

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA  
„VOJSKA“

NACELNIK  
Pukovnik  
STANOJE JOVANOVIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

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

General-major  
dr SINIŠA 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 TODORVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr DRAGO TODORVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr SLOBODAN BURSAĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
MIROSLAV ČOJBASIĆ, 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, Bircaninova 5,  
Pretpлата 645-020 i 22-584, žiro-račun: NIU  
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)  
4023-849-0-2393 Beograd, Polugodišnja  
pretpлата 25,00 dinara. Rukopisi se ne  
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —  
Beograd, Generala Zdanova 40 b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJE

**VOJNOTEHNIČKI**

**GLASNIK**

**4**





## S A D R Ž A J

- |   |     |  |
|---|-----|--|
| <b>Dr Jugoslav Kodžopeljić</b> ,<br>general-major, dipl. inž.                                       | 389 | Tehnološki proces održavanja tehničkih sredstava u hierarhijski organizovanim sistemima      |
| <b>Dr Svetomir Minić</b> ,<br>potpukovnik, dipl. inž.   | 402 | Model optimalnog grupisanja periodičnosti preventivnog održavanja tehničkih sistema          |
| <b>Dr Slobodan Vukićević</b> ,<br>profesor, dipl. inž.<br><b>Mr Slobodan Cvetić</b> ,<br>dipl. inž. | 411 | Optimizacija podzemnih skladišta ubojnih sredstava   |
| <b>Dr Slobodan Bursać</b> ,<br>pukovnik, dipl. inž.   | 422 | Izračunavanje ekvivalentne spektralne radijance letelice                                     |
| <b>Dr Predrag Petrović</b> ,<br>dipl. inž.<br><b>Ljubiša Marković</b> ,<br>dipl. inž.               | 429 | Ispitivanje funkcionalnih karakteristika elektroopremu dizel-motora                          |
| <b>Dr Slobodan Janković</b> ,<br>dipl. inž.   |     |  |
| <b>Dr Đorđe Matić</b> ,<br>pukovnik<br><b>Dr Dragan Acketa</b> ,<br>profesor                        | 437 | Formiranje inicijalnog predloga za raspoređivanje učesnika operativne jedinice u radio-mreže |
| <b>Dr Vladimir Vujičić</b> ,<br>pukovnik, dipl. inž.  | 448 | Atmosferska korozija metala u uslovima aerozagadenja   |
| <b>Mr Dragoljub Cvetković</b> ,<br>dipl. inž.   | 458 | Analiza oštećenja betona pri ispitivanju metodom eksplozivnih punjenja                       |
| <b>Mr Velibor Tomić</b><br><b>Mr Dragan Nikolić</b> ,<br>kapetan I klase                            | 472 | Ispitivanje sorpcionih karakteristika aktivnih ugljeva na pare benzina                       |
| <b>Mr Miroslav Savanović</b> ,<br>potpukovnik, dipl. inž.   | 478 | Komandno-informacioni sistemi protivvazdušne odbrane   |
| <b>Mr Vladan Šljivić</b> ,<br>dipl. inž.  | 488 | Protivelektronska borba kao sadržaj oružane borbe — prikaz knjige —                          |

## PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

- 491 Modifikovana protivoklopna vođena raketa MALJUTKA-2 — M.S.
- 493 Razvoj artiljerijske municije u svetu — P.M.
- 500 Savremeni lovci-bombarderi — nastavak — P.M.
- 507 Podvodne rakete — M.S.
- 508 Samohodni višenamenski uređaj MG-74 za ometanje protivpodmorničkih sonara — P.M.

Dr Jugoslav Kodžopeljić,  
general-major, dipl. inž.  
Tehnička uprava GŠ VJ,  
Beograd

## TEHNOLOŠKI PROCES ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SREDSTAVA U HIJERARHIJ- SKI ORGANIZOVANIM SISTEMIMA

UDC: 62-7.004:658.58

### Rezime:

*U radu su opisane karakteristike proizvodnog i tehnološkog procesa održavanja u hijerarhijskim poslovnim sistemima. Pri tome, opisani su organizacioni oblici i karakteristike tehnoloških procesa preventivnog i korektivnog održavanja u sistemu održavanja sa više nivoa.*

*Ključne reči: održavanje, tehnološki proces održavanja, organizacioni oblici održavanja, algoritam tehnološkog procesa održavanja.*

---

## TECHNOLOGICAL MAINTENANCE PROCESS OF TECHNICAL EQUIPMENTS IN HIERARCHICAL ORGANIZED SYSTEMS

### Summary:

*In this paper, the characteristics of the productive and technological process of maintenance in the hierarchical business systems are described. For that, the organized forms and characteristics of the technological processes of preventive and corrective maintenance in the multi level maintenance system are described.*

*Key words: maintenance, technological maintenance process, organized maintenance forms, characteristics and algorithm of technological maintenance process.*

---

### Uvod

Održavanje tehničkih materijalnih sredstava (TMS) predstavlja jednu od značajnih aktivnosti u životnom veku svakog TMS.

Pošto se pri realizaciji procesa održavanja troše radni i materijalni resursi, može se zaključiti da se radi o procesu koji je adekvatan procesu proizvodnje. Međutim, proces održavanja ima više dopunskih aktivnosti koje proces nove proizvodnje ne sadrži, pa ima razloga da se posebno, sa više aspekata, razmatra. Osnovne razlike između procesa održavanja i procesa proizvodnje sastoje se u predme-

tu i donekle u sadržaju rada. Dok se kod nove proizvodnje radi o tehnološkom procesu u kome se stvara novo tehničko sredstvo, kod održavanja se radi o »popravkama« sredstva kojem se u eksploataciji, zbog raznih razloga, degradiraju tehničko-eksploatacione karakteristike. To zahteva specifičnosti u organizaciji, tehnološkoj dokumentaciji, delovima koji se koriste (rezervni), obučenosti kadra, objektima za realizaciju održavanja, alatima i opremi, kontroli izvršenih radova, itd.

U ovom radu dati su opšti pojmovi o proizvodnom i tehnološkom procesu održavanja, opisani su organizacioni oblici održavanja i karakteristi-

ke i algoritmi tehnološkog procesa održavanja TMS. Pri tome, sva razmatranja su vezana za tzv. grupno ili organizovano održavanje TMS koje se sprovodi u hijerarhijskom sistemu sa četiri nivoa.

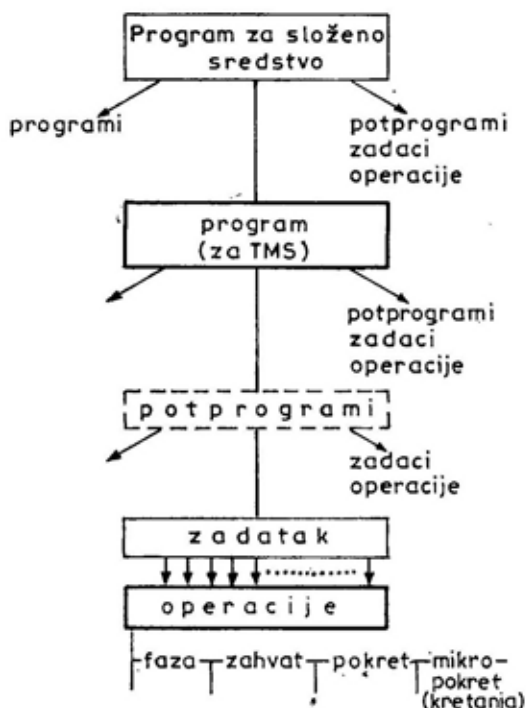
### Proizvodni i tehnološki procesi održavanja (remonta)

Proizvodni proces održavanja razlikuje se od opšteg proizvodnog procesa koji se realizuje pri »novoju« proizvodnji. Pod proizvodnim procesom održavanja (oprawke, odnosno remonta) podrazumeva se celokupnost niza organizaciono-tehničkih mera kojima se kod neispravnih TMS i njihovih sastavnih elemenata uspostavlja radna sposobnost, odnosno obnavljaju tehničke karakteristike, koje su smanjene ili izgubljene posle određenih resursa ili zbog pojave slučajnog otkaza. To znači da se proizvodni proces održavanja sastoji, pored samog tehnološkog procesa održavanja, od više različitih radova vezanih za: razradu tehničke dokumentacije za održavanje, planiranje preventivnog i korektivnog održavanja, izradu delova, normiranje, odlučivanje o potrebi zamene sastavnih delova rezervnim, propisivanje opšteg i specijalnog alata i opreme, propisivanje kontrole kvaliteta radova, i sl.

Pod tehnološkim procesom održavanja podrazumeva se deo proizvodnog procesa održavanja koji je neposredno vezan za uspostavljanje radne sposobnosti TMS i njegovih drugih osobina (spoljni izgled i sl.). Tehnološki proces održavanja deli se na faze, operacije, zahvate, pokrete i mikropokrete, sa istim značenjem kao i kod »nove« proizvodnje, ali sa tom razlikom što se odnose na radove (tehnologiju) održavanja.

Tehnološki procesi sa razrađenim programima, potprogramima, zadacima, fazama, operacijama i zahvatima

unose se u tehnološke karte koje se sastavljaju pri razradi tehničke dokumentacije za održavanje, odnosno tehničke remontne dokumentacije (slika 1). Pokreti i mikropokreti se u te karte često ne unose, budući da ih ostvaruju različiti radnici na različite načine. Radna mesta i faze su prvi elementi proizvodnog procesa održavanja. Zbog toga određivanje njihove specijalizacije, broja, odnosno uspostavljanje njihove optimalne veze usaglašavanjem radova po vremenu i razmeštajem u prostoru, predstavlja veoma značajnu osnovu organizacije rada održavanja.



Sl. 1 — Struktura razrade tehnološkog procesa održavanja

Osnovni principi racionalne organizacije proizvodnog (remontnog) procesa, prema kojoj treba da bude usmerena optimizacija svakog remontnog organa, jesu: paralelnost, neprekidnost, proporcionalnost, princip najkraćeg puta, automatizacija i ritmičnost. Ti osnovni principi organizaci-

je tehnološkog procesa održavanja, ta-kođe, imaju isti značaj kao i prilikom proizvodnje novih tehničkih sredstava, ali sa tom razlikom što se odnose na radove održavanja (remonta).

Paralelnost je karakterisana istovremenim izvođenjem faza i operacija tehnološkog procesa na više radnih mesta. Istovremenim izvođenjem radova skraćuje se vreme remonta tehničkih sredstava.

Neprekidnost se sastoji u tome što se svaka naredna operacija procesa održavanja nastavlja odmah nakon završetka prethodne, bez bilo kakvih prekida. Neprekidnost znatno skraćuje fizičko vreme održavanja (na radnom mestu nema čekanja TMS) i obezbeđuje neprekidno korišćenje radnog mesta i opreme.

Proporcionalnost karakteriše izlazak zadanog broja sredstava sa održavanja iz svih faza proizvodnog (remontnog) procesa. Ona pokazuje da su potrebe u radu pojedinih faza procesa proporcionalne broju radnih mesta namenjenih za izvršavanje procesa održavanja (remonta).

Princip najkraćeg puta određuje pravolinijski i najkraći put kretanja TMS za održavanje po radnim mestima, odeljenjima i pogonima u procesu remonta. Zadovoljenje toga principa obezbeđuje se uzajamnim položajem pogona, odeljenja i radnih mesta, u skladu sa redosledom izvršenja operacija, odnosno u skladu s tokom proizvodnog procesa održavanja.

Automatizaciju karakteriše stepen mehanizovanosti i automatizovanosti tehnološkog procesa održavanja TMS, a ritmičnost znači da se sve operacije i tehnološki proces u celini, mogu ponoviti kroz određeni period vremena. Stepenn savršenosti proizvodnog procesa održavanja zavisi od toga, koliko su, pri uspostavljanju proizvodnog procesa, sagledani navedeni principi.

Pri organizaciji proizvodnog procesa održavanja u svim jedinicama — ustanovama za održavanje i remont, poseban značaj pridaje se vremenu.

Zbog toga je osnovni zadatak da se izabere takva varijanta organizacije proizvodnog procesa koja omogućava najkraće trajanje održavanja. Za svaki tip sredstva određuje se vreme trajanja i obim održavanja, što se, najčešće, izražava u časovima. Pri organizaciji proizvodnog procesa održavanja u jedinicama — ustanovama, za svaku vrstu TMS, po pravilu, razrađuje se tehnološki proces koji obuhvata:

— sastavljanje opšte šeme tehnološkog procesa održavanja sa razdvajanjem na njegove sastavne elemente (faze, operacije, zahvate);

— određivanje neophodnih instrumenata i opreme;

— utvrđivanje kvalifikacione strukture radnika (za svaku operaciju);

— određivanje vremenske norme za svaku fazu, operaciju i zahvat;

— utvrđivanje redosleda kontrole kvaliteta radova;

— razradu mrežnog dijagrama održavanja.

Pri razradi tehnološkog procesa održavanja neophodno je odrediti potrebnu kvalifikacionu strukturu radnika koji izvršavaju pojedine operacije. Ne bi trebalo dozvoliti da visokokvalifikovani radnik izvršava jednostavne radove. U jedinicama i ustanovama za održavanje i remont treba da bude uspostavljena odgovarajuća korelacija između kvalifikacije radnika i stepena složenosti poslova koje izvršavaju. Međutim, u trupnim radionicama, s obzirom na mali broj radnika po VES-ovima, ovaj zahtev nije moguće uvek ispuniti, pa jedan te isti radnik često izvršava najjednostavnije poslove (čisti delove od prljavštine, nosi delove i sklopove i sl.) i najsloženije (podešavanje, sklapanje, regulisanje i sl.).

Za izvršavanje svake faze, operacije i zahvata utvrđuje se tehnološka norma, tj. vreme neophodno radniku odgovarajuće kvalifikacije za obavljanje određenog rada u konkretnim uslovima, uz korišćenje odgovarajuće opreme i instrumenata. Tehnološka norma za različite radove može se odredi-

ti računski ili merenjem. U sektoru tehnološke pripreme u TRZ rad normiraju normirani proizvodnih pogona, odnosno evidentičari radova u jedinicama za tehničko održavanje i srednji remont. Kvalitet izvršenih radova u stacionarnim ustanovama proverava kontrolor a u ostalim jedinicama — ustanovama za održavanje (gde nema formacijskog kontrolora) kvalitet radova kontrolišu načelnici pogona i odeljenja.

Tehnološki proces održavanja treba organizovati tako da se pri racionalnom korišćenju svih proizvodnih mogućnosti remontnih jedinica — ustanova brzo uspostavi visokokvalitetna radna sposobnost i ispravnost sredstava. Tehnološki proces održavanja TMS mora se razraditi u dokumentaciji za održavanje, odnosno remontnoj dokumentaciji pre održavanja i treba ga se strogo pridržavati. Narušavanje utvrđene tehnologije, po pravilu, dovodi do povećanja škartu, odnosno do neadekvatnog utroška rada i materijala. Razrada tehnološke dokumentacije zavisice od metoda kojima se realizuje održavanje i namene remontne jedinice — ustanove za koju se izrađuje. Potpuna i detaljna tehnološka dokumentacija razrađuje se za serijski remont u stacionarnim ustanovama. U trupnim jedinicama za održavanje (stacionarnim i pokretnim) remontna tehnološka dokumentacija ne razrađuje se detaljno zbog velikog broja raznovrsnih tehničkih sredstava koja u malim serijama dolaze na održavanje s velikim razlikama u obimu remonta svakog sredstva, zbog malog broja kvalifikovanih radnika i zbog česte promene mesta razvoja jedinice za održavanje.

### **Organizacioni oblici održavanja (remonta)**

Oblik organizacije održavanja sredstava zavisi od stepena raščlanjenosti radova i specijalizacije radnih mesta. Na osnovu toga razlikuju se sledeći oblici održavanja (opravke-remonta): pojedinačni, agregatni, sklopni i

serijski. Izbor organizacionog oblika zavisi od broja jednakih objekata za održavanje, vremena njihovog pristizanja u jedinicu — ustanovu za održavanje i remont, proizvodnih mogućnosti remontne jedinice — pogona, broja različitih vrsta objekata remonta i od vidova remonta.

Karakteristika pojedinačnog remonta jeste da se remontni radovi ne raščlanjuju, nego ih izvodi jedan radnik ili jedna grupa od početka do kraja. Radna mesta najčešće nisu specijalizovana i obično su snabdevena univerzalnom opremom, priborom i instrumentima. Pri pojedinačnom remontu na istom radnom mestu obavlja se rasklapanje, čišćenje, defektacija, popravka, sklapanje, regulisanje, bojenje i konzervacija.

Neki remontni radovi koji zahtevaju primenu specijalne opreme mogu se izdvojiti i izvršiti na odvojenim radnim mestima, kao, na primer: zavarački radovi, nanošenje hemijskih i galvanskih prevlaka, konzervacija i slično. Pri sklapanju TMS neispravni delovi zamenjuju se rezervnim, a ako ih nema izrađuju se u drugom pogonu ili na drugom radnom mestu. Bravarski radovi, kojima se prilagođava za ugradnju remontovani ili izrađeni deo po remontnim merama, izvršavaju se u istoj grupi gde se obavlja remont tehničkog sredstva. Pri pojedinačnom remontu delovi i sastavni elementi obično se ne zamenjuju delovima drugog TMS. Njegova prednost je u relativnoj jednostavnosti organizacije radova. Budući da je tačno planiranje praktično nemoguće, zadaci za remont postavljaju se uopšteno. Individualni (pojedinačni) remont obavljaju visokokvalifikovani radnici, jer on zahteva niz složenih remontnih operacija (defektacija, sklapanje, regulisanje, prilagođavanje delova i slično). Naime, radnici moraju poznavati specifičnosti konstrukcije i remonta svih sastavnih delova TMS koji su obuhvaćeni remontom.

Pojedinačni remont dugo traje, uglavnom zbog: znatnog obima manu-elnog rada, naizmeničnog, a ne paralelnog izvođenja remontnih operacija pri rasklapanju, sklapanju i drugim fazama tehnološkog procesa. Pored toga, potrebno je mnogo vremena za transport delova i sastavnih elemenata, i za njihovo premeštanje do stacionarnih univerzalnih uređaja i specijalne tehnološke opreme.

Specifične norme, proizvodne površine i norme vremenskog zadržavanja sredstava u pogonu najveće su pri pojedinačnom remontu. Tačno planiranje remontnih i kontrolnih radova i kontrola kvaliteta remonta takođe su otežani, pa je pojedinačni remont manje savršeni oblik organizacije. Međutim, u nizu slučajeva koje situacija nameće pribegava se pojedinačnom remontu, kao, na primer: kada je veliki asortiman sredstava dopremljenih za remont, a mali je broj jednakih objekata remonta i kada nema mogućnosti za uzajamnu zamenljivost ili kada su ograničene proizvodne mogućnosti remontne jedinice — ustanove. Primena pojedinačnog remonta karakteristična je za trupne radionice (jedinice za tehničko održavanje).

Pri remontu agregata TMS se ravnja na agregate, koji se upućuju na specijalizovana radna mesta (odeljenja) osposobljena za remont odgovarajućih sastavnih elemenata. Tu se izvršava strogo određen, ranije planirani obim radova koji predstavlja deo tehnološkog procesa remonta.

Delovi na kojima je potrebno obaviti remont predaju se grupno u mehaničarski pogon ili u odgovarajuće odeljenje, u skladu s specijalizacijom radnih mesta (odeljenja). Remont agregata je savršeniji oblik organizacije čija je primena veoma rasprostranjena. Preimущество tog remonta jeste u tome da se, blagodareći raščlanjivanju radova i specijalizaciji radnih mesta — širi polje radova, skraćuje vreme, snižavaju zahtevi za kvalifikacionom strukturom radnika i obezbeđuje visok

kvalitet. Remontom agregata racionalnije se koriste proizvodne površine i oprema, podiže produktivnost i stvaraju veće mogućnosti za mehanizaciju remontnih radova.

Remont sklopova (posebna podvrsta remonta agregata) podrazumeva skidanje neispravnog sklopa sa sredstva i zamenu ispravnim. Očigledno je da je za takvu primenu neophodna mogućnost uzajamne zamenljivosti sastavnih elemenata i postojanje obrtnog (rezervnog) fonda sklopova (remontna rezerva sklopova), koji se popunjava, obično, putem opravki neispravnih sklopova na specijalizovanim radnim mestima. Ukoliko nema obrtnog fonda sastavnih sklopova, remont sklopova je otežan. Međutim, u ratnim uslovima obrtni fond se popunjava i skidanjem ispravnih sklopova sa TMS koja po svom tehničkom stanju ne podležu remontu. U više slučajeva, posle zamene sklopa neophodno je provesti regulisanje ili podešavanje parametara sklopa sa sredstvom.

Neispravni sklopovi obično se opravljaju na specijalnim radnim mestima namenjenim za isti ili viši nivo održavanja, gde se primenjuje dobro razrađena tehnologija, specijalna oprema i uređaji, što omogućava kvalitetno izvršavanje remonta sklopova, uz uštedu vremena i materijalnih sredstava. Na taj način brže se uspostavlja radna sposobnost, jer se ne gubi vreme za rasklapanje, opravke i sklapanje sklopa. Zbog toga je remont zamenom sklopova pogodniji za trupne tehničke jedinice u miru i u ratnim uslovima.

Serijski remont podrazumeva raspravljavanje sredstva na sastavne elemente, kako bi se izvršio remont elementa na specijalizovanim radnim mestima, raspoređenim u racionalnom tehnološkom lancu kojim su obuhvaćeni svi remontni radovi. Svako sredstvo se rasklapa na sastavne delove, zatim se delovi peru, čiste i defektiraju, razdvajajući, pri tom, ispravne (koji ne zahtevaju remont) od neispravnih (koji se odbacuju) i delova za opravku (regene-



raciju). Neki neispravni delovi čija je opravka u seriji nesvršishodna, upućuju se u specijalizovana odeljenja koja ih, nakon izvršenog remonta, šalju u skladište. Delovi koji nedostaju za radna mesta u seriji dobijaju se iz skladišta.

Pri serijskom remontu sve operacije tehnološkog procesa su po svojoj dužini jednake ili kraće od određenog vremena (takta). Zahvaljujući tome, obezbeđuje se neprekidnost procesa sklapanja TMS. Sastavni delovi TMS za serijski remont obično su međusobno zamenljivi, sem pojedinih, kao što su, na primer, delovi vozila koji su međusobno prilagođeni (puž i pužno kolo, klizni ležajevi i sl.). Prenos (transport) delova u procesu remonta obično je mehanizovan, uz primenu različitih vrsta pokretnih traka.

Prednosti serijskog remonta su:

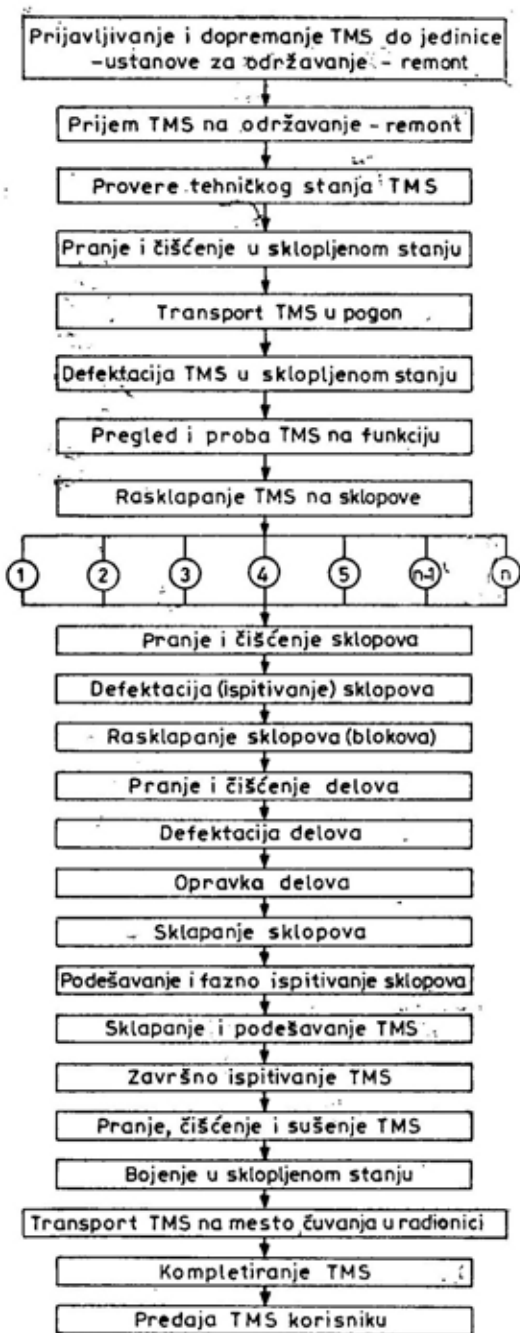
- skraćuje se dužina trajanja remonta;
- podiže se produktivnost i snižava cena remonta;
- snižava se kvalifikaciona struktura potrebnih radnika;
- najracionalnije se koriste radne površine;
- široka primena specijalne tehnološke opreme znatno snižava obim operacija u svim etapama tehnološkog procesa remonta sredstava;
- povećava se koeficijent iskorišćenja proizvodne opreme;
- pomoćni pogoni i odeljenja rade produktivno, obezbeđujući popunu skladišta potrebnim sklopovima.

Međutim, serijski remont iziskuje znatne troškove u fazi projektovanja i izrade specijalne tehnološke opreme, a složenije je planiranje i obezbeđenje neprekidnosti remonta. Bez obzira na to, serijski remont je najviši oblik organizacije remonta.

### Karakteristike i algoritam tehnološkog procesa održavanja (remonta)

Tehnološki proces održavanja (remonta) svakog sredstva sastoji se od

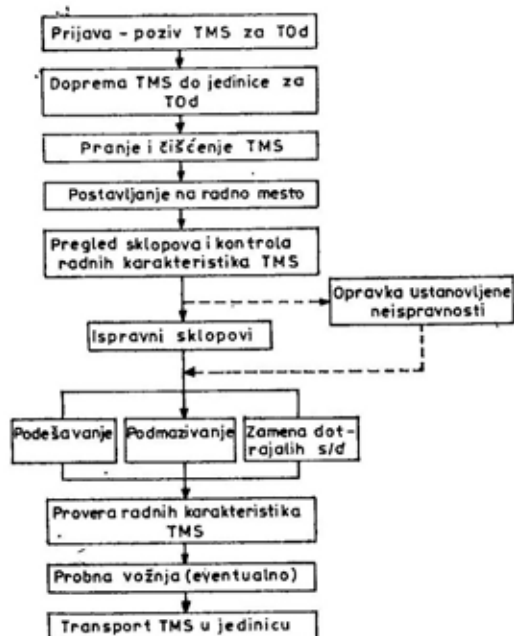
faza i operacija koje zavise od vida remonta. Na slici 2 prikazan je algoritam



Sl. 2 — Opšti izgled algoritma tehnološkog procesa održavanja-remonta složenog TMS



opšteg tehnološkog procesa održavanja — remonta složenog TMS. Međutim, svaki od nivoa održavanja u VJ sa hijerarhijski organizovanim tehnološkim procesom održavanja ima svoje posebne karakteristike. Naime, poznato je da se na svim nivoima održavanja sredstava u VJ (vidovima održavanja), obavljaju radovi preventivnog i korektivnog održavanja. Tako se na nivou tehničkog održavanja obavljaju radovi tehničkih pregleda (kao radovi preventivnog karaktera) i radovi lakog remonta (kao radovi korektivnog održavanja). Tehnološki proces radova preventivnog održavanja (slika 3) razlikuje se od tehnološkog procesa radova korektivnog održavanja (slika 4).

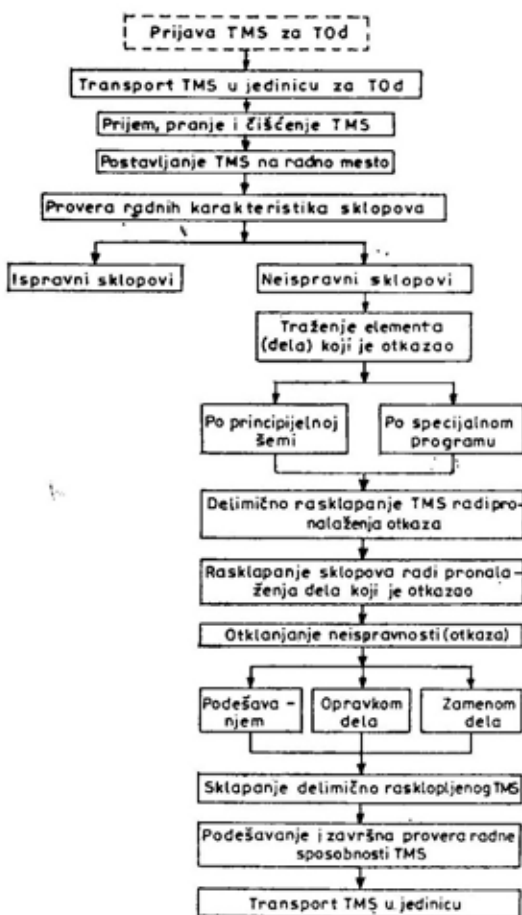


Sl. 3 — Algoritam tehnološkog procesa preventivnog održavanja na nivou tehničkog održavanja

Kod korektivnog održavanja tehnološki proces nije postojan, jer zavisi od karaktera otkaza i specifičnosti konstrukcije TMS. Preventivno održavanje na ovom nivou, ali i na nivou srednjeg i generalnog remonta, obavlja se po propisanoj tehnologiji. Složene (uk-

rupnjene) faze opravke (korektivno održavanje) su:

- provera radne sposobnosti TMS i određivanje sklopa koji je otkazao;
- iznalaženje elementa (dela) u sklopu koji je otkazao;



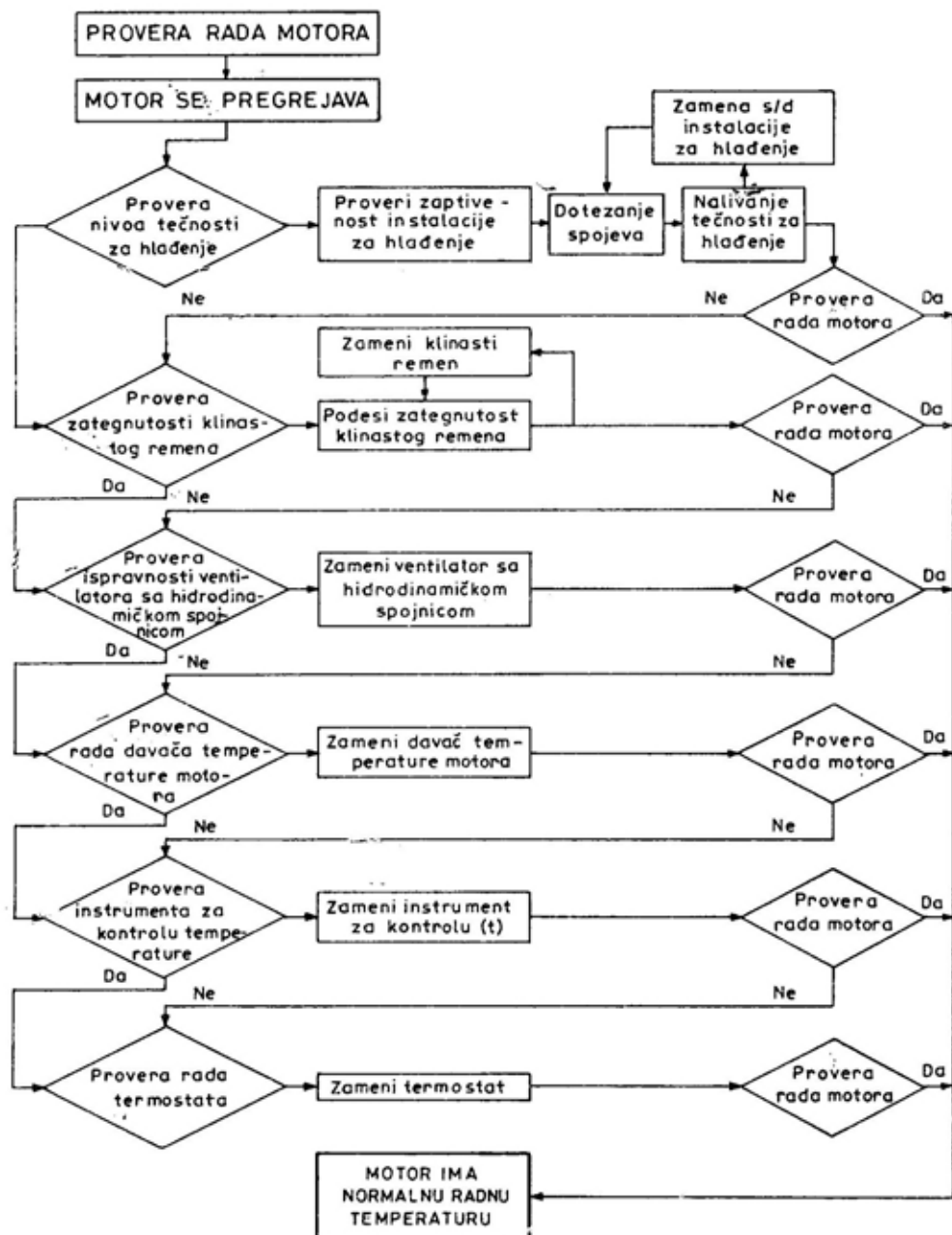
Sl. 4 — Tehnološki proces korektivnog održavanja u jedinicama za tehničko održavanje

- otklanjanje neispravnosti;
- regulisanje i provera radne sposobnosti TMS.

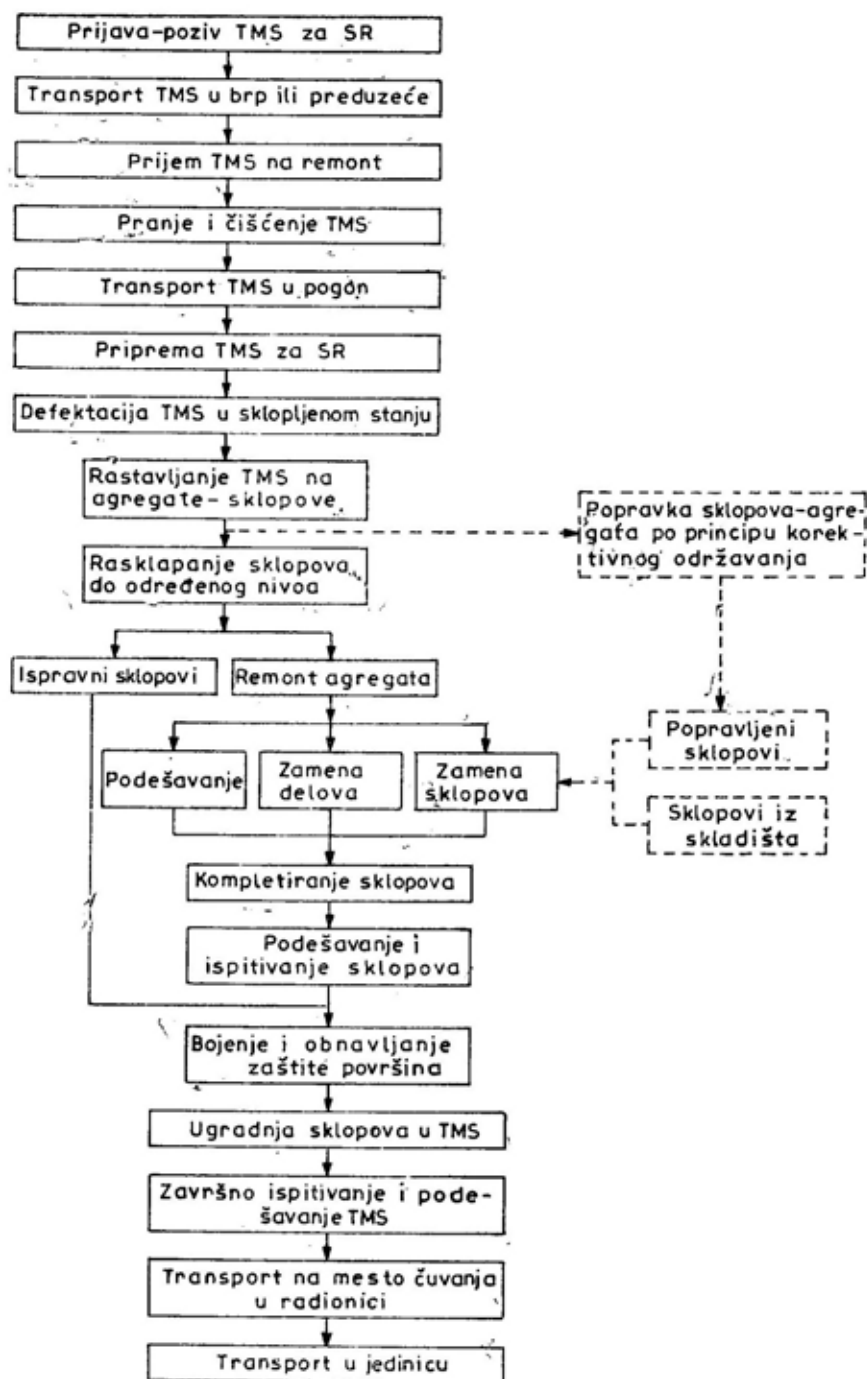
Trajanje ovih operacija zavisi od vrste otkaza i konstrukcionih specifičnosti TMS. Praksa pokazuje, imajući u vidu svu različitost sredstava, da se proces traženja neispravnosti (defekcija) javlja kao vrlo složen problem.

Za skraćenje procesa nalaženja neispravnog elementa u tim slučajevima, svrsishodno je razraditi optimalan program traženja neispravnosti i, na toj osnovi, pregled specijalnih instrukcija

za traženje elemenata koji su otkazali. Primena specijalnih instrukcija, pri traženju iznenadnih otkaza, pretvara slučajne etape traženja u unapred sastavljeni (planirani red) program. Kao



Sl. 5 — Program za postupak otklanjanja neispravnosti kada se motor pregreva



Sl. 6 — Algoritam tehnološkog procesa sistematskog srednjeg remonta i revizije

primer može poslužiti program za postupak otklanjanja neispravnosti motornih vozila koji se odnosi na pregrevanje motora (slika 5).

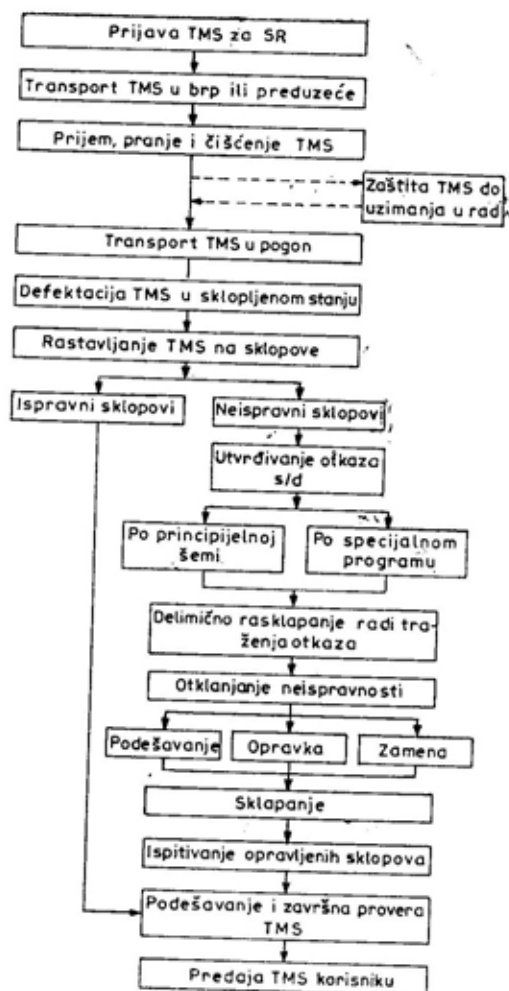
Najbolji efekat za skraćivanje vremena traženja neispravnosti daje specijalna oprema (uređaji), koja se ugrađuje u sredstvo pri njegovom projektovanju, kao i oprema i uređaji za dijagnostiku. Za lakše pronalaženje neispravnih elemenata u sredstvu obično se određuju kontrolne tačke (izvodi, merni pribori i sl.) ili specijalni pulтови za traženje neispravnosti. Kod većine mehaničkih sredstava (vozila, oruđa, streljačko oružje i dr.) proces traženja neispravnosti predstavlja manju teškoću, ali se ponekad javlja problem prilaza elementu koji je otkazao i uspostavljanje njegove radne sposobnosti, što posebno dolazi do izražaja pri remontu u poljskim i ratnim uslovima. Skraćivanje procesa za uspostavljanje radne sposobnosti na takvim sredstvima može se obezbediti u procesu projektovanja, ako se pri tome uvažavaju zahtevi pogodnosti sredstva za održavanje.

Na nivou srednjeg remonta takođe se izvršavaju aktivnosti preventivnog održavanja — sistematski srednji remont ili revizija (slika 6) i korektivnog održavanja — opravke (remont) iz nadležnosti nivoa jedinice za srednji remont (bataljon remontne podrške) — (slika 7).

Napomene koje su se odnosile na tehnološki proces korektivnog održavanja važe i za ovaj nivo (vid) održavanja, dok se za sistematski srednji remont, odnosno reviziju, izrađuje posebna tehnološka dokumentacija.

Opšta šema tehnološkog procesa generalnog remonta tehničkih sredstava prikazana je na slici 8.

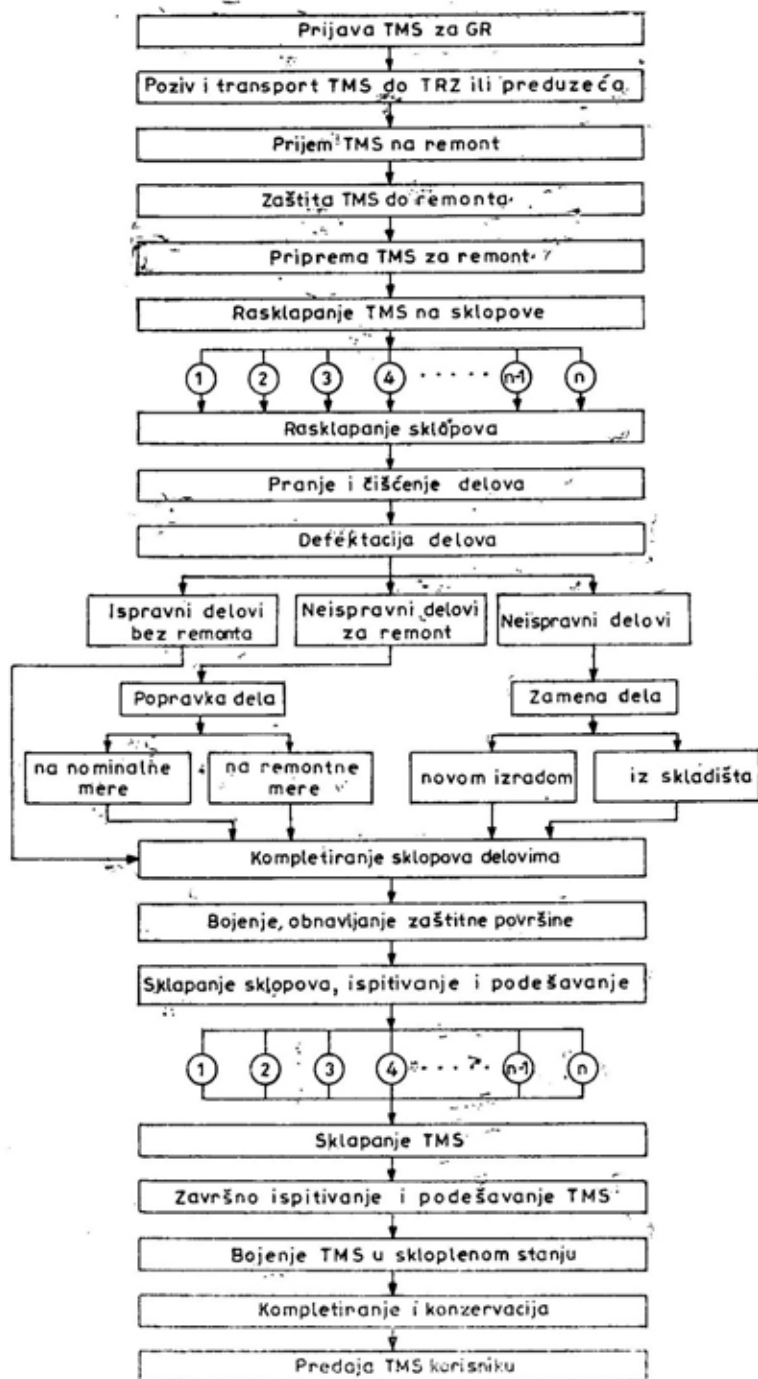
Specifičnosti ovog vida remonta jesu da je tehnološki proces planski i stacionaran. Zavisno od tehničkog stanja sredstva, generalni remont se sprovodi: »skraćenim postupkom«, kada korisnik, odnosno predstavnik TRZ, na



Sl. 7 — Algoritam tehnološkog procesa korektivnog srednjeg remonta

osnovu tehničkog stanja sredstva, definiše obim radova (po posebnoj TRD) i prema resursu, odnosno prema propisanoj tehničkoj remontnoj dokumentaciji.

Prema tome, trajanje generalnog remonta ili revizije po resursu praktično ne zavisi od tehničkog stanja sredstva. Traženje neispravnosti na sredstvu pri generalnom remontu nema praktično značenje kao pri tehničkom održavanju ili srednjem remontu. Za generalni remont se razrađuje remont-



Sl. 8 — Algoritam tehnološkog procesa generalnog remonta i revizije

na dokumentacija u kojoj se predviđa redosled i metode prijema, defektacije, rasklapanja, opravke (regeneracije), sklapanja i ispitivanja TMS. Pronalaženje neispravnosti značajno je u završnoj etapi tehnološkog procesa remonta, tj. pri proveru radne sposobnosti sredstva nakon sklapanja.

Generalni remont se može skratiti ako se pri projektovanju sredstva ispunе sledeći zahtevi:

- pogodnost i brzina sklapanja i rasklapanja sredstva na njegove sastavne delove,

- stepen uzajamne zamenljivosti sklopova i delova,

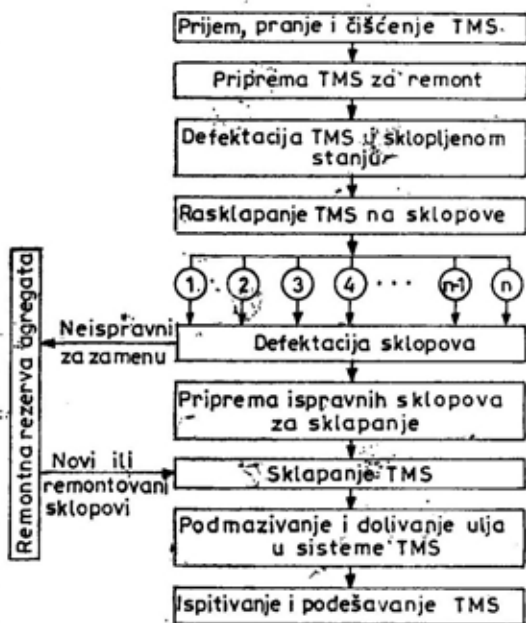
- jednostavnost i pogodnost uspostavljanja radne sposobnosti delova, sklopova (blokova) i sredstva u celini,

- potpunost i savršenost eksploatacione i remontne dokumentacije.

Na trajanje generalnog remonta TMS utiču, takođe, organizacione forme i sledeće organizaciono-tehničke mere: primena serijskog remonta, pogodnost tehnološke opreme za remont određenog tipa sredstva i njegovih sastavnih delova, visokokvalitetna i kompleksna priprema remonta, automatizacija i mehanizacija teških procesa i radova u remontu sredstva, uvođenje savremenih principa organizacije rada na radnim mestima, u odeljenjima i pogonima i slično.

Najveći efekat za skraćivanje trajanja generalnog remonta daje agregatni princip remonta (slika 9). Pri tome, iz tehnološkog procesa remonta izostaju najteže operacije, kao što su re-

mont sklopova, rasklapanje sklopova, priprema delova za defektaciju, defektacija delova, opravka (remont) delova, sklapanje, regulisanje i ispitivanje sklopova. Zbog toga isključivanje radova vezanih za opravku sklopova vo-



Sl. 9 Algoritam tehnološkog procesa generalnog (srednjeg) remonta na agregatnom principu

zila iz tehnološkog procesa generalnog remonta skraćuje trajanje remonta i nekoliko puta. Pored toga, primena metode remonta agregata, na novim ili remontovanim agregatima, uprošćava tehnologiju remonta TMS. Pri postojanju gotovih agregata iz remontne rezerve, generalni remont može se provoditi i na nižim nivoima održavanja, što doprinosi poboljšanju operative raspoloživosti TMS.

## Zaključak

Održavanje (remont) značajna je faza životnog veka svakog TMS. Pri realizaciji tog procesa troše se radni i materijalni resursi, a zadržavanje TMS na održavanju znatno utiče na operativnu raspoloživost jedinica i ustanova VJ. Proces održavanja sličan je procesu proizvodnje novih TMS, ali uz mnogo specifičnosti. Sistem održavanja treba da prihvati sve savremene

principe proizvodnje tehničkih sredstava i da ih racionalno, uz primenu svih specifičnosti, ugradi u tehnološki i proizvodni proces održavanja (remonta).

Hijerarhijski sistem održavanja koji ima svaka vojska, pa i VJ, traži dalji razvoj i usavršavanje organizacionih oblika, strukture i sadržaja tehnoloških i proizvodnih procesa održavanja.

### Literatura:

[1] Turk, V.: Tehnologija održavanja naoružanja, CVTŠ-VVTŠ, Zagreb, 1989.

[2] TU SSNO: Projekat USOd.

**Dr Svetomir Minić,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Odeljenje za naučno-  
istraživačku delatnost  
GS VJ, Beograd

## MODEL OPTIMALNOG GRUPISANJA PERIODIČNOSTI PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 658.58.001.575

### Rezime:

*U radu je definisana metodologija za primenu modela optimalnog grupisanja periodičnosti preventivnog održavanja elemenata tehničkih sistema. Simulacijom modela dobijen je optimalni interval preventivnog održavanja za grupu elemenata motornog vozila.*

*Ključne reči: model održavanja, grupa elemenata, optimalni interval, simulacija.*

## THE TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE OPTIMAL GROUP INTERVAL MODEL

### Summary:

*In this paper, the implementation methodology of the technical systems elements preventive maintenance optimal group interval model has been defined. The preventive maintenance optimal interval of motor vehicle elements group was obtained by model simulation.*

*Key words: maintenance model, elements group, optimal interval, simulation.*

### Uvod

Za izbor optimalnih varijanti koncepcije sistema održavanja, tj. za određivanje periodičnosti, odnosno vremenskih intervala u kojima su postupci preventivnog održavanja najpovoljniji (optimalni), sa stanovišta kriterijuma minimalnih troškova ili maksimalne gotovosti tehničkog sistema, koriste se razni oblici i vrste modela održavanja [1].

Matematički modeli održavanja predstavljaju pojednostavljene prikaze procesa promene stanja i održavanja u obliku matematički izraženog odnosa određenih parametara tih procesa ili pokazatelja — kriterijuma sa aspekta troškova ili gotovosti. Pomoću mo-

dela održavanja tehničkog sistema određuje se nepoznati parametar odabrane koncepcije održavanja — na primer, periodičnost zamene elementa ako je u pitanju preventivno održavanje zamenom ili vremenski period (interval) nakon kojeg je potrebno izvršiti pregled, odnosno »proveru stanja« radi utvrđivanja stanja, ako je odabrana koncepcija POPS (preventivno održavanje prema stanju).

I pored velikih međusobnih razlika, modeli preventivnog održavanja tehničkih sistema imaju izvesna zajednička obeležja [1, 4]:

— počivaju na pokazateljima pouzdanosti, što znači da je za optimiza-



ciju procesa održavanja bitan preduslov poznavanje zakona pouzdanosti i matematičkih zakonitosti promene parametara stanja elemenata tehničkog sistema;

— prvenstveno obuhvataju konceptijska obeležja sistema održavanja, odnosno efekte primenjene koncepcije preventivnog održavanja. Retko se modelima obuhvataju i osobine sistema održavanja sa stanovišta organizacije i tehnologije održavanja, što umanjuje stvarne mogućnosti optimizacije;

— razvijeni su za »pojedine elemente«, tj. tehnički sistem se održava na nivou sastavnog elementa. Postavlja se problemsko pitanje: kako organizovati optimalni proces preventivnog održavanja za složeni tehnički sistem? Na primer, neborbeno terensko vozilo sastoji se od  $(15 - 18) \cdot 1000$  sastavnih elemenata, od kojih  $(7 - 9) \cdot 1000$  tokom korišćenja gubi početna svojstva, pri čemu  $(3 - 4) \cdot 1000$  elemenata ima kraći vek upotrebe od vozila kao celine, i od čega je 200 — 400 elemenata kritično u pogledu pouzdanosti, tj. češće od ostalih elemenata zahteva postupke preventivnog održavanja, izazivajući troškove radne snage i materijala.

Rešenje problema mora se tražiti u izboru i kombinovanoj primeni najpovoljnijih matematičkih modela održavanja na nivou sastavnih elemenata tehničkog sistema, [4], a zatim se pristupa postupku optimalnog grupisanja sastavnih elemenata prema periodičnostima preventivnog održavanja, tj. primenjuje se model optimalnog grupisanja periodičnosti preventivnog održavanja (MODOGRUP).

Čak i kada bi se zanemarila stohastička zavisnost sastavnih elemenata sistema, ne može se prenebregnuti ekonomska zavisnost, izražena činje-

nicom da kombinovanje postupaka »pregleda stanja« za različite sastavne elemente sistema rezultira sniženjem troškova održavanja u poređenju sa izvođenjem istih pregleda stanja posebno za svaki element [2].

### **Kriterijumi grupisanja periodičnosti preventivnog održavanja**

Grupisanjem periodičnosti postupaka preventivnog održavanja elemenata sistema remete se »lokalni« optimalni intervali, ali se smanjuju ukupni troškovi održavanja tehničkog sistema. Važno je istaći da se prilikom grupisanja elemenata ne smeju bitno narušiti »lokalne« optimalne periodičnosti održavanja elemenata.

Optimizacija grupisanja može se izvršiti na osnovu [6]:

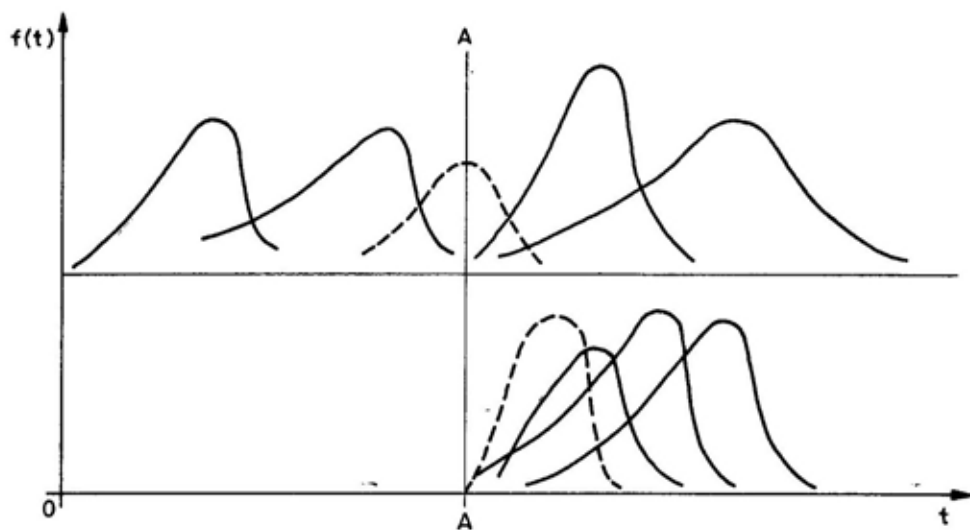
— tehničko-ekonomskog kriterijuma, koji polazi od toga da su ukupni troškovi održavanja grupe elemenata bitno manji od ukupnih troškova održavanja pri izdvojenim postupcima održavanja individualnih elemenata;

— kriterijuma grupisanja prema »centralnoj operaciji« ili grupi operacija postupaka održavanja;

— kriterijuma »prirodnog« grupisanja.

U praksi često postoje ograničenja, kao što je, na primer, zahtevani nivo pouzdanosti elemenata sistema, bezbednost rada ili neki drugi tehnički kriterijum, pa se u tim situacijama grupisanje periodičnosti održavanja može primeniti samo ako su zadovoljena data ograničenja.

Osnovni kriterijum jeste da se grupisanje periodičnosti postupaka preventivnog održavanja sistema izvodi za one elemente koji imaju bliske vrednosti periodičnosti. Bliskost ovih intervala uglavnom zavisi od mogućnosti i nastojanja konstruktora i proizvođača da za određene grupe elemenata otkloni velike razlike između srednjih vremena pojave stanja »u otkazu« (slika 1) [6].



Sl. 1 — Raspodela resursa grupe sastavnih elemenata sistema

### Pravovremeni model

Najčešće proučavani model preventivnog održavanja je periodični (sekvencijalni) model koji tretira preventivno održavanje svakog pojedinačnog elementa ili grupe istotipskih sastavnih elemenata sistema [5]. Međutim, potrebno je organizovati optimalni proces održavanja za složeni tehnički sistem koji se sastoji od više hiljada sastavnih elemenata.

Činjenica je da se kombinacijom postupaka preventivnog održavanja za grupu sastavnih elemenata mogu postići niži troškovi nego pri njihovom izvršenju pojedinačno i nezavisno za svaki element. Zbog toga se teži da se model periodičnog preventivnog održavanja proširi na više sastavnih elemenata »stohastički i ekonomski zavisnih«. Odmah se može zaključiti da je periodični model održavanja optimalan za primenu na složenim sistemima samo ako se svi elementi posmatraju kao stohastički i ekonomski zavisni, a intenzitet pojave otkaza sastavnih elemenata je rastućeg karaktera.

Radi izvođenja opštih zaključaka, potrebnih za određivanje izlaznih ka-

rakteristika periodičnog modela koncepcije preventivnog održavanja, biće razmotren samo slučaj kada su ta dva elementa sistema ekonomski zavisna i jedan ima konstantnu, a drugi rastuću brzinu pojave neispravnosti [5]. Označimo te elemente sa »0« i »1«. Pretpostavlja se da element »0« ima rastuću brzinu pojave neispravnosti, a element »1« konstantnu. Neka su, pored toga, troškovi zamene elementa »0« pre pojave neispravnosti (znači preventivno) manji ( $C^0_0$ ) nego troškovi zamene posle pojave neispravnosti ( $C^0_{00}$ ); slično, vreme potrebno za zamenu elementa »0« pre pojave neispravnosti ( $T^0_0$ ) manje je od vremena potrebnog za zamenu posle neispravnosti ( $T^0_{00}$ ).

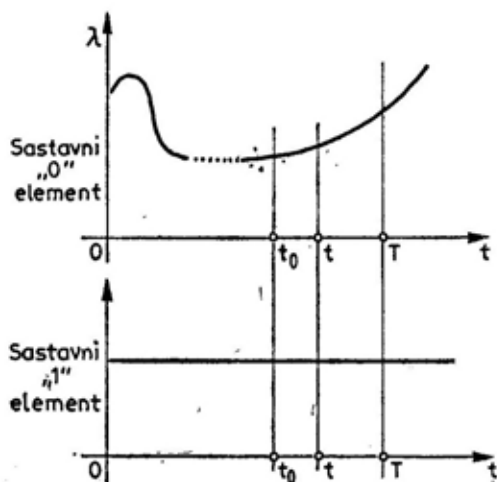
Obeležavanjem troškova zamene elementa »1« pojedinačno (po pojavi neispravnosti) i zamenu oba elementa zajedno (preventivno za element »0« ili po pojavi neispravnosti za oba elementa) sa  $C^1_1$  i  $C_{01}$ , a sa  $T^1_1$  i  $T_{01}$  odgovarajuća vremena potrebna za zamenu, mogu se dati kriterijumi izraženi nejednačinama:

$$C_{01} < C^0_0 + C^1_1 \quad (1)$$

$$T_{01} < T^0_0 + T^1_1 \quad (2)$$

koje daju mogućnosti uštede u radu i materijalu pri preduzimanju postupaka održavanja. U stvari, ovim nejednakačinama se omogućava nalaženje najpovoljnijeg rešenja u slučaju ako se pojavi slučajna neispravnost elementa »1«, a element »0« nije postigao svoj vek trajanja, tj. može se naći odgovor da li u tom slučaju treba promeniti i element »0« bez obzira na to što nije izdržao određeni vek trajanja, kao i druge moguće situacije. U stvari, omogućava se optimizacija procesa obnavljanja takvog sistema po jednom od usvojenih kriterijuma.

Optimalni model održavanja ovakva dva elementa sistema (slika 2) može biti karakterisan sa dva parametra,



Sl. 2 — Zavisnost intenziteta otkaza  $\lambda$  ( $t$ ) dva elementa tehničkog sistema

recimo » $t_0$ « i » $T$ «, odnosno sa » $t$ « kao promenljivim intervalom zamene elementa »0«, koji ispunjavaju sledeće uslove:

— kada je  $t < t_0$  treba zameniti element »0« samo ako je došlo do njegove neispravnosti,

— kad je  $t_0 \leq t \leq T$ , treba zameniti i element »0« ako kod elementa »1« dođe do neispravnosti u tim uslovima,

— kad je  $t = T$ , zameniti element »0« bez obzira na to da li je ili nije neispravan.

Element »1« zamenjuje se u bilo kom od navedenih slučajeva odmah pošto kod njega dođe do stanja »u otkazu«.

Optimalne vrednosti  $t_0$  i  $T$  mogu se odrediti za konkretan slučaj u zavisnosti od kriterijumske funkcije, koja se traži i definiše, za uslove u kojima treba odrediti optimalan model preventivnog održavanja.

Ako se uzmu kao kriterijum — troškovi po jedinici vremena ispravnog rada sistema kao funkcija ovih dvaju parametara, onda se minimiziranjem troškova određuju optimalne vrednosti ovih parametara.

Za navedenu strukturu (opis ili sastav) modela održavanja ( $t_0$ ,  $T$ ) troškovi po jedinici vremena za više intervala preventivnog održavanja mogu se izračunati kao zbir:

a) — amortizacionih troškova koji nastaju kao posledica da sistem ne radi zbog potrebe preventivnog održavanja na predmetnom podsklopu,

b) — troškova koji nastaju kao posledica zamene samo elementa »1« zbog očekivanog broja neispravnosti ako je  $0 \leq t \leq t_0$ ,

c) — troškova zamene elementa »0« i »1« zbog verovatnoće pojave neispravnosti elementa »1« u intervalu  $t_0 \leq t < T$ ,

d) — troškova zamene samo elementa »0« zbog verovatnoće pojave neispravnosti elementa »0« u intervalu  $0 \leq t < T$ ,

e) — troškova nepotrebne zamene samo elementa »0« zbog verovatnoće da element »0« neće biti neispravan u intervalu  $0 \leq t < T$ , a deo »1« neće biti neispravan u intervalu  $t_0 \leq t < T$ .

Ako se ovaj zbir mogućih troškova podeli sa dužinom ciklusa ( $T_L$ ), dobiće se troškovi održavanja po jedinici vremena.

Ovakva teoretska postavka može se direktno proširiti na model održavanja za podsklop (sklop) sastavljen od »M+1« stohastički neispravnih elemenata, pri čemu deo »0« ima rastuću, a »M« elemenata su sa konstantnom brzinom pojave neispravnosti. Takav model može se okarakterisati parametrom »T« i parametrima M, odnosno  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ), od kojih svaki ima analognu interpretaciju datu za parametar » $t_0$ « opisanog kod modela za dva stohastički neispravna elementa jednog sistema.

### Model GERTCBAHA za optimalno grupisanje sastavnih elemenata sistema prema njihovim periodičnostima

#### Opis modela

Razmotriće se preventivno održavanje sistema koji se sastoji od nekoliko stohastički nezavisnih elemenata. Cilj je da se odredi periodičnost izvođenja postupaka preventivnog održavanja za svaki element sistema.

Troškovi radne snage i materijala za istovremene opravke grupe elemenata bitno su manji od istog utroška pri izdvojenom održavanju individualnih elemenata. To sugeriše grupisanje elemenata u toku izvođenja postupaka održavanja. Pretpostavimo, na primer, da se tehnički sistem sastoji od dva elementa i da se bira optimalni period preventivnog održavanja za svaki element koji se razmatra odvojeno. Označimo ove periode sa  $T_1$  i  $T_2$ ,  $T_1 \neq T_2$ . Neka su  $C_1$  i  $C_2$  troškovi opravke tih elemenata. Ako su trenuci za preventivno održavanje kombinovani za oba elementa, tada će troškovi biti jednaki nekoj vrednosti  $x$  koja dovodi do sledeće nejednačine:

$$\max(C_1, C_2) < x < C_1 + C_2 \quad (3)$$

Bilo bi, verovatno, najcelishodnije razmotriti sistem dva elementa kao

jednu jedinicu i uvesti zajednički period  $T$ ,  $T \neq T_1$ ;  $T \neq T_2$ , za periodično održavanje kada bi se oba elementa mogla zajedno preventivno održavati. Sva pravila koja propisuju preventivno održavanje složenih tehničkih sistema predviđaju grupisanje sastavnih elemenata za sprovođenje postupaka održavanja. Kao posledica toga, biće formulisan matematički model za složeni sistem u kojem je razvijena ideja optimalnog grupisanja prema njihovim periodima preventivnog održavanja.

#### Matematički model Gertcbaha

U literaturi [2] razrađen je »model optimalnog grupisanja sastavnih elemenata prema njihovim periodičnostima preventivnog održavanja« (MODOGRUP), koji se odnosi na multikomponentni sistem i koji zadovoljava izraz (5).

Neka se sistem sastoji od  $n$  sastavnih elemenata označenih sa  $i = 1, \dots, n$ . Ako sastavni element  $i$  ima period provere stanja  $t_i$ , ukupni prosečni troškovi po jedinici vremena za ceo sistem  $W(\{t_i\})$  dati su jednačinom [2]:

$$W(\{t_i\}) = f\Sigma(\{t_i\}) + \sum_{i \in I_0} \psi_i(t_i)/t_i \quad (4)$$

gde je:

- $W(\{t_i\})$  — minimalni troškovi održavanja,
- $t_i$  — periodičnost provere stanja sastavnog elementa,
- $f\Sigma(\{t_i\})$  — ukupni dodatni troškovi zbog preventivnih opravki podsistema različitih rangova,
- $I_0$  — skup sastavnih elemenata  $i = (i_1, \dots, i_n)$ ,

$\psi_i(t_i)$  — prosečni troškovi za sastavni element  $i$ , uključujući troškove POPS i korektivnog održavanja za interval rada  $(0, t_i)$ .

Cilj modela je određivanje vrednosti za »grupnu« periodičnost »provera stanja« elemenata ( $t_i$ ) koja odgovara minimalnim troškovima  $W(\{t_i\})$ .

### Model MODOGRUP

Ako bi se postupci preventivnog održavanja sprovodili strogo prema definisanim optimalnim intervalima za pojedinačne sastavne elemente sistema nastali bi veliki troškovi zbog čestih zastoja sistema, smanjila bi se operativna gotovost, nastali bi problemi u organizaciji održavanja, i sl. Zbog toga, pristupa se određivanju optimalnog intervala za sprovođenje postupaka preventivnog održavanja za grupu elemenata. Pri tome se grupisanje periodičnosti održavanja izvodi za one elemente koji imaju bliske vremenske intervale održavanja, uz uslov da se bitnije ne naruše.

Model MODOGRUP predstavlja metod za optimizaciju procesa održavanja, koji se zasniva na kriterijumu da su ukupni troškovi održavanja za grupu sastavnih elemenata sistema manji od sume parcijalnih troškova održavanja za pojedinačne elemente, čiji matematički izraz glasi [2, 4]:

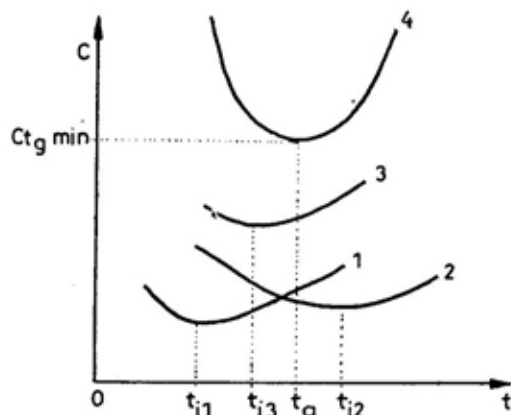
$$C_{t \min} < \sum_{i=1}^n C_i \quad (5)$$

gde je:

$C_{t \min}$  — ukupni optimalni troškovi održavanja za grupu elemenata  $i$  i izabranu periodičnost ( $t_g$ ),

$\sum_{i=1}^n C_i$  — ukupni troškovi održavanja prema »lokalnim« intervalima preventivnog održavanja,  $n$  — broj elemenata u grupi

Ovaj model je grafički interpretiran na slici 3 [4]. Kao što se vidi na



Sl. 3 — Model optimalnog grupisanja periodičnosti sprovođenja postupaka preventivnog održavanja sastavnih elemenata sistema (MODOGRUP)

slici, modelom se određuje optimalni interval za sprovođenje postupaka održavanja za grupu elemenata ( $t_g$ ), koji zadovoljava uslov (5), odnosno koji daje minimalne ukupne troškove održavanja za grupu posmatranih elemenata sistema.

### Simulacija modela MODOGRUP primenom računara

Radi simulacije modela MODOGRUP razvijen je potprogram u okviru programskog paketa DMPOPS [4]. Za simulaciju modela neophodno je zadati ukupni broj elemenata sistema za koje se određuje optimalni interval održavanja (u ovom primeru simulacije izabrano je 5 sastavnih elemenata motornog vozila), kao što je prikazano na slikama 4 do 8.

Element 1

Ukupno vreme rada elemenata (h)=?	2000
Parametri funkcije nepouzdanosti (-)=?	
Parametar oblika $\beta$ =	4
Parametar razmere $\eta$ =	2000
Podaci u redu (D/N) ?	

Sl. 4 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela MODOGRUP primenom elektronskog računara (element 1)

Element 2

Ukupno vreme rada elemenata (h)=?	2000
Parametri funkcije nepouzdanosti (-)=?	
Parametar oblika $\beta$ =	3.75
Parametar razmere $\eta$ =	1750
Podaci u redu (D/N) ?	

Sl. 5 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela MODOGRUP (element 2)

Element 3

Ukupno vreme rada elemenata (h)=?	2000
Parametri funkcije nepouzdanosti (-)=?	
Parametar oblika $\beta$ =	3.5
Parametar razmere $\eta$ =	1500
Podaci u redu (D/N) ?	

Sl. 6 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela MODOGRUP (element 3)

Element 4

Ukupno vreme rada elemenata (h)=?	2000
Parametri funkcije nepouzdanosti (-)=?	
Parametar oblika $\beta$ =	3.25
Parametar razmere $\eta$ =	1400
Podaci u redu (D/N) ?	

Sl. 7 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela MODOGRUP (element 4)

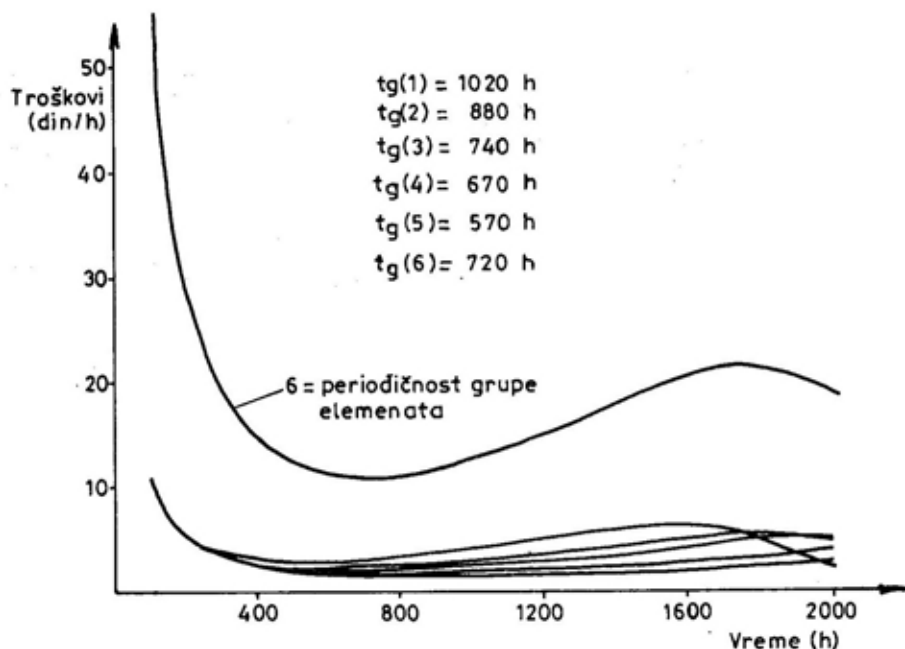
Element 5

Ukupno vreme rada elemenata (h)=?	2000
Parametri funkcije nepouzdanosti (-)=?	
Parametar oblika $\beta$ =	3.1
Parametar razmere $\eta$ =	1200
Podaci u redu (D/N) ?	

Sl. 8 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela MODOGRUP (element 5)

Pored toga, neophodno je zadati troškove održavanja za svaki element pojedinačno. Radi pojednostavljenja prikaza simulacije, u ovom primeru su uzeti identični troškovi održavanja za svih pet elemenata [4].

Izlazna informacija modela MODOGRUP dobija se simulacijom posredstvom računara u obliku tabele i dijagrama. Dijagramski prikaz na slici 9 [7] predstavlja funkciju ukupnih troškova održavanja, u zavisnosti od vremena rada za svaki pojedinačni element i zbirno za grupu elemenata. Optimalni interval preventivnog održavanja za grupu elemenata motornog vozila definisan je minimalnom vrednoš-



Sl. 9 — Rezultati simulacije modela MODOGRUP — optimalni interval preventivnog održavanja za grupu elemenata motornog vozila ( $t_g$ )

ću funkcije ukupnih troškova održavanja  $i$ , u ovom slučaju, iznosi  $t_g = 720$  h. Takođe, na istoj slici prikazane su vrednosti i dijagrami kojima su definisani optimalni intervali održavanja za svaki pojedinačni element.

Pre usvajanja vrednosti optimalnog intervala održavanja za grupu elemenata treba proveriti da li je ostvarena zahtevana vrednost pouzdanosti za celinu posmatranog tehničkog sistema. Ukoliko zahtevana pouzdanost nije ostvarena, neophodno je izvršiti ponovnu modifikaciju optimalnog intervala održavanja ( $t_g$ ).

## Zaključak

Kao izlaz simulacije modela optimalnog grupisanja periodičnosti preventivnog održavanja tehničkih sistema (MODOGRUP), koji se zasniva na kriterijumu minimalnih troškova, dobija se izlazna karakteristika modela — optimalni interval preventivnog o-

državanja sastavnih elemenata sistema, koji obezbeđuje minimalne ukupne troškove održavanja.

Primenom modela MODOGRUP realizuje se optimalno grupisanje periodičnosti sprovođenja postupaka preventivnog održavanja, čime se znatno smanjuju troškovi održavanja, a povećava operativna gotovost tehničkog sistema.

Očigledan je značaj primene ovog modela prema definisanoj metodologiji, što se ogleda u mogućnosti korisnika tehničkog sistema da koriguje do tada korišćene neoptimalne intervale preventivnog održavanja  $i$ , na taj način, smanji troškove održavanja.

Definisana metodologija primene modela MODOGRUP ima opšti karakter, tj. model može biti apliciran na različite sastavne elemente u procesu održavanja bilo kojih složenih tehničkih sistema, pod uslovom da su podržani kvalitetnim informacionim sistemom o radu i održavanju.



*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] Jorgenson, D. W., McCall, J. J., Radner, R.: »Optimal replacement policy«, North — Holland publishing company, Amsterdam — Oxford, 1974.
- [4] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- [5] Kodžopeljić, J.: Prilog proučavanju politike preventivnog održavanja motornih vozila za potrebe opštenarodne odbrane, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [6] Minić, S.: Istraživanje modela preventivnog održavanja prema stanju i njihova primena na motornim vozilima, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [7] Minić, S.: Model preventivnog održavanja tehničkih sistema na bazi kriterijuma minimalnih troškova, OMO broj 3, Beograd, 1995.



Dr Slobodan Vukićević,  
profesor, dipl. inž.

Mr Slobodan Cvetić,  
dipl. inž.  
Saobraćajni fakultet,  
Beograd

## OPTIMIZACIJA PODZEMNIH SKLADIŠTA UBOJNIH SREDSTAVA

UDC: 623.483.001.573

### Rezime:

Podzemna skladišta predstavljaju jednu od realnih i često primenjivanih varijanti pri čuvanju ubojnih sredstava. S obzirom na relativno velika investiciona sredstva koja je neophodno izdvojiti za njihovu izgradnju, problemima njihovog projektovanja treba posvetiti značajnu pažnju. U radu je prikazan postupak koji obezbeđuje izbor optimalne konfiguracije ovih skladišta.

*Ključne reči:* tehnološko projektovanje, ubojna sredstva, podzemna skladišta.

## OPTIMIZATION OF UNDERGROUND WAREHOUSE FOR MUNITIONS

### Summary:

Underground warehouses are one of the actual and frequently applied alternatives for munitions storage. Relatively great investment are necessary for establish underground warehouse. From that reason optimization of underground warehouse for munition is one of the most important tasks. In this paper model for underground munitions warehouse optimization has been investigated.

*Key words:* technological design, munitions, underground warehouse.

### Uvod

Motivi koji dovode do građenja podzemnih objekata za smeštaj opasnih materija klase 1, po pravilu su povezani sa bezbednošću uskladištenog materijala, ili objekata u okruženju skladišnog kompleksa. Podzemni skladišni objekti veoma su otporni na napade iz vazdušnog prostora a pored toga pružaju znatno bolje uslove za fizičko obezbeđenje od ostalih tipova objekata za smeštaj sličnih materija. Eventualne eksplozije u njima ne dovode do značajnijeg ugrožavanja objekata u okruženju, pa čak ni onih koji se nalaze u neposrednoj blizini skladišta.

Međutim, građenje podzemnih skladišta povezano je sa izdvajanjem relativno velikih investicionih sredstava, što uz činjenicu da se radi o objektima koji nisu pogodni za kasnije rekonstrukcije, u prvi plan nameće potrebu za preciznim projektovanjem koje treba da obezbedi:

- poštovanje svih bezbednosnih aspekata čuvanja opasnih materija,
- definisanje adekvatne tehnologije svih procesa u objektu,
- optimalno iskorišćenje lokacije na kojoj se planira izgradnja, i
- minimizaciju investicione sume.

Ovako postavljen problem praktično dovodi do potrebe za delovanjem u četiri osnovne oblasti, u okviru kojih se, definisanjem parcijalnih rešenja i njihovim kombinovanjem, stvaraju uslovi za dobijanje konačnog optimalnog rešenja:

— *oblast bezbednosti* u okviru koje se preciziraju sva potrebna bezbednosna rastojanja i ostali zahtevi koje je neophodno poštovati sa ciljem da se spreči ugrožavanje uskladištenog sadržaja, kao i ugrožavanje objekata u okruženju skladišnog kompleksa;

— *oblast definisanja građevinskih rešenja* u okviru koje se daju osnovni uslovi koje je neophodno poštovati pri građevinskom planiranju skladišnog kompleksa;

— *oblast definisanja tehnoloških rešenja*, u okviru koje se vrši izbor sredstava i postupaka koji će biti primenjivani pri manipulaciji i čuvanju opasnih materija. Kao posledica izabranih elemenata pojavljuju se i zahtevi za minimalnim dimenzijama pojedinih elemenata skladišnog sistema, kao uslova za primenjivanje tehnologija;

— *oblast optimizacije* u okviru koje se definišu konačna rešenja kroz određivanje veličina pojedinih skladišnih objekata, njihovog broja i konkretnog položaja na lokaciji.

### **Bezbednosni aspekt skladištenja ubojnih sredstava u podzemnim objektima**

Ubojna sredstva se, u zavisnosti od vrste opasnosti koja je dominantna u trenutku eventualne eksplozije, dele na pet osnovnih grupa:

— klasa 1.1. — opasne materije koje detoniraju u masi, sa osnovnom opasnošću od vazdušnog udarnog talasa,

— klasa 1.2. — opasne materije koje ne detoniraju u masi, sa osnovnom opasnošću od razleta fragmenata,

— klasa 1.3. — opasne materije sa osnovnom opasnošću od požarnog dejstva,

— klasa 1.4. — opasne materije koje ne predstavljaju veću opasnost (osnovna opasnost od umerenog požara),

— klasa 1.5. — opasne materije koje detoniraju u masi, sa osnovnom opasnošću od vazdušnog udarnog talasa, uz veoma otežano iniciranje.

Pri smeštanju ovih materija u podzemne objekte treba voditi računa o činjenici da su oni izuzetno pogodni za klase 1.1, 1.2, 1.4 i 1.5, a da nisu pogodni za materije iz klase 1.3 zbog značajne mogućnosti prenošenja požara iz jednog skladišnog objekta u drugi.

Bezbednost uskladištenog materijala i objekata u okruženju skladišnog kompleksa postiže se, u osnovi, definisanjem minimalnog rastojanja koje je potrebno ostvariti između dva skladišna objekta, ukoliko se od incidenta u jednom skladišnom objektu želi zaštititi sadržaj u susjednom skladišnom objektu, i između skladišnih objekata i objekata u okruženju, ukoliko se želi zaštititi objekat u okruženju.

Minimalno bezbednosno rastojanje koje je potrebno ostvariti između dva skladišna objekta, sa ciljem da se spreči prenos eksplozije sa jednog na drugi, ali uz moguće oštećenje materijala u susjednom objektu preko udara rasprsnutog kamenja, izračunava se prema formuli:

$$d^* = c_0 \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (1)$$

Bezbednosno rastojanje koje se zahteva radi sprečavanja oštećenja uskladištenog materijala u susjednom objektu, određuje se prema sledećoj formuli:

$$d = c_0 \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (2)$$

gde je:

$d^*$ ,  $d$  — minimalno bezbednosno rastojanje u metrima,

$c^*_0, c_c$  — koeficijent za proračun rastojanja, sa sledećim vrednostima

$$c^*_0 = 0,6$$

$c_0 = 1,4$  — za objekte izrađene u pesku, šljunku i vlažnoj glini;

$c_0 = 1,72$  — za meku stenu;

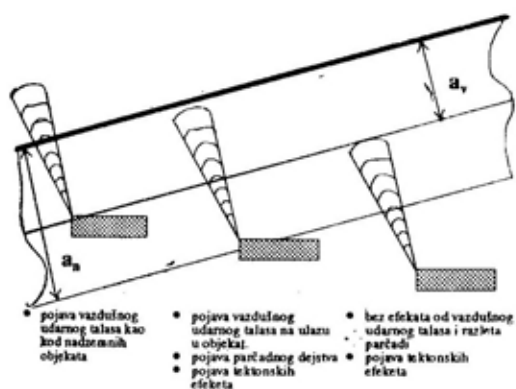
$c_0 = 2$  — za tvrdnu stenu,

$Q$  — količina čistog eksploziva u kilogramima.

Objekti u okruženju skladišnog kompleksa mogu biti ugroženi od dejstva eksplozije u nekom od skladišnih objekata:

- tektonskim efektima,
- vazдушnim udarnim talasom,
- parčadnim dejstvom.

Intenzitet i mogućnost pojavljivanja nekog od ovih dejstava direktno je povezana sa dubinom na kojoj se nalazi konkretan skladišni objekat (slika 1).



• pojava vazdušnog udarnog talasa kao kod nadzemnih objekata

• pojava vazdušnog udarnog talasa na ulazu u objekat.  
• pojava parčadnog dejstva  
• pojava tektonskih efekata

• bez efekata od vazdušnog udarnog talasa i razleta parčadi  
• pojava tektonskih efekata

Sl. 1 — Dejstva eksplozije prema debljini sloja iznad skladišnog objekta

Minimalna dubina na kojoj se mora nalaziti objekat da bi se tretirao kao podzemni, izračunava se prema formuli:

$$a_v = c_v \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (3)$$

Kritična dubina koja obezbeđuje da uticaj od parčadnog dejstva i dej-

stva vazdušnog udarnog talasa bude eliminisan, dobija se na osnovu izraza:

$$a_n = c_n \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (4)$$

gde je:

$a_v, a_n$  — debljina nadsloja iznad skladišnog objekta u metrima,

$c_v, c_n$  — koeficijent za proračun debljine nadsloja ( $c_v = 0,2$ ;  $c_n = 1,4$ ).

Smatra se da je objekat u okruženju bezbedan od tektonskih efekata, ukoliko se od skladišnog objekta nalazi na rastojanju koje se dobija korišćenjem izraza:

$$d_t = c_t \cdot f_g \cdot \sqrt[9]{Q^4} \quad (5)$$

$$f_g = 0,116 \cdot \left(\frac{Q}{V}\right)^{0,3} \quad (6)$$

gde je:

$d_t$  — potrebno bezbednosno rastojanje za sprečavanje tektonskog dejstva eksplozije,

$c_t$  — koeficijent za proračun rastojanja:

$c_t = 1,4$  — za objekte izrađene u pesku, šljunku i vlažnoj glini;

$c_t = 1,72$  — za meku stenu;

$c_t = 2$  — za tvrdnu stenu.

$V$  — zapremina podzemnog objekta (komore).

Kako je već istaknuto, vazdušni udarni talas se kod podzemnih objekata pojavljuje na izlazu iz hodnika kojim su oni međusobno povezani, ukoliko je objekat smešten tako da je debljina nadsloja manja od  $a_v$ . Potrebno bezbednosno rastojanje zavisi od položaja objekta u okruženju u odnosu na osu izlaznog hodnika podzemnog objekta, a proračunava se korišćenjem izraza:

$$d_u = c_u \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n \cdot k}} \quad (7)$$

gde je:

$d_u$  — potrebno bezbednosno rastojanje,

$c_u$  — koeficijent za proračun rastojanja koji zavisi od ugla između ugroženog objekta i ose izlaznog hodnika:

$c_u = 7,6$  — za ugao od 120 do 180°,

$c_u = 13,2$  — za ugao od 90 do 120°,

$c_u = 20$  — za ugao od 60 do 90°,

$c_u = 27,2$  — za ugao 30 do 60°,

$c_u = 30,4$  — za ugao od 0 do 30°;

$n$  — koeficijent kojim se uzima u obzir broj ulaza u podzemni objekt

$n=1$  — ukoliko skladište nema više od jednog ulaza,

$n=2$  — ukoliko skladište ima dva ili više ulaza, pri čemu se vazdušni udarni talasi ne sabiraju;

$k$  — koeficijent kojim se uzima u obzir položaj objekta:

$k=3$  — ukoliko se objekat nalazi na kraju sporednog hodnika čiji je presek najviše polovina preseka glavnog hodnika, a dužina najmanje jednaka trećini bezbednosnog rastojanja između podzemnih objekata,

$k=1$  — u ostalim slučajevima.

Potrebno bezbednosno rastojanje koje obezbeđuje objekte u okruženju od parčadnog dejstva dobija se uz korišćenje izraza:

$$d_p = 0,42 \cdot f_c \cdot f_d \cdot Q^{0,41} \quad (8)$$

$$f_c = \frac{c_u}{3 \sqrt{Q}} \quad (9)$$

$$f_d = 0,261 \cdot \left( \frac{Q}{V} \right)^{0,18} \quad (10)$$

### Osnovne postavke pri definisanju građevinskih rešenja podzemnih objekata

Podzemni skladišni kompleks sačinjavaju: glavni hodnik koji povezuje ulaz u kompleks sa svim skladišnim

objektima, sporedni hodnici koji povezuju glavni hodnik i pojedine skladišne objekte, kao i sami skladišni objekti.

Tehnologija gradnje podzemnih objekata, u većini slučajeva, podrazumeva postavljanje lučne armirano-betonske konstrukcije, kako u glavnom, tako i u sporednim hodnicima, pa i u samom skladišnom objektu.

U principu veća ograničenja nametnuta potrebom za građevinskim obezbeđenjem objekta ne postoje. Za većinu terena u kojima se grade podzemni objekti, kao osnovna mogu se pojaviti dva ograničenja:

— minimalno rastojanje između dva skladišna objekta (komore) mora biti najmanje 5 m,

— minimalna dužina sporednog hodnika koja se dobija kao funkcija širine skladišnog objekta i glavnog hodnika i proračunava se na osnovu izraza

$$1,5 \cdot a + \frac{s}{2} \quad (11)$$

gde je:

$a$  — širina objekta,

$s$  — širina glavnog hodnika.

Kao relevantan podatak može se dati i odnos cena izgradnje pojedinih elemenata sistema. Ukoliko se cena izgradnje hodnika po dužnom metru proglasi jediničnom, onda se cena izgradnje skladišnog objekta može definisati faktorom 5, a cena razrade objekta faktorom 7,5.

### Tehnološka koncepcija podzemnog skladišta

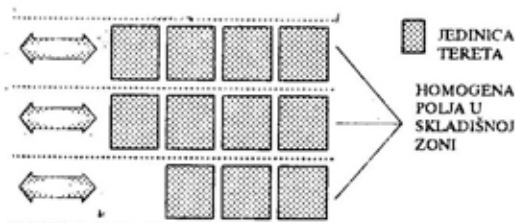
Tehnološka koncepcija skladišnog objekta je definisana ukoliko su poznata rešenja za:

— čuvanje materijala u samom skladišnom objektu,

— rad na frontu pretovara (pri utovaru, istovaru materijala),

- transport materijala između fronta pretovara i skladišnog objekta,
- uskladištenje i iskladištenje materijala.

Tehnologija čuvanja materijala u objektu podrazumeva definisanje načina slaganja skladišnih jedinica i određivanje položaja saobraćajnice (glavnog prolaza) kojom se kreću sredstva za uskladištenje i iskladištenje. Analiza većeg broja tehnologija pokazala je da najpovoljnije rešenje podrazumeva formiranje homogenih polja čija je širina usaglašena sa dimenzijom jedinice tereta (najčešće palete) i potrebnom širinom prolaza za sredstva za uskladištenje i iskladištenje (slika 2).



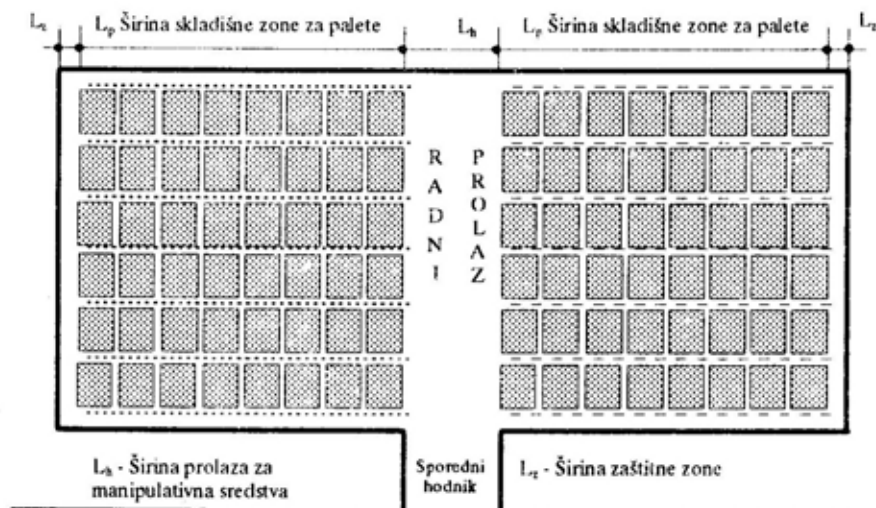
Sl. 2 — Konceptija formiranja slogova u skladišnoj zoni

Paleta, odnosno neke druge skladišne jedinice se slažu u slog po dubini

ovako formiranog polja, pri čemu je direktan pristup omogućen samo onoj skladišnoj jedinici koja se nalazi na njegovom početku. Ovakav pristup podrazumeva da se jedno polje angažuje za smeštanje samo jedne homogene vrste tereta, naročito u uslovima kada se očekuju veći koeficijenti obrta uskladištenog materijala.

Najpogodniji način postavljanja objekta u odnosu na glavni hodnik je kada je osa objekta paralelna osi glavnog hodnika.

Sporedni hodnik u tom slučaju povezuje objekat i glavni hodnik tako što njegova osa sa osom glavnog hodnika zaklapa ugao od  $90^\circ$ . Sporedni hodnik u skladišni objekat može ući u njegovom centru, a može biti postavljen i ekscentrično. Njegovim položajem tako se može regulisati dužina homogenih polja. Postavljanjem sporednog hodnika u centar objekta, sva homogena polja imaju jednaku dužinu. Njegovim ekscentričnim postavljanjem dobijaju se dve dužine homogenih polja, što može biti pogodno u slučajevima kada je asortiman uskladištenog materijala izuzetno veliki, pa se pojavljuju homogene grupe sa relativno malim količinama materijala.



Sl. 3 — Angažovanje skladišne površine u objektu

U produžetku sporednog hodnika, po celoj širini skladišnog objekta, ostavlja se radni prolaz za kretanje sredstava za uskladištenje i iskladištenje.

Pri projektovanju *tehnologije utovara i istovara na frontu pretovara*, kao jedan od osnovnih principa pojavila se potreba za obezbeđenjem realizacije ovih operacija bez izlaska pretovarnog sredstva iz skladišta. Ovakav pristup podrazumeva postavljanje vozila direktno na ulaz u skladište i njegovo eventualno pomeranje kako bi se obezbedilo zahvatanje svih jedinica tereta po dužini vozila. Potreba da vozilo bude istovareno u relativno kratkom vremenu podrazumeva obezbeđenje posebnog prostora kod početka glavnog hodnika na koji će se odlagati skladišne jedinice pre njihove otpreme do skladišnog objekta (pri ulazu), odnosno, na kome će se izvršiti prikupljanje jedinica tereta pre početka utovara vozila (kod izlaza robe iz skladišta).

*Transport između fronta pretovara i skladišnog objekta* se, u principu, može realizovati na dva načina. Kod kraćih rastojanja pogodno je primenjivati čeonu elektroviljuškar, koji ujedno može biti angažovan i na operacijama pretovara i uskladištenja — iskladištenja. Za veća rastojanja preporučuje se primena vučnog voza, čime su, naročito pri većem obimu robnog rada obezbeđene značajne uštede. U ovom slučaju, pogodno je da operacije pretovara i uskladištenja — iskladištenja realizuje hibridni elektroviljuškar, bez sedišta za vozača, sa težištem tereta unutar baze viljuškara.

### **Optimizacija veličine i rasporeda skladišnih objekata**

Analiza bezbednosnih, građevinskih i tehnoloških aspekata problema projektovanja podzemnih skladišta upućuje na zaključak da se u okviru postavljenih ograničenja (bezbednosna rastojanja, međusobni odnosi pojedinih

elemenata skladišnog sistema i minimalne konstruktivne i tehnološke dimenzije) za zadata količinu materijala, može definisati praktično beskonačno varijantnih rešenja. Razlike između njih posledica su veličine pojedinih skladišnih objekata, kao i položaja ovih objekata u odnosu na ulaz u skladište.

Povećanjem dužine glavnog hodnika obezbeđuje se da nadsloj iznad skladišnih objekata bude veći, pa da se, samim tim, za zadata količinu materijala može primeniti manji broj većih objekata. Međutim, ovakvo rešenje uslovljava da troškovi transporta i troškovi povezani sa potencijalnim uništenjem sadržaja u jednom objektu zbog destrukcije, izazvane ma kojim razlogom, znatno rastu. Manje dužine glavnog hodnika, u principu, upućuju, zbog manje debljine nadsloja, na izgradnju više manjih objekata, čime investicije u objekte rastu, ali se smanjuju troškovi transporta i troškovi povezani sa eventualnom destrukcijom.

U ovakvim okolnostima neophodno je pristupiti optimizaciji rasporeda i veličina objekata kroz definisanje jedinstvene funkcije cilja i kriterijuma, koji, na dovoljno kvalitetan način, mogu opisati stepen njegovog dostizanja za svaku od definisanih varijanti. Logično je da za funkciju cilja treba proglasiti minimizaciju ukupnog koštanja bilo koje varijante. Do ukupnog koštanja varijante može se doći respektovanjem:

- investicija u skladišni objekat,
- investicija u pomoćne hodnike,
- investicija u glavni hodnik,
- manipulativnih troškova,
- troškova destrukcije.

Svaka od varijanti rasporeda i veličina objekata može se opisati kroz definisanje položaja objekta u odnosu na koordinatni sistem  $xy$  (čiji se početak nalazi u preseku ose glavnog hodnika i linije terena) i dužine objekta,

kako je to prikazano (slika 4), pri čemu je poprečni presek objekata jednak za sve skladišne objekte. Veličine prikazane na ovoj slici imaju sledeće značenje:

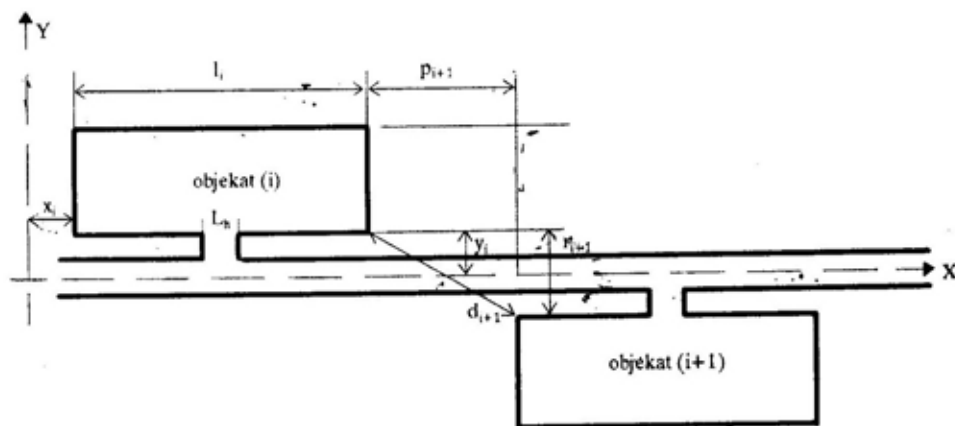
- $x_i$  — dužina glavnog hodnika od ulaza do objekta (i),
- $l_i$  — dužina objekta (i),
- $p_{i+1}$  — rastojanje duž x ose između krajnje tačke objekta (i) i najbliže tačke objekta (i+1),
- $r_{i+1}$  — rastojanje duž ose y između najbližih tačaka objekata (i) i (i+1),
- $d_{i+1}$  — rastojanje između najbližih tačaka objekata (i) i (i+1).

CR — cena razrade po dužnom metru,  
n — broj skladišnih objekata.

Investicije u glavni hodnik (IS) zavise isključivo od njegove dužine i mogu se izraziti, uz definisanu cenu gradnje dužnog metra hodnika (CG), preko izraza:

$$IG = CG \cdot \left( x_i + \frac{l_i}{2} \right) + CG \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \frac{l_i + l_{i+1}}{2} + p_{i+1} \quad (13)$$

Na sličan način dolazi se i do investicija za gradnju sporednog hodni-



Sl. 4 — Principi pri definisanju položaja i veličine objekata

Usvajajući ove oznake, investicije koje je potrebno obezbediti za izgradnju skladišnog objekta (IO) mogu se definisati na sledeći način<sup>1</sup>:

$$IO = \sum_{i=1}^n (l_i - k) \cdot CO + k \cdot CR \quad (12)$$

gde je:

- k — dužina neophodna za razradu pri gradnji objekta,
- CO — cena gradnje dužnog metra objekta,

ka (IS), uz odgovarajuću jediničnu cenu (CS):

$$IS = CS \cdot \sum_{i=1}^n Y_i \quad (14)$$

Najprihvatljiviji način za definisanje troškova manipulacije podrazumeva njihovo povezivanje sa vremenom angažovanja manipulativnih sredstava. Do dužine jednog ciklusa ( $t_c$ ) ovih sredstava može se doći korišćenjem sledećeg izraza:

$$t_c = k_t + k_p \cdot \left( x_i + \frac{3}{4} \cdot l_i + y_i \right) \quad (15)$$

<sup>1</sup> Poprečni presek svih objekata je definisan i jednak za sve skladišne objekte.



gde je:

$k_f$  — suma vremena u ciklusu koja ne zavise od dužine transportnog puta,

$k_p$  — koeficijent koji dovodi u vezu dužinu transportnog puta i vreme.

Broj ciklusa koje je potrebno ostvariti u toku jedne godine posledica je veličine objekta, odnosno količine materijala koja se u njega može smestiti ( $Q_i$ )<sup>2</sup>, srednje težine jedinice tereta ( $N$ ) i godišnjeg obrta uskladištenog materijala ( $w$ ), tako da se može napisati izraz:

$$B_i = \frac{Q_i}{N} \cdot w \quad (16)$$

U ovim uslovima ukupni manipulativni troškovi ( $TM$ ) mogu se definisati, uz poznavanje jedinične časovne cene ( $TVh$ )<sup>3</sup> kao:

$$TM = TVh \cdot \sum_{i=1}^n B_i \cdot t_e \quad (17)$$

Troškovi koji se odnose na spontanu destrukciju posledica su verovatnoće da do nje dođe u veku trajanja objekta ( $p_d$ ), i količine tom prilikom uništene municije. Tražena verovatnoća može se definisati na osnovu stranih i domaćih iskustava. Kako se radi o verovatnoći jednog incidenta, on se može realizovati u bilo kom objektu, pa je realno da se kvantifikacija poveže sa količinom koja je jednaka srednjoj uskladištenoj količini po objektu. Ove troškove moguće je kvantifikovati na sledeći način:

$$TD = CE \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \cdot p_d \quad (18)$$

<sup>2</sup> Relaciju između dužine objekta i količine uskladištenog materijala moguće je ostvariti u uslovima definisanog poprečnog preseka objekta i poznate tehnologije skladištenja.

<sup>3</sup> U časovnu cenu rada manipulativnih sredstava uključeni su svi investicioni i eksploatacioni troškovi, kao i odgovarajući troškovi angažovanja radne snage.

Jasno je da se svi definisani troškovi pojavljuju u različitim vremenskim presecima, pa je neophodno izvršiti njihovo svođenje na istu dimenziju. Ovaj zahtev se pogodno ispunjava definisanjem čiste sadašnje vrednosti varijante, odnosno diskontovanjem svih troškova na godinu početka eksploatacije objekta. Do čiste sadašnje vrednosti, kao kriterijuma na osnovu koga je moguće oceniti stepen ispunjenja generalno postavljenog cilja, može se doći uz korišćenje sledećeg izraza:

$$SV = IO + IS + IG + \sum_{i=1}^{t_{eks}} \frac{TM}{(1+d)^i} + \frac{TD}{(1+d)^{t_{eks}/2}} \quad (19)$$

gde je:

$SV$  — čista sadašnja vrednost,

$t_{eks}$  — eksploatacioni vek objekta,

$d$  — diskontni faktor,

### Generisanje varijanti rasporeda i veličina objekata u podzemnom skladišnom kompleksu

Radi definisanja varijanti rasporeda i veličina objekata u podzemnom skladišnom kompleksu neophodno je analizirati odnos između dva susedna skladišna objekta, pri čemu se kao zadatak pojavljuje potreba za određivanjem položaja i veličine narednog, uz uslov da je poznata lokacija i veličina prethodnog objekta. Pored ekonomskih kriterijuma, na veličinu i položaj narednog objekta utiču i bezbednosni zahtevi koji se manifestuju potrebom da se između ova dva objekta ostavi dovoljno bezbednosno rastojanje, kao i da se iznad narednog objekta ostavi dovoljno veliki nadsloj, kako objekti u okruženju skladišnog kompleksa ne bi bili ugroženi.

Sa aspekta bezbednosnog rastojanja između prethodnog ( $i$ )-tog i nared-



nog (i+1)-og objekta, moguće je uspostaviti sledeće funkcionalne veze:<sup>4</sup>

$$d_{i+1} = c_0 \cdot \sqrt[3]{Q_{i+1}}$$

$$d_{i+1} = r_{i+1} \quad \text{za } p_{i+1} \leq 0 \quad (20)$$

$$d_{i+1} = \sqrt{p_{i+1}^2 + r_{i+1}^2} \quad \text{za } p_{i+1} > 0$$

odnosno:

$$\sqrt[3]{Q_{i+1}} = \frac{1}{c_0} \cdot \sqrt{p_{i+1}^2 + r_{i+1}^2} \quad \text{za } p_{i+1} > 0 \quad (21)$$

$$\sqrt[3]{Q_{i+1}} = \frac{1}{c_0} \cdot r_{i+1} \quad \text{za } p_{i+1} \leq 0 \quad (22)$$

Sa aspekta debljine nadsloja, dovodeći u vezu količinu eksploziva u objektu (i+1) i njegov položaj, moguće je, uz definisanje nagiba terena  $\alpha$  u odnosu na horizontalni glavni hodnik, uvesti sledeće relacije:

$$a_{n_{i+1}} = c_n \cdot \sqrt[3]{Q_{i+1}} \quad (23)$$

$$a_{n_{i+1}} = (z_i + p_{i+1}) \cdot \sin \alpha \quad (24)$$

$$\sqrt[3]{Q_{i+1}} = \frac{1}{c_n} \cdot (z_i + p_{i+1}) \cdot \sin \alpha \quad (25)$$

Izjednačavajući količinu eksploziva koju je moguće smestiti na narednu lokaciju u odnosu na bezbednosno rastojanje između objekata i debljinu nadsloja, dobijaju se geometrijska mesta tačaka na koje ima smisla postaviti naredni objekat. Ova veza može se izraziti kao:

$$r_{i+1} = \sqrt{\frac{c_0^2}{c_n^2} \cdot (z_i + p_{i+1})^2 \cdot \sin^2 \alpha - p_{i+1}^2}$$

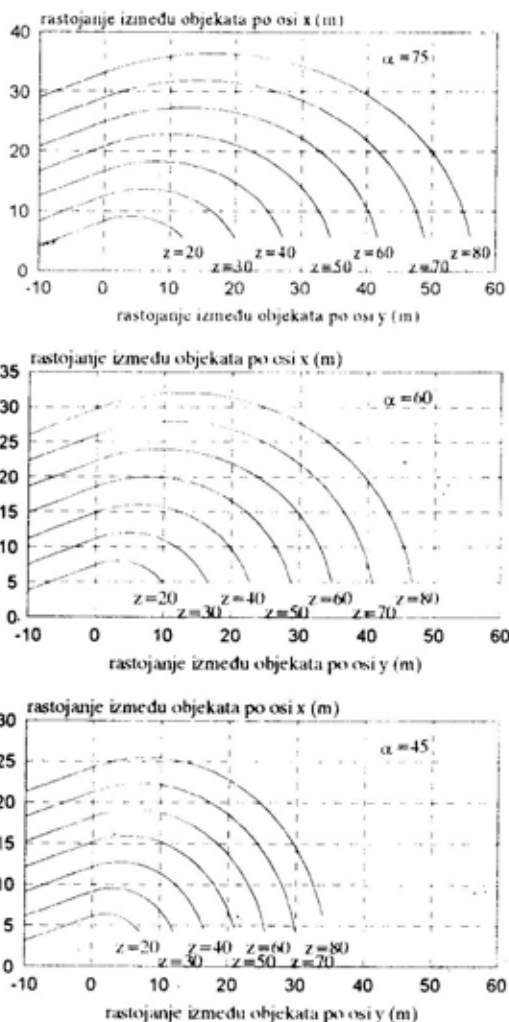
$$p_{i+1} > 0 \quad (26)$$

$$r_{i+1} = \frac{c_0}{c_n} \cdot (z_i + p_{i+1}) \cdot \sin \alpha$$

$$p_{i+1} \leq 0 \quad (27)$$

<sup>4</sup> Uvodi se pretpostavka da je  $Q_{i+1} > Q_i$  jer se smatra da nema smisla u objektat smeštati manje količine eksploziva od onih koje taj nadsloj omogućava.

Primer proračuna za položaj polazne tačke narednog objekta u funkciji od udaljenosti prethodnog objekta od ulaza u podzemno skladište (z), za koeficijente  $c_0=0,6$  i  $c_n=1,4$  i karakteristične nagibe terena  $\alpha$ , dat je na slici 5.



Sl. 5 — Geometrijska mesta tačaka na koje ima smisla postaviti naredni objekat

Između svih ovih moguće je izabrati i rešenje koje je blisko optimalnom, ukoliko se primeni ekonomski kriterijum koji obuhvata cenu gradnje glavnog hodnika i cenu izrade samog

skladišnog objekta. Cenu izrade sporednog hodnika, transportne troškove i troškove povezane sa destrukcijom, za ove potrebe moguće je eliminisati. Da bi se do traženih veličina moglo doći, neophodno je uvesti parametar (R) koji dovodi u odnos cenu izrade skladišnog objekta sa cenom izgradnje jedinice dužine glavnog hodnika, kao i specifično opterećenje eksplozivom dužnog metra objekta ( $q_n$ ), što je moguće ostvariti u uslovima poznate tehnologije i poznatih karakteristika materijala koji će se skladištiti.

Pod ovim uslovima, do cene izgradnje glavnog hodnika (G) koji je neophodan da bi se pristupilo narednom objektu može se doći uz korišćenje izraza:

$$G = \frac{\frac{1_i}{2} + \frac{1_{i+1}}{2} p_{i+1}}{Q_{i+1}} \quad (28)$$

odnosno:

$$G = \frac{x_i^3}{2(z_i + p_{i+1})^3 \cdot q_n} + \frac{1}{2q_n} + \frac{c_n^3 \cdot (L_h + p_{i+1})}{(z_i + p_{i+1})^3 \sin^3 \alpha} \quad (29)$$

Kao što se iz izraza može videti, cena izgradnje glavnog hodnika svedena je na jedinicu težine uskladištenog eksploziva u narednom objektu.

Do cene izgradnje samog skladišnog objekta dolazi se pomoću izraza:

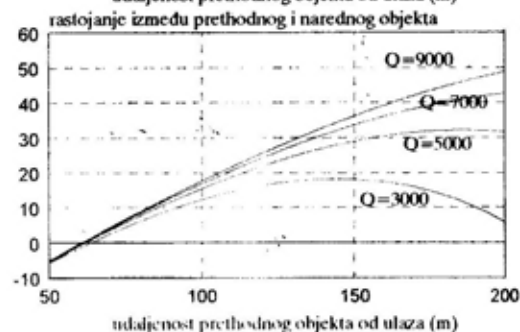
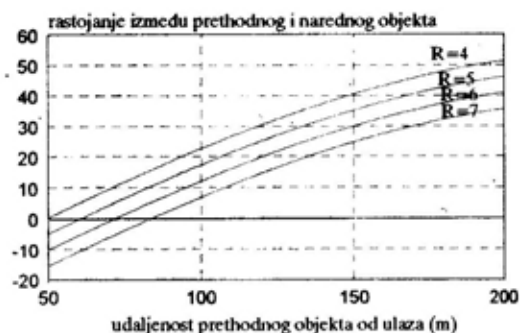
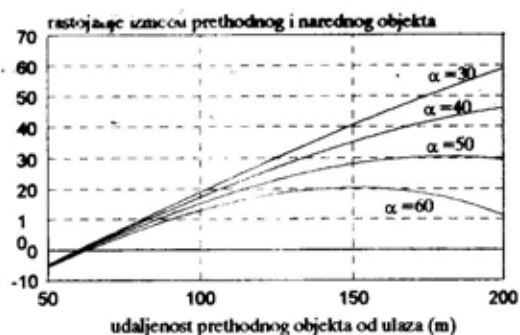
$$\begin{aligned} O &= R \cdot \frac{1_{i+1}}{Q_{i+1}} = \\ &= \frac{R}{q_n} + R \cdot \frac{c_n^3 \cdot L_h}{(z_i + p_{i+1})^3 \cdot \sin^3 \alpha} \end{aligned} \quad (30)$$

Diferenciranjem zbira ove dve vrednosti po promenljivoj  $p_{i+1}$ , dolazi se i do optimalnog položaja narednog objekta u odnosu na prethodni:

$$p_{i+1} = \frac{x_i - L_h \cdot (2 + 3 \cdot R)}{2} + \frac{x_i^3 \cdot \sin^3 \alpha}{4 \cdot c_n^3 \cdot q_n} \quad (31)$$

Na ovaj način stvorena je mogućnost da se lokacija narednog objekta na blisko optimalan način utvrdi na osnovu lokacije prethodnog objekta. Na slici 6 prikazane su osnovne zavisnosti između pojedinih karakterističnih veličina: nagiba terena, odnosa cena izgradnje pojedinih elemenata sistema i količine čistog eksploziva koja se može smestiti po dužnom metru objekta.

Ukoliko bi se odredio položaj prvog objekta u nizu to bi značilo da bi



Sl. 6 — Lokacija narednog u funkciji od položaja prethodnog objekta u nizu

se korišćenjem ove relacije mogao odrediti i položaj svih ostalih objekata, kao i njihove veličine. Samim tim, i proces generisanja varijanti veličina i lokacija objekata u podzemnom skladištu svodi se na definisanje lokacije i veličine prvog objekta u nizu. Optimizacija se sprovodi generisanjem više varijanti veličina i rasporeda objekata, pri čemu je svaka od varijanti potpuno određena prvim objektom u nizu. Izbor optimalne varijante vrši se na osnovu čiste sadašnje vrednosti koja se proračunava za svaku od varijanti.

Razvijeni modeli su u potpunosti prilagođeni primeni odgovarajućeg softvera, tako da se svi proračuni mogu obaviti u kratkom vremenu, uz minimalne troškove.

#### Literatura:

- [1] Transport of dangerous goods, OUN, 1985.
- [2] Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, American Institute of Chemical Engineers, N. Y., 1985.

## Zaključak

U okviru rada predložen je postupak koji obezbeđuje izbor optimalne strukture i rasporeda objekata u podzemnom skladištu opasnih materija klase 1. Proces optimizacije zasnovan je na ekonomskim pokazateljima funkcionalnosti skladišta koji obuhvataju: investicije, manipulativne troškove i troškove povezane sa spontanom destrukcijom sadržaja u nekom od objekata.

Optimizacija se sprovodi generisanjem više varijanti veličina i rasporeda objekata, pri čemu je svaka od varijanti određena položajem prvog objekta u nizu. Izbor optimalne varijante vrši se na osnovu čiste sadašnje vrednosti koja se proračunava za svaku od varijanti.

Razvijeni model je u potpunosti prilagođen jednostavnoj izradi odgovarajućeg softvera, tako da se svi proračuni mogu obaviti u realnom vremenu, uz minimalne troškove.

- [3] Stojanović, D.: Zaštita od požara i eksplozija, Institut zaštite od požara i eksplozija, Sarajevo, 1988.

## IZRAČUNAVANJE EKVIVALENTNE SPEKTRALNE RADIJANSE LETELICE

UDC: 629.7.01:537.872.001.575

### Rezime:

U radu je prikazan matematički model za izračunavanje ekvivalentne spektralne radijanse letelice. Letelica predstavlja izuzetno složen izvor infracrvenog zračenja. U svim režimima leta karakteristična je velika koncentracija aktivne snage motora, praćena neprekidnom emisijom IC zračenja. Osim toga, pri letu velikim brzinama, usled aerodinamičkog trenja vazdušne struje, dolazi do znatnog zagrevanja obloge letelice, čije zračenje, takođe, spada u IC područje i bitno utiče na stanje termalne slike. Posebno su razmatrane emitovane i reflektovane spektralne radijanse elementarnih površina letelice.

**Ključne reči:** infracrveno zračenje letelice, spektralna radijansa, ekvivalentna spektralna radijansa, termalna slika letelice.

## CALCULATION OF THE EQUIVALENT SPECTRAL AIRCRAFT RADIANCY

### Summary:

A mathematical model for the calculation of the equivalent spectral aircraft radiancy is presented. An aircraft is an extremely complex infrared radiation source. All flight modes are characterized by a high concentration of engine active power followed by constant emission of infrared radiation. Besides, at high speeds, aerodynamic friction provokes significant heating of aircraft covering; its radiation also belongs to infrared area and influences considerably thermal imagery state. Emitted and reflected radiances of primary aircraft surfaces are treated separately.

**Key words:** aircraft infrared radiation, spectral radiancy, equivalent spectral radiancy, aircraft thermal imagery.

### Uvod

Proces formiranja termalne slike letelice veoma je kompleksan zbog razmene toplote između delova letelice, razmene energije između letelice i okoline i uticaja atmosfere na prenos elektromagnetne energije od letelice do detektora [1].

Za sistem praćenja letelica predstavlja pokretni cilj koji se nalazi u

atmosferi i istovremeno predstavlja medijum za prenos energije od letelice do sistema za praćenje.

Na slici 1 prikazana je letelica u letu i procesi koji nastaju pri formiranju termalne slike letelice. To su, pored sopstvenog zračenja letelice, komponente zračenja Sunca, neba i površine Zemlje reflektovane od letelice. U detektor, takođe, dospeva zračenje i drugih objekata. Na primer, zračenje oblaka, koji se nalaze u njegovom vid-

nom polju, sopstveno zračenje atmosfere i zračenja koja se nakon rasejanja na molekulima atmosfere i aerosola usmeravaju ka detektoru. Pri prolasku kroz atmosferu, na svom putu ka detektoru, zračenja slabe, usled apsorpcije i rasejanja u atmosferi. Avion u letu predstavlja složeni izvor zračenja u infracrvenom delu spektra.

U opštem slučaju, infracrveno zračenje (IC zračenje) potiče od dva fizička procesa, i to:

— termalnog zračenja zagrejanih površina i elementata strukture aviona, koji se može dobro opisati modelom zračenja sivog tela,

— zračenja gasova, koji potiču od vrelih produkata sagorevanja iz reaktivnog motora.

Ovaj proces se ne može kvalitetno opisati jednostavnim matematičkim

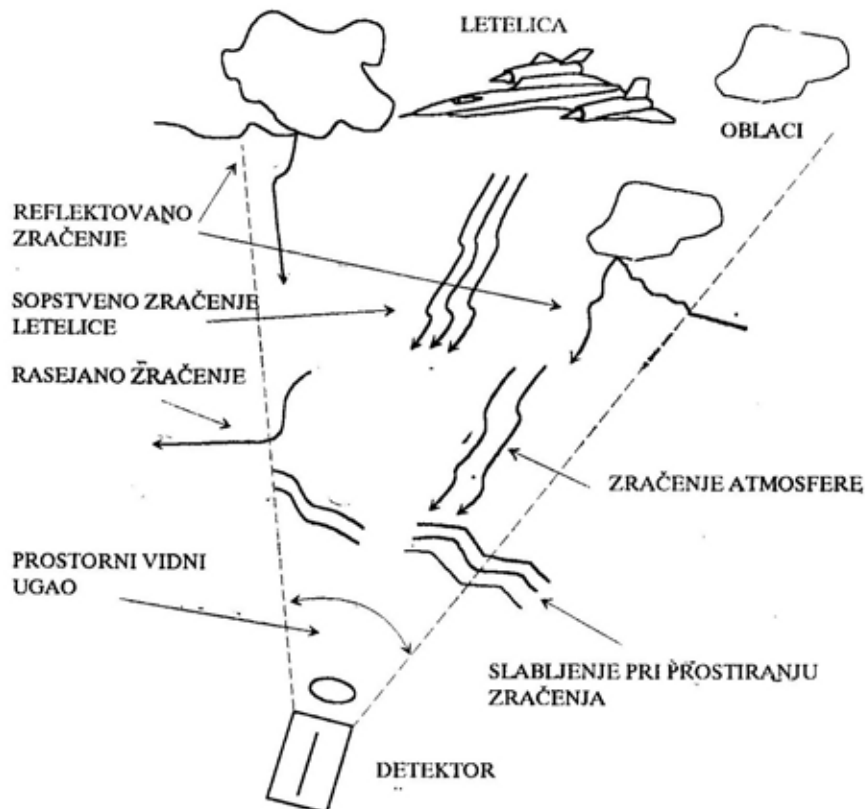
modelom. Tako se analize te vrste zračenja, uglavnom, zasnivaju na eksperimentalno dobijenim podacima.

U ovom delu analize posmatra se samo avion kao izvor IC zračenja, kako bi se dobili kvantitativni podaci o temperaturama, talasnim dužinama i izračevoj energiji koja će se kasnije upotrebiti za interpretaciju eksperimentalno dobijenih podataka u uslovima prostiranja kroz atmosferu.

### Ekvivalentna spektralna radijansa na mestu letelice

Ako se pretpostavi da ne postoji zračenje Sunca, ekvivalentna spektralna radijansa na mestu letelice je:

$$L_{\lambda}^e = L_{\lambda}^l + L_{\lambda}^g + L_{\lambda}^a \quad (1)$$



Sl. 1 — Parametri koji utiču na formiranje termalnog odraza letelice

gde su:

- $L_{\lambda}^e$  — ekvivalentna spektralna radijansa na mestu letelice,
- $L_{\lambda}^l$  — spektralna radijansa emitovana sa površine letelice,
- $L_{\lambda}^g$  — spektralna radijansa površine Zemlje reflektovana od površine letelice,
- $L_{\lambda}^n$  — spektralna radijansa neba reflektovana od površine letelice.

Ekvivalentna spektralna radijansa na udaljenosti  $R$  od letelice je:

$$L_{\lambda R}^e = \tau_{\lambda}(R) L_{\lambda}^e + L_{\lambda}^a \quad (2)$$

gde je:

- $\tau_{\lambda}(R)$  — transmitivnost atmosfere u funkciji rastojanja  $R$ ,
- $L_{\lambda}^a$  — spektralna radijansa atmosfere.

Snaga koja pada na površinu prijemne optike u jediničnom opsegu talasnih dužina iznosi [2]:

$$\Phi_{\lambda} = \iint_{A_1 A_2} L_{\lambda R}^e d^2F \quad (3)$$

gde je:

$d^2F$  — faktor konfiguracije [3]. Faktor konfiguracije između elementarnih površina letelice  $dA_1$  i prijemne optike  $dA_2$ :

$$d^2F = \frac{dA_1 \cos\Theta_1 dA_2 \cos\Theta_2}{R^2} \quad (4)$$

gde je:

$\Theta_1$  i  $\Theta_2$  — uglovi između pravca rastojanja  $R$  i normala elementarnih površina  $dA_1$  i  $dA_2$ , respektivno kao što je prikazano na slici 2.

Ako se pretpostavi da se površina prijemne optike ne menja i da je  $\Theta_2 = 0$  dobija se iz (3) i (4) izraz:

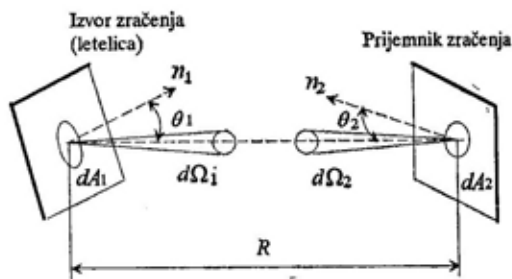
$$\Phi_{\lambda} = A_0 \int_{A_1} L_{\lambda R}^e \frac{dA_1 \cos\Theta_1}{R^2} \quad (5)$$

gde je:

$A_0$  — ukupna površina prijemne optike. U relaciji  $\frac{dA_1 \cos\Theta_1}{R^2}$

predstavlja elementarni prostorni ugao pod kojim se vidi elementarna površina  $dA_1$ , pa se izraz iz (5) može napisati u obliku:

$$\Phi_{\lambda} = A_0 \int_{\Omega_D} L_{\lambda R}^e d\Omega, \quad (6)$$



Sl. 2 — Šematski prikaz faktora konfiguracije

gde je:

$\Omega_D$  — prostorni ugao detektora.

Napon na izlazu detektora može se izraziti prema [2]:

$$V = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_{\lambda} [A_0 \int_{\Omega_D} L_{\lambda R}^e d\Omega] d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_{\lambda} \Phi_{\lambda} d\lambda \quad (7)$$

gde je:

- $\lambda_1 - \lambda_2$  — opseg talasnih dužina u kojem radi detektor,
- $R_{\lambda}$  — spektralna osetljivost detektora.

Spektralna osetljivost detektora definiše se kao [5]:

$$R_{\lambda} = \frac{D_{\lambda} \cdot V_n}{\sqrt{A_d B}} \quad (8)$$

gde je:

- $D_{\lambda}$  — spektralna detektivnost detektora,
- $V_n$  — napon šuma detektora,
- $A_d$  — efektivna površina detektora,
- $B$  — propusni opseg detektora.

### Spektralna radijansa letelice

Modeliranje spektralne radijanse letelice u osnovi je modeliranje temperature i emisivnosti površine letelice.

Kako je ranije pokazano, letelica zrači kao složeni izvor, jer zrače aerodinamičke površine, topli delovi motora i mlaz izduvnih gasova. Drugim rečima, radijansa letelice se u svakoj tački može predstaviti kao funkcija emisivnosti i temperature:

$$L^{\lambda}_{i,j} = F(\epsilon_{i,j}, T_{i,j})$$

gde su:

- $i, j$  — koordinate elementarnih površina na letelici.

Ako je letelica sivi difuzni radiator, važi:

$$L^{\lambda}_{i,j} = \frac{\epsilon_{i,j} C_1'}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_{i,j}}\right) - 1 \right]} \quad (9)$$

gde je:

$$C_1' = C_1 / \pi = 1,19096 \cdot 10^8 \text{ Wm}^{-2} \mu\text{m}^4 \text{ sr}^{-1},$$

$$C_2 = 1,43881 \cdot 10^4 \text{ K} \cdot \mu\text{m}.$$

Drugim rečima, površina letelice može se podeliti na elementarne površine i svaka definisati srednjom vred-

nosti temperature  $T_{i,j}$  i ukupne emisivnosti  $\epsilon_{i,j}$ . Poznato je da  $\epsilon_{i,j}$  zavisi od temperature i talasne dužine.

### Reflektovane spektralne radijanse

Reflektovane spektralne radijanse  $L_{\lambda}^g$  i  $L_{\lambda}^n$  površine Zemlje i neba, od površine letelice mogu se odrediti na osnovu faktora konfiguracije između površine letelice i površine Zemlje i neba, respektivno.

Spektralna radijansa površine Zemlje, kao difuznog radijatora, data je relacijom:

$$L_{\lambda g} = \frac{C_1'}{\lambda^5} \cdot \frac{\epsilon_{\lambda g}}{\left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_g}\right) - 1 \right]} \quad (10)$$

gde je:

- $\epsilon_{\lambda g}$  — spektralna emisivnost površine Zemlje,
- $T_g$  — temperatura površine Zemlje.

U relaciji (10) emisivnost, temperatura, pa i spektralna radijansa jesu funkcije koordinata na Zemlji. Pored toga, to su statičke slučajne veličine, koje zavise od godišnjeg doba, doba dana, sastava tla i vegetacije [6].

Reflektovana spektralna radijansa od površine letelice, koja potiče od površine Zemlje  $L_{\lambda}^g$  data je relacijom [4]:

$$L_{\lambda}^g = \frac{E_{\lambda}^g}{\pi} \cdot \rho_{\lambda} \quad (11)$$

gde je:

- $E_{\lambda}^g$  — spektralna iradijansa na površini letelice, koja potiče od površine Zemlje,
- $\rho_{\lambda}$  — spektralna refleksivnost letelice.

Spektralna iradijansa  $E_{\lambda}^g$  na površini letelice može se odrediti kao:

$$E_{\lambda}^g = \frac{\Phi_{\lambda}^g}{A} \quad (12)$$

gde je:

$\Phi_{\lambda}^g$  — snaga zračenja Zemlje koja pada na površinu letelice,  
 $A$  — površina letelice.

Na osnovu relacije (3), (4) i slike 2 određuje se snaga  $\Phi_{\lambda}^g$

Za jednu proizvoljnu elementarnu površinu na letelici  $A_{i,j}$ , reflektovana spektralna radijansa  $L_{\lambda,i,j}^g$  dobija se prema izloženom postupku:

$$\Phi_{\lambda,i,j}^g = \int_{\Lambda_g} \int_{A_{i,j}} L_{\lambda,g} \cdot \tau_{\lambda}(H) \cdot \frac{dA_g \cos \Theta_g \, dA_{i,j} \cos \Theta_{i,j}}{H^2} \quad (13)$$

gde je:

$\tau_{\lambda}(H)$  — spektralna transmitivnost atmosfere na rastojanju  $H$  od površine Zemlje do elementarne površine letelice.

Elementarne površine na letelici su konstantne, pa je spektralna iradijansa na površini  $A_{i,j}$  data relacijom:

$$E_{\lambda,i,j}^g = \frac{\Phi_{\lambda,i,j}^g}{A_{i,j}} = \int_{\Lambda_g} L_{\lambda,g} \tau_{\lambda}(H) \cdot \frac{\cos \Theta_g}{H^2} \cdot dA_g \quad (14)$$

Na osnovu relacije (11) dobija se reflektovana spektralna radijansa sa elementarne površine letelice  $A_{i,j}$ , koja potiče od površine Zemlje.

$$L_{\lambda,i,j}^g = \int_{\Lambda_g} L_{\lambda,g} \tau_{\lambda}(H) \cdot \rho_{\lambda,i,j} \cdot \frac{dA_g \cos \Theta_g}{\pi H^2} \quad (15)$$

Za konstantnu vrednost  $L_{\lambda,g}$  i za površinu na Zemlji koja se vidi sa elementarne površine letelice  $A_{i,j}$  dobija se:

$$L_{\lambda,i,j}^g = L_{\lambda,g} \cdot \tau_{\lambda}(H) \cdot \rho_{\lambda,i,j} \cdot \frac{\Omega_{g,i,j}}{\pi} \quad (16)$$

gde je:

$\Omega_{g,i,j}$  — prostorni vidni ugao elementarne površine  $A_{i,j}$ , pod kojim se vidi površina  $A_g$  na Zemlji.

Konačni izraz za reflektovanu spektralnu radijansu elementarne površine  $A_{i,j}$  je istog oblika kao u literaturi [7] i dat je relacijom:

$$L_{\lambda,i,j}^g = L_{\lambda,g} \cdot \tau_{\lambda}(H) \cdot (1 - \varepsilon_{\lambda,i,j}) \cdot (V_{g-1})_{i,j} \quad (17)$$

gde je:

$(V_{g-1})_{i,j} = \frac{\Omega_{g,i,j}}{\pi}$  — faktor koji uzima u obzir šta se vidi sa elementarne površine letelice na površini Zemlje.

U relaciji (17) iskorištena je činjenica da je površina letelice od metala, pa je spektralna reflektivnost elementarne površine  $\rho_{\lambda,i,j} = 1 - \varepsilon_{\lambda,i,j}$ .

Analognim postupkom određuje se spektralna radijansa neba reflektovana od površine letelice.

$$L_{\lambda,i,j}^g = \frac{C_1'}{\lambda^5} \cdot \frac{\varepsilon_{\lambda n}}{\left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_n}\right) - 1 \right]} \cdot \rho_{\lambda,i,j} \cdot \tau_{\lambda}(d) \cdot (V_{n-1})_{i,j} \quad (18)$$

gde je:

$\varepsilon_{\lambda n}$  — spektralna emisivnost neba,  
 $T_n$  — srednja vrednost temperature neba,



- $\tau_\lambda(d)$  — spektralna transmitivnost u funkciji daljine (d) od neba do letelice,
- $(V_{n-i})_{i,j}$  — faktor koji uzima u obzir odnos elementarne površine letelice i površine neba.

$$(V_{n-i})_{i,j} = \frac{\Omega_{ni,j}}{\pi} \quad (19)$$

gde je:

- $\Omega_{ni,j}$  — prostorni vidni ugao elementarne površine  $A_{i,j}$  pod kojim se vidi površina  $A_n$  na nebu.

### Spektralna radijansa atmosfere

Atmosfera kao prenosni medijum, ekvivalentne spektralne radijanse  $L_\lambda^e$  na mestu letelice, selektivno slabi, odnosno selektivno transmituje zračenje  $\tau_\lambda < 1$  i istovremeno zrači  $L_\lambda^a$ . Transmittivnost atmosfere je statička veličina, ali se dosta dobro opisuje deterministički, [9]:

$$\tau_\lambda = 1 - \sigma(\lambda) \cdot R \quad (20)$$

gde je:

- $\sigma(\lambda)$  — ukupno podužno slabljenje u jediničnom opsegu talasnih dužina, zbog apsorpcije i rasejanja zračenja,
- R — rastojanje od letelice do detektora.

Spektralna radijansa atmosfere može se aproksimirati relacijom [8].

$$L_\lambda^a = \frac{(1 - \tau_a) C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_a}\right) - 1 \right]} \quad (21)$$

gde je:

$$1 - \tau_\lambda = \varepsilon_\lambda \text{ za } \rho_\lambda \approx 0,$$

$T_a$  — srednja vrednost temperature vazduha.

### Zaključak

Proces formiranja termalne slike letelice u prostoru veoma je komplikovan. Avion u letu predstavlja izuzetno složen izvor zračenja u IC delu spektra.

Termalno zračenje zavisi od tipa letelice, režima rada, parametara leta, tehnologije konstrukcije i vrste materijala. Pored toga, bitan uticaj imaju i ostali parametri dati na slici 1, a posebno je izražen uticaj atmosfere na prostiranje optičkog zračenja.

Letelica je nepravilnog oblika pa se njeni pojedini delovi različito zagrevaju u letu, tako da se pri formiranju termalne slike moralo početi od modela elementarnih površina proizvoljne orijentacije i različitih temperatura ( $dA_{i,j}$ ;  $T_{i,j}$ ), gde su  $i,j$  koordinate elementarnih površina na letelici.

Da bi se izračunala elementarna spektralna radijansa na mestu letelice mora se izračunati spektralna radijansa koja potiče sa površine same letelice, spektralna radijansa površine Zemlje reflektovana od površine letelice i spektralna radijansa koja potiče od neba, a reflektuje se od površine letelice. Podatak o ekvivalentnoj spektralnoj radijansi letelice neophodan je da bi se mogla izračunati ukupna iradijansa na mestu detektora termovizijskog sistema.

*Literatura:*

- [1] Electro-Optical Research Company: Quantification of atmospheric constituents and parameter measurements, Report No EOR-166-75-F prepared for US Army, Night Vision Laboratory, 1975.
- [2] Barbarić, Z., Marinčić, A., Petrović, G., Milovanović, D.: Thermal-image generation by line-scanning technique: a new computer model, *Applied Optics*, Vol. 33, No 14, 1994.
- [3] Bursać, S.: Analiza primene optoelektronskih sredstava na nišanske uređaje sa posebnim osvrtom na korišćenje termovizijskih sistema, Magistarski rad, ETF Beograd, 1991.
- [4] Gaussorgues, G.: La thermographie infrarouge, Prevod sa francuskog na ruski, Mir, Moskva, 1988.
- [5] Hudson, R. D.: Infrared system engineering, J Wiley and Sons, New York, 1969.
- [6] Barbarić, Z.: Prilog metodama za analizu i obradu signala termalne slike formirane linijskim skeniranjem, Doktorska disertacija, ETF Beograd, 1994.
- [7] Dovies, P. A. W., Phillips, P. L., Seovle, S. D.: Measurement of aircraft detectability by using simulated infra red (IR) surveillance Equipment, *SPIE Vol. 807, Passive infrared Systems and Tehnology*, pp 73-78, 1987.
- [8] Goedecke, GH, New Mexico State University: The use of simple observables to predict extinction coefficients of atmospheric aerosols, Report prepared for Army Research Office-Durhan, 1975.
- [9] Bursać, S., Sarić, S.: Modernizacija nišanskih sredstava PVO, SSNO, Izveštaj 144-122, Beograd, 1989.
- [10] Bursać, S.: Istraživanje termalnog odraza letelice, Doktorska disertacija, VTA, Beograd, 1995.

Dr Predrag Petrović,  
dipl. inž.

Ljubiša Marković,  
dipl. inž.

Dr Slobodan Janković,  
dipl. inž.  
Institut IMR, Beograd

## ISPITIVANJE FUNKCIONALNIH KARAKTERISTIKA ELEKTROOPREME DIZEL-MOTORA

UDC: 621.436.1-523.004.53

### Rezime:

*U okviru tehnološkog razvoja proizvodnje alternatora, elektropokretača i automatskih zagrejača konceptijski je realizovan probni sto za razvojno-kontrolna ispitivanja elektro-mehaničkih karakteristika. Savremeno izvedeni merni sistem omogućava trenutno registrovanje osnovnih parametara, koji karakterišu funkcionalne karakteristike alternatora, elektropokretača i automatskih zagrejača.*

*U radu je ukratko prikazan koncept ovih električnih uređaja, merne instalacije i dobijeni rezultati ispitivanja.*

*Ključne reči: uređaji, alternator, elektropokretač, automatski zagrejač, funkcionalne karakteristike.*

## TESTING OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINE ELECTRICAL EQUIPMENT

### Summary:

*During technological development in the production of alternators, starters and automatic heaters, the concept of test bench for development and control testing of electromechanical properties has been realized. A modern measuring system enables instantaneous registration of basic parameters concerning the functional characteristics of alternators, starters and automatic heaters. The above electrical devices, measuring installations and the obtained testing results are briefly outlined in the paper.*

*Key words: electrical devices, alternator, starter, automatic heater, functional characteristics.*

### Uvod

Proizvodnja komponenata elektroopreme motora, kao što su alternatori, elektropokretači, automatski zagrejači, razni davači i sl. bila je isključivo izvan sadašnje SR Jugoslavije. Radi supstitucije uvoznih komponenata realizovan je tehnološki razvoj alternatora, elektropokretača, automatskih zagrejača i uređaja za razvojno-kontrolna ispitivanja njihovih elektro-mehaničkih karakteristika. Te karakteristi-

ke kod alternatora su: nazivna jačina struje, napon, pobudna i maksimalna (trajna i trenutna) brzina obrtanja, karakteristika regulatora i dr. Konceptija uređaja omogućava i ispitivanje pouzdanosti alternatora.

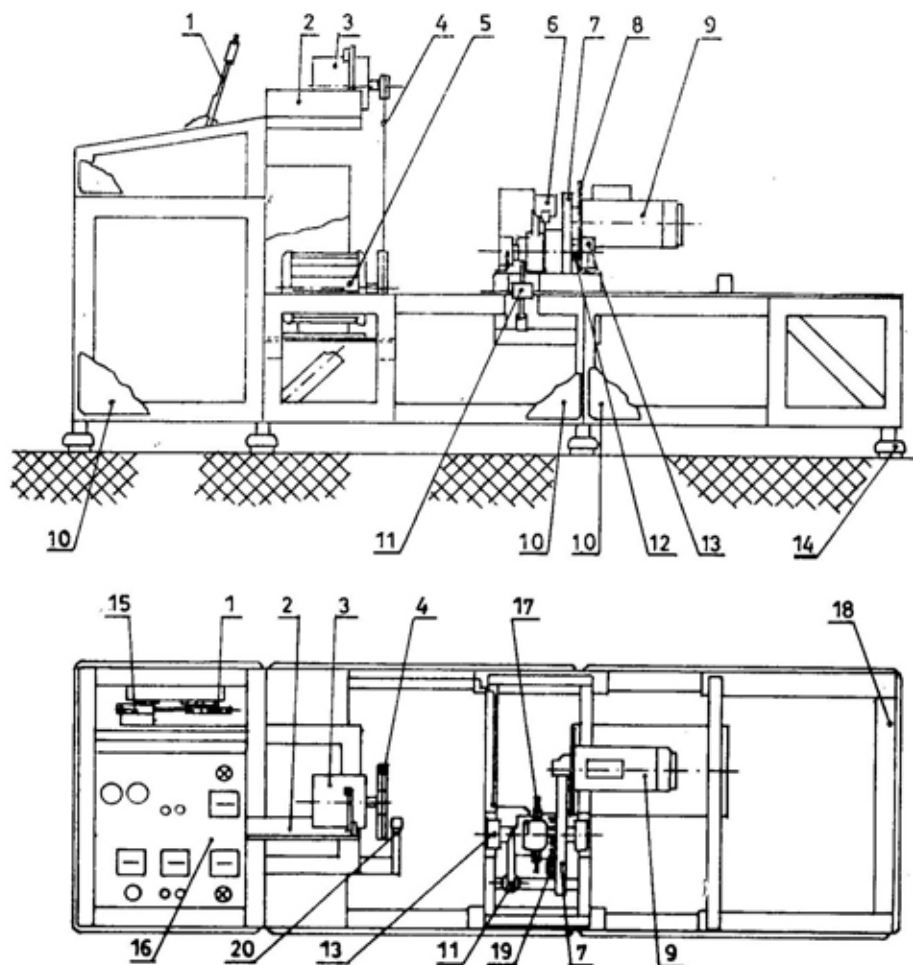
Kod elektropokretača to su: napon, broj obrtaja, snaga i moment u funkciji od jačine struje. Kod automatskih zagrejača to su: protok, odnosno vreme protoka goriva, jačina struje, napon i oblik plamena.

## Konceptija uređaja za ispitivanje alternatora i elektropokretača

Konceptija uređaja za ispitivanje alternatora i elektropokretača prikazana je na slici 1.

## Ispitivanje alternatora

Alternator je generator naizmenične struje sa ugrađenim ispravljačem, namenjen za napajanje potrošača električnom energijom i dopunjavanje akumulatorske baterije.

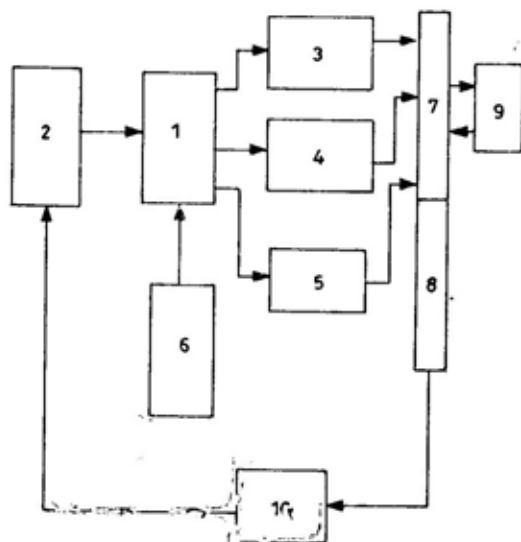


Sl. 1 — Konceptija uređaja za ispitivanje alternatora i elektropokretača:

1 — ručica kočnice; 2 — nosač alternatora; 3 — ispitivani alternator; 4 — kaišni prenos; 5 — pogonski elektromotor; 6 — cilindar sa kleštima; 7 — zamajac sa vencem; 8 — nosač elektropokretača; 9 — ispitivani elektropokretač; 10 — kapotaža probnog stola; 11 — davač sile; 12 — vratilo; 13 — kućište ležaja; 14 — elastični oslonci; 15 — primarni cilindar; 16 — instrument-tabla; 17 — disk-kočnice; 18 — postolje probnog stola; 19 — davač broja obrtaja elektropokretača; 20 — davač broja obrtaja alternatora

Svaki alternator mora imati trajno označene: naziv i zaštitni znak proizvođača, tip (oznaka proizvođača), nazivni napon i nazivnu jačinu struje, datum proizvodnje i serijski broj.

Blok-šema merne instalacije za ispitivanje alternatora prikazana je na slici 2.



Sl. 2 — Blok-šema instalacije za ispitivanje alternatora:

1 — alternator; 2 — elektromotor; 3 — priključak za merenje jačine struje (šant 60 mV/1150 A); 4 — priključak za merenje napona (razdelnik na ulazu u konvertor); 5 — priključak za merenje brzine; 6 — otporne kutije za električno opterećenje; 7 — A/D 12-bitni konvertor; 8 — D/A konvertor; 9 — 486 DX2/66 Mhz; 10 — frekventni regulator broja obrtaja elektromotora upravljiv računom

Funkcionalne karakteristike alternatora su:

— jačina struje alternatora sa pripadajućim regulatorom i odgovarajućim naponom,  $I=f(n)$  mora odgovarati zahtevima proizvođača. Nakon zagrevanja alternatora meri se strujna karakteristika u zavisnosti od brzine obrtanja pri regulisanom naponu (reguliše se pomoću otpornika za opterećenje). Brzina obrtanja meri se od pobudne brzine obrtanja do maksimalne trajne brzine. Vreme trajanja snimanja

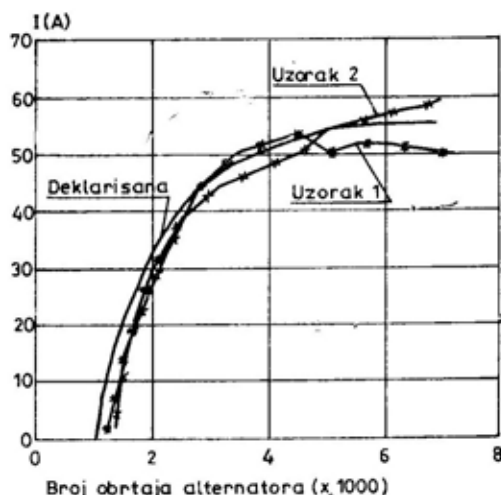
karakteristike  $I=f(n)$  ne sme da bude duže od 30 s, i može da se izvede pomoću automatske regulacije brzine obrtanja alternatora i regulisanog napona. Zapis mernih veličina i akvizicija podataka vrši se pomoću računara;

— pobudna brzina obrtanja.

Alternator sa pripadajućim regulatorom u nezagrejanom stanju montira se na probni sto prema šemi na sl. 2. U toku 30 minuta alternator se opterećuje maksimalnom jačinom struje pri nazivnom naponu koji se reguliše pomoću otpornika za opterećenje. Nakon 30 minuta rada alternator se zaustavlja pri isključenom otporniku za opterećivanje, povećava se brzina obrtanja alternatora od brzine kod koje alternator počinje da daje struju. Merenje se izvodi 30 s nakon zaustavljanja;

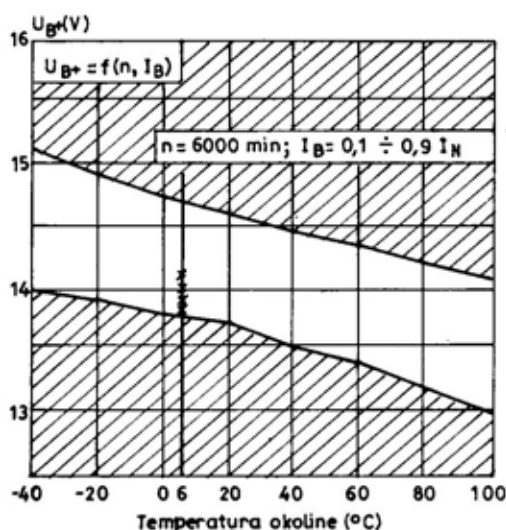
— regulator je predviđen za rad u sklopu sistema bez kontrolnog alternatora i mora regulisati napon alternatora u granicama nazivnog.

Karakteristika regulatora mora da zadovolji predviđeni temperaturni opseg alternatora. Pri odgovarajućoj temperaturi promena jačine struje na priključku B\*, u rasponu  $I_n=(0,1 \text{ do } 0,9)I_n$ , pri  $n=6000 \text{ min}^{-1}$ , meri se napon na priključku  $U_B$  koji treba da bude u okviru karakteristike regulatora.



Sl. 3 — Strujna karakteristika alternatora

Primenom navedenih uslova ispitivanja strujne karakteristike i karakteristike regulatora, izvršena su ispitivanja alternatora čiji su rezultati prikazani na slici 3 i 4.



Sl. 4 — Karakteristika regulatora

— provera zagrejanosti alternatora vrši se merenjem temperature kućišta ( $T_k$ ), zaštitnih limenih obloga ( $T_L$ ) i dioda ( $T_d$ ). Merenje se obavlja svakih 30 minuta pri brzini obrtanja  $n=4000 \pm 500 \text{ min}^{-1}$ , u intervalu rada od tri sata. Izmerene temperature prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1

Zagrejanost alternatora

Časovi rada	$T_d(^{\circ}\text{C})$	$T_k(^{\circ}\text{C})$	$T_L(^{\circ}\text{C})$
Početno stanje	9,8	10	10,2
1h	88,5	74,8	75,2
1,5h	90,6	78	84,0
2h	90,9	77,5	84,7
2,5h	90,9	77,5	84,4
3h	91	77,8	84,4

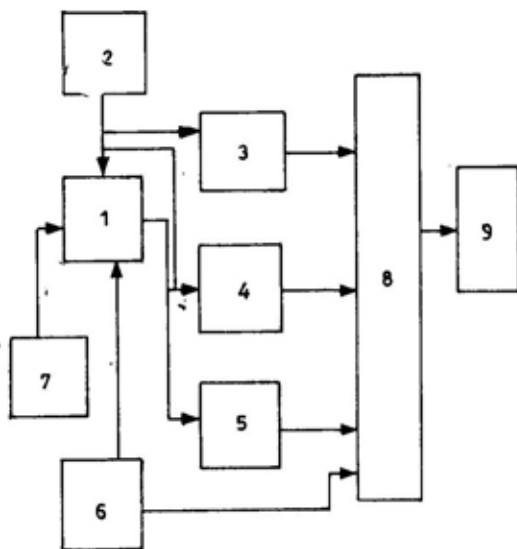
Pored navedenih mogu se ispitati i druge karakteristike, kao što su: smer obrtanja, električna otpornost po-

budnog i statorskog namotaja, maksimalna brzina obrtanja, dielektrična izdržljivost izolacije, i dr. Najvažnije karakteristike alternatora date su u tabeli 2.

### Ispitivanje elektropokretača

Elektropokretač je namenjen za pokretanje kolenastog vratila pri startovanju motora. To je serijski elektromotor jednosmerne struje predviđen za kratkovremeni rad. Za funkcionisanje koristi jednosmernu struju od akumulatora. Svaki elektropokretač mora imati trajno označene: naziv i zaštitni znak proizvođača; tip (oznaka proizvođača), nazivni napon, nazivnu snagu i broj zubača; oznaku smeru obrtanja; oznaku svih priključaka, datum proizvodnje; serijski broj.

Blok-šema merne instalacije za ispitivanje elektropokretača data je na slici 5.



Sl. 5 — Blok-šema instalacije za ispitivanje elektropokretača:

1 — elektropokretač; 2 — akumulator; 3 — merenje jačine struje merenjem pada napona na šantu 60 mV/1500 A; 4 — merenje promene napona na akumulatoru (razdelnik); 5 — merenje brzine (optička jedinica); 6 — merenje opterećenja; 7 — mehaničko opterećenje — hidraulična kočnica; 8 — 12-bitni A/D konvertor; 9 — PC 486 DX2/66 MHz.

## Karakteristike alternatora

Red. br.	Naziv karakteristike	Vrednost
1.	Nazivni napon	12 V
2.	Nazivna jačina struje	50 A
3.	Pobudna brzina obrtanja	$\leq 900 \text{ min}^{-1}$
4.	Maksimalna brzina obrtanja (trajna)	$11000 \text{ min}^{-1}$
5.	Maksimalna brzina obrtanja (kratkotrajna)	$12000 \text{ min}^{-1}$
6.	Brzina zagrevanja	$2500 \text{ min}^{-1}$
7.	Kondenzator	—
8.	Maksimalna temperatura regulatora	$110^{\circ}\text{C}$
9.	Masa alternatora	4,5 kg
10.	Hlađenje	vazdušno — protočno
11.	Klasa izolacije	H
12.	Radna temperatura okoline	$-30^{\circ}\text{C}$ do $100^{\circ}\text{C}$
13.	Električna otpornost pobudnog namotaja	$3,3 \pm 0,33 \ \Omega$
14.	Električna otpornost statorskog namotaja	$0,035 \pm 0,01 \ \Omega$
15.	Broj polova	14
16.	Smer obrtanja	levi i desni

Najvažnije funkcionalne karakteristike elektropokretača su:

— napon napajanja elektropokretača iznosi 12 do 14 V. Pri opterećenju napon je određen pravom linijom, koja u koordinatnom sistemu jačina struje — napon prolazi kroz sledeće tačke, mereno na električnim priključcima elektropokretača, za  $I_0=0$ ,  $U_0=13,26 \text{ V}$ , a za  $I_1=600 \pm 10 \text{ A}$ ,  $U_1=9 \text{ V}$ ;

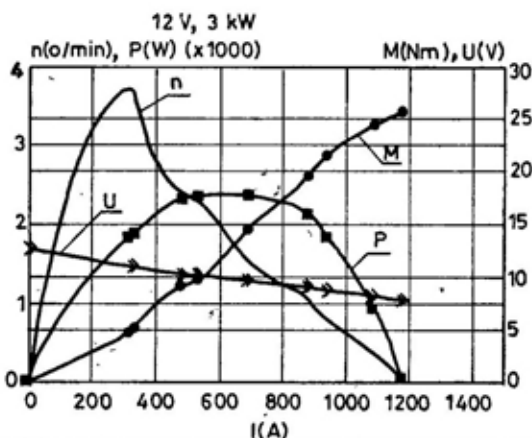
— jačina struje na praznom hodu elektropokretača u nezagrejanom stanju, pri naponu 12 V, mora biti  $\leq 80 \text{ A}$ ;

— jačina struje elektropokretača sa fiksnim rotorom, pri napajanju iz izvora, mora biti  $\leq 1200 \text{ A}$ ;

— elektropokretač stabilizovan na temperaturi okoline mora imati bolju ili jednaku karakteristiku  $(P, n, M) = f(I)$ .

Rezultati ispitivanja elektropokretača prikazani su na slici 6.

Najvažnije karakteristike elektropokretača date su u tabeli 3.



	0	320,55	333,98	476,8	530,51	690,43	880,86	937,01	1084,71	1177,49	
n(o/min)x(1000)	0	3,733	3,545	2,413	2,316	1,555	1,052	0,818	0,382	0,021	
M(Nm)	0	4,79	5,13	9,28	9,77	14,6	19,53	21,58	24,37	25,78	
P(kW)	0	1,78	1,902	2,343	2,367	2,375	2,15	1,848	0,973	0,057	
I(A)	U(V)	12,5	10,98	10,89	10,29	10,19	9,57	8,95	8,68	8,2	7,87

Sl. 6 — Elektro-mehaničke karakteristike elektropokretača

Tabela 3

Karakteristike elektropokretača

Red. br.	Naziv karakteristike	Vrednost
1.	Nazivni napon	12 V
2.	Nazivna snaga	3 kW
3.	Akumulator	12 V; 193 Ah
4.	Minimalni pad napona akumulatora	za 1100A; 0,6 V
5.	Maksimalna dozvoljena gustina struje	20 A/mm <sup>2</sup>
6.	Nazivna jačina struje prekidača	I <sub>V+D</sub> < 62 A
7.	U <sub>k</sub> , I <sub>k</sub> , M <sub>k</sub> kod ukočenog elektropokretača	U <sub>k</sub> = 6,6 ± 0,1 V I <sub>k</sub> ≤ 1200 A M <sub>k</sub> ≥ 46 Nm
8.	Pri naponu 9,2 V i jačini struje I <sub>1</sub> = 600 ± 10 A	M <sub>1</sub> ≥ 90 A n <sub>0</sub> ≤ 8000 min <sup>-1</sup>
9.	Pri praznom hodu (bez zamajca)	I <sub>0</sub> ≤ 90 A n <sub>0</sub> ≤ 8000 min <sup>-1</sup>
10.	Napon izdržljivosti izolacije od 500 V	t = 60 s
11.	Minimalno napajanje pri izbacivanju zupčanika	U = 8,5 V
12.	Broj zubaca	10
13.	Smer okretanja	desni

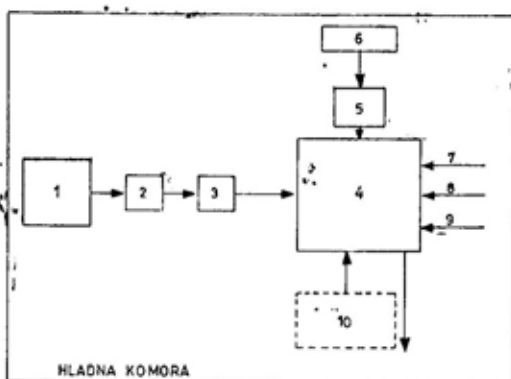


## Ispitivanje automatskog zagrejača

Automatski zagrejač omogućava zagrevanje vazduha u usisnoj grani, a time i olakšano startovanje motora, pri niskim temperaturama. Promenljivost uslova rada, kao i ulaznih parametara uslovljava njegove tehničko-funkcionalne karakteristike. Zbog toga je za ispitivanje automatskih zagrejača veoma važna tehnička opremljenost laboratorije, odnosno merno-regulaciona oprema. Zavisnost izlaznih veličina i funkcije efektivnosti je mnogostruka, ali u kvalitativnom smislu može se svesti na tvrđenje da su izlazne veličine toliko niže koliko su komponente efektivnosti i funkcije efektivnosti u celini niže.

Na slici 7 prikazana je blok-šema uređaja za ispitivanje funkcionalnih karakteristika i pouzdanosti automatskih zagrejača, u uslovima atmosferske temperature (A) i uslovima sniženih temperatura (B).

Izvedena merno-regulaciona oprema je fleksibilna prema uslovima ispitivanja, odnosno varijacijama ulaz-



Sl. 7 — Blok-šema mernoregulacione instalacije za ispitivanje automatskih zagrejača: 1 — izvor struje; 2 — osigurač; 3 — prekidač; 4 — kutija za ispitivanje uzoraka; 5 — prekidač; 6 — posuda za gorivo; 7 — kanal za merenje napona; 8 — kanal za merenje jačine struje; 9 — kanal za merenje vremena; 10 — dovod i odvod vazduha

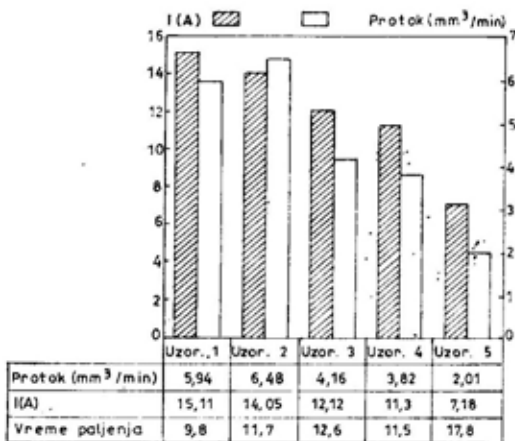
nih parametara (napona, pritiska goriva, temperature okoline, strujanja vazduha, i sl.).

Osnovna metoda za određivanje tehničko-funkcionalnih karakteristika definiše se istovremenim uključenjem kontrolisanog napona na automatskom zagrejaču i dotoka goriva pod određenim pritiskom, uz praćenje jačine struje neophodne za rad zagrejača, vremena paljenja, kao i vremena utroška određene količine goriva.

Pod takvim uslovima prate se karakteristike plamena (veličina, oblik, kvalitet sagorevanja, curenje, i sl.).

Ispitivanja su obavljena na atmosferskim temperaturama  $T_a=16^{\circ}\text{C}$  i  $T_a=10^{\circ}\text{C}$  bez ustrujavanja vazduha i sa ustrujavanjem vazduha ( $Q_1=7,6$  l/s i  $Q_2=12,6$  l/s).

Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 8 ( $U_{\text{const}}=11,5$  V, pritisak goriva  $P=0,3$  bara, gorivo D1).



Sl. 8 — Rezultati osnovnih tehničko-funkcionalnih karakteristika automatskih zagrejača

Rezultati pokazuju da ovakva laboratorijska ispitivanja omogućavaju utvrđivanje relevantnih tehničko-funkcionalnih karakteristika (jačine struje, protoka, vremena paljenja, kvaliteta plamena).

## Zaključak

Iz Projekta »Tehnološki razvoj alternatora i elektropokretača« realizovani su prototipni uzorci alternatora i elektropokretača i uređaja za njihova razvojna i kontrolna ispitivanja.

Uređaj je savremene koncepcije i omogućava komunikaciju sa računarnom, akviziciju podataka i svih relevantnih karakteristika značajnih za pouzdanost i funkcionisanje alternatora i elektropokretača.

Ovako koncipiran uređaj značajan je za proizvođače alternatora i elektropokretača, proizvođače motora i motornih vozila, i službi za održavanje, servisiranje i popravku tih komponenti elektroopreme motora.

Uređaj za ispitivanje automatskih zagrejača omogućava ispitivanje svih relevantnih ulaznih i izlaznih veličina koje čine funkciju automatskog zagrejača na motoru kompleksnom.

Oba uređaja su konstruisana i izrađena u Institutu IMR-a i predstavljaju jednostavno i savremeno rešenje.

## Literatura:

- [1] Laboratorijsko ispitivanje alternatora — (Petrović, P. i dr. — Izveštaj Instituta IMR-a)
- [2] Laboratorijsko ispitivanje elektropokretača — (Petrović, P. i dr. — Izveštaj Instituta IMR-a)
- [3] Eksploataciono ispitivanje alternatora (Izveštaj Instituta IMR-a)
- [4] Standard SNO 7621/90.
- [5] Laboratorijsko ispitivanje automatskih zagrejača — (Petrović, P., Marković, Lj. — Izveštaj Instituta IMR-a)
- [6] Tehnička dokumentacija Perkins

Dr Đorđe Matić,  
pukovnik  
VP 3652 Novi Sad

Dr Dragan Acketa,  
profesor  
Prirodnomatematički fakultet,  
Navi Sad

## FORMIRANJE INICIJALNOG PREDLOGA ZA RASPOREĐIVANJE UČESNIKA OPERATIVNE JEDINICE U RADIO-MREŽE

UDC: 623.61:355.424.3:681.322.06

### Rezime:

U radu je prikazana mogućnost izrade programa rada organa veze u jednoj operativnoj jedinici, a posebno u planiranju i organizovanju veza. Program je pisan u jeziku PROLOG (Programming in Logic). Ugrađena su neka od pravila koje načelnik veze operativne jedinice mora koristiti. Najvažnije od njih odnosi se na raspoređivanje jedinica — učesnika iz sastava operativne jedinice u radio-mreže prema zadatim kriterijumima. Na osnovu željenog broja učesnika po radio-mreži i ukupnog broja radio-uređaja u operativnoj jedinici formira se inicijalni predlog za raspoređivanje u radio-mreže.

**Ključne reči:** radio-mreže, inicijalni predlog, PROLOG, operativna jedinica, načelnik veze.

## FORMULATION OF AN INITIAL PROPOSAL FOR THE DISPOSITION OF OPERATING UNIT PERSONNEL INTO RADIO NETWORKS

### Summary:

The paper presents a possibility to formulate a program of communication personnel work in an operating unit, especially in the domain of planning and organization. The program is written in PROLOG (Programming in Logic). It contains some of the rules which a communication officer has to comply with. The most important one concerns the disposition of participating units from the operating unit into radio networks according to the given criteria. The initial proposal for the disposition into radio networks is formed based on the desired number of participants per radio network and the total number of radio devices in the operating unit.

**Key words:** radio networks, initial proposal, PROLOG, operating unit, communication officer.

### Uvod

Najnovija dostignuća u razvoju programske podrške računarskih sistema, posebno u oblasti veštačke inteligencije, ukazuju na to da je automatizacijom moguće obuhvatiti i kreativne procese. U radu organa veze operativne jedinice to mogu biti sve faze ko-

mandovanja sistemom veza. Pojavom ekspertnih sistema stvoren je alat koji može udovoljiti većini zahteva u efikasnoj upotrebi novih programa — aplikacija za komandovanje.

Jedan od često korišćenih programskih jezika za izgradnju ekspertnih sistema (originalnih), ali i, uopšte, za izradu programa u kojima se prime-

njuje predikatski račun prvog reda, jeste logički programski jezik PROLOG (Programming in Logic). To je i deklarativni programski jezik, a zadatak programera je da specificira šta treba da se dobije za rezultat [5]. Pri tome se koriste logička tvrđenja koja sadrže i proceduralno značenje, a ne samo deklarativno. On daje odgovore na upite u bazi znanja koja je sastavljena od činjenica i pravila. Baza znanja čini najvažniji deo programa; između pravila pisanih u PROLOG-u i pravila u bazi znanja uspostavlja se obostrano jednoznačna korespondencija. PROLOG program sastoji se samo od činjenica i pravila [4]. Za ove dve vrste rečenica, koristi se zajednički naziv *klauzula*. Njima se deklarativno opisuju objekti i relacije među objektima posmatranog domena.

U ovom radu daje se prikaz programa, koji je namenjen za formiranje inicijalnog predloga za raspoređivanje učesnika iz sastava jedne operativne jedinice u radio-mreže. Osnovna karakteristika programa je da se raspoređivanje učesnika u radio-mreže predlaže na osnovu odabranih kriterijuma, broja željenih učesnika po pojedinoj radio-mreži, kao i broja slobodnih radio-uređaja u komandi operativne jedinice.

Programski jezik PROLOG podržava logičko programiranje i primenu pravila zaključivanja. Takve mogućnosti su značajne za rešavanje problema u planiranju i organizovanju veza.

### Model za formiranje inicijalnog predloga

Načelnik veze prilikom planiranja radio-veza za operativne jedinice mora rasporediti jedinice i radio-uređaje u radio-mreže, prema određenim pravilima o organizaciji radio-veza. Osnov za planiranje radio-veza jeste zadatak koji su dobile jedinice i njihovo grupisanje u okviru operativnog raspore-

da. S obzirom na to da protivnik u odnosu na radio-veze stalno vodi protiv-elektronsku borbu treba obezbediti što raznovrsniju organizaciju radio-veza, prvenstveno kroz različito grupisanje jedinica — učesnika u radio-mrežama.

Načelnik veze formira predlog na osnovu:

— odabranog kriterijuma (prema vrsti jedinice, rodu jedinice, pravcu, operativnom — borbenom rasporedu, rastojanju, prioritetu, posebnim name-nama, određivanjem rednog broja mreže);

— planiranog broja učesnika po radio-mreži;

— broja radio-uređaja u komandi operativne jedinice.

U modelu se uzima u obzir samo ukupan broj radio-uređaja u operativnoj jedinici, zato što taj broj predstavlja *gornje ograničenje* za broj radio-mreža koje inicijalni predlog može da sadrži.

Pri formiranju predloga za realizaciju radio-veza koriste se samo *odabrani* podaci iz baze jedinice, oni koji su značajni za radio-vezu.

### Organizacija i korišćenje programa

Osnovni sastavni delovi programa su:

— baza jedinica, njeno formiranje i održavanje,

— meni za izbor kriterijuma i planiranog broja učesnika po radio-mreži,

— formiranje inicijalnog predloga za raspodelu učesnika u radio-mreži (raspodela jedinica po kriterijumu — operativni raspored, formiranje predloga unutar jedinica sa faksim operativnim rasporedom);

— ispis inicijalnog predloga u spoljnu datoteku (kao konačnog rešenja i kao ulaza za program kojim će se predložiti i tehnička realizacija inicijalnog predloga);

— analiza potrebnog broja radio-mreža u odnosu na razne kriterijume i razne planirane brojeve učesnika po radio-mreži;

— procena potrebnog broja radio-mreža (unutar fiksnog operativnog rasporeda i za sve operativne rasporede).

Program za formiranje inicijalnog predloga za raspodelu jedinica u radio-mreže (pod nazivom *JED.ARI*), poziva se iz DOS-a komandom *j <Enter>*. Time se program spaja sa prethodno pripremljenom prološkom bazom (nazvanom *JED.*).

Komandna datoteka *J.BAT* kopira datoteke *JED.* i *JED.ARI* u jedinstveni PROLOG program *J.ARI*. Time se

postize integracija baze podataka i baze pravila (baze znanja).

Prološka baza podataka *JED.* je prethodno pripremljena iz DBASE baze jedinica *JED.DBF* programom *PRO JED.PR*G. Ovaj DBASE (ili CLIPPER) program preuzima iz baze jedinica podatke relevantne za formiranje predloga za raspodelu u radio-mreže po kriterijumima i prevodi ih u oblik potreban za dalji rad u PROLOG-u. Komforan unos podataka u bazu *JED.DBF* realizovan je posebnim CLIPPER programom.

Nakon formiranja baze *JED.DBF* i naknadnog formiranja prološke baze *JED.* aktivira se prološki program *JED.ARI*. Sematski prikaz pomenutih programa i baza podataka dat je na slici.

#### PROJED. PRG

```
JED. DBF -----> JED. (baza podataka) - - - - - |
                                                    J. BAT } ---> J.ARI
JED. ARI (baza pravila) - - - - - |
```

Sema datoteka koje koristi program

Nakon aktiviranja programa, korisnik se na odgovarajućem ekranskom meniju opredeljuje za kriterijum po kome će se predlagati radio-mreže i za planirani broj učesnika po radio-mreži. Na osnovu ova dva podatka program određuje potreban broj radio-mreža i, saglasno tome, potreban broj radio-uređaja za organizovanje radio-veza u operativnoj jedinici. U programu je predviđena i mogućnost šire analize potrebnog broja radio-mreža, u zavisnosti od parametara koje korisnik odabira.

Upravna stanica — komanda operativne jedinice ima posebnu ulogu u ovom programu i nije predviđeno da se prikazuje kao učesnik predloženih mreža. Podrazumeva se da se u svakoj od mreža angažuje (kao upravna stanica) po jedan od radio-uređaja.

Centralni deo programa čini samo generisanje inicijalnog predloga. Pro-

blem se, najpre, rešava u okviru skupa jedinica koje su izjednačene po odabranom kriterijumu, a potom se tako dobijena rešenja integrišu u celinu.

Predlozi mreža zapisuju se u posebne izlazne datoteke, iz kojih se mogu neposredno štampati i analizirati. Druga mogućnost jeste da se generisani inicijalni predlozi prerade tako da se mogu koristiti kao ulaz za drugi PROLOG program, koji će uzimati u obzir tehničke mogućnosti i generisati detaljnije predloge za tehničku realizaciju mreža (u skladu sa drugom navedenom namenom modela).

### Opis programa

Radi boljeg razumevanja mogućnosti programa, detaljnije će se opisati korišćena prološka rešenja. Razmatranja se i dalje, uglavnom, vezuju za kriterijum operativnog rasporeda.

## Baza jedinica

Za formiranje inicijalnog predloga za podelu jedinica-učesnika u radio-mreže dovoljno je koristiti, kao ulaz, prološku bazu *jed*. To je osnovna baza

*jed*( *Jedinica, Vrsta, Rod, Prioritet, Operativni-borbeni-raspored, Rastojanje, Pravac, Namena, Klasicno* ).

Stavljanjem "džokera", tj. znaka ". ." na mesto pojedinih argumenata ističu se samo preostali argumenti, na osnovu kojih se vrši selektivni odabir jedinica.

*meni* :-

*write*(' 1 = mreze po rodu jedinice '), *nl*,

.....

*write*(' 4 = mreze po operativnom (borbenom) rasporedu '), *nl*,

.....

*write*(' 9 = mreze po svim kriterijumima '), *nl*,

*write*(' *Nacin rada* (1..9) = '), *read*( *X* ), *meni*(*X*).

Iza unetog broja potrebno je napisati tačku; isto važi za svaki podatak koji se unosi pomoću prološkog predikata *read*.

Na primer, izborom broja 4 zahteva se predlog podele u radio-mreže, s

*meni*(4) :- *create*( *Dat*, 'podela'), *not obr*, *nl*, *nl*,  
*write*(' *Po koliko ?* '), *read*( *Koliko-po-mrezi* ),  
*borras*( *Dat*, *Koliko-po-mrezi* ).

Da bi se predlozi mogli lako čitati i naknadno višestruko koristiti, treba ih ispisati u neku spoljnu datoteku. U tu svrhu angažuje se sistemski predikat *create*, koji vezuje ime izlazne datoteke na disku (ovde: 'podela') sa imenom odgovarajuće prološke promenljive (ovde: *Dat*):

Uslovom *not obr* korisniku se nudi mogućnost procene potrebnog broja radio-mreža pre nego što se odgovorom na pitanje ' *Po koliko ?* ' odluči za planirani broj učesnika *Koliko-po-mre-*

za formiranje inicijalnog predloga, u kojoj se zapisuju odabrani podaci o jedinicama, relevantni za radio-veze, preuzeti iz baze jedinica *JED.DBF*. Baza ima sledeću strukturu:

*Izbor kriterijuma podele i planiranog broja učesnika po radio-mrežama*

Izbor jednog od kriterijuma ili svih zajedno, na osnovu čega se predlaže podela u radio-mreže, vrši se pozivom predikata *meni*, kojim se zahteva unos broja od 1 do 9:

obzirom na operativni (borbeni) raspored, tj. da se svaka od mreža formira samo unutar skupa jedinica-učesnika sa istim operativnim (borbenim) rasporedom. Formiranje predloga realizuje se sledećom prološkom rečenicom:

*zi* po pojedinoj radio-mreži. Formiranje i ispisivanje inicijalnog predloga dalje se vrši posredstvom predikata *borras*.

Posebno je interesantna mogućnost formiranja radio-mreža (tj. grupisanja učesnika) po svim kriterijumima, jer se tada u datoteci *podela* može sagledati kako je program raspodelio učesnike u radio-mreže, odnosno po kom kriterijumu je potrebno više ili manje radio-mreža. Programom je moguće, na više različitih načina, sas-

taviti radio-mreže, a zatim te različite načine uporediti sa klasičnom organizacijom radio-mreža.

### Formiranje inicijalnog predloga

Glavni predikat za formiranje predloga podele jedinica po operativnom (borbenom) rasporedu je *burras*( *Dat*, *Koliko-po-mrezi* ):

*burras*( *Dat*, *Koliko-po-mrezi* ) :- *write*(*Dat*, ' '), *nl*(*Dat*),  
*write*( *Dat*, 'Mreže po operativnom (borbenom) rasporedu: ' ),  
*nl*(*Dat*), *listaj-bor*(*Dat*, *Koliko-po-mrezi*, 1), . . . ,  
*listaj-bor*( *Dat*, *Koliko-po-mrezi*, 15).

Posredstvom predikata *listaj-bor*, predlozi mreža se nezavisno daju za razne operativne (borbene) rasporede, u ovom slučaju numerisane od 1 do 15.

Formiranje inicijalnog predloga za raspodelu učesnika sa istim operativnim (borbenim) rasporedom u radio-mreže realizuje se nižim predikatom *list-bor* na sledeći način:

*list-bor*( *Dat*, *Koliko-po-mrezi*, *X* ) :- *inicbr*,  
*jed*( *Nazi*, . . . , *X*, . . . , . ), *name*( *Naziv*, *Nazi* ), *povecaj*(*N*),  
*write*( *Dat*, *Naziv* ), *write*( *Dat*, ' '),  
*pazired*(*Dat*, *Koliko-po-mrezi*, *N*), *fail*.

Predikatom *inicbr* inicijalizuje se sa 0 pomoćni brojač, označen predikatom *puta*:

*inicbr* :- *retract*( *puta*(*X*) ). *inicbr* :- *assert*( *puta*(0) ).

Svaki put kada se u bazi *jed* nađe nova jedinica sa istim operativnim (borbenim) rasporedom, vrednost bro-

jača se poveća za 1 aktiviranjem predikata *povecaj*:

*povecaj*(*N*) :- *retract*( *puta*( *N-minus-1* ) ),  
*N is N-minus-1 + 1*, *assert*( *puta*(*N*) ).

Nađena jedinica ispisuje se u spoljnu datoteku *podela*. , pomoću predikata *name*.

### Ispis predloga u novu prološku bazu

Radio-mreže u inicijalnom predlogu popunjavaju se učesnicima redosledom koji zavisi od redosleda jedinica u bazi, pri čemu se popunjavanje vrši odvojeno za učesnike sa različitim operativnim (borbenim) rasporedom.

Program omogućava korisniku da se odluči da li da se inicijalni predlog formira u obliku tekstualnog izveštaja ili u obliku nove prološke baze (ili obe varijante zajedno), namenjene formiranju detaljnijeg predloga, koji uključuje mogućnosti tehničke realizacije, u skladu sa predloženom drugom namenom modela.

Planirani broj učesnika *Koliko-po-mrezi* se ne mora dostići u svakoj predloženoj radio-mreži, ali se ne sme premašiti. Tokom generisanja predloga odmah se vrši njegovo izlistavanje u spoljnu datoteku, pri čemu se učesnici svake radio-mreže ispisuju u posebnom redu.

U drugom slučaju potrebno je predlog u spoljnoj datoteci (novoj bazi) zapisati u formi proloških činjenica, sa svim potrebnim pratećim oznakama.



Primeri takvih činjenica su:

```
vfrmr(["45.okp      ", "1.odred      "], 1 ).
vfrmr(["18.mbr     ", "22.mtbr     "], 2 ).
```

Struktura podataka u novoj bazi je:

*vfrmr( Lista-jedinica-u-radio-mrezi, Operativni-borbeni-raspored ).*

Umesto argumenta *Operativni-borbeni-raspored* može se navesti i argument koji odgovara nekom drugom kriterijumu.

### *Analiza potrebnih radio-mreža*

Ovaj deo programa namenjen je načelniku veze da bi mogao da analizira koliko mu je potrebno radio-mreža pri raspoređivanju učesnika prema navedenim kriterijumima i određivanju broja učesnika. Posebno je značajna analiza potrebnog broja radio-mreža u

*granice( D, G ) :-*

```
write(' DONJA granica za broj ucesnika u mrezi: '), read( D ), nl,
write(' GORNJA granica za broj ucesnika u mrezi: '), read( G ), nl.
```

Narednim predikatom *analiza* vrši se proračun broja  $M(I, J)$  mreža (odnosno potrebnih uređaja u operativnoj jedinici) za svaki broj  $I$  između donje i gornje granice uključno (tj. za svaki broj  $I$  iz intervala  $Int = [D, G]$ ), kao i za svaki kriterijum  $J$  između razmatra-

zavisnosti od kriterijuma na osnovu koga se formiraju. U okviru takve analize načelnik veze navodi više brojeva učesnika po mreži, kako bi se mogao opredeliti za što bolju organizaciju radio-veza u odnosu na broj radio-uređaja koji mu stoji na raspolaganju.

Najpre se učitaju donja i gornja granica za (željene) brojeve učesnika, za koje će se proračunavati potreban broj mreža. Ove granice zavise od odgovarajućeg pravila. Na primer, ako se traži da pojedina radio-mreža ima 5 do 10 učesnika, onda se može fiksirati da je donja granica 5, a gornja 10.

```
abr( Int ) :- write(' bor.ras: '), odaberi( X, Int ),
write(' '), borras( Dat, X ), retract( suma(Y)), fail.
```

### *Procene broja radio-mreža u predlogu*

Program posebno nudi mogućnost *skraćene analize*, tj. procene broja ra-

dio-mreža prema odabranom kriterijumu i traženom broju učesnika.

Tako se predikat *obr*, za procenu broja radio-mreža formiranih prema kriterijumu operativni raspored, može zapisati ovako:

```
obr :- write(' Proracun potrebnog broja uredjaja u zavisnosti'), nl,
write(' od toga koliko ce ucesnika biti po mrezi (D/N) ? '),
read(Z), ( Z = d ), cls,
write(' Planirani broj ucesnika po mrezi: '),
write(' Potreban broj uredjaja upravne '), nl, nl,
odaberi(X, Lista-planiranih-brojeva),
borras( Dat, X ), nred(X,12), retract( suma(Y)), fail.
```



Načelniku veze program postavlja pitanje da li ovu procenu uopšte želi, budući da ona iziskuje vreme od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, u zavisnosti od tipa računara koji se koristi, broja jedinica, i načina rada (na disku ili disketi). Ako je ponuda za procenu prihvaćena, pojavljuje se zaglavlje sa tumačenjem brojeva koji će se proračunati. Procena se izdaje za sve moguće vrednosti planiranog broja  $X$  učesnika po mreži iz liste planiranih brojeva. Suština procene je u činjenici da se broj mreža ne može dobiti direktnim deljenjem ukupnog broja je-

dinica sa  $X$ ; ukupan broj mreža mnogo zavisi od ostataka pri deljenju sa  $X$  brojeva jedinica sa fiksnim operativnim rasporedom.

Unutar poziva *borras(Dat, X)* posebnim se predikatom *dodatak(Y, Koliko)* realizuje pravilo:

»Ako u nekoj klasi učesnika (po nekom kriterijumu) preostane samo jedan učesnik, onda se on priključuje prethodnoj mreži (za njega se ne osniva posebna mreža) — izuzetak predstavlja slučaj kad cela klasa ima samo jednog učesnika.«

*dodatak(Y, Koliko) :- Y > 1, !,*  
*Dod is (Y + Koliko - 2) // Koliko, assert(dod(Dod)).*  
*dodatak(Y, -) :- assert(dod(Y)). % za Y = 0 ili 1*

Za  $Koliko = 4$  i  $Y$  između 1 i 13 redom dobija da je dodatak *Dod* (dodatni broj radio-mreža potrebnih za novi operativni raspored sa  $Y$  učesnika) redom jednak 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3.

laze u sastavu operativne jedinice i da za njih treba organizovati radio-vezu.

### Primer primene programa

U ovom odeljku ilustruje se rad opisanog programa na primeru *delimične* prološke baze *jed* sa 41. učesnikom. Pretpostavka je da se ove jedinice na-

### Baza jedinica

U bazi *jed* navedeni su podaci za kriterijume: vrstu, rod, operativni raspored i klasičnu radio-mrežu, dok su izostavljeni podaci za naziv jedinice, prioritet, rastojanje, pravac i namenu (umesto ovih podataka u bazi navodi se anonimna promenljiva -). Radi jednostavne identifikacije jedinica u formiranom predlogu, u tabeli 1, pridruženi su im redom brojevi 1 do 41:

Tabela 1

Baza jed. jedinica-učesnika					
1.	jed(., brigada	, motoriz	,,	2,	,, , , 31).
2.	jed(., brigada	, laka	,,	3,	,, , , 31).
3.	jed(., brigada	, laka	,,	13,	,, , , 32).
4.	jed(., brigada	, laka	,,	3,	,, , , 33).
5.	jed(., brigada	, motoriz	,,	2,	,, , , 34).
6.	jed(., brigada	, laka	,,	2,	,, , , 33).
7.	jed(., brigada	, laka	,,	2,	,, , , 33).
8.	jed(., brigada	, laka	,,	2,	,, , , 33).
9.	jed(., brigada	, laka	,,	1,	,, , , 33).
10.	jed(., brigada	, laka	,,	3,	,, , , 33).
11.	jed(., puk	, artiljeris	,,	1,	,, , , 35).
12.	jed(., divizion	, protivokl	,,	1,	,, , , 36).
13.	jed(., divizion	, protivokl	,,	2,	,, , , 36).

14.	jed(., bataljon	, inzinjer	→ 4, → → → 37).
15.	jed(., ceta	, inzinjer	→ 4, → → → 37).
16.	jed(., ceta	, inzinjer	→ 4, → → → 37).
17.	jed(., brigada	, laka	→ 1, → → → 33).
18.	jed(., ceta	, pesadija	→ 5, → → → 38).
19.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
20.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
21.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
22.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
23.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
24.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
25.	jed(., vod	, pesadija	→ 5, → → → 38).
26.	jed(., bataljon	, abh	→ 9, → → → 39).
27.	jed(., ceta	, abh	→ 9, → → → 39).
28.	jed(., ceta	, abh	→ 9, → → → 39).
29.	jed(., vod	, abh	→ 9, → → → 39).
30.	jed(., vod	, abh	→ 9, → → → 39).
31.	jed(., vod	, abh	→ 9, → → → 39).
32.	jed(., puk	, arjpvo	→ 3, → → → 57).
33.	jed(., brigada	, pesadija	→ 1, → → → 30).
34.	jed(., brigada	, oklopna	→ 1, → → → 30).
35.	jed(., puk	, inzinjer	→ 4, → → → 37).
36.	jed(., bataljon	, pesadija	→ 7, → → → 51).
37.	jed(., ceta	, pesadija	→ 7, → → → 51).
38.	jed(., ceta	, pesadija	→ 7, → → → 51).
39.	jed(., ceta	, pesadija	→ 7, → → → 51).
40.	jed(., bataljon	, inzinjer	→ 4, → → → 37).
41.	jed(., puk	, artiljeris	→ 2, → → → 39).

Prebrajanjem učesnika u klasama vezanim za pojedine kriterijume dobijeni su podaci sadržani u tabeli 2:

Kako su podelom po svakom, od razmatrana četiri kriterijuma obuhvaćene sve jedinice, to je zbir brojeva u svakoj desnoj koloni jednak 41.

Tabela 2

Broj jedinica prema razmatranim kriterijumima

Brojevi jedinica-ucelnika po pojedinim:					
Rodovima		Vrstama		O/R	Klasicnim mrezama
motoriz	2	brigada	13	2   7	31   2
laka	9	puk	4	3   4	32   1
artiljeris	2	divizion	2	13   1	33   7
protivokl	2	bataljon	4	1   6	34   1
inzinjer	5	ceta	8	4   5	35   1
pesadija	13	vod	10	5   8	36   2
abh	6			9   6	37   5
arjpvo	1			7   4	38   8
oklopna	1				39   7
					57   1
					30   2
					51   4

Prološki program za prebrojavanje učesnika u klasama vezanim za pojedine kriterijume napravljen je tako da se klase listaju redosledom svog prvog javljanja u bazi. Tako se npr., jedinica sa operativnim rasporedom O/R = 2 našla pre prve jedinice sa O/R = 1.

### Inicijalni predlog

Na osnovu prikazane baze program raspodeljuje jedinice u radio-mreže prema navedenim kriterijumima. U tabeli 3 dat je primer inicijalnog predloga (u formi izveštaja, a ne u formi prološke baze spremne za formiranje detaljnijeg predloga) za raspodelu jedinica u radio-mreže. Predlog je dat za primer kriterijuma vrsta (jedinice) i za željeni broj jedinica po mreži (Koliko-po-mrezi) jednak 4. Ukupan broj predloženih radio-mreža je 11; to je prvi broj u drugoj vrsti tabele 5 (prijedložene analizi).

Svaki red ovog izveštaja, ispod poruke o vrsti jedinice, sadrži redne brojeve jedinica odgovarajuće vrste, koje su smeštene u po jednu radio-mrežu. Tako se deset vodova grupiše u tri radio-mreže, pri čemu se u prvoj nalaze vodovi sa rednim brojevima 19, 20, 21, 22. u drugoj su vodovi sa rednim brojevima 23, 24, 25, 29. dok se u trećoj radio-mreži nalaze samo dva voda, sa rednim brojevima 30 i 31. Treća mreža za brigade ima 5 učesnika (iako je traženo 4), po pravilu o pripajanju preostalog usamljenog učesnika prethodnoj mreži.

Iz izveštaja se vidi da među razmatranim jedinicama nisu zastupljene vrste: odeljenje, baterija, odred, divizija, korpus i armija.

Isti inicijalni predlog, smešten u prološku bazu *vfrmr* (spremnju za dalju obradu), ima izgled dat u tabeli 4.

Tabela 3

#### Predlog raspoređivanja jedinica prema vrstama (izveštaj)

Mreže po vrstama :

Vrsta jedinice = odeljenje:

Vrsta jedinice = vod:

19.	20.	21.	22.
23.	24.	25.	29.
30.	31.		

Vrsta jedinice = ceta:

15.	16.	18.	27.
28.	37.	38.	39.

Vrsta jedinice = baterija:

Vrsta jedinice = bataljon:

14.	26.	36.	40.
-----	-----	-----	-----

Vrsta jedinice = divizion:

12.	13.
-----	-----

Vrsta jedinice = odred:

Vrsta jedinice = puk:

11.	32.	35.	41.
-----	-----	-----	-----

Vrsta jedinice = brigada:

1.	2.	3.	4.
5.	6.	7.	8.
9.	10.	17.	33.
			34.

Vrsta jedinice = divizija:

Vrsta jedinice = korpus:

Vrsta jedinice = armija:

Tabela 4

#### Inicijalni predlog kao prološka baza

*vfrmr*( [19,20,21,22], vod).

*vfrmr*( [23,24,25,29], vod).

*vfrmr*( [15,16,18,27], ceta).

*vfrmr*( [14,26,36,40], bataljon).

*vfrmr*( [12,13], divizion).

*vfrmr*( [1,2,3,4], brigada).

*vfrmr*( [9,10,17,33,34], brigada).

*vfrmr*( [30,31], vod).

*vfrmr*( [28,37,38,39], ceta).

*vfrmr*( [11,32,35,41], puk).

*vfrmr*( [5,6,7,8], brigada).

## Analiza izrađenih radio-mreža

Ako se želi proveriti koliko bi bilo potrebno radio-mreža s obzirom na broj i karakteristike jedinica u operativnoj jedinici, kao i na navedene kriterijume, onda treba koristiti deo programa koji se odnosi na analizu. Za četiri kriterijuma, čije su vrednosti zapisane u bazi *jed*, kao i za željene brojeve učesnika po pojedinoj mreži iz intervala [4,8], navodi se tabela 5, koja sadrži odgovarajuće ukupne potrebne brojeve radio-mreža:

Tabela 5

Brojevi radio-mreža prema kriterijumima					
Koliko_po_mrezi	4	5	6	7	8
rod	13	12	11	11	10
vrsta	11	10	9	8	8
O/R	12	10	9	8	8
klasicno	15	15	13	12	12

Na primer, konstrukcija treće kolone ove tabele može se i ovako objasniti: Za *Koliko-po-mrezi* = 6, broj po-

trebnih radio-mreža u pojedinoj klasi (po nekom kriterijumu) je jednak 1 ako u klasi nema više od 7 učesnika, odnosno jednak je 2 ako je broj učesnika u klasi između 8 i 13 (uključno). Sabiranjem ovih sabiraka jednakih 1 i 2 redom po kriterijumima i klasama dobijaju se elementi za tabelu 6.

Daje se i detaljnije tumačenje tabele 6 na primeru kriterijuma *vrsta*. Iz tabele 2 vidi se da u primeru postoji 6 različitih vrsta jedinica, i to: 13 brigada, 4 puka, 2 divizion, 4 bataljona, 8 četa i 10 vodova. Iz toga sledi da je broj potrebnih radio-mreža za *Koliko-po-mrezi* = 6 redom jednak 2, 1, 1, 1, 2, 2.

Prema ovim rezultatima može se zaključiti da ako se raspoređuje, primera radi, po 6 učesnika u jednu mrežu, onda je najbolje organizovati radio-vezu u operativnoj jedinici prema kriterijumu vrste ili prema kriterijumu operativnog rasporeda, budući da je u tim slučajevima potrebno organizovati najmanji broj radio-mreža (po devet).

Tabela 6

Objašnjenje rešenja za 6 učesnika po radio-mreži

$$\text{rod} : 11 = 1+2+1+1+1+2+1+1+1$$

$$\text{vrsta} : 9 = 2+1+1+1+2+2$$

$$\text{O/R} : 9 = 1+1+1+1+1+2+1+1$$

$$\text{klasicno} : 13 = 1+1+1+1+1+1+1+2+1+1+1+1$$

## Zaključak

U radu su prikazane mogućnosti izrađenog programa u PROLOG-u koji raspoređuje učesnike u radio mreže. Program može umnogome pomoći načelniku veze operativne jedinice da na više načina raspoređuje učesnike, tako da mu organizacija veza može uvek biti različita.

Kroz objašnjenje funkcionisanja navedenog programa može se sagledati šta je sve potrebno znati da se znanja eksperta — načelnika veze opera-

tivne jedinice pretvore u program koji će pomoći ostalim načelnicima veza da bi brže i tačnije planirali i organizovali vezu za predstojeća borbena dejstva.

Programski jezik PROLOG pogodan je za predstavljanje i rešavanje problema koji se mogu prikladno izraziti pomoću datih objekata i odnosa među njima [4]. Glavne karakteristike su mu sposobnost deklarativnog izražavanja, automatizam u traženju re-

šenja i intenzivnoj primeni rekurzije, zbog čega je izabran za izradu programa za raspoređivanje učesnika u radio-mreže. Detaljnija objašnjenja o programu i njegovoj primeni data su u [6].

Ovakav program može poslužiti kao osnova za izradu složenijih programa, ali i kao osnova za izradu ekspertnog sistema za komandovanje sistemom veza u operativnim jedinicama.

#### Literatura:

- [1] Pravilo veze, Uprava veza, Beograd, 1979.
- [2] Pravilo bataljon veze, VINC, Beograd, 1989.
- [3] Davidović, B.: Organizacija veze u operacijama strategijskih i operativnih sastava, CVŠ VJ, Katedra taktike i operatike, N-1206, Beograd, 1994.
- [4] Radovan, M.: Programiranje u PROLOG-u, Informator, Zagreb, 1988.
- [5] Ristić, Z., Balaban, N., Bošnjak, Z.: Ekspertni sistemi, Savremena administracija, Beograd, 1993.
- [6] Matić, Đ.: Sinteza jedne klase ekspertnih sistema za podršku komandovanja sistemom veza u . . . , doktorska disertacija, Vojna akademija VJ, Beograd, 1995.
- [7] Cubrilo, M.: Matematička logika za ekspertne sisteme, Informator, Zagreb, 1988.
- [8] Rijckaert, M. J., Debrey, V., Bogaerts, W.: Expert systems: The state of the art, Katholieke universiteit Leuven, Belgium, 1988.

Dr Vladimir Vujičić,  
pukovnik, dipl. inž.  
Tehnička uprava GŠ VJ,  
Beograd

## ATMOSFERSKA KOROZIJA METALA U USLOVIMA AEROZAGAĐENJA

UDC: 620.193.2:504.3.054

### Rezime:

*U radu je opisan mehanizam atmosferske korozije i uticaj pojedinih faktora na brzinu atmosferske korozije metala. Detaljnije je opisan uticaj vlažnosti vazduha i aerozagađenja na atmosfersku koroziju metala.*

*Ključne reči: korozija, relativna vlažnost, kritična vlažnost, aerozagađenje*

### ATMOSPHERIC CORROSION OF METALS UNDER CONDITIONS OF AIR POLLUTION

#### Summary:

*The mechanism of atmospheric corrosion and the influence of relevant factors on the rate of atmospheric corrosion of metals are described. The effects of air humidity and air pollution on atmospheric corrosion of metals are treated in detail.*

*Key words: corrosion, relative humidity, critical humidity, air pollution.*

### Uvod

Atmosferska korozija je najrasprostranjeniji oblik elektrohemijske korozije. Odvija se u vazduhu ispod tankog sloja vlage na površini metala, u zatvorenom i otvorenom prostoru.

Atmosferska korozija deluje razorno na metalnu opremu i uređaje. Podležu joj sve metalne konstrukcije koje se nalaze pod atmosferskim uticajem, kao što su: mostovi, cevovodi, železnički vozni parkovi, automobili, avioni, palube i unutrašnjost brodova, uređaji hemijskih i metalurških preduzeća, naftovodi, poljoprivredne mašine, dalekovodi, rudarska oprema, TMS u vojsci i drugi uređaji i oprema.

Gubici nastali usled delovanja atmosferske korozije su veliki. Procenjuje se da više od 50% ukupnih korozio-

nih gubitaka metala nastaje usled atmosferske korozije.

Materijalne i druge štete koje nastaju zbog atmosferske korozije mogu se smanjiti izvođenjem pravilne, pravovremene i stručne zaštite metala. Zaštita može biti efikasna samo ako se onemogućiti delovanje svih spoljnih i unutrašnjih faktora, uzročnika atmosferske korozije. Radi iznalaženja najefikasnijeg oblika zaštite potrebno je poznavati mehanizam atmosferske korozije metala i uticaj spoljnih i unutrašnjih faktora na njen razvoj.

### Mehanizam atmosferske korozije

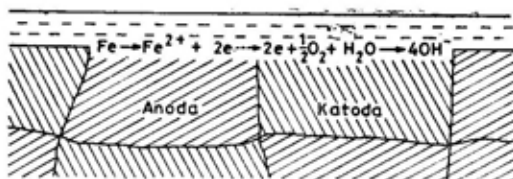
Atmosferska korozija je elektrohemijski proces, što znači da se na površini metala nalaze anodna i katodna

mesta, koja omogućavaju odvijanje elektrohemijskih reakcija. Korozija se odvija ispod sloja vlage ili ovlaženih produkata korozije na površini metala. Primarni elektrolit sastoji se od razblaženog vodenog rastvora vrlo slabe ugljenične ili neke druge kiseline, koje nastaju adsorpcijom odgovarajućih gasova iz vazduha u sloj vlage na metalu.

Pri atmosferskoj koroziji odvija se elektrohemijska oksidacija metala (anodno rastvaranje metala) i elektrohemijska redukcija kiseonika, vodoničnih jona ili drugih jona i molekula.

Atmosferska korozija se, uglavnom, odvija uz redukciju kiseonika rastvorenog u opni vlage. Redukcija kiseonika teče po istom mehanizmu kao i u elektrolitima. Proces se odvija brže, jer kiseonik jednostavnije dolazi do površine metala zbog neznatne debljine sloja vlage [8].

Pri atmosferskoj koroziji reakcije oksidacije metala i redukcije agensa odvijaju se ako je elektrohemijski potencijal metala u posmatranoj sredini negativniji od elektrohemijskog potencijala redukcije oksidacionog sredstva. Korozija nastaje usled delovanja lokalnih galvanskih spregova koji se nalaze na površini metala (slika 1).



Sl. 1 — Sematski prikaz korozije gvožđa ispod sloja vlage

Pri koroziji gvožđa, na anodnim površinama nastaju fero-joni i elektroni:



Nastali elektroni troše se na katodnim površinama prvenstveno veziva-

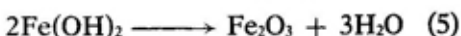
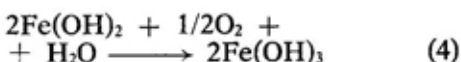
njem za kiseonik i vodu uz stvaranje hidroksilnih jona:



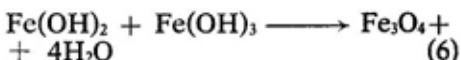
Sekundarno se odvijaju razni hemijski procesi koji daju čvrste produkte atmosferske korozije:



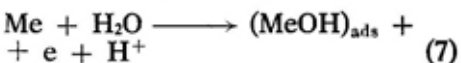
Produkt  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  transformiše se u  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :



U određenim uslovima može nastati magnetit:



Anodni proces rastvaranja metala zavisi od debljine sloja vlage. Pri malim debljinama, korozija je usporena zbog pojave pasivnosti metala i smanjene količine vode potrebne za hidrataciju jona metala. Povećanjem debljine adsorpcionog sloja vode dolazi do razaranja stvorenog adsorbovanog kompleksa [7]. Prema tome, brzina korozije metala ispod sloja vlage određena je kinetikom stvaranja i razaranja adsorbovanog kompleksa:



Kod ugljeničnih čelika korozioni produkt sastoji se od železnih hidrokida, oksida i oksihidrata. Produkti korozije mogu ostati u kontaktu sa metalnom površinom i u određenoj meri usporiti dalji proces korozije. Na žalost, korozioni produkt u tom pogledu ima loše zaštitne osobine, pa su ugljenični čelici neotporni prema atmosferskoj koroziji.

Prema atmosferskoj koroziji stabilniji su cink, olovo, kalaj, aluminijum i njegove legure, bakar i njegove

legure, nerđajući čelici i plemeniti metali, i to, pre svega, zbog plemenitosti samog metala ili zbog zaštitne sposobnosti stvorenih korozivnih produkata. Ipak i na ovim metalima se javljaju oštećenja usled atmosfere korozije.

### Faktori atmosfere korozije

Na brzinu i mehanizam atmosfere korozije utiču brojni faktori od kojih su najvažniji:

- vlažnost vazduha,
- sastav atmosfere,
- vreme zadržavanja elektrolita na površini metala,
- temperatura vazduha,
- fizičko-hemijska svojstva produkata korozije.

Vlažnost vazduha je jedan od najvažnijih faktora koji određuje brzinu atmosfere korozije. Vazduh predstavlja smešu suvog vazduha, vodene pare i drugih gasova. Količina vodene pare zavisi od temperature vazduha, geografskog položaja, blizine većih vodenih površina, površina sa bujnom vegetacijom, itd.

Količina vodene pare u vazduhu definisana je relativnom vlažnošću, koja predstavlja odnos apsolutne (AV) i maksimalne vlažnosti (MV) na istoj temperaturi.

Apsolutna vlažnost predstavlja količinu vodene pare u 1 m<sup>3</sup> vazduha pri nekoj temperaturi, a maksimalna — maksimalnu količinu vodene pare pri istoj temperaturi.

Relativna vlažnost (RV) izražava se u procentima, a može se definisati i preko parcijalnih pritiska vodene pare u vazduhu (p<sub>x</sub>) i parcijalnog pritiska zasićene vodene pare (p<sub>y</sub>) u vazduhu na istoj temperaturi:

$$RV = \frac{AV}{MV} 100 = \frac{p_x}{p_y} 100 \quad (9)$$

Smanjenjem temperature ili povećanjem količine vodene pare u vazduhu apsolutna vlažnost u određenom trenutku dostiže vrednost zasićenja, tako da se pri daljem hlađenju odvija kondenzacija vodene pare. Temperatura pri kojoj započinje kondenzacija vodene pare naziva se tačka rose.

Prema sadržaju vodene pare vazduh može biti:

- vrlo suv (do 30% RV);
- suv (od 30 do 60% RV);
- vlažan (od 60 do 80% RV);
- veoma vlažan (preko 80% RV).

Prema sadržaju vodene pare u vazduhu, atmosfere korozija može biti:

- suva, odvija se pri RV do 60%,
- vlažna, odvija se pri RV od 60% do 100%,
- mokra, odvija se pri 100% RV.

Suva atmosfere korozija nastaje u suvom vazduhu, u uslovima kada nije moguća kondenzacija vodene pare na površini metala. Korozija se odvija vrlo sporo pod dejstvom kiseonika iz vazduha, po zakonima hemijske kinetike, i sasvim je bezopasna. Produkt suve korozije je sloj oksida, debljine nekoliko mikrometara, koji ostaje u kontaktu sa metalom i može da uspori dalji proces korozije i u uslovima veće vlažnosti.

Pri većem sadržaju vlage na površini metala, suva atmosfere korozija prelazi u vlažnu, odnosno mokru atmosfere koroziju.

Vlažna i mokra atmosfere korozija metala najčešći su i najrasprostranjeniji oblici atmosfere korozije. Na našem podneblju najčešće dolazi do vlažne korozije, pa je i njeno delovanje znatnije od delovanja mokre korozije.

Vlažna atmosfere korozija odvija se ispod sloja vlage na površini metala, koji se formira usled adsorpcio-

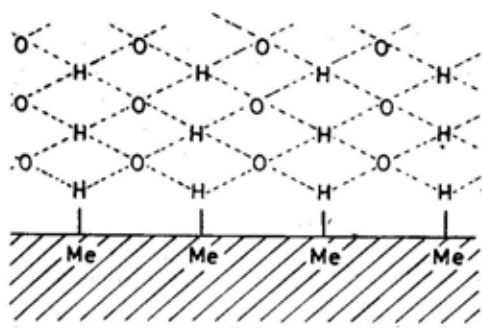


nog delovanja metalne površine na vodenu paru u vazduhu i kondenzacije vodene pare na površini metala, čija je temperatura niža od temperature vazduha.

Mokra atmosferska korozija odvija se ispod vidljivog sloja vlage na površini metala pri stoprocentnoj vlažnosti vazduha. Korozija nastaje pri neposrednom delovanju kiše, snega i vodene pare na površinu metala.

Vlaga se sastoji od nekoliko monomolekularnih slojeva vode. Pri manjim vlažnostima sloj vlage je tanji i čvrsto je vezan za površinu metala. Ta veza slabi sa povećanjem debljine sloja vlage. Vlaga se može uočiti jedino pri orošavanju, kada se na površini metala nalazi preko 90 monomolekularnih slojeva vode [4].

Vezivanje molekula vode za površinu metala odvija se preko atoma metala i preko stvorenih oksida ili hidrokksida, koji služe kao centri za hemijsku ili fizičku adsorpciju molekula vode [4, 6]. Jedan od načina vezivanja molekula vode za površinu metala prikazan je na slici 2.



Sl. 2 — Šematski prikaz vezivanja molekula vode za površinu metala

Brzina atmosferske korozije zavisi od debljine sloja vlage na površini metala [1]. U relativno suvoj atmosferi formira se tanak sloj vlage koji čvrsto prianja za površinu metala i ispod kojeg dolazi do neznatne korozije (po-

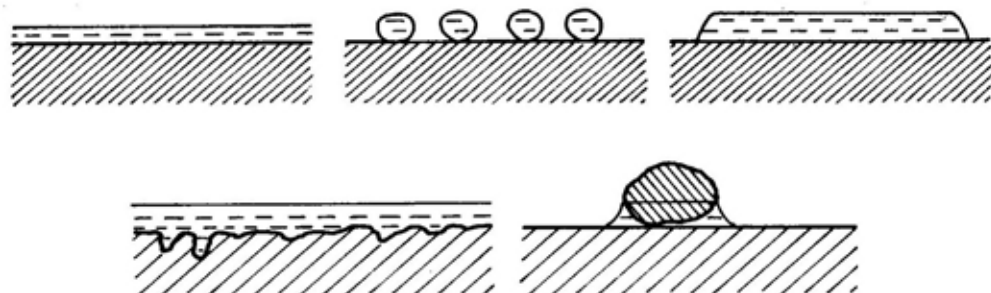
dručje I na slici 3). Znatno veća brzina korozije je u području II, jer usled hemijske adsorpcije dolazi do povećanja debljine sloja vlage do  $0,1 \mu\text{m}$ . U ovom području dolazi do promene mehanizma korozije od hemijskog u elektrohemijski. Povećanjem sloja vlage do 1 mm dolazi do smanjenja brzine korozije zbog otežane difuzije kiseonika do površine metala (područje III). Daljnje povećanje debljine sloja vlage (područje IV) prouzrokuje neznatno smanjenje brzine korozije (mokra atmosferska korozija).



Sl. 3 — Zavisnost brzine korozije gvožđa od debljine sloja vlage na površini metala

Debljina sloja vlage zavisi od mnogih faktora od kojih su najbitniji: relativna vlažnost vazduha, temperatura vazduha, temperatura metala i stanje površine metala.

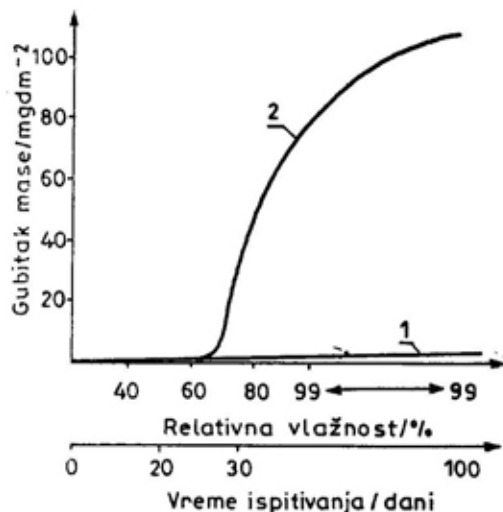
Šematski prikaz formiranja sloja vlage dat je na slici 4 [1, 5]. U uslovima relativne vlažnosti vazduha manje od 100% na glatkoj metalnoj površini obrazuje se adsorpcioni sloj vlage (slika 4a). Snižanjem temperature dolazi do kondenzacije vodene pare u vidu kapi čija veličina zavisi od prirode i stanja površine metala (slika 4b). Pri daljoj kondenzaciji vodene pare kapi se slijavu i stvaraju kompaktni sloj vlage po celoj površini metala (slika 4c). Ukoliko je površina hrapava ili ako se na površini nalaze udubljenja ili čestice prašine, to se u udubljenjima, pukotinama i ispod čvrstih čestica formira debeli sloj vlage (slike 4d i 4e).



Sl. 4 — Sematski prikaz formiranja sloja vlage na površini metala

Uticaj relativne vlažnosti vazduha na brzinu korozije gvožđa prikazan je na slici 5. Vidi se i da je vazduh čist i pri stopostotnoj relativnoj vlažnosti deluje kao slab agens korozije na gvožđe. Međutim, kada se u vazduhu nalazi samo 0,01%  $\text{SO}_2$  brzina korozije se povećava za sto puta. Relativna vlažnost, pri kojoj dolazi do naglog povećanja korozije, naziva se kritična vlažnost [2, 3].

Veličina kritične vlažnosti zavisi od stanja površine metala, prisutnih produkata korozije, temperature vazduha, prirode i koncentracije agensa korozije u atmosferi, itd.



Sl. 5 — Korozija gvožđa u zavisnosti od vlažnosti i zagađenosti vazduha  
1 — vazduh bez  $\text{SO}_2$ , 2 — vazduh sa 0,01%  $\text{SO}_2$

Kritična vlažnost za gvožđe, u nezagađenoj atmosferi, javlja se pri oko 70% relativne vlažnosti vazduha, a u industrijskim sredinama i primorskom pojasu i pri znatno manjim vrednostima.

Bakar je stabilan u čistom i suvom vazduhu. Do korozije bakra dolazi samo u atmosferi koja sadrži nečistoće, prvenstveno sumpordioksid. Naglo povećanje brzine korozije bakra nastaje u vazduhu čija je relativna vlažnost oko 75%, što odgovara kritičnoj vlažnosti za bakar.

Kritična vlažnost za cink, aluminijum i njegove legure nalazi se, takođe, pri relativnoj vlažnosti vazduha oko 75%.

Po karakteru hemijskih i elektrohemijskih svojstava, zagađivanja u vazduhu mogu biti neutralna, kisela, oksido-redukciona i mešovita.

Neutralne zagađivače čine komponente sastava soli morske vode u obliku hlorida, sulfata, bromida i jodida. Ove soli obezbeđuju bolju higroskopnost, a njihov visoki stepen disocijacije znatno smanjuje omsku otpornost vlažnog sloja. Korozijom nastaju lako rastvorljivi produkti, usled čega se brzina rastvaranja povećava.

Kisele primese sačinjavaju kiseli gasovi para kiselina koje su sastavni delovi produkata industrijskih gasova. One smanjuju pH vrednost provodljivog sloja, pa je u industrijskim sredinama moguća korozija i uz vodoničnu depolarizaciju.

U oksido-redukcijske zagađivače spadaju oksidi sumpora i azota. U njihovom prisustvu odvija se korozija gvožđa i bez prisustva kiseonika i vodene pare.

Mešovite zagađivače predstavljaju jedinjenja čvrste, tečne i gasovite faze, koja su široko rasprostranjena u prirodi. Posebno su značajne čvrste primese koje nemaju neposredni uticaj na koroziju metala, ali ako su higroskopne (na primer, čestice prašine i uglja) stimulišu proces korozije.

Prema zagađenosti atmosfere klimatsko područje, u korozionom pogledu, može biti morsko, kontinentalno i industrijsko. Svako od navedenih atmosferskih područja karakteriše tipičan korozioni agens i odgovarajuća klima. Morsku atmosferu karakteriše prisustvo hlorida, velika relativna vlažnost i visoka temperatura vazduha. Industrijsku klimu karakteriše visok sadržaj sumpordioksida i drugih gasova, a kontinentalnu velika kolebanja temperature i relativne vlažnosti vazduha.

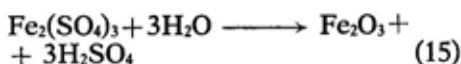
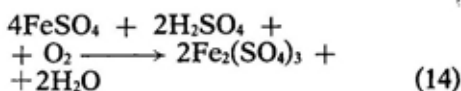
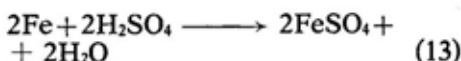
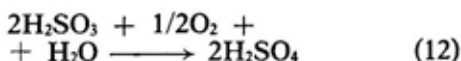
Sumpordioksid spada u grupu najvažnijih gasovitih zagađivača. Nastaje kao produkt sagorevanja jedinjenja sumpora iz uglja i tečnih goriva. Ugalj za loženje sadrži preko 4% gorivog sumpora, što znači da se sagorevanjem jedne tone uglja stvara preko 40 kg, odnosno 13 m<sup>3</sup> ovog štetnog gasa [9]. Tečna goriva sadrže 0,5 do 2% sumpora.

U industrijskim centrima i velikim gradovima u vazduhu se može naći preko 200 mg SO<sub>2</sub> g/m<sup>3</sup> [8]. Velika koncentracija sumpordioksida je naročito izražena u poznom jesenjem periodu i tokom cele zime.

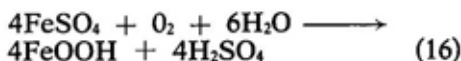
Sumpordioksid je lako rastvorljiv u vodi, pa se u vlažnoj atmosferi stvara rastvor sumporaste kiseline, čija se pH vrednost kreće od 3 do 5. U takvim sredinama korozija metala se odvija i uz redukciju vodoničnih jona:



O karakteru atmosferske korozije u prisustvu sumpordioksida ne postoji jednoznačno tumačenje. Pretpostavlja se da sumpordioksid oksidiše do sumpotrioksida koji u prisustvu vode daje sumpornu kiselinu. Nastala kiselina aktivira proces korozije:

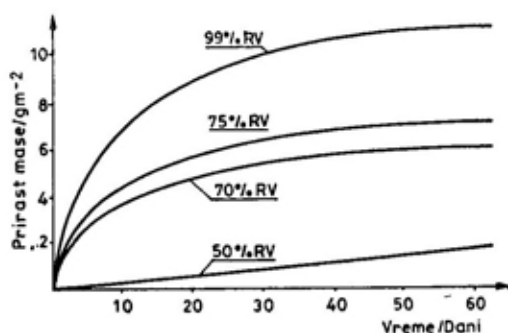


Moguća je i transformacija sulfata u hidroksid, odnosno koroziju, uz stvaranje sumporne kiseline:



Uticaj sumpordioksida na korozivnu postojanost gvožđa u atmosferi različite vlažnosti vazduha prikazan je na slici 5 i 6.

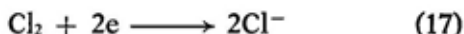
Važniji gasoviti zagađivači atmosfere su i: sumporovodonik, hlor, hlorovodonik, oksidi azota, amonijak, ugljenmonoksid i ugljendioksid.



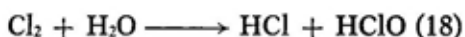
Sl. 6 — Uticaj vlažnosti vazduha na koroziju čelika u prisustvu 0,01% SO<sub>2</sub>

Sumporovodnik nastaje raspada-  
njem nekih organskih materija, a sa  
vodom daje slabu kiselinu koja ubrza-  
va proces korozije.

Hlor i hlorovodnik nalaze se u  
vazduhu u blizini postrojenja hemijske  
i tekstilne industrije. U njihovom pri-  
sustvu odvija se korozija ugljeničnog  
čelika, sivog liva, nikla, bakra, mesinga  
i aluminijuma. Hlor može dejstvovati  
kao agens korozije:



i kao HCl, jer sa vodom daje sonu i  
hipohlorastu kiselinu koja lako otpušta  
kiseonik:



Azotni oksidi javljaju se u proce-  
sima u hemijskoj industriji. Rastvara-  
njem u vodi daju vrlo jaku azotnu i  
nestabilnu azotastu kiselinu. Obe kise-  
line stimulišu koroziju olova, kalaja,  
srebra, nikla, bakra i legura bakra.

Amonijak nastaje raspadom mno-  
gih organskih materija, i u nekim proce-  
sima u hemijskoj industriji. Sa vo-  
dom daje rastvor amonijumhidroksida,  
koji stimuliše koroziju bakra, legura  
bakra, nikla i cinka.

Sadržaj ugljendioksida u vazduhu  
varira od 0,03% do 0,5%. Ugljendiok-  
sid sa vodom daje elektrolit čija se pH  
vrednost kreće od 5 do 6. Povećanje  
koncentracije ugljendioksida neznatno  
stimuliše atmosfersku koroziju gvož-  
đa.

Navedena gasovita zagađenja ne  
javljaju se pojedinačno, već u raznim  
kombinacijama, a istovremeno prisus-  
tvo više gasova stimuliše koroziju ve-  
ćeg broja metala.

Čvrsti atmosferski zagađivači su  
razne vrste prašine koje nastaju delo-  
vanjem vetra i čoveka (u industriji i  
građevinarstvu). Dimenzije čestica pra-  
šine kreću se od 0,1 do 300  $\mu\text{m}$ , a nji-  
hova koncentracija u vazduhu može  
iznositi i nekoliko  $\text{g}/\text{m}^3$ .

Čestice prašine mogu biti organ-  
ske i neorganske, rastvorljive i nera-

stvorljive. S korozionog stanovišta če-  
stice prašine mogu biti:

— koroziono aktivne,

— koroziono neaktivne, ali da do-  
bro adsorbuju koroziono aktivne gaso-  
ve, naročito sumpordioksid,

— koroziono neaktivne, i da ne ad-  
sorbuju gasove iz vazduha.

Ova klasifikacija nije generalna,  
jer se čestice prašine često sastoje od  
više materija različitog karaktera.

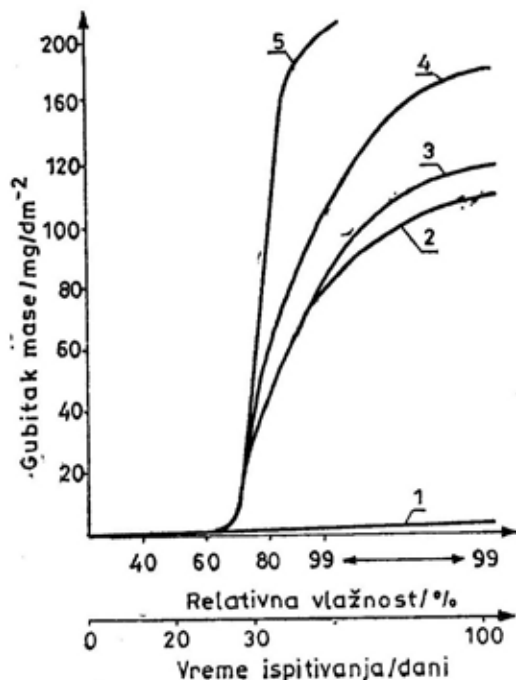
Koroziono aktivne čestice prašine  
uglavnom čine soli koje nastaju suše-  
njem kapljica morske vode u vazduhu,  
ili kao produkt hemijske industrije.  
Glavni sastojak morske prašine je NaCl,  
a ostatak se sastoji od magnezijum,  
kalcijum i kalijum halogenida, sulfata,  
bikarbonata i drugih soli. Soli su hi-  
grooskopne pa se u njihovom prisustvu  
na površini metala najčešće odvija mo-  
kra korozija. Zbog toga se kritična  
vlažnost, za veći broj metala, nalazi is-  
pod 50% relativne vlažnosti.

Amonijak i njegove soli prisutne  
su u atmosferi kao produkti postroje-  
nja hemijske industrije. Amonijum-  
jon može kompleksirati razne jone i  
na taj način stimuliše koroziju bakra,  
cinka i drugih metala. Kod mesinga  
može doći do sezonskog pucanja usled  
interkristalne korozije.

U koroziono neaktivne čestice spa-  
daju čađ, ugljena prašina i pepeo. Na-  
staju nepotpunim sagorevanjem raz-  
nih vrsta goriva, a odlikuju se velikom  
adsorpcijom gasova i para, što utiče  
na povećanu koroziju metala (slika 7).

Nekorozivna prašina nije rastvor-  
ljiva u vodi. Sastoji se od čestica sili-  
katnih materijala, cementa, korozionih  
produkata, bioloških otpadaka, itd.  
Ovakva prašina nema adsorpcijska  
svojstva i njeno prisustvo ne stimuliše  
koroziju metala katodnim delovanjem.  
Međutim, u korozionom pogledu ona  
se ne može smatrati potpuno inertnom,  
jer olakšava kapilarnu kondenzaciju  
vlage, otežava sušenje metalne površi-  
ne i prouzrokuje koroziju usled dife-  
rencijalne aeracije, odnosno koroziju  
u zazorima.

Brzina atmosfertske korozije zavisi od strukture i sastava metala. Neke primese kod tehničkih metala mogu delovati kao inhibitori, a druge kao stimulatori korozije.



Sl. 7 — Uticaj čvrstih čestica u vazduhu na koroziju gvožđa

1 — čestice uglja bez  $SO_2$ , 2 — atmosfera sa 0,01%  $SO_2$ , 3 — čestice  $SiO_2$  i 0,01%  $SO_2$ , 4 — čestice  $(NH_4)_2SO_4$  i 0,01%  $SO_2$ , 5 — čestice uglja i 0,01%  $SO_2$

Temperatura vazduha, odnosno njene promene važan su faktor atmosfertske korozije. Brzina korozije se povećava sa temperaturom, jer se time povećava kinetika elektrohemijskih reakcija.

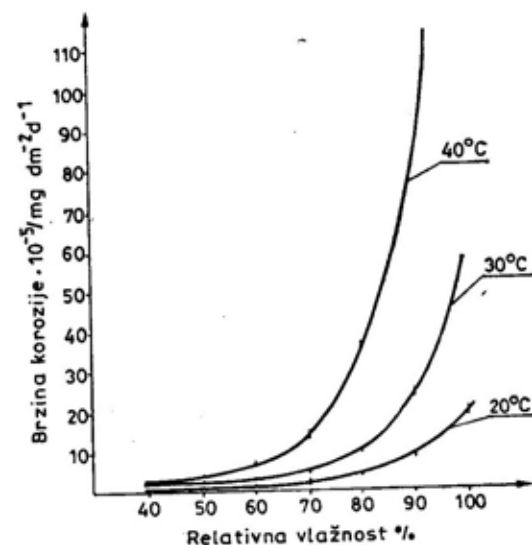
Brzina korozije se naglo menja pri prelazu elektrolita iz jednog agregatnog stanja u drugo; opada pri zamrzavanju elektrolita, a povećava se pri topljenju leda. Smanjenje brzine korozije objašnjava se činjenicom da u čvrstoj fazi ne dolazi do difuzije kiseonika i mešanja elektrolita.

Temperatura vazduha utiče na dužinu zadržavanja sloja vlage na površini metala, a samim tim i na brzinu atmosfertske korozije. Brzina korozije gvožđa se praktično ne menja ispod sloja vlage koji se stalno obnavlja. Sa povećanjem temperature ona linearno raste, što se objašnjava činjenicom da se brzina korozije usled smanjene koncentracije kiseonika u elektrolitu pri povišenim temperaturama kompenzuje većom brzinom hemijske reakcije u tim uslovima.

U slučajevima kad se sloj vlage ne obnavlja, brzina korozije gvožđa raste sa povećanjem temperature do određene granice, a zatim se smanjuje zbog smanjenja debljine usled isparavanja sloja vlage.

Rezultati ispitivanja uticaja temperature i relativne vlažnosti na brzinu atmosfertske korozije čelika prikazani su na slici 8. Sa povećanjem temperature i relativne vlažnosti dolazi do znatnog povećanja brzine korozije čelika [11].

Temperaturne promene nastale u toku dana i noći ubrzavaju proces korozije. Preko noći i ujutro veća je re-



Sl. 8 — Uticaj temperature i relativne vlažnosti vazduha na brzinu korozije čelika

lativna vlažnost vazduha zbog niskih noćnih i jutarnjih temperatura. Isto tako, kada je temperatura vazduha veća od temperature metala dolazi do kondenzacije vodene pare, čime se ubrzava proces korozije.

Godišnje doba, takođe, utiče na brzinu atmosferske korozije. U toku proleća i jeseni korozija je intenzivnija zbog većih padavina i niže temperature vazduha, koja omogućava da se vlaga duže zadrži na površini metala.

Produkti korozije utiču na karakter razvoja atmosferske korozije sa vremenom. Njihov uticaj nije isti kod svih metala zbog nejednakih osobina produkata korozije.

Na površini olova, aluminijuma, bakra, mesinga i kalaja u atmosferskim uslovima stvara se sloj produkata korozije koji usporavaju dalji razvoj korozije (slika 9). Korozija nikla i cinka menja se po paraboličnoj zakonitosti. Brzina korozije gvožđa vremenom postaje sve veća, da bi se nakon određene vremena počela smanjivati.

Primeri razvoja atmosferske korozije pokazuju da je brzina korozije metala u uskoj vezi sa prirodom obrazovanih produkata korozije. Produkti ko-

rozije mogu da deluju na razvoj korozije kao pasivatori i aktivatori. Produkt korozije usporava koroziju ako se formira kompaktan sloj koji je stabilan i čvrsto prianja uz površinu metala. Međutim, ukoliko nastaju higroskopni produkti, brzina korozije takvih metala povećava se sa vremenom, što se naročito uočava kod gvožđa (slika 9). Higroskopni produkti korozije nastaju na bakru i niklu u atmosferi koja sadrži sumpordioksid i sumportrioksid, kao i na cinku u atmosferi sa gasovitim hlorovodonikom.

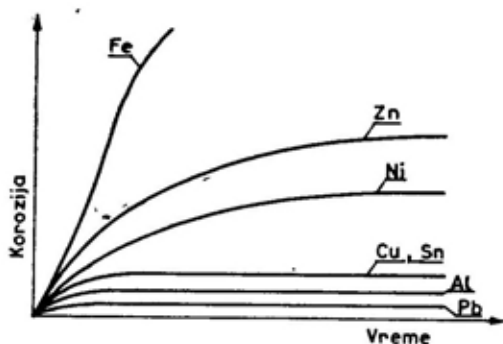
U istoj atmosferi metali i legure različito reaguju. Gvožđe je nestabilno i u relativno čistoj vlažnoj atmosferi, bakar i njegove legure brzo podležu koroziji u atmosferi sa neznatnom količinom amonijaka, dok u takvoj sredini nikal ne korodira. U atmosferi u kojoj ima sumpordioksida ili sumporovodonika, jedino je olovo stabilno, jer se obrazuje produkt korozije koji ima zaštitno svojstvo.

U atmosferi koja sadrži čestice soli većina tehničkih metala i legura sklona je intenzivnoj koroziji zbog delovanja hlorida kao aktivatora korozije.

## Zaključak

Atmosferska korozija je poseban oblik elektrohemijske korozije koja se odvija ispod sloja vlage na površini metala. Korozija se, uglavnom, odvija uz redukciju kiseonika. Na brzinu atmosferske korozije utiču: vlažnost vazduha, zagađenost atmosfere, vreme zadržavanja elektrolita na metalnoj površini i temperatura vazduha.

Štete koje nastaju zbog atmosferske korozije su velike, pa se zaštitni metalnih delova i sklopova konstrukcija mora poklanjati posebna pažnja.



Sl. 9 — Uticaj vremena ispitivanja na korozionu postojanost metala

Literatura:

- [1] Zuk, N. P.: Kurs koroziji i zaštiti metallov, Izdateljstvo Metallurgija, Moskva, 1963.
- [2] Donovan, P. D.: Protection of metals from corrosion in storage and transit, John, Wiley and sons, New York, 1986.
- [3] Rosenfeld, I. L.: Atmospheric corrosion of metals, English Language Edition, Nace, Houston, 1972.
- [4] Mladenović, S.: Korozija materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1978.
- [5] Milenković, M., Mladenović, S., Vučković, O.: Korozija i zaštita, Tehnička knjiga, Beograd, 1965.
- [6] Vujičić, V.: Korozija i zaštita metala, Centar vojnih škola vojske Jugoslavije, 1994.
- [7] Mladenović, S.: Mehanizam atmosfenske korozije metala, Zaštita materijala, 1971.
- [8] Barton, K.: Protection against atmospheric corrosion, John Wiley and Sons, London, 1976.
- [9] Đorđević, S.: Problemi aerozagađenja u Jugoslaviji, Zaštita materijala, 10—11, 1962.
- [10] Vujičić, V., Savić, D.: Uticaj temperature i relativne vlažnosti na brzinu atmosfenske korozije, Zaštita materijala 1, 1994.



## ANALIZA OŠTEĆENJA BETONA PRI ISPITIVANJU METODOM EKSPLOZIVNIH PUNJENJA

UDC: 620.178.7-033.3.001.575

### Rezime:

Prikazani su rezultati istraživanja korišćenjem jedne nove metode za određivanje čvrstoće betona pri pritisku pomoću malih eksplozivnih punjenja. Metoda se zasniva na merenju veličine kratera na betonskoj površini koji se dobija nakon eksplozije. Posebno mesto zauzima određivanje stepena oštećenja uzoraka usled dejstva malih eksplozivnih punjenja i mogućnost aproksimacije dobijenih rezultata normalnom raspodelom. Na osnovu srednje vrednosti opadanja čvrstoće pri pritisku uzoraka, pre i posle aktiviranja eksplozivnog punjenja od oko 10%, zaključeno je da je nastalo oštećenje lokalnog karaktera. Takođe, kriterijum za ocenu valjanosti normalnom raspodelom zadovoljen je u svim posmatranim slučajevima, pa se aproksimacija može smatrati dobrom.

*Ključne reči:* ispitivanje betona, oštećenje betona, kontaktna eksplozija, eksperimentalni rezultati, Gausova raspodela

### ANALYSIS OF CONCRETE DAMAGE DURING TESTING BY EXPLOSIVE CHARGES

#### Summary:

The results of a new testing method for the determination of concrete strength under pression using small quantities of explosive charges are given. The method is based on the measurement of the crater size on a concrete surface after explosion. The special emphasis is placed on the determination of a sample damage degree as the effect of small quantities of explosive charges as well as on the possibility to approximate obtained results using the normal distribution. On the basis of mean value of strength declination during sample pression, before and after the activation of explosive charge of about 10%, it was concluded that local damage had occurred. The validity estimation criterion using the normal distribution was satisfied in all observed cases so the approximation can be taken as valuable.

*Key words:* concrete testing, contact explosion, experimental results, Gaussian distribution.

#### Uvod

U toku 1992. i 1993. godine u našoj zemlji dobijeni su prvi rezultati ispitivanja betona pomoću malih eksplozivnih punjenja (MEP), pri čemu su određene početne relacije između čvrstoće betona pri pritisku i nastalog oštećenja betonske površine, tj. prečnika

i zapremine formiranog kratera [1, 2]. Pri tome je iskorišćena osnovna karakteristika dejstva eksplozije u kompaktnoj (neprekidnoj) sredini, a to je da radijus dejstva eksplozije zavisi od količine i vrste eksploziva, i od osobina sredine koja se ruši (npr. čvrstoće betona pri pritisku).



Dobijeni rezultati ukazali su na mogućnosti primene ovog postupka za ispitivanje (procenu) kvaliteta očvrstlih betona u posebnim situacijama, kao i na činjenicu da se osnovne prednosti metode ogledaju u jednostavnosti i pouzdanosti postupka. Međutim, s obzirom na obim prethodnih ispitivanja, otvorena su i neka pitanja koja u novom ciklusu eksperimentalnih provera tek treba razrešiti. Neka od tih pitanja su:

— stepen oštećenja uzoraka usled dejstva MEP tj. koliko su ovakva ispitivanja stvarno lokalnog karaktera;

— određivanje realnijih statističkih pokazatelja o grupisanju rezultata korišćenjem većih serija istovrsnih uzoraka, u okviru čega će se izvršiti provera valjanosti aproksimacije dobijenih rezultata merenja normalnom raspodelom;

— mogućnosti uspostavljanja korelacije otpornosti na dejstvo eksplozije sa drugim referentnim karakteristikama betona, kao što su čvrstoća betona na zatezanje, modul elastičnosti i sl., s obzirom na to da je za referentnu čvrstoću usvojena samo čvrstoća betona pri pritisku [1];

— poređenje pouzdanosti metode sa nekim drugim već standardizovanim nedestruktivnim postupcima, npr. sa metodom određivanja čvrstoće betona pomoću sklerometra.

Ovaj rad obuhvata, pored kratkog prikaza dosadašnjih rezultata, odgovore na neka od postavljenih pitanja, a posebno ona koja se odnose na određivanje stepena oštećenja uzoraka usled dejstva MEP i na mogućnost aproksimacije rezultata normalnom raspodelom.

### Dosadašnji rezultati

Sprovedena su istraživanja sa ciljem da se uspostavi zavisnost između veličine kratera na površini betonskog elementa koji izaziva unapred usvoje-

no eksplozivno punjenje — tzv. otpornosti na dejstvo eksplozije — i čvrstoće betona pri pritisku. Pored toga, izvršena su paralelna ispitivanja oba navedena svojstva betona, nakon čega su dobijene veličine dovedene u vezu sa statističkim metodama.

Biće dati samo krajnji rezultati linearne regresione analize (jednačina regresione linije, koeficijent korelacije  $r^2$  i standardna greška regresije  $S_f$ ), kojom je određena veza između čvrstoće betona pri pritisku ( $f_{bp}$ ) i veličine kratera (prečnika  $2R$  i zapremine  $V$ ) za dubinu postavljanja punjenja  $h=15$  mm. Dobijeni su sledeći rezultati [1]:

$$\begin{aligned} f_{bp} &= -0,30V + 54,8; r^2 = 0,81; \\ S_f &= 3,2\text{MPa} \\ f_{bp} &= -6,60(2R) + 104,5; r^2 = 0,77; \\ S_f &= 3,5\text{MPa} \end{aligned} \quad (1)$$

### Plan ispitivanja

Ispitivanja su sprovedena na betonskim uzorcima čija je starost bila oko 100 dana. Korišćene su betonske kocke, čije su ivice 20 cm, dok su referentne karakteristike betona određene na kockama ivica 15 cm i 20 cm i prizmama  $12 \times 12 \times 36$  cm. Svi uzorci su projektovane marke betona MB 35, čiji je sastav prikazan u tabeli 1.

Na kockama ivica 20 cm (41 kom.) u središtu jedne strane izvedene su bušotine prečnika 8 mm, dubine 17 mm, u kojoj će se aktivirati MEP DK-8 (JUS H.D3.150). Visina eksplozivnog punjenja u ovako formiranoj bušotini iznosiće 15 mm, uzimajući u obzir konusni oblik vrha burgije kojom se bušotina izvodi i debljinu dna čaure kapsle. S obzirom na ranija iskustva [1], zahteva se da tačnost bušenja izvedenih bušotina bude u okviru  $17 \pm 1$  mm, pa će se u slučaju većih odstupanja izvršiti ili odbacivanje takvih uzoraka ili korekcija rezultata usled nejednake

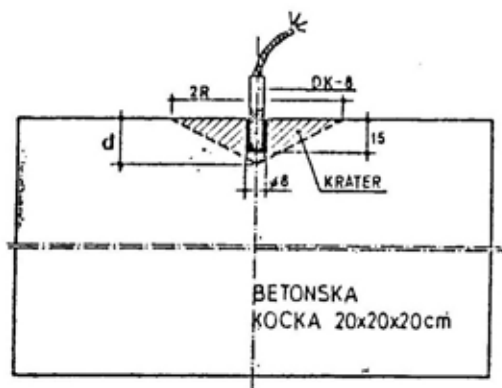
Tabela 1

Karakteristike betona korišćenog za izradu uzoraka

Materijal	Količina (kg/m <sup>3</sup> )
— Frakcija agregata 0/4 mm	620
— Frakcija agregata 4/8 mm	252
— Frakcija agregata 8/16 mm	375
— Frakcija agregata 16/32 mm	670
— cement „Popovac“ 30 z 45 B	330
— Vodocementni faktor	0,53
— Zapreminska masa sve- žeg betona: projektovana ostvarena	2422 kg/m <sup>3</sup> 2397 kg/m <sup>3</sup>
— Pokazatelj konzistencije — sleganje	12 cm

dubine bušenja. Meriće se prečnik (2R), zapremina (V) i dubina (d) nastalog oštećenja (slika 1).

Zapremina kratera određiće se na osnovu zapreminske mase betona i mase izbačenog materijala, koja će se dobiti na osnovu razlike u masama uzoraka pre i posle aktiviranja DK-8. Me-



Sl. 1 — Sematski prikaz postavljanja MEP

renje zapremine kratera izvršiće se na još jedan način, i to korišćenjem opreme za određivanje zapreminske mase sa normiranim peskom.

Ovim postupkom, koristeći pesak poznate zapreminske mase, moguće je određivanje zapremine kratera na horizontalnim površinama većih uzoraka (kod kojih nije moguće odrediti mase uzoraka pre i posle pucanja). Takođe, svi uzorci bili su podvrgnuti prethodnim i naknadnim ispitivanjima u odnosu na ispitivanje sa MEP. U prethodna ispitivanja spada ispitivanje jedne strane uzorka sklerometrom (određivanje visine odskoka  $h^I$ ) pre dejstva MEP, dok u naknadna ispitivanja uzoraka spadaju ispitivanja posle dejstva MEP. Uzorci će biti »zakrpljeni« — formirani krateri će se popuniti cementnim malterom, a zatim će se ponovo izvršiti ispitivanje sklerometrom (određivanje visine odskoka  $h^{II}$ ), i ispitivanje standardnim postupkom (loma na presi) za određivanje čvrstoće betona pri pritisku ( $f_{bp}^{pk}$ ).

Takođe, određene su i sledeće referentne karakteristike betona: čvrstoća pri pritisku ( $f_{bp}$ ) određiće se standardnim postupkom ispitivanja (lom na presi) na 9 uzoraka — 6 kocki ivice 20 cm i 3 kocke ivice 15 cm, prema JUS U.M1.020. Kocke 20×20×20 cm će, takođe, biti izložene prethodnom ispitivanju pomoću sklerometra; čvrstoća pri zatezanju savijanjem ( $f_{bz}$ ) određiće se prema JUS U.M1.010 na prizmama (6 kom.) 12×12×36 cm lomom pomoću koncentrisanog opterećenja u sredini raspona; čvrstoća pri zatezanju cepanjem ( $f_b$ ) određiće se prema JUS U.M1.022 na delovima prizmi (12 kom.) dobijenim prilikom loma savijanjem — tzv. modifikovana metoda kocke; da bi se kompletirale mehaničke karakteristike betona kao materijala određiće se još i statički modul elastičnosti pri pritisku ( $E_b$ ), na prizmama 12×12×36 cm (6 kom.) prema JUS U.M1.025, a zatim praćenjem do loma istih uzoraka određiće se njihova čvrstoća pri pritisku ( $f_{bp}$ ) i  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagram.

## Rezultati ispitivanja

Eksperimentalna ispitivanja sprovedena su kada je starost uzoraka dostizala 100 dana, što je odgovaralo starosti uzoraka iz ranijih ispitivanja i omogućilo je upoređenje dobijenih rezultata.

Biće objašnjen izabrani način utvrđivanja stepena oštećenja, korekcija pojedinih rezultata usled nejednake dubine bušotina za smeštaj MEP-a, i provera valjanosti aproksimacije dobijenih rezultata normalnom raspodelom.

### Slabljenje uzoraka usled dejstva bušotinskih MEP

Jedno od osnovnih pitanja postavljeno u nastavku istraživanja čvrstoće betona pomoću MEP bilo je određivanje stepena oštećenja uzoraka (kocke ivice 20 cm), odnosno utvrđivanje lokalnosti pojave. Da bi se to pokazalo, vršena su ispitivanja svih uzoraka sklerometrom, pa je zatim na jednom broju referentnih uzoraka (6 kom.) određena čvrstoća betona pri pritisku u neporemećenom stanju. U tabeli 2 prikazani su rezultati merenja visine odskoka  $h$  (mm) i čvrstoće betona pri pritisku  $f_{bp}$  (MPa).

Odnos srednjih vrednosti  $k = f_{bp}/h = 44,9/34,7 = 1,294$  korišćen je da bi se za uzorke na kojima je aktivirano bušotinsko MEP (41 kom.), a koristeći merene visine odskoka sklerometra pre ( $h^I$ ) i posle ( $h^{II}$ ) eksplozije, na posredan način odredile i pojedine čvrstoće betona pri pritisku  $f_{bp}(h^I) = k \cdot h^I$  i  $f_{bp}(h^{II}) =$

$= k \cdot h^{II}$  za odgovarajuće faze eksperimenta. Takođe, uzorci na kojima su formirani krateri dejstvom MEP su »zakrpljeni« cementnim malterom, pa je posle odležavanja određena njihova stvarna čvrstoća pri pritisku lomom na presi ( $f_{bp}^{pk}$ ). Na taj način, bilo je moguće odrediti odstupanje (%) u čvrstoći pri pritisku, pre i posle aktiviranja bušotinskog MEP, svakog pojedinih uzorka. Prema tome, odstupanje iznosi:

$$\Delta(\%) = \frac{f_{bp}(h^I) - f_{bp}^{pk}}{f_{bp}(h^I)} \cdot 100 \quad (2)$$

Rezultati ove analize prikazani su u tabeli 3.

Sličan postupak za određivanje stepena oštećenja betona korišćen je kod metode lokalne destrukcije, poznate pod nazivom BRE-test (engleska varijanta pull-out testa na bazi ekspanzivnih ankera — britanski standard BS 6089/81) [3]. Čabovski i Brajden-Smit [4] dobili su srednju vrednost slabljenja uzoraka (kocke ivice 15 cm) od 5 %, mereno padom čvrstoće pri pritisku uzoraka na kojima je izvršeno čupanje ankera, a zatim »krpljenje« i lom na presi, prema čvrstoći pri pritisku neporemećenih uzoraka.

U našem slučaju, srednja vrednost slabljenja uzoraka iznosila je prihvatljivih 10,4 %, dok se pojedinačne vrednosti kreću od -4 % do 25 %. Slabljenja uzoraka veća od 20 % sreću se na četiri uzorka (r.br.7,16,18,38) i ne može se smatrati lokalnom pojavom, jer je »izgubljeno« više od petine nosivosti uzorka. Ovaj kriterijum uspos-

Tabela 2

### Određivanje karakteristika referentnih uzoraka

Redni broj	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Sr. vr.	$C_v(\%)$
$f_{bp}$ (MPa)	46,6	43,7	46,0	45,5	44,0	43,6	44,9	2,9
$h$ (mm)	35,3	35,7	34,5	33,6	33,6	35,6	34,7	2,8

taavljen je na osnovu pretpostavke da se dvostruka vrednost srednjeg slabljenja može usvojiti za gornju granicu tolerancije slabljenja pojedinačnih uzoraka. Zbog toga su iz dalje analize izbačeni rezultati merenja veličine kratera uzoraka sa slabljenjem većim od 20 %, jer se može smatrati da pojava na njima nije lokalnog karaktera. Razloge za to treba tražiti, pre svega, u neadekvatnosti veličine uzoraka, a i u posrednom određivanju čvrstoća pri pritisku (preko sklerometra) uzoraka u neporemećenom stanju.

### Korekcija rezultata usled nejednake dubine bušenja

Pre nego što se prikažu rezultati merenja veličine kratera, izvršice se korekcija pojedinih rezultata, jer je na osnovu uvida u vrednosti dubina bušotina za smeštaj MEP-a (DK-8) zaključeno da su one izvedene sa varijacijama za koje se može pretpostaviti da mogu uticati na ukupno rasipanje rezultata. Zbog toga će se razmotriti kako varijacije u dubini bušenja ( $\Delta d_b$ ) utiču na varijacije u dubini kratera ( $\Delta d_k$ ), a samim tim i na veličinu samog kratera, odnosno na njegovu zapreminu ( $V$ ) i prečnik ( $2R$ ) (slika 2).

Uspostavljanje veze između dubine bušotine ( $d_b$ ) i dubine kratera ( $d_k$ ) iz-

vršeno je linearnom regresijom osrednjih rezultata merenja, koji su grupisani u četiri grupe: I grupa  $d_b \leq 1,6$  cm, II grupa  $1,6 < d_b \leq 1,7$  cm, III grupa  $1,7 < d_b \leq 1,8$  i IV grupa  $d_b > 1,8$  cm, pri čemu su dobijeni sledeći rezultati:  $d_k = 0,42 d_b + 1,41$ , i  $r^2 = 0,85$ . Takođe, uvedena su i određena uprošćenja radi pojednostavljenja postupka izvođenja, i to:

— formirani krater je u obliku idealnog konusa ( $V_k = R^2 \pi d_k / 3$ ),

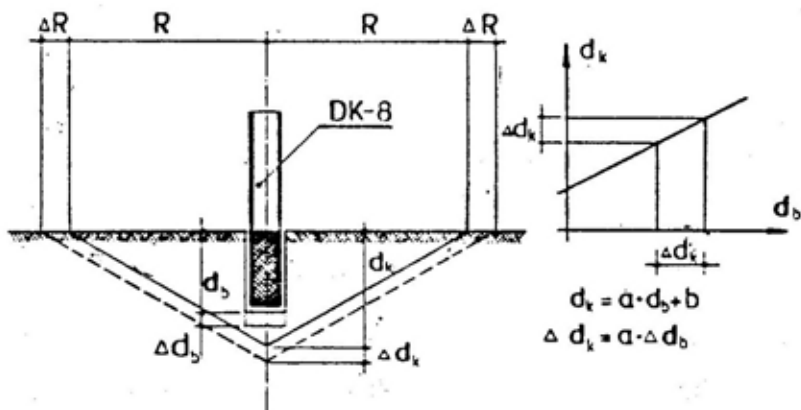
— veza između dubine bušotine i dubine kratera je u obliku prave linije,

— zanemaruju se male veličine višeg reda, proizvodi tipa  $\Delta R \cdot \Delta d_k$ ,  $(\Delta R)^2$ , i sl.

Neka je  $V_1 = \pi R^2 d_k / 3$  zapremina idealnog osnovnog kratera, i  $V_2 = \pi (R + \Delta R)^2 (d_k + \Delta d_k) / 3$  zapremina kratera usled povećanja  $d_k$  za  $\Delta d_k$ . Njihova razlika iznosi  $\Delta V = V_2 - V_1 = \pi (R^2 \Delta d_k + 2R \Delta R d_k) / 3$ . Iz jednostavnih geometrijskih transformacija može se dobiti da je  $R \Delta d_k = \Delta R d_k$ , pa sledi:  $\Delta V = \pi R \Delta R d_k = \pi R^2 \Delta d_k$ . Korišćenjem pretpostavke o idealnom konusu dobija se:

$$\Delta V = 3V \frac{\Delta d_k}{d_k}$$

$$(2\Delta R) = \frac{12 V \Delta d_k}{\pi (2R) d_k^2} \quad (3)$$



Sl. 2 — Osnovni geometrijski parametri kratera

Stabljenje uzoraka usled dejstva MEP-a i obradeni rezultati merenja

R.br.	$d_b$ (cm)	$d_k$ (cm)	$h^I$ (mm)	$h^{II}$ (mm)	$f_{bp}^{plk}$ (MPa)	$f_{bp}(h^I)$	$\Delta(\%)$	$V_{RM}(cm^3)$	$V_{GP}(cm^3)$	2R(cm)
1.	1,77	2,37	34,4	35,0	38,1	44,5	14	37,5	35,1	8,75
2.	1,59	2,51	31,7	34,3	37,7	41,0	8	53,0*	50,9*	9,66*
3.	1,68	2,23	32,5	35,4	40,7	42,1	3	41,7	38,5	9,0
4.	1,73	2,25	35,3	34,3	37,9	45,7	17	41,7	35,8	9,0
5.	1,70	2,30	35,2	32,5	36,4	45,5	20	41,7	36,5	9,0
6.	1,68	2,30	35,1	35,1	40,1	45,4	12	25,0	25,0	8,75
7.	—	—	35,2	34,5	34,1	45,5	25	—	—	—
8.	1,56	1,88	35,0	35,5	44,1	45,3	3	32,0*	33,3*	7,99*
9.	1,60	2,20	33,8	34,3	41,6	43,7	5	45,8	42,6	9,75
10.	1,79	2,11	34,4	34,8	44,7	44,5	—1	50,0	44,6	9,25
11.	1,85	2,30	33,7	33,1	38,6	43,6	11	65,3*	62,3*	10,46*
12.	1,63	2,28	32,5	33,5	43,7	42,1	—4	54,2	49,3	9,75
13.	1,57	1,95	34,3	34,4	38,5	44,4	13	44,9*	44,4*	9,48*
14.	1,61	1,98	34,3	34,9	39,5	44,4	11	62,5	56,8	10,25
15.	1,60	2,04	36,1	35,4	37,8	46,7	19	41,7	39,2	10,0
16.	—	—	36,1	36,2	36,2	46,7	22	—	—	—
17.	1,60	2,17	34,4	33,2	42,5	44,5	4	41,7	39,9	9,0
18.	—	—	35,6	32,9	34,9	46,1	24	—	—	—
19.	1,70	1,87	34,6	34,5	35,9	44,8	20	41,7	31,8	9,5
20.	1,68	1,85	31,9	29,6	34,4	41,3	17	41,7	39,2	8,0
21.	1,64	2,22	31,3	30,3	39,4	40,5	3	54,2	44,6	9,25

R.br.	$d_b$ (cm)	$d_k$ (cm)	$h^I$ (mm)	$h^{II}$ (mm)	$f_{br}^{pk}$ (MPa)	$f_{br}(h^I)$	$\Delta(\%)$	$V_{RM}$ (cm <sup>3</sup> )	$V_{GP}$ (cm <sup>3</sup> )	2R(cm)
22.	1,66	2,14	35,1	35,3	40,1	45,4	12	37,5	32,4	8,75
23.	1,61	2,05	33,6	36,5	43,8	43,5	—1	37,5	39,9	9,0
24.	1,66	2,10	34,9	33,9	43,2	45,2	4	45,8	37,8	9,75
25.	1,65	2,18	33,6	33,0	40,2	43,5	8	41,7	48,6	9,25
26.	1,60	1,90	32,5	35,6	43,5	42,1	—3	33,3	37,8	7,75
27.	1,82	2,25	31,2	31,9	35,8	40,4	11	50,6*	50,5*	9,8*
28.	1,60	2,60#	33,8	33,7	41,6	43,7	5	45,8	38,5	9,25
29.	1,64	2,19	33,8	32,4	39,6	43,7	9	41,7	31,8	9,0
30.	1,70	2,07	34,1	33,0	42,0	44,1	5	33,3	39,9	8,25
31.	1,60	2,00	35,0	33,8	43,2	45,3	5	45,8	45,3	9,75
32.	1,75	2,17	34,6	34,9	45,5	44,8	—2	37,5	36,5	8,75
33.	1,77	1,97	35,2	34,8	36,7	45,6	20	45,8	43,9	10,0
34.	1,75	2,32	34,7	30,7	45,0	44,9	0	29,2	30,4	8,5
35.	1,64	2,01	36,0	35,5	39,5	46,6	15	33,3	31,8	8,75
36.	1,64	1,96	34,0	34,2	35,5	44,0	19	50,0	39,2	9,5
37.	1,84	1,95	34,3	34,0	39,7	44,4	11	52,9*	46,0*	10,17*
38.	—	—	36,1	36,3	36,8	46,7	21	—	—	—
39.	1,64	1,99	34,1	32,5	40,4	44,1	8	37,5	26,4	7,5
40.	1,74	2,10	36,3	36,0	42,1	47,0	10	37,5	32,4	8,75
41.	1,69	2,05	33,5	33,0	37,0	43,4	15	45,8	38,5	9,5
Sr.vr.	1,68	2,13	34,2	34,0	39,7	44,3	—	43,2	39,9	9,16
$S_{n-1}$	0,08	0,18	1,31	1,59	3,19	1,69	—	8,57	7,93	0,70
$C_r(\%)$	4,6	8,2	3,8	4,7	8,0	3,8	—	19,8	19,9	7,7

\* Rezultati korigovani prema jednačini (3).

U tabeli 3 prikazani su korigovani rezultati, pri čemu je uzimano u obzir da je usvojena tolerancija u dubini bušenja  $1,7 \pm 0,1$  cm, tako da je izvršena korekcija samo kod onih uzoraka kod kojih je dubina bušenja bila manja od 1,6 cm (uzorci r.br.2,8,13) i veća od 1,8 cm (uzorci r.br.11,27,37).

Takođe, u tabeli 3 prikazani su krajnji dobijeni i obrađeni rezultati, i uvedene su sledeće oznake:  $V_{RM}$  (cm<sup>3</sup>) — zapremina kratera određena na osnovu razlike u masi uzoraka pre i posle eksplozije (usvojena zapreminska masa betona od 2400 kg/m<sup>3</sup>),  $V_{GP}$  (cm<sup>3</sup>) — zapremina kratera određena korišćenjem metode sa normiranim peskom; dobija se iz jednačine:  $((5000 - Q_2) / 1,48) - 1000$ , gde je  $Q_2$  masa posude aparata posle pražnjenja (masa punog aparata iznosila je 5000 g); korišćen je granulirani pesak poznatih karakteristika (zapreminska masa je 1480 kg/m<sup>3</sup> — srednja vrednost iz šest merenja); zapremina posude aparata za merenje iznosi 1000 cm<sup>3</sup>; 2R (cm) — srednji prečnik koji je jednak srednjoj vrednosti zbira najduže i najkraće ose kratera.

### *Određivanje referentnih karakteristika betona*

Biće prikazani samo krajnji rezultati merenja i određivanje osnovnih karakteristika betona korišćenog za izradu ispitanih uzoraka, tako da je čvrstoća betona pri pritisku iznosila 44,4 MPa (srednja vrednost iz 9 merenja 6 kocki ivice 20 cm iz tabele 2 i 3 kocke ivice 15 cm), čvrstoća betona pri zatezanju savijanjem 7,0 MPa (srednja vrednost iz šest merenja), čvrstoća betona pri zatezanju cepanjem 4,1 MPa (srednja vrednost iz 12 merenja), i modul elastičnosti betona pri pritisku 34,4 GPa (srednja vrednost iz tri merenja).

### **Normalna raspodela dobijenih rezultata**

Osnovni uzorci, u ovom slučaju skupovi izmerenih vrednosti veličine kratera ( $V_{RM}$ ,  $V_{GP}$ , 2R), imaju svoje zakone raspodele. U poslovima kontrole kvaliteta, kakvim se mogu smatrati posmatrana merenja, najčešće se koristi normalna (*Gaus-Laplasova*) raspodela verovatnoća.

Tehnika određivanja ovog zakona raspodele dovoljno je poznata i zastupljena u literaturi, a proračun se može sprovesti u nekoliko etapa:

#### I — Grupisanje rezultata.

Brojanjem se utvrđuje koliko je u osnovnom skupu pojava izmerenih vrednosti po pojedinim intervalima.

#### II — Određivanje statističkih parametara.

Za osnovni skup kao uzorak ( $n$ ) mogu se definisati: srednja vrednost u obliku aritmetičke sredine ( $\bar{x}$ ) i mera rasipanja izmerenih vrednosti kao standardna devijacija u obliku srednjeg kvadratnog odstupanja ( $s_n$ ).

#### III — Normalna raspodela verovatnoća.

Dugogodišnja ispitivanja u oblasti kvaliteta materijala pokazala su da je, po pravilu, oko 90 % empirijskih raspodela dobijenih merenjima moguće uspešno aproksimirati normalnom raspodelom [5]. Određivanje osnovnih parametara normalne raspodele opšte je poznato [6]. Simboli korišćeni u proračunu (tabele 4,5,6) jesu:

$f_i$  — apsolutna frekvencija,

$f_{ri}$  — relativna frekvencija,

$u_i = (x_i - \bar{x}) / s_{n-1}$  — argument normalne normirane funkcije raspodele.

$p_i = F(u_i)$  — verovatnoće standardizovane funkcije normalne raspodele, (preuzete iz tabele T-1.5.6 [6]),

$p_{ii} = p_i - p_{i-1}$  — verovatnoće za svaki grupni interval,

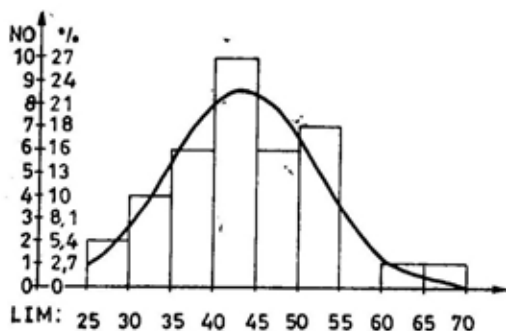


$f_{ii} = n p_{ii}$  — teoretske frekvencije za svaki grupni interval, koje predstavljaju odgovarajuće relativne frekvencije normalne raspodele kojom se aproksimira empirijska raspodela.

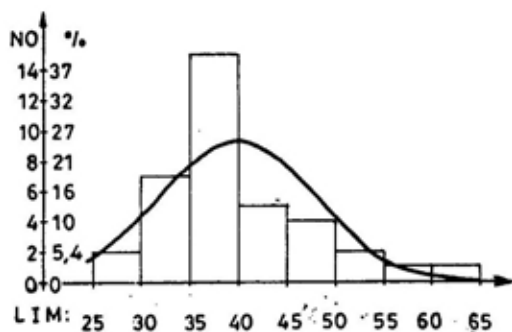
Aproksimacija empirijske raspodele normalnom raspodelom sprovedena je za rezultate merenja prečnika (2R) i zapremina kratera ( $V_{RM}$ ,  $V_{GP}$ ), koji su prikazani u tabeli 3.

Dobijeni rezultati grafički su prikazani na slikama 3, 4. i 5.

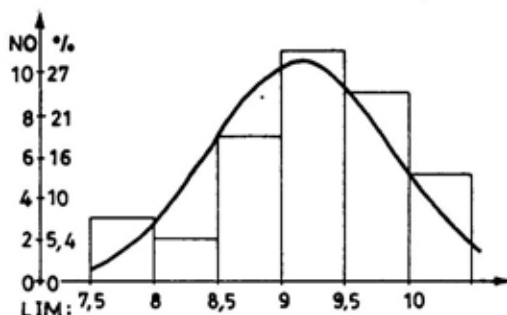
Nakon aproksimacije empirijske raspodele nekom teoretskom raspodelom verovatnoća, uvek se uočava da veličine apsolutnih frekvencija  $f_i$  i  $f_{ii}$  po grupnim intervalima nisu jednake. Postavlja se pitanje da li su te razlike prihvatljive (slučajne) ili ne, odnosno



Sl. 3 — Histogram i teorijska kriva normalne raspodele za izmerene vrednosti zapremine kratera preko razlika u masi



Sl. 4 — Histogram i teorijska kriva normalne raspodele za izmerene vrednosti zapremine kratera pomoću normiranog peska



Sl. 5 — Histogram i teorijska kriva normalne raspodele za izmerene vrednosti prečnika kratera

da li je aproksimacija dobra. Provera valjanosti aproksimacije na pouzdan način vrši se pomoću statističkih testova. U poslovima kontrole kvaliteta, provera valjanosti aproksimacije kod normalne raspodele vrši se najčešće Pirsonovim  $\chi^2$  testom, koji ne zahteva veće dopunske proračune. Postupak testiranja je jednostavan. Iz empirijske raspodele poznate su apsolutne frekvencije ( $f_i$ ), a aproksimacijom se mogu dobiti teoretske frekvencije normalne raspodele ( $f_{ii}$ ) po grupnim intervalima. Za svaki grupni interval treba izračunati veličinu  $\chi^2$  prema obrascu:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^j \frac{(f_i - f_{ii})^2}{f_{ii}} \quad (4)$$

gde je:

$j$  — broj grupnih intervala.

Dobijena vrednost  $\chi^2$  se upoređuje sa kritičnim vrednostima za  $\chi^2$ -raspodelu i izabrani nivo značajnosti  $\alpha$ , odnosno za interval poverenja  $1 - \alpha$  [5].

Broj stepeni slobode iznosi:

$$v = n - k - 1,$$

gde je:

$n = j$  — broj grupnih intervala koji je poslužio za izračunavanje veličine  $\chi^2$ ,  $k$  — broj nezavisnih parametara teoretske raspodele kojom se vrši aproksimacija.



Za normalnu raspodelu koja zavisi od promenljivih  $x$  i  $s_n$ ,  $k=2$ . Uslovi za primenu ovog testa su da su sve širine grupnih intervala jednake i da je najmanja vrednost apsolutne frekvencije u jednom intervalu  $f_i=5$ . Ako to nije slučaj, onda se frekvencije iz dva ili više susednih intervala saberu i grupišu u jedan interval. Kriterijum za ocenu valjanosti aproksimacije tada glasi:

$$\chi^2 \leq \chi^2_{1-\alpha} \quad (5)$$

Kada je ovaj uslov ispunjen, aproksimacija se može smatrati dobrom. U posmatranom slučaju, usvojeno je  $\alpha=0,01$ , ( $1-\alpha=0,99$ ), dok kritične vrednosti za  $\chi^2$  raspodelu [5] iznose za  $n=1: \chi^2(0,99)=6,635$ , i za  $n=2: \chi^2(0,99)=9,21$ .

U tabelama 4, 5 i 6 dati su na ovaj način razmatrani rezultati ispitivanja.

Prema tome, u sva tri posmatrana slučaja kriterijum za ocenu valjanosti aproksimacije (5) zadovoljen je i ap-

roksimacija empirijske raspodele verovatnoća teorijskom (normalnom) raspodelom može se smatrati dobrom.

### Poređenje sa dosadašnjim rezultatima

Na slikama 7 i 8 prikazane su regresione linije date jednačinom (1) sa 95 % granicama pouzdanosti, kao i srednje vrednosti dobijenih rezultata uzetih iz tabele 3.

Poredeći srednju vrednost čvrstoće betona pri pritisku referentnih uzoraka, koja iznosi 44,4 MPa, sa vrednostima procenjenih čvrstoća dobijenih na osnovu srednjih vrednosti veličine kratera (tabela 3) i dobijenih veza iz ranijih istraživanja (1), mogu se izračunati odstupanja dobijenih rezultata od usvojene regresione linije, i ona iznose:

— kod zapremina određenih preko razlika u masi 5,8% (slika 6 — RM);

— kod zapremina određenih preko granuliranog peska 3,6 %, (slika 6 — GP);

Tabela 4

Zapremina kratera određena preko razlika u masi

$V_{RM}$	I (25—30)	II (30—35)	III (35—40)	IV (40—45)	V (45—50)	VI (50—55)	VII (55—60)	VIII (60—65)
$f_i$	2	4	6	10	6	7	1	1
$\Sigma f_i$	2	6	12	22	28	35	36	37
$p_0(x_i)$	5,41	10,81	16,22	27,03	16,22	18,92	2,70	2,70
$\Sigma p_0(x_i)$	5,41	16,22	32,44	59,47	75,69	94,61	93,31	100,01
$u_i$	-1,540	-0,956	-0,373	0,210	0,793	1,376	2,543	—
$p_i=F(u)$	0,0618	0,1695	0,3546	0,5832	0,7861	0,9156	0,9945	1,0000
$p_{ui}$	0,0618	0,1077	0,1851	0,2286	0,2029	0,1295	0,0789	0,0055
$f_{ti}$	2,29	3,98	6,85	8,46	7,51	4,79	2,92	0,20
$f_i^*$	(2+4) = 6		6	10	6	(7+1+1) = 9		
$f_{ti}^*$	(2,29+3,98) = 6,27		6,85	8,46	7,51	(4,79+2,92+0,20) = 7,91		
$(f_i^* - f_{ti}^*)^2 / f_{ti}^*$	0,012		0,105	0,280	0,304	0,147		

$$v = n - k - 1 = 5 - 2 - 1 = 2; \quad \alpha = 0,01; \quad 1 - \alpha = 0,99; \quad \chi^2 = 0,848 < 9,21 = \chi^2_{0,99}$$

Zapremina kratera određena postupkom koji koristi granulirani pesak

$V_{OP}$	I (25—30)	II (30—35)	III (35—40)	IV (40—45)	V (45—50)	VI (50—55)	VII (55—60)	VIII (60—65)
$f_i$	2	7	15	5	4	2	1	1
$\Sigma f_i$	2	9	24	29	33	35	36	37
$p_e(x_i)$	5,41	18,92	40,54	13,51	10,81	5,41	2,70	2,70
$\Sigma p_e(x_i)$	5,41	24,33	64,87	78,38	89,18	94,6	97,3	100,0
$u_i$	-1,248	-0,618	0,012	0,643	1,273	1,903	2,534	—
$p_i=F(u)$	0,1060	0,2683	0,5048	0,7399	0,8985	0,9715	0,9944	1,0000
$p_{ti}$	0,1060	0,1623	0,2365	0,2351	0,1586	0,0730	0,0229	0,0056
$f_{ti}$	3,92	6,01	8,75	8,70	5,87	2,70	0,85	0,21
$f_i^*$	(2+7)=9		15	5	(4+2+1+1) = 8			
$f_{ti}^*$	(3,92+6,01)=9,93		8,75	8,70	(5,87+2,70+0,85+0,21) = 9,63			
$(f_i^* - f_{ti}^*)^2/f_{ti}^*$	0,087		4,464	1,574	0,276			

$v=n-k-1=4-2-1=1$ ;  $\alpha=0,01$ ;  $1-\alpha=0,99$ ;  $\chi^2=6,401 < 6,635 = \chi^2_{\alpha, v}$ .

Tabela 6

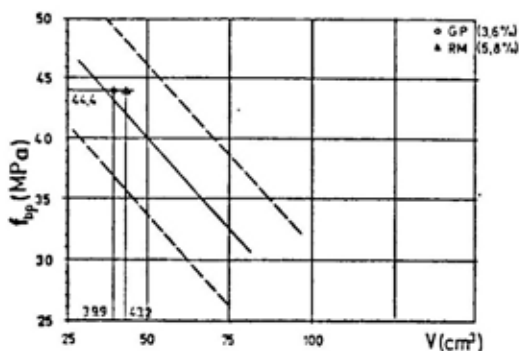
Prečnik kratera

2R	I (7,5—8)	II (8—8,5)	III (8,5—9)	IV (9—9,5)	V (9,5—10)	VI (10—10,5)
$f_i$	3	2	7	11	9	5
$\Sigma f_i$	3	5	12	23	32	37
$p_e(x_i)$	8,11	5,41	18,92	29,73	24,32	13,51
$\Sigma p_e(x_i)$	8,11	13,52	32,44	62,17	86,49	100,0
$u_i$	-1,652	-0,940	-0,228	0,484	1,197	—
$p_i=F(u)$	0,0493	0,1736	0,4098	0,6858	0,8843	1,0000
$p_{ti}$	0,0493	0,1243	0,2362	0,2760	0,1985	0,1157
$f_{ti}$	1,82	4,60	8,74	10,21	7,34	4,28
$f_i^*$	(3+2) = 5		7	11	9	5
$f_{ti}^*$	(1,82+4,60) = 6,42		8,74	10,21	7,34	4,28
$(f_i^* - f_{ti}^*)^2/f_{ti}^*$	0,314		0,346	0,061	0,375	0,121

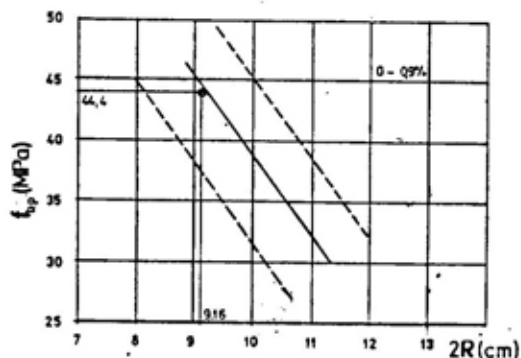
$v=n-k-1=5-2-1=2$ ;  $\alpha=0,01$ ;  $1-\alpha=0,99$ ;  $\chi^2=1,217 < 9,21 = \chi^2_{\alpha, v}$ .

— kod prečnika kratera 0,9 %, (slika 7).

Dobijena odstupanja nalaze se u okviru očekivanih vrednosti i obuhvaćena su 95 % granicama pouzdanosti.



Sl. 6 — Veza između čvrstoće betona pri pritisku i zapremine kratera



Sl. 7 — Veza između čvrstoće betona pri pritisku i prečnika kratera

### Mogućnosti korelacije parametara veličine kratera sa nekim drugim karakteristikama betona

Kako je planom ispitivanja predviđeno, pored čvrstoće betona pri pritisku kao referentne čvrstoće, ovom prilikom su na posebnim uzorcima određivane i neke druge karakteristike betona, kao što su čvrstoće pri zatezanju cepanjem i savijanjem i modul elastičnosti. S obzirom na to da je ispitivanje sprovedeno samo sa jednom vrstom betona, direktno uspostavlja-

nje veza između veličine kratera i ovih veličina nije bilo moguće. Korišćene su njihove posredne veze sa čvrstoćom betona pri pritisku koje preporučuje Evropski komitet za beton (SEV-FIP Model Code 1990 — MC 90) [7] i veze definisane jednačinama (1). Takođe, u razmatranje će se uvesti još jedna veličina, tzv. energija loma ( $G_F$ ), koja u ovom istraživanju nije direktno određivana, ali koja je značajna pri opisu realnijeg ponašanja betona izloženog dominantnim zatežućim naponima i pri primeni koncepta mehanike loma na beton. Ona se definiše kao energija potrebna za propagiranje pukotine od zatezanja jedinične površine [8]. Prema tome, koristeći veze između čvrstoće betona pri pritisku i prečnika ( $2R$ ) i zapremine kratera ( $V$ ) definisane jednačinama (1) i veze datih u MC 90 kojima se u odsustvu eksperimentalnih podataka procenjuju čvrstoća betona pri aksijalnom zatezanju ( $f_{bz}$ ), modul elastičnosti betona ( $E_b$ ) i energija loma ( $G_F$  —  $J/m^2$ ) preko čvrstoće betona pri pritisku, uspostaviće se direktna veza između ovih veličina i veličine kratera ( $V$ ,  $2R$ ).

Relacije potrebne za ovo izvođenje su:

$$\begin{aligned} f_{bz} &= 0,30 \cdot f_{bk}^{2/3} \\ E_b &= 10^4 \cdot f_{bp}^{1/3} \\ G_F &= 10 \cdot f_{bp}^{0,7} \end{aligned} \quad (6)$$

gde je:

$f_{bp}$  — srednja čvrstoća betona pri pritisku (MPa),  
 $f_{bk}$  — karakteristična čvrstoća betona pri pritisku  $f_{bp} = f_{bk} + 8$ .

U tabeli 7 prikazani su rezultati procene vrednosti ovih karakteristika betona na osnovu srednjih vrednosti veličina kratera i njihovo upoređenje sa izmerenim vrednostima na referentnim uzorcima. Referentna vrednost za  $G_F$  određena je na osnovu srednje vrednosti čvrstoće betona pri pritisku referentnih uzoraka (44,4 MPa) i odgovarajuće veze iz (6), jer ona nije merena.

Procena nekih karakteristika betona na osnovu veličine kratera

	$f_{bz}=4,1$ MPa		$E_b=34,4$ GPa		$G_F=142,3$ J/m <sup>2</sup>	
	(1)+(6)	$\Delta(\%)$	(1)+(6)	$\Delta(\%)$	(1)+(6)	$\Delta(\%)$
$V_{GP}=39,3$ cm <sup>3</sup>	4,12	0,5	34980	1,7	138,7	2,5
$V_{RM}=43,2$ cm <sup>3</sup>	4,06	1,0	34700	0,9	136,4	4,1
$2R=9,16$ cm	4,18	2,0	35300	2,6	141,4	0,8

Kao što se vidi iz tabele 7, korišćenjem već uspostavljenih veza između čvrstoće betona pri pritisku i veličine kratera moguće je odrediti i neke druge karakteristike betona, kao što su čvrstoća betona pri zatezanju, modul elastičnosti ili energija loma, pri čemu se dobijaju minimalna odstupanja u odnosu na direktno određivanje ovih vrednosti. Ova činjenica ukazuje na još jednu mogućnost korišćenja uspostavljenih veza (1), ali i na potrebu definisanja relacija koje direktno povezuju veličinu kratera (prečnik i zapreminu) sa čvrstoćom pri zatezanju, modulom elastičnosti i energijom loma kao referentnim vrednostima. Na osnovu prethodno prikazanih rezultata može se pretpostaviti da će pouzdanost koju nude predložene relacije biti bar istog reda, ako ne i višeg, u odnosu na pouzdanost relacija koje za referentnu karakteristiku betona koriste čvrstoću pri pritisku.

### Zaključak

Na osnovu sprovedenih eksperimentalnih provera i naknadnih analiza dobijenih rezultata, mogu se izvesti sledeći zaključci:

— srednje slabljenje svih uzoraka usled dejstva bušotinskih MEP, izraženo padom čvrstoće pri pritisku iznosilo je 10,4 %, i može se smatrati dovoljno niskom vrednošću da bi izveli zaključak da je nastalo oštećenje lokalnog karaktera. Pojedini uzorci kod kojih je pad u čvrstoći bio veći od 20 % (4 kom.) su izuzeti iz daljeg raz-

matranja, pri čemu je srednji pad u čvrstoći smanjen na 10 %, tako da ovo izuzeće nije uticalo na opštost prethodnog zaključka. Takođe, korekcija pojedinih rezultata usled nejednake dubine bušotina za smeštaj MEP, sprovedena je na šest rezultata merenja dubina koje se nalaze van opsega od  $17 \pm 1$  mm, na taj način što su odgovarajući rezultati korigovani najviše do 10 %. Navedena korekcija praktično nije promenila srednje vrednosti posmatranih veličina, već je samo uticala da se koeficijent varijacije sveđe ispod 20 %.

— kao i u većini slučajeva određivanja kvaliteta materijala, i u ovom slučaju empirijska raspodela dobijena nezavisnim merenjima može se uspešno aproksimirati normalnom raspodelom. Pri tome, provera valjanosti aproksimacije kod normalne raspodele izvršene Pirsonovim  $\chi^2$  testom, u svim posmatranim slučajevima zadovoljila je postavljeni kriterijum za izabrani nivo značajnosti 0,01, odnosno za interval poverenja 0,99.

— cilj paralelnog ispitivanja svih uzoraka pomoću sklerometra bio je da se pokuša ustanoviti, da li ovaj merni postupak može registrovati pad u čvrstoći uzoraka pre i posle dejstva MEP. Dobijeni rezultati su pokazali skoro istu vrednost srednje visine odskoka u oba slučaja (pre i posle dejstva MEP), što s obzirom na pokazani pad u čvrstoći od oko 10 % i činjenicu da se radi o metodi koja meri površinsku tvrdoću, ukazuje na to da se ovaj postupak ne može koristiti za registrovanje slabljenja uzoraka usled dejstva MEP.

-a. Takođe, ovakav zaključak potvrđuje navode da postupak ispitivanja betona pomoću MEP nema strogo površinski karakter već da »angažuje« određenu masu betona ispod površine tako da se postupak sa pravom može svrstati u grupu metoda lokalne destrukcije.

— dobijeni rezultati su pokazali i vrlo dobru saglasnost sa dosadašnjim rezultatima. Takođe, oni su ilustrovali mogućnost primene ranije dobijenih veza i za određivanje (sa dovoljnom tačnošću) nekih drugih karakteristika betona kao što su čvrstoća pri zatezanju, modul elastičnosti i energiju loma.

#### Literatura:

- [1] Cvetković, D.: Ispitivanje betona metodama lokalne destrukcije sa posebnim osvrtom na određivanje čvrstoće betona pomoću malih eksplozivnih punjenja, Magistarski rad, Beograd, 1993.
- [2] Cvetković, D.: Ispitivanje betona pomoću malih eksplozivnih punjenja sa primenom na određivanje značenja činioca otpornosti materijala za beton, Vojnotehnički glasnik, 5/1994., Beograd.
- [3] — BS 6089: Guide to assessment of concrete strength in existing structures, British Standard Institution, London, 1981.
- [4] Chabowski, A. J., Bryden-Smith, D. W.: Assessing the strength of in-situ Portland cement concrete by internal fracture tests, Magazine of concrete research, V.32, No.112, sept. 1980.
- [5] Flašar, A.: Statistička analiza podataka dobijenih ispitivanjem materijala i konstrukcija, Materijali i konstrukcije, 36 (96—112), 3—4, 1993.
- [6] Nenadović, M.: Matematička obrada podataka dobijenih merenjima, posebno izdanje SANU, Beograd, 1988.
- [7] — CEB — FIP Model Code 1990 (MC 90).
- [8] Hilsdorf, H. K., Brameshuber, W.: Code — type formulation of fracture mechanics concepts for concrete, International Journal of Fracture, 51:61—72, 1991.

Mr Veljbor Tomić  
Trajal korporacija,  
Kruševac

Mr Dragan Nikolić,  
kapetan I klase  
SC ABHO, Kruševac

## ISPITIVANJE SORPCIONIH KARAKTERIS- TIKA AKTIVNIH UGLJEVA NA PARE BENZINA

UDC: 628.512-039.7.912:614.894

### Rezime:

*Benzin ima veoma široku primenu, međutim, kao i njegova isparenja deluje toksično na ljudski organizam. Za zaštitu organa za disanje, radnu i životnu sredinu veoma je važna upotreba aktivnog uglja. U radu je prikazano ispitivanje sorpcionih karakteristika domaćih aktivnih ugljeva na pare benzina.*

*Ključne reči: adsorpcija, aktivni ugalj, vreme zaštitnog dejstva, kriva probijanja, izoterma adsorpcije*

## INVESTIGATION OF ACTIVATED CARBON SORPTION CHARACTERISTICS ON PETROL VAPOUR

### Summary:

*Petrol is widely applicated although it (especially its vapours) has toxic effects on human organism. The activated carbon application is very important for the protection of respiratory system, work environment and environment in general. Domestic activated carbons and their sorption characteristics were investigated on petrol vapour.*

*Key words: adsorption, activated carbon, protective effects time, penetration curve, adsorption isotherm.*

### Uvod

Benzin kao i pare benzina deluju toksično na ljudski organizam.

Aktivni ugalj je jedan od najboljih adsorbenata za zaštitu organa za disanje, radne i životne sredine. Poseđuje veoma razvijenu poroznu strukturu, a dobija se od koštica kokosa ili šljiva, od drveta i sl.

Filteri na bazi aktivnog uglja vrlo su efikasni pri radu sa benzinima u određenim postrojenjima i radionicama. Na osnovu karakteristika aktivnog uglja i eksperimentalnih podataka moguće je odrediti geometriju sloja aktivnog uglja potrebnog za zaštitu organa

za disanje i za zaštitu radne i životne sredine u svim uslovima rada sa benzinom.

U radu su izvršena ispitivanja sorpcionih karakteristika ugljeva domaće proizvodnje na pare benzina radi korišćenja podataka u matematičkim modelima dinamike adsorpcije, i za proračun geometrije sloja aktivnog uglja.

### Toksične osobine benzina

Zavisno od svog porekla, benzin može da sadrži različite količine cikličnih i aromatičnih ugljovodonika i druge toksične produkte.

Ima široku primenu u industriji, a naročito se koristi kao pogonsko gorivo.

Benzin ima jak afinitet prema lipidima i izaziva tipično narkotične pojave. Toksičnost benzina zavisi od njegove isparljivosti, a lako isparljivi benzini otrovniji su od teško isparljivijih viših frakcija.

Maksimalno dopuštena koncentracija za neetiliziran benzin u vazduhu iznosi 125 ppm.

Akutno trovanje benzinom može nastati i kada su pare benzina prisutne u atmosferi. Ako otrovani ostaje u takvoj atmosferi može doći i do smrtnog ishoda. Prvi simptomi hroničnog trovanja su nervna neuravnoteženost, pojava malaksalosti i mišićne slabosti, pospanost ili nesanic, anemija i tzv. »opijenost benzinom«. Kasnije se javlja bol u grudima, težak i mučan kašalj, krvava mokraća, a može doći do oboljenja bronhija, kao i pneumonije.

## Eksperimentalni deo

Ispitivanje izotermi adsorpcije i krive probijanja para benzina na aktivnom uglju R (aktivirani retortni bukov ugalj) i K (KCS aktivirana ugljenisana kokosova ljuska) obavljeno je u laboratoriji »TRAJAL« korporacije u Kruševcu. Aktivni ugalj R i K serijski su proizvod sa karakteristikama prikazanim u tabeli 1.

Benzin koji je korišćen kao adsorptiv proizvod je Rafinerije nafte Pančevo, pod trgovačkim nazivom S.

Sema aparature na kojoj su sprovedena ispitivanja izoterme adsorpcije od relativnih pritisaka (koncentracija) para benzina u struji vazduha prikazana je na slici 1.

Komprimovani vazduh se prethodno prečišćava kroz filter-adsorber (FA1), redukuje u reducir-stanici, da bi nakon toga bio sušen u ispiralicama (I1 i I2) sa koncentrovanom sumpornom kiselinom i silikagelom (KS 1). Nakon podešavanja protoka na roto-

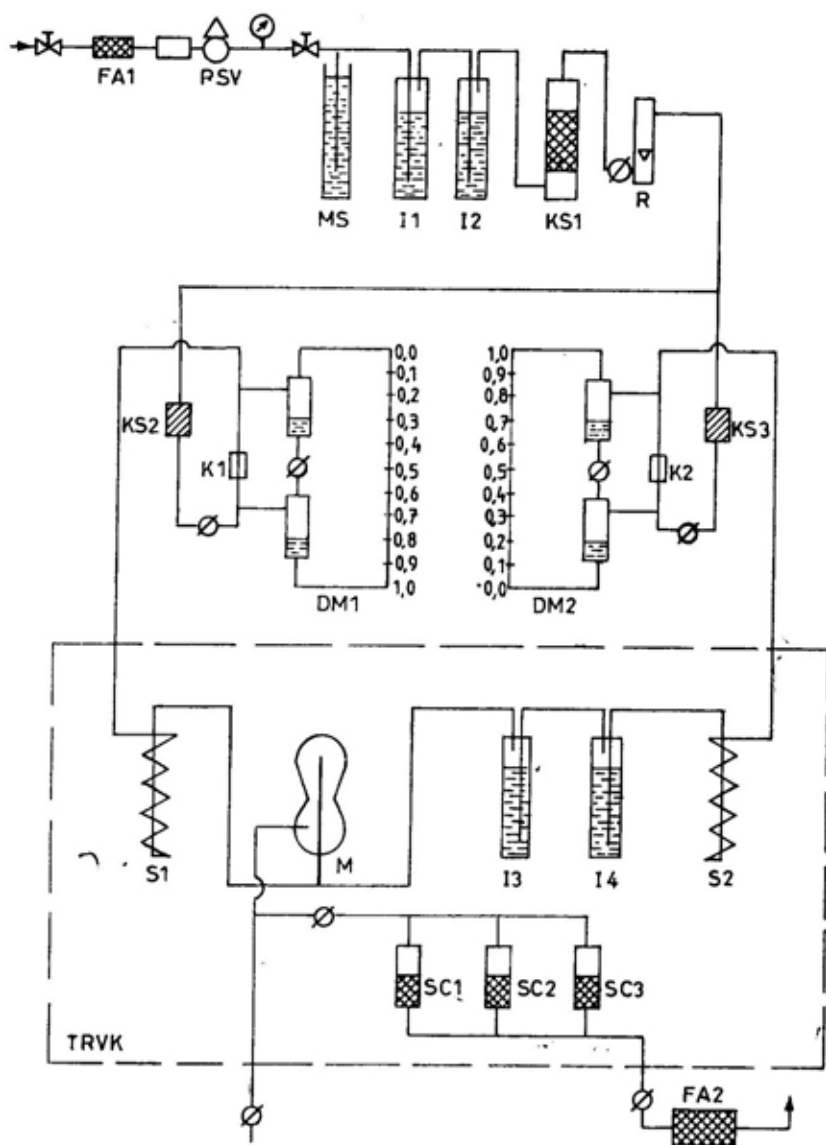
Karakteristike aktivnih ugljeva

Tabela 1

Karakteristike	Granulisani aktivni ugalj R	Aktivni ugalj u zrnu (0,5 do 2,5 mm) KCS
Vlažnost	5%	5%
Sadržaj pepela	7 do 9%	4 do 5%
Indeks benzina merenjem adsorpcione mase pare	min 33%	min 35%
Indeks benzina u praksi	35 do 36%	min 42 do 45%
Jodni broj AWWA (1)	950 do 1050 mg/g	1150 do 1200 mg/g
Specifična površina BET	1000 m <sup>2</sup> /g	1150 do 1200 m <sup>2</sup> /g
pH vrednost	10	9 do 10,5
Mehanička otpornost	74 do 75%	—
Zapremina mikropora	—	0,40 do 0,45 cm <sup>3</sup> /g
Nasipna masa	380 do 400 kg/m <sup>3</sup>	430 do 480 kg/m <sup>3</sup>

metru (R) na 0,5 do 1,0 dm<sup>3</sup>/min, vazduh se deli u dve grane u kojima se dodatno suši kroz sloj silikagela (KS2 i KS3). Kontrola protoka u granama ostvaruje se meracima protoka sa ka-

pilarima (K1 i K2) koji su prethodno izbaždareni. Raspodeljena struja vazduha u dve grane ulazi u termički regulisano vodeno kupatilo (TRVK) gde strujanjem kroz spiralne izmenjivače



Sl. 1 — Aparatura za ispitivanje izoterme adsorpcije na aktivnom uglju  
 FA — filter adsorber, RSV — reducir stanica za vazduh, MS — monostat, I1, I2 — ispiralice za H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KS1, KS2, KS3 — kolone sa silikagelom, K1, K2 — kapilari, DM1, DM2 — diferencijalni manometar, S1, S2, S3 — spirale, M — mešać, I3, I4 — ispiralice benzina, SC1, SC2, SC3 — ispitne cevi, TRVK — termostatiranje



toplote (S1 i S2) dostiže potrebnu temperaturu od 20°C.

Desna grana struje vazduha zasićava se parama benzina kroz ispiralice (I3 i I4) koje su napunjene benzinom i meša se sa levom granom struje vazduha u mešalici (M). Nakon mešanja, vazduh zasićen parama benzina do željene vrednosti propušta se kroz adsorpcione cevi (ŠC1, SC2 i SC3) koje su ispunjene sa 0,5 g uzorka aktivnog uglja. Neizreagovani deo benzina uklanja se iz struje vazduha kroz filter adsorber (FA2) pre nego što se vazduh ispusti u okolinu.

Kroz adsorpcione cevi propušta se smeša para benzina i suvog vazduha podešavanjem relativnog pritiska u intervalu  $10^{-2}$  do 1. Relativni pritisak menja se promenom odnosa protoka čistog vazduha i vazduha zasićenog benzinom pomoću slavina na meračima protoka.

Uzorak od 0,5 g aktivnog uglja granulacije od 0,71 do 1 mm, osušen na  $150 \pm 5^\circ\text{C}$ , postavljen je u ispitnu cev. Adsorpcija benzina obavljana je u granicama parcijalnog pritiska od 0,06 do 1,0.

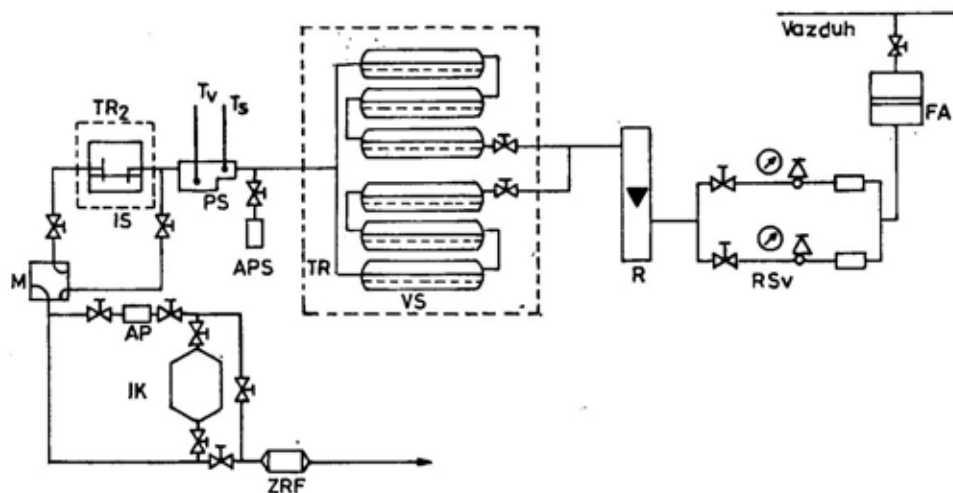
Za ispitivanje vremena zaštite formirana je aparatura koja je šematski prikazana na slici 2.

Parametri ispitivanja su:

- protok vazduha kontaminiranog benzinom 50 dm<sup>3</sup>/min;
- temperatura struje vazduha 20°C;
- relativna vlažnost vazduha 50%;
- ulazna koncentracija benzina 0,1% zap. (1000 ppm);
- zapremina sloja aktivnog uglja 180 cm<sup>3</sup>;
- masa aktivnog uglja 60 g.

Prečišćavanje vazduha, vlaženje, merenje protoka i temperature obavljanje je u primarnoj grani aparature podešavanjem protoka, temperature i vlažnosti vazduha, poštujući definisane uslove.

Doziranje benzina ostvarivano je propuštanjem vazduha kroz ispiralicu ispunjenu benzinom. Provera koncentracije benzina u struji vazduha obavljana je adsorpcionom metodom.



Sl. 2 — Aparatura za ispitivanje vremena zaštite sloja aktivnog uglja na pare benzina  
 IS — isparivač benzina, TR2 — sekcija za termostatanje, R — rotametar, APS — automatski psihrometar, PS — psihrometar, FA — filter adsorber, RSV — reducir za vazduh, M — mešač, AP — adsorpciona patrona, IK — ispitna komora, ZRF — zaštitni respiratorni filter

## Rezultati ispitivanja i diskusija

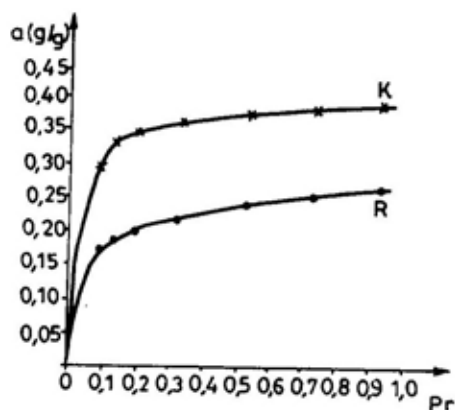
Dobijeni rezultati adsorpcionog kapaciteta u uslovima do zasićenja aktivnog uglja parama benzina, pri različitim parcijalnim pritiscima (koncentracijama), prikazani su u tabeli 2 i na dijagramima (izoterme adsorpcije) na slici 3.

U poređenjem kapaciteta adsorpcije na izotermi adsorpcije za aktivni ugalj K i R uočava se razlika koja je posledica razlike karakteristika ove

Tabela 2

Adsorpcioni kapacitet aktivnog uglja

Parcijalni pritisak (P/Po)	Adsorpcija benzina a (g/g)	
	aktivni ugalj R	aktivni ugalj K
0,06	0,1824	0,3080
0,1	0,1906	0,3402
0,17	0,1996	0,3476
0,30	0,2208	0,3638
0,50	0,2340	0,3720
0,70	0,2558	0,3846
0,90	0,2730	0,3920



Sl. 3 — Izoterma adsorpcije benzina na aktivnom uglju R i K

dve vrste aktivnih ugljeva. Iz karakteristika (tabela 1) vidi se da je indeks benzina (merjenjem adsorpcione mase pare benzina u smeši sa vazduhom) za aktivni ugalj K minimalno 35% (0,35 g/g), a u praksi se kreće od 42 do 45% (0,42 do 0,45 g/g). Indeks benzina u istim uslovima za aktivni ugalj R je minimalno 33% (0,33 g/g), a obično od 35 do 36% (0,35 do 0,36 g/g).

Specifična površina aktivnog uglja KCS po BET metodi je 1150 do 1200 m/g.

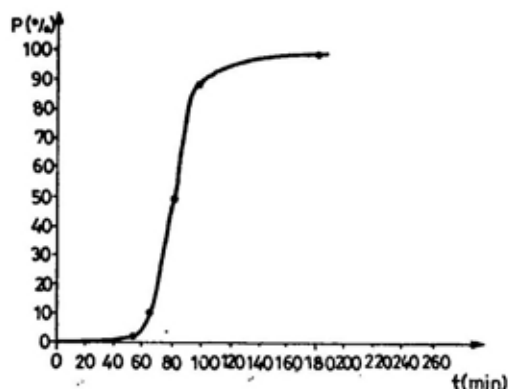
Pored ovih pogodnijih karakteristika aktivnog uglja K, bolji adsorpcioni kapacitet je posledica i njegovih strukturnih karakteristika (raspodela i veličina pora). Ovakve adsorpcione i strukturne karakteristike pogoduju adsorpciji komponenata benzinskih para za ispitivane vrste benzina. Razvijena mikroporoznost ove vrste aktivnog uglja pogoduje adsorpciji tipičnih komponenata iz smeše benzina. Tipični sastav benzina je sa dominantnim sadržajem nezasićenih parafina ili alkana (metan, n-butan, izobutan), nezasićenih olefina ili alkena (etilen, butan-1, 2-metilbutan-1), cikloparafina ili cikloalkana (ciklobutan) i aromatičnih jedinjenja (benzin, toluen).

S obzirom na to da je aktivni ugalj K pogodniji za adsorpciju para benzina, podvrgnut je ispitivanju krive probijanja do zasićenja. Vreme zaštite i kapacitet adsorpcije za različite procenete probijanja u dinamičkim uslovima prikazani su u tabeli 3 i na slici 4.

Tabela 3

Vreme zaštite i kapacitet adsorpcije

P(Cx/Co) (% zap.)	t (min)	We (g/g)
1	50	0,13
10	61	0,15
50	74	0,17
90	87	0,22
99	122	0,30



Sl. 4 — Kriva probijanja za benzin

### Zaključak

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja adsorpcionog kapaciteta aktivnog uglja K (aktivirana ugljenisana

kokosova ljuska) na pare benzina pokazali su da ova vrsta aktivnog uglja može da bude praktično sredstvo za kontrolu emisije isparljivih ugljovodnika u postupcima gde se primenjuje korišćena vrsta benzina.

Bez obzira na to što je kapacitet adsorpcije pri zasićenju (izoterma adsorpcije) duplo veći od kapaciteta pri probiju (izlazna koncentracija  $P=10\%$  na krivi probijanja), u praktičnoj primeni radi maksimalnog iskorišćenja sloja, najcelishodnije je ugraditi najmanje dva redno povezana filtera.

U svim uslovima gde dolazi do emisije para benzina moguće je primeniti filter za zaštitu organa za disanje, kao i filtere za zaštitu radne i životne sredine na bazi ispitivane vrste aktivnog uglja.

### Literatura:

- [1] Tomić, V.: VII naučni skup »Čovek i radna sredina«, Niš, 1988.
- [2] Tomić, V.: Savetovanje o proizvodnji i upotrebi zaštitnih sredstava, Kruševac, 1989.
- [3] Tomić, V.: XXII savetovanje »Zaštita vazduha«, Beograd, 1994.
- [4] Tomić, V.: Naučni skup RPT 94, Niš, 1994.
- [5] Nikolić, D.: Magistarski rad FZNR, Niš, 1992.
- [6] Nikolić, D.: Dinamika adsorpcije u filterima zaštite SC ABHO Kruševac, 1995.
- [7] Tomić, V.: Magistarski rad FZNR, Niš, 1992.
- [8] Nikolić, D., Biočanin, R.: Aktivni ugalj u funkciji NHB zaštite, Bilten SC ABHO, Kruševac, 1995.

## KOMANDNO-INFORMACIONI SISTEMI PROTIVVAZDUŠNE ODBRANE

### Uvod

Gotovo svi analitičari borbenih operacija koje su vodile snage koalicije u Persijskom zalivu slažu se sa stavom da armije vodećih zemalja sveta danas posvećuju posebnu pažnju razvoju ofanzivnih vazduhoplovnih jedinica i njihovih sredstava.

Veruje se da u početnoj fazi vazdušne operacije svaki napadač nastoji, pre svega, da postigne prevlast u vazdušnom prostoru, izvede masovne udare po većini elemenata PVO i istovremeno, stvori za branioca složenu situaciju u vazdušnom prostoru i ostvari jako ometanje elektronskih sredstava PVO.

U takvim uslovima, najradikalniji put postizanja visoke efikasnosti PVO ostvaruje se angažovanjem pokretnih vatrenih grupa, savremenih raketnih sistema zemlja-vazduh, lovačke avijacije, radara, sredstava za elektronska dejstva, kao i automatizacijom komandovanja jedinicama i upravljanja sredstvima PVO u svim fazama borbenih aktivnosti uz pomoć savremenih automatizovanih sistema, telekomunikacionih sistema i sredstava veze.

### Uspostavljanje globalnog sistema PVO

Osnovni problemi koji se mogu pojaviti prilikom uspostavljanja globalnog PVO sistema su:

— obezbeđenje potpune primene svih potencijalnih mogućnosti raspoloživih oruđa;

— obezbeđenje automatizacije procesa prognoziranja varijanti angažovanja i brza izrada preporuka za optimalnu organizaciju sistema PVO i najboljeg rasporeda jedinica i sredstava PVO;

— obezbeđenje operativnog odgovora na promene u sastavu i razmeštaju izdvojenih elemenata vatrenih grupa PVO, nastalih zbog efekata protivničkih vatrenih udara;

— obezbeđenje jedinstvenog automatizovanog komandovanja različitim jedinicama i upravljanja sredstvima PVO koji deluju na jednoj teritoriji;

— organizacija sadejstva svih vrsta podrške u toku svakodnevnih aktivnosti, planiranja PVO, borbenih operacija, kao i ponovno uspostavljanje narušenog sistema PVO.

Ovi problemi mogu se prevazići automatizovanom integracijom i punom koordinacijom rada svih sredstava PVO na jedinstvenoj zamisli, zadacima, formacijama i tehničkim i softverskim parametrima svih sredstava PVO, uključujući i one koji pripadaju različitim vidovima (RV i PVO, KoV, RM), integrišući ih u jedinstveni sistem PVO.

Stav današnjih vojnih eksperata jeste da integrisani sistem PVO mora biti postavljen na teritorijalnom principu, uključujući zone PVO u čijem sa-



stavu se nalaze sektori PVO. Primer jedne zone PVO prikazan je na slici 1 [1].

Prema prikazanoj strukturi, komandant zone je odgovoran za odbranu jedinica i sredstava unutar granica zone PVO.

Komandant sektora PVO pod svojom komandom ima direktno potčinjene sledeće sastave: jedinice raketa PVO, jedinice elektronskog izviđanja, jedinice lovačke avijacije i snage za elektronska dejstva. Pored toga, radi izvođenja zadataka PVO, svi sastavi i jedinice PVO, Kopnene vojske, RV i PVO i Ratne mornarice, locirane na teritoriji sektora PVO, ulaze pod njegovu operativnu komandu. Na taj način, unutar granica zone PVO, organizuje se jedinstveni sistem vazdušnog osmatranja, javljanja navođenja, radio-izviđanja, komandovanja svim jedinicama i upravljanja svim sredstvima sektora PVO, radi uspostavljanja jedinstvenog sistema PVO čitave zemlje.

Komandovanje zonama PVO i koordinacija njihovih aktivnosti ostvaruje se centralizovano.

Na teritoriji može biti organizovano nekoliko zona PVO, radi zaštite vitalnih državnih institucija, industrijskih kapaciteta, objekata i instalacija ili rejona grupisanja jedinica. Zone i sektori PVO mogu da odgovaraju i organizacionoj strukturi zemlje ili granicama odgovornosti armijskih formacija i, kao takvi, uključeni su u integrisani sistem PVO zemlje.

Osnovu integrisanog sistema PVO u odnosu na uobičajenu trupnu organizaciju (divizija, korpus, armija) čini njegova struktura, formirana na bazi već postojećih trupnih sistema naoružanja i automatizovanih sistema za komandovanje, uz uključivanje perspektivnih sredstava u meri njihovog prizivanja u jedinice.

Izgradnja integrisanog sistema PVO počinje, po pravilu, od izrade projekta u kojem se do detalja moraju razraditi sledeća pitanja:

— izbor i razrada operativno-tehničkih preduslova za razvoj sistema PVO;

— procena potencijalnih varijanti dejstva protivnika i definisanje organizacije potrebnih jedinica i sredstava koja će obezbediti odgovarajuću efektivnost i cenu sistema PVO;

— određivanje optimalnih varijanti organizacije pod sistema PVO raketa i PA artiljerije, lovačke avijacije, snaga i sredstava za elektronske obavestajno-izviđačke aktivnosti i protivoelektronskih dejstava;

— određivanje strukture, principa formiranja i kompozicije softvera i hardvera unifikovanih automatizovanih sistema, koji će sve organe komandovanja i upravljanja, kao i pod sisteme PVO, ukomponovati u jedinstveni komandni informacioni sistem;

— analiza postojećih sistema veza i razrada predloga koji će omogućiti njihovu modernizaciju i zamenu savremenijim sredstvima;

— definisanje smernica koje će obezbediti povećanje sposobnosti preživljavanja i stabilnosti PVO sistema kao i kompatibilnost stacionarnih i pokretnih sredstava za protivoelektronska dejstva;

— analiza postojećih borbenih položaja, komandnih i upravljačkih mesta i, ako je potrebno, određivanje potrebnih resursa za njihovu rekonstrukciju ili izgradnju;

— vojnoekonomska procena razvojnih varijanti sistema PVO, uz pomoć kriterijuma efektivnost — cena, radi određivanja optimalne razvojne varijante sistema;

— definisanje faza razvoja sistema PVO sa argumentacijom za prioritete aktivnosti i krajnjim rokovima njihovog završetka;

— definisanje procedura i postupaka za proveru usaglašenosti sistema PVO sa taktičko-tehničkim zahtevima, koji su zasnovani na matematičkom modeliranju i sveobuhvatnim testovi-

ma (nadletanje dislociranih sektora, gađanje na poligonima, itd.);

— procena mogućnosti aktiviranja sistema PVO.

### **Osnovni elementi integrisanog sistema PVO**

Osnovni elementi integrisanog sistema PVO su:

— podsistemi raketne i avijacijske zaštite, služba obaveštavanja, javljanja, navođenja, radio-izviđanja i izvođenja protivelektronskih dejstava;

— jedinstveni automatizovani komandno-informacioni sistemi za komandovanje jedinicama PVO i upravljanje sredstvima sa tehničkim i specijalnim sistemima za podršku;

— telekomunikacijski sistemi i sredstva veze koji omogućavaju funkcionisanje jedinstvenog automatizovanog komandno-informacionog sistema za komandovanje jedinicama i upravljanje sredstvima sistema PVO u svim fazama delovanja;

Podsistemi raketne i artiljerijske zaštite determinišu glavne karakteristike i mogućnosti sistema PVO koji ima za cilj uništavanje svih postojećih i perspektivnih napadačkih oružja, a mogu uključivati različite sisteme raketa zemlja-vazduh i PA artiljerije.

Podsystem lovačke zaštite obezbeđuje uništavanje protivnika na većim daljinama, omogućava manevar velikim snagama na glavnim pravcima udara i uključuje grupisanje na osnovu mogućnosti moderne lovačke avijacije.

Podsystem vazdušnog osmatranja, javljanja, navođenja i radio-izviđanja obezbeđuje:

— kontrolu vazdušnog prostora i obaveštavanje jedinica i komandi o situaciji u vazdušnom prostoru;

— informacionu podršku svih elemenata integrisanog sistema PVO (obaveštavanje jedinica, davanje koordinata ciljeva i njihovih karakteristika, davanje podataka o ciljevima za PA

rakete i artiljerijske sastave, kao i za navođenje lovačke avijacije);

— razmenu informacija između sadejstvjućih sistema, uključujući i sistem za upravljanje i kontrolu vazdušnog saobraćaja.

Podsystem može da uključuje savremene radare, kao i one starijih generacija sa analognim izlazima.

Podsystem protivelektronskih dejstava zasnovan je na višestrukim aktivnim ometačima koji obezbeđuju potiskivanje i onemogućavanje dejstva elektronskih borbenih sredstava protivnika, uključujući i sredstva za upravljanje vatrom.

Jedinstveni automatizovani komandno-informacioni sistem omogućava komandovanje snagama (jedinicama), upravljanje sredstvima PVO u toku borbenog dežurstva i u svim fazama planiranja vazdušnih operacija i borbenih dejstava, kao i u rešavanju problema svakodnevnih aktivnosti. Ovaj sistem obuhvata sve automatizovane sisteme uređaja na komandnim mestima i upravljačkim stanicama svih vidova vojske lociranih u zonama i sektorima PVO, koje izvršavaju zadatke PVO, a međusobno su povezani informaciono i logički u skladu sa usvojenom strukturom i hijerarhijom komandovanja.

Podsistemi za tehničku i specijalnu podršku, koji su uključeni u jedinstveni automatizovani komandno-informacioni sistem, namenjeni su za analizu i procenu stanja naoružanja i vojne opreme i davanje preporuka komandantima za donošenje valjanih i pravovremenih odluka o njihovoj zameni, opravci i održavanju u stanju borbene gotovosti.

Telekomunikacioni sistemi i sredstva veze povezuju automatizovane uređaje komandnih mesta i upravljačkih stanica uključenih u zone i sektore PVO preko postojećih komunikacionih kanala (žičnih, radio i satelitskih) i savremenih sredstava i sistema veza (komutacionih sistema X.25, fiber-optičkih linija, itd.).



Pri izgradnji složenog sistema PVO posebno se ističe potreba za usavršavanjem jedinstvenog automatizovanog komandno-informacionog sistema koji integriše sve podsisteme PVO na zadacima suprotstavljanja potencijalnom napadu.

Takođe, neophodno je pratiti i upoznavati savremene zahteve za pripremu i vođenje operacija PVO, uz stalno sagledavanje razvoja ofanzivnih oružja i taktike potencijalnog protivnika.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred automatizovani komandno-informacioni sistem prilikom njegovog usavršavanja su:

— jedinstveno i centralizovano komandovanje jedinicama i upravljanje sredstvima PVO radi stvaranja uslova za vođenje samostalnih borbenih dejstava različitih jedinica u skladu sa komandnim zamislima i postavljenim zadacima više komande;

— saradnja između jedinica i sredstava PVO koji pripadaju različitim vidovima i vrstama radi razmene informacija, vatrenog sadejstva i koordinacije njihovih aktivnosti u zajedničkom interesu odbrane jedinica i objekata;

— jedinstvena informaciona podrška komandnim mestima i upravljačkim stanicama na svim nivoima komandovanja koja se zasniva na jedinstvenoj prezentaciji podataka o protivničkim i sopstvenim snagama;

— operativna preraspodela aktivnosti i prilagođavanje komandovanja jedinicama i sredstvima u toku borbenih dejstava u skladu sa postojećom situacijom u vazдушnom prostoru i na zemlji;

— automatizacija svih faza komandnih i upravljačkih aktivnosti komandi i štabova u miru i prevođenje jedinica u povišeni stepen borbene gotovosti (svakodnevne aktivnosti i borbena dežurstva, predviđanje potencijalnih protivničkih udara i postavljanje odgovarajuće PVO, prevođenje snaga u povišeni stepen borbene gotovosti, borbena dejstva, ponovno uspostavljanje narušenog sistema PVO);

— neprekidno funkcionisanje izdvojenih elemenata, kao i celog automatizovanog komandno-informacionog sistema;

— operativni razvoj automatizovanog komandno-informacionog sistema u najkraćem mogućem vremenu sa minimumom gubitaka na postojećim stacionarnim i mobilnim komandnim mestima i upravljačkim stanicama, uz korišćenje efikasnih sistema za preživljavanje i povećanje robustnosti;

— minimalno zahtevano vreme za formiranje automatizovanih sistema uređaja, njihov modularni razvoj sa mogućnošću dograđivanja, u zavisnosti od nivoa komandovanja i uz mogućnost serijske proizvodnje;

— jednostavnost obuke i praktične upotrebe automatizovanih sistema uređaja za rešavanje komandnih i upravljačkih problema, funkcionalna podobnost u radu i pogodnost za održavanje uređaja;

— prevencija neovlaštenog pristupa ovim uređajima i otcianja podataka u toku rada;

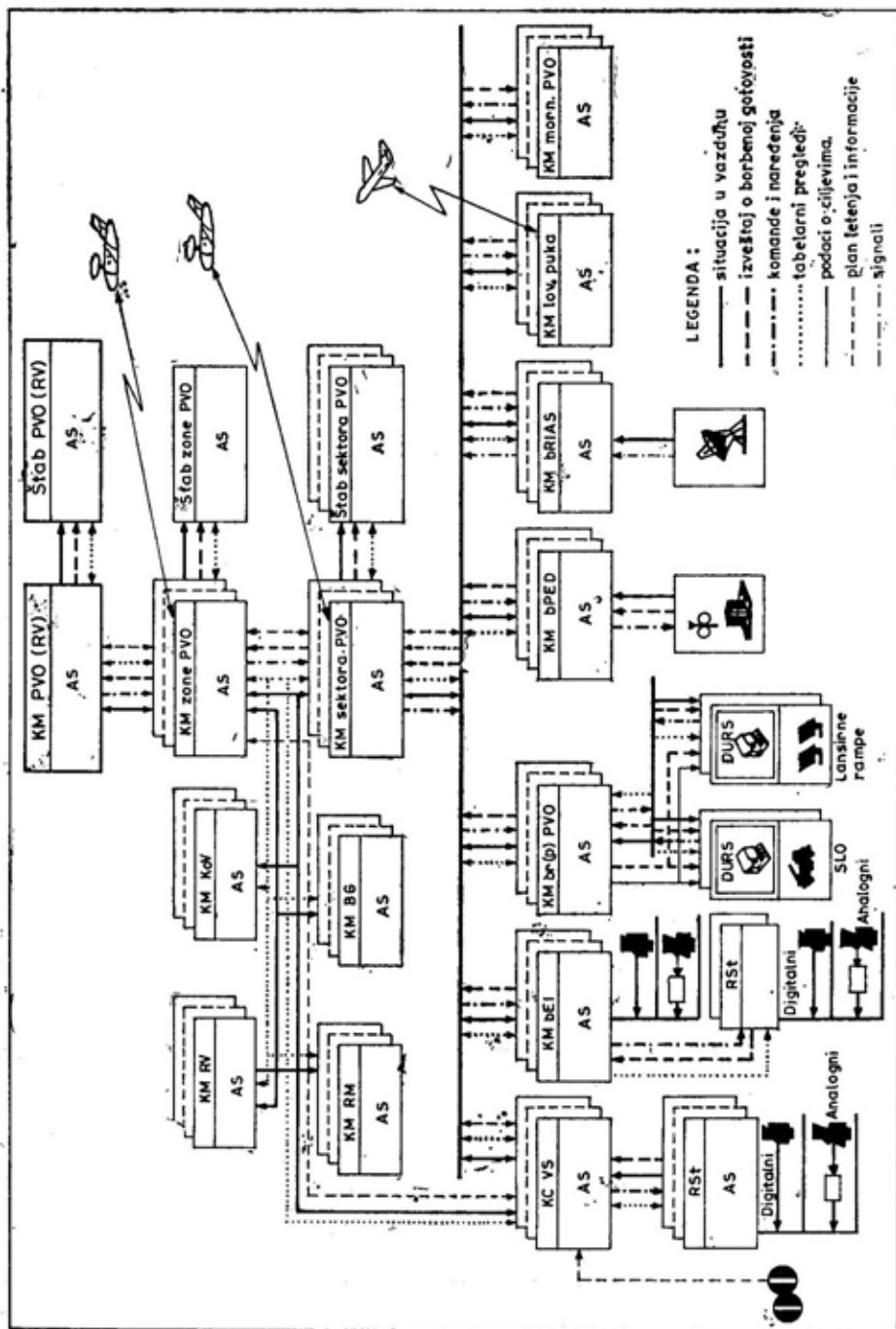
— razvoj i upotreba savremenih telekomunikacionih sistema i perspektivnih sredstava veze koji će omogućiti funkcionisanje automatizovanih sistema uređaja.

### **Prikaz tipičnog automatizovanog komandno-informacionog sistema**

U ovom poglavlju biće prikazan jedan tipičan komandno-informacioni sistem PVO, ruske kompanije »Rosvoroženiye«. Izgradnja automatizovanih komandno-informacionih sistema ove vrste podrazumeva primenu integralnih studija konstrukcije, savremenih metoda za projektovanje složenih sistema, metoda i najefikasnijih alata za programiranje sofisticiranih složenih sistema, primenu adekvatnih savremenih programskih jezika, operativnih sistema i proizvodnih procesa.

Automatizovani komandno-informacioni sistem, prikazan na slici 2 [1],





Sl. 2 — Struktura automatizovanog komandno-informacionog sistema PVO

AS — automatizovani sistem, RSt — radarska stanica, bRIAS — bataljon za radio-izviđanje i analizu signala, DURS — daljinski upravljana radna stanica, KCVS — kontrolni centar vazdušnog saobraćaja, KM bPBG — komandno mesto borbene grupe, KM bE1 — komandno mesto bataljona za elektronsko izviđanje, KM bPED — komandno mesto bataljona za protivelektronska dejstva, SLO — samohodno lansirno oruđe

namenjen je za automatizovano rešavanje problema svakodnevnih aktivnosti, planiranje PVO, organizaciju i podršku borbenom dežurstvu u miru, komandovanje jedinicama i štabovima u toku njihovog prevođenja u različite stepene borbene gotovosti, kao i u toku trajanja borbenih dejstava.

Sistem obezbeđuje rešavanje sledećih zadataka:

- blagovremeno planiranje faza pripreme i vođenja operacija i borbenih dejstava i određivanje verovatnih pravaca protivničkih vazдушnih udara;

- procena mogućnosti sopstvenih snaga (VOJIN, zona dejstva raketa PVO, dejstva borbene avijacije) i davanje predloga za organizovanje PVO i koncentrisanje snaga na glavnim pravcima udara;

- prevođenje jedinica u povišene stepene borbene gotovosti i nadzor sprovođenja mera za njeno izvršenje;

- prikupljanje informacija o vazdušnoj situaciji od sredstava VOJIN ugrađenih u automatizovani komandno-informacioni sistem i njihova prezentacija na individualnim (automatizovanim radnim stanicama) i kolektivnim sredstvima (panoima — ekranima) korisnika na komandnim mestima i upravljačkim stanicama;

- prijem i prosljeđivanje podataka o stanju borbene gotovosti jedinica, vremenskim uslovima, hemijskom, bakteriološkom i radiološkom stanju okoline;

- generisanje preporuka za izvođenje borbenih dejstava, definisanje zadataka za uništenje vazдушnih ciljeva, komandovanje jedinicama i upravljanje sredstvima PVO;

- prijem izveštaja o rezultatima borbenih operacija i njihove prezentacije i distribucije;

- obaveštavanje organa državnog rukovodstva o vazdušnoj situaciji i stanju različitih borbenih sastava;

- koordiniranje saradnje jedinica i sredstava PVO i komandnih mesta koja pripadaju različitim vidovima;

- rešavanje operativnih i taktičkih problema u toku borbenih operacija radi poboljšanja i uspostavljanja sistema komandovanja borbenim formacijama, jedinicama i sredstvima izbačenim iz borbenog poretka nakon protivničkog napada;

- komandovanje jedinicama u pripravnosti i kontrola procedura korišćenja vazdušnog prostora;

- obrađivanje informacija i davanje uputstava za planiranje celodnevnih aktivnosti i operativnih mera;

- arhiviranje primljenih i odaslanih informacija i pripreme izveštaja o rezultatima borbenih operacija.

U pogledu fizičke strukture, automatizovani komandno-informacioni sistem može da obuhvata:

- automatizovane sisteme uređaja na glavnom komandnom mestu RV i PVO;

- automatizovane sisteme uređaja komandnih mesta i štabova zona PVO;

- automatizovane sisteme uređaja komandnih mesta raketa PVO, lovačke avijacije, VOJIN (radio-elektronskog izviđanja i protivelektronskih dejstava), jedinica za upravljanje vazдушnim saobraćajem, flota i flotila;

- daljinski upravljane automatizovane radne stanice.

Automatizovani sistemi uređaja obezbeđuju automatizaciju rada svih organa komandovanja i upravljanja PVO. Izgrađeni su na jedinstvenim softverskim i tehničkim principima i organizovani od komandnog mesta neke jedinice do glavnog komandnog mesta, a sve radi formiranja jedinstvenog automatizovanog komandnog sistema.

Objedinjavanjem lokalnih automatizovanih sistema uređaja, instaliranih na komandnim mestima zona PVO, sektora i jedinica, te postojećeg sistema veza, stvara se jedinstveni informacioni i upravljački prostor zajednički za sve snage PVO i omogućava automatizovani pristup svim objektima upravljanja na svim nivoima.

Sistem je otvoren i za uvođenje mobilne automatizovane komandne i upravljačke opreme koja omogućava komandantima svih nivoa da ostvare kontinuirano komandovanje svim potčinjenim jedinicama.

Ovakav sistem omogućava fleksibilnost u operativnom komandovanju jedinicama, ali i rešavanje specifičnih problema, kao što su uvezivanje automatizovanih sistema sa: radarskim stanicama, raketama PVO, automatizovanim sistemima uređaja koji se nalaze na oruđima sa stalnom podrškom radara za rano upozorenje, lovačke avijacijom, sredstvima za protivvelektronska dejstva i drugim sistemima za automatsko upravljanje.

Daljinski upravljane radne stanice mogu biti postavljene na komandnim mestima jedinica PVO raketnih sistema, jedinica lovačke avijacije i jedinica za izvođenje protivvelektronskih dejstava. Njihov zadatak je da obezbede borbeno dežurstvo i uzbunjivanje u situacijama kada su automatizovani sistemi uređaja isključeni ili da zadrže njihovu radnu sposobnost za vreme izvođenja planiranih mera održavanja i remonta.

Sistem znatno olakšava i pojednostavljuje rad komandanata svih nivoa u komandovanju potčinjenim jedinicama, nudi različite varijante komandantskih odluka za izvođenje borbenih dejstava, a može se koristiti za izračunavanje raznih taktičkih i tehničkih pokazatelja u vremenu kada jedinice nisu angažovane. Elementi sistema obezbeđuju zaštitu od neautorizovanog pristupa podacima i oticanja podataka.

Hardversku osnovu sistema čine mobilni mikroprocesorski elementi koji imaju visoku pouzdanost, što pojednostavljuje održavanje i remont sistemskih komponenata. Ugradnja automatizovanih elemenata na različitim nivoima komandovanja PVO može biti izvedena u najkraćem mogućem vremenu i ne zahteva velike troškove za ponovno opremanje postojećih komandnih mesta i štabova niti povećanje osoblja.

Sistem pretpostavlja upotrebu savremenih sredstava za automatizaciju veza, uvedenih zajedno sa automatskom opremom za komandna mesta i štabove, i omogućava izgradnju modernih telekomunikacionih mreža zasnovanih na postojećim telekomunikacionim kanalima. Ove mreže mogu se koristiti za RV i PVO, ali i za komercijalnu upotrebu u miru.

Sistemi se mogu instalirati i na izdvojenim komandnim mestima ili upravljačkim punktovima sa delimičnom automatizacijom komandnih i upravljačkih funkcija ili, čak, i bez nje.

Razvoj sistema može se realizovati u fazama definisanim projektom sistema sa karakteristikama koje će zavisići od postavljenih zahteva i raspoloživih resursa. Fazna realizacija sistema predviđa prvo automatizaciju komandnih mesta višeg nivoa (glavno komandno mesto i komandna mesta zona PVO), zatim komandnih mesta sektora PVO i jedinica po hijerarhiji za integraciju svih komandi, upravljačkih i komunikacionih elemenata u jedinstveni sistem.

Sistem ne zahteva specijalno obučeno osoblje, budući da je njihova obuka moguća u relativno kratkom vremenu u toku aktiviranja sistema na mestima instalisanja.

Uvođenje ovakvog sistema rešava probleme optimalnog strukturiranja sistema PVO, prikupljanja i obrade velike količine različitih informacija, prezentiranja podataka u formi koja odgovara znanju borbenih posada, koordiniranja i raspoređivanja angažovanja svih snaga, njihovog pripremanja za akciju u najkraćem vremenu, definisanja zadataka za uništenje protivnika, nadgledanja odvijanja borbenih dejstava i izrade osnovne preporuke za ponovno uspostavljanje narušenog sistema PVO. Ovakav sistem povećava efikasnost komandovanja i upravljanja za 17 do 21%.

U pogledu tehničkih mogućnosti sistem može da prati i obrađuje podatke o 3000 vazdušnih ciljeva, upravlja

sa 100 komandnih i upravljačkih mesta, obrađuje i memoriše 60000 putanja praćenih letelica i obezbeđuje simultano funkcionisanje 100 komunikacionih veza (kanala).

Redosled aktivnosti u razvoju i implementaciji integralnog sistema PVO obuhvata:

— prikupljanje i proveru početnih podataka o varijantama izvođenja vazдушnih udara verovatnog protivnika, sastavu i dislokaciji jedinica VOJIN i snaga za protivelektronska dejstva; principima organizacije i strukturi jedinstvenog automatskog sistema komandovanja i upravljanja; sastavu komandnih i upravljačkih mesta; broju i kvalitetu komunikacionih kanala i linija veze;

— definisanje taktičko-tehničkih zahteva i izradu planova rada na razradi složenog projekta izgradnje integralnog sistema PVO;

— razradu složenog projekta izgradnje sistema PVO, razradu i preciziranje strukturnih šema jedinstvenog automatizovanog sistema komandovanja i upravljanja sa PVO;

— izradu složenog programa opremanja sistema PVO, s težištem na komandno-informacionom sistemu za automatizovano komandovanje i upravljanje, kao i određivanje faza realizacije;

— prvu fazu u izgradnji sistema PVO karakterišu: poboljšanje službe VOJIN, sistema PVO, avijacije i sredstava za protivelektronska dejstva; razvoj opšteg i specijalnog softvera za automatske sisteme uređaja; poboljšanje postojećih sistema veza i uspostavljanje novih telekomunikacionih sistema; instaliranje automatskih sistema uređaja i njihovo aktiviranje na glavnom komandnom mestu i komandnim mestima zone PVO, lokalna podešavanja i potrebna prilagođenja;

— drugu fazu izgradnje sistema PVO karakterišu: instaliranje automatskih sistema i njihovo aktiviranje i podešavanje na komandnim mestima sektora, jedinica VOJIN, raketnih jedini-

ca PVO, avijacijskih jedinica i jedinica za protivelektronska dejstva; povezivanje automatskih sistema uređaja komandnih mesta svih organa komandovanja i upravljanja; završna podešavanja i provera čitavog sistema automatizovanog komandovanja i upravljanja kao, u funkcionalnom smislu, jedinstvene celine;

— sprovođenje potrebnih testova sistema PVO.

Aktivnosti održavanja opreme iz sastava jedinstvenog sistema PVO sprovode se zajedno sa obukom specijalista.

Slični komandno-informacioni sistemi PVO postoje i na Zapadu. Struktura i mogućnosti ovih sistema gotovo su identične [3].

Jedan od najnovijih je i sistem »Sintry« američke firme »Hughes« koja ima u planu da ovaj sistem ponudi NATO kao osnovni sistem za komandovanje i upravljanje vazдушnim snagama [2].

Sistem postoji u varijantama »Sintry 1000« i »Sintry 2000«. U zavisnosti od mogućnosti predviđena je i fazna implementacija ovih sistema.

Prva varijanta namenjena je naručiocima iz zemalja članica bivšeg istočnog bloka, koje pretenduju da postanu članice NATO, i iz zemalja Latinske Amerike kojima su zajedničke karakteristike želja za brzom modernizacijom sistema PVO i siromašni budžeti. Ova varijanta sistema omogućava praćenje, identifikaciju, upravljanje lovačkom avijacijom i obuku, a vreme njene isporuke je oko 6 meseci.

Druga varijanta sistema isporučuje se za oko 12 meseci i globalno obuhvata sledeće funkcije: izračunavanje pretnje protivničkih letelica, automatsko navođenje oruđa, upravljanje raketama zemlja-vazduh i povezivanje sa postojećim sistemima kroz razmenu podataka i registraciju vatrenih položaja preko linkovnih veza. Ovaj komandno-informacioni sistem PVO omogućava potpuno komandovanje i upravljanje odbrambenim sistemom, u pot-

punosti se prilagođava potrebama, uključujući planiranje svih borbenih zadataka, organizaciju raketne odbrane, kontrolu vojnog i civilnog vazdušnog saobraćaja, itd. Potpuna implementacija ovakvog sistema i stavljanje u punu operativnu upotrebu, zajedno sa obukom svih kadrova, traje, u zavisnosti od zahteva, od dve do četiri godine. Softver oba sistema urađen je u programskom jeziku Ada. Neke funkcije sistema preuzete su iz, u praksi već testiranih, sistema koji su isporučeni nekim zemljama kao što je Saudijska Arabija. Ove funkcije bile su urađene u programskom jeziku Fortran, ali su sada sve prerađene u programskom jeziku Ada.

### Zaključak

Razvoj komandno-informacionih sistema izuzetno je složen i obiman posao. Posebno je složen razvoj komandno-informacionih sistema PVO zbog činjenice da ovaj vid borbe mora da objedini i koordinira rad velikog broja jedinica iz sva tri vida vojske, uveže veliki broj tehnički najsloženijih sredstava, kao što su: radari, rakete, avioni, brodovi, artiljerijska oruđa, komunikaciona sredstva, računari, itd. koji su razmešteni na velikoj teritoriji. Pri tome, posebno je izražen zahtev za vrlo brzu (u realnom vremenu) i praktično nepogrešivu razmenu velikog broja po-

dataka čija je realizacija nezamisliva bez dobro postavljenog i kvalitetno izvedenog globalnog sistema komunikacija.

Da bi se rešavanje problema PVO moglo na zadovoljavajući način opisati algoritmima, potreban je precizan i jednoznačan opis svih entiteta preko unapred definisanih parametara i atributa. Da bi broj ovih parametara bio što manji i obrada što lakša, neophodna je sveobuhvatna unifikacija sastava i formacija jedinica, kao i svih tehničkih sredstava i potpuna standardizacija postupaka. Potpuna jednoznačnost u nadležnostima, donošenju odluka i komandovanju takođe je neizostavan uslov za potpunu formalizaciju procesa koji se odvijaju u komandovanju jedinicama i upravljanju sredstvima PVO.

Razvoj komandno-informacionih sistema je suviše složen i obiman da bi se mogao odvijati parcijalno i u malim timovima, jer postoji opasnost od zanemarivanja nekih aspekata problema ili predugog vremena razvoja, što može dovesti do zastarelosti sistema pre nego što bude uveden u operativnu upotrebu.

Kupovina, razvoj ili usavršavanje odgovarajućeg komandno-informacionog sistema PVO imperativ je izgradnje pouzdanog sistema odbrane, pri čemu mora da se vodi računa i o kompatibilnosti sistema PVO sa potencijalnim saveznicima.

### Literatura:

[1] Kotyolkin, A., Sinitsyn, V., Borodaky, Y., Luzan, A.: Main Guidelines to upgrade control Systems of air defense Forces and Assets, Military Parade, september - oktober, 1995.

[2] Janssen, J. L.: Sentry offers low cost air defense Jane's defence weekly, vol. 23, № 25, June, 1995.

[3] Boatman, J.: Airborne SIGINT at a junction, Jane's defence weekly, vol. 23, № 25, June, 1995.

Mr Vladan Šiljić,  
dipl. inž.

## PROTIVELEKTRONSKA BORBA kao sadržaj oružane borbe

— prikaz knjige —

Krajem 1995. godine NIU »Vojska« objavila je knjigu Protivelektronska borba kao sadržaj oružane borbe, autora dr Dušana Banjca. To je druga autorova knjiga iz ove oblasti. Prva — Protivelektronska borba u PVO, objavljena je 1986. godine i predstavljala je jednu od prvih koja je razmatrala ovu veoma značajnu problematiku. Do tada, na našem jeziku nije bilo odgovarajuće literature, sem nešto članaka i dve-tri knjige sa užim tematskim sadržajima o protivelektronskoj borbi (PEB).

Prva knjiga omogućila je da se shvati značaj PEB u oružanoj borbi i njen, često, presudan uticaj na ishod bojeva i operacija, kao i da se, praktično primene rezultati obrade pojedinih tema.

Knjiga Protivelektronska borba kao sadržaj oružane borbe u neophodnoj meri dopunjuje prvu knjigu, a obe daju doprinos razradi, razmatranju i teorijsko-stručnom obuhvatu tematike PEB u savremenim ratovima i zavrđuje pažnju onih koji se bave pitanjima vođenja elektronske borbe, toliko značajne u današnje vreme.

U knjizi se potencira razvoj događaja u vojnoj mirnodopskoj, a posebno ratnoj praksi od Drugog svetskog rata do današnjih dana. To se, pre svega, odnosi na sve širu primenu elektronike u vojnim sistemima oružja i u skoro svim vrstama vojne opreme. Jer, kao i u drugim oblastima, elektronika kao nauka, tehnologija i praktična realiza-

cija ima dominantnu ulogu u vojnotehničkim sistemima svih vidova savremenih oružanih snaga. Opravdanost davanja elektronicu takvog mesta i uloge potvrđuje se ne samo kvantitetom i raznovrsnošću zastupljenosti u njima već i funkcijom integracije, upravljanja i kontrole skoro svih delova sistema oružja.

Ona višestruko uvećava efektivnost i efikasnost relativno autonomnih elektronskih sredstava i sistema, kao i integrisanih borbenih sredstava.

U knjizi su najpre definisani pojedini pojmovi PEB-a, a zatim stručno i kvalifikovano obrađeni najvažniji aspekti njenog vođenja, kao sadržaja oružane borbe u sva tri vida i u svim ambijentima.

Nužna pažnja posvećena je principima PEB, koji su obrađeni u skladu sa mestom i ulogom u oružanoj borbi i u međuzavisnosti i povezanosti sa drugim principima.

U okviru PEB, elektromagnetna zračenja i detekcija (prijem signala) posmatraju se sa istog aspekta, kao »ofanziva« i »defanziva« u oblasti strateških i taktičkih vatrenih dejstava. Nedvosmisleno se ukazuje na veliki uticaj koji PEB ima na planiranje, organizovanje i vođenje oružane borbe, jer se ove funkcije i procesi obavljaju primenom najsavremenijih elektronskih uređaja i sistema. Potencira se njena kompleksnost i integrisanost u sve sadržaje oružane borbe i navode odre-



đene teškoće u vezi sa njenim definisanjem i određivanjem pravog mesta i uloge u oružanoj borbi.

U knjizi je naznačena opštedruštvena dimenzija PEB i to onih delova koji nisu direktno u funkciji sistema oružja i opreme oružanih snaga, onih koji imaju širi društveni značaj, kao što su PTT, elektroprivreda, radio i televizija. To je značajno za pripremu i vođenje rata u celini, posebno sa stanovišta, za nas veoma značajne, protiv-elektronske zaštite kao sadržaja PEB i njene masovne primene u oružanim snagama i van njih.

Vrednost knjige jeste što autor insistira na integrativnom posmatranju PEB, kao sadržaju oružane borbe, što znači da ih ne razmatra kao izdvojene komponente, već kao sastavni deo borbe koju vode sistemi oružja, komunikacioni sistemi i druga sredstva u kojima elektronika ima dominantnu ulogu. Dajući joj upravo taj značaj, autor objektivno predočava sve moguće posledice ukoliko se ovi problemi posmatraju pojednostavljeno i ne uvažava velika opasnost borbe od elektromagnetnih talasa. Zato je potrebno preduzimati blagovremene operativne, taktičke, ali i tehničke mere za zaštitu vojnih efektivna, od pojedinačnih uređaja i borbenih sistema do objekata i čitavih vojnih kompleksa komunikacija, sistema VOJ i VOJIN, i drugih objekata, kao ciljeva dejstva u elektronskom, odnosno borbena-razornom smislu.

U odgovarajućoj meri autor naglašava neophodnost promena u ratnoj veštini zbog sve šire primene sredstava PEB i njihovog uticaja na ostala sredstva ratne tehnike, odnosa čovek-tehnika i drugih aspekata (inteligentne municije i raketnih sredstava).

Oslanjajući se na iskustva iz dosadašnjih ratova i oružanih sukoba, analizirajući sadašnje stanje i prognozirajući blisku budućnost, autor ukazuje na sve ono što je potrebno preduzeti u pogledu razvoja sredstava za PEB, organizovanja i razvoja jedinica i tak-

tike njihove upotrebe. Ukazuje na katastrofalne posledice po one koji ne uvažavaju opasnosti od elektronskog ratovanja i oslanjaju se na klasične načine vođenja rata.

Brži razvoj sadržaja PEB od ostalih sadržaja oružane borbe, poruka je knjige, zahteva kompleksno sagledavanje njenog mesta i uloge u oružanoj borbi, srazmerno tempu i intenzitetu razvoja, a samim tim i uvođenje neophodnih organizacijskih promena u jedinicama, komandama, upravama, naučnoistraživačkim i drugim institucijama u oružanim snagama, pa i izvan njih. U vezi s tim, neophodna su neprekidna naučna istraživanja i usavršavanja organizacije, operativno-taktičkih postupaka i tehničkih sredstava, školovanje i obuka stručnog kadra kroz uvođenje predmeta PEB u nastavne planove i programe svih škola.

Iz knjige se može zaključiti da je izučavanje sadržaja i postupaka vođenja PEB prvi preduslov za prognoziranje ishoda borbi, bojeva i operacija koje bi se, eventualno, vodile na našem prostoru, kako bi se mogla izbeći iznenađenja i neželjene posledice.

Obuhvaćeni su osnovni činioci PEB taktičkog i operativnog značaja, kao osnove za strategijska zaključivanja i, obrnuto, ukazano je na to da rešenja PEB-a na strategijskom nivou, obuhvatanjem svih vidova oružanih snaga, daju osnovu za razvoj, razradu i primenu na nižim i taktičkom nivou.

Naročito su značajna autorova razmatranja PEB, najšire posmatrano i modelski obrađeno, za konkretne slučajeve zaštite objekata, optimizacije taktičkih rešenja u borbenom poretku, organizacije pojedinih operativnih zamisli i izbora najpovoljnijih varijanti nekih rešenja. Teorijski i praktično obrazložena je opasnost od dejstva elektronski vođenih ubojnih sredstava i dati su primeri za organizovanje zaštite. Korektno su obuhvaćene snage i sredstva tehnički najrazvijenijih armija i predočeni principi dejstva u sva tri vida oružanih snaga.

Pri tome, uz odgovarajuću meru, razmatrani su pojedini sistemi, njihova osetljivost na PED i mogući efekti dejstva na njih (od sistema veza, objekata i sredstava KoV, PVO, avijacije do brodova i podmornica).

Za svoja razmatranja i zaključivanja autor je koristio skoro svu dostupnu literaturu i praktično iskoristio sve raspoložive podatke iz ove oblasti.

Knjiga sadrži brojne fotografije, skice, dijagrame, šeme, tabele i preglede koji se sistematizovano uklapaju u tekst ili daju kao prilog, a mogu se koristiti za praktične primene proračuna. Knjigu posebno valorizuju konkretne, vrlo obimne i kompleksne šeme, kao moguće varijante PEB u raznim ambijentima i vidovima borbenih dejstava.

S obzirom na širinu obuhvata, a posebno na vojnooperativni sadržaj rukopisa, veoma je važno da knjiga sadrži složeni matematički aparat i teorijske formule. To joj daje naučnu dimenziju, ali, istovremeno, omogućava

da se odgovarajućim programima na računaru relativno lako i brzo dobiju rezultati proračuna, a da se modeli iskoriste za verifikaciju određenih konstatacija, kao i za operativno-taktičke proračune za konkretne situacije i za modelovanje taktičko-tehničkih rešenja, simulacija i izbor varijanti.

Knjiga sadrži određena iskustva PEB iz rata u Zalivu u kome su, protiv Iraka, masovno primenjivana elektronski vođena ubojna sredstva. Istovremeno, novine u toj oblasti, pa neke i iz dejstava NATO na prostoru prethodne Jugoslavije, obavezuju autora da ih obradi u dopunjenom izdanju.

Knjiga Protivelektronska borba kao sadržaj oružane borbe, sada već afirmisanog autora dr Banjca, može se koristiti kao udžbenik, ali i kao priručnik za osposobljavanje kadrova za konkretne zadatke PEB-a. Predstavlja stručni i naučni doprinos vojnoj publicistici u oblasti ratne veštine i konkretnih sadržaja oružane borbe.





## prikazi iz inostranih časopisa

### MODIFIKOVANA PROTIVOKLOPNA VOĐENA RAKETA MALJUTKA-2\*

Poznati protivoklopni raketni sistem MALJUTKA ima sledeće karakteristike:

— jednokanalni sistem vođenja sa jednim gasnim aktuatorom koji radi u relejnom režimu;

— komandni signal se formira u zemaljskom uređaju za vođenje i na raketu prenosi preko specijalnog kabla (žice) za vođenje, što rezultira maksimalnim pojednostavljenjem upravljačkog sistema smeštenog na raketi, koji ne sadrži nikakav izvor napajanja, prijemnik, niti pojačalo;

— koristi se specijalno izrađeni trožilni niskootporni mikrokabl preko kojeg se prenose komandni signali;

— konstrukcija zemaljskog uređaja za vođenje je modularna,

— u konstrukciji rakete i lansirne kutije koja služi i kao kontejner za nošenje uveliko su korišćene plastične mase.

Po jedinstvenom pristupu u konstruisanju i visokoj produktivnosti u

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1986.

proizvodnji ovaj sistem nadmašio je sve ostale u svojoj klasi u pogledu borbene efektivnosti, jednostavnosti u rukovanju i pouzdanosti u radu. To je uzrok njegove velike upotrebe u svetu. Svoju izrazitu efikasnost pokazao je u arapsko-izraelskom ratu 1973. godine, kada je uništio oko 800 izraelskih tenkova.

Ubrzanim razvojem tenkovskog oklopa, borbena efektivnost ove rakete znatno je umanjena. Međutim, odgovarajućim poboljšanjima, njena borbena efektivnost se povećava, uz vrlo nisku cenu. Zbog vrlo povoljnog odnosa efektivnosti i cene, kao jednim od najboljih pokazatelja isplativosti nekog projekta, poboljšanjima su pristupile mnoge zemlje koje poseduju ovaj sistem.

Poboljšanja se zasnivaju na modernoj tehnologiji i jednostavnoj konstrukciji, a osnovni principi su:

— proizvodnja novih i poboljšanje već proizvedenih raketa koje se nalaze u upotrebi, uz izuzetno nisku cenu;

— mogućnost lansiranja usavršenih raketa sa starih lansera bez njihove modifikacije;

— jednostavna modifikacija postojećih raketa na mestima njihovog skladištenja;

— zamena starih bojnih glava novim koje imaju znatno povećanu probojnost oklopa;

— minimum zahvata na preostaloj konstrukciji rakete jednostavnom zamjenom delova.

MALJUTKA-2 zadržala je sve odlike osnovne verzije, uz znatno povećanu probojnost oklopa i povećanu srednju brzinu leta na trajektoriji.

U pogledu konstrukcije raketa ima novu bojnu glavu koja pouzdano uništava savremene tenkove, a u pogledu dimenzija potpuno odgovara starijoj verziji. Prilikom transporta, prenošenja i skladištenja operator uvlači nadograđeni »nos« u unutrašnjost bojne glave, a izvlači ga kada se raketa postavlja na lanser. Pored toga, MALJUTKA-2 ima modifikovan i pogonski odsek.

Poboljšana raketa može se koristiti u sklopu prenosnog kompleta 9K11 ili na borbenim vozilima 9P11, 9P122 i 9P133.

Raketa se transportuje u standardnoj ambalaži i proverava sa standardnom kontrolnom opremom, a zadržana su i sva postojeća sredstva za obuku — trenadžeri.

Ranije proizvedene rakete modifikuju se na mestu njihovog uskladištenja. Ovaj postupak se izvodi bez poteškoća, uz upotrebu odgovarajućeg alata, opreme i delova koje obezbeđuje proizvođač. Modifikaciju može izvesti stručno osoblje za održavanje uz jednostavnu obuku.

Poboljšana verzija rakete obezbeđuje povećanje borbene efektivnosti i uspešnu borbu protiv savremenih serijski proizvedenih tenkova koji se nalaze u upotrebi, kao što su: M-60, T-62, LEOPARD i MERKAVA, čak i ako su opremljeni reaktivnim oklopom.

Istovremeno, MALJUTKA-2 zadržava jednostavnost, male dimenzije i pouzdanost bez premca u svojoj klasi.

Modifikacija omogućava da se dobije protivoklopna raketa modernih karakteristika, uz nisku cenu i mali gubitak vremena u poređenju sa resursima potrebnim za razvoj novog sistema.

Uporedni pregled karakteristika protivoklopnih raketa iste klase dat je u tabeli 1.

Osnovne karakteristike protivoklopnih raketa

Tabela 1

Karakteristike \ Vrsta	MALJUTKA (standardna)	MALJUTKA-2 (modifikovana)	MILAN-2	DRAGON-2
Kalibar (mm)	125	125	115/90	122,8/127
Dužina (mm)	860	975	755	846
Masa (kg)	10,9 do 11,4	12,5	7,5	6,98
Probojnost (mm)	400 do 460	800	800	890
Masa bojne glave (kg)	2,6	3,5	3,0	3,3
Maksimalni domet (m)	3.000	3.000	2.000	1.500
Srednja brzina (m/s)	115	130	145	110

M. S.

## RAZVOJ ARTILJERIJSKE MUNICIJE U SVETU\*

Neke zemlje su već uvele u svoje naoružanje artiljerijske sisteme 155 mm sa dužinom cevi od 39 kalibara (britanski AS90 i američki M109A6), ili 45 kalibara (južnoafrički LIW G5/G6 i nedavno preuređeni GH N-45). Sada se za povećanje dometa uvode u naoružanje oruđa sa dužinom cevi od 52 kalibra. Prva zemlja koja je to uradila bio je Singapur sa svojim oruđem FH2000. Kada bude uvedeno u operativnu upotrebu nemačko oruđe PzH biće najteži samohodni artiljerijski sistem u svetu. Imajući u vidu prestanak hladnog rata, neke firme, kao GIAT, zalažu se za lakše i pokretljivije artiljerijske sisteme.

Ugradnjom automatskih ili polu-automatskih sistema punjenja oruđa municijom, brzina gađanja samohodnih topova znatno se povećala, dok vučna oruđa koriste potiskivače metka u cev. Oni se, takođe, mogu ugraditi i na neke samohodne artiljerijske sisteme, kao što je masovno korišćeni M109, kalibra 155 mm.

Savremeni artiljerijski sistemi mogu da koriste mnogo veći izbor projektila nego do sada. Pored toga, domet municije je povećan, ne samo zbog povećane dužine cevi, nego i zbog drugih poboljšanja kao što su aerodinamičniji artiljerijski projektili i korišćenje metaka sa generatorima gasa ili raketnim motorima.

Pored razvoja novih vrsta municije mnoge oružane snage u svetu pristupile su smanjivanju i racionalizaciji kalibara. Na primer, u KoV Velike Britanije do nedavno su postojala četiri kalibra: 105, 155, 175 i 203 mm, a danas samo dva 105 i 155 mm i višestruki raketni bacač 227 mm. Razlog za dugi opstanak kalibra 203 mm u naoružanju jeste mogućnost ispaljivanja projektila sa nuklearnom bojnog glavom.

\* Prema podacima iz časopisa ARMADA INTERNATIONAL, 4/1995.

## Artiljerijski projektili sa »base bleed« i raketnim motorom

SAD su uvek favorizovale raketne motore, pa su uvele u naoružanje aktivno-reaktivne artiljerijske projekte 105 i 155 mm, mada su se nedavno okrenuli ka artiljerijskoj municiji sa generatorima gasa. Ovi projektili su se pokazali preciznijim i mogu da ponese mnogo veći ubojni teret.

U fazi razvoja nalaze se artiljerijski projektili sa još većim dometom. U SAD se radi na razvoju artiljerijskog projektila 155 mm sa povećanim dometom (ERAP), koji će imati oznaku XM982. Ovaj jedinstveni projektil, još u ranoj fazi razvoja, ima generator gasa koji je ugrađen u zadnji deo, i raketni motor koji je ugrađen u prednji deo projektila. Za postizanje maksimalnog dometa generator gasa mora da radi najmanje 15 s, dok bi rad raketnog motora trajao 0,5 s.

Kada se bude ispaljivao iz unapređenog sistema poljske artiljerije 155 mm /52 kalibra AFAS (Advanced Field Artillery System), očekuje se da će projektil XM982 dostići domet od oko 44 km. Projektil je tako konstruisan da može da ponese različiti ubojni teret, na primer 72 potkalibarna ubojna sredstva M42/M46 ili 132 potkalibarna ubojna sredstva XM80, dva vođena potkalibarna projektila SADARM, sedam protivoklopnih mina RAAMS, elektronske ometače ili uređaje za izviđanje.

Izvan SAD povećanje dometa artiljerijske municije postiže se razvojem aerodinamičnijih projektila ili ugradnjom generatora gasa.

Bez svake sumnje, primena generatora gasa predstavlja novinu. Ovakav projektil ima malo punjenje u svom donjem delu koje sagoreva u toku leta i ispuštanjem gasova kroz dno popunjava vakuum stvoren neaerodinamičkim dnom. Mada je ubojni teret takvog projektila smanjen u odnosu na klasične projekte, domet je znatno povećan. Tako južnoafričke haubice

155 mm G5 (vučna) i G6 (samohodna) sa ovakvim projektilima postižu do met od 39,6 km.

Danas mnogi proizvođači nude artiljerijske projekte 155 mm sa generatorom gasa kao standardnim uređajem koji se, u nekim slučajevima, na bojištu može postaviti ili izvaditi iz dna projektila, čime se povećava fleksibilnost korišćenja.

Za italijansku samohodnu haubicu 155 mm PALMARIA razvija se nova familija artiljerijske municije aerodinamičnijeg oblika, i to tri vrste razornog projektila, osvetljavajući dimni i sa belim fosforom.

### Kasetni projektili

Dokora je artiljerija korišćena za zadatke posredne vatrene podrške imala malo efikasno dejstvo na oklopna vozila, zbog male verovatnoće postizanja direktnog pogotka. Artiljerijska oruđa mogu da gađaju oklopna vozila i neposrednim gađanjem, ali se, pri tome, izlažu neposrednoj vatri protivnika. Kasetni artiljerijski projektili sada omogućavaju napad na grupisana oklopna vozila, artiljeriju, komandne centre i druge taktičke ciljeve na velikim daljinama. Kasetni projektili razbacuju nevođena potkalibarna ubojna sredstva sa razornim protivoklopnim bojnim glavama iznad mesta cilja, radi probijanja osetljivih gornjih površina oklopnih vozila.

Francuska industrijska grupacija GIAT razvila je novu familiju artiljerijskih projektila 155 mm: kasetni metak G1 sa generatorom gasa i 63 potkalibarna ubojna sredstva sa samolikvidirajućim upaljačima.

U Nemačkoj su konstruisani kasetni projektili 155 mm, za koje se tvrdi da imaju povećani domet u odnosu na američki M483A1, koji nikada nije uveden u nemačko naoružanje. Ova dva metka nose oznake Rh 49 (ili DM652) i RB 63 (DM642). Dvocifrena brojka označava broj potkalibarnih ubojnih sredstava (submunicije) koji su smeš-

teni u kasetni projektil. Svi oni imaju upaljače sa samolikvidatorom. Rh 49 ima manji broj potkalibarnih sredstava, jer ima generator gasa koji mu obezbeđuje domet od 28,5 km, kada se ispaljuje iz haubice sa dužinom cevi od 39 kalibara i postojećim barutnim punjenjima. Italijanska firma BPD bavi se razvojem kasetnog projektila RB 63 koji se prodaje pod oznakom IM 303.

Dokora nije postojao vežbovni kasetni projektil 155 mm, pa je takav projektil sada konstruisan u Nemačkoj, a zasnovan je na dimnom metku M116 sa 16 inertnih potkalibarnih projektila u kaseti.

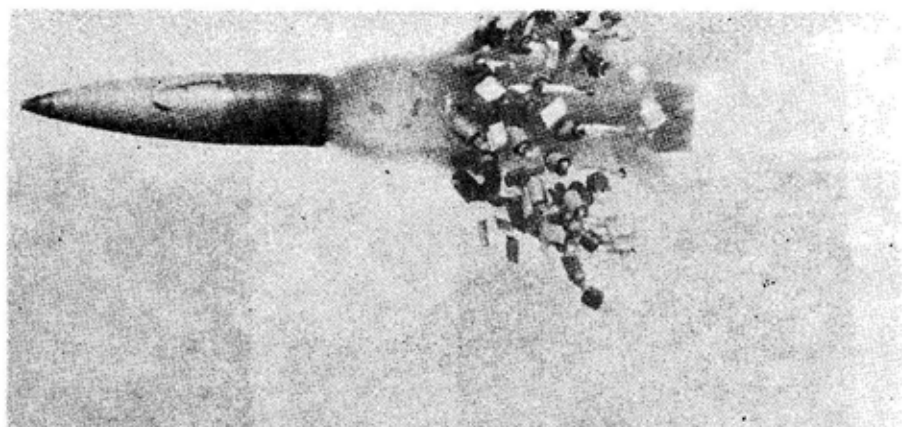
Grčka firma PYRKAL razvila je nekoliko kasetnih projektila, uključujući minobacačku minu 107 mm GRM 20 sa 20 potkalibarnih ubojnih sredstava, artiljerijski projektil 105 mm 24 G (sa 24) i projektil 155 mm GR M 49 (sa 49 bombi). Za sada ove bombe nemaju uređaj za samolikvidiranje, mada se takav upaljač razvija.

Drugi grčki proizvođač municije konstruisao je artiljerijsku municiju ERMIS (Extended Range Modified Integration System — Modifikovani integrisani sistem povećanog dometa) i ERA (Extended Range Ammunition — municija povećanog dometa). U ERMIS spadaju novi projektili, kao i oni kojima je naknadno ugrađen uređaj »base bleed« (kao što je standardni razorni projektil 155 mm M107) sa novim jednobaznim pogonskim punjenjem visokih performansi.

Projektil ERA je aerodinamičniji, ima generator gasa i novo jednobazno pogonsko punjenje. Ima poboljšano dejstvo na cilju, jer nosi 8,8 kg eksploziva TNT u odnosu na 6,1 kg kod M107 i ERMIS. Ispaljen iz oruđa 155 mm, sa dužinom cevi od 39 kalibara, projektil ERA dostiže domet od 27,4 km a kada se ispali iz oruđa sa dužinom cevi od 45 kalibara maksimalni domet je 35,6 km.

Mada poznatija po razvoju tenkovskih projektila, izraelska firma TAAS se bavi i poslovima projektovanja, razvoja i proizvodnje artiljerijske municije

je, uključujući i kasetne projekte. Sa-  
da nudi standardni tip CL 3109 i CL  
3013 sa manjim otporom vazduha i sa  
ugrađenim generatorom gasa za pove-  
ćanje dometa. Svi kasetni projektili  
tekuće proizvodnje fabrike TAAS kori-  
ste najnovije dvonamenske bombe  
BANTAM (slika 1), čije kumulativne  
bojne glave mogu da probiju oklop  
debljine 105 mm. Bombe BANTAM i-  
maju upaljače sa samolikvidatorom.



Sl. 1 — Izraelske BANTAM bombe probijaju oklop 105 mm

Bombe BANTAM se, takođe, kori-  
ste i u mnogim drugim ubojnim sred-  
stvima, kao što je artiljerijska muni-  
cija NATO 105, 175 i 203 mm, artilje-  
rijska municija istočne proizvodnje  
122, 130 i 152 mm, laki artiljerijski ra-  
ketni sistem 160 mm LARS i u razli-  
čitim avionskim ubojnim sredstvima.

Dugo godina u KoV SAD standar-  
dni artiljerijski kasetni projektil 155  
mm bio je poboljšani M483A1 koji no-  
si dvonamenske bombe, i to 64 M42 i  
24 M46, koje se izbacuju iznad cilja,  
a namenjene su za probijanje osetlji-  
vih gornjih ploča oklopnih vozila, za  
neoklopljena vozila i druge taktičke ci-  
ljeve. Ovaj projektil će u KoV SAD biti  
zamenjen projektilom 155 mm M864  
sa dve namene, a koji nosi potkalibar-  
na ubojna sredstva 24 M46 i 48 M42.  
Projektil M864 ima ugrađen generator  
gasa koji mu omogućava maksimalni

domet od 28,1 km u odnosu na 17,4 km  
kod ranijeg projektila M483A1. Dok  
projektil M864 ima znatno povećanje  
dometa u odnosu na M483A1, potkali-  
barna ubojna sredstva još uvek nema-  
ju upaljače sa samolikvidatorom.

Glavni nedostatak prve generacije  
kasetnih projektila 155 mm je u tome  
što njihova potkalibarna ubojna sred-  
stva nisu imala upaljače sa samoliki-  
vidatorom; ostajala su armirana i kada

su njihovi upaljači otkazali, pa ih je  
kasnije trebalo uklanjati sa zemljišta.

U KoV Velike Britanije postoji u-  
slov da sve male bombe iz kasetnog  
projektila povećanog dometa ERBS  
moraju imati upaljače sa samoliki-  
vidatorom, a metak mora imati domet 30  
km kada je ispaljen iz oruđa sa duži-  
nom cevi od 39 kalibara.

#### »Pametna« (smart) artiljerijska municija

Početak razvoja tzv. »pametne«  
artiljerijske municije počeo je kada su  
se zapadne zemlje suočile sa mogućno-  
šću masovne invazije sa istoka ne sa-  
mo tenkova, već i drugih vrsta oklop-  
nih borbenih vozila, uključujući bor-  
bena vozila pešadije. Mada je došlo do  
izmene vojno-političke situacije u sve-  
tu, nastavljen je razvoj ove vrste arti-  
ljerijskih projektila, mada će njihova



veoma visoka pojedinačna cena verovatno ograničiti primenu. Time se i objašnjava činjenica da se za razvoj »inteligentne« municije stvaraju konzorcijumi (npr. Francuske i Švedske koje su jedno vreme razvijale sopstvene vođene projektele 155 mm, posle čega su formirale konzorcijum za razvoj projektila 155 mm BONUS). Šematski prikaz upotrebe ovog projektila dat je na slici 2. Projektili se obrću oko svoje uzdužne ose i tako formiraju spiral-

nu tragačku površinu na zemlji. Detoniraju čim njihovi algoritmi bojne glave utvrde da je traženi tip cilja otkriven. Na slici prikazan projektil BONUS spušta se pomoću krilaca dok druge vrste koriste padobran.

Kasetni metak BONUS 155 mm imaće masu od 45 kg i nosiće dva potkalibarna ubojna elementa do rejona cilja. Kada su izbačena iz projektila, oba potkalibarna elementa BONUS rasklapaju dva krilca i jedan IC senzor



Sl. 2 — Princip dejstva SMART municije

i spuštaju se brzinom od oko 45 m/s, rotirajući 15 puta u sekundi sa uglom inklinacije od 30° u odnosu na liniju spuštanja, tražeći cilj čime se na zemlji stvara trag spiralnog oblika. Čim je cilj otkriven, a nalazi se u zoni dometa, probojna bojna glava formirana eksplozijom se aktivira i probija osetljivu gornju ploču oklopnog vozila.

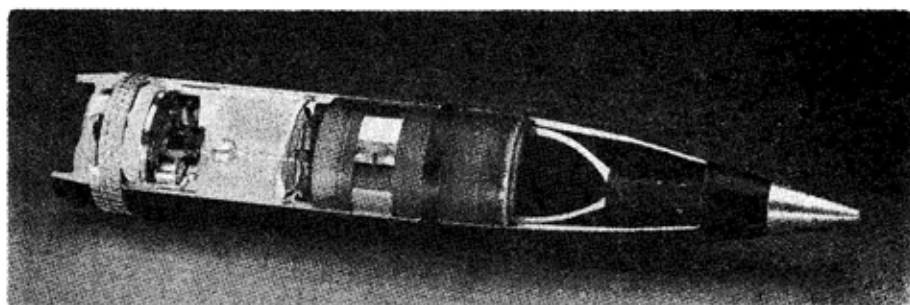
Za omogućavanje napada na ciljeve na većim daljinama kasetni metak BONUS će dobiti generator gasa koji će mu omogućiti dolet do 34 km kada se ispali iz artiljerijskog oruđa 155 mm sa dužinom cevi od 52 kalibra.

U Nemačkoj dva proizvođača municije nastavljaju radove na razvoju »pametne« municije 155 mm SMART 155 sa senzorskim upaljačem. Municija je namenjena za ispaljivanje iz svih artiljerijskih oruđa 155 mm 39/52 kalibara, a ima dva potkalibarna ubojna sredstva u kaseti projektila sa tankim zidovima (slika 3). Svako od ovih potkalibarnih ubojnih sredstava ima višekanalni senzor (milimetarska dužina/IC) i bojnu glavu sa probojnim jezgrom koje se formira pri eksploziji, i može da probije gornju oklopnu ploču bilo kojeg poznatog oklopnog borbenog vozila.

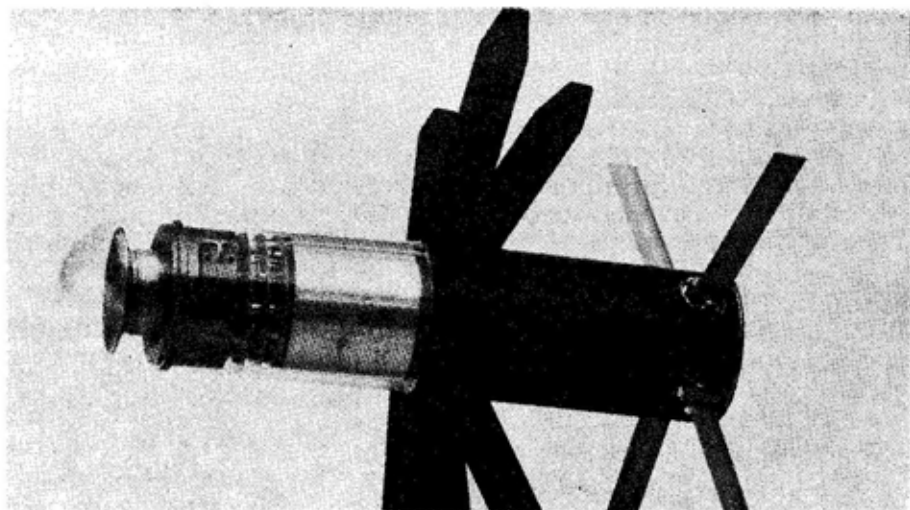
Posle odustajanja NATO od razvoja precizne autonomne vođene municije APGM (Autonomous Precision Guided Munition), Francuska, Nemačka i Holandija su ušle u razvoj municije 155 mm nazvane GAM (slika 4). Municija je u najranijoj fazi razvoja, u fazi studije izvodljivosti, a početak proiz-

vodnje očekuje se 2010. godine. Do sada su izvršena ispitivanja razdvajanja i lansiranja makete iz helikoptera, što je pokazalo da ovo ubojno sredstvo može da leti u stabilizovanom obliku. Devet desetina leta GAM je po balističkoj putanji, dok upravljanje u poslednjoj desetini preuzima ugrađena elektronika. Odvajanje od metka biće na visini od oko 2000 m, a za vreme dok se spusti na visinu od 300 m GAM će imati potpuno stabilizovani let brzinom od 200 m/s, pri čemu će skanirati Zemljinu površinu širine 800 m i dužine 2 do 3 km. Pri otkrivanju cilja GAM kreće nadole i ispaljuje svoje bojne glave.

Američka »pametna« municija SA-DARM (Sense And Destroy Armour Munition — municija koja može da opazi i uništi oklop) nalazi se u razvoju od početka šezdesetih godina. Početkom 1994. godine odobrena je proizvodnja u malom obimu projektila M898 koji spada u ovu kategoriju municije. U svakom projektilu nalaze se dva potkalibarna ubojna sredstva SADARM koji se izbacuju iznad rejona cilja i padaju na zemlju spiralnom putanjom. Kada se otkrije cilj, ispaljuje se na daljinu od oko 170 m, probojno jezgro formirano eksplozijom, koje probija gornju površinu cilja. U početku je municija SADARM imala pasivnu glavu za samonavođenje u milimetarskom talasnom području, ali sada ima tri senzora: aktivni i pasivni u milimetarskom talasnom području i linearni IC



Sl. 3 — Nemački kasetni metak SMART 155



Sl. 4 — Potkalibarna ubojna municija GAM

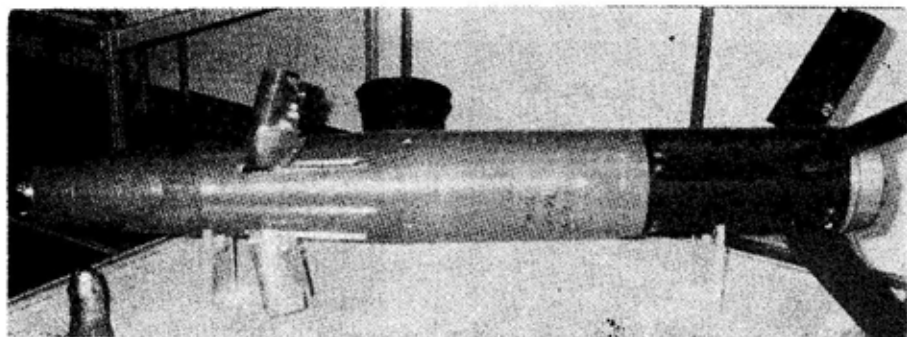
### Artiljerijski projektili sa laserskim vođenjem

Prvi artiljerijski projektil sa laserskim vođenjem bio je američki COPPERHEAD koji se nalazi u naoružanju od 1990. godine. Bio je u ograničenim količinama korišćen u ratu u Zalivu, ali izgleda da na Zapadu ne postoji veće interesovanje za njegov dalji razvoj. Glavni nedostatak ove vrste artiljerijskog projektila jeste što cilj mora sve vreme da bude osvetljen laserom, a to je u mnogim uslovima na bojištu vrlo teško zbog uslova zemljišta i vremena.

U Rusiji su investirana znatna sredstva za projektovanje i razvoj artilje-

rijskih i minobacačkih projektila sa laserskim vođenjem. Pored toga, razvijena je čitava familija vođenih projektila kalibra 100, 115 i 125 mm sa laserskim vođenjem za korišćenje na oklopnim borbenim vozilima.

Svi ruski artiljerijski projektili sa laserskim vođenjem po konstrukciji su slični. Imaju inercijalno vođenje koje se koristi na srednjem delu putanje i lasersko poluaktivno samonavođenje u završnoj fazi putanje. Koliko je do sada poznato, jedino je uveden u naoružanje projektil 155 mm KRASNOPOLJ koji se može ispaljivati iz nekoliko artiljerijskih sistema. Ostali ruski artiljerijski projektili sa laserskim vo-



Sl. 5 — Ruski artiljerijski projektil sa laserskim vođenjem KRASNOPOLJ



đenjem su 152 mm SANTIMETR i 122 mm KITOLOV-2 sa najmanje dva minobacačka projektila koji su razvijeni: 122 mm GRAN i 240 mm SMELJČAK. Ovaj drugi operativno je korišćen u Avganistanu, a ispaljivan je iz haubice 240 mm M-240.

U Rusiji je objavljena informacija o projektilu 152 mm tipa SADARM, koji će nositi dva potkalibarna ubojna elementa sa glavom za samonavođenje u milimetarskom talasnom području ili IC. Koliko je do sada poznato, projektil je u fazi razvoja, a konstrukcioni biro je objavio da može biti razvijen i za NATO kalibar 155 mm. Na slici 5 prikazan je ruski projektil 152 mm KRASNOPOLJ.

### Artiljerijski projektil za daljinsko miniranje

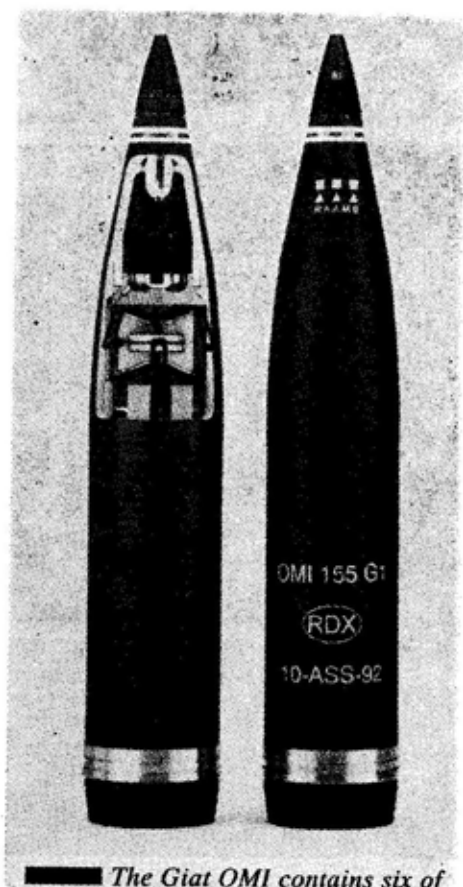
Francuska industrijska grupacija GIAT konstruisala je projektil OMI 155 G1 (slika 6) u kome je smešteno šest protivoklopnih mina, sličnih onima koje se koriste u sistemu za razbacivanje mina MINOTAUR. Ove mine se mogu izbacivati i iz oklopnog inženjerskog vozila EBG i helikoptera.

Već nekoliko godina u KoV SAD uvedeni su u naoružanje artiljerijski projektili 155 mm za postavljanje minskog polja u pozadini ili na bokovima protivnika. Tu spadaju projektili M692 i M731 sa po 36 protivpešadijskih mina i nose naziv ADAM (Area Denial Artillery Munition — artiljerijska municija za zaprečavanje) i M718 i M741 RAAMS (Remote Anti Armour Mine System — daljinski protivoklopni minski sistem) sa po devet protivoklopnih mina.

### Artiljerijski projektili za ometanje

Već nekoliko godina Bugarska proizvodi artiljerijske projektile 122 i 152 mm za ometanje. U njima se nalaze

ometači koji su namenjeni za ometanje sistema za vezu koji rade na frekvencijama između 20 i 100 MHz. To su ometači R-045 i R-046. U svakom projektilu nalazi se po jedan ometač koji se izvlači kroz dno projektila, i pada na zemlju. Ometač radi 1 čas i ima domet oko 700 m.

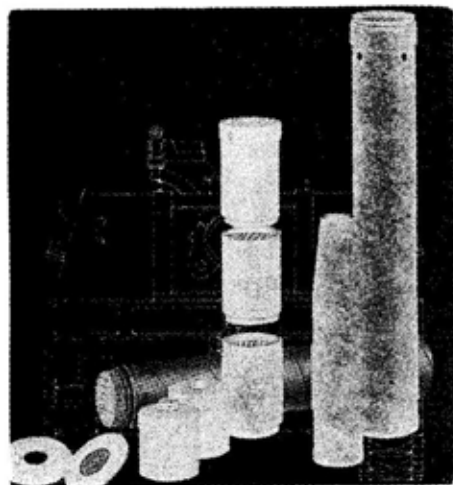


Sl. 6 — Francuski artiljerijski projektil OMI 155 G1 za daljinsko miniranje

U SAD je konstruisan ometač 155 mm tipa XM867 koji je zasnovan na kasetnom metku M483A1. Najnoviji tip XM86E1 nosi četiri ometača, a zasnovan je na kasetnom metku M864 koji je već u proizvodnji.

## Pogonska punjenja projektila

Dugo godina standardno pogonsko punjenje projektila bilo je u vrećicama, ali sada postoji tendencija korišćenja sagorljivih čaura kod nekih artiljerijskih sistema. Na primer, za francusku samohodnu haubicu 155 mm GCT, koja ima automatski sistem za punjenje, konstruisana je i već se nalazi u proizvodnji sagorljiva čaura metka. Ove čaure koriste se i kod nekih teških tenkovskih metaka, na primer, kod tenkova M1A1 i M1A2, LEOPARD 2 i LECLERC.



Sl. 7 — Najnovija generacija modularnog pogonskog punjenja

Najznačajniji u ovoj oblasti je takozvani modularni sistem punjenja (slika 7), namenjen da zameni sadašnja pogonska punjenja u vrećicama koja se smatraju neefikasnim.

Već nekoliko godina u Nemačkoj se razvija jednomodularni sistem pogonskog goriva MTL5, a prvi put će biti primenjen kod oruđa 155 mm PzH 2000. MTL5 ima pet potpuno identičnih modula koji se pune automatski (PzH2000) ili ručno (FH-70).

U Južnoj Africi pogonsko punjenje M11 za haubicu 155 mm G5 i G6 zamenjeno je modularnim punjenjem koje sadrži tri sagorljiva punjenja. U fazi razvoja je jednomodularno punjenje

koje će koristiti maksimalno pet punjenja za artiljerijsko oruđe 155 mm/39 kalibara i šest za oruđe sa cevi od 45 kalibara.

I mnoge druge zemlje rade na razvoju modularnih pogonskih punjenja za artiljerijske projekte. Koliko je do sada poznato, SAD su jedina zemlja koja je investirala znatna sredstva za razvoj tečnih pogonskih punjenja. Prvi put bi bila primenjena u budućem artiljerijskom sistemu 155 mm CRUSADER, koji bi trebalo da bude uveden u naoružanje američke KoV u 21. veku.

P. M.

---

---

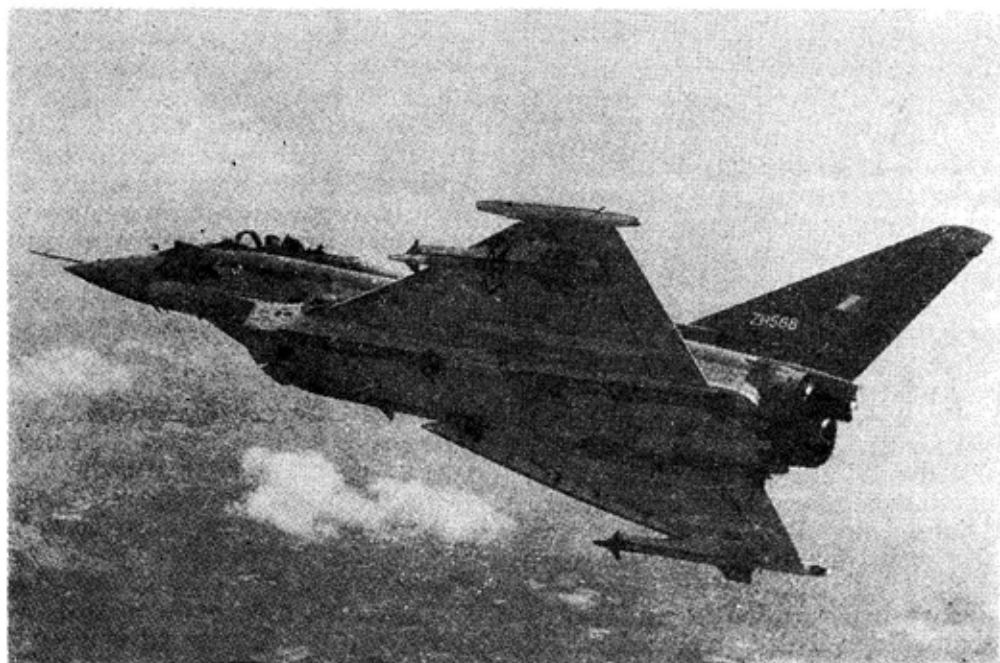
## SAVREMENI LOVCI-BOMBARDERI

— nastavak —

### EF2000 (Evropski program)

Stalne poteškoće u realizaciji programa »evropskog lovca« prete da ozbiljno kompromituju izvozne mogućnosti aviona (pored njegove vrlo visoke prodajne cene). Međutim, EF2000 (slika 3), ostaje i dalje najvažniji program razvoja borbenog aviona koji se sprovodi u Evropi.

Osnovni zahtev za razvoj ovog aviona bio je usmeren na vazдушnu borbu od malih do srednjih odstojanja u tipičnim evropskim uslovima. Zbog toga je težište razvoja bilo postizanje izvanrednih manevarskih sposobnosti, čak i na račun doleta sa gorivom u unutrašnjim rezervoarima, dok je izvršavanje zadataka vazduh-zemlja bilo u drugom planu (bar u ranoj fazi razvoja), u svakom slučaju sa konvencionalnim ubojnim sredstvima. Međutim, geopolitička evolucija u Evropi i pojačano interesovanje za izvoz korigovali su prvobitnu namenu ka višenamenskoj upotrebi aviona.



Sl. 3 — Evropski lovac-bombarder EF2000

Vredno je pomenuti neke specifičnosti ovog aviona u obavljanju zadataka vazduh-vazduh. Pored radara koji može da skanira dok prati cilj i omogućava napad više ciljeva (sa vođenim projektilima koji imaju radarsko samonavođenje), EF2000 ima ugrađeni IRST (za IC traganje i praćenje) radi efikasnijeg napada na slabije primetne avione. Drugo indirektno borbeno poboljšanje je obimni odbrambeni sistem, konstruisan i ugrađen od samog početka kao integralni deo aviona. I pored toga ostala su neka ograničenja u pogledu izvršavanja zadataka vazduh-zemlja, mada se nastavljaju razvojni radovi na uvođenju prilagođivača za vođena ubojna sredstva vazduh-zemlja.

### RAFALE-C (Francuska)

Iako se smatra da je RAFALE-C konceptijski sličan avionu EF2000 to je ipak potpuno različit avion. U vreme kada je započet program razvoja

ovog aviona, francusko RV je već uvelo u naoružanje izvanredni lovac protivvazdušne odbrane MIRAGE-2000, pa je avionu RAFALE bila namenjena uloga lovca-bombardera. Zalivski rat je pokazao da francuskom RV nedostaje savremeni udarni avion za dejstva u svim vremenskim uslovima koji bi mogao maksimalno da iskoristi prednosti savremenih vođenih ubojnih sredstava.

Avion RAFALE ima višerežimski radar za navigaciju i upravljanje vatrom (napadno-navigacijski), ugrađeni IRST i nišan ugrađen na kacigi pilota za brzu akviziciju ciljeva u vazдушnom prostoru i navođenje vođenih projektila vazduh-vazduh. Osnovno ubojno sredstvo za borbu u vazдушnom prostoru biće lanser APACHE koji dejstvuje van dometa protivničkih ubojnih sredstava (*stand-off*) i njegove verzije koje, verovatno, neće biti ponuđene za izvoz. Borbeni radijus aviona može da bude znatno povećan, jer u spoljašnjim rezervoarima nosi 6600 l goriva, a u unutrašnjim 5525 l. Avion ima 14 pot-

krilnih i podtrupnih nosača, tako da uz spoljašnje rezervoare za gorivo može da nosi dosta ubojnih sredstava i aerodinamičkih kontejnera sa elektronskom opremom.

Kao i MIRAGE 2000-5 i RAFALE je prihvatljiv za one zemlje koje ne žele da im zemlja-prodavač nameće bilo kakva ograničenja u pogledu kupovine ubojnih sredstava. Nabavna cena aviona nije mala i u nivou je sa cenom aviona F-15E, što se objašnjava činjenicom da pripada najnovijoj generaciji sa korišćenjem najsavremenije tehnologije. Predviđa mu se dug proizvodni vek, a francusko RV namerava da razvije dvosednu verziju, optimiziranu za udarne zadatke u svim vremenskim uslovima. Avion RAFALE, još pre nego što je uveden u naoružanje, razvijen je u tri glavne verzije: jednosedi i dvosedi za baziranje na kopnu kao lovac-bombarder, i kao jednosedi za baziranje na nosaču aviona kao višenamenski borbeni avion.

### F/A-18C (SAD)

Zamišljen kao laki lovac za konkurenciju avionu F-16, avion F/A-18 odabrala je američka RM da posle obimne rekonstrukcije bude podesan za baziranje na palubi nosača. To je bilo potrebno ne samo zbog vrlo složenih dejstava sa nosača, već i zbog toga što je trebalo da zameni avion A-7E. Lovačke karakteristike originalnog aviona bile su podređene, kako bi bio sposoban i za dejstva vazduh-zemlja i vazduh-more. Pored toga, avion F/A-18 sazeo je u izbalansiranu konstrukciju koja je podesna za izvršavanje napadačkih zadataka u najtežim meteorološkim uslovima i noću, posebno u dvosednoj verziji. Sposobnost za vođenje borbe u vazdušnom prostoru nije bila prioritarna zbog postojanja aviona F-14 na nosačima aviona, ali je u svakom slučaju adekvatna, zahvaljujući višerežimskom radaru koji može pratiti cilj i jednovremeno skanirati savremenim kabinskim displejima za

prikazivanje podataka, komandama leta (F-18 je prvi avion sa koncepcijom upravljanja »ruke na ručici za gas i palici« HOTAS Hands-On Throttle And Stick) i sa tri velika višefunkcionalna displeja. Uvođenje u naoružanje vođenih projektila vazduh-vazduh AIM-120 u svakom slučaju omogućuje potpuno iskorišćavanje radara za napad na više ciljeva u vazdušnom prostoru.

Avion F/A-18 nudi dobru operativnu fleksibilnost kao pravi lovac-bombarder, nastavljajući tradiciju aviona F-4 PHANTOM II. Međutim, nedostatak mu je umereni odnos nosivosti korisnog tereta prema doletu, verovatno zbog projekta rađenog prema mornaričkim uslovima, koji je evoluirao iz projekta aviona za baziranje na kopnu. Ovaj nedostatak je očigledan pri smanjenoj nosivosti goriva u spoljašnjim rezervoarima, potrebnog za prihvatljivi akcioni radijus, zbog ograničene mase aviona u poletanju.

### F/A-18E/F (SAD)

Svesna opasnosti o ograničenim mogućnostima serije aviona F/A-18D, američka RM je inicirala program za njegovu potpunu rekonstrukciju. Novi avion F/A-18E/F, mada sličan prethodnom tipu u pogledu spoljašnjeg aerodinamičkog oblika, po svojoj strukturi je potpuno novi avion, znatno veći i teži. Razlikuje se i po četvrtastim usisnicima vazduha umesto zaobljenih radi smanjivanja radarskog odraza, a na pojedinim mestima korišćen je materijal koji apsorbira radarsko zračenje. Pridodata su još dva krilna nosača tereta (pajlona), a originalni rezervoari za gorivo od 1250 l biće zamenjeni većim (1818 l).

Osnovni cilj daljeg razvoja ovog aviona jeste da mu se poveća nosivost korisnog tereta u odnosu na dolet, više nego što je to slučaj kod ranijih modela F-18. Elektronika je, uglavnom, ostala neizmenjena, mada su njene mogućnosti znatno povećane. Uprkos tome što je znatno veći nego raniji mo-

deli aviona HORNET, avion F/A18E/F nudi umerena operativna poboljšanja. To je začuđujuće, jer je cena razvoja i cena aviona za 40% veća od cene prethodnih modela. Nejasan je i podatak da je masa praznog aviona povećana za 28%, a aviona u poletanju samo 27%.

## F-15E (SAD)

Lovac-bombarder F-15E namenjen je za dejstva po ciljevima na zemlji i postizanje nadmoći u vazдушnom prostoru. Međutim, jedina verzija F-15 koja se danas proizvodi razlikuje se od polaznog modela što se tiče glavne namene: F-15E i njegove izvozne verzije F-15S i F-15I su dvonamenski lovci-bombarderi sa naglašenim mogućnostima za borbu u vazдушnom prostoru. Prihvatanje dvosednog F-15B kao osnove za sve tipove ovog aviona diktirano je potrebom da drugi član posade bude rukovalac sistema naoružanja. On ima na raspolaganju komplet od četiri višefunkcionalna displeja za kontrolisanje svih funkcija (napad po ciljevima na površini mora, borba u vazдушnom prostoru i samoodbrana). U komplet senzora spadaju višerežimski radar sa sintetskim otvorom AN/APG-70 i sistem LANTRIN za noćnu navigaciju, praćenje i obeležavanje cilja, smešten u dva podvesna aerodinamička kontejnera. Odgovarajući akcioni radijus obezbeđuju dva pomoćna rezervoara za gorivo, podvešena ispod trupa, sa po 2373 l goriva. Radi dopune tri podtrupna i potkrilna nosača ubojnih sredstava, mogu se dodati još šest jednostrukih nosača.

Važna karakteristika aviona F-15E je što ubojni teret za zadatke vazduh-vazduh nije smanjen čak i kad nosi znatnu količinu ubojnih sredstava za dejstva vazduh-zemlja. Avion još uvek može da ponese četiri vođena projektila srednjeg dometa vazduh-vazduh AIM-7 i AIM-120 u poluuvučenom položaju pored rezervoara za gorivo ili ispod trupa, dok još četiri vođena projektila vazduh-vazduh mogu da budu

postavljena na šinske lansere koji se nalaze pored potkrilnih nosača. Uz sve to mogu se podvesiti, radi povećanja akcionog radijusa, još tri spoljašnja rezervoara za gorivo od po 2309 l tako da avion ukupno može da ponese 20042 l goriva. Očigledno je da ovakav oblik aviona, sa dodatnim vođenim projektilima na bočnim stranama pajlona, podvesnim aerodinamičkim kontejnerima sa navigacijsko-napadnim sredstvima i ubojnim sredstvima vazduh-zemlja ne doprinosi održavanju aerodinamičkog oblika aviona. Međutim, i takav avion dobro se pokazao u ratu u Zalivu.

Zbog svoje velike nabavne cene i visokih troškova eksploatacije i održavanja, kao i složenosti održavanja, malo je zemalja koje bi mogle da ga nabave za svoje ratno vazduhoplovstvo. Pored toga, američka vlada ograničila je izvoz isključujući mogućnost da se jedan tako opremljen avion, sa odličnim akcionim radijusom i napadno-navigacijskim sistemom, isporuči bilo kome, sem Izraelu, jer bi poremetio lokalnu ravnotežu snaga u određenom geografskom prostoru. Za izvoz su aktuelne »pročišćene« verzije, kao što je F-15S, bez prilagođenih spoljnih rezervoara i sa slabijim radarom i napadno-navigacijskim sistemom.

## Familija aviona SUHOJ (Rusija)

Prva pojava aviona Su-27 1989. godine na pariskoj izložbi bila je vrlo zapazena, a prema njegovoj izvanrednoj konstrukciji razvijena je čitava familija aviona.

Kao i F-15 i Su-27 je prvobitno zamišljen kao ofanzivni lovac za obezbeđenje nadmoći u vazдушnom prostoru, dok poslednje verzije imaju namenu lovca-bombardera, a mogu se koristiti čak i za nanošenje udara po velikoj dubini protivnika (Su-34). Pri tome se ne umanjuju sposobnosti aviona za borbu u vazдушnom prostoru, a u nekim slučajevima ta se karakteristika i poboljšava. Aktuelne verzije lovca-bombardera jesu dvosed Su-30MK (u



	L a k i				MiG-29 SE
	JAS-39	MIRAGE 2000-5	F-16C/50	F-16ES	
Godina prvog leta originalnog modela	1988.	1978.	1976.	1994.	1977.
Godina uvođenja u naoružanje originalnog modela	1995.	1984.	1979.	1997.*	1984.
Dužina (m)	14,10	14,36	15,03	15,03	17,42
Razmah krila (m)	8,40	9,13	9,45	9,45	11,36
Visina (m)	4,50	5,20	5,09	5,09	4,73
Površina krila (m <sup>2</sup> )	28,00	41,00	27,87	27,87	38,00
Vitkost krila	2,5	2	3,2	3,2	3,4
Broj motora x marka	1xGE/ /VOLVO	1x SNECMA	1xPW F100	1x GF110	2xRD33
Tip motora	RM 12	M53-P20	-PW-229	-GE-129	
Statički potisak na nivou mora bez naknadnog sagorevanja (kN)	1x53,9	1x66,7*	1x79,1	1x75,7	2x49,4
Statički potisak na nivou mora sa naknadnim sagorevanjem (kN)	1x80,5	1x98,1	1x129,5	1x131,6	2x81,4
Količina goriva u unutrašnjim rezervoarima (kg)	2268	3160	3104	4554 <sup>3</sup>	3440
Količina goriva u spoljašnjim rezervoarima/broj rezervoara (kg/N <sub>0</sub> )	?/3	3720/3	3066/3	4418/3	3203/3
Masa praznog aviona (kg)	6662	7500	8273	8700*	11000*
Masa u poletanju za zadatke vazduh-vazduh <sup>1</sup> (kg)	9700*	13000*	15300*	—	17500*
Masa u poletanju za zadatke nanošenja udara <sup>2</sup> (kg)	?	16200*	16500*	21600*	19700*
Maksimalna masa u poletanju (kg)	12500	17000	19187	21600*	20000
Udeo goriva (unutrašnjeg) u masi aviona u poletanju (%)	25	29	27	33 <sup>3</sup>	23
Udeo ukupnog goriva u maksimalnoj masi u poletanju (%)	40	32	42	33	36
Opterećenje krila u zadacima vazduh-vazduh <sup>1</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	346	317	549	—	460
Odnos potiska prema masi za zadatke vazduh-vazduh <sup>1</sup>	0,85	0,77	0,86	—	0,95
Opterećenje krila pri izvođenju udarnih zadataka (kg/m <sup>2</sup> )	?	395	596	775	518
Odnos potiska prema masi pri izvršavanju udarnih zadataka <sup>3</sup>	?	0,62	0,80	0,62	0,84
Maksimalni faktor opterećenja g	+9/-3	+9/-4,5	+9/-3	+9/-3	+9/-3

## NAPOMENE:

\* — Prema proceni

<sup>1</sup> — Masa u poletanju za tipični zadatak vazduh-vazduh<sup>2</sup> — Masa u poletanju za tipični napad na ciljeve na zemlji<sup>3</sup> — Uključujući i dva konturno prilagođena spoljna rezervoara goriva iznad bokova trupa

klase lovaca-bombardera

Srednji				Teški			
MiG-29M	EF-2000	RAFALE C	F/A-18C	F/A-18E	Su-30MK	F-15E	Su-35
1986.	1994.	1986.	1978.	1995.	1977.	1982.	1988.
1997.*	2002.*	1998.	1981.	2000.	1985.	1988.	1996.*
17,37	14,50	15,30	17,07	18,31	21,94	19,43	22,00
11,36	10,50	10,35*	11,43	12,74	14,70	13,05	14,70
4,73	6,40	5,34	4,66	4,88	6,36	5,63	6,00
38,00	50,00	46,00	37,16	46,45	62,00	56,50	62,00
3,4	2,2	2,3	3,5	3,6	3,5	3	3,5
2x RD-33K	2x EUROJET	2x SNECMA	2x GE F404	2x GE F414	2x SATURN	2x PWF100	2x SATURN
	EJ200	M88-3	-GE-400	-GE-400	AL-31F	-PW-229	AL-31FM
2x52,9*	2x59,8	2x58,3*	2x50,03	2x60,03*	2x74,5	2x79,1	2x83,38*
2x86,3	2x89,9	2x87,0	2x78,9	2x94,1	2x122,6	2x129,4	2x137,3
4600	4000	2230	4926	6531	9500	5952	10000
3230/3	4290/3	5243/4	3053/3	4436/3	—	9660/5	—
11000*	9750	9060	10810	13864	17500	14515	18400
18700*	18700*	18500*	18000*	21600*	29600*	28500*	30900*
21500*	21000*	21500	21800*	26500*	32000*	35500*	33300
22000	21000	21500	25400	29937	33500	36741	34000*
29	29	31	31	32	35	29	35
32	44	31	37	—	42	—	—
492	374	402	484	465	477	496	498
0,94	0,98	0,96	0,89	0,92	0,84	0,94	0,91
566	420	467	587	571	516	619	537
0,82	0,87	0,83	0,74	0,75	0,78	0,75	0,84
+9/-3	+9/-3	+9/-3	?(4)	?(4)	+9/-3	+9/-3	+9/-3

osnovi verzija sposobna za zadatke u vazдушnom prostoru i na zemlji, izvedena od trenažnog aviona Su-27UB) i novi, revidirani, Su-35.

Su-30MK ima sistem za upravljanje vatrom koji može da obezbedi napad po ciljevima na zemlji (režim koji nedostaje kod radara osnovnog aviona Su-27) i to ne samo nevođenim raketama i konvencionalnim bombama, već i protivradarskim vođenim projektilima, laserski i TV-vođenim bombama i drugim sličnim ubojnim sredstvima velike preciznosti koja se lansiraju van dometa PVO (*stand-off*). Za još veće poboljšanje fleksibilnosti, u levoj strani nosa aviona ugrađena je uvlačuća cev za dopunjavanje gorivom u vazдушnom prostoru kao na avionu sa nosača Su-33 (Su 27K). Kao čista dvosedna lovačka verzija, Su-30MK verovatno zadržava sposobnost Su-30 da igra ulogu vođe grupe od četiri lovca. Ova taktička koncepcija, razvijena u ruskom RV, jeste novina i obećava poboljšanje ofanzivne superiornosti u vazдушnom prostoru i defanzivnih borbenih mogućnosti i protiv aviona koji svojim sposobnostima »nevidljivosti« (*stealth*) narušavaju vazdušni prostor.

Nosivost goriva u unutrašnjim rezervoarima omogućuje familiji aviona Su-27 najveću trajnost borbenih letova među svim sadašnjim lovačkim avionima, pojačanu sa do 10 vođenih projektila vazduh-vazduh. Optimalna kombinacija vođenih projektila vazduh-vazduh može se odabrati među velikim brojem postojećih tipova, uključujući projektele malog i srednjeg dometa sa IC vođenjem za blisku borbu, srednjeg dometa sa IC, poluaktivnim i aktivnim radarskim samonavođenjem

i dugoga dometa, a u budućnosti i projektilima za borbu protiv aviona AWACS i protivradarskim projektilima vazduh-vazduh. Zahvaljujući postojećem slobodnom prostoru u velikom kosturu aviona ugrađena su sredstva za elektronska protivdejstva. Tako se, na primer, dva aerodinamička kontejnera na vrhovima krila sa ometačima mogu poneti uz sve vođene projektele vazduh-vazduh.

Najnoviji višenamenski derivat aviona Su-27 je Su-35, koji će uskoro biti uveden u naoružanje RV Rusije. Na prednjem delu trupa avion Su-35 ima pokretna krilca »kanard«, a pokazao je izvanredne manevarske sposobnosti, noseći svih 12 vođenih projektila vazduh-vazduh. Nalazi se na samom vrhu trajnosti leta i akcionog radijusa samo sa gorivom u unutrašnjim rezervoarima, a ima i mogućnost dopunjavanja gorivom u vazдушnom prostoru.

Sistem za upravljanje vatrom je potpuno modernizovan. Uključen je višerežimski radar za dejstva vazduh-vazduh i vazduh-zemlja, koji omogućuje korišćenje vođenih projektila »lansiraj pa zaboravi« i vrlo brzo može napasti do 6 ciljeva. U perspektivi avion može da bude naoružan projektilima vazduh-vazduh sa IC vođenjem koji će se lansirati u suprotnu stranu od pravca leta aviona. Ovi projektili su sada u fazi ispitivanja, a koristiće se za naoružavanje udarnih aviona i bombardera. Kasnije bi se uvelo upravljanje vektorom potiska, što bi još više poboljšalo inače izvrsne letачke karakteristike aviona.

P. M.



## PODvodNE RAKETE\*

Pojava raketnih motora za velike brzine radikalno je izmenila izgled i metode konstruisanja brzih podvodnih raketa. Brzina pojedinih podvodnih raketa tri puta premašuje brzinu poznatih klasičnih torpeda. Rezultati koji su postignuti u razvoju brzih podvodnih raketa vezani su za fundamentalna istraživanja u hidrodinamici, razvoju motora visoke efektivnosti, uključujući hidromlazne motore, i nove vrste raketnih goriva.

Da bi se postigle visoke performanse podvodnih raketa, koje se kreću brzinama preko 100 m/s (200 čvorova), potrebno je:

— višestruko redukovati otpor koji raketa pruža pri kretanju kroz vodu u odnosu na klasična torpeda;

— primeniti raketne motore visoke efektivnosti i ekološki čista nova raketna goriva velike specifične energije;

— povećati stabilnost i upravljivost podvodnih raketa kroz razvoj sistema za upravljanje, stabilizaciju i uvođenje novih aero-hidrodinamičkih konfiguracija.

Kao i u slučaju raketa namenjenih za upotrebu u vazдушnom prostoru i svemiru i podvodne rakete mogu imati višestruku namenu i biti vođene i nevođene, jednostepene i višestepene.

Ipak, najveći naučno-tehnološki problem je vezan za konstrukciju višestepene vođene rakete i njenih odvojenih celina.

Višestepene podvodne rakete (kao i torpeda) obično su velikog kalibra, a zrna i projektili imaju relativno male kalibre.

Da bi se dostigle podvodne brzine od nekoliko stotina metara u sekundi svrsishodno je koristiti projektele ili rakete sa kavitacionim tokom.

Istraživanja koja se sprovode posebno su usmerena na proučavanje:

— kavitacionog toka bez odvajanja strujnica, koje pokrivaju čitavo telo rakete;

— kavitacionog toka čije se strujnice odvajaju od tela rakete, pokrivajući veći deo repa sa stabilizatorima.

Kada kavitacioni tok deluje samo na deo tela rakete, moguće je koristiti teoriju torpednog pogona sa konvencionalnim propelerima. Međutim, u realnim varijantama konstrukcija, jednostavne konfiguracije ne mogu se koristiti zbog mnogobrojnih razloga.

Imajući to u vidu, konstrukcija podvodnih raketa u bliskoj budućnosti biće najverovatnije zasnovana na konfiguraciji sa kavitacionim tokom bez odvajanja strujnica, koje će pokrivati čitavo telo rakete.

Kavitacioni tunel koji se formira iza tela rakete je takav da u njemu nema vode. Takav oblik strujnica u prirodnoj okolini odgovara brzinama oko 100 m/s pri kretanju u blizini slobodne površine.

Interakcija reaktivnog mlaznog pogona (gasnog, gasno-tečnog ili vodenog) sa kavitacionim fenomenom, ključni je faktor koji obezbeđuje stabilnu i kontrolisanu brzinu kretanja rakete uz minimalan otpor (za njene dimenzije).

Rezultati ispitivanja omogućavaju dobijanje osnovnih kriterijuma za izbor najpogodnijeg tipa pogonskog postrojenja i stvaraju uslove za konstruisanje podvodne rakete koja će zadovoljiti postavljene zahteve.

Od pogonskih postrojenja najviše obećavaju hidromlazni motori: vodeni turboreaktivni, gasni turboreaktivni ili njihovi hibridi. Toplotna energija vodenih turbomlaznih motora, proizvedena pri spajanju hidrokeaktivnog goriva sa oksidatorom, proizvodi visoki vodeni pritisak uz pomoć turbopumpe koja izbacuje vodeni mlaz kroz mlaznice motora, stvarajući tako potrebni pritisak. Ovaj tip motora može se koristiti za rakete koje rade u specifičnom opsegu brzina i za relativno velike dimenzije.

Fundamentalna istraživanja ukazuju na potrebu razvoja novih vrsta goriva i toplotnih procesa, i konstrui-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1996.

sanje hidromlaznih motora i motora sa direktnom reakcijom, kao što su hidrogasni mlazni motori.

Razvojna istraživanja su omogućila konstruisanje podvodnih raketa za velike brzine koje se mogu lansirati sa različitih nosača. Vrsta nosača i uređaja za lansiranje raketa može se definisati u završnoj fazi projektovanja. Tako, na primer, podvodne rakete namenjene za upotrebu sa helikoptera i aviona mogu se pouzdano stabilizovati u toku leta i u stanju su da zadrže unapred definisana bočna preopterećenja. Nakon ulaska u vodu, njihovo kretanje se stabilizuje i na površinskom i na podvodnom delu putanje.

Na polju eksperimentalnih ispitivanja već su razvijeni uređaji i test-metode za aerodinamiku velikih brzina i odgovarajuće motore. Složene test-metode razvijene su uz upotrebu specijalnih eksperimentalnih podvodnih raketa.

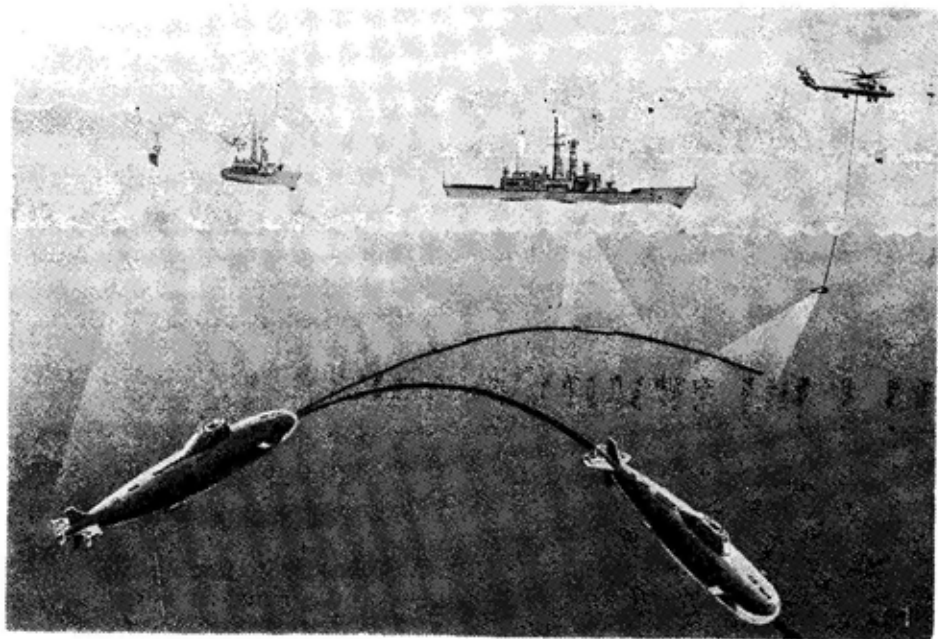
M. S.

## SAMOHODNI VIŠENAMENSKI UREĐAJ MG-74 ZA OMETANJE PROTIVPODMORNIČKIH SONARA\*

Pošto su protivpodmorničke odbrambene snage opremljene efikasnim sonarnim sistemima, podmornice mogu uspešno da izvršavaju svoje zadatke samo ako su opremljene sredstvima za ometanje sonara (podvodnih elektronskih lokatora — PEL).

Samohodni imitatori cilja i generatori interferencije šuma spadaju u veoma efikasna sredstva za ometanje.

Takvo sredstvo je samohodni višenamenski uređaj MG-74 za ometanje sonara. Njegova namena jeste da priguši ulazne kanale podmorničkog sonara za otkrivanje ili da dovede u zabludu protivničke protivpodmorničke snage i da ih navede na lažne uglove pravca cilja. Uređaj se lansira iz standardnih podmorničkih torpednih cevi



*Izvlačenje podmornice izvan zone udara protivničkih protivpodmorničkih brodova uz korišćenje ometača MG-74*

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1996.

i može da funkcioniše u sledećim režimima:

- emitovanje selektivnih signala ometanja,
- imitiranje eho-signala podmornice,
- imitiranje šuma podmornice.

Osnovni podaci (dubina i brzina) uvode se u uređaj MG-74 mehaničkim putem pomoću ručice za uvođenje podataka pre lansiranja.

Emitovanje signala za ometanje i imitiranje podmornice obavlja se u okviru radnog opsega frekvencija sonara koji se nalaze u protivpodmorničkim snagama. Signale koje emituje uređaj MG-74 za ometanje sonara, a koje čuje poslužilac sonara protivpodmorničkog broda ili se vide na ekranima indikatora sonara, liče na odbijene signale od podmornice, što znatno otežava otkrivanje podmornice.

U sadejstvu sa sonarima koji se nalaze u opremi protivpodmorničkih snaga, programirano manevrisanje uređaja MG-74 imitira ponašanje podmornice. Zavisno od nivoa zvučnog signala koji emituje protivpodmornički brodski sonar, a kojeg registruje njegov operativni režim i uslovi manevrisanja mogu se automatski menjati.

Uređaj je pouzdan i njime se lako rukuje. Ne zahteva nikakve radove na održavanju dok je postavljen u podmornici, u toku jedne godine. Njegove dimenzije omogućavaju smeštaj na držačima torpeda u podmornici (po dva na svaki držač). Konstrukcija uređaja MG-74 i korišćena tehnološka rešenja omogućavaju da se nalazi u torpednoj cevi punoj morske vode u stanju spremnom za trenutnu upotrebu.

U toku razvoja MG-74 rešeno je nekoliko naučnih i tehničkih proble-

ma. Na primer, zahvaljujući korišćenju sonarnih primopredajnika sa različitim frekvencijama, karakterističnih po prilično uskom frekventnom opsegu u anteni koja zrači, postiže se širokopojasno emitovanje znatne snage, mada su ukupne dimenzije uređaja male.

Zahvaljujući pravilnom razmeštaju sonarnih primopredajnika u hidroakustičkom odeljku, postavljanju ekrana i izborom svojstava tečnosti za punjenje, obloga uređaja MG-74 ne utiče na karakteristiku snopa.

Bežumni rad pojedinih delova i uređaja u celini omogućio je da se snizi donji prag rezolucije signala u prijemnom kanalu i uticaj sonarnih sistema protivpodmorničkih brodova na njihovim maksimalnim radnim dometima.

Konstrukcija površina kormila MG-74 i upravljački algoritmi obezbeđuju stabilno kretanje zahtevanim brzinama i manevrisanje sa potrebnim radijusima zaokreta.

Modularna konstrukcija, optimizirane dimenzije i masa sastavnih elemenata, kao i smanjivanje spojeva između elemenata znatno su povećali slobodni prostor u kome se mogu razmestiti elektronski i akustički uređaji i izvori napajanja, čime je obezbeđeno višenamensko korišćenje uređaja MG-74 i njegov rad u određenom vremenskom periodu.

Uređaj za ometanje sonara MG-74 može se modernizovati i prilagoditi okolnoj sredini.

#### Osnovne karakteristike ometača MG-74

Kalibar (mm)	534,4
Dužina (mm)	3900
Masa (kg)	800 maks.
Dubina primene (m)	do 250

P.M.

**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 IZVIDANJE  
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 Vuĵanović  
**TEORIJA POUZDANOSTI  
TEHNIĀKIH SISTEMA**  
Format 17×24. Strana 592.  
Tvrđ povez. Latinica.  
Cena 50 dinara.
10. Zlatko Rendulić  
**RATOVODSTVO I  
NAUĀNO-TEHNIĀKI POGRES**  
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. Isporučka 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:

**LEKTOR**

Dobrila Miletić, prof

**KORICE**

Miojko 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.

---