Opšti nivo zvučnog pritiska (A-skala) iznosi:

$$\text{SPL}(\text{dBA})_n = \text{SPL}(\text{dB})_n + \delta_n$$

gde je  $\delta_n$  korekcija na svakoj harmonijskoj frekvenciji.

Ukupni zvučni pritisak na određenoj udaljenosti od zadnje cevi za svaki okretaj u minuti izračunava se na osnovu ukupne amplitude pritiska  $\bar{p}$  i predstavlja opšti nivo buke:

$$\overline{\text{SPL}}(\text{dBA}) = 20 \log_{10} \bar{P} + 170$$

#### Zaključak

U ovom radu prikazana je numerička metoda za akustičku predikciju buke izduvnog sistema motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Analiza se zasniva na izradi matematičkog modela koji obuhvata sve značajne akustičke i termodinamičke pojave, uključujući količinu protoka kroz ventile, unutrašnju energiju u zapremini gasa svakog cilindra, zapreminski koeficijent protoka motora, akustički pritisak i brzinu u izduvnom sistemu i veličinu izlazne buke sa zadnje cevi.

- [5] Živković M.: Motori sa unutrašnjim sagorevanjem I deo, MF 1976. Beograd.
- [6] Perreira, N. D., Dubowsky, S.: Predictive Acoustical noise generation complex mechanical system, Journal of Mechanical Design, april 1979, vol 101.
- [7] Russell, M. F., Palmer D. C., Young, C. D.: Measuring diesel noise at source with a view to its control, Lucas Cay London, C 142/84.
- [8] Chung, J.: Measurement and analysis of diesel engine noise, univ. Michigan 1974., Disertacione.

**Mr Branislav Todorović,**  
dipl. inž.

**Dr Milan Šunjevarić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnički institut VJ,  
Beograd

## **NOVI METOD PROTIVELEKTRONSKE ZAŠTITE RADIO-VEZA U KANALIMA SA FEDINGOM**

UDC: 621.391.7:519.724:623.62

### **Rezime:**

U radu je predložen i analiziran novi metod za protivelektronsku zaštitu radio-veza u kanalima sa fedingom. Metod je zasnovan na dobro poznatoj tehnici frekvencijskog skakanja. Novinu predstavlja algoritam kodne sinhronizacije koji obezbeđuje da generator dugog pseudoslučajnog koda startuje uvek iz drugog početnog stanja. Na taj način izviđanje je znatno otežano, a prisluškivanje praktično onemogućeno. Algoritam koristi skup pasivnih korelatora, demodulator poruke i banku aktivnih korelatora. Srednje vreme uspostavljanja kodne sinhronizacije je relativno kratko, a dobija se visoka pouzdanost odluke. Analiziran je uticaj broja pasivnih i aktivnih korelatora na performanse kodne sinhronizacije.

**Ključne reči:** telekomunikacije, prenos u proširenom spektru, frekvencijsko skakanje, protivelektronska zaštita.

## **A NEW ELECTRONIC COUNTER-COUNTERMEASURE METHOD FOR RADIO LINKS IN CHANNELS WITH FADING**

### **Summary:**

*In this paper we propose and analyze a new electronic counter-countermeasure method for radio links in channels with fading. This method is based on the well known frequency hopping technique. The news is an algorithm of code synchronization which provides that long pseudonoise code generator always starts from the different initial state. In that way, a surveillance becomes more difficult while an eavesdropping becomes practically impossible. This algorithm uses the set of passive correlators, a message demodulator and the bank of active correlators. Mean acquisition time is relatively short and high reliability of decision is obtained. The effect of number of passive and active correlators on code synchronization performances is analyzed.*

**Key words:** telecommunications, spread spectrum transmission, frequency hopping, electronic counter-countermeasures.

### **Uvod**

Radio-prenos sa frekvencijskim skakanjem (FS) široko je korišćen u savremenim telekomunikacijama, pre svega zbog povećane zaštite od izviđanja, ometanja i prisluškivanja u odnosu na klasične tehnike, kao i mogućnosti rada u kodnom multiplexu [1]. Osnovni zadatak prijemnika signala sa

frekvencijskim skakanjem jeste da izvrši skupljanje (despreading) dolazećeg korisnog signala, što se ostvaruje korelisanjem dolazećeg signala sa sinhronizovanim lokalno generisanim pseudoslučajnim (PS) kodom. Proces kodne sinhronizacije sastoji se od dva dela: uspostavljanja kodne sinhronizacije (akvizicije) dolazećeg i lokalno generisanog PS koda, kada se vremenska raz-

lika između njih svodi u opseg manji od trajanja jednog PS simbola (čipa), i održavanja kodne sinhronizacije (praćenje) koja dodatno redukuje vremensku razliku ostalu posle akvizicije.

U tehničkoj literaturi predloženo je i analizirano više metoda za uspostavljanje kodne sinhronizacije. Kodna sinhronizacija kratkih PS kodova može se uspostaviti korišćenjem nekog od algoritama na osnovu serijskog pretraživanja [1, 3]. Ukoliko je interval neodređenosti relativno kratak, tada se i vrlo dugi PS kodovi takođe mogu sinhronizovati korišćenjem nekog od algoritama sa serijskim pretraživanjem [4, 5]. Ukoliko je odnos signal—šum na ulazu prijemnika visok, uspostavljanje sinhronizacije se može ostvariti korišćenjem frekvencijske estimacije [6]. Jedan od mogućih pristupa za uspostavljanje sinhronizacije vrlo dugih PS kodova jeste takozvana sinhronizacija na dva nivoa koja se zasniva na serijskom pretraživanju, a takvo uspostavljanje kodne sinhronizacije za FS signale, koje kombinuje brzinu pretraživanja pasivne korelacije i pouzdanost odluke zasnovanu na integraciji po velikom broju čipova, predloženo je i analizirano u referenci [7]. Ovaj metod koristi jedan pasivni korelator prilagođen na preambulu (nekoliko puta ponovljen kratki PS kod — KPSK). Pošto se uspostavi sinhronizacija preambule, taj korelator generiše startni signal za dugi PS kod (DPSK), a generator DPSK startuje iz prethodno definisanog početnog stanja. Banka aktivnih korelatora koristi se za verifikaciju ispravnih i odbacivanje lažnih startnih signala dugog PS koda. Da bi se izbeglo da DPSK generator startuje uvek iz istog početnog stanja, ono se može menjati u određenim vremenskim intervalima prema odgovarajućem protokolu. Na taj način izviđanje i prisluškivanje su otežani, ali ne i onemogućeni.

Da bi se redukovala verovatnoća nedetekcije signala u uslovima fedinga, metod sa više različitih kratkih PS kodova predložen je u referenci [8]. U referencama [7 i 8] razmatran je slučaj

statičke optimizacije pragova u zavisnosti od nivoa šuma. U referenci [9] opisan je prijemnik koji automatski podešava pragove u zavisnosti od nivoa šuma.

Osnovni nedostatak pomenutih metoda sa preambulom jeste da se kod njih, u određenom vremenskom intervalu, dugi PS kod startuje uvek iz istog početnog stanja. To znači da je isti deo dugog PS koda izložen izviđanju, svaki put kada se sistem koristi za komunikaciju u određenom vremenskom intervalu.

Da bi se prevazišao ovaj problem, u referenci [1] predloženo je i na konceptijskom nivou razmatrano uspostavljanje kodne sinhronizacije na tri nivoa koje obezbeđuje da DPSK generator startuje uvek iz drugog početnog stanja. Na taj način izviđanje je znatno otežano, a prisluškivanje praktično onemogućeno. Kod kodne sinhronizacije sa tri nivoa akvizicioni proces se realizuje u tri etape. U prvoj etapi pasivni korelator treba da detektuje kratki PS kod. Visok nivo signala na izlazu ovog korelatora aktivira demodulator poruke koji, u drugoj etapi, treba ispravno da demoduliše poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda. Po prijemu ove poruke, u trećoj etapi, prijemnik startuje aktivni korelator koji treba da proveri da li je sinhronizacija dugog PS koda uspostavljena ili ne. Analiza ove metode u prisustvu šuma i smetnji data je u referenci [12].

U ovom radu predložena je i analizirana modifikovana kodna sinhronizacija signala sa tri nivoa sa frekvencijskim skakanjem koja je predviđena za rad u prisustvu fedinga. Modifikacija se sastoji u korišćenju više kratkih PS kodova. Modifikovana kodna sinhronizacija koristi skup pasivnih korelatora, demodulator poruke i banku aktivnih korelatora. Pasivni korelatori podešeni su na kratke sinhronrefikse (kratke PS kodove) kojima je modulisani nosilac. Veći broj pasivnih korelatora smanjuje verovatnoću nedetekcije usled iščezavanja signala u uslovima

fedinga. Ukoliko je prekoračen prag na izlazu bilo kojeg pasivnog korelatora, aktivira se demodulator koji čeka da primi poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda. Po prijemu ove poruke aktivira se jedan slobodan aktivni korelator iz banke. Aktivna korelacija se obavlja u dužem intervalu, tako da se dobija visoka pouzdanost odluke.

### Model modifikovane kodne sinhronizacije sa tri nivoa

Pretpostavka je da na terenu postoji više mobilnih radio-uređaja koji komuniciraju u push-to-talk režimu. Komunikacije između učesnika održavaju se povremeno, sa prekidima različitog trajanja. Zbog toga je uspostavljanje kodne sinhronizacije od izuzetnog značaja pri projektovanju radio-uređaja sa frekvencijskim skakanjem. Učesnici, a priori, raspolažu informacijom o tome koji dugi PS kod je korišćen, ali ne znaju kada će veza otpočeti pa se mora najpre izvršiti određivanje tog trenutka.

**Predajnik** — na početku veze između dva učesnika, pozivajuća stanica počinje prenos emitovanjem slučajnog startnog signala koji prekida radio-čutanje. Za vreme emitovanja ovog signala, koje traje veoma kratko, po-

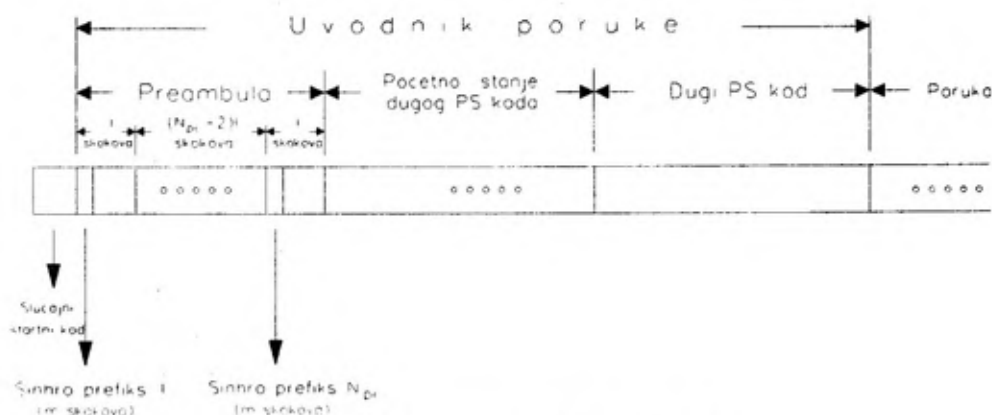
dešavaju se izlazna kola predajnika. Odmah zatim predajnik emituje uvodnik poruke koji je prikazan na slici 1.

Uvodnik poruke sastoji se od tri dela (nivoa): preambule, poruke o početnom stanju generatora dugog PS koda i segmenta dugog PS koda koji služi za proveru sinhronizacije.

Preambula se sastoji od  $N_{pc}$  kratkih PS kodova (sinhroprefiksa). Svaki od njih je dug  $m$  čipova, a rastojanje između početaka uzastopnih prefiksa je  $l$  čipova. Ukupno vremensko rastojanje između početaka uzastopnih prefiksa je  $T_1 = lT_p$ , gde je  $T_p$  označeno trajanje čipa kratkog PS koda. Dakle, ukupna dužina preambule je  $L = N_{pc}l$ , a ukupno trajanje preambule je  $T_1 = N_{pc}T_l$ . Analiza se vrši pod pretpostavkom da je ukupna dužina preambule  $L$  konstantna, pri čemu se menja rastojanje  $l$  između početaka dva sukcesivna sinhroprefiksa sa promenom broja sinhroprefiksa  $N_{pc}$ .

Poruka o početnom stanju generatora dugog PS koda sastoji se od  $N_2$  bita. Ova poruka moduliše poslednji kratki PS kod koji služi kao podnosilac. Trajanje drugog nivoa sinhronizacije iznosi  $T_2 = N_2T_b$ , gde  $T_b$  označava trajanje bita.

Dugi PS kod počinje da se emituje čim se prenese poruka o njegovom početnom stanju. Provera ispravnosti ko-



Slika 1 — Struktura uvodnika poruke

dne sinhronizacije obavlja se za vreme trajanja  $k$  čipova dugog PS koda. Trajanje trećeg nivoa sinhronizacije je  $T_3 = kT_c$ , gde je sa  $T_c$  označeno trajanje čipa dugog PS koda.

Po završetku emitovanja uvodnika poruke, predajnik započinje prenos poruke.

**Prijemnik** — kod modifikovane kodne sinhronizacije sa tri nivoa, prijemnik sadrži tri osnovna dela: skup od  $N_{pc}$  pasivnih korelatora, demodulator poruke i banku od  $N_{ac}$  aktivnih korelatora. Struktura prijemnika prikazana je na slici 2.

Dolazeći signal prolazi kroz liniju za kašnjenje dužine  $N_{pc}$ , pri čemu je razmak između susednih ćelija jednak i iznosi  $l$  čipova. Na taj način obezbeđeno je da svi sinhro-prefiksi istovremeno dolaze na odgovarajući pasivni korelator. Ukupno kašnjenje ove linije je  $(N_{pc} - 1)lT_p$ .

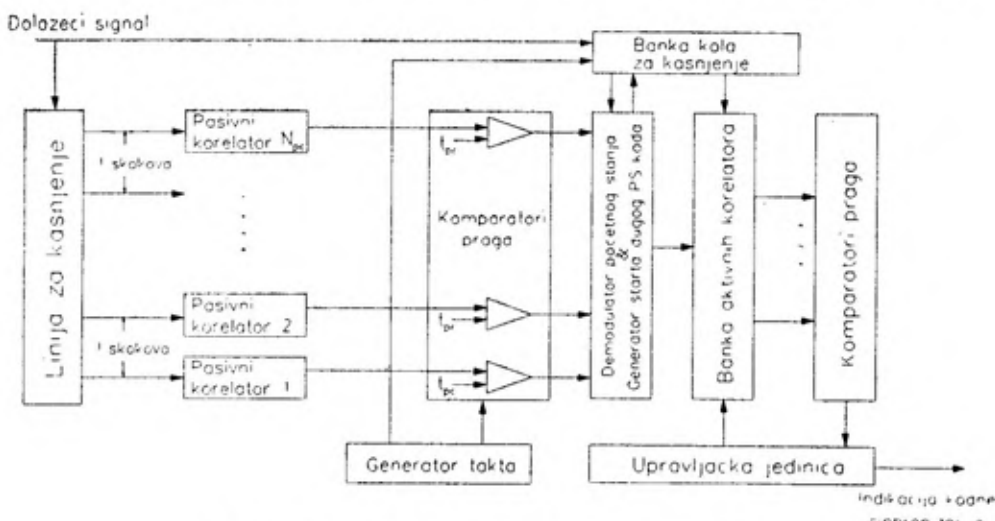
Skup pasivnih korelatora vrši detekciju preambule. Svaki pasivni korelator ( $1, 2, \dots, N_{pc}$ ) podešen je na odgovarajući sinhroprefiks ( $1, 2, \dots, N_{pc}$ ). Pasivni korelatori integrale unutar kliznog prozora širine  $mT_p$ . Analiza se obavlja pod pretpostavkom da se odlu-

ka o prisustvu sinhroprefiksa donosi brzinom skakanja preambule, tj. svakih  $T_p$  sekundi.

Svaki pasivni korelator označen je svojim identifikacionim brojem koji predstavlja redni broj sinhroprefiksa na koji je podešen. Kada izlaz bilo kog pasivnog korelatora premaši prag  $t_{pc}$ , generiše se startni signal demodulatora poruke zajedno sa identifikacionim brojevima odgovarajućih korelatora.

Podatak o identifikacionim brojevima pasivnih korelatora, koji se šalje zajedno sa startnim signalom demodulatora poruke, služi da se usaglasie kašnjenja i da se demodulator poruke aktivira po završetku preambule. Po prijemu poruke o početnom stanju DPSK generatora, prijemnik startuje aktivni korelator dužine  $k$  skokova ( $k \gg m$ ), koji proverava da li je kodna sinhronizacija uspostavljena ili ne. Na kraju intervala korelacije dugog PS koda, koji traje  $k$  skokova, izlaz aktivnog korelatora se upoređuje sa pragom  $t_{ac}$ . Ukoliko je ovaj prag premašen, proces uspostavljanja kodne sinhronizacije je završen i prijemnik prelazi u režim praćenja kodne sinhronizacije.

Ukoliko dođe do nekoliko uzastopnih lažnih aktiviranja izlaza pasivnih korelatora može se dogoditi da nekoli-



Sl. 2 — Prijemni deo sklopa za kodnu sinhronizaciju

ko aktivnih korelatora istovremeno integrali repliku od  $k$  skokova dugog PS koda. Startni signali dugog PS koda koji su generisani u trenutku kada su svi aktivni korelatori zauzeti bivaju ignorisani. Verovatnoća da startni signal dugog PS koda dođe na ulaz banke aktivnih korelatora kada su svi aktivni korelatori zauzeti (blokirani), naziva se verovatnoća blokiranja.

Prema tome, kodna sinhronizacija je uspostavljena ukoliko prijemnik detektuje bar jedan od kratkih sinhroprefiksa, ispravno demoduliše poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda, startni signal generatora dugog PS koda pronađe bar jedan slobodan aktivni korelator i rezultat provere potvrdi da je kodna sinhronizacija uspostavljena.

Odluka o tome da li je sinhronizacija (sinhroprefiksa ili dugog PS koda) uspostavljena donosi se na osnovu rezultata upoređenja nivoa signala na izlazu korelatora (pasivnog ili aktivnog) sa odgovarajućim pragom. Rezultat upoređenja nivoa signala na izlazu korelatora (pasivnog ili aktivnog) sa pragom može se opisati u probabilističkom smislu preko verovatnoće lažnog alarma ( $P_{fa}$ ) i verovatnoće nedetekcije ( $P_{fd}$ ):

— verovatnoća lažnog alarma predstavlja verovatnoću da korelator pogrešno detektuje sinhrostanje kada ono ne postoji,

— verovatnoća nedetekcije predstavlja verovatnoću da korelator ne detektuje sinhrostanje kada ono postoji.

Neka je  $P_{fa1}(i)$  verovatnoća lažnog alarma na  $i$ -tom pasivnom korelatoru, a  $P_{fa2}$  verovatnoća lažnog alarma na posmatranom aktivnom korelatoru. Verovatnoće nedetekcije na izlazu  $i$ -tog pasivnog i aktivnog korelatora označavaju se sa  $P_{fd1}(i)$  i  $P_{fd2}$ , respektivno.

U prvom nivou uspostavljanja sinhronizacije potrebno je izvršiti detekciju preambule, za šta se koristi skup pasivnih korelatora. Upoređenje signala na izlazu pasivnog korelatora sa pra-

gom vrši se svakih  $T_p/N$  sekundi, pri čemu je sa  $T_p$  označeno trajanje čipa preambule, a sa  $N$  broj upoređivanja po čipu. Kada preambula nije prisutna, signali koji pogrešno indiciraju sinhronizaciju preambule generišu se prosečnom brzinom:

$$\lambda = P_{fa1} R_p, \quad (1)$$

gde je  $R_p = N/T_p$  brzina odlučivanja na izlazu pasivnog korelatora koji vrši detekciju preambule. S obzirom na to da se najčešće vrši jedno odlučivanje po čipu, onda je  $R_p = 1/T_p$ .

U svakom trenutku odlučivanja, do aktiviranja demodulatora poruke i generisanja lažnog startnog signala dugog PS koda može doći ukoliko bar jedan od  $N_{pc}$  pasivnih korelatora generiše lažni alarm.

U drugom nivou uspostavljanja sinhronizacije predajnik emituje poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda. Ova poruka sastoji se od  $N_2$  bita. Verovatnoća da je svih  $N_2$  bita ispravno primljeno iznosi:

$$P_m = P_b^{N_2}, \quad (2)$$

gde  $P_b$  predstavlja verovatnoću da je bit ispravno prenet. Ova verovatnoća zavisi od tipa primenjene modulacije — demodulacije, odnosa signal-šum na ulazu prijemnika i vrste zaštitnog kodiranja.

U trećem nivou aktivni korelator dugog PS koda je aktiviran u intervalu  $kT_c$  sekundi za koje vreme se vrši provera sinhronizacije.

Pod pretpostavkom da lažni startni signali dugog PS koda stižu približno po Poasonovom zakonu sa brzinom pojavljivanja  $\lambda$ , primenom teorije čekanja aktivnost banke aktivnih korelatora može se modelovati kao sistem sa čekanjem [7] koji ima konačan broj servera — aktivnih korelatora  $N_{ac}$ , fiksnim vremenom držanja  $kT_c$  i bez vremena za čekanje. U tom slučaju se opterećenje banke aktivnih korelatora može opisati relacijom:

$$a = \lambda kT_c, \quad (3)$$

gde je sa  $\lambda$  označena brzina kojom skup pasivnih korelatora generiše lažne startne signale dugog PS koda. Ovaj parametar može se izračunati na sledeći način [8]:

$$\lambda = \frac{\left[ 1 - \prod_{i=1}^{N_{pc}} (1 - P_{fal}(i)) \right]}{T_p} \quad (4)$$

Verovatnoća da će startni signal dugog PS koda zateći sve aktivne korelatore iz zauzete (blokirane) banke, naziva se verovatnoćom blokiranja. Ukoliko se banka aktivnih korelatora modeluje na ovaj način, verovatnoća blokiranja može se izračunati preko Erlang-B formule [8]:

$$B(N_{ac}, a) = \frac{\left[ \frac{a^{N_{ac}}}{N_{ac}!} \right]}{\sum_{j=0}^{N_{ac}} \left( \frac{a^j}{j!} \right)} \quad N_{ac} = 1, 2, \dots \quad (5)$$

### Verovatnoća lažnog hvatanja

Pod lažnim hvatanjem podrazumeva se situacija kada upravljačka jedinica daje signal da je kodna sinhronizacija uspostavljena, a u stvarnosti to nije slučaj. To se događa ukoliko se uzastopno dese sledeća tri događaja:

- na izlazu bar jednog od  $N_{pc}$  pasivnih korelatora došlo je do pojave lažnog alarma, koji je aktivirao demodulator, posle čega je došlo do generisanja startnog signala dugog PS koda;

- bar jedan od  $N_{ac}$  aktivnih korelatora je slobodan, tako da startni signal dugog PS koda nije blokiran;

- aktivni korelator koji je aktiviran startnim signalom dugog PS koda generisao je lažni alarm.

Prema tome, pod pretpostavkom da se startni signali dugog PS koda generišu po Poasonovom zakonu, verovatnoća lažnog hvatanja može se opisati relacijom:

$$P_{fl} = \left[ 1 - \prod_{i=1}^{N_{pc}} (1 - P_{fal}(i)) \right] \left[ 1 - B(N_{ac}, a) \right] P_{fa2} \quad (6)$$

### Verovatnoća nedetekcije

Pod nedetekcijom se podrazumeva situacija kada upravljačka jedinica daje signal da kodna sinhronizacija nije uspostavljena, a u stvarnosti jeste. Sinhronostanje neće biti detektovano ako se dogodi bilo koji od sledećih međusobno isključivih događaja:

- nijedan od  $N_{pc}$  pasivnih korelatora nije detektovao sinhronizaciju preambule;

- bar jedan pasivni korelator je detektovao sinhronizaciju preambule, ali je pogrešno prenet najmanje jedan od  $N_2$  bita koji sadrže poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda;

- bar jedan pasivni korelator je detektovao sinhronizaciju preambule, ispravno je preneto svih  $N_2$  bita, ali su zauzeti svi aktivni korelatori, tako da je startni signal dugog PS koda ignorisan;

- bar jedan pasivni korelator je detektovao sinhronizaciju preambule, ispravno je preneto svih  $N_2$  bita, najmanje jedan aktivni korelator je slobodan, ali nivo signala na izlazu aktivnog korelatora nije premašio prag  $t_{ac}$ .

Prema tome, verovatnoća nedetekcije sinhronizacije može se izraziti kao:

$$P_{miss} = \prod_{i=1}^{N_{pc}} P_{fd1}(i) + \left[ 1 - \prod_{i=1}^{N_{pc}} P_{fd1}(i) \right] (1 - P_m) + \left[ 1 - \prod_{i=1}^{N_{pc}} P_{fd1}(i) \right] P_m B(N_{ac}, a) + \left[ 1 - \prod_{i=1}^{N_{pc}} P_{fd1}(i) \right] P_m [1 - B(N_{ac}, a)] P_{fd2} \quad (7)$$

### Problem optimizacije

Verovatnoća lažnog hvatanja i verovatnoća nedetekcije su funkcije praga pasivnih i aktivnih korelatora, parametara sistema i karakteristika kanala. Za dati skup parametara sistema

i karakteristika kanala, relacije (6 i 7) zavise samo od pragova. Funkcionalno, one su oblika:

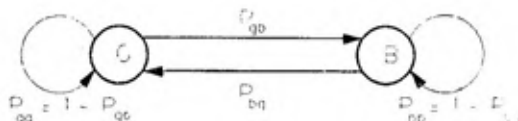
$$P_{fl} = f(t_{pe}, t_{ac}), \quad (8)$$

$$P_{miss} = f(t_{pe}, t_{ac}). \quad (9)$$

Optimizacija pragova podrazumeva minimiziranje verovatnoće nedetekcije, pri čemu se verovatnoća lažnog hvatanja specificira. Matematički, problem se svodi na iznalaženje pragova  $t_{pe}$  i  $t_{ac}$  tako da se dobije minimalna verovatnoća  $P_{miss}$  pod uslovom da je  $P_{fl} \leq 10^{-p}$ , gde je  $p > 0$ .

### Model fedinga

Za opisivanje fedinga u radio-kanalu korišćen je Gilbertov model [14]. To je Markovljev model sa dva stanja za kanale sa memorijom. Ova dva stanja su stanje bez fedinga koje se označava sa G (good — dobar) i stanje sa fedingom koje se označava sa B (bad — loš, rđav). Gilbertov model, sa odgovarajućim verovatnoćama prelaza između stanja, prikazan je na slici 3.



Sl. 3 — Gilbertov model fedinga

Model je veoma jednostavan i zbog toga često korišćen. On je konceptijski dobar zbog svoje osobine da generiše greške u paketu, ali ima određenih ograničenja u predstavljanju realnih kanala. Ova ograničenja su posledica njegove regenerativne strukture (renewal nature) i pretpostavke da dužina oba stanja ima geometrijsku raspodelu. Ograničenja se mogu prevazići korišćenjem složenijih modela koji sadrže veći broj stanja sa odgovarajućim verovatnoćama prelaza. Procedure za izračunavanje mera performansi, kao što su verovatnoća lažnog hvatanja i vero-

vatnoća nedetekcije ostaju iste, ali zahtevana kompleksnost izračunavanja i broj parametara rastu sa porastom broja stanja.

Polazna pretpostavka je da kanal ostaje u istom stanju tokom intervala skoka i da se prelazi između stanja mogu događati samo na kraju intervala skoka. S obzirom na to da je trajanje intervala skoka tipično reda 1ms, ova pretpostavka može se smatrati opravdanom.

Dobro i loše stanje se naizmenično smenjuju. Neka su verovatnoće prelaza iz dobrog u dobro, dobrog u loše, lošeg u loše i lošeg u dobro stanje označene sa  $P_{gg}$ ,  $P_{gb}$ ,  $P_{bb}$  i  $P_{bg}$ , respektivno. Osobina Gilbertovog modela je da trajanje stanja (dobrog ili lošeg) ima geometrijsku raspodelu. To znači da je srednje trajanje fedinga (u skokovima):

$$D = \frac{1}{P_{bg}} \quad (10)$$

Verovatnoća da je kanal pod fedingom predstavlja relativni deo vremena u kojem je kanal pod fedingom. Primenom Gilbertovog modela fedinga ona se može izračunati na sledeći način:

$$F = \frac{P_{gb}}{P_{gb} + P_{bg}} \quad (11)$$

Neka je  $P_G(i)$  verovatnoća da kanal nije pod fedingom na početku  $i$ -tog sinhroprefiksa i neka je  $P_B(i)$  verovatnoća da je kanal pod fedingom na početku  $i$ -tog sinhroprefiksa. Razlika između početaka  $i$ -tog i  $(i+1)$ -og sinhroprefiksa je 1 skokova. Otuda je:

$$[P_G(i+1) \ P_B(i+1)] = [P_G(i) \ P_B(i)] \ [A]^1 \quad (12)$$

gde je A matrica prelaza definisana sa:

$$A = \begin{pmatrix} P_{gg} & P_{gb} \\ P_{bg} & P_{bb} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Izračunavanje matrice A može se uprostiti. Matrica A može se rastaviti tako da je  $A = BCB^{-1}$ , gde je C dijago-

nalna matrica sopstvenih vrednosti  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  matrice prelaza A, dok je B redukcionalna matrica koja se sastoji od odgovarajućih sopstvenih vektora matrice A, gde su sopstveni vektori napisani kao kolone [16]. Tako je  $A^T = BC^T B^{-1}$ , a matrica C je:

$$C = \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 \\ 0 & \lambda_2^{-1} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Verovatnoće stanja kanala na početku i-tog sinhroprefiksa mogu se izračunati korišćenjem jednačina (12 i 14). Kanal ima memoriju i generalno teži da ostane u stanju u kojem već jeste. Ova osobina dozvoljava jednostavnu aproksimaciju koja olakšava izračunavanje verovatnoće nedetekcije za dati kratki sinhroprefiks od m skokova. Da bi se odredila verovatnoća nedetekcije za dati sinhroprefiks, pretpostavlja se da kanal ostaje u istom stanju tokom kratkog prefiksa. Analizirajući ovu aproksimaciju može se zapaziti da će ona dati optimistički rezultat za verovatnoću nedetekcije kada je kanal u dobrom stanju na početku sinhroprefiksa, zato što bi prelazak kanala u loše stanje povećao ovu verovatnoću. S druge strane, ako je kanal bio u lošem stanju na početku sinhroprefiksa, ova aproksimacija će dati pesimistički rezultat, budući da bi prelazak kanala u dobro stanje znatno smanjio verovatnoću nedetekcije. Imajući u vidu prethodna razmatranja, može se zaključiti da ova pretpostavka vodi do grešaka aproksimacije koje imaju tendenciju da se kompenzuju. Koja tendencija je veća zavisi od konkretnog izbora parametara.

### Analiza performansi

Pretpostavlja se da su na ulazu prijemnika prisutni dolazeći korisni signal, aditivni beli Gausov šum i nekoliko širokopojasnih smetnji, koje mogu biti posledica ometanja. Na osnovu centralne granične teoreme, zbir belog Gausovog šuma i nekoliko širo-

kopojasnih smetnji takođe ima Gausovu raspodelu amplituda, pa se može tretirati kao beli Gausov šum. Neka je sa  $\eta$  označena efektivna jednostrana spektralna gustina snage ovog šuma na ulazu prijemnika.

Analiza performansi modifikovane kodne sinhronizacije sa tri nivoa izvršena je za slučaj kada pasivni korelator ima strukturu prikazanu na slici 4, a aktivni korelator strukturu prikazanu na slici 5. Pretpostavlja se da je trajanje čipa preambule jednako trajanju čipa dugog PS koda, tj.  $T_p = T_c = T_h$ .

Neka je sa  $f_0$  označena centralna učestanost filtera propusnika opsega sa limiterom i neka su  $F_i$  učestanosti nosioca, pri čemu je  $F_i = f_i + f_0$ . Kada se pojavi odgovarajući sinhroprefiks, koji predstavlja povorka signala od m učestanosti ( $F_m, F_{m-1}, F_{m-2}, \dots, F_3, F_2, F_1$ ), signal na izlazu sabirača sa slike 4 je suma kvadrata od m Rajsovih promenljivih. Verovatnoća da sinhroprefiks nije detektovan na pasivnom korelatoru, iako u stvarnosti on postoji, odgovara verovatnoći da napon na izlazu iz sabirača nije premašio prag  $t_{pc}$ . Ova verovatnoća može biti izražena u obliku komplementa generalizovane Marcumove Q-funkcije. Označimo generalizovanu Marcumovu Q-funkciju sa  $Q_M(a, b)$ , a njen komplement  $(1 - Q_M(a, b))$  sa  $Q^c_M(a, b)$ , gde je

$$Q_M(a, b) = \int_b^\infty \xi (\xi/a)^{M-1} \exp \left[ -\frac{(a^2 + \xi^2)}{2} \right] I_{M-1}(a\xi) d\xi \quad (15)$$

$X = 1, 2, \dots \quad a, b \geq 0$

Generalizovana  $Q_M$  funkcija može se aproksimativno izračunati na sledeći način [10]:

$$Q_M(a, b) = \text{erfc}(y) \quad (16)$$

gde je  $y = (b^2 - a^2 - 2M)/(2\sqrt{a^2 + M})$  (17)

Argument b je normalizovani prag  $t_{pc}$  pasivnog korelatora. Njegova vrednost iznosi  $(2t_{pc}^2 \eta / T_h)$ . Startni signal du-

gog PS koda generiše se u svakom trenutku odlučivanja u kojem je premašen prag.

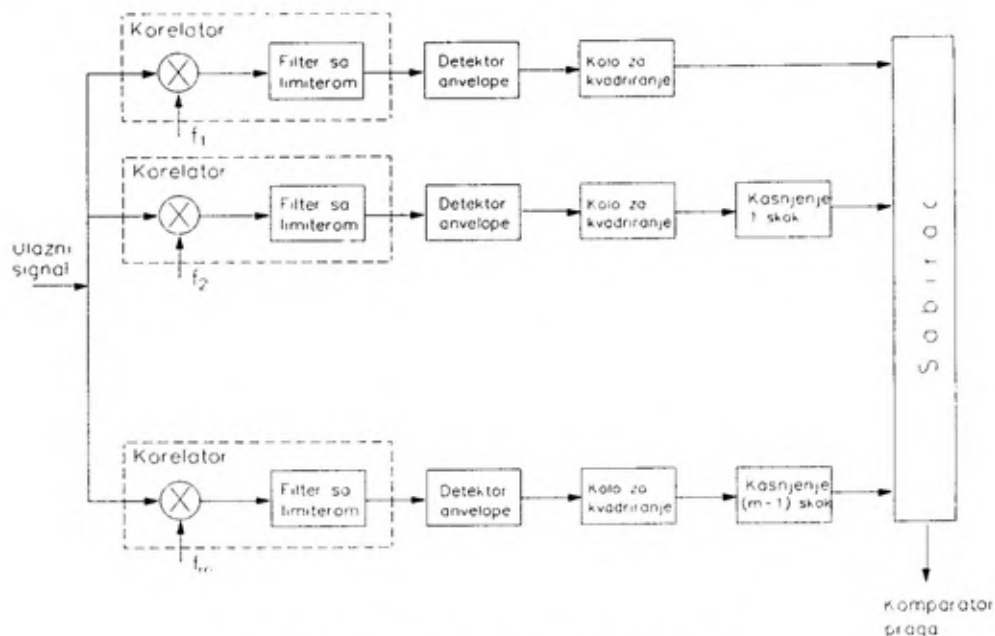
Neka je  $P_{fdl}(i/G)$  verovatnoća nedetekcije sinhroprefiksa na i-tom pasivnom korelatoru kada ne postoji feding u kanalu i neka je  $P_{fdl}(i/B)$  verovatnoća nedetekcije sinhroprefiksa na i-tom pasivnom korelatoru kada postoji feding u kanalu. Korišćenjem izraza za verovatnoće stanja kanala tokom i-tog sinhroprefiksa  $P_G(i)$  i  $P_B(i)$ , verovatnoća nedetekcije i-tog sinhroprefiksa na i-tom pasivnom korelatoru je:

$$P_{fdl}(i) = P_G(i)P_{fdl}(i/G) + P_B(i)P_{fdl}(i/B) \quad (18)$$

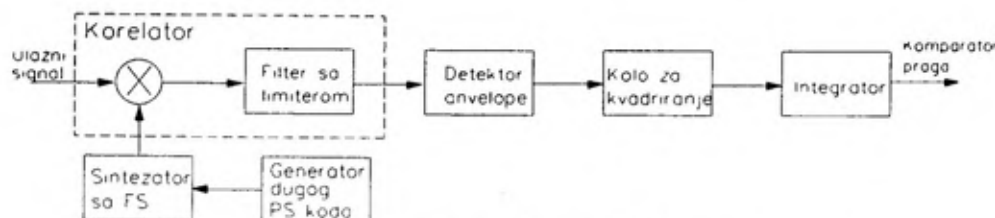
Neka je sa  $E_h$  označena primljena energija signala po skoku preambule u dobrom stanju kanala, a sa  $E'_h$  primljena energija signala po skoku preambule u lošem stanju kanala.

Ako se stanje kanala menja polako, tako da kanal ostaje u istom stanju tokom trajanja svih  $m$  skokova kratkog sinhroprefiksa, verovatnoće uslovne nedetekcije i-tog pasivnog korelatora, kada u kanalu nije i kada u kanalu jeste prisutan feding,  $P_{fdl}(i/G)$  i  $P_{fdl}(i/B)$ , respektivno su:

$$P_{fdl}(i/G) = Q^c_m \left( \sqrt{2m \frac{E_h}{\eta}}, t_{pe} \right) \quad (19)$$



Sl. 4 — Struktura pasivnog korelatora



Sl. 5 — Struktura aktivnog korelatora

$$P_{fal}(i/B) = Q^c_m \left( \sqrt{2m \frac{E'_h}{\eta}}, t_{pc} \right) \quad (20)$$

Verovatnoća lažnog alarma na i-tom pasivnom korelatoru,  $P_{fal}(i)$ , koja označava da je prag  $t_{pc}$  premašen kada i-ti sinhroprefiks nije prisutan, može se opisati na sledeći način:

$$P_{fal}(i) = Q_m(O, t_{pc}) \quad (21)$$

Da bi se povećala pouzdanost odluke, u aktivnom korelatoru vrši se korelacija nad  $k$  skokova, pri čemu je  $k \gg m$ . Realno je pretpostaviti da je interval aktivnog korelatora  $k$  duži od srednjeg trajanja fedinga  $D$ . Zbog toga, deo od  $k$  skokova dugog PS koda koji je pod fedingom jednak je verovatnoći fedinga  $F$ .

Ukoliko je generisan (ispravno ili pogrešno) startni signal dugog PS koda, startuje se aktivni korelator. Verovatnoća lažnog alarma na izlazu aktivnog korelatora može se opisati relacijom:

$$P_{fa2} = Q_k(O, t_{ac}) \quad (22)$$

gde je sa  $t_{ac}$  označen prag sa kojim se izlaz aktivnog korelatora upoređuje.

Verovatnoća da aktivni korelator, koji je ispravno startovan, ne detektuje prisutno sinhrostanje, tj. napon na izlazu aktivnog korelatora ne premaši napon praga ( $2t_{ac}^2\eta/T_h$ ), iznosi:

$$P_{f02} = Q^c_k \left( \sqrt{2k \left[ (1-F) \frac{E_h}{\eta} + F \frac{E'_h}{\eta} \right] t_{ac}} \right) \quad (23)$$

Izračunavanje verovatnoće greške pri prenosu poruke o početnom stanju DPSK generatora zavisi od tipa primenjene modulacije — demodulacije. U opštem slučaju važi sledeća relacija:

$$P_e = (1-F)(P_e)_G + F(P_e)_B \quad (24)$$

gde  $(P_e)_G$  i  $(P_e)_B$  označavaju verovatnoće greške po bitu u dobrom i lo-

šem stanju kanala, respektivno. S obzirom na to da je  $(P_e)_G \leq 10^{-2}$  i  $(P_e)_B = 1/2$ , verovatnoća greške pri prenosu poruke o početnom stanju DPSK generatora približno se može opisati relacijom:

$$P_e \approx \frac{F}{2} \quad (25)$$

U slučaju kada je  $F=0,1$  verovatnoća greške je  $P_e \approx 5 \cdot 10^{-2}$ . Ova vrednost je neprihvatljivo visoka, pa se mora primeniti neki tip zaštitnog kodovanja.

Najjednostavniji tip zaštitnih kodova koji dozvoljava različite iznose redundanse je repetitivni kod. Korišćenje repetitivnog koda kod brzih ili sporih FS sistema sa učešljavanjem bita često je veoma efikasan metod za smanjivanje verovatnoće greške. Kod ovog koda, jedan informacioni bit je kodovan blokom od  $n_2$  identičnih bita, pri čemu je  $n_2$  neparan broj. Ovakav kod označava se sa  $(n_2, 1)$  i sadrži samo dve kodne reči: »sve nule« i »sve jedinice«.

S obzirom na to da repetitivni kod  $(n_2, 1)$  može da izvrši korekciju najviše  $(n_2-1)/2$  grešaka, verovatnoća ispravnog dekodovanja primljene kodne reči na binarnom simetričnom kanalu je [17]:

$$P_b = \sum_{i=0}^{(n_2-1)/2} \binom{n_2}{i} P_e^i (1-P_e)^{n_2-i} \quad (26)$$

Verovatnoća  $P_b$  može postati proizvoljno bliska jedinici ukoliko je kodna reč dovoljno duga. S obzirom na to da se poruka o početnom stanju generatora dugog PS koda sastoji od reda deset bita, dužina kodne reči repetitivnog koda nije ograničavajući faktor.

Na osnovu relacija (2), (5) i (19) do (23) mogu se izračunati verovatnoća lažnog hvatanja  $P_{fl}$  i verovatnoća nedetekcije  $P_{miss}$ . Najteži zadatak pri projektovanju bloka za kodnu sinhronizaciju je da se na odgovarajući način odrede pragovi  $t_{pc}$  i  $t_{ac}$ .

## Vreme uspostavljanja sinhronizacije

Kod tronivoske kodne sinhronizacije, neposredno pre početka emitovanja podataka, predajnik šalje uvodnik poruke. Dužina uvodnika predstavlja maksimalno vreme koje prijemnik ima na raspolaganju za uspostavljanje kodne sinhronizacije. Ovo vreme mora biti dovoljno dugo potencijalnom prijemniku da uspostavi sinhronizaciju sa velikom verovatnoćom.

Prema tome, vreme uspostavljanja sinhronizacije može se opisati sledećom relacijom:

$$T_A = (L + N_2 n_2 + k) T_b \quad (27)$$

Za  $L=320$ ,  $N_2=11$ ,  $n_2=17$ ,  $k=512$  i brzinu skakanja od 2000hop/s, vreme uspostavljanja sinhronizacije je  $T_A \approx 0,51s$ .

## Numerički rezultati

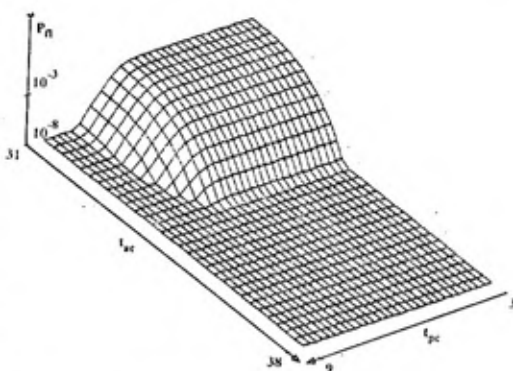
Numerička izračunavanja u ovom radu su vršena uglavnom za slučaj da je kanal u stanju fedinga 15% vremena; tj.  $F=0,15$ . Na osnovu relacije (25) dobija se da je verovatnoća greške u tom slučaju  $P_e \approx 7,5 \cdot 10^{-2}$ . Ukoliko je primenjen repetitivni kod (17,1), na osnovu relacije (26), dobija se da je verovatnoća ispravnog dekodovanja primljene kodne reči  $P_b \approx 0,99999895$ . Ukoliko se poruka o početnom stanju DPSK generatora sastoji od  $N_2=11$  bita, verovatnoća da je ova poruka ispravno preneti, na osnovu relacije (2), je  $P_m \approx 0,9999885$ .

Pod pretpostavkom da je srednje trajanje fedinga 64 skoka ( $D=64$ ) i da je nominalna brzina skakanja 2000hop/s, trajanju fedinga odgovara vreme od  $t_F=32ms$ . Ovo su tipične vrednosti koje odgovaraju KT kanalu. Imajući u vidu relacije (10) i (11), verovatnoće prelaza za ovaj primer su  $P_{bg} \approx 0,015625$  i  $P_{gh} \approx 0,0027573$ .

Verovatnoća da kanal ostaje u dobrom stanju unutar kratkog intervala

trajanja sinhro prefiksa od 16 skokova ( $m=16$ ), ako je bio u dobrom stanju na početku intervala, iznosi  $(1 - P_{gb})^{16} \approx 0,957$ . S druge strane, ako je kanal bio u lošem stanju na početku sinhro-prefiksa, verovatnoća da će kanal ostati u istom stanju za vreme trajanja sinhroprefiksa je  $(1 - P_{bg})^{16} \approx 0,777$ . Ova aproksimacija dovodi do grešaka koje su relativno male i, što je posebno važno, imaju tendenciju da se kompenzuju. Proračuni za druge vrednosti trajanja fedinga i brzine skakanja dovode do istih zaključaka.

Problem optimizacije podrazumeva minimizaciju verovatnoće nedetekcije  $P_{miss}$  pod uslovom da je verovatnoća lažne sinhronizacije  $P_{fl}$  manja od neke specificirane vrednosti. To se postiže odgovarajućim postavljanjem pragova  $t_{pe}$  i  $t_{ac}$ . Optimalan par pragova ( $t_{pe}, t_{ac}$ ) daje minimum verovatnoće nedetekcije  $P_{miss}$ .



Sl. 6 — Verovatnoća lažnog hvatanja u funkciji pragova

( $F = 0,15$ ;  $df = 25$  dB;  $D = 64$ ;  $m = 16$ ;  $L = 320$ ;  $N_{pc} = 4$ ;  $N_2 = 11$ ;  $k = 512$ ;  $N_{ac} = 1$ )

Na slici 6 prikazana je verovatnoća nedetekcije u funkciji pragova  $t_{pe}$  i  $t_{ac}$ . Ravna površina predstavlja skup tačaka koje zadovoljavaju uslov  $P_{fl} \leq 10^{-8}$ . Svaka tačka je određena parom pragova ( $t_{pe}, t_{ac}$ ). Može se uočiti da beskonačno mnogo parova pragova ( $t_{pe}, t_{ac}$ ) zadovoljava ovaj uslov. Optimalan

par pragova je onaj par ( $t_{pe}, t_{ac}$ ) koji daje minimum verovatnoće nedetekcije:

$$P_M = \min\{P_{miss}\} \quad (28)$$

U tabeli 1 prikazane su vrednosti karakteristika fedinga i parametara sinhronizacije koje se koriste za numerička izračunavanja. Prikazane vrednosti karakteristika fedinga su tipične za ovaj tip kanala i one se najčešće koriste u literaturi [8]. Vrednosti parametara sinhronizacije odgovaraju realnom radio uređaju srednje složenosti.

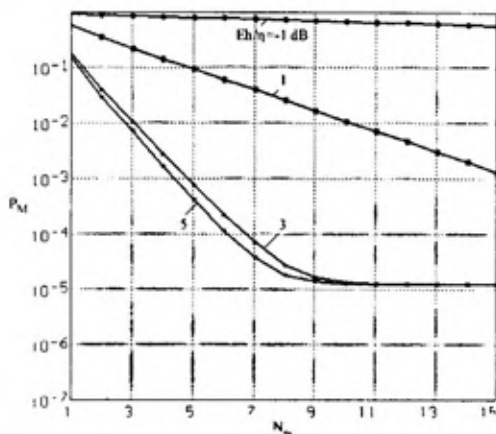
Svi dijagrami su prikazani u opsegu  $E_b/\eta$  između 1 i 8 dB. U slučaju sistema sa brzim FS, gde se jedan bit prenosi u tri skoka, opseg  $E_b/\eta$  od 1 do 8 dB odgovara opsegu  $E_b/\eta$  između 6 i 13 dB. Ovaj opseg vrednosti je od interesa za prenos poruka u radio-komunikacijama.

U referenci [18] detaljno je analiziran uticaj svih karakteristika fedinga i parametara sinhronizacije na performanse kodne sinhronizacije. S obzirom da na složenost, a samim tim i na cenu, predloženog rešenja kodne sinhronizacije najviše utiče broj pasivnih i aktivnih korelatora, u ovom radu su analizirana samo ova dva parametra sinhronizacije.

Minimum verovatnoće nedetekcije računat je za najgori slučaj, tj. pod uslovom da je početak preambule (prvi sinhroprefiks) pod fedingom.

### Uticaj broja pasivnih korelatora

Na slici 7 je prikazan minimum verovatnoće nedetekcije u funkciji broja pasivnih korelatora, pri čemu je odnos  $E_b/\eta$  važeći parametar. Povećava-



Sl. 7 — Minimum verovatnoće nedetekcije u funkciji broja pasivnih korelatora, odnos  $E_b/\eta$  je parametar ( $P_M \leq 10^{-8}$ ;  $F = 0,15$ ;  $df = 25$  dB;  $D = 64$ ;  $m = 16$ ;  $L = 320$ ;  $N_2 = 11$ ;  $k = 512$ ;  $N_{ac} = 1$ )

Tabela 1

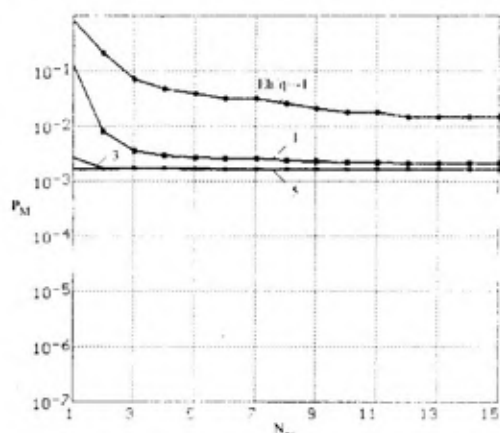
Primer karakteristika fedinga i parametara sinhronizacije

| Oznaka   | Parametar                   | Vrednost     |
|----------|-----------------------------|--------------|
| F        | Verovatnoća fedinga         | 0,15         |
| df       | Dubina fedinga              | 25 dB        |
| D        | Srednje trajanje fedinga    | 64 skokova   |
| m        | Dužina sinhro prefiksa      | 16 skokova   |
| L        | Dužina preambule            | 320 skokova  |
| $N_{pe}$ | Broj pasivnih korelatora    | 4            |
| $N_2$    | Dužina poruke o poč. stanju | 11 bita      |
| k        | Dužina aktivnog korelatora  | 1024 skokova |
| $N_{ac}$ | Broj aktivnih korelatora    | 1            |

njem broja pasivnih korelatora  $N_{pc}$ , verovatnoća nedetekcije se može značajno smanjiti. Ukoliko je  $E_b/\eta \leq 1$  dB, minimum verovatnoće nedetekcije linearno opada sa porastom broja pasivnih korelatora. Ukoliko je  $E_b/\eta \geq 3$  dB, minimum verovatnoće nedetekcije se može smanjiti za tri reda veličine (sa  $3 \cdot 10^{-2}$  na  $3 \cdot 10^{-4}$ ) sa povećanjem broja pasivnih korelatora sa dva na šest. Povećanje broja pasivnih korelatora iznad osam ne dovodi do smanjenja minimuma verovatnoće nedetekcije. Prema tome, možemo smatrati da je  $N_{pc} = 8$  optimalan izbor ukoliko cena nije ograničavajući faktor.

### Uticaj broja aktivnih korelatora

Na slici 8 prikazan je minimum verovatnoće nedetekcije u funkciji broja aktivnih korelatora pri čemu je odnos  $E_b/\eta$  važeći parametar. Povećanje broja aktivnih korelatora je efikasan na-



Sl. 8 — Minimum verovatnoće nedetekcije u funkciji broja aktivnih korelatora, odnos

$E_b/\eta$  je parametar  
( $P_{fl} \leq 10^{-3}$ ;  $F = 0,15$ ;  $df = 25$  dB;  $D = 64$ ;  
 $m = 16$ ;  $L = 320$ ;  $N_{pc} = 4$ ;  $N_2 = 11$ ;  $k = 512$ )

čin za smanjenje verovatnoće blokiranja pri malim vrednostima odnosa  $E_b/\eta$ . Ukoliko je  $E_b/\eta \leq 1$  dB, povećanje broja aktivnih korelatora dovodi do smanjenja verovatnoće blokiranja, a samim tim i do smanjenja  $P_M$ . Pri tom

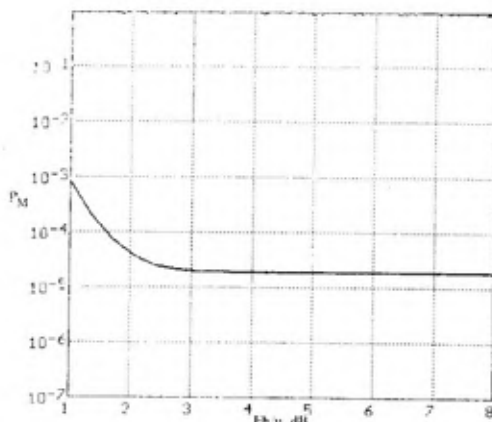
treba naglasiti da povećanje broja aktivnih korelatora iznad tri nema opravdanja jer dovodi do veoma malog smanjenja minimuma verovatnoće nedetekcije. Ukoliko je  $E_b/\eta \geq 3$  dB, povećanje broja aktivnih korelatora ne utiče na  $P_M$ . Prema tome, ukoliko se projektuje jeftin i relativno jednostavan uređaj,  $N_{ac} = 1$  predstavlja optimalan izbor. Ukoliko se radi o složenom i skupom sistemu, preporučuje se  $N_{ac} = 3$  kao kompromis između cene i kvaliteta.

### Zaključak

U ovom radu prikazan je i analiziran novi metod protivelektronske zaštite, modifikovano uspostavljanje kodne sinhronizacije signala na tri nivoa sa frekvencijskim skakanjem, koji je pogodan za primenu u prisustvu fedinga. Metod ove sinhronizacije koristi skup pasivnih korelatora, demodulator poruke i banku aktivnih korelatora. Pasivni korelatori su podešeni na kratke sinhroprefikse (kratke PS kodove), kojima je modulisan nosilac. Primena više sinhroprefiksa smanjuje verovatnoću nedetekcije signala u uslovima fedinga. Kada je nadmašen nivo praga na izlazu bilo kog pasivnog korelatora, aktivira se demodulator koji »čeka« da primi poruku o početnom stanju generatora dugog PS koda. Nakon detekcije ove poruke, aktivira se jedan od aktivnih korelatora iz banke. Aktivna korelacija dugog PS koda obavlja se unutar dužeg vremenskog intervala, čime je obezbeđena visoka pouzdanost odluke. Ovaj metod obezbeđuje da generator dugog PS koda startuje iz drugog početnog položaja, svaki put kada se sistem koristi za komunikaciju.

Izvršena analiza i dobijeni rezultati pokazuju da je optimizacija parametara kodne sinhronizacije na tri nivoa u prisustvu šuma, smetnji i fedinga složen zadatak. Verovatnoća nedetekcije, kao kriterijum za ocenu uspešnosti kodne sinhronizacije, zavisi od brojnih karakteristika fedinga i para-

metara sinhronizacije. Zbog toga nije moguće izvući jednostavan zaključak. U zavisnosti od predviđene cene uređaja, moguće je, na različite načine, optimizovati sistem. S obzirom na to da su uređaji koji se projektuju za rad u kanalima sa fadingom, po pravilu, relativno složeni i skupi, preporučuje se korišćenje skupa od osam pasivnih korelatora za detekciju preambule i banke od tri aktivna korelatora za verifikaciju uspostavljene kodne sinhronizacije. Minimum verovatnoće nedetekcije koji se postiže za ove vrednosti parametara prikazan je na slici 9. Može se uočiti da ovakav izbor parametara obezbeđuje minimum verovatnoće nedetekcije  $P_M < 10^{-3}$  za  $E_b/\eta \geq 1\text{ dB}$ , a  $P_M < 3 \cdot 10^{-5}$  za  $E_b/\eta \geq 3\text{ dB}$ .



Sl. 9 — Minimum verovatnoće nedetekcije u funkciji odnosa  $E_b/\eta$ ,

( $P_{ff} \leq 10^{-8}$ ;  $F = 0,15$ ;  $df = 25\text{ dB}$ ;  $D = 64$ ;  $m = 16$ ;  $L = 320$ ;  $N_{pc} = 8$ ;  $N_z = 11$ ;  $k = 512$ ;  $N_{ac} = 3$ )

#### Literatura:

- [1] Pickholtz, R. L. et al.: The Theory of Spread Spectrum Communications — A Tutorial, IEEE Trans. on Commun., Vol. COM-30, No. 5, May 1982, pp. 855–884.
- [2] Sage, G. F.: Serial Synchronization of Pseudonoise Signals, IEEE Trans. Commun. Techn., Vol. COM-12, No. 12, December 1964, pp. 123–127.
- [3] Hopkins, P. M.: A Unified Analysis of Pseudonoise Synchronization by Envelope Correlation, IEEE Trans. on Commun., Vol. COM-25, No. 8, August 1977, pp. 770–778.
- [4] Polydoros, A., and Veber, C.L.: A Unified Approach to Serial Search Spread Spectrum Code Acquisition, Parts I and II, IEEE Trans. on Commun., Vol. COM-32, No. 5, May 1984, pp. 542–560.
- [5] Jovanović, V. M.: Analysis of Strategies for Spread Spectrum Code Acquisition — Direct Approach, IEEE Trans. on Commun., Vol. COM-36, No. 12, December 1988, pp. 1208–1220.
- [6] Glišić, S. G.: A Novel Frequency Hopping Spread Spectrum Receiver Synchronization Scheme, Proc. of IEEE Global Comm. Conf. (GLOBECOM '84), Atlanta (Georgia, USA), November 26–29, 1984, paper, 29.2.
- [7] Rappaport, S. S. and Schilling, D. L.: A Two-Level Coarse Code Acquisition Scheme for Spread Spectrum Radio, IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-28, No. 9, September 1980, pp. 1734–1742.
- [8] Wilson, N. D. et al.: Rapid Acquisition Scheme for Spread Spectrum Radio in a Fading Environment IEE Proc., Vol. 135, Pt. F, No. 1, February 1988, pp. 95–103.
- [9] Glišić, S. G., and Pajković, M. Đ.: Transient Response of Two-Level Coarse Code Acquisition in Spread Spectrum Radio, Proc. of Military Comm. Conf. (MILCOM '89), paper 49.5.
- [10] Rappaport, S. S.: Computing Approximations for the Generalized Q Function and Its Complement, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-17, July 1971, pp. 497–498.
- [11] Todorović, B., Delević, M.: A Method of Multilevel Code Synchronization for Spread Spectrum Radio Communications, Proc. of 32<sup>nd</sup> Symposium ETAN in Marine, Zadar (Yugoslavia), 1990.
- [12] Glišić, S., Todorović, B., Popović-Lavrinšek, M.: A New Approach to Long Code Acquisition in Spread Spectrum Radio, Proc. of IEEE Military Comm. Conf. (MILCOM 91), McLean (Virginia, USA), December 1991, paper 56.2.
- [13] Sunjevarić, M., Todorović, B.: Mobilne radio-komunikacije, Komunikativna naučnotehnička informacija, VTI, Beograd, 1995.
- [14] Gilbert, E. N.: Capacity of a Burst-Noise Channel, The Bell System Technical Journal, September 1960, pp. 1253–1265.
- [15] Kanai, L. N., Sastry, A. R. K.: Models for Channels with Memory and Their Applications to Error Control, Proc. of the IEEE, Vol. 66, No. 7, July 1978, pp. 724–744.
- [16] Jennings, A.: Matrix Computation for Engineers and Scientists, John Wiley and Sons, New York, 1978.
- [17] Michelson, A. M., Levesque, A. H.: Error-Control Techniques for Digital Communication, John Wiley and Sons, New York, 1985.
- [18] Todorović, B.: Novi metod uspostavljanja kodne sinhronizacije radio-uređaja sa frekvencijskim skakanjem u kanalima sa fadingom, Doktorska disertacija, u pripremi.
- [19] Trivunčić, D.: Diplomatski rad, VTF, Beograd, 1993.
- [20] Raspopović, D.: Diplomatski rad, VTF, Beograd, 1993.
- [21] Lepir, D.: Seminarski rad, ETF, Beograd, 1994.

**Dr Žarko Barbarić,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnički institut VJ,  
Beograd

## **UPROŠĆENI MATEMATIČKI MODEL ZA FORMIRANJE SLIKE TERENA OPTOELEKTRONSKIM SENZORIMA**

UDC: 621.397.331.2:681.586.73:623.642

### **Rezime:**

*Modeliran je proces formiranja slike terena optoelektronskim senzorima radi analize i razumevanja uticaja parametara terena, atmosfere i senzora. Matematički model za opisivanje procesa formiranja slike terena optoelektronskim senzorima veoma je složen, pa se u literaturi javljaju namenski modeli sa određenim uprošćavanjem. U radu su izložene teoretske osnove za razumevanje procesa formiranja slike terena, uprošćen matematički model i primer primene modela za generisanje termalne slike na računaru, formirane skeniranjem kvaziprirodnog terena.*

*Ključne reči: slike terena, matematički model, generisanje termalne slike.*

---

## **SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL FOR TERRAIN IMAGE FORMING BY OPTOELECTRONIC SENSORS**

### **Summary:**

*The process of terrain image forming by optoelectronic sensors is modelled for the sake of analysis and better understanding of the effects of terrain, atmosphere and sensor parameters. The mathematical model for the description of the terrain image forming process by optoelectronic sensors is a very complex one, so that some simplified models can be found in the literature for this purpose. The paper presents theoretical foundations for understanding terrain image forming as well as the simplified mathematical model and an example of the model application for the computer generation of thermal imagery formed by scanning a quasi-real terrain.*

*Key words: terrain image, mathematical model, thermal imagery generation.*

---

### **Uvod**

Slika terena je vizuelni kontrast, koji je posledica razlike reflektivnosti, emisivnosti i temperature posmatranog objekta i pozadine. Drugim rečima, slika predstavlja raspodelu gustine snage ozračenja i zračenja na sceni koja se transformiše optičkim sistemom i pretvara na detektoru senzora u video signal slike.

Formiranje slike terena zasniva se na složenim procesima razmene elektromagnetske energije u delu elektro-

magnetskog spektra između terena (objekti i pozadina), atmosfere i optoelektronskih delova senzora (optika i detektor) u prisustvu zračenja Sunca i neba i pri raznim ambijentnim uslovima (vetar, vlažnost, prašina, dim i dr.). Zračenje terena zavisi od sastava i vrste objekta, temperature objekta i pozadine, razmene toplote između objekta i okoline, zračenja Sunca i neba i vremenskih uslova. Pri prostiranju zračenja kroz atmosferu slabljenje elektromagnetskih talasa je selektivno, jer, u opštem slučaju, zavisi od talasne du-

žine zračenja i sastava atmosfere. Prijemna optika senzora prikuplja elektromagnetsku energiju i usmerava je na detektor na kome se vrši konverzija u video signal. Dalja obrada video signala zavisi od namene senzora i načina prikazivanja informacije o objektima.

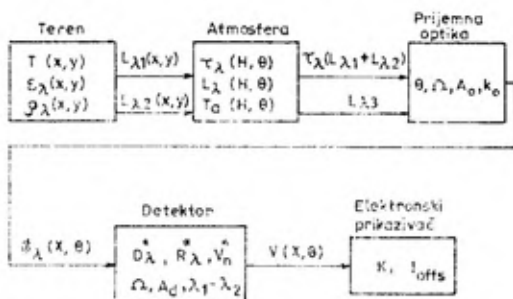
Elektromagnetsko zračenje Sunca u bliskom ultravioletnom delu spektra (0,3 do 0,4  $\mu\text{m}$ ), vidljivom delu spektra (0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ) i delu bliskom infracrvenom spektru (0,7 do 0,9  $\mu\text{m}$ ) koristi se za formiranje slike prirodnih terena, jer je reflektovano zračenje Sunca dominantno u ovim spektralnim područjima. U dalekom delu infracrvenog spektra (8 do 14  $\mu\text{m}$ ) zračenje prirodnih terena često se naziva termalno zračenje, pa se formirane infracrvene slike nazivaju termalne slike. Razlog za to je dominantno termalno zračenje prirodnih terena u dalekom infracrvenom spektralnom području (6 do 15  $\mu\text{m}$ ). U spektralnom području od 8 do 15  $\mu\text{m}$ , gde je i atmosferski prozor, može se zanemariti uticaj zračenja Sunca osim spekularne refleksije. U spektralnom području od 3 do 5  $\mu\text{m}$  obe komponente zračenja, reflektovano zračenje Sunca i emitovano zračenje terena, značajne su za formiranje infracrvene termalne slike. Spektralno područje od 0,76 do 3  $\mu\text{m}$  je reflektivno blisko infracrveno područje, jer je dominantno zračenje Sunca reflektovano od terena [1].

Za razumevanje procesa i ispitivanje uticaja pojedinih parametara razvijaju se matematički modeli za simulaciju procesa formiranja i generisanje slike pomoću računara.

### Uprošćeni matematički model za formiranje slike terena

Uprošćeni matematički model za formiranje slike terena zasniva se na modelu koji je razvijen za generisanje i analizu infracrvene termalne slike formirane linijskim skeniranjem terena

iz vazduha, u talasnom području od 8 do 14  $\mu\text{m}$  [2]. Uprošćeni matematički model (blok-shema na slici 1) sličan je objavljenim modelima [1—4].



Sl. 1 — Uprošćeni model za formiranje slike terena

Model objašnjava formiranje tačke na slici, koja predstavlja sopstveno i reflektovano zračenje rezolucione ćelije terena, transmitansu i zračenje atmosfere između rezolucione ćelije i prijemne optike, optičke efekte preslikavanja terena, konverziju incidentne snage zračenja u napon na izlazu detektora i konverziju napona u nivo signala na elektronskom prikazivaču.

Rezoluciona ćelija je projektovana površina na terenu koja se vidi pod trenutnim prostornim vidnim uglom senzora. Na slici 2 prikazane su dve rezolucione ćelije na ravnom terenu: rezoluciona ćelija u nadiru ( $\theta=0$ ) i rezoluciona ćelija pri kosom snimanju ili skeniranju.

Površina rezolucione ćelije zavisi od trenutnog prostornog vidnog ugla senzora  $\Omega$  i visine leta  $H$ . Sa slike se vidi da je površina rezolucione ćelije najmanja u nadiru ( $A=H^2\Omega$ ) i da raste sa uglom kosog snimanja ili skeniranja ( $A(\theta)=A\sec^2\theta$ ). Na slici 2 šematski su prikazane i spektralne radijanse terena  $L_{\lambda 1}$  i  $L_{\lambda 2}$  i spektralna radijansa atmosfere  $L_{\lambda 3}$ .

Ukupna ekvivalentna radijansa elementarne površine rezolucione ćelije, odnosno gustina snage zračenja po jediničnom prostornom uglu zavisi od emitovane radijanse sa i reflektovane

iradijancije od elementarne površine rezolucione ćelije i radijancije elementarne zapremine atmosfere između rezolucione ćelije i prijemne optike. Ekvivalentna spektralna radijansa na ulazu u prijemnu optiku, sa slike 2, može se odrediti iz izraza:

$$L_{\lambda e} = \tau_{\lambda}(L_{\lambda 1} + L_{\lambda 2}) + L_{\lambda 3} \quad (1)$$

gde je:

$\tau_{\lambda}$  — spektralna transmitivnost atmosfere, a spektralne radijancije su:

$L_{\lambda 1}$  — komponenta emitovana sa elementarne površine rezolucione ćelije

$L_{\lambda 2}$  — komponenta reflektovane iradijancije od elementarne površine rezolucione ćelije

$L_{\lambda 3}$  — komponenta zračenja atmosfere između elementarne površine rezolucione ćelije i prijemne optike.

Ukupna primljena snaga u jediničnom opsegu talasnih dužina  $\Phi_{\lambda}$ , koju prima detektor sa rezolucione ćelije i atmosfere između rezolucione ćelije i prijemne optike je:

$$\Phi_{\lambda} = A_0 k_0 \int_{\Omega} L_{\lambda e} d\Omega \quad (2)$$

gde je:

$\Omega$  — prostorni vidni ugao senzora,

$A_0$  — efektivna površina prijemne optike,

$k_0$  — gubici prijemne optike.

Napon na izlazu detektora zavisi od incidentne spektralne snage, spektralnog koeficijenta konverzije i graničnih talasnih dužina detektora:

$$V = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} R_{\lambda} d\lambda \quad (3)$$

gde je:

$R_{\lambda}$  — spektralni faktor konverzije detektora.

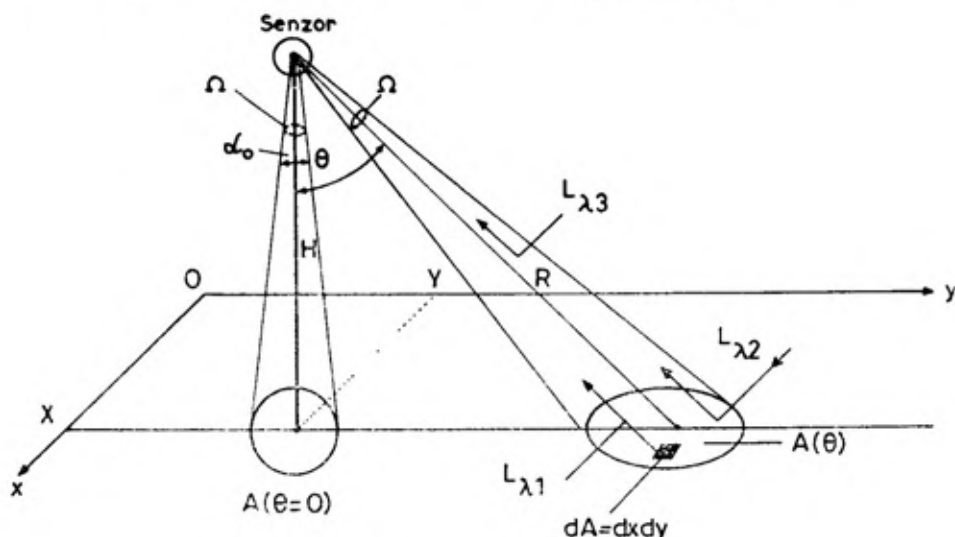
Nivo sivog tačke (piksela), koji predstavlja rezolucionu ćeliju na slici, proporcionalan je naponu:

$$I = K \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} R_{\lambda} d\lambda + I_{\text{offs}} \quad (4)$$

gde je:

$K$  — pojačanje,

$I_{\text{offs}}$  — referentni nivo sivog sistema za prikazivanje.



Sl. 2 — Rezoluciona ćelija na terenu

Relacija (4) dovodi u vezu sopstveno i reflektovano zračenje rezolucione ćelije i zračenje atmosfere između rezolucione ćelije i prijemne optike u određenom području talasnih dužina i nivo sivog tačke koja predstavlja površinu rezolucione ćelije na slici.

## TEREN

Teren je deo površine Zemlje koji emituje i reflektuje elektromagnetsko zračenje. Za razliku od terena, pojam scena koristi se za razumevanje uslova pri kojem se formira slika. Za senzore scena predstavlja, prostorno ili vremenski, teren sa izvorima i atmosferom kroz koju senzor prima zračenje. Za objekat na terenu često se koristi pojam cilj, a teren se naziva pozadina objekta i sami objekti (ciljevi).

Teren je, s aspekta zračenja, moguće opisati temperaturom, emisivnošću i refleksivnošću, kao što je prikazano na blok-šemi modela (slika 1).

Promena temperature na terenu, u opštem slučaju, zavisi od koordinata i vremena  $T(x,y,t)$ . Temperatura terena nekoliko centimetara ispod površine je  $T_0$ , a  $T(x,y)$  je površinska promena temperature elementarne površine u datom vremenskom trenutku. Prema rezultatima istraživanja [5], vremenska konstanta temperature elementarne površine je oko 1000 s, te se može uzeti da je promena temperature u vremenu formiranja slike jednaka nuli. Temperatura terena je statistička slučajna veličina, čija vrednost, na elementarnoj površini fluktuiira od tačke do tačke oko srednje vrednosti. Raspodela gustine verovatnoće temperature elementarne površine menja se po Gausovom zakonu [5]. Postoji zavisnost promene temperature između tačaka rezolucioni ćelija na terenu, koja se može odrediti na osnovu korelacione dužine temperature terena. Rezultati istraživanja [6] pokazuju da se korelaciona dužina temperature menja sa aktivnošću Sunca i odnosom korelacionih dužina termalne konduktivnosti i apsorptivnosti terena.

Spektralna emisivnost  $\varepsilon_\lambda(x,y)$  jeste slučajna promenljiva od tačke do tačke na površini rezolucione ćelije u jednom vremenskom trenutku. Pored toga, emisivnost se menja i sa uglom posmatranja. Za prirodne terene uzima se da su sivi difuzioni izvori oni čija se ukupna emisivnost menja od 0,90 do 0,96 [7], što zavisi od sastava terena i vegetacije. U modelima se, najčešće, uzima da je srednja vrednost emisivnosti konstantna ili se smatra da zavisi od ugla posmatranja [4, 7].

Spektralna radijansa  $L_{\lambda 1}$ , u relaciji (1), određuje se na osnovu temperature i spektralne emisivnosti površine rezolucione ćelije na osnovu dobro poznatog modifikovanog Plankovog zakona [8].

Spektralna refleksivnost  $\rho_\lambda(x,y)$  se, takođe, statistički menja od tačke do tačke na površini rezolucione ćelije. Refleksivnost elementarne površine je mnogo teže opisati nego emisivnost, jer zavisi od uglova između incidentnog i reflektovanog zračenja prema normali elementarne površine rezolucione ćelije.

Spektralna radijansa reflektovanog zračenja od elementarne površine rezolucione ćelije sastoji se od dve komponente: jedna je posledica reflektovanog Sunčevog zračenja, a druga reflektovanog zračenja neba. Spektralna radijansa reflektovanog Sunčevog zračenja od elementarne površine rezolucione ćelije određuje se (na osnovu spektralne bidirekcione i direkcione difuzne refleksivnosti) iz sledeće relacije [1]:

$$L_{\lambda RS} = \rho_\lambda(\Theta_s, \Phi_s, \Theta, \Phi) E_{\lambda s} \cos \Theta_s = \frac{1}{\pi} \rho_\lambda(\Theta_s, \Phi_s) E_{\lambda s} \cos \Theta_s \quad (5)$$

gde je:

$L_{\lambda RS}$  — spektralna radijansa refleksije Sunčevog zračenja,

$E_{\lambda s}$  — iradijansa Sunčevog zračenja na elementarnoj površini,

$\Theta_s$  — ugao između normale elementarne površine i položaja Sunca.

Spektralna iradijansa  $E_{\lambda_s}$ , u relaciji (5), određuje se iz spektralne radijanse Sunca za ekvivalentnu temperaturu od 5770 K ili iz empirijskih rezultata [9]. Ukupna iradijansa Sunca [9] na površini Zemlje (na nivou mora pri vedrom nebu) u toku dana iznosi  $865 \text{ Wm}^{-2}$ ;  $640 \text{ Wm}^{-2}$  i  $100 \text{ Wm}^{-2}$  za ugleve  $0^\circ$ ;  $60^\circ$  i  $85^\circ$  u odnosu na zenit, respektivno.

Poznato je da spektralna radijansa neba zavisi od ugla posmatranja; najmanja je u zenitu i raste sa uglom prema normali na elementarnu površinu. Spektralna radijansa zračenja neba reflektovanog od elementarne površine određuje se iz relacije [1]:

$$L_{\lambda RN} = 2 \rho_{\lambda} L_{\lambda N} (\theta_N = 0^\circ) = \rho_{\lambda} L_{\lambda N} (\theta_N = 60^\circ) \quad (6)$$

Spektralna radijansa, u relaciji (6), određena je prema incidentnom uglu normalnom na površinu rezolucione ćelije i uglu od  $60^\circ$ . Spektralna radijansa neba  $L_{\lambda N}$  određuje se na više načina. U literaturi se, najčešće, koriste empirijska formula Idso-Jaksona [9] i Sandersova poluempirijska aproksimacija [4].

Ukupna spektralna radijansa reflektovanih zračenja Sunca i neba od elementarne površine rezolucione ćelije  $L_{\lambda 2}$  iz relacije (1) jednaka je zbiru spektralnih radijansi, datih relacijama (5) i (6):

$$L_{\lambda 2} = L_{\lambda RN} + L_{\lambda RS} \quad (7)$$

Senzori laserskog izviđanja istovremeno su izvori i detektori laserskog zračenja. U ovom slučaju, spektralna radijansa terena iz relacije (1) ima i treću dominantnu komponentu  $L_{\lambda RL}$ , koja predstavlja reflektovanu iradijansu lasera od površine terena. Lasersko zračenje ima vrlo uzan spektar, pa se radi o zračenju na jednoj talasnoj dužini. Radijansa reflektovane iradijanse terena od laserskog zračenja, pod pretpostavkom da teren difuzno reflektuje lasersko zračenje, iznosi:

$$L_{\lambda RL} = P_L \tau_p \cos \theta_L / (\pi A_s) \quad (8)$$

gde je:

- $P_L$  — snaga zračenja laserskog predajnika,
- $\tau$  — transmitivnost atmosfere na određenoj talasnoj dužini,
- $\theta_L$  — ugao ose snopa laserskog zračenja prema normali rezolucione ćelije,
- $\rho$  — refleksivnost površine terena obasjane laserskim snopom,
- $A_s$  — površina snopa na terenu ( $A_s = \lambda R / \pi w$ , gde je  $w$  minimalna širina snopa u izvoru, a  $R$  — rastojanje od izvora laserskog zračenja do površine rezolucione ćelije na terenu).

## ATMOSFERA

Atmosfera zbog sopstvene temperature emituje zračenje, a elektromagnetska energija je pri prostiranju kroz atmosferu izložena slabljenju usled rasejavanja i apsorpcije. Sopstveno zračenje atmosfere opisuje se spektralnom radijansom, a propustljivost spektralnom transmitivnošću. Rasejavanje je posledica refleksije i refrakcije elektromagnetskog talasa od čestica vodene pare, prašine ili dimova. Komponenta rasejavanja zračenja neba i Sunca dolazi na prijemnu optiku direktno kroz atmosferu ili refleksijom od površine terena. Apsorpcija ima za posledicu slabljenje elektromagnetske energije i sopstveno zračenje usled zagrevanja atmosfere. Sa stanovišta daljinskog osmatranja, rasejavanje uzrokuje delimično usmeravanje zračenja izvan vidnog polja senzora, što menja nivo zračenja koje prima senzor. Teorijski, rasejavanje ima tri komponente u zavisnosti od odnosa između talasne dužine zračenja i dimenzija čestica koje prouzrokuju rasejavanje.

Apsorpcija u atmosferi dominantnija je od rasejavanja, posebno u dalekom infracrvenom delu spektra. Efekat apsorpcije izražen je zbog prisustva vodene pare, ugljen-dioksida, ozona i industrijske prašine. Slabljenje e-

elektromagnetske energije pri prostiranju kroz atmosferu je selektivno po talasnim dužinama [10, 11]. Vodena para slabi elektromagnetska zračenja na talasnim dužinama od 0,72 do 38  $\mu\text{m}$ , a izrazit je apsorber za talasne dužine 1,5; 2,7 i od 4,5 do 6,5  $\mu\text{m}$ . Ugljen-dioksid slabi elektromagnetska zračenja na talasnim dužinama od 0,72 do 16  $\mu\text{m}$ , a dominantno apsorbuje na talasnim dužinama 2,7; 4,3 i 15  $\mu\text{m}$ . Ozon je izrazit apsorber na talasnoj dužini 9,2  $\mu\text{m}$ , a utiče na slabljenje u opsegu talasnih dužina od 8 do 14  $\mu\text{m}$ . Pošto atmosfera selektivno slabi zračenje postoje opsezi talasnih dužina za koje je spektralna transmitivnost veća od 70% i manja od 25%. Opseg talasnih dužina u kojima je spektralna transmitivnost veća od 70% naziva se atmosferski prozor.

Spektralna transmitivnost i radijansa atmosfere su vremenski i prostorno statističke veličine. Najpoznatiji model atmosferske transmitivnosti i radijanse objavio je Knežis sa grupom saradnika pod nazivom LOWTRAN-6 [12]. Ovaj model atmosfere omogućava izračunavanje transmitivnosti i radijanse atmosfere pojedinačno i zajedno, kao i rasejavanje od Sunca i Meseca za različite geometrije i dužine puta od izvora do senzora. Pošto je ovaj model kompleksan i nedostupan mnogim korisnicima, koriste se aproksimacije za određivanje spektralne transmitivnosti i radijanse atmosfere.

Poznato je da se snaga zračenja u jediničnom opsegu talasnih dužina po prolasku kroz atmosferu debljine  $x$  i spektralnog koeficijenta slabljenja  $\sigma_\lambda$  može odrediti iz relacije [10]:

$$\Phi_\lambda = \Phi_{0\lambda} \exp(-\sigma_\lambda x) \quad (9)$$

Spektralna transmitivnost atmosfere  $\tau_\lambda$  je odnos snaga (u jediničnom opsegu talasnih dužina) na izlazu i ulazu u atmosferskog sloja debljine  $x$  i iznosi:

$$\tau_\lambda = \exp(-\sigma_\lambda x) \quad (10)$$

Ako se usvoji srednja vrednost spektralnog koeficijenta podužnog slabljenja atmosfere za stvarnu visinu leta  $H$ , tada je spektralna transmitivnost atmosfere pri linijskom skeniranju ili kosom kadrovskom snimanju [2]:

$$\tau_\lambda = \bar{\tau}_\lambda^{\sec(\theta)} \quad (11)$$

gde je  $\bar{\tau}_\lambda$  srednja vrednost spektralne transmitivnosti za visinu  $H$  i ugao kosog snimanja ili skeniranja  $\theta = 0$ .

Ovako definisana spektralna transmitivnost atmosfere omogućava relativnu analizu slabljenja zračenja terena, pri prostiranju kroz atmosferu, u odnosu na slabljenje zračenja površine rezolucione ćelije u nadiru. Pošto je srednja vrednost transmitivnosti atmosfere manja od jedan, iz relacije (11) vidi se da spektralna transmitivnost opada sa povećavanjem ugla skeniranja, odnosno sa povećanjem ugla pod kojim se vrši koso snimanje.

Spektralna radijansa atmosfere u konusu prostornog ugla senzora je statistička veličina koju je veoma teško odrediti. Jedna aproksimativna relacija za spektralnu radijansu atmosfere [2] iznosi:

$$L_{\lambda B} = (1 - \tau_\lambda) L_{\lambda BB}(\bar{T}_a) \quad (12)$$

gde je:

$\tau_\lambda = \tau_{\lambda H}^n$  — spektralna transmitivnost homogene atmosfere sa  $n$  slojeva,

$L_{\lambda BB}(\bar{T}_a)$  — spektralna radijansa crnog tela temperature  $\bar{T}_a$ ,

$\bar{T}_a$  — srednja vrednost temperature prvog sloja atmosfere iznad rezolucione ćelije.

Relacija (12) izvedena je pod pretpostavkama da je refleksivnost atmosfere zanemarljivo mala, da je promena temperature sa visinom mala u odnosu na srednju vrednost temperature atmosfere i da je atmosfera homogena. Iz relacije se vidi da spektralna radijansa atmosfere zavisi od spektralne

transmitivnosti atmosfere i spektralne radijanse ekvivalentnog crnog tela temperature  $\bar{T}_a$ . U slučaju da je atmosfera idealno prozirna ( $\tau_\lambda = 1$ ), radijansa atmosfere postaje jednaka nuli. Pošto je transmitivnost atmosfere manja od jedan, a i činjenica je da se smanjuje sa povećavanjem ugla kosog snimanja ili ugla skeniranja, spektralna radijansa atmosfere se povećava sa povećanjem ugla skeniranja, pri konstantnoj visini leta  $H$  i konstantnoj srednjoj vrednosti temperature vazduha  $\bar{T}_a$  neposredno iznad površine terena.

## PRESLIKAVANJE RAVNI TERENA U RAVAN SLIKE

### *Optomehaničko linijsko skeniranje*

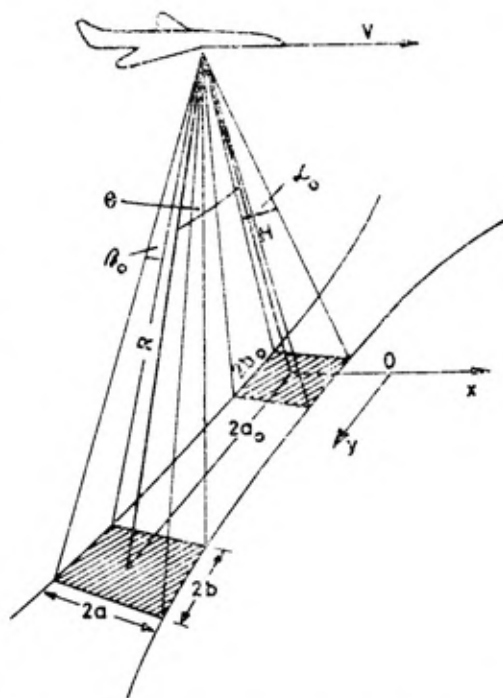
Senzori slike na bazi skeniranja formiraju sliku na dva načina: optomehaničkim skeniranjem ravni terena i skeniranjem ravni slike. Optomehaničko skeniranje scene ima određene prednosti, ali i nedostatke u odnosu na skeniranje ravni slike.

Senzori slike sa skeniranjem ravni slike primaju zračenje optičkim teleskopom iz relativno širokog vidnog polja ( $10^\circ$  do  $30^\circ$ ). Ravan slike objekta skenira se sekundarnom optikom i usmerava na detektor, koji ima jedan ili više elemenata. Kod ovih senzora javljaju se problemi u projektovanju i izradi sekundarne optike koja omogućava formiranje kvalitetne slike, odnosno transformaciju širokog trenutnog vidnog ugla prijemne optike u vrlo uzak trenutni vidni ugao detektora. Postoje različiti oblici skeniranja, kao što su: spiralno, kružno, sinusoidalno, pravolinijsko i dr. [13]. Oblik skeniranja zavisi od tipa detektora, ukupnog vidnog polja, zahtevane rezolucije, fizičkih ograničenja u pogledu rotacije, dimenzija i dr.

Za izviđanje iz vazdušnog prostora i mapiranje terena najčešće se koriste optomehanički linijski skeneri. Kreta-

njem platforme (vazduhoplova), koja nosi senzor, formiraju se sukcesivne linije skeniranja. Ako brzina vazduhoplova nije prilagođena brzini skeniranja, dolazi do višestrukog skeniranja iste površine ili do neskeniranja dela površine terena. Prva pojava izaziva dodatnu redundansu, a druga gubitak informacije na slici. Dodatna redundansa na slikama može se iskoristiti u obradi signala za prenos ili povećanje odnosa signal-šum na slikama, kao, na primer, kod kružnog skeniranja. Na slici 3 prikazan je princip linijskog optomehaničkog skeniranja terena. Letelica na visini  $H$  leti brzinom  $v$  i nosi skener koji ima ravanske trenutne vidne uglove  $\alpha_0$  i  $\beta_0$ , ( $\alpha_0 = \beta_0$ ), reda mrad.

Trenutni vidni uglovi određuju površinu rezolucione ćelije, koja se pomera duž ose skeniranja i za ugao skeniranja  $|\Theta| = \Theta_{\max}$  formira prebrisanu traku na površini terena. Tako, linija na slici odgovara prebrisanom površini na terenu, a tačka (piksel) na liniji po-



Sl. 3 — Princip linijskog skeniranja terena

vršini rezolucione ćelije. Sa slike 3 vidi se da se površina rezolucione ćelije menja na uglom skeniranja.

Na slici 3 šematski je prikazana jedna traka na terenu sa dve pravougaone rezolucione ćelije: rezoluciona ćelija u nadiru površine  $4a_0b_0$  i rezoluciona ćelija, za ugao  $\Theta$  i koso rastojanje  $R$  od prijemne optike, površine  $4ab$ . Sa slike se vidi da su širina i dužina rezolucione ćelije u nadiru jednake ( $2a_0 = 2b_0$ ), jer je, po pravilu,  $\alpha_0 = \beta_0$ .

Promene dimenzija rezolucione ćelije sa uglom skeniranja, sa slike 3, date su izrazima [2]:

$$\begin{aligned} 2a &\approx H\alpha_0 \sec\Theta = 2a_0 \sec\Theta \\ 2b &= \beta_0 H \sec^2\Theta = 2b_0 \sec^2\Theta \end{aligned} \quad (13)$$

Optomehanički skener preslikava tačke sa rezolucione ćelije na terenu ( $x, y$ ) u tačku na slici ( $X, \Theta$ ). Iz geometrije na slici 3 transformacija koordinata data je izrazima [2]:

$$\begin{aligned} x &= X + (H \tan\alpha_0 / \cos\Theta) \approx X + H\alpha_0 \sec\Theta \\ y &= H \tan(\Theta + \beta_0) \approx H \tan\Theta + H\beta_0 \sec^2\Theta \end{aligned} \quad (14)$$

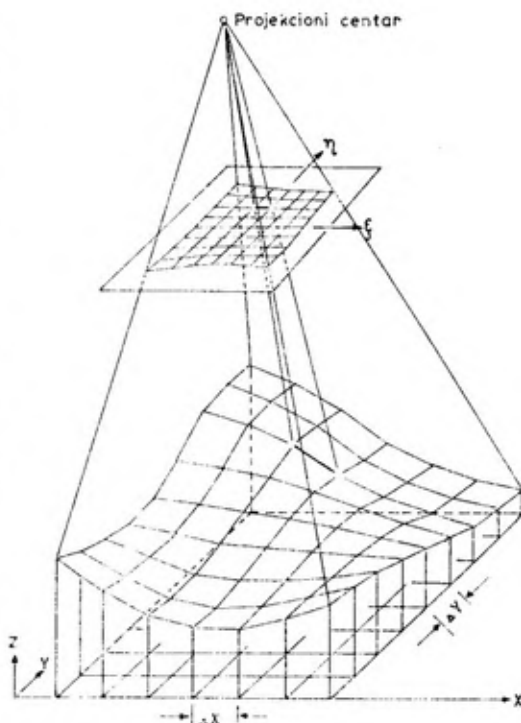
Iz izraza (14) vidi se da preslikavanje ravni objekta ( $x, y$ ) u ravan slike ( $X, \Theta$ ) nije linearno. Ravan slike je zamišljena ravan sa osama ( $X, \Theta$ ) koje formiraju pravac leta i ugao skeniranja. Zbog povećanja površine rezolucione ćelije sa uglom skeniranja dolazi do smanjenja fizičkih dimenzija objekata na slici, a zbog nelinearnog preslikavanja po zakonu  $\arctan(y/H)$  do deformacije objekata i smanjenja prostorne rezolucije sa povećanjem ugla skeniranja [2].

U ovom modelu ne razmatraju se uticaji neravnina na terenu, zakrivljenost Zemlje i promene parametara leta vazduhoplova (Ojlerovi uglovi).

### Neskanirajući senzori

Ovi senzori rade na principu preslikavanja ravni terena u ravan detektora nepokretnim optičkim sistemom. Dakle, optika istovremeno preslikava

teren ograničen vidnim poljem na film ili fotodetektor senzora. Mehanizam preslikavanja šematski je prikazan na slici 4.



Sl. 4 — Preslikavanje površine terena na površinu filma ili detektora

Sa slike 4 vidi se da se površina terena širine  $X_0$  i dužine  $Y_0$  preslikava na površinu filma ili detektora širine  $\xi_0$  i dužine  $\eta_0$ . Iz geometrijske optike je poznato da je:

$$(X_0 Y_0) / (\xi_0 \eta_0) = H^2 / F^2 \quad (15)$$

gde je:

$H$  — visina leta,

$F$  — efektivna fokusna dužina optike.

Relacija (18) pokazuje da se površina na terenu, koja se preslikava, povećava sa kvadratom visine leta (visine snimanja), ako je fokusna dužina kon-

stantna. Dakle, sa povećanjem visine leta smanjuje se dimenzija objekta i prostorna rezolucija na slici. Da bi se ovi nedostaci ublažili koriste se optički sistemi sa promenljivom fokusnom dužinom.

Kada se radi o kosom snimanju javljaju se efekti preslikavanja koji su već objašnjeni. Razlika je u tome što se kod ovih senzora kompletna slika formira za jedan ugao, a kod senzora sa optomehničkim skeniranjem ugao se menja od tačke do tačke na liniji slike.

## DETEKTORI

Detekcija zračenja prikupljenog prijemnom optikom senzora vrši se pomoću filma ili fotodetektora. Osetljivost pri detekciji, u oba slučaja, zavisi od talasne dužine incidentnog zračenja.

Efektivna vrednost napona  $V$  na izlazu detektora proporcionalna je efektivnoj vrednosti incidentne snage na osetljivoj površini detektora i faktoru konverzije detektora. Ukupan napon na izlazu detektora sastoji se od korisnog signala i šuma:

$$V = \int_{\lambda} \Phi_{\lambda} \mathcal{R}_{\lambda} d\lambda = V_s + V_n \quad (16)$$

gde je:

$\Phi_{\lambda}$  — spektralna incidentna snaga zračenja,

$\mathcal{R}_{\lambda}$  — spektralna osetljivost detektora.

Efektivna vrednost napona  $V_s$  odgovara efektivnoj incidentnoj snazi zračenja, a efektivna vrednost napona šuma  $V_n$  je sopstveni šum detektora kada ne postoji incidentno zračenje.

Odnos signal-šum na izlazu detektora, prema [9], iznosi:

$$\frac{S}{N} = \frac{V_s}{V_n} = \frac{\Phi}{NEP} \quad (17)$$

gde je:

NEP — ekvivalentna snaga šuma.

Treba napomenuti da su u relaciji (17) dati odnosi optičkih snaga, a napon na izlazu detektora proporcionalan je optičkoj snazi, dok je električna snaga na jediničnom otporniku proporcionalna srednjekvadratnoj vrednosti napona. Ako se uvede smena  $D_{\lambda} = 1/NEP_{\lambda}$  i  $D^*_{\lambda} = D_{\lambda} (A_d B)^{0.5}$  prethodna relacija može se napisati u integralnom obliku:

$$\frac{S}{N} = \frac{\int_{\lambda} \Phi_{\lambda} D^*_{\lambda} d\lambda}{(A_d B)^{1/2}} \quad (18)$$

gde je:

$A_d$  — osetljiva površina detektora,

$B$  — potrebni frekvencijski opseg signala na izlazu detektora,

$D^*_{\lambda}$  — specifična spektralna detektabilnost fotodetektora.

Površina detektora  $A_d$ , prostorni vidni ugao senzora  $\Omega$  i efektivna fokusna dužina optike ( $F$ ) povezani su relacijom  $\Omega = A_d/F^2$ , a potreban frekvencijski opseg signala određuje se na osnovu vremena zadržavanja detektora na rezolucionalnoj ćeliji.

Sređivanjem relacije (18), i pod pretpostavkom da je izvršena integracija u talasnom području od  $\lambda_1$  do  $\lambda_2$ , odnos signal-šum za optoelektronske senzore je:

$$\frac{S}{N} = \frac{k_0 A_0 L_e \Omega D^*}{(A_d B)^{1/2}} \quad (19)$$

gde je ekvivalentna radijansa  $L_e = \tau(L_1 + L_2) + L_3$ , a incidentna snaga zračenja na detektoru  $\Phi = k_0 A_0 L_e \Omega$ .

Za analizu signala slike od interesa je promena odnosa signal-šum na izlazu detektora u funkciji promene pojedinih komponenata ekvivalentne radijanse: sopstvene radijanse  $L_1$ , reflektovane radijanse  $L_2$ , radijanse atmosfere  $L_3$  i transmitivnosti atmosfere  $\tau$ .

## PRIKAZIVANJE SLIKA

Model elektronskog prikazivača sličan je modelu datom u [14]. Nivo sivog piksela na slici određuje se na osnovu relacije:

$$I = KV + I_{\text{offs}} \quad (20)$$

gde je:

V — zbir korisnog signala i šuma na izlazu detektora ( $V = V_s + V_n$ ),

K — pojačanje sistema,

$I_{\text{offs}}$  — srednji nivo sivog bez prisustva signala na ulazu elektronskog prikazivača.

Slike terena za vojne potrebe, po pravilu, jesu monohromatske, a vizuelni kontrast je posledica promene nivoa osvetljaja od tačke do tačke na ekranu ili fotografiji. Prema podacima u [15] vizuelni sistem čoveka je adaptibilan na intenzitet svetlosti. Subjektivni osvetljaj je logaritamska funkcija intenziteta svetlosti koju prima oko. Najmanja promena osvetljaja, koju oko može zapaziti, zavisi od apsolutnog osvetljaja. Ovaj odnos je približno konstantan za široki dijapazon osvetljaja, a poznat je kao Veberov zakon. To znači da za veći osvetljaj oko zahteva veći priraštaj osvetljaja. Prag kontrasta zavisi od površine mozaika i vremena posmatranja slike [16]. Pored kontrasta značajna karakteristika oka je moć razlaganja, odnosno moć uočavanja sitnih detalja na slici. Na moć razlaganja, osim kontrasta, utiče dinamika slike i adaptacija oka [16].

Za analizu slika koristi se relativni odnos  $\Delta I/I$ , gde je  $I$  — srednji nivo sivog, a  $\Delta I$  — razlika nivoa sivog posmatrane tačke u odnosu na srednji nivo sivog. Relativna promena nivoa sivog na slikama može se dovesti u vezu sa relativnom promenom ekvivalentne radijanse terena, usled promene temperature, emisivnosti i refleksivnosti terena. Na primer, relativna promena temperature na terenu  $\Delta T/T$  ima za posledicu relativnu promenu radijanse. Pošto relativna promena radijanse do-

vodi do relativne promene napona na izlazu detektora, relativna promena nivoa sivog na termalnoj slici zavisi od relativne promene temperature na terenu.

## Primena modela za generisanje slika terena

Jedna od primena datog matematičkog modela za formiranje slike terena optoelektronskim senzorom jeste generisanje slika terena na računaru i analiza uticaja različitih parametara na formiranje slike terena [17].

Postupak za primenu modela sadrži sledeće korake [17]:

a) zada se osnova terena proizvoljnog oblika i podeli na proizvoljan broj elementarnih površina, a svakoj elementarnoj površini dodele se radijanse osnove terena;

b) zada se oblik i dimenzija objekta, podeli se na proizvoljan broj elementarnih površina, a svakoj elementarnoj površini dodele se radijanse objekta;

c) konture objekta postave se na osnovu terena, odredi se ekvivalentna radijansa tako formiranog terena i korelaciono rastojanje ekvivalentne radijanse terena;

d) definišu se parametri atmosfere i računaju transmitivnost i radijansa atmosfere;

e) izabere se optoelektronski senzor, odredi se modulaciona transfer funkcija senzora [17] i zadaju karakteristike detektora;

f) izračuna se napon na izlazu detektora, odnosno nivo sivog na crno-beloj slici terena za svaku rezolucionu ćeliju na terenu.

## TERMALNE SLIKE TERENA GENERISANE NA RAČUNARU

Kao primer primene uprošćenog matematičkog modela i računarskog modela [18] na računaru su generisane termalne slike kvaziprirodnog terena.

Izabrano je spektralno područje od 8 do 14  $\mu\text{m}$ , jer se može zanemariti komponenta radijanse terena  $L_{\lambda, 2}$ , koja predstavlja spektralnu radijansu usled refleksije zračenja Sunca i neba od površine terena. Teren je predstavljen kao ravna površina na kojoj su postav-

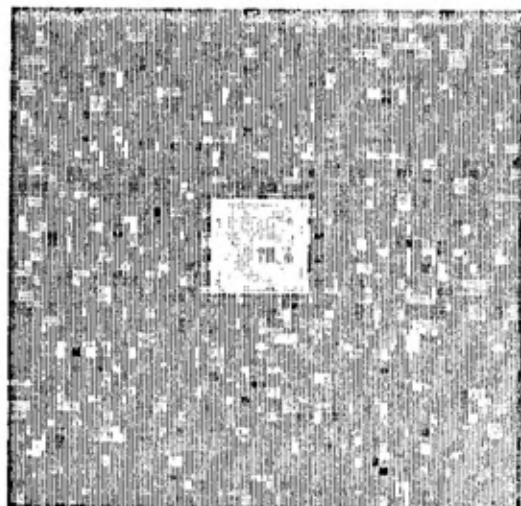
ljeni usamljeni objekti. Površina na kojoj su postavljeni objekti (pozadina) kvadratnog je oblika, dimenzija 64x64 rezolucione ćelije senzora u nadiru ( $\alpha_0 H = 1 \text{ m}$ ). Srednja vrednost temperature pozadine je 300 K, a njena standardna devijacija 3K. Objekti su predstavljeni toplim jednakim pločama, dimenzija 12x12 rezolucioni ćelija u nadiru. Srednja vrednost temperature ploča je 310 K, a njena standardna devijacija 1,5 K. Emisivnosti pozadine i ploča su konstantne. Korelaciono rastojanje temperature terena jednako je dužini dve rezolucione ćelije u nadiru.

Na slici 5 prikazane su dve termalne slike terena: u nadiru ili pri vertikalnom snimanju i pod uglom od oko 70° bočno u odnosu na pravac leta [2].

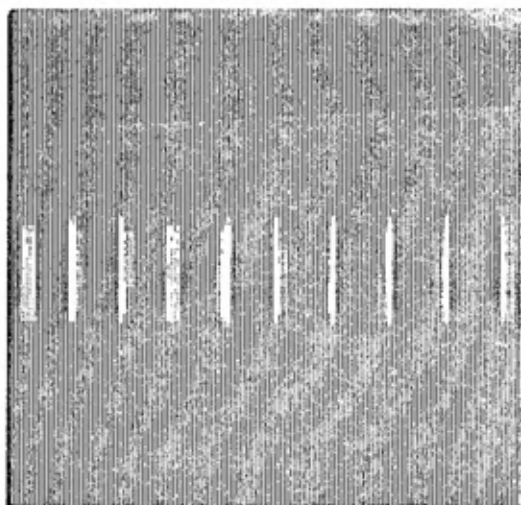
Na slici 5 prikazane su geometrijske deformacije objekata i smanjenje prostorne rezolucije sa povećanjem kosog snimanja ili ugla skeniranja. Na slici 5a jasno se vide fluktuacije temperature na ploči i pozadini a dimenzije ploče su realne. Na slici 5b prikazano je 10 perioda osnovnog terena, jer se vidi 10 toplih ploča. Jasno se vide geometrijska izobličenja ploča, gubitak finih detalja i znatno smanjen kontrast u odnosu na sliku 5a. Do smanjenja samo jedne dimenzije na slici došlo je zbog efekata linijskog skeniranja [2, 17].

## Zaključak

Teoretske osnove i uprošćen matematički model za formiranje slike terena optoelektronskim senzorima pokazuju da je proces formiranja slike terena veoma složen i da zavisi od vrste terena, vremenskih i atmosferskih uslova i mogućnosti senzora. Zbog toga se za vojne potrebe istovremeno koriste različiti optoelektronski senzori. Iz prikazanog modela sledi da se optimalne slike terena dobijaju fotografskim i televizijskim kamerama, u toku sunčanog dana i pri dobroj optičkoj vid-



( a )



( b )

Sl. 5 — Termalne slike terena

a)  $\theta = 0^\circ \pm 2,75^\circ$ ; b)  $\theta = 70^\circ \pm 2,75^\circ$

ljivosti, a termovizijskim kamerama u toku noći. Senzori termalne slike imaju prednost pri formiranju slike maskiranih i zadimljenih (za vidljivi opseg) objekata, ali imaju manji kontrast. Laserski senzori formiraju slike sa najboljom prostornom rezolucijom, ali zahtevaju lasersko zračenje, pa se mogu otkriti i ometati.

Primer primene modela pokazuje da je on pogodan za generisanje slika različitih terena, za različite uslove prostiranja u atmosferi i različite vrste senzora, što omogućava analizu uticaja pojedinih parametara na formiranje slike terena optoelektronskim senzorima, a može se dopuniti u zavisnosti od namene.

#### Literatura:

- [1] Richer, R.: Infrared Simulation Model SEN-SAT-2, DFVLR-FB 87-10, Institut für Optoelektronik, Oberpfaffenhofen, 1987.
- [2] Barbarić, Z.: Prilog metodama za analizu i obradu signala termalne slike formirane linijskim skeniranjem, Doktorska disertacija, ETF-Beograd, 1991.
- [3] Ben-Yosef, N., Wilner, K., Abitbol, M.: Measurement and modeling of natural desert terrain in the infrared, *Optical Engineering*, Vol. 27, No. 11, 1988.
- [4] Wilf, I., Manor, Y.: Simulation of sea surface images in the infrared, *Applied Optics* Vol. 23, No. 18, 15. september 1984., 3174-3180.
- [5] Ben-Yosef, N., Wilner, K., Fuchs, I., Simhony, S., Abitbol, M.: Natural terrain infrared radiance statistics: daily variation, *Optical Society of America*, Vol. 24, No. 23/AP, decembar 1985., 4167-4171.
- [6] Ben-Yosef, N., Wilner, K., Simhony, S., Abitbol, M.: Correlation length of natural terrain infrared images: daily variation, *Applied Optics*, Vol. 25, No. 6, 15. mart 1986., 866-869.
- [7] Cogen, J. L.: Remote sensing of surface and near surface temperature from remotely piloted aircraft, *Applied Optics*, Vol. 24, No. 7, 1985., 1030-1036.
- [8] Swain, P. H., Davis, S. M.: *Remote Sensing: The Quantitative Approach*, McGraw-Hill, Inc, 1978.
- [9] Wolfe, W. L., Zissis, G. J.: *The Infrared Handbook*, Washington, Office of Naval Research, Department of the Navy, 1978.
- [10] Gaussorgues, G.: *La thermographie infrarouge*, Paris Codex 08. 1981.
- [11] Hudson, R.: *Infrared System Engineering*, J. Wiley and Sons, New York 1969.
- [12] Knelzys, F. X., Shettle, E. P., Galleri, W. O., Chetwynd, J. H., Abreu, L. W., Selby, J. E. A., Clough, S. A., Fenn, R. W.: *Atmospheric Transmittance/Radiance: Computer Code LOWTRAN 6*, Air Force Geophysics Laboratory, Massachusetts 01731, AFGL-TR-83-0187, februar 1984.
- [13] Johnson, R. B., Wolfe, W. L.: *Selected Papers on Infrared Design*, SPIE, Vol. 513, 1985.
- [14] Nandhakumar, N., Aggarwal, J. K.: *Integrated Analysis of Thermal and Visual Images for Scene Interpretation*, IEEE Transaction of pattern analysis and machine intelligence, Vol. 10, No. 4, July 1988., 469-480.
- [15] Gonzalez, R. C., Wintz, P.: *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1977.
- [16] Pratt, W. K.: *Digital Image Processing*, John Wiley and Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978.
- [17] Barbarić, Z., Marinčević, A., Petrović, G., Milovanović, D.: Thermal-image generation by line-scanning technique: a new computer model, *Applied Optics*, Vol. 33, No. 14, May 1994., 2883-2889.
- [18] Marinčević, A., Barbarić, Z., Petrović, G., Milovanović, D.: Computer generation of thermal images and analysis of line-scanning effects, *Facta Universitatis (Niš)*, Ser. Elec. Eng. 7 (1994), 83-90.

**Dr Đorđe Matić,**  
pukovnik  
VP 3652 Novi Sad

**Dr Dragan Acketa,**  
profesor  
Prirodnomatemički fakultet,  
Novi Sad

## **PROGRAM ZA TESTIRANJE KOMPATIBILNOSTI VF RADIO-UREĐAJA**

UDC: 621.391.623.615

### *Rezime:*

*U radu je prikazana jedna mogućnost izrade programa u jeziku PROLOG za testiranje kompatibilnosti tipova VF radio-uređaja. Mnogi VF radio-uređaji mogu održavati međusobnu vezu, ali ne na svim frekvencijama niti sa svim vrstama rada. Program je namenjen načelnicima roda veze kako bi mogli u kratkom vremenu proveriti kompatibilnost VF radio-uređaja sa kojima će organizovati vezu.*

*Ključne reči: PROLOG, VF radio-uređaji, kompatibilnost.*

---

## **PROGRAM FOR TESTING THE COMPATIBILITY OF HF WIRELESS DEVICES**

### *Summary:*

*A program in PROLOG for HF wireless devices compatibility testing is described in the paper. The communication can be established through many HF wireless devices but not at all frequencies nor with all operation types. The program is intended for communication section officers in order to help them to check, in a short period of time, the compatibility of HF wireless devices they are going to organize the communication with.*

*Key words: PROLOG, HF wireless device, compatibility.*

---

### **Uvod**

Moderna dostignuća koja se koriste u obučavanju komandi i oficira i u ratnim dejstvima jesu komandno-informacioni sistemi (KIS), odnosno senzorske, računarske i informacione mreže namenjene za prikupljanje podataka, saobraćaj i komandovanje u svim jedinicama. Ne mogu se zamisliti bez računara i savremenih računarskih programskih paketa, a u okviru njih posebno mesto imaju ekspertni sistemi.

U svakoj komandi značajno mesto ima organ veze (načelnik veze), zbog uloge koju veza ima u izvrša-

vanju svakodnevnih zadataka. Zbog svojih karakteristika radio-veze su u svim oružanim snagama brojne i raznovrsne.

Ekspertni sistem može predložiti više načina organizacije radio-veza na osnovu unetih podataka o učesnicima-jedinicama i pravila o organizaciji radio-veza [3]. Pri tome se uzimaju u obzir ponderske veličine o prednostima organizacije radio-veza, zemljišta na kome se one organizuju, broj i tip radio-uređaja koji su na raspolaganju, kao i ugrađeni kriterijumi o razvrstavanju jedinica.

Neki tipovi radio-uređaja (RU) potpuno su kompatibilni, neki nisu, a

neki mogu međusobno raditi samo u određenom frekventnom opsegu, sa određenom vrstom emisije i samo sa zajedničkom modulacijom.

U Vojsci Jugoslavije postoji više tipova radio-uređaja. Načelnik veze ne mora, a i ne može uvek pamtit i karakteristike svih uređaja koje ima u svojim jedinicama. Računar može i u ovom delu znatno pomoći načelniku veze. U planiranju i organizovanju veza ekspertni sistemi mogu pomoći načelniku veze, posebno u korišćenju velike količine podataka, kako bi u kratkom vremenu mogao rešiti što više zadataka u komandovanju vezom.

U ovom radu predlaže se jedan program za testiranje kompatibilnosti radio-uređaja. Predviđeno je da on bude sastavni deo ekspertnog sistema za komandovanje vezom. Jedan od najčešće korišćenih jezika za izgradnju ekspertnih sistema je PROLOG.

PROLOG je relacijski jezik, u kome osnovnu ulogu imaju relacije slične matematičkim. Prema [5], u vezi sa relacijama uopšte, u matematičkoj logici, a i u mnogim verzijama PROLOGA, koriste se zapisi oblika  $rel(a_1, \dots, a_n)$ , tzv. formule (predikati). Ovde treba čitati: »*rel* od  $a_1, \dots, a_n$ « ili »*objekti*  $a_1, \dots, a_n$  su u relaciji *rel*«, gde je *rel* ime relacije, dok su  $a_1, \dots, a_n$  objekti na koje se odnosi relacija. U drugoj terminologiji [6, 7] kaže se i da je *rel* funktor predikata, a da su  $a_1, \dots, a_n$  njegovi argumenti.

## Model za proveru kompatibilnosti tipova RU

Program koji se prikazuje u ovom radu namenjen je načelnicima veza radi provere kompatibilnosti radio-uređaja koji se planiraju da rade u istoj radio-mreži. Načelnik veze treba da unese u bazu podataka karakteristike svih radio-uređaja koji se nalaze u njegovim jedinicama.

Program je prilagođen za rad sa visokofrekventnim radio-uređajima (VF RU), ali se brzo može prilagoditi za vrlo visokofrekventne radio-uređaje (VVF RU) i za ostale uređaje veze.

Prološki program (pod nazivom KO.ARI) poziva se iz DOS-a komandom *ko <Enter>*. Time se program spaja sa prološkom bazom *ur* tipova radio-uređaja. Komandna datoteka KO.BAT kopira datoteke UR i KO.ARI u jedinstveni PROLOG program K.ARI. Prološka baza podataka *ur* prethodno je pripremljena iz baze jedinica VFUR.DBF DBASE programom PROUR.PRG.

Izlazi programa su tekstualni izveštaj (na ekranu monitora i u spoljnoj datoteci IZVKO), kao i prološka baza *ko*, čiji podaci se mogu koristiti kao ulaz za druge prološke programe, koji koriste podatke o kompatibilnosti.

Tako postoji

Ulaz: 1) Baza *ur* tipova VF radio-uređaja u DBF formatu.

Izlaz: 2) Izveštaj o kompatibilnosti tipova VF RU u bazi.

3) Baza *ko* kompatibilnih parova uređaja, koja uključuje i njihove snage.

### PROUR.PRG

|          |        |        |       |      |       |       |
|----------|--------|--------|-------|------|-------|-------|
| VFUR.DBF | -----> | UR     | ----- |      | --->  | IZVKO |
|          |        |        | K.BAT | ---> | K.ARI | --->  |
|          |        | KO.ARI | ----- |      | --->  | KO    |

Sema datoteka koje koristi program

Izveštaj o tekstualnoj datoteci *IZVKO* takođe bi se mogao formirati u obliku prološke baze. Time bi se otvorila mogućnost za efikasnije korišćenje podataka u njemu (objašnjenja na zahtev o razlozima za nemogućnost uspostavljanja veze, uputstva poslužiocu o parametrima za uspostavljanje veze, odnosno automatsko podešavanje RU na potrebne parametre).

Praksa je pokazala da je pri testiranju međusobne kompatibilnosti VF RU najvažnije uzimati u obzir njihove frekventne opsege, vrste modulacije i vrste emisije. Preciznije, dva tipa RU su kompatibilna ako imaju neprazan presek frekventnih opsega, bar jednu zajedničku vrstu modulacije i bar jednu zajedničku vrstu emisije. Zbog toga je u program uneto da se proveravaju samo frekventni opsezi, vrste emisije i modulacije. To još ne znači da ta dva konkretna (primerka) RU mogu sarađivati. Kompatibilnost je samo potreban, ali ne i dovoljan uslov za mogućnost održavanja veze; pored ostalog, potrebno je još i da manja od dve snage bude dovoljno velika, s obzirom na međusobno rastojanje uređaja.

VF RU se na određenu frekvenciju najčešće postavljaju na dva načina. Prvi je postavljanje odgovarajućeg preklopnika na zadati kanal, koji predstavlja određenu frekvenciju, a drugi je da se uređaj pomoću ručice, postavi na određenu frekvenciju. U većini slučajeva, frekvencije VF RU koji se na frekvenciju postavljaju kanalski ili se podešavaju ručicom podudaraju se, odnosno takvi uređaji mogu se postaviti na istu frekvenciju. Međutim, s obzirom na to da u VJ postoje VF RU različitih proizvođača, može se desiti da frekvencija kanala jednog uređaja ne odgovara frekvenciji kanala ili podeoka na kome se može postaviti drugi uređaj. Zbog toga je programom predviđeno da se proveravaju kompatibilnost VF RU koji se na frekvenciju postavljaju kanalski ili ručicom. Kako bi se izbegla nepotreb-

na preciznost u postavljanju uređaja, programom je predviđen nešto širi frekventni opseg na kome bi VF RU trebalo međusobno da rade. U programu je taj opseg nazvan »neprazan presek«.

»Neprazan presek« u praksi znači da presek frekventnih opsega ima izvesnu minimalnu širinu, npr. bar 100 kHz. Kontinualni i kanalski RU su kompatibilni ako se prvi može podeliti na frekvenciju drugog.

Ako za dva razmatrana tipa uređaja program da odgovor da oni *Nisu kompatibilni*, navodi se jedan ili više razloga za nekompatibilnost. Poruke *MOD.*, *EMI.* i *FRE.* redom znače da ne postoji zajednička vrsta modulacije ili emisije, odnosno da je presek frekventnih opsega prazan.

S druge strane, u slučaju kompatibilnosti dva tipa uređaja, program daje informaciju o uslovima pod kojima su oni kompatibilni; koje su zajedničke vrste modulacije i emisije, kao i kako izgleda presek njihovih frekventnih opsega.

### *Sastavni delovi programa*

Program *KO.ARI* za proveru kompatibilnosti VF RU funkcioniše na sledeći način:

1. Preuzimaju se podaci o dva tipa RU iz baze podataka *ur* o VF RU.

Na početku programa se samo naведу dva *ur* predikata sa opštim parametrima. »Bektreking« ugrađen u PROLOG obezbeđuje da se redom razmatraju svi mogući parovi tipova uređaja (kao da je u programu otvorena dvostruka petlja).

Dalji rad sa razmatranim parom tipova RU nastavlja se samo pod uslovom da se predikat koji odgovara prvom RU nalazi na ranijem mestu u bazi. Ovom kontrolom izbegava se dvostruko ispitivanje kompatibilnosti za isti par tipova.

2. Ispisuju se nazivi oba radio-uređaja u razmatranom paru.

3. Proračunava se presek frekventnih opsega.

4. Ispituje se postojanje zajedničke modulacije i zajedničke emisije primenom odgovarajućih kontrolnih promenljivih.

5. U slučaju nekompatibilnosti ispisuje se poruka o razlozima.

6. U slučaju kompatibilnosti:

a) upisuje se razmatrani par tipova u prološku bazu kompatibilnih tipova RU. U ovu bazu upisuju se i snage uređaja u paru. U zavisnosti od daljih potreba, upisivanje se može vršiti direktno u radnu memoriju ili spoljnu datoteku;

b) ispisuju se poruke o zajedničkim modulacijama, emisijama i frekvencijama za radio-uređaje u razmatranom paru (ove poruke mogu se smeštati i u posebnu prološku bazu podataka).

*ur(NAZIV, MINF, MAXF, MINF2, MAXF2, AMPLITUDNA, FREKVENTNA, IMPULSNA, FAZNA, SNAGA, A3E, H3E, R3E, J3E, B8E, B9E, A1A, F1B, J7B, B9W).*

Baza kompatibilnosti za parove tipova RU

Polazeći od prološke baze *ur* tipova RU, program generiše drugu prološku bazu, bazu kompatibilnosti *ko*. Ova baza se naknadno, uz podatke o rasporedu jedinica i njihovoj op-

## Baze podataka

Zbog značaja podataka koji se koriste u toku funkcionisanja programa, u ovom delu detaljnije se opisuju ulazna (*ur*) i izlazna (*ko*) baza podataka.

### Baza tipova VF radio-uređaja

Argumenti prološkog predikata *ur* sadrže parametre koji se odnose na pojedini tip radio-uređaja. Tu se redom nalaze: *NAZIV* uređaja, granice dva frekventna opsega (*MINF* i *MAXF* za prvi, odnosno *MINF2* i *MAXF2* za drugi frekventni opseg; ako drugi frekventni opseg ne postoji, onda se uzima da je  $MINF2 = MAXF2 = 0$ ), 0-1 podaci koji se odnose na mogućnost rada na nekoj od četiri vrste modulacije, *SNAGA*, kao i 0-1 podaci koji se odnose na mogućnost rada sa nekom od deset vrsta emisije:

remljenosti radio-uređajima, koristi za formiranje detaljnijeg predloga za realizaciju radio-mreža predloženih u inicijalnom predlogu.

Baza *ko* formira se u radnoj memoriji pomoću predikata [6] *upisi\_ko* datog sa

*upisi\_ko (Ime1, Snag1, Ime2, Snag2) :-*  
*name( Im1, Ime1 ), name( Im2, Ime2 ),*  
*assert( ko( Im1, Snag1, Im2, Snag2 ) ), fail.*

Ovi pozivi aktiviraju se za kompatibilne parove RU. Nazivi RU i njihova snaga preuzimaju se iz baze *ur*. Nakon toga radna memorija se može osloboditi od baze *ko* pozivom *brisi\_ko :- retract( ko(X,Y) ), fail.*

Baza *ko* može se prepisati u spoljnu datoteku, vezanu za datotečnu pro-

menljivu *Dat*, uz pomoć prološkog predikata *prepisi\_ko( Dat )*. Pri prepisivanju je, pored naziva kompatibilnih tipova RU i njihovih snaga, potrebno očuvati i znake interpunkcije koji čine deo sintakse PROLOG-a (zgrade, zareze, tačke):

```

prepisi_ko( Dat ) :- ko( Ime1, Snaga1, Ime2, Snaga2 ),
write(Dat,'ko(''),write(Dat,Ime1),write(Dat,'"),write(Dat,Snaga1),
write(Dat,'"), write(Dat,Ime2),write(Dat,'"),write(Dat,Snaga2),
write(Dat,')'), nl(Dat), fail.

```

Kako pri formiranju baze *ko*, tako i pri formiranju detaljnog izveštaja o kompatibilnosti parova tipova RU, program razmatra isključivo neuređene parove tipova RU, što znači da nije važan redosled tipova u paru. Međutim, ovakav zahtev je u programu pogodno obezbediti upravo poštovanjem redosleda, npr. tako da se razmatraju samo oni parovi tipova uređaja kod kojih se prvi tip nalazi u bazi *ur* ispred drugog.

### Modulacije i emisije

Radio-uređaji koriste neku od sledeće četiri vrste modulacija (amplitudna, frekventna, impulsna i fazna) [1,

2], kao i neku od deset vrsta emisija, čije skraćene oznake su: A3E, H3E, R3E, J3E, B8E, B9E, A1A, F1B, J7B i B9W [1,2]. Isti uređaj može raditi sa više vrsta modulacija, odnosno emisija.

Pogodno je da se mogućnost (nemogućnost) rada sa nekom od ovih vrsta označava jedinicom (nulom). Na primer, ako su 0-1 komponente koje odgovaraju vrstama modulacije kod dva uređaja, *RU1* i *RU2*, redom označene sa *Ampl1*, *Frek1*, *Impul1*, *Faz1*, odnosno sa *Ampl2*, *Frek2*, *Impu2*, *Faz2*, onda je postojanje zajedničke vrste modulacije ekvivalentno uslovu da promenljiva *Modtest*, obračunata izrazom

$$Modtest \text{ is } Ampl1 \cdot Ampl2 + Frek1 \cdot Frek2 + Impul1 \cdot Impu2 + Faz1 \cdot Faz2,$$

ima vrednost veću od nule. Naime, ako postoji zajednička vrsta modulacije dva tipa RU, onda su u jednom od gornja četiri proizvoda oba faktora jednaka jedinici, pa je i taj sabirak jednak jedinici. Na sličan način testira se i (ne)postojanje zajedničke emisije.

Narušavanje uslova kompatibilnosti *RU1* i *RU2* po pitanju modulacije, emisije, odnosno frekvencije, redom se registruje putem predikata *modtest*, *emtest* i *fretest*. Argumenti ovih predikata su:

$$poredi(Dat1, 1, 1, S) :- name(X, S), write(Dat1,X), fail.$$

Ovde je sa *S* označen string u kome je zapisana vrsta modulacije (emisije). Ako se na drugom ili trećem mestu nalazi 0 umesto 1, onda to znači da prvi, odnosno drugi tip RU ne poseduje tu vrstu modulacije (emisije). Ako postoji bar jedna od ove dve nule, onda se string ne ispisuje.

— naziv izlazne datoteke (*Dat1*) u koju se izveštaj ispisuje,

— promenljiva (kao gornja *Modtest* u slučaju modulacije) za koju je bitno samo to da li je njena vrednost veća ili jednaka nuli; jednakost sa nulom odgovara nekompatibilnosti po razmatranom kriterijumu.

U slučaju kompatibilnosti dva tipa RU, pozivom *not poredi* u tekstualni izveštaj se (vezan za datotečnu promenljivu *Dat1*) upisuju zajedničke vrste modulacije i emisije:

*Proračun preseka  
frekventnih opsega*

U VJ se koriste VF RU koji imaju jedan, a ređe dva frekventna opsega na kojima mogu raditi. Da bi dva VF RU mogla međusobno raditi, na oba frekventna opsega moraju imati

zajedničke frekvencije. To ima za posledicu da mogu imati najviše tri zajednička intervala na skali frekvencije.

Na primer, neka su sa  $FO_{11} = [Minf11, Maxf11]$  i sa  $FO_{12} =$

$[Minf12, Maxf12]$  označena dva frekventna opsega uređaja RU1. Slično, neka su sa  $FO_{21} = [Minf21, Maxf21]$  i sa  $FO_{22} = [Minf22, Maxf22]$  označena dva frekventna opsega uređaja RU2.

RU1: Minf11 ----- Maxf11 Minf12 ----- Maxf12  
 RU2: Minf21 ----- Maxf21 Minf22 ----- Maxf22  
 Presek: MinP1 ---- MaxP1 MinP2 ---- MaxP2 MinP3 ---- MaxP3

Primer preseka frekventnih opsega

Najpre se predikatom *presek* određuje samo presek dva frekventna opsega:

*presek( Sirina, Min1, Max1, Min2, Max2, Maxmin, Minmax ) :-*  
*Sum1 is Min1+Max1, Sum1>0, Sum2 is Min2+Max2, Sum2>0,*  
*max( Min1, Min2, Maxmin ), min( Max1, Max2, Minmax ),*  
*Razlika is Minmax - Maxmin, Razlika>Min\_sirina, ! .*  
*presek (Min\_sirina, Min1, Max1, Min2, Max2, 0, 0) .*

Ovde je sa *Min\_sirina* označena minimalna širina frekventnog opsega u kome se može garantovati uspostavljanje veze. Pazi se da širina presečnog frekventnog opsega ne bude manja od dozvoljenog minimuma; u suprotnom objavljuje se da je presek prazan. Prazan frekventni opseg označavaće se sa  $Minf=Maxf=0$ .

Na početku se (sa  $Sum1>0$ , odnosno sa  $Sum2>0$ ) testira da li neki od razmatranih frekventnih opsega možda nije prazan (u tom slučaju se i presek odmah proglašava za prazan).

Donja granica presečnog frekventnog opsega određuje se kao maksimum dve donje granice, a gornja kao minimum dve gornje:

$$[Min1, Max1] \cap [Min2, Max2] = [\max(Min1, Min2), \min(Max1, Max2)].$$

Na sledećem nivou proračun preseka frekventnih opsega dva tipa RU

vrši se pozivom predikata *proracun* [7]:

*proracun( Sirina, Minf11, Maxf11, Minf12, Maxf12, Minf21, Maxf21, Minf22, Maxf22, MinP1, MaxP1, MinP2, MaxP2, MinP3, MaxP3 ) :-*  
*presek( Sirina, Minf11, Maxf11, Minf21, Maxf21, MaxminDD, MinmaxDD),*  
*presek( Sirina, Minf11, Maxf11, Minf22, Maxf22, MaxminDG, MinmaxDG),*  
*presek( Sirina, Minf12, Maxf12, Minf21, Maxf21, MaxminGD, MinmaxGD),*  
*presek( Sirina, Minf12, Maxf12, Minf22, Maxf22, MaxminGG, MinmaxGG),*  
*srac\_presek( MaxminDD, MinmaxDD, MaxminDG, MinmaxDG,*  
*MaxminGD, MinmaxGD, MaxminGG, MinmaxGG,*  
*MinP1, MaxP1, MinP2, MaxP2, MinP3, MaxP3 ).*

U okviru toga predikat *presek* poziva se četiri puta, jer se za svaki od dva RU razmatra i gornji i donji

interval frekventnog opsega.

Presečni frekventni opsezi su:

[MaxminDD, MinmaxDD], [MaxminDG, MinmaxDG].  
[MaxminGD, MinmaxGD], [MaxminGG, MinmaxGG]. Tako [Maxmin DG,

MinmaxDG] označava presek donjeg (D) frekventnog opsega prvog RU i gornjeg (G) frekventnog opsega drugog RU (skraćenica »DG«).

Kada se ova četiri presečna frekventna opsega sortiraju po neopadajućim frekvencijama (svojih donjih i gornjih granica), onda je za njih pogodnije uvesti nove oznake:

$FO_1 = [Minf1, Maxf1]$ ,  $FO_2 = [Minf2, Maxf2]$ ,  
 $FO_3 = [Minf3, Maxf3]$ ,  $FO_4 = [Minf4, Maxf4]$ ,  
pri čemu je  $Minf1 \leq Minf2 \leq Minf3 \leq Minf4$ .

Frekventni opseg  $FO_1$  je, svakako, prazan, pa je  $Minf1 = Maxf1 = 0$ . Prvi,

drugi i treći presečni frekventni opseg se (kad postoje) redom označavaju sa

$[MinP1, MaxP1]$ ,  $[MinP2, MaxP2]$  i  $[MinP3, MaxP3]$ .

Ako postoji drugi od ovih opsega, onda mora postojati i prvi; ako postoji treći, onda moraju postojati prva dva. Tako postoje četiri razne mogućnosti za neprazne presečne frekventne opsege: nijedan, samo prvi, prvi i drugi, i sva tri. Dodeljivanje ova tri opsega vrši se po sledećoj šemi:

Ako  $FO_2$  nije prazan (tj. ako je  $Minf2 > 0$ ), onda je

$[MinP1, MaxP1] = FO_2$ ,  $[MinP2, MaxP2] = FO_3$ ,  $[MinP3, MaxP3] = FO_4$  inače ako  $FO_3$  nije prazan (tj. ako je  $Minf3 > 0$ ), onda je

$[MinP1, MaxP1] = FO_3$ ,  $[MinP2, MaxP2] = FO_4$ ,  $MinP3 = MaxP3 = 0$

inače ako  $FO_4$  nije prazan (tj. ako je  $Minf4 > 0$ ), onda je

$[MinP1, MaxP1] = FO_4$ ,  $MinP2 = MaxP2 = 0$ ,  $MinP3 = MaxP3 = 0$  inače je  $MinP1 = MaxP1 = 0$ ,  $MinP2 = MaxP2 = 0$ ,  $MinP3 = MaxP3 = 0$ .

### Glavni predikat

Glavni prološki predikat, koji realizuje sastavne delove programa 1—6, opisane u odeljku Sastavni delovi programa, ima sledeći izgled (tekst u redu iza znaka % je komentar):

glavni :-

```
% 1. deo: Preuzimanje podataka o dva tipa RU
ur(X,Ime1,Minf1,Maxf1,Minf21,Maxf21,Ampl1,Frek1,Impu1,Faz1,Snag1,
    A3e1,H3e1,R3e1,J3e1,B8e1,B9e1,A1a1,F1b1,J7b1,B9w1),
ur(Y,Ime2,Minf2,Maxf2,Minf22,Maxf22,Ampl2,Frek2,Impu2,Faz2,Snag2,
    A3e2,H3e2,R3e2,J3e2,B8e2,B9e2,A1a2,F1b2,J7b2,B9w2),
X<Y, % izbegavanje dvostrukog ispitivanja kompatibilnosti
```

% kontrolom ove nejednakosti rednih brojeva

```
% 2. deo: Ispis naziva oba tipa radio-uređaja
name(Im1,Ime1),name(Im2,Ime2),write(Im1),write(' '),write(Im2),write(' '),
```

```
% 3. deo: Proracun preseka frekventnih opsega
proracun(100,Minf1,Maxf1,Minf21,Maxf21,Minf2,Maxf2,Minf22,Maxf22,
    MinP1,MaxP1,MinP2,MaxP2,MinP3,MaxP3),
```

```
% presek frekventnih opsega je prazan ako je MaxP1=0, inace je MaxP1>0
```

```
% 4. deo: Ispitivanje postojanja zajedničke vrste modulacije,
```

```
% odnosno emisije
```

```

Modtest is Ampl1·Ampl2+Frek1·Frek2+Impul·Impu2+Faz1·Faz2,
% Modtest=1 ako postoji bar jedna zajednička vrsta modulacije,
%   inace Modtest=0
Emtest is A3e1·A3e2+H3e1·H3e2+R3e1·R3e2+J3e1·J3e2+B8e1·B8e2
+ B9e1·B9e2+Aa1·A1a2+F1b1·F1b2+J7b1·J7b2+B9w1·B9w2,
% Emtest=1 ako postoji bar jedna zajednička vrsta modulacije,
%   inace Emtest=0
Sumtest is Modtest·Emtest·MaxP1,
% Ako je Sumtest>0, onda su razmatrani uređaji kompatibilni,
%   inace nisu
% 5. deo: U slučaju nekompatibilnosti, poruka o razlozima
not poruke_nekomp(Sumtest),
% u predikat poruke_nekomp se ulazi samo ako je
% Sumtest=0, a izlazi se sa 'fail'. Unutar njega, poruke
% se ispisuju samo ako je MaxP1, odnosno Modtest, odnosno Emtest,
% jednako nuli
Sumtest>0, % 6. deo: Ako su uređaji kompatibilni,
% ispisivanje poruka o uslovima za kompatibilnost
poruke_kompat(Ampl1,Frek1,Impul,Faz1,Snag1,A3e1,H3e1,R3e1,J3e1,
B8e1,B9e1,A1a1,F1b1,J7b1,B9w1,Amp12,Frek2,Impu2,Faz2,Snag2,A3e2,
H3e2,R3e2,J3e2,B8e2,B9e2,A1a2,F1b2,J7b2,B9w2,MinP1,MaxP1,MinP2,
MaxP2,MinP3,MaxP3 ).
% predikat poruke_kompat koristi sve parametre potrebne za
% preciziranje uslova kompatibilnosti.

```

Predikat je dat u izvornom obliku radi sagledavanja celina prološkog rešenja u korišćenom programu.

### Primer primene programa

U nastavku se na jednom primeru ilustruje rad opisanog programa. Najpre se navodi prološka baza *ur* dobijena iz polazne DBF baze odgovarajućim DBASE programom, a potom i oba izlaza programa: izveštaj o kompatibilnosti i prološka baza *ko*.

#### Baza tipova uređaja

Pretpostavlja se da prološka baza *ur* (podaci za tipove RU) ima izgled naveden u tabeli 1. Prvi tip RU u ovoj

bazi je uređaj RTU-100 sa jedinim frekventnim opsegom od 2000 do 12000 kHz. Četvrti i peti argument prvog predikata *ur* su nule, što je znak da drugi frekventni opseg ne postoji. Ista situacija je kod ostalih sedam tipova RU u bazi. Iz podataka na pozicijama od šeste do devete vidi se da uređaj tipa RTU-100 ima amplitudnu i frekventnu emisiju (a nema impulsnu i faznu). Podatak na desetoj poziciji znači da je snaga ovog uređaja 100 W, dok podaci na pozicijama od jedanaeste do dvadesete znače da su njegove moguće vrste emisije A3E, H3E, R3E, A1A i F1B.

Tabela 1

|                       |   | Prološka baza ur |        |    |    |          |       |                       |  |  |  |
|-----------------------|---|------------------|--------|----|----|----------|-------|-----------------------|--|--|--|
| <i>ur</i> ("RTU-100   | " | 2000,            | 12000, | 0, | 0, | 1,1,0,0, | 100,  | 1,1,1,0,0,0,1,1,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("RTU-400   | " | 2000,            | 30000, | 0, | 0, | 1,1,0,0, | 400,  | 1,1,1,0,0,0,1,1,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("RU-20     | " | 2000,            | 30000, | 0, | 0, | 0,1,0,0, | 20,   | 1,1,0,0,0,0,1,0,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("RU-15     | " | 2000,            | 15000, | 0, | 0, | 0,1,0,0, | 15,   | 1,0,1,0,0,0,1,0,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("R-140     | " | 1500,            | 15000, | 0, | 0, | 1,1,0,1, | 1000, | 1,1,1,1,0,1,1,1,0).   |  |  |  |
| <i>ur</i> ("R-118     | " | 1400,            | 12000, | 0, | 0, | 1,1,0,0, | 500,  | 0,0,1,0,0,0,1,1,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("RTU-300/1 | " | 1000,            | 12000, | 0, | 0, | 1,1,0,0, | 300,  | 1,0,1,0,0,0,0,0,0,0). |  |  |  |
| <i>ur</i> ("222       | " | 222,             | 333,   | 0, | 0, | 0,0,0,0, | 0,    | 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0). |  |  |  |

## Izveštaj o (ne)kompatibilnosti

Prvi deo izlaza programa je izveštaj o (ne)kompatibilnosti razmatranih parova tipova RU (tabela 2). U slučaju kompatibilnosti precizira se pod kojim uslovima ona važi (koje su zajedničke vrste modulacije i emisije,

je, kao i koji je presek frekventnih opsega). U slučaju nekompatibilnosti navode se razlozi za nju (da li je u pitanju nepostojanje zajedničke vrste modulacije, zajedničke vrste emisije, prazan presek frekventnih opsega ili više ovih razloga istovremeno).

Tabela 2

### Tekstualni izveštaj u datoteci IZVKO

|           |           |                                   |      |            |            |            |            |     |            |
|-----------|-----------|-----------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|-----|------------|
| RTU-100   | RTU-400   | ampl                              | frek | A3E        | H3E        | R3E        | A1A        | F1B | 2000—12000 |
| RTU-100   | RU-20     | frek                              | A3E  | H3E        | A1A        | 2000—12000 |            |     |            |
| RTU-100   | RU-15     | frek                              | A3E  | R3E        | A1A        | 2000—12000 |            |     |            |
| RTU-100   | R-140     | ampl                              | frek | A3E        | H3E        | R3E        | A1A        | F1B | 2000—12000 |
| RTU-100   | R-118     | ampl                              | frek | R3E        | A1A        | F1B        | 2000—12000 |     |            |
| RTU-100   | RTU-300/1 | ampl                              | frek | A3E        | R3E        | 2000—12000 |            |     |            |
| RTU-100   | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| RTU-400   | RU-20     | frek                              | A3E  | H3E        | A1A        | 2000—30000 |            |     |            |
| RTU-400   | RU-15     | frek                              | A3E  | R3E        | A1A        | 2000—15000 |            |     |            |
| RTU-400   | R-140     | ampl                              | frek | A3E        | H3E        | R3E        | A1A        | F1B | 2000—15000 |
| RTU-400   | R-118     | ampl                              | frek | R3E        | A1A        | F1B        | 2000—12000 |     |            |
| RTU-400   | RTU-300/1 | ampl                              | frek | A3E        | R3E        | 2000—12000 |            |     |            |
| RTU-400   | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| RU-20     | RU-15     | frek                              | A3E  | A1A        | 2000—15000 |            |            |     |            |
| RU-20     | R-140     | frek                              | A3E  | H3E        | A1A        | 2000—15000 |            |     |            |
| RU-20     | R-118     | frek                              | A1A  | 2000—12000 |            |            |            |     |            |
| RU-20     | RTU-300/1 | frek                              | A3E  | 2000—12000 |            |            |            |     |            |
| RU-20     | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| RU-15     | R-140     | frek                              | A3E  | R3E        | A1A        | 2000—15000 |            |     |            |
| RU-15     | R-118     | frek                              | R3E  | A1A        | 2000—12000 |            |            |     |            |
| RU-15     | RTU-300/1 | frek                              | A3E  | R3E        | 1500—12000 |            |            |     |            |
| RU-15     | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| R-140     | R-118     | ampl                              | frek | R3E        | A1A        | F1B        |            |     | 1500—12000 |
| R-140     | RTU-300/1 | ampl                              | frek | A3E        | R3E        | 1500—12000 |            |     |            |
| R-140     | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| R-118     | RTU-300/1 | ampl                              | frek | R3E        | 1400—12000 |            |            |     |            |
| R-118     | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |
| RTU-300/1 | 222       | Nisu kompatibilni. MOD. EMI. FRE. |      |            |            |            |            |     |            |

Osnovni zaključak iz ovog izveštaja je da su skoro svi parovi tipova radio-uređaja u razmatranoj tabeli međusobno kompatibilni. Jedini izuzetak predstavlja tip radio-uređaja označen sa 222, koji nije kompatibilan ni sa jednim od ostalih tipova. Štaviše, za njegovu nekompatibilnost u svim slučajevima postoje sva tri razloga: nema zajedničku emisiju, modulaciju i presek frekventnih opsega sa svakim od ostalih tipova RU je prazan.

S druge strane, iz drugog reda izveštaja se vidi da kompatibilni uređaji RTU-100 i RU20 imaju zajedničku frekventnu modulaciju, zajedničke vrste emisije A3E, R3E, i A1A, dok im je presečni interval frekventnih opsega 2000—12000 kHz.

### Baza kompatibilnosti tipova radio-uređaja

Drugi deo izlaza programa je prološka baza ko kompatibilnosti tipova

radio-uređaja. Ova baza sadrži kompatibilne parove tipova RU (uz naziv

svakog tipa RU je navedena i odgovarajuća snaga u W):

Tabela 3

*Prološka baza ko za dalji rad*

|                                           |                                          |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| <i>ko("RTU-100",100,"RTU-400",400).</i>   | <i>ko("RU-20",20,"RU-15",15).</i>        |
| <i>ko("RTU-100",100,"RU-20",20).</i>      | <i>ko("RU-20",20,"R-140",1000).</i>      |
| <i>ko("RTU-100",100,"RU-15",15).</i>      | <i>ko("RU-20",20,"R-118",500).</i>       |
| <i>ko("RTU-100",100,"R-140",1000).</i>    | <i>ko("RU-20",20,"RTU-300/I",300).</i>   |
| <i>ko("RTU-100",100,"R-118",500).</i>     | <i>ko("RU-15",15,"R-140",1000).</i>      |
| <i>ko("RTU-100",100,"RTU-300/I",300).</i> | <i>ko("RU-15",15,"R-118",500).</i>       |
| <i>ko("RTU-400",400,"RU-20",20).</i>      | <i>ko("RU-15",15,"RTU-300/I",300).</i>   |
| <i>ko("RTU-400",400,"RU-15",15).</i>      | <i>ko("R-140",1000,"R-118",500).</i>     |
| <i>ko("RTU-400",400,"R-140",1000).</i>    | <i>ko("R-140",1000,"RTU-300/I",300).</i> |
| <i>ko("RTU-400",400,"R-118",500).</i>     | <i>ko("R-118",500,"RTU-300/I",300).</i>  |
| <i>ko("RTU-400",400,"RTU-300/I",300).</i> |                                          |

Na primer, činjenica *ko("RU-20",20,"R-118",500)* iz tabele 3 znači da su uređaji tipa RU-20 i R-118 međusobno kompatibilni, iako je snaga uređaja prvog tipa 20 W, dok je snaga uređaja drugog tipa 500 W.

## Zaključak

Program je namenjen načelnicima veza da bi prilikom planiranja i organizovanja radio-veza mogli proveriti karakteristike radio-uređaja i koristiti u organizaciji samo one RU koji

su međusobno kompatibilni. Programski jezik PROLOG obezbeđuje sve potrebne zahteve za izradu programa u kome se može testirati kompatibilnost radio-uređaja. Program je izrađen i može se staviti u funkciju kod svakog načelnika veze.

Izrađeni program predstavlja primer korišćenja specifičnih proloških predikata (namenjenih vezi) i na njemu se mogu sagledati i mogućnosti šire primene PROLOG-a za izradu programske podrške radu organa veze.

## Literatura:

- [1] Janjić, S., Đogatović, M., Marjanović, D.: Osnovi niskofrekventne i visokofrekventne telefonije i telegrafije, VIZ, 1981.
- [2] Marković, A., Kapković, J.: Osnovi primopredajne tehnike, VIZ, 1981.
- [3] Matić, Đ., Malbaški, D.: O primeni jedne klase ekspertnih sistema za podršku komandovanja sistemom veza, Savremeni problemi ratne veštine br. 32, 1994.

- [4] Ristić, Z., Bošnjak, Z., Balaban, N.: Ekspertni sistemi, Savremena administracija, Beograd, 1993.
- [5] Prešić, B. S.: PROLOG relacijski jezik, Matematički fakultet, Beograd, 1996.
- [6] Radovan, M.: Programiranje u Prolog-u, Informator, 1988.
- [7] Cubrilo, M.: Matematička logika za ekspertne sisteme, Informator, 1988.

**Dr Nedeljko Krstajić,\***  
profesor, dipl. inž.

**Dr Vladimir D. Jović,\*\***  
profesor, dipl. inž.

**Dr Branislav Bilen,\*\***  
profesor, dipl. inž.

**Dr Zoran Nikolić,\*\***  
dipl. inž.

**Mr Stanojko Stojković,\*\***  
potpukovnik, dipl. inž.

## AKTIVNA KATODNA ZAŠTITA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA U REČNOJ I MORSKOJ VODI

UDC: 620.197.5:629.12.011.71

### Rezime:

Korozija metala i konstrukcija u rečnoj i morskoj vodi jedan je od velikih ekonomskih i tehničkih problema u brodogradnji koji dosta utiče i na borbenu gotovost plovih objekata. U ovom članku prikazani su osnovi o elektrohemijskoj koroziji, kao i postupci zaštite. Posebno je objašnjen savremeni način zaštite pomoću električne struje, i primeri uspešno realizovani u našoj zemlji koji se odnose na morsku i rečnu vodu. Mada postoje određene specifičnosti u primeni ove zaštite koje se, prvenstveno, ogledaju u potrebnoj gustini struje od  $0,3 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$  za rečnu i  $20 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$  za morsku vodu, rezultati pokazuju da je sistem podjednako uspešan u oba slučaja.

Ključne reči: korozija metala, zaštita broda, aktivna katodna zaštita, rečna voda, morska voda, merenje potencijala.

## ACTIVE CATHODIC PROTECTION OF STEEL STRUCTURES IN RIVER AND SEA WATER

### Summary:

Corrosion of metals and structures in river and sea water is one of great economic and technical problems in shipbuilding; moreover, it affects vessel combat readiness a lot. This paper describes the fundamentals of electrochemical corrosion as well as protection procedures. An up-to-date corrosion protection by means of electrical current is explained in particular as well as some examples of successfully realized cases in our country, relating to both river and sea water. Although there are certain specific moments in the application of this type of protection — mainly concerning the required current density of  $0.3 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$  for river water and  $20 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$  for sea water — the results show that this system works successfully in both cases.

Key words: metal corrosion, ship protection, active cathodic protection, river water, sea water, potential measuring.

### Uvod

Korozija je spontano razaranje metalnih delova broda, a nastaje kao posledica fizičko-hemijskih procesa pri uzajamnom delovanju metala i okoline.

\* Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd.

\*\* Institut tehničkih nauka SANU, Beograd.

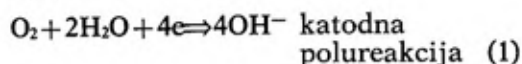
\*\*\* Mornaričkotehnička uprava GS VJ, Beograd.

Korozivnim oštećenjima naročito su izloženi metalni delovi trupa broda koji su u stalnom kontaktu sa vodom. Radi kontrole i dobijanja eksploatacionih podataka o oštećenju trupa broda, 1993. godine u Brodogradilištu Beograd merena je debljina limova broda »Titan«, koji je plovio po Crnom moru 23 godine. Merenja su obavljena na 231 mernom mestu. Pro-

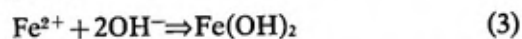
centualno smanjenje debljine od oko 10% najveće je kod limova koji se nalaze na granici vode i vazduha, gde je koncentracija kiseonika najveća, a najmanje oštećenje limova usled korozije, i to oko 5,8%, kod limova koji su stalno u vodi. Ispod krme broda, uz kobilicu, dolazi do velikih oštećenja usled višestruke korozije uzrokovane kavitacijom, erozijom i galvanskim dejstvom zbog prisutnosti propelera od bronzе. Na pramcu broda limovi su stradali, uglavnom, od mehaničkih oštećenja.

### Osnovi korozije metala

Korozija je proces koji se prirodno odvija na metalima i legurama uronjenim u elektrolit (kao što su rečna i morska voda), a posledica su uspostavljanja električnog potencijala na granici metal-elektrolit. Ukoliko dođe do kontakta između dva različita metala, ili dva dela istog metala sa različitim vrednostima potencijala na granici metal-elektrolit, formiraće se korozioni spreg, odnosno počće da se odigrava proces korozije. U tom slučaju katodnu polureakciju predstavljaće proces redukcije kiseonika do  $\text{OH}^-$  jona, dok će anodna polureakcija biti rastvaranje metala uz formiranje metalnih jona u rastvoru (korozija):



Krajnji produkt reakcije korozije je hidratizirani oksid gvožđa (rđa), koji nastaje reakcijom između  $\text{OH}^-$  i  $\text{Fe}^{2+}$  jona:



i daljom oksidacijom gvožđe hidrosida do hidratiziranog oksida gvožđa



Najbolji primer stvaranja korozivnog sprega može se šematski prikazati na slučaju propelera i trupa broda (sl. 1). S obzirom na to da je propeler obično od bronzе, ostvariće se korozivni spreg između trupa broda (brodski čelik) i propelera, tako da će doći do korozije trupa u neposrednoj blizini propelera, jer će trup, kao neplemenitiji metal, preuzeti ulogu anode i doći će do njegovog rastvaranja.

### Oblici korozivnog oštećenja

Pod dejstvom korozivne sredine (vode) koja provodi električnu struju (elektrolit), pri raznim koncentracijama rastvorenog kiseonika i ugljen-dioksida i na raznim temperaturama odigrava se opšta ravnomerna i neravnomerna korozija na podvodnom delu trupa broda. Ravnomerne naslage proizvoda korozije, koji pokrivaju celokupnu površinu metala, obično ukazuju na prisustvo ovog oblika korozije. Za većinu brodskih čelika brzina korozije u slatkoj vodi je manja od 0,1 mm godišnje, čak i bez prisustva premaza kao pasivnog oblika zaštite od korozije. Međutim, opšta korozija metala se gotovo uvek javlja u kombinaciji sa različitim oblicima korozije lokalnog karaktera koji su znatno opasniji.

Lokalni oblici korozije su:

— tačkasta (pitting) korozija obično je uslovljena prisustvom koncentracionog mikrogalvanskog sprega, kao i prisustvom agresivnih anjona u vodi (hloridni joni). Ovaj vid korozije vrlo je opasan, jer može izazvati pojavu veoma uskih, ali veoma dubokih rupa (0,5 do 1,0 mm godišnje);

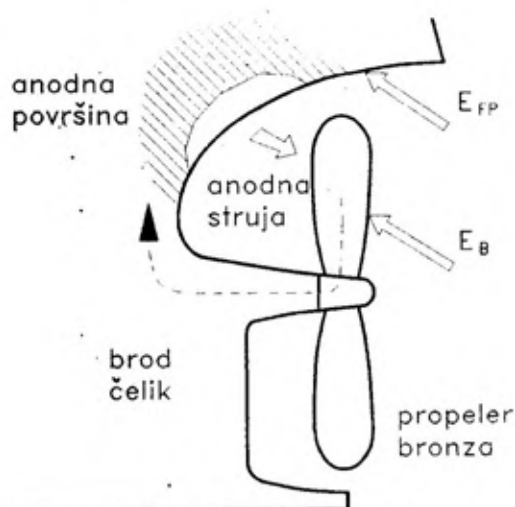
— međukristalna korozija selektivno napada po ivici zrna i dovodi do smanjenja jačine i duktilnosti van svih razmera u odnosu na količinu razorenog metala. Osnovni uzrok pojave ove korozije je segregacija nečistoća po

granicama zrna, najčešće kao posledica neadekvatne termičke obrade metala i zavarivanja;

— naponska korozija uglavnom se javlja usled kombinovanog delovanja korozije i naprezanja metala, izazivajući prskanje koje se naziva korozioni zamor, ili prskanje usled naponske korozije;

— erozivna korozija izražena je u tečnostima koje se kreću velikim brzinama, gde postoji mogućnost stvaranja turbulencija na površini metala;

— kavitaciona korozija pojavljuje se kada je tečnost u dodiru sa površinom metala podvrgnuta naglom naizmeničnom menjanju pritiska. Rezultat je nagla, duboka korozija nalik na sunder;



Sl. 1 — Princip elektrohemijske korozije u vodi

— galvanska (kontaktna) korozija uslovljena je kontaktom dva metala različitog elektrohemijskog potencijala (primer na slici 1).

### Pokazatelji brzine korozije

Osnovni pokazatelji kojima se izražava brzina korozije su:

— dubina razaranja metala u jedinici vremena (mm godišnje);

— promena mase metala kao posledica korozije, po jedinici površine i vremena ( $\text{g/m}^2\text{h}$ );

— promena nekog mehaničkog svojstva pod dejstvom agresivne sredine (%);

— vreme koje protekne od početka eksploatacije do pojave određene količine produkata korozije (h).

Uslovna ocena korozivne stabilnosti metala prikazana je u tabeli 1. Kada je reč o brodovima, ova skala, u izvesnom stepenu, može biti primenjena na podvodni deo trupa broda. Ona je neprikladna za ocenu stabilnosti konstrukcija koje su podvrgnute korozivno-mehaničkom razaranju (npr. lopatica propelera), međukristalnoj koroziji i ostalim tipovima lokalne korozije, kao i za delove koji su zaštićeni metalnim katodnim prevlakama.

Tabela 1

### Skala korozivne stabilnosti metala

| Grupa br. | Grupa stabilnosti   | Dubinski pokazatelj (mm/godišnje) |
|-----------|---------------------|-----------------------------------|
| I         | Visoka stabilnost   | $< 0,001$                         |
| II        | Povišena stabilnost | $0,001 - 0,01$                    |
| III       | Stabilni            | $0,01 - 0,1$                      |
| IV        | Snižena stabilnost  | $0,1 - 1,0$                       |
| V         | Mala stabilnost     | $1,0 - 10,0$                      |
| VI        | Nestabilni          | $> 10,0$                          |

### Faktori koji određuju agresivnost rečne i morske vode

Jedan od osnovnih faktora koji određuje agresivnost rečne vode je kon-

centracija rastvorenog kiseonika, koji diktira katodnu polureakciju — jednačina (1). Uloga rastvorenog kiseonika je dvojaka. Kao agens korozije povećava njenu brzinu, ali utiče i na formiranje zaštitne oksidne prevlake na površini metala, čime smanjuje brzinu korozije. Zbog toga, brzina korozije raste sa povećanjem koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi do  $4-5 \text{ mg dm}^{-3}$ , kada dostiže maksimum, dok pri većim koncentracijama rastvorenog kiseonika preovlađuje zaštitno dejstvo oksidne prevlake i brzina korozije opada. Pored kiseonika, na proces korozije utiče ugljendioksid rastvoren u vodi, čijim se povećanjem koncentracije povećava brzina korozije, jer se potpomaže odslojavanje zaštitnog oksidnog filma. Pored toga, na brzinu korozije utiču temperatura, pH vode, brzina protoka vode, sastav i sadržina soli u vodi, itd.

Morska voda pripada grupi najagresivnijih elektrolita zbog visoke koncentracije natrijumhlorida (NaCl), visokog sadržaja rastvorenog kiseonika i visoke provodljivosti. Pored toga, kao i u slučaju rečne vode, na proces korozije utiču temperatura, pH vode, brzina protoka vode itd.

### Postupci zaštite od korozije u rečnoj i morskoj vodi

#### Upotreba premaza (pasivni oblik zaštite)

Pasivni oblik zaštite od korozije, koji se zasniva na primeni organskih premaza, nije dovoljan (naročito u morskoj vodi) i, po pravilu, kombinuje se sa elektrohemijском zaštitom. Razlog tome je što prelazni otpor premaza eksponencijalno opada sa vremenom eksploatacije, kao što je prikazano u tabeli 2 gde je dat pregled ispitivanja u eksploatacionim uslovima, a odnosi se na morsku vodu.

Tabela 2

Promena vrednosti prelaznog otpora prema-  
za sa vremenom eksploatacije

| Vreme eksploatacije | Prelazni otpor<br>premaza ( $\Omega \text{ m}^2$ ) |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| 1 mesec             | 50 — 100                                           |
| 2 meseca            | 25 — 30                                            |
| 6 meseci            | 5 — 6                                              |
| 1 godina            | 2,5 — 3,0                                          |
| 2 godine            | 1,5 — 2,0                                          |
| 3 — 4 godine        | 0,5 — 1,0                                          |

#### Elektrohemijska (katodna) zaštita

Elektrohemijska zaštita predstavlja relativno nov i veoma perspektivan oblik zaštite metala od korozije. Njenom primenom metali se u potpunosti mogu zaštititi od gotovo svih oblika korozivnih i korozivno-mehaničkih oštećenja.

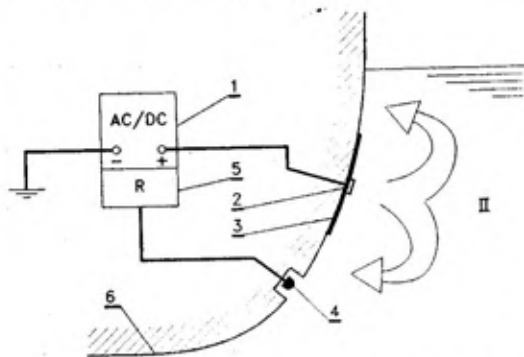
Princip elektrohemijske zaštite zasniva se na katodnoj (negativnoj) polarizaciji metala, čime se njegov korozivni potencijal pomera ka ravnotežnom potencijalu, što izaziva smanjenje struje korozije, odnosno brzine rastvaranja metala.

Katodna polarizacija može se ostvariti primenom elektronegativnijih metala ili legura koji se dovode u direktan kontakt sa metalom koji se štiti (protektorska zaštita), ili primenom spoljnog izvora jednosmerne struje, uz odgovarajuće anode i referentne elektrode (aktivna katodna zaštita — AKZ).

Osnovni kriterijumi katodne zaštite jesu zaštitna gustina struje katodne polarizacije i zaštitni potencijal metala [1]. Mogućnost neposrednog merenja ovih veličina u uslovima eksploatacije metalnih konstrukcija predstavlja značajnu prednost AKZ u odnosu

na različite oblike pasivne zaštite i projektorsku zaštitu metala od korozije.

Kriterijumi za katodnu zaštitu gvožđa i čelika, zasnovani na »BSI Code of Practice for Cathodic Protection — CP 1021:1973«, prikazani su u tabeli 3. Na potencijalima negativnijim od vrednosti u tabeli 3 čelična konstrukcija je zaštićena od korozije. Pri tome, naravno, postoji i druga granica potencijala koja ne sme biti premašena, a to je prevelika katodna polarizacija čelika koja bi mogla izazvati proces izdvajanja vodonika i dovesti do vodenične krtosti materijala. Ova granica zavisi od kvaliteta premaza i sredine u kojoj se primenjuje sistem AKZ, a može se uslovno postaviti na vrednost od  $-1,2\text{ V}$  u odnosu na  $\text{Cu/CuSO}_4$  referentnu elektrodu [3].



Sl. 2 — Principijelna šema uređaja AKZ  
1 — stanica AKZ, 2 — anoda, 3 — okolaoanodni ekran, 4 — referentna elektroda, 5 — regulaciona jedinica, 6 — trup broda

Osnovne komponente sistema AKZ su anode, referentne elektrode i izvor jednosmerne struje, odnosno stanica katodne zaštite. Princip rada sistema AKZ, bez obzira na to da li se primenjuje u rečnoj ili morskoj vodi, šematski je prikazan na slici 2.

Potencijal trupa broda se u svakom trenutku meri u odnosu na referentnu elektrodu i pomoću regulacione jedinice, na stanici katodne zaštite, podešava se jednosmerna struja na izlazu iz ispravljača koja se preko anode i morske (rečne) vode usmerava prema trupu broda izazivajući katodnu polarizaciju trupa, tako da se potencijal trupa broda dovede u oblast u kojoj je čelik zaštićen od korozije (npr.  $-1,0\text{ V}$  u odnosu na  $\text{Cu/CuSO}_4$  referentnu elektrodu). Jedan od važnih elemenata sistema AKZ je i okolaoanodni ekran koji je napravljen od izolacionog materijala propisanih dimenzija i postavljen oko anode. Okolaoanodni ekran sprečava mogućnost prevelike katodne polarizacije čelika u neposrednoj blizini anode, koja bi mogla izazvati proces izdvajanja vodonika i dovesti do vodenične krtosti materijala u okolini anode. Treba naglasiti da anode i referentne elektrode ne smeju biti u kontaktu sa trupom broda, odnosno da se mora obezbediti propisna izolacija njihovog kontakta sa kablovima koji su postavljeni u unutrašnjosti broda.

Tabela 3

Zaštitni potencijal u odnosu na različite referentne elektrode

| Referentna elektroda                | Aerobna sredina  | Anaerobna sredina |
|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| Bakar/bakar sulfat                  | $-0,85\text{ V}$ | $-0,95\text{ V}$  |
| Srebro/srebro hlorid/morska voda    | $-0,80\text{ V}$ | $-0,90\text{ V}$  |
| Srebro/srebro hlorid/kalijum hlorid | $-0,75\text{ V}$ | $-0,85\text{ V}$  |
| Cink/morska voda                    | $0,25\text{ V}$  | $0,15\text{ V}$   |

Potrošnja aktivne prevlake i tipična gustina struje anoda ( $j_a$ )

| Tip anode | Sredina       | $j_a$ ( $\text{Am}^{-2}$ ) | Potrošnja aktivne prevlake ( $\mu\text{g A}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) |
|-----------|---------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|
|           | rečna voda    | 100                        | približno 5                                                      |
| Pt — Ti   | zagađena voda | 300                        | približno 10 — 15                                                |
|           | morska voda   | 700                        | približno 1                                                      |
| MDSA      | morska voda   | 500                        | < 0,1                                                            |

Danas se u svetu koriste različite anode u sistemu AKZ, od kojih su tzv. dimenziono stabilne anode na bazi titana [4], razvijene pre petnaestak godina, najčešće u upotrebi zbog mogućnosti dugotrajnog rada bez zamene (10 i više godina).

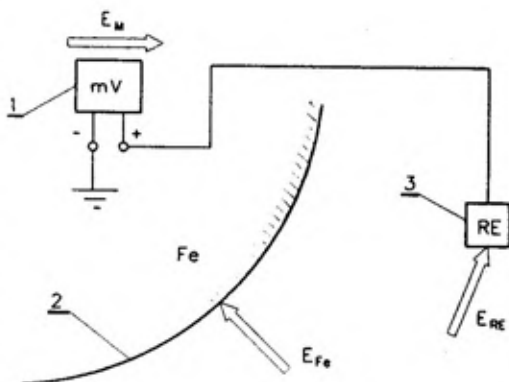
Kod nas su razvijene i upotrebljavaju se dve vrste titanskih anoda: platinizirane titanske anode (Ti-Pt) za primenu u rečnoj i morskoj vodi i modifikovane titanske anode (MDSA) sa aktivnom prevlakom na bazi smeše oksida plemenitih i neplemenitih metala [5], koje su specijalno razvijene za primenu u morskoj vodi. U tabeli 4 date su osnovne karakteristike ovih anoda, koje se mogu praviti u bilo kom željenom obliku.

Pored veoma male potrošnje aktivne prevlake, prednost MDSA anoda u odnosu na Ti-Pt anode u morskoj vodi ogleda se u činjenici da se na MDSA anodama pri radu sistema AKZ izdvaja hipohlorit (poznati fingicid) sa iskorišćenjem struje od 95%, tako da se u neposrednoj blizini anoda istovremeno sprečava obrastanje čelične konstrukcije algama i školjkama [6, 7]. To znači da bi se pogodnim izborom dimenzija i položaja MDSA anoda, pored katodne zaštite, mogla obezbediti i potpuna zaštita trupa broda od obrastanja u morskoj vodi.

### Merenje zaštitnog potencijala

Radi merenja potencijala čelika u rečnoj ili morskoj vodi potrebno je posedovati fiksno postavljene ili prenosne referentne elektrode. Vrlo je važno da se prema sredini u kojoj se vrši korozija odabere i referentna elektroda. U morskoj vodi to je, najčešće, elektroda od cinka, a u rečnoj može biti Ag/AgCl.

Ova metoda koristi se za merenje potencijala broskog trupa kada zaštita deluje, a može se koristiti i za merenje prirodnog potencijala korozije. Važno je napomenuti da su svi potencijali izmereni u odnosu na referentnu tačku koja se nalazi u beskonačnosti. Zbog toga će smerovi ele-



Sl. 3 — Elektromotorne sile u kolu merenja potencijala trupa broda

1 — visokoomski milivoltmetar, 2 — trup broda, 3 — merna ili referentna elektroda

ktromotornih sila za trup broda, kao i za referentnu elektrodu, biti kao na slici 3. Visokoomski milivoltmetar negativnim krajem treba da bude spojen sa trupom broda, a pozitivnim sa referentnom elektrodom.

Kada je isključena stanica katodne zaštite, obavljena merenja pokazuju potencijal korozije brodskog trupa. U skladu sa II Kirhofovom pravilom, primenjenim na slučaj prikazan na slici 3, može se napisati:

$$U_i - U_{Re} + U_{Fe} = 0$$

Ako je, na primer, referentna elektroda od Zn  $U_{Re} = -0,78$  V vs SVE, i ako je potencijal brodskog čelika  $U_{Fe} \approx 0,44$  V vs SVE, na visokoomskom voltmetru će se očitati:

$$U_i = U_{Re} - U_{Fe} = -0,78 - (-0,44) = -0,34 \text{ V}$$

Postavljanjem ovešanih protektora ili postepenim povećanjem izlaznog napona iz stanice katodne zaštite, veličine na mernom instrumentu će se polako menjati ka pozitivnijim vrednostima. Kada izmereni potencijal dosti-

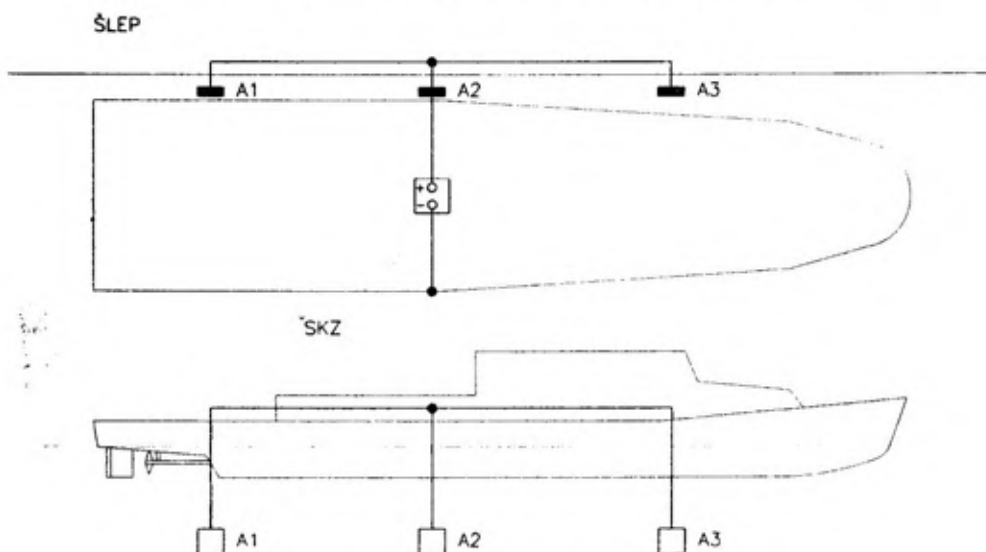
gne maksimalno dozvoljenu vrednost  $U_i = +0,15$  V, potencijal brodskog čelika u odnosu na SVE iznosiće:

$$U_{Fe} = U_{Re} - U_i = -0,78 - 0,15 = -0,93 \text{ V}$$

i čelik će biti potpuno zaštićen od korozije.

### Primeri uspešne primene sistema AKZ

Prvi sistem AKZ sa MDSA anodama postavljen je 1989. godine na jednom brodu RM u MTRZ »Savo Kovačević« u Tivtu. S obzirom na to da je brod bio na remontu i da sa postojećim protektorima nije bila postignuta zaštita od korozije, postavljen je privremeni sistem AKZ sa ovešanim anodama i nezavisnim ispravljačima za svaku anodu [8]. Sistem je radio oko osam meseci, posle čega je brod prebačen na suvi dok, gde je ustanovljeno da ni površine sa kojih je potpuno skinut premaz nisu korodirale, a da je na delovima broda u neposrednoj blizini anoda u potpunosti sprečeno obrastanje [9].



Sl. 4 — Sistem AKZ sa tri anode na vatrogasnom brodu  
A1, A2, A3 — anode, SKZ — stanica katodne zaštite

Početkom 1991. godine sistem AKZ sa istim anodama (MDSA) postavljen je na Velikom i Malom doku u MTRZ »Savo Kovačević« u Tivtu, gde i danas uspešno štiti čeličnu konstrukciju dokova od korozije.

Aprila 1995. godine u luci Bar postavljeni su istovetni sistemi AKZ na nekoliko gatova, gde funkcionišu uz redovnu mesečnu kontrolu potencijala čeličnih šipova.

Zbog intenzivne korozije vatrogasnog broda u reci Savi, 1992. godine na njemu je postavljen sistem AKZ, pri čemu su primenjene Ti-Pt anode koje su bile postavljene na šlepu uz koji je ovaj brod bio privezan 95% vremena, kao što je šematski prikazano na slici 4. Posle godinu dana brod je izvađen na suvi dok u brodogradilištu »Beograd«, gde je ustanovljeno da nema tragova korozije, čak ni na onim delovima broda sa kojih je zbog naknadnog varenja sa unutrašnje strane, sa spoljne površine trupa potpuno otpao premaz. Sistem AKZ je još uvek u funkciji sa istovetnim anodama, pri čemu se ukupna zaštitna struja kreće u rasponu od 0,2—0,4 A, a napon od 8—10 V.

Posebno interesantni rezultati primene istovetnog sistema ostvareni su na plovnoj dizalici u bazenu brodogradilišta »Beograd«. Na ovom objektu postavljene su privremene Ti-Pt anode i vršeno je merenje raspodele potencijala i zaštitne struje po trupu broda. Pokazano je da se sa vrlo malim strujama može postići potpuna zaštita trupa dizalice na svim pozicijama [10].

Zbog znatno manje provodljivosti i agresivnosti rečne vode zaštitna gustina struje je za dva reda veličine manja od zaštitne gustine struje koja se mora primeniti u morskoj vodi. Tako je za sveže premazane čelične površine u morskoj vodi usvojena vrednost zaštitne gustine struje od 20 mA/m<sup>2</sup>, dok je za rečnu vodu određena vrednost od svega 0,3 mA/m<sup>2</sup>. Iz

istog razloga izlazni napon na stanici katodne zaštite u morskoj vodi kreće se u rasponu 2—5 V, dok je u rečnoj vodi minimalna vrednost napona oko 8—12 V. Interesantno je napomenuti da je raspodela zaštitnog potencijala u morskoj vodi nešto ravnomernija, što je posledica znatno veće provodljivosti morske vode.

Na osnovu nedavno sprovedenih ispitivanja funkcionisanja katodne zaštite na objektima RM u MTRZ »Savo Kovačević« [11] napravljena je u poredna analiza troškova postavljanja i održavanja katodne zaštite postojećim Zn protektorima i postavljanja i održavanja sistema AKZ na jednoj manjoj plovnoj jedinici RM. Iako je ova plovna jedinica relativno mala i za nju sistem AKZ nije toliko potreban kao za veće plovne jedinice, pokazano je da samo Zn protektori (bez troškova montaže i dokovanja na svake dve godine) koštaju oko 50 000 dinara za deset godina eksploatacije. S obzirom na to da je cena sistema AKZ za ovu plovnu jedinicu oko 30 000 dinara, pri čemu bi sistem funkcionisao najmanje deset godina bez remonta (nepotrebno je izvlačenje objekta na suvi dok i farbanje svake dve godine), prednost sistema AKZ, čak i u ovom slučaju, očigledna je.

## Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da su prednosti sistema AKZ u odnosu na protektorsku i pasivnu zaštitu sledeće:

- pouzdana zaštita od korozije koja se može kontrolisati i podešavati;
- smanjeno održavanje brodova;
- dugotrajna zaštita;
- manji troškovi ugradnje i održavanja.

Treba naglasiti da kvalifikaciono i osiguravajuće društvo Lloyd [12]

daje određene beneficije za primenu sistema AKZ na plovnim objektima.

Na kraju, posebno treba naglasiti da je ovaj sistem u potpunosti proiz-

vod domaćeg znanja i tehnologije, kako u projektovanju celokupnog sistema AKZ, tako i u proizvodnji Ti-Pt i MDSA anoda.

#### Literatura:

- [1] Standard ratne mornarice: Efikasnost katodne zaštite na podvodnim površinama broskog trupa — metoda merenja, SNO 2925.
- [2] British Standard Institution: Code of Practice for Cathodic Protection, CP 1021, 1973.
- [3] Ashworth, V., Booker, C. J. L., Cathodic Protection: Theory and Practice, John Wiley and Sons Limited, Ellis Harwood Ltd, England, 1985.
- [4] Bazzoni, B., Falta, G.: Cathodic protection in natural environments, Journee d'electrochimie, Florence, 1985.
- [5] Jović, V., Krstajić, N., Jović, B.: Zaštita objekata od korozije u morskoj vodi, Plovni putevi brodogradnja i brodarstvo, br. 32/33, Beograd, 1982.
- [6] Krstajić, N., Bilen, B., Jović, V., Jović, M., Nikolić, Z.: Aktivna katodna zaštita plovnih objekata u morskoj vodi primenom hlorogen sistema, Zbornik radova IX simpozijuma Teorija i praksa brodogradnje, Knjiga 3, 471—479, Dubrovnik, 1990.
- [7] Krstajić, N., Jović, V., Bilen, B., Nikolić, Z.: International Shipbuilding Progress, 39 (1992) 279.
- [8] Institut tehničkih nauka SANU: Izveštaj o puštanju u rad i početnim merenjima aktivne katodne zaštite plovnog objekta VPPR-31, Interni izveštaj, Beograd, 1989.
- [9] Institut tehničkih nauka SANU: Dodatni izveštaj o ispitivanju Hlorogen sistema aktivne katodne zaštite na plovnom objektu VPPR-31, Interni izveštaj, Beograd, 1989.
- [10] Nikolić, Z.: Metod za određivanje efikasnosti sistema aktivne katodne zaštite plovnih objekata od korozije, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.
- [11] Institut tehničkih nauka SANU: Izveštaj o ispitivanju pojava intenzivne korozije na propellerskim osovina... , Beograd, 1995.
- [12] L'loyd's Registrar: Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 3, London, 1989. Ch 2.5.1.2.

## FIZIKA EKSPLOZIJE

### — prikaz knjige —

U izdanju firme »Ivexy« iz Beograda i sponzora fabrika namenske proizvodnje (HI »Milan Blagojević« Lučani, HK »Krušik« D.D. Valjevo, »Sloboda« D.D. Čačak, Trayal Korporacija Kruševac, »Prva Iskra« Barič, Krušik »4. novembar« Mojkovac), TRZ Kragujevac i SDPR Beograd, objavljena je knjiga »Fizika eksplozije«, autora prof. dr Aleksandra Stamatovića, general-potpukovnika u penziji.

Knjiga predstavlja vredan i uspešan pokušaj autora da na osnovu veoma obimne literature i višegodišnjeg teorijsko-eksperimentalnog iskustva sistematizuje samo osnove fizike eksplozije. Mada u svetu postoje monografije u kojima je formulisana konzistentna teorija eksplozivnih procesa, na našem jeziku je vrlo malo objavljeno iz ove oblasti. Doduše, od 1961. godine Jugoslovenski komitet za eksplozivne materije (JKEM) organizovao je 19 simpozijuma na kojima je prezentiran veliki broj radova iz oblasti fizike eksplozije.

Imajući u vidu reči autora u predgovoru da je knjiga namenjena studentima četvrte godine »vojnog mašinstva« na Mašinskom fakultetu u Beogradu, koji u okviru predmeta »Konstruisanje projektila, bojnih glava i upaljača« slušaju i poglavlja iz fizike eksplozije, cilj nije bio izlaganje celovite oblasti, jer bi to zahtevalo potpuno drugačiji, naučni prilaz fenomenu »fizike eksplozije« ili »fizike eksplo-

ziva«, pojmova koji bliže određuju prirodu i mehanizme odvijanja eksplozivnih procesa. Knjiga je, dakle, namenjena i stručnjacima koji se u svojoj praksi bave proizvodnjom ili primenom eksplozivnih materija.

Knjiga »Fizika eksplozije« sadrži šest poglavlja, pod naslovima:

— Opšte karakteristike eksplozivnih procesa i eksplozivnih materija,

— Osnovi termohemije i termodinamike eksplozivnih procesa,

— Početni impuls i osetljivost eksplozivnih materija,

— Osnovi teorije detonacije,

— Dejstvo detonacije na okolnu sredinu,

— Specifični efekti detonacije.

U obimnom uvodu, želeći da na taj način poveže vreme od nekoliko vekova, autor ističe bitna događanja, od pojave crnog baruta u 13. veku, gvozdene đuladi za topove u 14. veku, preko proizvodnje više vrsta baruta, eksploziva i eksplozivnih smeša (od 17. do 19. veka), kao i nagli procvat i intenzivan razvoj ove grane nauke u 20. veku. Što je još značajnije, on opisuje razvoj, proizvodnju i primenu eksplozivnih materija na našem tlu. Koncizno su prezentovana naučna tumačenja prirode i mehanizama eksplozivnih procesa, od formula, pojedinih teorija i izraza do imena naučnika koji su vezani za ovu oblast. Kroz nekoliko karakterističnih primera data je

i paralela sa vojnom i privrednom primenom eksplozija i ostvarenim poduhvatima — radovi u građevinarstvu, rudarstvu, poljoprivredi, metalurgiji i metaloprerađivačkoj industriji i petrohemiji.

U prvom poglavlju data su osnovna obrazloženja i definicije eksplozije, eksplozivnih materija, brzine hemijske reakcije i prostiranja procesa, egzotermičnosti i gasovitih produkata razlaganja, kao i klasifikacija procesa na: sagorevanje, eksploziju i detonaciju. Podela eksplozivnih materija na eksplozive (inicijalni i jaki — brizantni), barute i pirotehničke smeše uzrok je detaljnog razmatranja osnovnih karakteristika mnogobrojnih eksplozivnih materija koje su poznate u vojnoj primeni.

Tema drugog poglavlja su osnove termohemije i termodinamike eksplozivnih procesa (toplotni efekti, njihovo izračunavanje i eksperimentalno određivanje, temperatura eksplozije).

U trećem poglavlju razmatraju se početni impuls i osetljivost eksplozivnih materija, sa fenomenima pobuđivanja eksplozivnog razlaganja toplotom, samopaljenja, nestabilnosti eksploziva i perioda indukcije, kao i pobuđivanje eksplozivnog razlaganja udarom i trenjem, te električnim i eksplozivnim impulsom. Osetljivost eksplozivnih materija analizira se preko hemijske strukture i uticaja fizičkih osobina eksplozivne materije na osetljivost i veličine kristala, agregatnog stanja, polimorfne forme, temperature i gustine. U delu koji se odnosi na eksperimentalne metode ocene osetljivosti eksplozivnih materija prikazana je osetljivost na udar i uređaja i alata kojima se to ispituje. Osetljivost na trenje ocenjuje se preko frikcionog klatna, obrtnih diskova ili uređaja Bouden-Kozlova, a toplotna osetljivost na osnovu rezultata ispitivanja temperature samopaljenja i perioda indukcije.

U četvrtom poglavlju, koje predstavlja deo teorije detonacije, razma-

tra se mehanizam prostiranja detonacije, elementarna teorija ravnog udarnog talasa, karakteristike idealne detonacije, zona hemijske reakcije i oblik čela detonacionog talasa, uz prikaz i izvođenje odgovarajućih izraza, formula i jednačina. U tom kontekstu posebno je naglašen deo koji se odnosi na eksperimentalno određivanje brzine detonacije — hronometrom i osciloskopom, optičkim fotoregistratorima, itd.

U petom poglavlju analiziraju se početni parametri udarnog talasa, nastalog širenjem produkata detonacije na okolnu sredinu, kao i efekti razornog i rušecog dejstva. Imajući u vidu da je detonacija moguća u različitim medijumima, efekti detonacije analizirani su na primeru vazduha i vode, sa izvođenjem ili analizom poznatih formula Sadovskog, Koula i drugih. Efekti u čvrstoj sredini analizirani su na primeru bušotina (aktivnih i pasivnih), preko raspodele pritiska, koeficijenta korisnog dejstva jakih eksploziva. Razorno dejstvo razmatra se Heseovom ili Kastovom probom, Trauclovom bombom, balističkim mužiorom, te formulama o ukupnoj unutrašnjoj energiji.

U šestom poglavlju razrađena je brzina razletanja parčadi košuljice projektila. Intenzivno praćenje fenomena procesa kumulacije, koji se primenjuje gotovo isključivo u vojne svrhe — dejstvo projektila po oklopnim ciljevima (tenkovi, oklopni transporter, oklopna vozila pešadije) — prikazano je putem svestrane analize procesa formiranja kumulativne struje, uticaja aktivne mase kumulativnog punjenja, formiranja kumulativnog mlaza po fazama, hidrodinamičke teorije kumulativnog efekta i dubine prodiranja kumulativnog mlaza u metalnu prepreku. Detaljno je razmatran uticaj glavnih faktora na kumulativni efekat — eksploziv, detonator, devojatori, metalna obloga, upaljač, rotacija projektila, posebno su apostrofirani i poz-

nati efekti, kao npr. Hopkinsonov ili Misznay-Schardinov.

U knjizi su data i dva priloga. Prvi se odnosi na korišćenje eksploziva u vojnoj tehnici, a drugi na prikaz jedne pirotehnike sa svim osobenostima vezanim za ovaj vrlo specifičan deo postrojenja, objekata i celine pripreme, laboracije, delaboracije i ostalih radnji koje se odnose na rad sa eksplozivnim materijama za specifične namene.

U literaturi je navedeno preko 100 referenci, što svedoči o vrlo obimnom materijalu koji je trebalo pretočiti u svojevrsan zbornik formula, izraza, je-

dnačina, definicija, tabela i podataka, dijagrama i zavisnosti.

Ukoliko se ispune autorova očekivanja da ova knjiga bude vodič kroz pojave, procese i fenomene vezane za eksploziju uopšte, može se smatrati da njena pojava oslikava intenzivno proučavanje i bavljenje ovom problematikom, u čemu su naučni i stručni radnici iz Vojnotehničkog instituta i fabrika namenske proizvodnje širom zemlje dali najveći doprinos. Konačno, to je jedina knjiga na srpskom jeziku koja tretira navedenu problematiku, i u kojoj je sublimiran sadržaj iskustava i znanja — vrlo retkih i nadasve specifičnih.



## prikazi iz inostranih časopisa

### PROTIVTENKOVSKO ORUŽJE PEŠADIJE\*

Protivtenkovsko vođeno oruđe je osnovno oruđe pešadije za protivtenkovsku borbu. U mnogim armijama uglavnom je razvijeno za pešadijske jedinice, mada postoje i specijalni protivtenkovski sastavi (čete ili druge jedinice), čija je namena isključivo protivtenkovska borba.

Protivtenkovsko oruđe dugo je prisutno na bojištu. Eksperimente sa prvom ručno vođenom raketom Nemci su započeli još daleke 1944. godine.

Alternativno vođenje i metode kontrole kasnije su otkriveni, počevši od vođenih glava korišćenih u najnovijim raketama »ispali i zaboravi« do standardnih vođenih raketa opremljenih radio ili laserskim vođenjem. Međutim, žica ostaje najšire korišćen medijum za vođenje, što potvrđuje prisustvo sistema druge generacije MILAN (Missile d'Infanterie Leger Anti-char).

### MILAN

MILAN je protivtenkovski sistem proizveden u francusko-nemačkoj kooperaciji sredinom šezdesetih godina i bio je u upotrebi sve do 1972. godine. Prodavao se članicama NATO i drugim zemljama, a po licenci se izrađivao u Italiji i Indiji.

Danas se, kao model pod oznakom MILAN 3, koji podrazumeva tandem kumulativnu bojnu glavu i poboljšani sistem poluautomatskog vođenja sa većom otpornošću na ometanje, proizvodi u međunarodnom konzorcijumu. Tandem bojna glava korišćena je i u verziji MILAN 2T, uvedenoj 1993. godine, što je raketi omogućavalo da probija reaktivni oklop.

Sistem MILAN, obično posluđuju dva člana, gde poslužilac donosi rakete i asistira pri zauzimanju vatrenog položaja. Raketa MILAN 3 ima instaliranu svetleću ksenonsku lampu koja je povezana sa senzorom raspoznavanja. Sinhronizacijom rakete lampom omogućava se eliminisanje ometanja sistema vođenja neposredno pre lansiranja. Sve upravljačke instrukcije prenose se do rakete preko žice prečnika 0,4 mm. Maksimalni dolet rakete je 2000 m.

\* Prema podacima iz International defence review 1/1996.

## KONKURS

Mada postoji više različitih projekata, ruski 9K113 KONKURS je gotovo identičan konceptu MILAN. Osnovna prednost u odnosu na MILAN je maksimalni domet od 4000 m. Bojna glava kalibra 135 mm ima veće gabarite i masu od rakete za sistem MILAN 3 i može da probija oklope debljine 750 do 800 mm (bojna glava za MILAN 2, prečnika 115 mm, probija oklop debljine preko 1 m). Tandem bojna glava model KONKURS 9K113M, uvedena je kasnije u naoružanje. Kao kod sistema MILAN, raketa se lansira iz cevi, a gasogenerator potpomaže prikrivanje mesta lansiranja pre nego što startuje glavni raketni motor.

Većina ranijih članica Varšavskog ugovora ima u naoružanju KONKURS, koji se još uvek proizvodi u Poljskoj i Slovačkoj, a licenca je prodana Indiji.

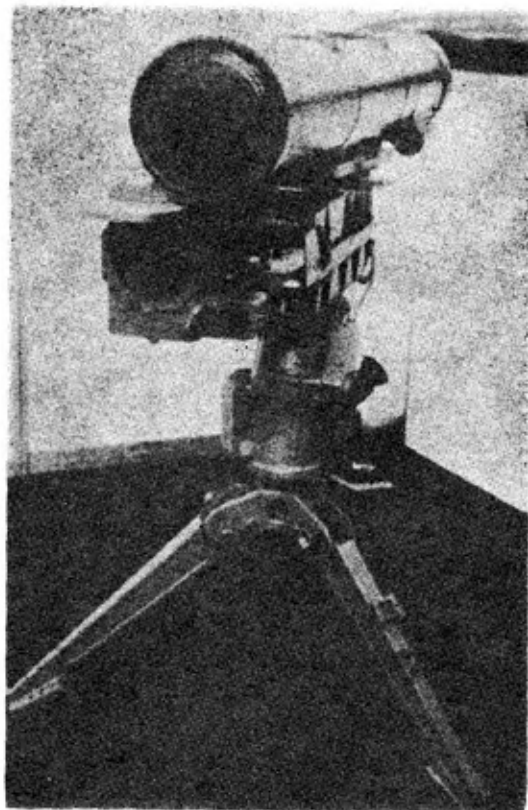


Sl. 1 — KONKURS 9K113 na postolju

## KORNET

Mada se KONKURS još uvek proizvodi i ima široku primenu, njegova eventualna zamena biće model KORNET. Još uvek je u fazi uvođenja u proizvodnju, mada je prvi model, koji koristi lasersko vođenje, prikazan 1994. godine. Maksimalni domet, prema procenama, biće oko 5500 m i imaće dve vrste bojnih glava. Obe su

kalibra 152 mm: kumulativna za probijanje oklopa debljine 1,2 m i razorna za upotrebu protiv objekata i žive sile na otvorenom. Masa oružja je 19 kg, a rakete 27 kg.

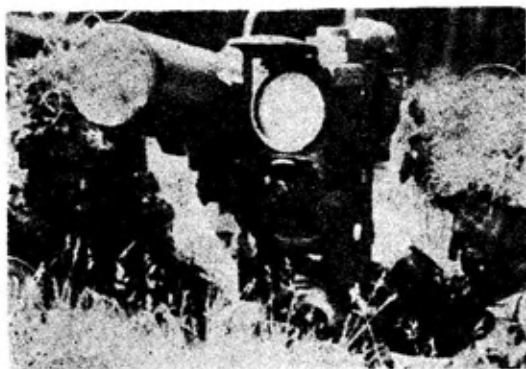


Sl. 2 — KORNET sistem na postolju

## MR TRIGAT

TRIGAT MR (medium range) je raketa srednjeg dometa predviđena za zamenu sistema MILAN tokom 1998. godine. U proizvodnji evropske raketne grupe (konzorcijum Aerospatiale, British Aerospace i LFK, te nedavno formiranog raketnog centra Daimler-Benz Aerospace) predstavlja kodiranu laserski vođenu raketu sa termalnom kamerom za sve opcije i uslove vidljivosti. TRIGAT MR sada je u konačnoj fazi osvajanja, a predviđa se da bude operativan na daljinama od 50 do 2000

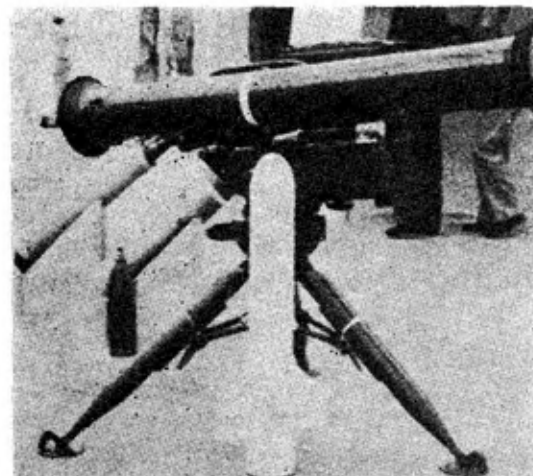
m, sa maksimalnim vremenom leta 12 s. Bojna glava kalibra 150 mm sposobna je da probije najbolje oklope čije se uvođenje očekuje u 21. veku.



Sl. 3 — MR TRIGAT sistem

### RED ARROW 8

Najnoviji modeli protivtenkovskog oružja, kao što su KORNET i MR TRIGAT, već su prisutni na tržištu oružja, mada postoje i mnogi modeli iz prethodne ere koji su još u upotrebi. Jedan od njih je kineska raketa druge generacije RED ARROW 8, koja ima sistem vođenja pomoću žice. Proizvedena u China Nort Industries



Sl. 4 — NORINCO RED AROW 8 sistem

Corporations (NORINCO), RED ARROW ima operativni domet od 200 do 3000 m i bojnu glavu prečnika 120 mm, koja omogućava penetraciju homogenog oklopa debljine veće od 900 mm. Nova bojna glava sposobna je da probija sve reaktivne oklope koji su do danas razvijeni. U upotrebi je u kineskoj armiji, a izvezena je u Tajland i Čile. Razvijena je za upotrebu sa tronošca, ali je moguća ugradnja na borbeno oklopno vozila i helikoptere.

### TOW

Raketni sistem TOW (Tube-launched Optically Wire-guided) razvijen je pre 25 godina i u upotrebi je u preko 40 armija, sa preko 314 000 komada osnovne verzije (BGM — 71A). Predstavlja jedan od najčešće korišćenih zapadnih sistema za protivoklopnu borbu i, što je najvažnije, njegova proizvodnja se nastavlja.

TOW se proizvodi u Hughes Missile Systems u nekoliko varijanti. Poslednja od njih — TOW 2B (BGM — 71F) ima bojnu glavu kalibra 152 mm sa penetratorom, magnetno-optičkim upaljačem, koji reaguje kada je cilj u zahvatu rakete. To čini da se borbeno oklopno vozila mogu napasti na najosetljivijem mestu. TOW 2B ima sposobnost znatnog pojačavanja efekta dejstva iza oklopa koji je probijen.

Više od 34 000 TOW 2A (BGM — 71E) isporučeno je sa bojnou glavom kalibra 152 mm sa prednjim eksplozivnim punjenjem koje služi za probijanje reaktivnog oklopa. Raniji model TOW 2 (BGM — 71D) imao je sličnu konstrukciju. Maksimalni domet za sve modele je 3750 m.

Sve varijante TOW koriste zajednički lanser M220A2 i mogu se koristiti sa helikoptera ili sa borbenog oklopnog vozila. Postoji neznatna ra-

zlika u sistemu vođenja, koja se odnosi samo na varijantu TOW 2B.

Uprkos kontinuiranom razvoju i uspešnosti sistema TOW, na vidiku je njegova zamena — poboljšani teški raketni sistem (Advanced Missile System — Heavy — AMS — H), sa sistemom »ispali i zaboravi«, koji se nalazi u konačnom stadijumu razvoja. Još uvek se pravi izbor između nekoliko konkurentnih sistema. Međutim, tokom 1997. godine u armiji SAD planira se uvođenje poboljšanog sistema za akviziciju cilja (ITAS) za TOW, koji će moći da se koristi na većim daljinama pri svim vremenskim i svetlosnim uslovima. Ekvivalent ovom sistemu (LWL lanser) već nudi španska kompanija Gyconsa, u saradnji sa Hughes i ENOSA, a omogućiće da cilj bude otkriven na daljinama većim od 6000 m.

### MAPATS

Izraelski sistem MAPATS proizveo je TAAS — Israel Industries 1984. godine, a često se pogrešno mislilo da je to sistem TOW jer koristi sličan lanser i raketu. Međutim, MAPATS ima drugačiji sistem vođenja, koji uključuje laserske zrake za otkrivanje cilja. Posle lansiranja rakete vođenje se nastavlja digitalnim autopilotom.

Raketa ima prednji senzor sličan onim na kasnijim generacijama raketa TOW, koji obezbeđuje optimalno stand-off rastojanje za bojnu glavu kalibra 144,4 mm i mase 3,6 kg, sposobnu da penetrira oklope debljine od 800 mm. Maksimalni domet rakete je 5000 m, što nadmašuje TOW. MAPATS se može lansirati sa zemlje, oklopnih borbenih vozila i helikoptera. Koliko je poznato, to je izvozni sistem koji nije u upotrebi u izraelskoj armiji, koja koristi sistem TOW.

### DRAGON

DRAGON je razvijen za armiju SAD kao dopunski sistem TOW i dugo je u upotrebi.

Maksimalni domet mu je 1000 m i ima žičani sistem vođenja SACLOS. DRAGON II, razvijen za armiju SAD i druge armije, ima bojnu glavu kalibra 127 mm sa poboljšanim karakteristikama, a SUPER DRAGON poseduje tandem bojnu glavu, poboljšani raketni motor i aerodinamički je usavršen, što mu omogućava povećanje maksimalnog dometa sa 1000 m na 2000 m. Sadašnja verzija, DRAGON IIT, ima veću tandem bojnu glavu koja je sposobna da uništi reaktivni oklop, ali bez motora njen domet pada na 750 m. Dragon IIT razvijen je prema turskim zahtevima i, kao što se može očekivati, biće sposoban za dejstvo i u dnevnim i u noćnim uslovima.

### JAVELIN

Laki sistem JAVELIN mase samo 22,3 kg, uveden je u proizvodnju na osnovu ugovora sa armijom SAD juna 1994. godine, a od 1996. godine planira se postepeno uvođenje u naoružanje, kada će ovaj sistem postupno zameniti DRAGON. Zajedničkim projektom firme Texas Instruments i Lockheed Martin znatno je poboljšana sposobnost probijanja oklopa, a njihov sistem »ispali i zaboravi« omogućava da se uz pomoć infracrvenog vođenja raketa automatski navodi na cilj. Domet je 2000 m.

JAVELIN ima komandnu lansirnu jedinicu (CLU) ugrađenu u noćni nišan, a njegova tandem bojna glava sposobna je da uništi teške stacionarne i pokretne ciljeve.

## MACAM

Studije i projekti za sistem MACAM započeli su po zahtevima španskog ministarstva za odbranu 1988. godine



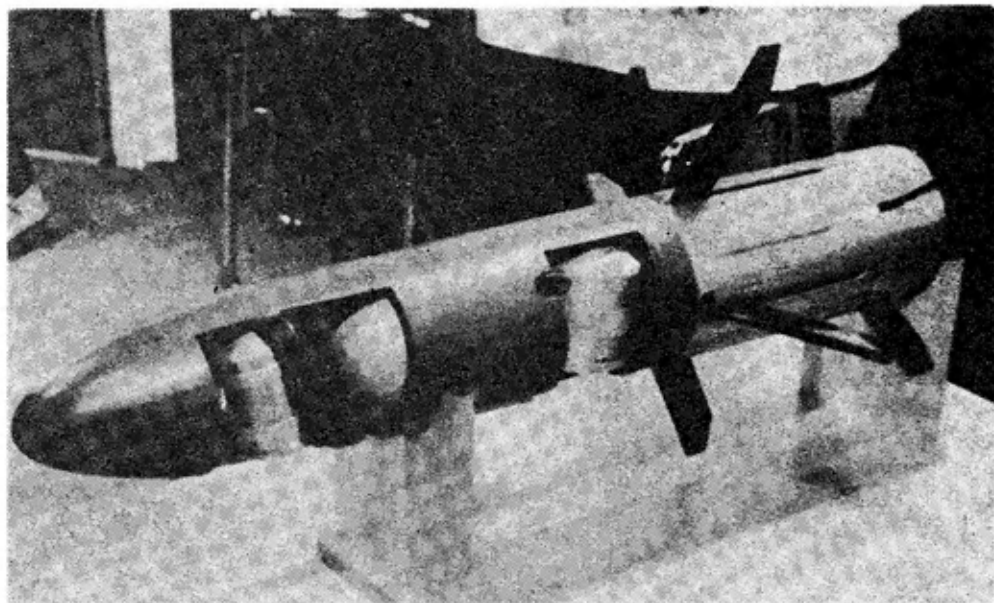
Sl. 5 — MACAM sistem

u zajedničkom projektu firme Guconsa, sa Hughes Aircraft Company i španskom grupom Indra. Program je uveden u razvoj 1992. godine.

MACAM je naziv za sistem Misil Avanzado Contracarro de Alcance Medio sa oznakom treće generacije ovih sistema. Ima fiberoptičku vezu kombinovanu sa infracrvenim vođenjem za sistem »ispali i zaboravi«. Domet mu je oko 5000 m, mada se očekuje da će u normalnim borbenim uslovima biti upola manji. Kompatibilan je sa LWL sistemom Guconsa, koji je prvobitno namenjen za korišćenje u sistemu TOW. Ima tandem bojnu glavu. Razmatra se, takođe, montaža na oklopna borbeno vozila. Proizvodnja za špansku pešadiju i mornaricu nije predviđena pre 2000. godine, a uvođenje u naoružanje pre 2002. godine.

## BILL

BILL je sistem koji proizvodi Bofors iz Švedske. Kada je uveden, 1987. godine, mogao je napadati najveće ciljeve. Raketa za ovaj sistem ima kali-



Sl. 6 — Verzija rakete BILL

bar 150 mm sa sistemom za vođenje SACLOS, koji koristi žičano vođenje. Sposobna je za dejstvo u noćnim i uslovima slabe vidljivosti. Nalazi se u naoružanju Švedske (kao model RBS56) i Austrije (model PAL 2000). Uvođenje reaktivnih oklopa dovelo je do ubrzanog razvoja modela BILL 2, sa poboljšanom bojnom glavom, koji je u konačnoj fazi osvajanja i očekuje se da će 1997. godine biti uveden u komercijalnu proizvodnju. Maksimalni domet imaće 2000 m, kao i prvobitni BILL.

### NAG

U istraživačkoj i razvojnoj laboratoriji u Hiderbadu, u Indiji, razvijen je sistem NAG (Serpent), koji ima kompletnu strukturu lansera izrađenu od fiberglasa. Početno vođenje rakete omogućeno je sa lansera, a završno vođenje preko ugrađenih nišana (aktivni i pasivni). Tandem bojna glava sposobna je da uništi bilo koji kompozitni ili aktivni oklop, a maksimalni domet iznosi 4000 m.



Sl. 7 — CHU-MAT typ 87 sistem

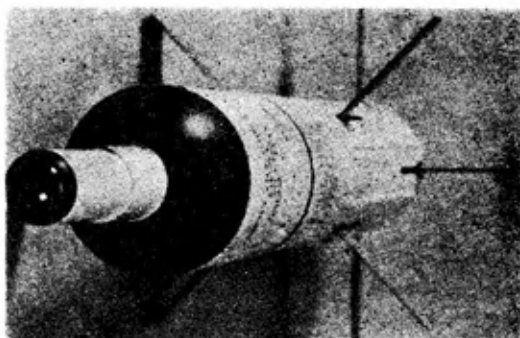
### CHU-MAT

Japanski model Typ 87 CHU-MAT, postepeno je zamenjivao raniji model Typ 64 kao standardno oružje japanske pešadije.

Koristi poluaktivno lasersko vođenje, a cilj se označava laserom koji je montiran na lanseru. Sistem se, obično, montira na motorno vozilo JEEP, mada se može montirati i na tronožac. O modelu CHU-MAT Typ 87 ima malo podataka. Poznato je da raketa, oznake KAM-40, ima kalibar 120 mm, dužinu 1 m i masu pri lansiranju 12 kg. Maksimalni domet nije realizovan do sada, mada se procenjuje da iznosi 3500 m. Mada se proizvodi u malim serijama, poznato je da već postoji novi model, poznat kao XATM-4, koji predstavlja sistem velikog dometa opremljen fiberoptičkim komandama.

### ZT-3 SWIFT

Južnoafrički ZT-3 SWIFT je proizvod firme Kentron promovisan 1990. godine, mada je prototip eksperimentalno isproban još 1987. godine. Opremljen je laserski podržanim sistemom vođenja SACLOS, a raketa ima domet 4000 m. U poboljšanoj verziji postoji kumulativna bojna glava koja omogućava penetraciju reaktivnih oklopa



Sl. 8 — Poboljšana verzija rakete ZT-35 SWIFT

|               | Tip vođenja               | Tip bojne glave, vrsta      | Domet (m)    | Prečnik tela rakete, (mm) | Dužina rakete (mm) | Masa rakete (kg)    | Masa bojne glave (kg) | Brzina leta (m/s) | Probija oklop (mm) |
|---------------|---------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| MILAN 3       | SACLOS, žica              | tandem kumulativna          | 25 — 2000    | 125                       | 1138               | 7,12                | 3,12                  | 210               | 1060               |
| KONKURS 9K113 | SACLOS, žica              | jednostruka kumulativna     | 75 — 4000    | 135                       | 1150               | 14,58               | 2,7                   | 270               | 750 — 800          |
| KORNET        | SACLOS, laser             | kumulativna                 | 5500         | 152                       | 1200               | kompletno zrno — 27 | —                     | ~ 250             | 1200               |
| MR TRIGAT     | lasersko                  | tandem kumulativna          | 100 — 3000   | 152                       | 950                | < 17                | —                     | 230               | —                  |
| RED ARROW 8   | SACLOS, žica              | jednostruka kumulativna     | 100 — 3000   | 120                       | 875                | 11,2                | —                     | 200               | 800 — 900          |
| TOW 2B        | SACLOS, žica              | sa oblikujućim penetratorom | 65 — 3750    | 147                       | 1168               | 22,6                | —                     | 200               | —                  |
| MAPATS        | SACLOS, žica              | jednostruka kumulativna     | 5000         | 148                       | 1560               | 29,5                | 3,6                   | 305               | 800 +              |
| SUPER DRAGON  | SACLOS, žica              | tandem kumulativna          | 65 — 2000    | 127                       | 1150               | 17,9                | —                     | 174               | ~ 800              |
| JAVELIN       | autonomno infracrveno     | tandem kumulativna          | 2000         | 127                       | 1081               | 11,8                | —                     | —                 | —                  |
| MACAM         | autonomno ili infracrveno | tandem kumulativna          | 150 — 2500   | —                         | 1050               | 13,8                | —                     | —                 | —                  |
| BILL          | SACLOS                    | jednostruka kumulativna     | 150 — 2200   | 150                       | 900                | 20                  | 2,5                   | —                 | 400 +              |
| NAG           | komandno autonomno        | tandem kumulativna          | 4000         | —                         | —                  | —                   | —                     | —                 | —                  |
| CHU-MAT       | lasersko                  | kumulativna                 | ~ 3000       | 120                       | 1000               | 12                  | —                     | —                 | —                  |
| ZT-3 SWIFT    | SACLOS, laser             | jednostruka kumulativna     | 150 — 4000 + | 127                       | ~ 1100             | —                   | —                     | 330               | 650 +              |

debljine veće od 1 m, mada se verzija sa tandem bojom glavom, poznata kao ZT-35, još uvek ne nudi. Ugradnja laserskog blizinskog upaljača je moguća varijanta razvoja.

Sadašnji model ZT-3 namenjen je za montažu na oklopnim borbenim vozilima RATEL. Svako borbeno vozilo nosi po tri lansirne cevi na tureli, dok se upravljanje i akvizicija cilja obavljaju iz unutrašnjosti vozila. Sistem sa jednom cevima namenjen je za montažu na helikopterima, a moguća je isporuka sa sredstvima za noćno gađanje.

V. R.

---

## ARENA — AKTIVNI ZAŠTITNI SISTEM ZA TENKOVE\*

Uprkos svim naporima da se obezbedi savršena zaštita tenkova, tendencija za zadržavanjem nadmoći protivoklopnih sredstava nad postignutim nivoom zaštite tenkova i dalje postoji. Ovakav zaključak potvrđuju i gubici u lokalnim ratovima i konfliktima.

Poboljšanje zaštite tenkova usavršavanjem oklopa i maskiranjem ometano je nekim principijelnim ograničenjima. U bliskoj budućnosti ne mogu se očekivati kvalitativna poboljšanja u usavršavanju klasičnog ili eksplozivno-reaktivnog oklopa. Masa tenkova poslednje generacije približava se kritičnoj tački, pa je nužno iznalaženje novih načina nekonvencionalnog poboljšanja njihove zaštite.

Jedan od načina zaštite je opremanje tenkova aktivnom zaštitom. Izraz »aktivna zaštita« usvojen je nedavno i određuje čitavu klasu sistema namenjenih za zaštitu različitih vojnih objekata. Pod aktivnom zaštitom podrazumeva se sistem koji je sastavni deo zašti-

ćenog objekta koji automatski presreće ciljeve-napadače u neposrednoj blizini objekta. Sa sigurnošću se može reći da je sistem aktivne zaštite blizak sistemu »protivraketne odbrane« koji stvara vatrenu »aktivnu« zonu zaštite na bezbednom odstojanju oko objekata. U proteklih 10 do 20 godina u nekoliko zemalja je rađeno na razvoju takvih sistema, ali su se samo ruski konstruktori približili završnom stepenu razvoja verzija takvih vrsta borbene tehnike.

Ruski aktivni zaštitni sistem tenkova-ARENA prva je verzija takve borbene tehnike. Namenjen je za zaštitu tenkova od protivoklopnih bombi i protivoklopnih vođenih projektila, uključujući i one koji se lansiraju iz helikoptera za uništenje tenkova sa gornje strane.

U ovaj sistem ugrađena su sledeća tehnička rešenja:

- višefunkcionalni radar sa trenutnim skeniranjem celog zaštićenog sektora radi otkrivanja i praćenja protivtenkovskih ciljeva,

- zaštitna ubojna sredstva za precizno razaranje ciljeva sa usmerenim i trenutnim efektom,

- oprema za komandovanje na bazi specijalizovanog računara koji u automatskom režimu upravlja radom radara i sistema u celini, kao i uređaj za kontrolu ispravnosti sistema i njegovih integrisanih delova i uređaja.

Sistem čine:

- oprema za otkrivanje i praćenje, uključujući radar, računar, komandnu tablu komandira i pretvarač komandnih signala za aktiviranje sredstava za uništenje,

- sredstva za uništenje koja se sastoje od zaštitne municije i njenih spremišta.

Raspored sistema omogućava da pojedini uređaji budu ugrađeni na kupoli tenka. Zaštitna ubojna sredstva (municija) smeštena su u spremišta oko kupole, a radar je pričvršćen na krovu kupole. Ostali delovi opreme

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1996.

smešteni su u kupoli, dok spojni kablovi iz kupole prolaze kroz unutrašnjost držača radara tako da ne utiču na hermetizaciju borbenog odeljenja. Raspored delova sistema i modularna konstrukcija omogućavaju ugradnju na svaki tip tenka, uz minimalne izmene.

Sistem se uključuje sa table komandira, a zatim radi automatski. Posle obavljene samokontrole ispravnosti on radi u borbenom režimu. Svi podaci u pogledu režima rada i ispravnosti sistema i njegovih integralnih delova prikazuju se na kontrolnoj tabli.

U borbenom režimu radar traži ciljeve i locira ih u toku njihovog prilaska tenku. Posle analiziranja dobijene informacije on počinje da radi u režimu praćenja cilja, a dobijene podatke uvodi u računar, koji zatim odabira količinu zaštitne municije i određuje vreme za njeno aktiviranje. U određenom trenutku računar daje komandni signal preko pretvarača odabranoj zaštitnoj municiji, a kada ona detonira dolazi do stvaranja usmerenog polja razarajućih elemenata koji uništavaju svaki cilj koji se nađe u tome polju. Kumulativno dejstvo cilja je eliminisano ili smanjeno na nivo koji nije opasan po tenk.

Nakon 0,2 do 0,4 s sistem je spreman za odbijanje sledećeg cilja. U slučaju potrebe komandir (poslužilac) može da dejstvuje ručno i da detonira zaštitnu municiju preko komandne table. Broj neutrošene zaštitne municije pokazuje se na ekranu komandne table.

Svaka zaštitna municija štiti određeni sektor po pravcu, a dodirne zone uništenja se preklapaju, čime se uzastopno presreću protivnički napadi iz istog pravca. Ukupan broj odbijajućih akcija odgovara količini municije kojom tenk raspolaže (22 do 26 komada). Taj broj je dovoljan za odbijanje napada na tenk u toku izvršavanja jednog borbenog zadatka bez potrebe dopunjavanja zaštitne municije. Po po-

trebi, zaštitnu municiju posada može da dopuni.

Sistem ARENA se ističe zahvaljujući svom automatskom radu. Opterećenje posade je radikalno smanjeno nakon uključivanja sistema u rad, čime se omogućava posadi da se usredsredi na izvršavanje borbenog zadatka. Sistem radi u svim vremenskim uslovima i u svim uslovima borbenog korišćenja tenka, dok je u pokretu i dok okreće kupolu.

Sektor zaštite po pravcu dovoljan je da zaštiti čelo i bokove tenka. On se pomena zajedno sa kupolom i preklapa nekoliko uglova gađanja.

Postojeći raspored zaštite tenka, primenjena tehnička rešenja pri konstruisanju opreme za otkrivanje i komandovanje i sredstva za uništenje omogućavaju vrlo visoki stepen reagovanja sistema. Potrebno je samo 0,07 s da tenk otkrije i uništi cilj. Time se radikalno smanjuju potrebne daljine za otkrivanje ciljeva i emitovana snaga, poboljšava se kamufliranost rada sistema, a konstrukcija radara je izvodljiva u pogledu prihvaćene mase i dimenzija.

Izrada radara koji precizno meri parametre cilja koji se kreće u blizini površine zemlje i radi u uslovima smetnji od mesnih predmeta i u teškim ratnim uslovima kompleksno je tehničko rešenje koje zahteva dosta teoretskih i eksperimentalnih studija, ispitivanja »uživo« i razvoj brojnih jedinstvenih mikrotalasnih elektronskih uređaja. Konstrukciona rešenja u izradi radara i metode obrade radarskih podataka obezbeđuju visoki stepen imuniteta sistema na elektronska ometanja.

Mere za elektromagnetsku kompatibilnost takvih sistema ugrađenih u tenkove koji dejstvuju u borbenim formacijama predstavljaju jedan od najozbiljnijih problema koji su se našli pred konstruktorima u toku razvoja sistema tipa ARENA. Ovaj sistem ne ograničava formiranje tenkovskih grupa što se tiče elektromagnetske kom-

patibilnosti i odlikuje se rešenjima koja obezbeđuju rad u uslovima otkaza i grešaka u toku borbenih dejstava tenka.

Sistem ARENA ne reaguje na:

- ciljeve koji lete ili su u mestu na daljinama većim od 50 m,

- ciljeve malih dimenzija (malo-kalibarska zrna, parčiće, projekte manjeg kalibra),

- ciljeve koji se udaljavaju od tenka i na projekte ispaljene iz sopstvenog topa,

- niskeleteće objekte (komade zemlje, ptice, itd.).

To je dovelo do smanjivanja broja lažnih uzbuna i »neočekivanih« informacija koje ulaze u računar za analizu i obradu. Sistem, takođe, ne radi kada:

- granate i projektili eksplodiraju oko tenka,

- ciljevi lete iznad tenka, odnosno kada njihove putanje ne prelaze zaštićenu projekciju tenka. Prema tome, sistem dejstvuje samo kada se opasan cilj nalazi u zoni dejstva sistema i kada taj cilj može da pogodi tenk.

Posebna pažnja posvećena je problemu bezbednosti u toku razvoja sistema. Kao što je već rečeno, ne može da dođe do bilo kakvog nepredviđenog rada sistema u toku međusobnog dejstva tenka i zaštitnog sistema. Postoji nekoliko stepeni bezbednosti u električnim kolima sistema za lansiranje, a do lansiranja može da dođe samo kada oprema sistema normalno radi, kada je opasan cilj otkriven i kada postoji jasna pretpostavka da je cilj u neposrednoj blizini tenka.

Za članove posade nema opasnosti kada zaštitna municija dejstvuje, a nivo pritiska i buke ne prelazi konvencionalne norme kada su otvori tenka zatvoreni. Sistem ne može da dejstvuje kada su ti otvori otvoreni.

Sistem ARENA, zahvaljujući malo opasnoj zoni oko tenka koja iznosi od 20 do 30 m, ne ugrožava prateću pešadiju i spoljašnju opremu tenka i elemente sistema u toku dejstva zaštitne municije. To je obezbeđeno odabranim raspoređivanjem i konstrukcijom zaštitne municije koja ne stvara ubojnu parčad pri eksploziji, izuzev direktnog mlaza razornih elemenata koji se izba-

*Preimущества aktivne zaštite u odnosu na zaštitu pomoću eksplozivno-reaktivnog oklopa*

#### EKSPLOZIVNI REAKTIVNI OKLOP

Ne pruža sigurnu zaštitu tenka na osetljivim tačkama (periskopi, spojevi).

Štiti samo 50% površine tenka.

Ne pruža efikasnu zaštitu od kumulativnih bojnih glava u tandemu.

Eksplozija projektila događa se neposredno na oklopnim pločama sa visokim intenzitetom dinamičkih i razornih parčadi koja dejstvuju na tenk.

Oklopna površina tenka zaštićena je samo jedanput, pošto eksplozije napadačkih projektila i dejstva ploča sa eksplozivnim reaktivnim oklopom dovode do »ogoljavanja« znatne površine oklopne ploče.

Zaštita je obezbeđena samo pri uglovima  $+30^\circ$  do  $-40^\circ$ .

#### AKTIVNA ZAŠTITA

Sve projekcije tenka su zaštićene. U tome slučaju ciljevi se uništavaju bez kumulativnog efekta ili eksplozije borbenih delova ili uređaja.

Obezbeđuje efikasno presretanje protivoklopnih ubojnih sredstava sa kumulativnim bojnim glavama u tandemu.

Protivoklopno ubojno sredstvo eksplodira na rastojanju od nekoliko metara od oklopne ploče, a ciljevi se presreću tako da njihove bojne glave ne eksplodiraju.

Obezbeđena je višestruka zaštita protiv napadača na tenk iz jednog pravca.

Sektor zaštite po pravcu je tri puta širi nego kod eksplozivno-reaktivnog oklopa.

cuju nadole. Sistem, takođe, ima spolašnja upozoravajuća svetla koja obaveštavaju prateću pešadiju da će uskoro biti uključen.

Ovaj sistem elektromagnetski je kompatibilan sa drugim sistemima tenka i zadovoljava sve uslove u pogledu klimatskih i mehaničkih efekata kojima može da bude podvrgnut. Vrste i periodičnost održavanja zaštitnog sistema odgovaraju vrstama i periodičnostima održavanja tenka. Kontrolu ispravnosti sistema u toku održavanja obavljaju ugrađeni uređaji.

Za obavljanje godišnjih radova na održavanju sistema sa intenzivnom kontrolom zaštitnog sistema koristi se automatizovana kontrolno-ispitna oprema koja je ugrađena na šasijsku kamiona povećane prohodnosti.

Aktivni zaštitni sistem može da bude ugrađen na nove tenkove (i one u razvoju) i na tenkove koji su već u naoružanju.

Oprema tenkova sa zaštitnim sistemima može da obezbedi njihov opstanak na bojištu skoro dva puta duže u toku napadnih operacija, a gubici su smanjeni za 1,5 do 1,7 puta. Pored toga, oprema tenka koji ima zaštitni sistem poboljšava moral članova posade u toku izvršavanja borbenog zadatka. Treba napomenuti da sistem ARENA presreće najopasnije ciljeve (protivoklopna ubojna sredstva), kao, na primer, protivoklopne vođene projektele lansirane sa daljina 3 do 8 km, vođene protivoklopne projektele lansirane iz helikoptera, i ručnih protivoklopnih bacača koji gađaju tenk sa malih daljina i sa raznih strana.

Borbena efikasnost tenkova sa zaštitnim sistemom može da bude uveliko poboljšana kada je protivnik opremljen samo lakim protivoklopnim oružjem, na primer, u lokalnim konfliktima i u toku operacija za uspostavljanje mira.

Smatra se da aktivna zaštita tenkova ima jasna preimućstva u odnosu na eksplozivno-reaktivni oklop.

Aktivnu zaštitu ne treba smatrati alternativom svim konvencionalnim vr-

stama zaštite već bi, naprotiv, problem poboljšanja zaštite tenka trebalo rešavati kombinacijom optroničkih protivmera, eksplozivno-reaktivnog oklopa i pasivne zaštite. U tom slučaju, konstruktori tenka treba da odrede optimalni odnos takvog hibrida kako bi se obezbedio potreban nivo zaštite, polazeći od kriterijuma efikasnosti u odnosu na cenu.

P.M.

---

## **MOBILNI VIŠEKANALNI SISTEM VOĐENOG PROTIVAVIONSKOG PROJEKTILA S-300V\***

Današnje tehnologije vođenog projektila na bojišnom i vojišnom nivou dostupne su zemljama u razvoju, i globalna primena projektila je u toku. Zbog toga zaštita vojnih i civilnih objekata, snaga i stanovništva od udara ove klase vođenih projektila postaje vrlo aktuelan problem. Ovaj zadatak je u potpunosti rešen serijski proizvedenim mobilnim sistemom protivavionskog vođenog projektila S-300V, koji je prvi put prikazan na moskovskoj vazduhoplovnoj izložbi 1992.

Borbena sredstva sistema ugrađena su na samohodnu unificiranu šasiju na gusenicama, koja ima velike sposobnosti kretanja van puteva, a opremljena je autonomnim izvorima napajanja, opremom za zaštitu članova posade i sistemima za održavanje veze.

Između elemenata sistema podaci se razmenjuju preko kodirane radio-veze, tako da nisu potrebni nikakvi međusobni spojni kablovi. Svaki borbeni element ima opremu za kopnu navigaciju, izviđanje, orijentaciju i povezivanje sa unificiranim koordinatnim sistemom. Zahvaljujući potpunoj automatizaciji borbenih elemenata vreme za uvođenje i izvođenje iz akcije ne prelazi pet minuta.

---

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar 1996.

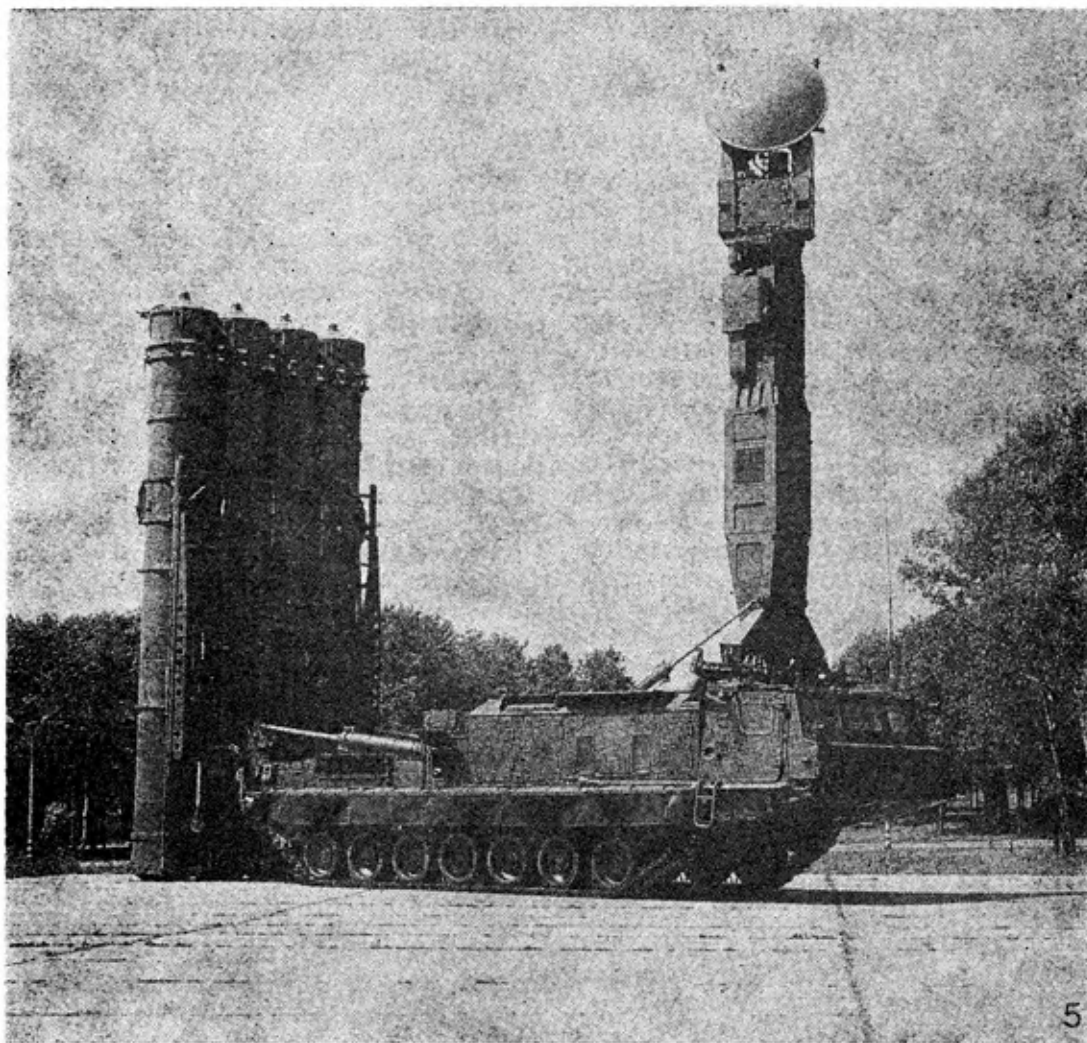
Pored visokih sposobnosti kretanja van puteva, samohodna šasija na gusenicama, na koju su ugrađeni borbeni elementi, ima minimalni poluprečnik zaokreta, što olakšava kretanje po šumama, urbanim rejonima i planinskim putevima.

Ukupne dimenzije svakog borbenog elementa u marševskom položaju su 12,257 x 3,380 x 3,775 m, a masa ne prelazi 48 t. Sistem S-300 V sastoji se od čvora za otkrivanje i označavanje cilja i kompleksa protivavion-

skog vođenog projektila (do šest po jednom sistemu).

Čvor za otkrivanje i označavanje cilja sastoji se od komandnog mesta, osmatračkog radara i radara za skeniranje sektora, dok se sistem protivavionskog vođenog projektila sastoji od stanice za vođenje, lansera i punjača lansera.

Postoje dve vrste lansera i punjača lansera za dva vođena projektila sa maksimalnom brzinom od 2400 m/s ili četiri vođena projektila sa ma-



Lanser 9A83

ksimalnom brzinom od 1700 m/s. Oba vođena projektila imaju dvostepene motore. Marševski motori su unificirani, a busteri se razlikuju.

Protivivionski kompleks može imati do šest lansera za bilo koju vrstu vođenih projektila, ili do šest punjača lansera koji odgovaraju vrsti projektila. Pored toga, sistem ima sredstva za održavanje i opravke, uključujući vozila za održavanje i vozila za opravke. Ta sredstva se nalaze u sastavu baterija i diviziona, pa je moguće da opravke obavljaju posade.

U toku borbenih dejstava elementi sistema međusobno dejstvuju na sledeći način:

- komandno mesto distribuira podatke o cilju, primljene od izviđačkih radara i radara za skaniranje sektora, između četiri stanice za vođenje projektila (ukupno ih je šest po stanicama);

- svaka stanica za vođenje automatski prati određene ciljeve, upravlja podređenim lanserima i obezbeđuje im informaciju koja je potrebna za lansiranje i vođenje projektila;

- lanser priprema projektil za lansiranje, uvodi podatke o cilju i druge informacije potrebne za let projektila u računar vozila, lansira projektil, prenosi radio-putem komande za popravku putanje u toku leta projektila, radi što preciznijeg utvrđivanja koordinata cilja u slučaju da manevriše i osvetljava cilj direktnim radio-snomom radi obezbeđivanja funkcionisanja poluaktivne opreme za samonavođenje i poluaktivnog radio-upaljača;

- vođeni projektil zemlja-vazduh, pomoću ugrađenog inercijalnog sistema i radio-komandi za popravku, dovodi se u zonu u kojoj glava za samonavođenje prelazi na automatsko praćenje cilja. Na završnom delu putanje leta projektil nastavlja samonavođenje, okreće se oko svoje uzdužne ose radi usmeravanja prema cilju sa maksimalnom parčadnom gustinom svoje

bojne glave koja se aktivira pomoću signala radio-upaljača.

Sistem može jednovremeno da napadne 24 cilja sa po dva vođena projektila na svaki cilj. Takođe, postoji mogućnost da se napadne jedan cilj sa četiri vođena projektila lansirana iz dva lansera.

Zahvaljujući novim konstrukcionim rešenjima postignute su vrlo dobre osnovne karakteristike sistema S-300 V, posebno što se tiče mogućnosti kontrolisanja i velikog razornog dejstva na cilju.

Uvođenje radara za skaniranje sektora obezbeđuje visoki stepen skaniranja cilja (jednom u sekundi), čime se isključuje pometnja u praćenju masovnog naleta balističkih ciljeva, što je karakteristično kod osmatračkih radara sa tempom skaniranja od 6 do 9 s.

Vođeni projektil velike brzine znatno smanjuje zahteve za potencijalne karakteristike kopnene opreme i povećava zonu pod zaštitom, zahvaljujući smanjivanju vremena između lansiranja projektila i uništenja cilja.

Vertikalno lansiranje projektila iz lansirno-transportnog kontejnera obezbeđuje gađanje, pri čemu se ne gubi vreme zbog okretanja vozila, kao u slučaju kosog lansiranja.

Sistemu vođenja projektila do cilja sa autonomnim inercijalnim letom do rejona, kada glava za samonavođenje prati cilj, nije potrebno navođenje projektila sa zemlje, čime se znatno povećavaju kontrolne mogućnosti stanice za navođenje projektila.

Razorno-rasprskavajuća bojna glava usmerenog dejstva vođenog projektila sa teškim i lakim parčadima i optimalnom kombinacijom dejstva upaljača i ubojne zone bojne glave obezbeđuje veliku razarajuću efikasnost protiv bojnih glava taktičkih, aerobalističkih i balističkih vođenih projektila, a, takođe, i protiv pilotiranih i bespilotnih ubojnih sredstava.

|                                                                     | S-300V        | PATRIOT       |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Daljina napada na ciljeve (km):                                     |               |               |
| — aerodinamičke                                                     | 100           | do 90         |
| — balističke                                                        | do 40         | do 20         |
| Visina napada na ciljeve (km):                                      |               |               |
| — aerodinamičke                                                     | 0,025 do 30   | 0,06 do 24,4  |
| — balističke                                                        | 1 do 25       | 3 do 12       |
| Zona zaštite od balističkih projektila tipa SCUD (km <sup>2</sup> ) | do 1400       | do 150        |
| Maksimalna brzina cilja (m/s)                                       | 3000          | 2200          |
| Minimalna efektivna refleksiona površina cilja (m <sup>2</sup> )    | 0,02          | 0,1           |
| Broj jednovremeno samonavodnih projektila zemlja-vazduh             | do 12         | do 3          |
| Masa bojne glave (kg)                                               | 150           | 80            |
| Dejstvo bojne glave                                                 | usmereno      | kružno        |
| Maksimalna brzina gađanja (s)                                       | 1 do 2        | 3 do 4        |
| Vreme za uvođenje — izvođenje iz dejstva (min)                      | 5—5           | 30—15         |
| Šasija samohodnog vozila                                            | na gusenicama | poluprikolica |

Konstrukcioni i radio-tehnički parametri upaljača odabrani su tako da obezbeđuju dejstvo prevashodno na bojne glave balističkih vođenih projektila.

Sistem S-300 V obezbeđuje visoko automatizovane borbene performanse svojih komponentata i njihovu kooperaciju. Za gađanje balističkih ciljeva velikih brzina potrebna je samo jedna ručna operacija — pritiskanje dugmeta za lansiranje. Sve ostale operacije, od otkrivanja cilja do njegovog razaranja, obavljaju se automatski.

U pogledu osnovnih pokazatelja, sistem S-300 V sličan je američkom sistemu PATRIOT u gađanju aerodinamičkih ciljeva, a znatno ga prevazilazi u napadima na taktičke vođene projekte, zahvaljujući usvajanju savremenijih konstrukcionih rešenja i drugačijem prilazu razvoja projekta i njegove primene. PATRIOT je prvo konstruisan kao protivavionski sistem i imao je samo ograničene sposobnosti

za presretanje taktičkih vođenih projektila posle njihove modernizacije. Sistem S-300 V je od samog početka namenjen za izvršavanje složenijih zadataka presretanja malih balističkih ciljeva velikih brzina. Uporedne karakteristike ova dva sistema date su tabelarno.

Konstrukcioni principi i rešenja, ugrađena u sistem S-300 V, provereni su lansiranjem na široki raspon aerodinamičkih i balističkih ciljeva i ispitani protiv masovnih naleta aerobalističkih vođenih projektila tipa SRAM.

U toku ispitivanja i vežbi, najmanje 60 balističkih i aerobalističkih vođenih projektila sa dometima od 65 do 900 km bilo je napadnuto, a njihove bojne glave su uništene mlazom parčadi ili su balistički vođeni projektili bili skrenuti od tačke udara čak do 15 km.

Zbog svojih karakteristika sistem S-300 V ima znatne mogućnosti moder-

nizacije. Bez većih troškova, performanse ovog sistema mogu se poboljšati, uključujući:

— maksimalni domet napada na aerodinamički cilj do 250 km,

— napad na balističke vođene projektele na daljine od 3000 km,

— integraciju sa drugim sistemima.

P.M.

## HELIKOPTERSKI PROTIVOKLOPNI VOĐENI PROJEKTILI\*

Sve dok glavni borbeni tenk bude okosnica savremenih kopnenih snaga za konvencionalno ratovanje, jurišni helikopteri sa protivoklopnim vođenim sistemima ostaju isto toliko snažno oružje i najveća opasnost za tenkove.

Helikopterski protivoklopnii vođeni projektili će u 1996. godini proslaviti svoj 40. rođendan. Naime, pre 40 godina francuska firma NORD (sada AEROSPATIALE) počela je proizvodnju vođenog protivoklopnog projektila AS-11 i postavila standarde za sisteme prve generacije. Kao i svi takvi projektili i AS-11 je koristio raketni motor na čvrsto gorivo. Protivoklopna bojna glava projektila mase 4,5 kg može biti poluprobojna ili kumulativna. Vođenje je preko žice, a nišandžija koristi optički nišan za praćenje leta projektila pomoću dva svetlosna bleska iz rakete, i komandujući palicom, šalje signale preko fine čelične žice koja se odmotava iz zadnjeg dela rakete.

Prva operativna primena vođenog protivoklopnog projektila bila je u Alžiru gde je korišćen za izvođenje preciznih napada iz helikoptera protiv

gerilaca na lokacijama kao što su zgrade i pećine, a gde se nisu mogli koristiti avioni. Sve do prestanka proizvodnje 1984. godine projektil je izvožen u 17 zemalja. Poboljšana verzija ovog projektila, AS-11B1, ima automatski svetlosni sistem (baklju) za vođenje sa IC senzorom. Naslednik AS-12, često je korišćen uz pomoć binokularnog žirostabilizovanog nišana APX-260 sa dva vidna polja. Šire vidno polje koristi se da se vođeni projektil »uvede« u centar nišana, a uže vidno polje za »obeležavanje« cilja. Vođeni projektil AS-12 ne samo da je bio lakši već je imao tempirni udarni upaljač koji je omogućavao da bojna glava prođe kroz oklopnu ploču debljine preko 20 mm, a zatim eksplodira na dva metra od ulaznog otvora. Brodska verzija AS-12 masovno je izvožena, a 1982. godine izbacila je iz stroja jednu argentinsku podmornicu.

Prva generacija sovjetskih helikopterskih protivoklopnih vođenih projektila, 9M14 MALJUTKA (NATO oznaka SAGGER) bila je slična vođenom projektilu AS-11 i izvozila se u 25 zemalja. Derivat ovog projektila, kineski HONGJIAN 8 (HJ-8), sa protivoklopnom kumulativnom bojnou glavom (HEAT), koja je zamenila kumulativno punjenje 9M14, nalazi se u naoružanju kineske KoV, a najnovija verzija sa dometom od 4 km ima tandemsku bojnou glavu HEAT. Kasnija verzija 9M14 (NATO kod SAGGER C), ima poluautomatsko vođenje po nišanskoj liniji, koje je kasnije usvojeno za naredne verzije sovjetskih protivoklopnih vođenih projektila prve generacije 9M17 SCORPION (NATO kod AT-2 SWATTER), čije su ranije verzije imale radio-komandno vođenje tako što je nišandžija držao krst končica nišana na cilju. Ovaj projektil koristili su helikopteri Mi-24 (HIND) koji nose aerodinamički kontejner RADUGA F sa opremom za vođenje projektila u nosu, a čiji radio-sistem radi na 35 GHz. Ovaj projektil izvezio se u 23 zemlje.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 8/1995.

## *Vođeni protivoklopni projektil HOT*

Vođenje projektila preko žice ostalo je poželjna opcija vođenih projektila druge generacije na Zapadu, mada su oni povezani sa specifičnim helikopterskim senzorskim sistemima. Zamena za vođene projekte AS-11/12 bio je vođeni projektil HOT (Haut subsonique Optiquement téléguidé tiré d'un Tube) koji koristi poboljšanja računara i elektronike u okviru sistema vođenja, a zasniva se na signalima koji se šalju kroz žice u projektil koji se vodi, i na automatskom prijemu signala iz nišanskog sistema, čiji poslužilac (nišandžija) jednostavno drži krst končića na označenom cilju. Sam nišanski sistem je u stanju da prati vođeni projektil preko IC baklje u zadnjem delu projektila. Vođeni projektil HOT razlikuje se od svojih prethodnika po tome što nije neposredno prikazan na lansirne šine već se isporučuje u lanseru-kontejneru kojim se može manipulirati kao sa svakim drugim ubojnim sredstvom i koji je prikazan na sklop lansera. Počevši sa HOT-1, razvijene su tri verzije projektila.

HOT se obično koristi sa nišanom APX M397 koji je verzija familije nišana APX. Svi se oni ugrađuju na krovu helikoptera, imaju jedan okular, a namenjeni su za otkrivanje ciljeva na daljinama do 10 km (mada neki mogu to i do 17 km) i za identifikaciju ciljeva na daljinama do 5 km. Imaju dva uvećanja: desetostruko (300 mrad) za osmatranje i »hvatanje« projektila posle lansiranja i trostruko (90 mrad) za obeležavanje cilja. M334 i M334-04 ATHOS (koji se može koristiti za druge namene i ima laserski obeleživač) koriste se za projekte koji se vode ručno, dok M397 ima IC kameru na žirostabilizovanom postolju, za korišćenje noću i u lošim atmosferskim uslovima. Verzija VICTOR ima tri ugla vidnog polja: 2,4; 6 i 30°, a slika se vidi bilo u okularu, bilo na TV ekranu.

## *Poduhvat u SAD*

SAD nisu prihvatile vođeni protivoklopni projektil HOT već su razvile svoju sopstvenu zamenu za AS-11, projektil TOW (Tube-launched Optically-tracked Wireguided) ili BGM-71 koji je uveden u naoružanje osam godina pre HOT. Sistem vođenja projektila TOW u osnovi je isti kao i kod HOT, ali originalni projektil ima kumulativnu bojnu glavu HEAT.

Na početku ovaj projektil je korišćen uz pomoć optičkog nišana M-65, ugrađenog u nosu helikoptera, a koji je standardna oprema jurišnog helikoptera AH-1 COBRA. Sredinom sedamdesetih godina ovaj nišanski sistem bio je modifikovan laserskim daljinomerom pa je postao M65-L LAAT (Laser Augmented Airborne TOW), pomoću kojeg je dobijan podatak o daljini, za vođeni projektil i za druga helikopterska ubojna sredstva i oružja. Švedska firma SAAB konstruisala je za TOW svoj nišanski sistem HeliTOW koji je ugrađen u krovu kabine helikoptera. Ovaj nišan je zasnovan na nišanskom sistemu iste firme HELIOS sa binokularom i uvećanjem 3 i 12 puta. Pokazalo se da se u KoV evropskih zemalja rađe primenjuju nišani ugrađeni na krovu kabine helikoptera jer se mogu koristiti a da se pri tome potpuno ne izlažu protivniku kao što je to slučaj kod nišana ugrađenih u nos helikoptera.

Dalji razvoj vođenog projektila TOW pokazuje velike promene koje su se dogodile kod vođenih projektila koji se lansiraju iz letelica u toku zadnje tri decenije, kako bi se nadvladao oklop borbenih tenkova. U toku sedamdesetih godina sa obe strane gvozdene zavese došlo je do znatnih poboljšanja u oklopnoj zaštiti tenkova. Jedno od rešenja bio je deblji oklop, ali to je pogoršavalo pokretljivost tenkova, pa su tražena nova rešenja. Najpoznatiji je bio oklop CHOBHAM, baziran na keramici, koji je znatno smanjio efikasnost protivoklop-

nih kumulativnih bojnih glava. Alternativno rešenje bio je reaktivni oklop koji sačinjavaju male eksplozivne ploče koje detoniraju pri probijanju i proizvode suprotan eksplozivni talas koji razara dejstvo napadačke bojne glave.

Prvo reagovanje na ovaj problem bio je razvoj razorno-kumulativne bojne glave većeg prečnika (127 mm) sa sondom (šipkom) u nosu dužine 127 mm koja obezbeđuje detonaciju kumulativnog punjenja bojne glave na optimalnom rastojanju od cilja. To je bio poboljšani vođeni projektil ITOW (Improved TOW) ili BGM-71C, ali ga je vrlo brzo nasledio suptilniji TOW-2 (BGM-71D) sa većom bojnom glavom (152,4 mm), digitalnim umesto analognim vođenjem i dužom nosnom sondom. Bila je potrebna nova verzija koja će se suprotstaviti reaktivnom oklopu, pa je tako postao TOW-2A (BGM-71E) koji je imao malo eksplozivno punjenje dodato u nosnu sondu. Ovo eksplozivno punjenje treba da izazove detonaciju reaktivnog oklopa, kako bi, zatim, osnovna bojna glava mogla da bude usmerena direktno na konvencionalni oklop tenka.

Očigledno je bilo da će korišćenje »mozga«, umesto »mišića«, dovesti do optimalnog rešenja problema oklopa, što se može videti iz primera vođenog projektila TOW-2B (BGM-71F). Dve probojne bojne glave u tandemu zamenjuju postojeću bojnu glavu sa dvorežimskim senzorom (laserskim i magnetskim) i umesto da projektil bude vođen direktno u cilj, ovaj novi vođeni projektil je konstruisan tako da preleće preko cilja. Laserski visinomer »naslućuje« profil tenka i armira bojne glave, dok magnetski senzor ispaljuje nadole kroz tanji gornji oklop. Dok nišandžija nastavlja da drži nišan na cilju, sistem vođenja projektila je konstruisan tako da on preleti preko cilja na prethodno određenoj visini. Sličan projektilu TOW-2B je i britanski poboljšani TOW (FITOW — Further Improved TOW) koji očigled-

no ima iste senzore, ali poboljšani sistem upaljača.

U tom periodu poboljšan je i nišanski sistem M-65. Za poboljšanje dejstava noću, u lošim vremenskim uslovima i otežanim uslovima vidljivosti na bojištu (zadimljavanje), dodat je senzor FLIR (Forward Looking Infra Red) početkom osamdesetih godina. Ovaj poboljšani sistem obično se naziva COBRA-NITE ili C-NITE. Nišanski sistem britanskog TOW slično je modifikovan.

Vođeni protivoklopni projektil HOT takođe je prošao kroz slična poboljšanja kao i TOW. HOT-2 ima poboljšanu bojnu glavu, prečnika 150 mm, sa šipkom (sondom) dok je HOT-3 izrađen sa bojnim glavama u tandemu. Svi ovi projektili imaju vođenje preko žice, ali ruski ekvivalent projektila HOT i TOW, 9M114 KOKON ili AT-6 SPIRAL, koji se lansira iz cevi, okrenuo se ka vođenju radio-putem ranijeg projektila SCORPION, kao i bojnoj glavi HEAT. Izgleda da je njegov nišanski sistem u helikopteru Mi-28 HAVOC jednostavan optički uređaj sa laserskim daljinomerom, ali verovatno ima visoki stepen automatizacije, a poznato je da ima baklju za pomoć u praćenju. Južnoafrički protivoklopni vođeni projektil 2T3 SWIFT ima lasersko vođenje po nišanskoj liniji, tako što sistem vođenja prati projektil pomoću impulsnog IC izvora i prenosi kodirane komande za vođenje pomoću laserskog snopa. Ovaj protivoklopni vođeni projektil se nudi sa helikopterom ROOIVALK, ali nije sigurno da li se on nalazi u operativnoj upotrebi.

#### *Ostali helikopterski protivoklopni vođeni projektili*

I američki protivoklopni vođeni projektil HELLFIRE (AGM-114A) koristi lasersko vođenje, ali u ovom slučaju kodirani laserski snop za obeležavanje cilja, dok za prijem odbijenih

signala služi laserska glava za samonavođenje, ugrađena u projektil. Tako ovaj projektil može da bude lansiran na maloj visini pre »hvatanja cilja«, zatim traži laserski snop i prelazi na automatsko praćenje, omogućujući gađanje različitih ciljeva, snabdevenih laserima sa različitim kodiranim laserskim snopovima. Preimućstvo ovakvog sistema je u tome da se ciljevi mogu obeležiti i sa zemlje i iz helikoptera. Originalni vođeni projektil ima kumulativnu bojnu glavu, ali kasnije verzije (AGM-114B) mogu da imaju IC glave za samonavođenje sa bojnim glavama u tandemu. Najnovija verzija, HELLFIRE 2 (AGM-114K), ima glavu za samonavođenje u milimetarskom talasnom području (94 GHz) koja omogućuje veće domete (do 10 km) i obeležavanje na većim daljinama preko veze za prenos podataka. To je koncept koji je razvijen sa kasnijim varijantama TOW, ali nije uveden u upotrebu. Francuska firma SFIM konstruisala je novi nišanski sistem za vođene projekte HELLFIRE, nazvan HERLIS (Helicopter Extended Range Laser Illuminating Sight).

Napori da se Velikoj Britaniji proda HELLFIRE 2 u paketu sa helikopterima APACHE i radarom LONG BOW na jarbolu bili su u suprotnosti sa nastojanjima proizvođača evropskog helikoptera TIGER koji je bio naoružan trećom generacijom protivoklopnih projektila ATGW-3LR. Ovaj projektil ima jedinstvenu IIR (Imaging Infra Red) glavu za samonavođenje, dok je dejstvo bojne glave sa duplim kumulativnim punjenjem kombinovano sa poniranjem u završnoj fazi. Ovaj projektil koristi se sa nišanom OSIRIS postavljenim na vrh jarbola, a ima i termovizor.

Oba koncepta imaju svoja preimućstva i nedostatke. Milimetarski talasi obezbeđuju bolju taktičku fleksibilnost i veliki domet, ali mogu da budu osetljivi na ometanje. Ipak, postavlja se i pitanje praktičnosti na daljinama od preko 5 km. U odnosu na

ovu, IIR je manje rizična tehnologija, ali je to još uvek kratkotalasni sistem i ne može da razlikuje »svoj« od »tuđeg«. Oba vođena projektila napustila su vođenje preko žica, uglavnom zbog toga što usporava projektil na brzine pri kojima se žica može odmotavati. Staviše, u pogledu sve opasnijeg ratišta za helikoptere, od velike je važnost da helikopter može da bude naoružan ubojnim sredstvima tipa »ispali i zaboravi«, a ne onim pri kojima mora da lebdi nad bojištem i da navodi projekte.

Najnoviji ruski projektil VIHR M (oluja) ili AT-16, koristi poluaktivno lasersko vođenje i tandem bojnu glavu. Neobičnost ovog vođenog projektila je u tome što ima nadzvučnu brzinu a u naoružanju je helikoptera Ka-50 koji ima nišanski sistem u nosu letelice.

Postoje podaci da je Indija konstruisala svoj vođeni projektil NAG sa vođenjem po radio-komandama ili sa glavom za samonavođenje, bilo IIR, bilo u milimetarskom talasnom opsegu.

Na Pariskoj izložbi bila je prikazana maketa južnoafričkog vođenog helikopterskog projektila za helikopter ROOIVALK sa vatrenim ispitivanjima planiranim za 1995. godinu. Ovaj vođeni projektil, sa početnom oznakom ZT-6, ali za sada još bez imena, još je u fazi razvoja, a mnoga rešenja još nisu odabrana. Svakako će imati tandem bojne glave i maksimalni domet od 8 km, masu pri lansiranju od 52 kg i brzinu od 530 m/s. Način vođenja će se proveriti u toku vatrene ispitivanja, a najverovatnije će se usvojiti tip sa poluaktivnim laserskim vođenjem u milimetarskom talasnom području.

U proteklih 40 godina protivoklopní vođeni projektil prešao je dugačak put i postao ubitačan. Za sledećih 40 godina verovatno će se videti mnogo toga.

P. M.

## PROMENE KOD BORBENIH INŽINJERIJSKIH VOZILA I OKLOPNIH VOZILA ZA OPRAVKE I EVAKUACIJU\*

Oklopne manevarske snage uvek su imale podršku borbenih inženjerskih vozila i oklopnih vozila za opravke i evakuaciju koja su izrađena na ranijim i sadašnjim generacijama osnovnih borbenih tenkova, dopunjenih lakim oklopnim varijantama. Uvođenje u naoružanje tenkova M1 ABRA-MS, CHALLENGER 2 i LECLERC, zajedno sa mnogim varijantama borbenih oklopnih vozila pešadije koje se sada izrađuju, dovelo je do potrebe za vozilima klase nosivosti tereta 70 i 30 tona (MLC70 i MLC 30).

U svom najjednostavnijem obliku teška šasija je pogodnija kada su u pitanju direktni borbeni sukobi gde je potrebna verovatnoća opstanka ravna onoj koju imaju glavni borbeni tenkovi. Laka vozila pogodnija su za neposrednu borbenu podršku gde su prihvatljive i niže verovatnoće opstanka, kao za prosečna borbeno vozila pešadije i oklopne transportere. Ta dva uslova odnose se na skoro sve vrste vojnih operacija. Uslovi za operacije snaga za očuvanje mira, bez obzira na njihov »bezazlen« naziv, ne razlikuju se bitno od operacija teških tenkova, uprkos tome što su objekti podrške, uglavnom, oklopna borbeno vozila pešadije i oklopni transporteri koji predstavljaju osnovne snage Ujedinjenih nacija.

U takvim operacijama mogu se koristiti sve varijante vozila, ali postoji tendencija da to budu, uglavnom, borbeno inženjerska vozila i oklopna vozila za opravke i evakuaciju i to ne bez razloga. Obe vrste ovih vozila imaju višestruku namenu i u stanju su da dejstvuju u zadacima raščišćavanja prepreka, izvlačenja oštećenih vozila i opšte podrške, dok su vozila sa jednostrukom upotrebom ogra-

ničena na izvršavanje samo određenih zadataka.

Borbena inženjerska vozila i vozila za evakuaciju nalaze se u stalnom razvoju koji je podstaknut potrebom obezbeđivanja podrške novim generacijama oklopnih snaga, kao i za uključivanje u operacije mirovnih snaga. Zbog toga je potrebno razmotriti sadašnje stanje, kao i perspektive njihovog razvoja.

### *Oklopna vozila za evakuaciju na bazi borbenih tenkova*

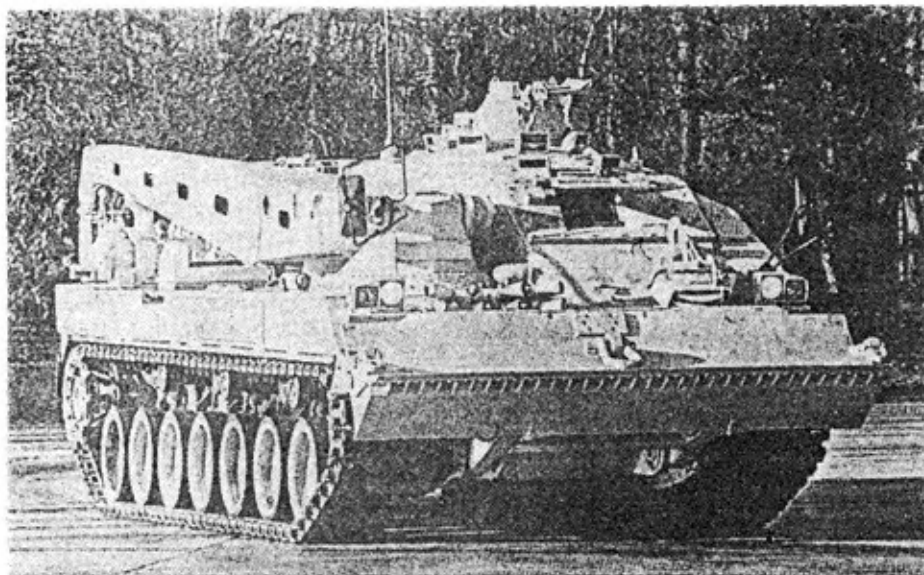
Svi glavni proizvođači tenkova slede slične puteve u svojim odabranim rešenjima, a osnovna razlika među njima je u korišćenju univerzalne tenkovske šasije.

Kopnena vojska Francuske sada koristi oklopno vozilo za evakuaciju AMX-30 D/DI za podršku svojih tenkova AMX-30B2 koji bi trebalo da budu zamenjeni novim tenkovima LECLERC. Mada je do sada naručeno 178 tenkova LECLERC (umesto očekivane narudžbine od oko 650 tenkova), a industrijska korporacija GIAT je konstruisala i već proizvodi jednu verziju oklopnog vozila za evakuaciju za Ujedinjene Arapske Emirate, za sada nema narudžbine za izradu ovih vozila za potrebe KoV Francuske.

Progresivnim ulaskom tenka LECLERC u naoružanje sve su uočljiviji nedostaci vozila za evakuaciju AMX-30 DI, jer je ono suviše lako da bi moglo da ga vuče duže vreme (vozilo od 40 t treba da tegli tenk klase 60/70). Ukoliko nije naručena izrada oklopnog vozila za evakuaciju LECLERC, KoV Francuske će koristiti neefikasan i nekompatibilan sistem nove generacije tenkova i stare generacije oklopnog vozila za evakuaciju.

Oklopno vozilo za evakuaciju LECLERC »nova generacija« (sl. 1) ima produženu šasiju sa dodatnim parom potpornih točkova (sedam u odnosu na šest kod tenka) i obrtni kran sa čerkrkom kao kod nemačkog oklopnog

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 10/1995.



Sl. 1 — Francusko oklopno vozilo za evakuaciju LECLERC »nova generacija«

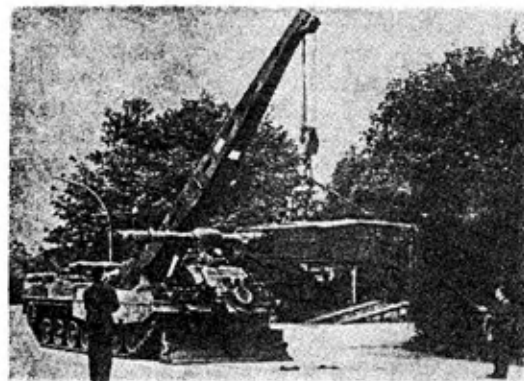
vozila za evakuaciju BÜFFEL. Vozilo, takođe, ima GPS sistem za navigaciju i GALIX sistem za samoodbranu zajedno sa mitraljezom 12,7 mm GPMG. U tom pogledu oklopno vozilo za evakuaciju LECLERC je sposobnije da obezbedi određeni nivo samozaštite u odnosu na druga zapadna vozila te klase.

Kopnena vojska Nemačke koristi oklopno vozilo za evakuaciju BÜFFEL koje je varijanta sadašnje generacije tenka LEOPARD 2, nazvan BERGPAN-

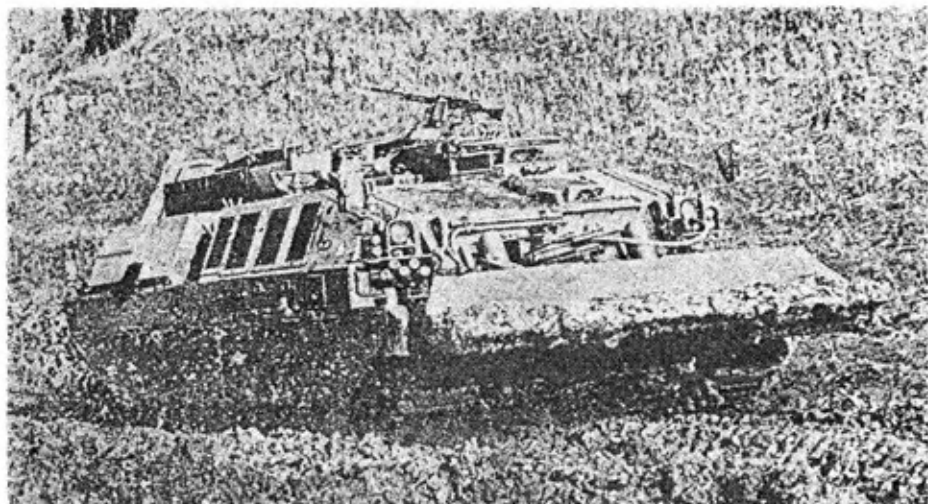
CER 3 (BPz 3). Proizvedeno je 75 vozila za potrebe KoV Nemačke i 25 za Holandiju. Međutim KoV Nemačke i dalje koristi raniju generaciju vozila BPz 2 i BPz 2A koji su konstruisani na šasijsi LEOPARD 1 za podršku tenkova LEOPARD 1 i oklopnih borbenih vozila pešadije MARDER. Ne postoji varijanta oklopnog vozila za evakuaciju MARDER. Oklopno vozilo za evakuaciju prikazano je na slici 2.

Kopnena vojska Velike Britanije odlučila je da usvoji jednu varijantu tenka CHALLENGER 1 da služi kao vozilo za opravke i evakuaciju CR ARRIV i koje će podržavati nove tenkove CHALLENGER 2. Do sada su naoružana 83 ova vozila (sl. 3). Vozilo za opravke i evakuaciju CR ARRIV zasnovano je na šasijsi tenka CHALLENGER 1, ali ima ugrađen šestostepeni automatski menjač TN-54 kojim upravlja digitalni komandni uređaj DASCU, koji je prenet i na serije tenkova CHALLENGER 2.

Kopnena vojska SAD zaključila je ugovor za obimnu modifikaciju prethodne generacije šasijsa oklopnog vo-



Sl. 2 — Nemačko oklopno vozilo za evakuaciju BÜFFEL



Sl. 3 — Britansko oklopno vozilo za evakuaciju i opravke CHALLENGER ARRV

zila za evakuaciju M88A1 (koje je zasnovano na šasiji tenka M48A2) pod novim nazivom M88A2 HERCULES za podršku tenkova M1A2, koje se može uporediti sa borbenim inženjerskim vozilom za pravljenje prolaza kroz prepreke GRIZZLY, izrađenim na šasiji tenka M1.

Modifikacija vozila M88A2 sastoji se od:

- poboljšanja pogonske grupe i transmisije sa povećanjem izlazne snage do 40%,

- novog dijagnostičkog sistema,
- dodatnog oklopa koji sada može da izdrži udare metaka do 30 mm, modernizovanog elastičnog oslanjanja,

- poboljšanog hidrauličkog i električnog sistema,

- poboljšanog glavnog i pomoćnog čekrka.

Logistička i operativna podudarnost ovog vozila kao i postojećeg M88A1 takođe olakšava obuku, održavanje i nabavku rezervnih delova. Naručeno je ukupno 28 vozila M88A2 HERCULES, a prve isporuke planirane su za početak 1996. godine, dok je Kuvajtu prodato 14 vozila. Ukupna cena iznosi 98 miliona dolara ali se očekuje da će za KoV i mornaričku pešadiju biti isporučeno oko 400 vozila.

U tabeli dati su uporedni podaci za osnovne karakteristike ovih vozila.

Uporedni podaci osnovnih karakteristika oklopnih vozila za evakuaciju

|                                            | LECLERC  | CH ARR V | M88A2   | BPz 2 | BPz 3 | AMX30D |
|--------------------------------------------|----------|----------|---------|-------|-------|--------|
| Borbena masa (t)                           | 65/70    | 62       | 64      | 40,8  | 54,5  | 40     |
| Snaga motora (kW)                          | 1100     | 895      | 780     | 610   | 1100  | 515    |
| Vučna sila čekrka (kN)                     | 340      | 52 tone  | 64 tone | 350   | 340   | 350    |
| Maksimalni vučni teret (t) / Brzina (km/h) | maks. 70 | 68/30    | 64/32   | 55/ — | 61/ — | 50/ —  |
| Maksimalna nosivost grane kрана (t)        | 30       | 30 — 35  | 35      | 20    | 30    | 12     |

*Oklopna vozila za evakuaciju  
na bazi borbenih vozila  
pešadije i lakih borbenih  
vozila*

Velika pažnja posvećena je razvoju lake varijante oklopnih vozila za evakuaciju, jer postojeća ne mogu da evakuišu borbena vozila pešadije čija je masa 20 do 30 t. S druge strane, oklopna vozila za evakuaciju, zasnovana na šasiji borbenih tenkova, rezervisana su za vuču borbenih tenkova i prevelika su i neekonomična za vuču borbenih vozila pešadije.

Ova situacija nametala je dva moguća rešenja. Jedno je razvoj oklopnog vozila za evakuaciju koje bi se moglo opisati kao »srednje«, specijalno namenjeno za prатnju jedinica borbenih vozila pešadije, kao što su WARRIOR i CV90. Alternativna ideja je korišćenje oklopnih vozila za evakuaciju zasnovanih na staroj klasi tenkova klase 50/60 (američko vozilo M88A1 koje se koristi za podršku vozila BRADLEY), dok se u Nemačkoj i Norveškoj koristi BPz 2 (na šasiji LEO 1) za podršku njihovih vozila MARDER, odnosno CV90.

Drugo rešenje je interesantno zbog toga što sada postoji višak šasija LEOPARD 1 koje se mogu preurediti. Nemačka firma GLS ima nekoliko projekata, uključujući varijante oklopnog vozila za evakuaciju i za borbeno inženjersko vozilo na prerade noj šasiji LEOPARD 1.

Kopnena vojska Francuske koristi vozilo AMX 10 ECH za podršku svojih borbenih vozila pešadije. Vozilo ima kran maksimalne nosivosti 6 t. Masa borbenog vozila pešadije AMX 10 je mala (oko 15 t). Velika francuska borbena vozila na točkovima VAB podržavaju prvenstveno vozila za održavanje sa alatom za opravke i održavanje i vozila za evakuaciju sa kranom maksimalne nosivosti 14 t i čekrkom kapaciteta 70 t.

Kopnena vojska Švedske uvela je u naoružanje novu familiju borbenih

vozila pešadije CV90. Pretpostavlja se da ima 400 do 600 ovih vozila u pet varijanti, a od toga broja preko 30% će biti oklopna vozila za evakuaciju.

Kao borbena vozila pešadije Velika Britanija koristi WARRIOR i starije serije AFV 432 i CVRT. Za njihovu podršku služe vozilo za opravke (MCRV) FV512 i vozilo za evakuaciju i opravke (MRRV) FV513. Osnovna razlika između ova dva vozila je u tome što FV 513 ima u zadnjem delu ugrađen čekrk (20 t) i hidraulički ašov. Postoji ukupno osam oklopnih bataljona sa vozilima WARRIOR. U svakom ovom bataljonu ima 7 do 8 vozila FV512 i FV513 za podršku. Zbog borbene mase WARRIOR ne može da koristi podršku starih vozila za evakuaciju FV434, a naročito vozila SAMPSON. Ipak, ova su vozila ostala u naoružanju britanske KoV radi podrške velikog broja lakih oklopnih borbenih vozila koja se još koriste za zadatke komandovanja, izviđanja i podrške.

Kopnena vojska SAD koristi seriju vozila M113 u mnogim varijantama, a za njihovu podršku koriste se vozila M579 za održavanje i oklopno vozilo za evakuaciju M806. Vozilo M579 ima kran nosivosti 3 t i alat za održavanje, dok M806 u zadnjem delu ima ugrađen čekrk i dva ašova. Ova vozila su prošla kroz mnoge modifikacije, a ima izgleda i za nove, što pretpostavlja i ostanak u naoružanju KoV SAD i u narednom veku.

Američka mornarička pešadija koristi veliki broj vozila familije LAV 8x8 (do sada je naručeno 735 vozila), a podršku im obezbeđuju oklopna vozila za evakuaciju LAV-R sa kranom nosivosti 1,8 t i čekrkom kapaciteta 13,6 t.

*Borbena inženjerska vozila  
na bazi tenkova*

Za sada postoji samo jedan razvojni program za borbena inženjerska vozila na bazi borbenog tenka. To

je američko vozilo za pravljenje prolaza kroz prepreke GRIZZLY na šasiji M-1. Pored toga, u KoV Velike Britanije postoji potreba za dve varijante inženjerskog vozila na bazi šasije CHALLENGER. To su tenk-nosač lansirnog mosta BR90 i oklopno inženjersko vozilo AVRE. Takođe, treba pomenuti predlog francuske grupacije GIAT za MEV — glavno inženjersko vozilo zasnovano na tenku LECLERC.

Ostala četiri inženjerska vozila na bazi tenkova predstavljaju većinu koja se nalazi u naoružanju zapadnih armija. To su u KoV Nemačke PI-ONIERPANZER 2 (PiPz 2) DACHS na šasiji tenka LEOPARD 1, u KoV Francuske EBG (Engin Blindé du Genie) na bazi tenka AMX 30, u KoV Velike Britanije CH AVRE (CHIEFTAIN Armoured Vehicle Royal Engineers) na šasiji tenka CHIEFTAIN i u KoV SAD M728 CEV (Combat Engineer Vehicle) na bazi tenka M60.

*Novi programi razvoja* — Američki projekat GRIZZLY sada se nalazi u fazi ispitivanja prototipa, a ono bi trebalo da bude tehnički najnaprednije borbeno inženjersko vozilo. Dva prototipa su se 1995. godine nalazila u fazi zvaničnih ispitivanja, a očekuje se da bi prve jedinice bile opremljene sa tridesetak ovih vozila oko 2000. godine. Ukupne američke potrebe za ovim vozilom procenjuju se na oko 300.

Vozilo je zasnovano na šasiji tenka M1, ima ugrađen motor AGT 1500, transmisiju XM1100 M1A1, sistem elastičnog oslanjanja M1A2 i bočne prenosnike M1. Modularni teški oklop štiti vozilo do stepena koji ima i tenk A1. Takođe, ugrađen je automatski protivpožarni sistem i NBH zaštitni sistem sa natpritiskom. Za obavljanje specifičnih zadataka vozilo GRIZZLY ima konzolu sa električnim pogonom, nož za razminiranje i automatski sistem za kontrolisanje dubine. Za blisku samoodbranu ima mitraljez 7,62 mm i automatski bacač bombi 40 mm Mk19. Oba oružja imaju sopstveni

borbeni komplet municije koja se nalazi u oklopljenim spremištima, kao i daljinski sistem za zadimljavanje kojim rukuje komandir sa svog mesta. Začuđujuće je da ovo veliko, teško (64 t) i složeno vozilo ima samo dva člana posade, što bi moglo da bude nedostatak pri dugotrajnim operacijama, izuzev ako ne postoji odmorna posada. Održavanje tehnički složene opreme takođe može da se pokaže kao opterećenje za posadu, pa će u ovom pogledu biti interesantni rezultati ispitivanja.

Vektroelektronika vozila GRIZZLY ima magistralu podataka 1553B sa ručicom i čini osnovu za upravljanje vozilom, konzolom, nožem za razminiranje i mitraljezom 7,62 mm. Sistem za automatsko upravljanje dubinom ima uređaj za kartografisanje zemljišta i senzore za položaj vozila, stvarnu brzinu na putu i druge, a koristi se za upravljanje razminiranjem, tako da je moguće razminirati stazu širine 4,02 m i dubine 0,38 m  $\pm$  50 mm maksimalnom brzinom od 9,3 km. Konzola koristi komercijalnu tehnologiju i u stanju je da podigne teret od 1,8 t na maksimalnoj daljini od 9 m u sektoru 45° levo do 115° desno od ose vozila. Dva kompjuterizovana displeja i četiri video-kamere pokazuju sliku jedne termalne i 5 dnevnih video-kamera.

Predlog francuske industrijske grupacije GIAT za glavno inženjersko vozilo za tenk LECLERC (LECLERC MEV) isto je toliko napredan kao i za GRIZZLY, ali je do sada to samo koncept bez prototipa. Vozilo će biti zasnovano na šasiji oklopnog vozila za evakuaciju LECLERC, ali bez kрана i sidrenog noža. Biće opremljeno opremom za zemljane radove i plugom za razminiranje, zajedno sa duplikatorom magnetskih karakteristika i daljinskim sistemom upravljanja, višenamenskom radnom rukom koja će moći koristiti dodatnu opremu, kao što je kašika, svrdlo za bušenje otvora u zemlji i čekić za lo-

mljenje. Predviđeno je da na zadnjoj platformi nosi sistem za razbacivanje mina MINOTAUR i opremu za obeležavanje razminiranih staza. Takođe, predviđeno je da nosi opremu za razminiranje i inženjerski alat i eksploziv. Pored toga, može se pojačati oklopna zaštita eksplozivno-reaktivnim oklopom.

Projekat zamene oklopnog inženjerskog vozila CH AVRE u KoV Velike Britanije nalazi se u najranijoj fazi razvoja. Izgleda verovatnije da će ovaj projekat dobiti izgled koji je identičan sadašnjim inženjerskim vozilima CH AVRE, tako što će sadašnja oprema sa tih vozila biti ugrađena na modifikovana tela tenka CHALLENGER koji bi, možda, dobili automatski menjač TN 54 i digitalni komandni uređaj DASCU, kao i kod inženjerskog vozila CH ARRIV. Kao alternativa može se koristiti i šasija novih tenkova CHALLENGER 2.

Britansko inženjersko vozilo CH AVRE (48 vozila su u jedinicama) namenjeno je za obavljanje nešto drugačijih zadataka nego druga slična vozila, i u tu svrhu opremljeno je da nosi snopove pruća za oblaganje u putogradnji i gradnji, elemente kolonjskih puteva i druga inženjerska sredstva na svom širokom krovu. Vozilo ima posadu od pet inženjera, a može da vuče prikolicu sa pružnim punjenjem za razminiranje GIANT VIPER ili specijalnu inženjersku prikolicu sa obeleživačima minskog polja ili drugom opremom. Ovo vozilo spada u kategoriju vrlo teških, sa punim taktičkim teretom i sa natovarenom prikolicom, i po masi pripada klasi 70 i ima vrlo veliku siluetu na bojištu.

Mada je inženjersko oklopno vozilo CHIEFTAIN AVRE tek nedavno uvedeno u operativnu upotrebu, njegova mala taktička brzina i nemogućnost da prati borbeni poredak tenkova CHALLENGER doveli su britanski KoV do zahteva za nova inženjerska

vozila CHALLENGER AVRE i CHALLENGER AVLB.

U KoV Velike Britanije velika pažnja posvećena je brzini različitih vozila u okviru borbenih grupa radi stvaranja mobilne manevarske snage. Staviše, konstrukcija inženjerskog vozila CHIEFTAIN AVRE i novog CHALLENGER AVRE zasnovana je na konceptu koji je predviđen i razvijen za intenzivna borbena dejstva u severozapadnoj Evropi. Biće interesantno videti da li će ovaj koncept važiti za zadatke na drugoj vrsti zemljišta ili je, možda, rešenje koje nude inženjerska vozila GRIZZLY i LECLERC bliže ukazanim potrebama. Do sada ministarstvo odbrane Velike Britanije još nije donelo odluku o finalnoj konstrukciji oklopnog inženjerskog vozila CHALLENGER AVRE.

*Vozila koja su sada u naoružanju* — KoV Nemačke sada koristi oklopno inženjersko vozilo PiPz 2 DACHS (od 1988. godine izrađeno je 144 vozila) dok je KoV Francuske odabrao nešto drugačije rešenje u obliku svog vozila EBG F1 (izrađeno 71 vozilo od 1988. godine). Oba vozila su lakša i po mnogim karakteristikama spadaju u stariju generaciju sa manjim mogućnostima u odnosu na savremene tenkove. Glavne razlike su u tome da oba vozila imaju buldozerski hidraulički nož umesto pluga za razminiranje i sličan kran i čekrk, i to DACHS sa kašikom i svrdlom za zemlju, a EBG hvatač i svrdlo za zemlju. EBG, takođe, ima bacač punjenja za rušenje od 142 mm sa četiri cevi za lansiranje mina sa praktičnim dometom 30 do 300 m, odnosno 90 do 250 m.

Inženjersko vozilo KoV SAD CEV (između 1966. i 1983. godine izrađeno je 291 vozilo) jedino je takvo vozilo koje ima ugrađen top za rušenje kalibra 165 mm. Ovo vozilo uskoro će biti zastarelo, a opremljeno je slično kao i britanski CENTURION AVRE koji je tek nedavno povučen iz naoružanja kako bi ga zamenila vozila GRIZZLY. Vozilo CEV, takođe,

ima konzolu kрана, а u zadnjem delu čеkrk zajedno sa nožem buldozera. Glavni nedostatak je mala pokretljivost i nesposobnost dejstvovanja sa borbenim grupama, naoružanih borbenim vozilima ABRAMS i BRADLEY.

### *Zahtеvi za inžinjerijska vozila za opštu podršku*

Danas postoje dva osnovna inžinjerijska vozila za opštu podršku iz te kategorije: američko oklopno borbeno vozilo za zemljane radove (ACE) M9 i borbeni inžinjerijski tegljač britanske KoV CET, dok se u fazi definisanja projekta nalazi zahtеv za vozilo TERRIER koje bi trebalo da zameni CET. Kao i ACE i CET imaju specifičnu namenu, i zato nemaju ništa zajedničko sa ostalim oklopnim borbenim vozilima. Oba vozila su razvijena na osnovu sličnih radnih uslova radi zamene konvencionalnih buldozera koji se, obično, nalaze u inžinjerijskim jedinicama.

»Režim rada« jednog borbenog vozila za inžinjerijske radove razlikuje se od režima oklopnih borbenih vozila, jer ono mora često da menja pravac, uz kratka kretanja u jednom ili drugom pravcu, na primer, pri izradi tenkovskih eskarpi. Međutim, to je samo jedan deo problema. Da bi borbeno inžinjerijsko vozilo za zemljane radove imalo vrlo dobre radne performanse, potrebno je da ima dovoljnu snagu za prebacivanje zemlje ili veliku vučnu silu. Na komercijalnim buldozerima to se postiže korišćenjem kombinacije motora sa visokim obrtnim momentom, sistema hodnog dela bez oslanjanja (zbog toga nema gubitka snage koji postoji kod vozila koja imaju sistem oslanjanja) što rezultira vrlo malom maksimalnom brzinom, velikom masom vozila i vrlo agresivnim dejstvom članaka gusenica radi dobrog zahvata na svim vrstama zemljišta. Nasuprot tome, oklopno borbeno vozilo zahteva motor velike snage, odgovarajuću transmisiju, vrlo efi-

kasan sistem oslanjanja i takvu konstrukciju gusenica koja će sprečiti spadanje pri manevrisanju velikim brzinama. Što se tiče vozila CET i ACE dodatni zahtеv je da budu u stanju da vodenu prepreku savlađuju plovidbom i da se mogu prevoziti avionima (C-130).

Radi rešavanja ranije navedenih problema, vozilo CET je konstruisano tako da bude u stanju da se istom brzinom kreće napred i unazad, mada je sistem oslanjanja optimiziran za vožnju velikom brzinom kada se kašika nalazi nazad. Konstrukcija gusenica obezbeđuje dobru vučnu silu kada obavlja buldozerske radove i kada je korpa okrenuta napred, korišćenjem blokirajućih hidrauličkih amortizera u sistemu oslanjanja. Posadu vozila čine dva člana.

Zahtеv da vozilo ima prethodno odabrani prenos u menjaču u oba pravca, i da radi u uslovima neprekidnog opterećenja pri zemljanim radovima, bio je u to vreme iznad nivoa tehnoloških dostignuća (CET je projektovan 1973. godine). U početku se smatralo da je CET nepouzdan, ali je kasnije to mišljenje promenjeno posle nekoliko modifikacija, koje su obuhvatile pojačavanje elemenata menjača, podešavanje stepeni bočnog prenosa, modifikacije pretvarača obrtnog momenta i sistema hlađenja. Između 1978. i 1982. godine izrađeno je 141 vozilo za potrebe KoV Velike Britanije. Bez obzira na redukciju britanske KoV nije bilo smanjivanja broja ovih vozila koja su u velikom broju pridodata operacijama Ujedinjenih nacija zbog mogućnosti strateškog transportovanja i podesnosti za obavljanje različitih zadataka.

Razvoj vozila ACE usvojio je nešto drugačije rešenje problema. Masa vozila je najniža moguća kako bi vozilo zadržalo amfibijske karakteristike i garantovanu stratešku pokretljivost. Za ostvarivanje vučne sile koja je potrebna za obavljanje zemljanih radova, u prednji prostor može se na-

puniti 6,7 m<sup>3</sup> balasta. Vozilom ACE upravlja samo jedan čovek, što može dovesti do njegovog premora. Da bi se to sprečilo drugi poslužioc se nalaze u pratećim vozilima inženjerskog odeljenja M113.

Od 1986. do 1992. godine proizvedeno je preko 400 ovih vozila.

Dilema kako bi trebalo da izgleda borbeno inženjersko vozilo budućnosti prepoznatljivija je imajući u vidu nedavni zahtev KoV Velike Britanije za izradu studije izvodljivosti novog vozila. Problem pred kojim su se našle mnoge nacije jeste u tome da što god se više povećava učestvovanje u operacijama van bojišta, sve više se javlja potreba za jednim vozilom koje se može strateški rasporediti, a da bude borbeno izdržljivo i sposobno da rešava mnoge zadatke i uloge. U tome pogledu vozilo TERRIER predstavlja dobar primer kakvo treba da bude buduće borbeno inženjersko vozilo.

Poznato je da buduće vozilo, za razliku od prethodnih, ne treba da bude amfibijsko i ne mora da se prevozi avionima C-130. Razmeštaće se kao deo oklopnih snaga i najverovatnije je da će podržavati borbeno vozila pešadije WARRIOR i laka oklopna borbeno vozila. Zbog toga nema velike koristi od prevoženja avionima C-130, jer će se glavne snage kretati na vojištu sopstvenim hodom. TERRIER se, takođe, predviđa kao vozilo za opštu podršku, pa mora biti oklopljeno kako bi opstalo u zoni posredne vatre. Kako je ovo vozilo namenjeno za obavljanje zemljanih radova, a možda i za raščišćavanje, mora da bude sposobno i za samoizvlačenje. To ne znači da mu je potreban čekrk već »ruka« sa daljinskim upravljanjem za samoizvlačenje. Očekuje se da bi prevashodna uloga ovog vozila bila da kopa, nosi teret, prevozi i vuče različitu opremu. Ako se, kako se preporučuje, odabere model pokretljivosti sa sličnim težinskim ograničenjima kao i WARRIOR, projekti na bazi borbe-

nog tenka mogu da budu eliminisani iz konkursa. Tada bi došlo do izbora između vozila CET i njegovih modifikacija, kao i mogućnosti nove konstrukcije. Program obuhvata i zahtev za integrisanu logističku podršku sa preimućstvom uzajamnosti sa sadašnjim i budućim vozilima.

Biće potrebno oko 100 ovih vozila sa uvođenjem u naoružanje 2005. godine.

P.M.

---

## RAZVOJ IZVIĐAČKOG NAORUŽANOG HELIKOPTERA RAH-66 COMANCHE\*

Razvoj američkog izviđačkog naoružanog helikoptera RAH-66 COMANCHE ostaje i dalje prioritetni razvojno-istraživački program.

Ključ za uspeh budućih oružanih snaga jeste pravovremeno informisanje starešina pre, u toku i posle početka borbe ili borbenih dejstava. Takođe, smatra se da pre slanja američkih vojnika u rat ili neborbene operacije, nacionalno rukovodstvo koristi bilo koje obaveštajne (informacione) izvore. Bez svake sumnje, snage 21. veka moraju sve vreme da budu pripremljene za sve uslove ratnih dejstava, da budu brzo razvijene, da ocene situaciju, da ojačaju snage i sredstva (ako se ukaže potreba) i da iskoriste svoju moć. Bilo da je početak ratnih dejstava ometan ili neometan, izviđački naoružani helikopter COMANCHE je potpuno prilagođen konceptu početka borbenih dejstava modularnih snaga u formiranju oružanih snaga za rešavanje nastalih situacija. Prototip helikoptera COMANCHE prikazan je na slici.

---

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 7/1995.

Izviđački naoružani helikopter RAH-66 COMANCHE ima revolucionarnu sposobnost predislukacije, jer se može prevoziti brodovima, a i samopredislucirati na daljine od 1200 nautičkih milja (blizu 2200 km), tako da posada helikoptera može da proceni i obezbedi starešini jasniju situaciju na eventualnom bojištu. Za dislociranje na velike daljine, osam ovih helikopte-



*Prototip helikoptera COMANCHE*

ra, mogu se prevesti u transportnom avionu C-5 i mogu da stupe u dejstvo za manje od 22 minuta, a da za to nije potreban probni let ili reglaža nišana. Opremljen senzorima druge generacije, sredstvima za preciznu navigaciju vođenih ubojnih sredstava velike preciznosti, malo приметљиви helikopter COMANCHE može da obavlja neprekidno »neplanirano izviđanje« radi digitalne obrade ciljeva za potrebe dalekometne artiljerije, brodskih topova ili za autonomna borbena dejstva protiv važnih ciljeva ili ciljeva koji menjaju svoj položaj.

Velike mogućnosti helikoptera COMANCHE za obradu bojišta omogućuju mu da u skokovima izviđa cilj, a da pri tome ne strada od protivnika. Kao član snaga za početnu fazu ratnih dejstava, helikopter COMANCHE je sa svojom velikom daljinom dejstvovanja, visokim stepenom pouzdanosti i fleksibilnošću izvršavanja borbenih zadataka odlično prilagođen za vital-

nu zaštitu zajedničkih snaga pri njihovoj koncentraciji, bilo na početku ili nastavku borbenih dejstava, i ostaje okosnica snaga za očuvanje mira.

Savremena tehnologija helikoptera COMANCHE omogućava prikupljanje i obradu informacija sa bojišta na način koji je nedostupan savremenoj postojećoj lakoj floti letelica. Postojeće izviđačke letelice ne mogu da lete noću ili u nepovoljnim vremenskim uslovima i nisu u stanju da dovoljno brzo prikupe potrebne podatke.

COMANCHE će izvršavati zadatke oružanog izviđanja prepoznavanjem i lociranjem protivnika, osiguravanjem bokova i slabih tačaka, pronalaženje protivnika koji je promenio položaje i obezbeđivanje koordinirane funkcije za potrebe združenih snaga. Kako je COMANCHE naoružani izviđački helikopter, moći će da dejstvuje u dubini borbene zone i van nje, a i da obavlja zadatke osiguranja bokova i pozadine. Obezbeđivaće osmatranje, kao i rano upozorenje, a i poboljšati komandovanje, upravljanje, vezu i izviđanje. U udarnoj ulozi helikopter COMANCHE sa svojim savremenim senzorima moći će prvi da obavi akviziciju ciljeva i otvori vatru, lakše da prekida i razara protivničke operativne rezerve i da obezbedi brzu zaštitu pozadine. COMANCHE može da izbegne otkrivanje letom iznad same površine zemlje, malim demaskirajućim znacima i mogućnošću da dejstvuje sa bezbednih daljina.

Velika prednost ovog helikoptera je fleksibilnost izvršavanja borbenih zadataka i nošenja ubojnog tereta. Helikopter ima šest unutrašnjih lansirnih šina i svaka od njih može da nosi jedan vođeni raketni projektil HELLFIRE, dva vođena projektila STINGER ili četiri nevođene rakete HYDRA-70, što doprinosi niskim demaskirajućim svojstvima helikoptera, a mogu se dodati krilni nosači za povećanje nosivosti goriva ili ubojnih sredstava.

U operaciji »Pustinjska oluja« većina borbenih operacija odvijala se u susretu. Dokazano je da je tehnologija veka informatike ključ za uspeh na bojištu.

Helikopter ne samo da može da obezbedi podatke o tome gde se nalaze protivničke snage već neprekidnim izviđanjem i identifikacijom ciljeva može da obezbedi informaciju kuda se on kreće i šta bi mogao da uradi. Kao dopuna floti udarnih helikoptera, COMANCHE će odabrati pravce kroz bojište za teže udarne helikoptere APACHE. Digitalni pogled na bojište helikoptera COMANCHE omogućuje mu da bude pouzdani partner izviđačko-udarnih snaga, stvarajući efikasno sadejstvo snaga na bojištu.

Helikopter COMANCHE imaće višestruku namenu, što je od velike važnosti s obzirom na smanjivanje oružanih snaga i njihovo prestrukturiranje. Helikopter će moći da obavlja različite borbene zadatke, što će omogućiti veću efikasnost sa manje sredstava. Koncentracija snaga za brza dejstva i njihovo isturanje proširuje operativnu bazu, obezbeđuje zaštitu kopnenih snaga, izviđanje, obezbeđenje i efikasno komandovanje i upravljanje. Helikopter COMANCHE koristiće se za uništavanje oklopnih i mehanizovanih snaga i za neutralisanje i uništavanje PVO, dok će se njegove sposobnosti u vazдушnom prostoru oslanjati na sposobnosti manevrisanja i okretnosti za uništenje ili izvlačenje ispred protivničkih helikoptera na malim, srednjim i velikim daljinama.

Za razliku od ranijih programa nabavke sistema oružja, kod mera preduzetih za nabavku helikoptera RAH-66 COMANCHE u istu ravan su postavljeni tehnički uslovi i uslovi o mogućnostima njegovog održavanja. Podstaknuti potrebom da se smanji ljudski rad, kao i troškovi korišćenja i podrške, uz jednovremeno obezbeđivanje visokih tehničkih kvaliteta, konstruktori su posvetili veliku pažnju

uticaju mogućnosti održavanja helikoptera na njegovo projektovanje i predvideli sredstva koja su potrebna za njegovo korišćenje kada bude uveden u naoružanje. Mogućnosti održavanja helikoptera zavise od:

- pouzdanosti, dostupnosti i mogućnosti tehničkog održavanja,
- integrisane logističke podrške,
- ljudskog faktora.

Svaka od ovih grupa ima važnu ulogu u konstruisanju i planiranju resursa za naoružani sistem COMANCHE.

Tehnički uslovi za pouzdanost, dostupnost i mogućnost tehničkog održavanja proizašli su iz želje da se održi neprekidno prisustvo na bojištu, uz jednovremeno znatno smanjivanje poteškoća oko tehničkog održavanja i logističke podrške. Navedeni tehnički uslovi biće ispunjeni uz korišćenje preimущества poboljšanja tehničkog dela opreme, čime će se znatno poboljšati pouzdanost i mogućnost tehničkog održavanja. Uvođenje kompozitnih konstrukcija delova transmisije i rotora, funkcionalnih pregrada, tolerancije u konstrukcionim greškama, kao i druga rešenja, doprineće znatnom poboljšanju pouzdanosti. Broj delova od kojih su sastavljeni kostur, transmisija, rotor i podsistem za upravljanje letom biće znatno manji nego kod prethodnog helikoptera. Prema tome, konstrukcija helikoptera COMANCHE biće jednostavnija, lakša za održavanje i manje osetljiva na otkaze.

Integrisana logistička podrška treba na najmanju moguću meru da skрати logistički lanac, a u glavne zadatke spadaju utvrđivanje, nabavka i raspodela svih sredstava koja su potrebna za podršku helikoptera COMANCHE na bojištu. Dva različita pristupa u obezbeđivanju uticaja integrisane logističke podrške na konstrukciju helikoptera su »analiza logističke podrške« i »analiza nivoa opravki«. Pro-

ces analize logističke podrške jeste planirana serija poslova u ispitivanju i oceni sistema oružja iz perspektive mogućnosti održavanja helikoptera. Kroz ovaj proces problemi koji se odnose na integrisanu logističku podršku izronili su na površinu i rešeni su, usmeravajući konstruisanje helikoptera ka postizanju najveće operativne gotovosti uz minimalne troškove i korišćenje sredstava. Analize nivoa opravki svih zamenjivih modula i svih zamenjivih agregata u toku tehničkog održavanja određuju da li jedan deo može da bude opravljen ili odbačen u slučaju otkaza. Ako se oceni da se može opraviti određuje se viša instanca za opravku (u jedinici ili radionici). Preko ovakvog modeliranja proračunavaju se troškovi u toku resursa i donose odluke u pogledu rekonstruisanja (modifikacije). Analize nivoa opravki obavlja nosilac ugovora, a odobrava ga američka vlada.

Osnovni inspirator projekta helikoptera COMANCHE jeste koncept dvostepenog održavanja radi omogućavanja obavljanja tehničkog održavanja na najnižem mogućem nivou. Oba stepena (kod korisnika i u radionici) eliminišu potrebu za korišćenjem vrlo obučanih stručnjaka i opreme koja je, obično, smeštena na međunivou, što dovodi do smanjivanja broja ljudstva potrebnog za podršku helikoptera na bojištu.

Od samog početka program razvoja helikoptera COMANCHE obezbedio je potpuno uključivanje ljudskog faktora u ovaj sistem. Uključivanje stručnjaka u toku faza konstruisanja i razvoja doprinelo je da se procene uslovi rada za svakog poslužioca, stručnjaka za opravke i drugih lica koja učestvuju u održavanju helikoptera radi optimiziranja međusobnog odnosa čovek—mašina. Pored toga, predstavnici proizvođača i korisnika učestvovali su u ocenskim pokazivanjima opreme za održavanje.

P. M.

## VERZIJA OKEANSKOG MINOLOVCA TIP 266ME\*

Minolovac zauzima posebno mesto među ratnim brodovima građenim za izvoz u ruskim brodogradilištima. Brod 266ME treba da rešava protivmorske odbrambene probleme u moru ili bližim okeanskim zonama, i to: uništavanjem sidrenih i na dnu ležećih mina, provođenjem sopstvenih brodova iza minolovki kroz određene zone ili između luka i za izvođenje ofanzivnog i defanzivnog miniranja.

Minolovac tipa 266M, koji je nastao kao rezultat iskustava u gradnji i upotrebi minolovca tipa 266, bio je baza koja je korišćena za stvaranje novog tipa minolovca 266ME. Tip 266, kasnije poznat kao klasa JURKA (po NATO klasifikaciji), spadao je u vodeće minolovce, a uključen je u Sovjetsku Ratnu mornaricu 1963. godine. Dve godine kasnije Zapadno konstruktivno odeljenje otkrilo je tehnički projekat modernizovanog broda, označenog kao 266M. Ovaj minolovac je poznat i kao NATJA I, po NATO označavanju.

Minolovac tipa 266M konstruisan je na iskustvima remonta tipa 266 i tipa 266M za Crno more i Sredozemno more, a pokazao se veoma dobro u upotrebi u Ratnim mornaricama zemalja lociranih u regionima sa vlažnom tropskom klimom.

Kriterijum izvozne varijante minolovca 266M zahtevao je modifikacije koje obuhvataju:

- postupke zaštite cele brodske strukture, opreme i uređaja protiv korozije;

- zaštitu od visoke temperature;

- zaštitu od oštih dnevnih fluktuacija;

- zaštitu — obezbeđenje od strukturalnih otkaza prouzrokovanih različitim mikroorganizmima;

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1995.

— povećanje čvrstoće ugrađivanjem čeličnih ploča u dno broda i pregrade između gornje palube i podvodnog dela broda, kao i u zoni promenljive vodene linije;

— površinsko kaljenje materijala upotrebljenog za oplatu broda i strukturalne elemente trupa broda.

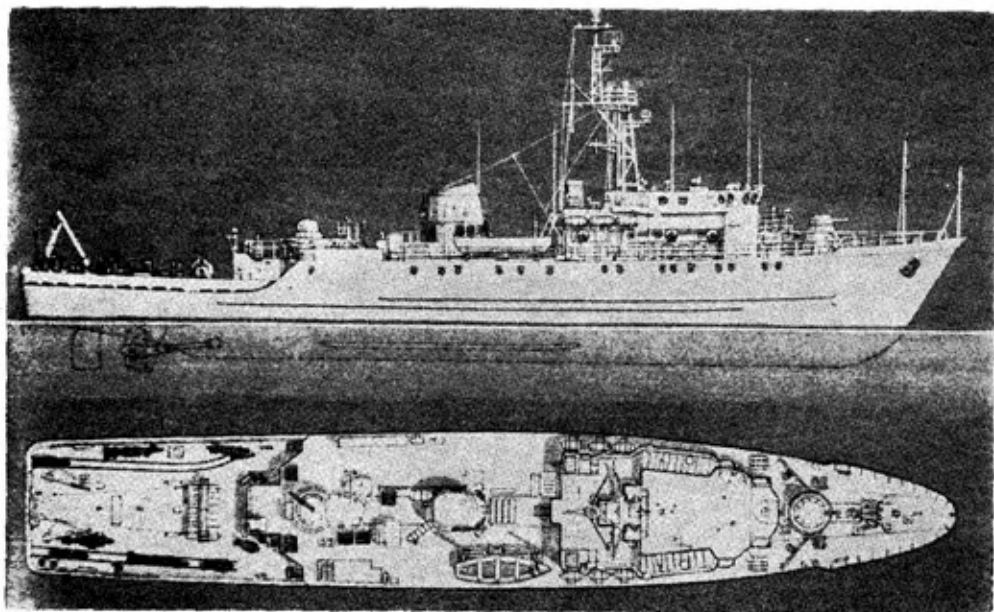
Brodski glavni motori ostali su nepromenjeni dok su dizel-generatori zamenjeni, a pomoćni parni kotao je demontiran. Pneumatski daljinski sistem upravljanja glavnim motorima i propelerima sa zakretnim krilima zamenjen je električnim daljinskim sistemom upravljanja. Snaga brodske električne stanice je 100 kW.

Izvozna varijanta minolovca 266M opremljena je mnogo pouzdanijim kontaktnim minolovkama, elektromagnetskom minolovkom (kalemom) i akustičnom minolovkom, s obzirom na to da je minski detektor isključen iz protivminskog naoružanja, a zamenjen je i radar i radio-jedinica.

Kao dokaz komfora za posadu brod ima klima-uređaj i poboljšani sistem hlađenja motora, čiji je kapacitet

tri puta veći od slične instalacije na minolovcu tipa 266M. Demontažom parnog kotla i destilacionog sistema, rezervoari vode su povećani, jedna od paluba je uređena za montažu šatorskog krova, podoficirske kabine su delimično pretvorene u četvorokrevetne kabine, a brojne druge novosti uvedene su kao rezultat prototipskih ispitivanja. Tako se došlo do standardnog deplasmana od 750 t i punog deplasmana od 804 t. Brodska linija je ostala ista kao i kod minolovca tipa 266M. Brod je produžen i razvijan na dva nivoa nadgradnje sa jednim jarbolom.

Trup broda je kompletno napravljen od čelika i ima sledeće dimenzije: dužinu 61 m, širinu 10,2 m i gaz od 3 m. Minolovac 266 ME može da se kreće brzinom (do stanja mora 3 po Bof. pri standardnom deplasmanu i pri dubinama mora od 25 do 30 m) od  $16 \pm 0,5$  čvorova, i ekonomičnom brzinom od 12 čvorova. Daljina plovidbe je 3000 milja sa 87 t goriva. Autonomnost broda na moru iznosi 15 dana (u verziji kada je snabdeven zalihama hrane i 45 t pitke vode).



*Minolovac tip 266 ME*

Minolovac 266 ME može uspešno dejstvovati u tropskim uslovima i pri temperaturama vazduha od  $+40^{\circ}\text{C}$ , temperaturama vode od  $+32^{\circ}\text{C}$  i relativne vlažnosti vazduha do 80%.

Brodski komplet protivminskih sistema čine: kontaktna mehanička minolovka tipa GKT-2 (sa širinom zahvata od 260 do 280 m, maksimalnom dubinom zahvata od 200 m i minimalnom dubinom zahvata od 10 m); akustička minolovka AT-2 (sa mogućnošću tegljenja brzinom od 5 do 12 čvorova pri stanju mora do 4 po Bof. i minimalnoj dubini mora od 15 m); elektromagnetska minolovka kalem TEM-3 (sa mogućnošću brzine tegljenja do 10 čvorova pri stanju mora do 4 po Bof., minimalnoj dubini mora od 15 do 20 m i napojno-teglećim kablom od 455 m). Opremljen je uređajem za automatsku regulaciju i kontrolu rada AT-2 i TEM-3 minolovnih sistema. Minolovna oprema minolovca 266ME u svom sastavu ima i vitla za GKT-2 i AT-2 minolovke, dve brodske dizalice i namotaj napojno-teglećeg kabla za TEM-3 minolovku.

Lov, detekcija i lokalizacija sidrenih i na dnu ležećih mina usavršeni su minolovnim sonarom MG-89. Njegov operativni domet je 1000 do 1200 m za sidrene mine i 350 do 400 m za ležeće mine. Lokalizaciona greška kreće se do 1,5% za ugao i 1,5% za nazivnu vrednost opsega. Minolovac 266ME opremljen je podvodnim zvučnim komunikacionim sonarom MG-35E i HF/LF telefonima. Za određivanje ugla nagiba i valjanja broda koristi žiroskopski stabilizacioni sistem S-3M koji je u vezi sa sonarom MG-89.

Oprema za samoodbranu minolovca 266ME sadrži artiljerijske, raketne i protivpodmorničke oružne sisteme. Za borbu protiv niskoletećih aviona i helikoptera opremljen je odbrambenim sistemom IGLA-1, koji može dejstvovati sa dve standardne akcione stanice na pramcu. U borbenom kompletu nalazi se 18 setova sistema IGLA-1. Dva automatska šestocevna topa 30

mm AK-630, po jedan na pramcu i jedan na krmi, namenjena su za gađanje niskoletećih aviona i uništavanje isplivalih mina. Brzina gađanja im je od 600 do 1000 granata/minuti. Za svaki top je ukracano po 2149 granata.

Za borbu protiv podmornica minolovac 266ME je opremljen sa dva raketna bacača protivpodmorničkih bombi RBU-1200 sa dometom od 400 do 1200 m. Borbeni komplet čini 60 raketnih zrna RGB-12 za oba lansera.

Za polaganje mina minolovac 266 ME može ukrcati 8 univerzalnih na dnu ležećih mina UDME, koje mogu biti smeštene i osigurane na specijalnim minskim šinama, a obaraju se u vodu preko krmenih nastavaka.

Brodska navigaciona oprema sastoji se od žiro kurs indikatora GKU-2, magnetskog kompasa KMO-T, eho sondera NEL-MZB, otkrivača radio pravca Rumb, risiver-indikatora Pirs-1M (za lociranje minolovca u referenci sa signalom sa DECCA obalskog navigacionog radara), merača vetra i automatskog pozicionog plotera AP-4.

Minolovac je, takođe, opremljen identifikacionim uređajem, navigacionim radarom MR-212/201-2 i standardnim infracrvenim uređajem tipa KHMEL-1. U bliskim vodama domet detekcije plutače sa radarom iznosi 35 cab., a broda deplasmana 5000 t 140 cab.

Da bi se smanjila verovatnoća aktiviranja morskih mina montira se specijalni degausing uređaj, koji se sastoji od glavnog horizontalnog kalema, okvirnog kalema i kalema koji pokriva mašinski krmeni deo minolovca.

Zaštita posade od efekata nuklearne eksplozije u zatvorenim akcionim stanicama i kontrolnoj sobi osigurana je potpunom hermetizacijom, individualnim zaštitnim sredstvima i organizovanim merama zaštite. Naime, nadvodni deo minolovca je potpuno

hermetizovan, ugrađene su filter-ventilacione jedinice i sistem prskalica za pranje spoljašnje oplata broda, postoji oprema za hemijsku dekontaminaciju i monitor radijacije, kao i mogućnosti hemijskog izviđanja.

Minolovac 266 ME ima: 6 spasi-laćkih splavova PSN-10 (svaki za 10 ljudi), veoma dobru brodsku kuhinju, uključujući protivpožarni sistem sa vodom i drugim protivpožarnim sredstvima (pena), drenažni sistem, pump-

ni sistem, rezervoar pitke vode, desalinacioni sistem i uređaj za klimatizaciju.

Pogon broda obezbeđuju dva glavna motora M 503B-37 ukupne snage 3676,5 kW. U tropskim uslovima maksimalna snaga koju motori mogu ostvariti iznosi do 3308,8 kW. Efektivna propulzija i manevar postignuti su sa 2 kraka propelera promenljivog ugla VR226 AE-TM.

**Z. H.**



# tehničke novosti i zanimljivosti

## OCSW KOMBINOVANI BACAČ BOMBI I MITRALJEZ 12,7 mm\*

Oružje OCSW namenjeno je da zameni bacač bombi 40 mm MK 19 i mitraljez 12,7 mm BROWNING M2 sa promenljivom brzinom gađanja do 400 metaka/min. Ovo oružje treba da izbací iz stroja zaštićenu živu silu na daljinama do 2000 m, i da onesposobi lakooklopljena vozila na daljinama do 1000 m. Municija će biti razorna i razorna dvonamenska. Obe vrste bombi imaju tempirne upaljače koji se armiraju još dok su bombe u cevi, radi obezbeđivanja maksimalne precizne eksplozije u vazduhu, zbog čega obe relativno male bombe od

140,3 g imaju efikasno dejstvo na cilju ili iznad cilja. Masa oružja je 11 kg, a početna brzina 406 m/s. Putanja bombe, čiji je kalibar 22 mm, biće mnogo niža nego kod bacača MK 19.

## PIŠTOLJ Mk 23 Mod 0 HECKLER & KOCH\*

Firma HECKLER & KOCH zaključila je ugovor sa američkom komandom za specijalne operacije za III fazu razvoja ručnog sistema oružja — pištolja Mk 23 Mod 0. Po ovom ugovoru trebalo je da se isporuči 1950 komada poluautomatskog pištolja Mk 23 Mod 0 kalibra 0,45 inča (11,43 mm) i 10140 okvira. Druga dva elementa ovog sistema oružja, prigušivač zvuka i plamena i laserski nišanski modul, treba da se realizuju kasnije.

Pištolj Mk 23 Mod 0 ima poliamidni ram, a masa mu je 1,21 kg sa praznim okvirom za 12 metaka. Municija, prigušivač i laserski nišanski



OCSW kombinovani bacač bombi i mitraljez

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

modul povećavaju masu pištolja na 2,094 kg. Razvoj pištolja započet je 1991. godine kada su zaključena dva ugovora za isporuku 30 prototipova za ispitivanje. Po završetku faze I is-



*Pištolj Mk23 Mod 0*

pitivanja, firma je zaključila ugovor za fazu II (razvoj pištolja i prigušivača). Razvoj laserskog nišanskog modula realizovan je kasnije po posebnom programu.

## **ISPITIVANJA GLAVE ZA SAMONAVOĐENJE PROJEKTILA AS3\***

Italijanska firma ALENIA pristupila je ispitivanjima sa ograničenim letom nove glave za samonavođenje AS3, za sledeću generaciju vođenih projektila vazduh-vazduh srednjeg doмета kojim će biti naoružan avion EUROFIGHTER. Firma tvrdi da je do sada proizvela preko 4000 vođenih projektila ASPIDE za poslednjih 10 godina, pa namerava da zadrži svoj »know-how« u oblasti elektromagnet-skih glava za samonavođenje. Impul-sno-doplerska širokopojasna glava za samonavođenje AS3 može se postaviti na različite vođene projekte, uključujući i britansko-švedski S225X. Izrađena je na bazi »solid state« tehnolo-

gije koja omogućava da glava za samonavođenje radi na različitim frekvencijama, što doprinosi zaštiti od elektronskog protivdejstva. Pored toga, ovoj glavi za samonavođenje nije potrebno nikakvo održavanje i ima dugi vek uskladištenja. Takođe, ima vrlo sofisticiranu antenu sa vrlo malim bočnim zračenjem.

Predviđeno je da se vođeni projektil lansira na bazi koordinata cilja koje dobije od aviona da leti prema cilju koristeći sopstveni navigacijski sistem, a da se korekcije obavlja-ju preko linije za prenos podataka.

## **RAZVOJ DALJINSKOG UBOJNOG SREDSTVA MUPSOW\***

Firma KENTRON razvija novo višenamensko avionsko ubojno sredstvo MUPSOW koje će nositi avioni MIRAGE. Novo ubojno sredstvo namenjeno je za precizne daljinske (stand-off) udare po vazduhoplovnim bazama, bunkerima i komandnim centrima, a opremljeno je savremenim sistemom za navigaciju i vođenje u završnoj fazi putanje.

Raznovrsnost borbenih zadataka sugeriše da će MUPSOW biti u stanju da nosi submuniciju sa unitarnom bojnom glavom ili submuniciju za razbacivanje i da može da ima isti motor kao brzinska meta SCUA.

KENTRON ima iskustva u proizvodnji inercijalnih navigacijskih sistema. Sada radi na bazi inercijalnog navigacijskog sistema i globalnog sistema za određivanje položaja (INS/GPS) koji, verovatno, sačinjavaju paket za vođenje MUPSOW. Sistem za završno vođenje može da bude televizijski ili IC.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

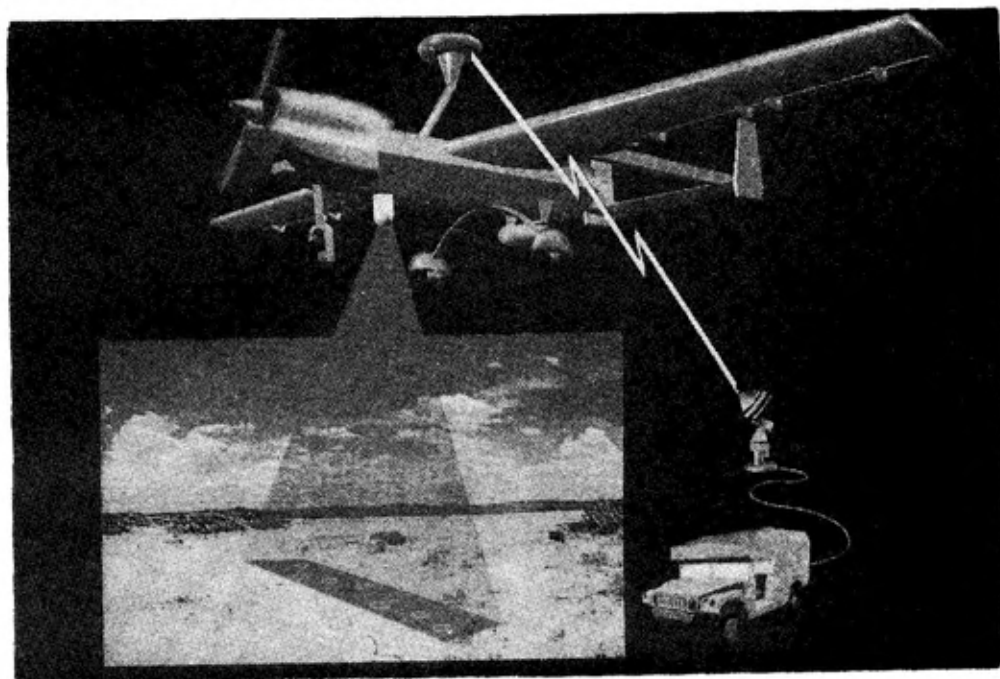
\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

## PROGRAM ASTAMIDS ZA OTKRIVANJE MINSKOG POLJA IZ BESPILOTNE LETELICE\*

Američka firma WESTINGHOUSE radi na razvijanju sistema za otkrivanje minskog polja iz bespilotne letelice. Vazduhoplovni »stand-off« sistem za otkrivanje minskog polja nosi naziv ASTAMIDS (oznaka u KoV) a namenjen je za ugradnju u bespilotnu letelicu UAV-SR HUNTER. Sastoji se od IC senzora i kopnenog procesora

za rekognisanje cilja (veza za prenos podataka obezbeđuje očitavanje u realnom vremenu). U režimu »traganje«, bespilotna letelica leti na visini od 2000 m. Kada se otkrije minsko polje, sistem se prebacuje na režim »potvrđivanje«, pri čemu se visina leta bespilotne letelice smanjuje na 1000 m radi povećavanja moći razlaganja (rezolucije) sistema.

Na programu ASTAMIDS radi i firma RAYTHEON, ali teži da koristi što više delova iz prodajne mreže, kao što su IC detektor i procesor slike.



*Sistem za otkrivanje minskog polja ASTAMIDS*

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

## SISTEM SSA ZA ZAŠTITU TENKOVA OD VOĐENIH PROJEKTILA\*

Nemačka firma BUCK prikazala je novi zaštitni sistem SSA za oklopna vozila. Sistem se sastoji od određenog broja »adapter ploča« ili »papuče«, u koje se mogu postaviti 4 patrone. »Papuče« su plitke, imaju indukcionu sistem paljenja i mogu se postaviti oko kupole vozila. Patroni se izbacuju u prethodno određenim sekvencama, tako da se stvara asimetrični zaštitni ekran. Deo patrona će eksplodirati u vazduhu, a deo kada padnu na zemlju, tako da se unište oni vođeni projektili koji su programirani da pogode centar oblaka kada je cilj zaklonjen dimnom zavesom. Pored stvaranja maskirajuće dimne zavese ovi patroni, takođe, stvaraju oblak zagrejanih mikroskopskih parčića radi sprečavanja otkrivanja tenka pomoću IC glava za samonavođenje projektila.

## NOVO OKLOPNO VOZILO COBRA\*\*

Firma OTOKAR prikazala je u Turskoj novo vozilo zvano COBRA koje je namenjeno za obavljanje zadataka oklopnog transportera, vozila za izviđanje i osmatranje, sanitetskog vozila i platforme za oružje. Vozilo ima telo od čeličnih zavarenih ploča koje mogu da izdrže pogotke zrna od 5,56 do 7,62 mm, nezavisno oslanjanje, disk-kočnice, četvorostepeni automatski menjač i dvostepeni razvodnik.

U verziji naoružanog oklopnog transportera vozilo na krovu ima ug-

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

\*\* Isto.

### Osnovni podaci oklopnog vozila COBRA

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| Posada (članova)          | 10       |
| Borbena masa (kg)         | 6000     |
| Masa praznog vozila (kg)  | 4800     |
| Vrsta motora              | turbo V8 |
| Snaga motora (kW)         | 139,84   |
| Specifična snaga (kW/t)   | 22,16    |
| Dužina (m)                | 5,1      |
| Širina (m)                | 2,156    |
| Visina (m)                | 2,0      |
| Prednji prilazni ugao (°) | 62       |
| Zadnji prilazni ugao (°)  | 57       |

raden mitraljez 12,7 mm sa daljinskim upravljanjem (punjenje municijom iz vozila) i sa dnevnim (x1) i noćnim (x7) nišanom na bazi pojačavača svetlosti. Predviđena je ugradnja lansera vođenog projektila TOW.



Oklopno vozilo COBRA

## NOVITETI U RAZVOJU MOTORA I POGONSKIH GRUPA U VELIKOJ BRITANIJI\*

Iako na britanskoj izložbi opreme RM i KoV nije bilo novih tenkova, firma PERKINS prikazala je novu pogonsku grupu (motor, transmisiju, pomoćne delove) koja je bazirana na dizel-motoru CONDOR CV12, čija je snaga povećana na 1120 kW pomoću dvostepenog turboprehranjivača. Ova pogonska grupa je na raspolaganju za buduće izvozne verzije tenka CHALLENGER 2, a može se koristiti i u britanskom programu poboljšavanja u toku eksploatacije. Sada je u fazi ispitivanja pogonska grupa snage 895 kW koja je slična pogonskoj grupi sada ugrađenoj u tenkove CHALLENGER 1 i 2.

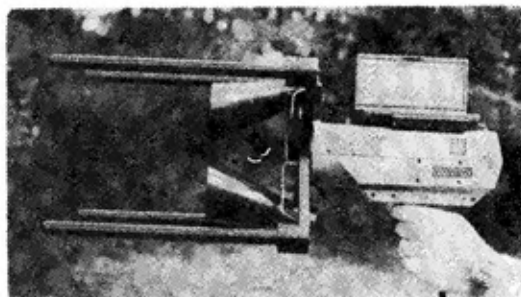
Takođe, prikazana je i pogonska grupa, kombinovana od motora CV8 i transmisije X300, koja se nalazi u fazi ispitivanja u američkoj mornaričkoj pešadiji u okviru programa novog jurišnog amfibijskog vozila (AAAV).

Ista firma radi na razvoju generatora V16, snage 1 MW, koji će električnom energijom snabdevati kopnene radare.

## MIKROTALASNI REFLEKTOMETAR PR-17\*

Firma MILLIMETER WAVE TECHNOLOGY predstavila je mikrotalasni reflektometar PR-17, uređaj koji meri koeficijent refleksije površine sa radnim frekvencijama od 4 do 18 GHz sa tipičnim dinamičkim opsegom većim od 3 decibela. Ručni uređaj ima digitalne mikrotalasne komponente, unutrašnji procesor podataka i interfejs (međuspoj) RS 232 koji omogućuje prenos podataka u računar PH200 LX. U laboratoriji reflektometrom može da se upravlja pomoću personalnog računara.

Reflektometar PR-17 namenjen je za kontrolu kvaliteta materijala, proizvodnje i popravke, a najširu upotrebu imaće verovatno u oblasti stela materijala.



*Mikrotalasni reflektometar PR-17*

P.M.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 6/1995.



**NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA »VOJSKA«**  
**REDAKCIJA IZDAVAČKE DELATNOSTI »VOJNA KNJIGA«**

**ZA VAŠU BIBLIOTEKU**

1. Aleksandar Radić  
**BORBENI AVIONI**  
Format 14×20. Strana 96.  
Povez broširan. Latinica.  
Cena 40 dinara.
2. Radomir Vujković i  
Aleksandar Radić  
**BORBENI HELIKOPTERI**  
Format 14×20. Strana 106  
Povez broširan. Latinica.  
Cena 40 dinara.
3. Predrag Pejčić  
**VOJNI HELIKOPTERI**  
Format 17×24. Strana 466.  
Tvrđ povez. Latinica.  
Cena 80 dinara.
4. Stanislav Arsić  
**SAVREMENO NAORUŽANJE KOV**  
Format 17×24. Strana 272.  
Povez tvrd. Latinica.  
Cena 100 dinara.
5. Boško Antić  
**SAVREMENI RATNI BRODOVI**  
Format 17×24. Strana 432.  
Povez tvrd. Ćirilica.  
Cena 250 dinara.
6. Aleksander Razingar  
**ELEKTRONSKO IZVIĐANJE  
I MASKIRANJE**  
Format 13×21. Strana 419.  
Tvrđ povez. Latinica.  
Cena 30 dinara.
7. Dušan Banjac  
**ELEKTRONSKA BORBA U PVO**  
Format 14×20. Strana 292.  
Povez tvrd. Latinica.  
Cena 30 dinara.
8. Milan M. Šunjevarić  
**RADIO-GONIOMETRIJA**  
Format 17×25. Strana 608.  
Povez platno. Latinica.  
Cena 40 dinara.
9. Nikola Vujanović  
**TEORIJA POUZDANOSTI  
TEHNIČKIH SISTEMA**  
Format 17×24. Strana 592.  
Tvrđ povez. Latinica.  
Cena 50 dinara.
10. Zlatko Rendulić  
**RATOVOĐSTVO I  
NAUČNO-TEHNIČKI PROGRES**  
Format 17×24. Strana 298.  
Tvrđ povez. Latinica.  
Cena 30 dinara.

## NARUDŽBENICA

**NIU »Vojska«, Birčaninova 5, 11000 Beograd**

**Telefon: (011) 645-020, telefax: (011) 644-042**

**Žiro-račun: 40823-849-0-2393**

Naručujem(o) knjige broj/primeraka .....

Naručene knjige plaćam(o):

a) odjednom — plaćanje unapred.

b) u ..... mesečnih rata (najviše tri rate) po ..... dinara  
(najmanji iznos rate je 50,00 dinara).

Prilikom kupovine na rate priložiti narudžbenicu i dokaz o uplati prve rate. Isporuka knjiga je nakon uplate svih rata.

Reklamacije za neuručene knjige primamo u roku od 30 dana.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Kupac .....

Matični broj .....

Ulica i broj ..... Telefon .....

Mesto i broj pošte .....

Dana ..... Potpis naručioca .....

Ovim se potvrđuje da je naručilac knjiga zaposlen u .....

M.P.

Overava:

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Birčaninova 5  
Telefoni: (011) 645-020 i 656-122, lokal: 22-584  
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

## NARUDŽBENICA

Pretplaćujem(o) se na časopise za 1997. godinu

primeraka

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 50,00 dinara, polugodišnja pretplata 25,00 dinara.  
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9238.

2. VOJNO DELO (opštevojni teorijski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 60,00 dinara, polugodišnja pretplata 30,00 dinara.  
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9235.

3. NOVI GLASNIK (vojnostručni intervidovski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 100,00 dinara, polugodišnja pretplata 60,00 dinara.  
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9237.

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioći uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun NIU »VOJSKA«: 40823-849-0-2393 (sa pozivom na broj za svaki časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Casopise slati na adresu:

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

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

Dana: ..... 199..... god.

M.P.

.....  
Potpis naručioca



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 do-teran, 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**

Dobrila Miletić, prof

**KORICE**

Milijko Milinković

**KOREKTOR**

Bojana Uzelac

Cena: 10,00 dinara

Tiraž: 1300 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.

---