GENERALŠTAB VOJSKE JUGOSLAVIJE

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA
„VOJSKA"

NAČELNIK
Pukovnik
STANOJE JOVANOVIĆ

UREDIVAČKI ODBOR

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

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

General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major
MILIŠAV BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr SLOBODAN BURSAĆ, dipl. inž.

Pukovnik
MIROSLAV ĆOJBAŠIĆ, 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 Ćojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277, 23-59-133 III 33-133)

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

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

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

YU ISSN: 0042-8469 UDC: 623+355/359

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

3

GODINA XLIV ● MAJ—JUNI 1996.

SADRŽAJ

Dr Rade Stanković, potpukovnik, dipl. inž.	261	Ocena kvantitativnih pokazatelja pouzdanosti tehničkih sistema metodom stabla otkaza
Dr Vasilije Mišković, potpukovnik, dipl. inž.	273	Kvantitativni pokazatelji funkcionisanja sistema snabdevanja municijom artiljerije za podršku
Sc Marko Andrejić, kapetan I klase, dipl. inž.	286	Tabele odlučivanja i njihova primena u vojnoj organizaciji
Dr Novica Đorđević, general-major, dipl. inž. **Saša Đorđević,** dipl. inž.	299	Primena računara u brodogradnji
Mr Vida Živković, dipl. fiz. **Slobodan Zelenika,** dipl. fiz. **Vojislav Đurašinović,** potpukovnik, dipl. inž.	307	Mogućnosti merenja dužine u metrološkom sistemu Jugoslavije na osnovu rezultata sedmog ciklusa uporednih merenja etalona
Mr Milovan Unković, dipl. inž.	322	Automatsko baždarenje mikrotalasnih oslabljivača
Mr Branislav Todorović, dipl. inž. **Dr Milan Šunjevarić,** pukovnik, dipl. inž.	337	Principi televizije — nastavak —
Anastas Paligorić, dipl. inž.	349	Pravci i tendencije razvoja sovjetskih (ruskih) tenkova

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

365 Borbena odeljenja s automatskim naoružanjem — M. S.

368 Automatski minobacač 2K21 — M. S.

371 Taktički raketni sistem TOŠKA-U — M. S.

375 Razvoj »plastičnog« tenka — P. M.

376 Savremeni lovci-bombarderi — P. M.

Dr Rade Stanković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

OCENA KVANTITATIVNIH POKAZATELJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SISTEMA METODOM STABLA OTKAZA

UDC: 62-1.001.572:681.5.01

Rezime:

U radu su prikazane procedure i softver za konstrukciju stabla otkaza metodom tabela rešenja, i za kvantitativnu analizu kojom se mogu oceniti pokazatelji pouzdanosti tehničkih sistema, kao što su: asimptotska raspoloživost, asimptotska neraspoloživost, intenzitet otkaza, parametar potoka otkaza, značajnost elemenata i havarijskih kombinacija, itd.

Ključne reči: konstrukcija stabla otkaza, metoda tabela rešenja, kvantitativna analiza, pokazatelji pouzdanosti, tehnički sistemi, softver.

ESTIMATE OF QUANTITATIVE RELIABILITY PERFORMANCE OF TECHNICAL SYSTEMS BY METHOD OF FAULT TREE

Summary:

The work comprises procedures and software for the construction of fault tree by the method of decision tables and quantitative analysis by which the reliability performance of technical systems can be estimated: asymptotic availability, asymptotic unavailability, failure rate, failure intensity, importance of elements and cut sets, etc.

Key words: construction of fault tree, method of decision tables, quantitative analysis, reliability performance, technical sistems, software.

UVOD

Obezbeđenje potrebnih nivoa performansi upotrebnog kvaliteta tehničkih sistema složen je proces koji zahteva izbor i realizaciju niza upravljačkih odluka u svim etapama — od projektovanja i proizvodnje do eksploatacije i održavanja, na osnovu jedinstvene funkcije cilja. Izbor upravljačkih odluka u svim fazama zasniva se, pre svega, na rezultatima istraživanja uzroka i posledica otkaza i kvantifikovanih pokazatelja pouzdanosti sistema. Rezultati ovih analiza omogućuju sistematsko definisanje i dokumentovanje potencijalnog uticaja svakog otkaza (ili svake kombinacije otkaza) elemenata na uspeh misije, bezbednost korisnika i okoline, performanse i sigurnost sredstava, mogućnost havarija elemenata u interakciji, itd. Oni, takođe, čine i osnovu za identifikaciju zahteva za konstruktivne izmene, promene u tehnologiji proizvodnje elemenata, optimizaciju postupaka preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja odnosno traženja svih mogućnosti za minimiziranje verovatnoće pojave otkaza i svih neposrednih i posrednih posledica koje se posle njega javljaju. Precizno definisani pokazatelji pouzdanosti i modeli za njihovu kvantifikaciju daju realne osnove za

uspešno upravljanje procesima kojima se obezbeđuje upotrebni kvalitet, u skladu sa unapred postavljenim ciljevima i u datim ograničenjima.

Stablo otkaza jedna je od metoda kojom se uspešno može vršiti analiza uzroka i posledica otkaza, kao i kvantitativna analiza pokazatelja pouzdanosti na svim nivoima hijerarhijske strukture tehničkog sistema. U ovom radu prikazana je procedura i softver za konstrukciju stabla otkaza i ocenu pokazatelja, kao što su raspoloživost, verovatnoća bezotkaznog rada, očekivani broj otkaza, intenzitet otkaza, značajnost osnovnih događaja ili havarijskih kombinacija, itd.

Procedura ocene kvantitativnih pokazatelja sastoji se od sledećih koraka: 1 — konstrukcija stabla otkaza, 2 — verifikacija hipoteza o raspodelama vremena rada do otkaza i vremena održavanja osnovnih elemenata tehničkih sistema (na osnovu tehničko-tehnološke dokumentacije proizvođača i informacija sa dodatnih ispitivanja, procesa eksploatacije, i sl.), 3 — kvantitativna analiza stabla otkaza i 4 — analiza dobijenih rezultata.

Konstrukcija stabla otkaza metodom tabela rešenja

Stablo otkaza predstavlja logički dijagram kojim se opisuju događaji i uslovi koji prouzrokuju pojavu vršnog događaja, a to je otkaz sistema. Koristi se za određivanje uzročnih veza koje dovode do datog opasnog (havarijskog) stanja sistema. To stanje je konačni (top event) događaj stabla otkaza. Složeniji sistemi mogu imati mnogo različitih konačnih događaja, a time i odgovarajućih stabala otkaza. Metoda »tabela rešenja« (decision tables) jedan je od prilaza kojim se pokušao prevazići dotadašnji heuristički način konstrukcije stabla otkaza, koji je zavisio od sposobnosti ljudi da razumeju suštinu procesa i razrade događaje koji odgovaraju različitim stanjima sistema, kao i da se skrati vreme konstrukcije stabla koje je za složenije sisteme bilo nedopustivo dugo [1]. Pored toga što navedena metoda omogućuje automatizovanu sintezu stabla otkaza, ona ima i niz prednosti u odnosu na ranije, a osnovne su:

— omogućuje prikazivanje većeg broja stanja na ulazu, kada se smatra da je povećanje složenosti u datom slučaju opravdano. Dakle, pored dva binarna stanja »u otkazu« i »u radu«, pomoću ove metode moguće je prikazati i druga stanja od interesa za istraživanja, kao što su npr. stanja pritiska u nekom dovodu: »normalan pritisak«, »delimično smanjen pritisak«, »delimično povećan pritisak«, »nema pritiska«, i sl. Tako se »unutrašnji režim rada« ili »stanje elementa« može razmatrati i u funkciji različitih ulaza iz okruženja;

— omogućuje relativno jednostavno prikazivanje vremena i redosleda pojava događaja kod sistema koji imaju petlju regulisanja.

Stablo otkaza omogućuje više ulaza za svaki element, ali samo jedan izlaz. Na primer, jedan parametar ulaza može biti pritisak medijuma, drugi temperatura tog medijuma, itd. Svaki od parametara ulaza može imati više stanja. Ako je nužno prikazati element sa više izlaza, može se fiktivno uvesti dopunski element za svaki izlaz.

Za svaki element izrađuje se posebna tabela rešenja. Ona opisuje kako svaka kombinacija ulaznih događaja utiče na izlazni događaj, odnosno na stanje elementa. Povezani elementi definišu ponašanje sistema i njegovu šemu. Šema se dobija povezivanjem izlaza svakog elementa s odgovarajućim ulazom drugog elementa.

Stablo otkaza sistema, konstruisano pomoću tabela rešenja, najčešće sadrži uzajamno isključujuće događaje i radna stanja elemenata. Složeniji sistemi mogu imati ogroman broj (i stotine hiljada) oblika otkaza. Zbog toga je nužno naći takve *osnovne oblike* otkaza, koji, kada se realizuju, sigurno uzrokuju i pojavu otkaza sistema. Za

nalaženje osnovnih oblika otkaza koristi se princip *minimalnih havarijskih kombinacija*. Havarijskom kombinacijom smatra se skup svih početnih događaja, koji, kada se realizuju, garantovano prouzrokuju i realizaciju konačnog događaja (međutim, s obzirom na to da ona najčešće uključuje neke druge havarijske kombinacije i posle isključivanja početnih događaja, moguća je realizacija konačnog događaja). Nasuprot tome, *prohodna kombinacija* je skup početnih događaja koji garantuju da se konačni događaj neće realizovati ako se ne realizuje nijedan od tih događaja. *Minimalna havarijska kombinacija* je kombinacija u kojoj, posle isključenja bilo kog početnog događaja, preostali događaji više ne čine havarijsku kombinaciju. *Minimalna prohodna kombinacija* je takav skup kombinacija koji nije više prohodan ako se iz njega izbaci bilo koji od početnih događaja.

Princip minimalnih havarijskih kombinacija omogućuje skraćivanje broja havarijskih kombinacija i broja početnih događaja u havarijskim kombinacijama. To se postiže izbacivanjem svih havarijskih kombinacija koje se međusobno sadrže. Na taj način znatno se uprošćava proces analize.

Za dobijanje svih minimalnih havarijskih kombinacija koristi se *metoda usaglašavanja*. Pomoću nje vrši se uprošćavanje tabela za svaki element, formiranje novih grupa od grupa elemenata, uz kombinovanje i prilagođavanje njihovih izlaznih događaja, tako da se na kraju dobija *konačna tabela kritičnih prelaza* na osnovu koje se vrši konstrukcija stabla otkaza. Grane ili grupe u tabeli kritičnih prelaza osnovni su implikanti za dati konačni događaj.

Procedura konstrukcije stabla otkaza korišćenjem tabela rešenja, sastoji se od sledećih koraka: 1 — formiranja tabela rešenja za svaki element i parametar, 2 — uprošćavanja tabela rešenja, 3 — formiranja tabele kritičnih prelaza i 4 — grafičke interpretacije stabla otkaza, odnosno tabele kritičnih prelaza.

Formiranje tabela rešenja elemenata i parametara

Tabele rešenja svih sastavnih objekata (jedinki) mogu se uspešno sastaviti samo ako se besprekorno poznaje funkcionisanje sistema i svih njegovih objekata i ako su nedvosmisleno definisane sve veze između objekata i parametara sistema. Parametri sistema su sve ulazne i izlazne veličine elemenata sistema. U tom smislu veoma je korisna izrada grafičkog modela sistema — blok-dijagrama u kome se definišu svi objekti sistema, parametri i odnosi među njima. Grafički model u primeru razmatranog sistema prikazan je na slici 4.

Vrednosti parametara sistema (ulaznih i izlaznih signala) zavise od tehničkog stanja sastavnih elemenata objekata, kao i mikro i makro uslova u kojima objekti rade. S vremenom rada, u zavisnosti od intenziteta delovanja degradacionih procesa, menjaju se i tehnička stanja elemenata objekata, a time i vrednosti njihovih parametara. Kada parametri dostignu granične vrednosti, eksploatacija je neekonomična, nedovoljno bezbedna, nemoguća, i sl., odnosno nastaju otkazi. Ovakav pristup konstrukcije stabla otkaza omogućuje analizu ne samo uzroka i posledica binarnih stanja »u radu« i »u otkazu« već, ukoliko je to potrebno, i svih interesantnih momenata stanja »u radu«. Za neke objekte ili sisteme (a tu svakako spadaju i sistemi sa mehaničkom osnovom) ova mogućnost može imati izuzetan značaj. To je sigurno posebno važno za kvantitativnu analizu stabla otkaza, jer omogućuje određivanje pokazatelja raspoloživosti i pouzdanosti na svim nivoima hijerarhijske strukture sistema za izabrane intervale stanja »u radu«, kao i za stanje »u otkazu«.

Algoritam ulaznih parametara definiše logičke veze. U tabeli rešenja formiraju se sve moguće kombinacije stanja ulaznih parametara (događaja) i za svaku kombinaciju određuje se stanje izlaznog događaja.

Uprošćavanje tabela rešenja

Uprošćene tabele rešenja ne sadrže kombinacije koje se ponavljaju, odnosno, to su tabele minimalnih havarijskih kombinacija za svaki izlazni parametar. Uprošćavaju se samo tabele čiji ulazni parametri zadovoljavaju n-formu, a zadovoljava je samo onaj parametar koji je zastupljen sa svim mogućim stanjima u kombinacijama date tabele. Samo u tom slučaju taj parametar nije odlučujući za izlaz konkretne kombinacije, pa se izbacuje iz nje. Ovaj postupak može se ilustrovati primerom uprošćavanja tabele rešenja prikazanoj u tabeli 1. Iz tabele se uočava da na veličinu izlaznog parametra I utiču stanja ulaznih parametara A, B, C i D, a označena su sledećim simbolima: R — radno stanje, N — normalno stanje, O — otkazno stanje i P — povratno dejstvo.

Procedura počinje traženjem promenljivog parametra P iz početne grupe događaja koji je sadržan u svim sledećim grupama događaja. Takav promenljivi parametar P zadovoljava uslov n-forme u datim kombinacijama.

Tabela 1

Početna tabela rešenja za parametar I

Grana	Ulaz				Izlaz
	A	B	C	D	I
1	R	N	O	R	R
2	—	R	—	R	R
3	R	P	—	—	R

U konkretnom primeru promenljivi parametar B zadovoljava uslov trorazmerne forme (3-forma), zato što B_N sadrži prva grupa, B_R — druga, a B_P — treća grupa događaja.

Istovremeno ostali parametri — A, C i D ne zadovoljavaju n-formu. Udaljavanjem parametra B iz navedenih kombinacija dobijaju se tri nove grupe (kombinacije) $\{A_R C_O D_R\}$, $\{D_R\}$ i $\{A_R\}$ koje se dalje ne mogu uprošćavati, a čine minimalne havarijske kombinacije (osnovne implikante) u razmatranom slučaju. Procedura se, u opštem slučaju, završava kada posle i-tog koraka nijedan parametar ne zadovoljava n-formu.

Formiranje tabele kritičnih prelaza

Tabela kritičnog prelaza se, takođe, dobija metodom usaglašavanja. Sve uprošćene tabele rešenja se po posebnoj proceduri komponuju u tabelu rešenja kod koje je izlazni parametar ujedno i konačan (vršni) događaj. Procedura se završava kada u tabeli kritičnih rešenja egzistiraju samo elementi sistema. Komponovanje tabela rešenja pojedinačnih elemenata i parametara u konačnu tabelu vrši se tako što se postupno zamenjuju ulazni parametri pripadajućim, ranije uprošćenim tabelama sa svim kombinacijama događaja.

Grafička interpretacija stabla otkaza

Na osnovu tabele kritičnih prelaza i blok-dijagrama sistema vrši se konstrukcija stabla otkaza. Minimalne havarijske kombinacije mogu se dobiti i neposredno iz tabele kritičnih prelaza bez konstrukcije stabla otkaza, koje u suštini predstavlja samo njenu grafičku interpretaciju, odnosno pregledniji prikaz hijerarhijskih struktura svih mogućih događaja koji prouzrokuju pojavu događaja na višim ni-

voima do konačnog događaja. Za konstrukciju stabla otkaza koriste se standardizovani grafički simboli. Stablo otkaza razmatranog primera prikazano je na slici 5.

Kvantitativni pokazatelji pouzdanosti

Pouzdanost u širem smislu (dependability — nadležnost) jeste skup svojstava koja opisuju raspoloživost i faktore koji na nju utiču: pouzdanost (reliability — bezotkaznost), pogodnost održavanja i logistička podrška održavanja [2]. To je svojstvo objekta da u vremenu sačuva sposobnost ispunjavanja potrebnih funkcija u zadatim režimima i uslovima primene, odnosno svojstvo tehničkog sistema da sačuva potrebne pokazatelje kvaliteta u toku eksploatacije [3]. Ovako definisan pojam pouzdanosti koristi se samo za opšte opisivanje, dok se kao kvantitativne karakteristike koriste pokazatelji raspoloživosti, bezotkaznosti, pogodnosti održavanja i logističke podrške održavanju. Ovi pokazatelji definisani su u standardima IEC 50 (191) [2].

U ovom radu vršena je ocena pokazatelja pouzdanosti metodom stabla otkaza za početne događaje (karakteristike parametara otkaza osnovnih elemenata), havarijske kombinacije i konačni događaj koji je definisan stanjem jednog od izlaznih parametara sistema. Na osnovu vrednosti ovih pokazatelja određivani su pokazatelji značajnosti elemenata i havarijskih kombinacija. Korišćeni su sledeći pokazatelji:

— *za osnovne elemente koji se ne obnavljaju:* verovatnoća bezotkaznog rada — $R(t)$, uslovni intenzitet otkaza — $\lambda(t)$, asimptotska raspoloživost — A i asimptotska neraspoloživost — Q.

— *za osnovne elemente koji se obnavljaju*, pored navedenih, korišćeni su i sledeći pokazatelji: bezuslovni intenzitet otkaza — $w(t)$, očekivani broj otkaza — $W(t_1, t_2)$, bezuslovni intenzitet remonta $v(t)$ i očekivani broj remonta — $V(t_1, t_2)$.

— *za havarijske kombinacije i sistem:* asimptotska raspoloživost — A_i^*, As, asimptotska neraspoloživost — Q_i^*, Qs, bezuslovni intenzitet otkaza — w_i^*, w_s i uslovni intenzitet otkaza — λ_i, λ_s.

Početni događaji stabla otkaza izabrane su oblasti vrednosti parametara stanja osnovnih elemenata sistema do kojih se vrši njihova dekompozicija i analiza pouzdanosti. U stablu otkaza označavaju se krugom i za njih se podrazumeva da postoje podaci na osnovu kojih se mogu odrediti zakoni verovatnoća realizacije sa odgovarajućim karakteristikama. Definicije navedenih pokazatelja date su u literaturi [1, 2, 3, 4, 5].

Treba naglasiti da postoje suštinske razlike između pojmova bezuslovnog i uslovnog intenziteta otkaza. Prema [2] uslovni intenzitet otkaza definiše se kao granična vrednost, ukoliko postoji, odnosa uslovne verovatnoće da vremenski trenutak otkaza jedne jedinke T padne u zadati vremenski interval $(t, t+\Delta t)$ u trajanju ovog intervala, Δt, kada Δt teži nuli, pod uslovom da je jedinka raspoloživa na početku ovog intervala. Sa druge strane, bezuslovni intenzitet otkaza u momentu t je granična vrednost, ukoliko postoji, odnosa srednjeg broja otkaza popravljane jedinke u intervalu vremena $(t, t+\Delta t)$ i dužine tog intervala vremena Δt, kada dužina intervala vremena teži nuli. Ovaj pokazatelj predstavlja verovatnoću da će element otkazati u jedinici vremena, pod uslovom da je u trenutku $t=0$ prešao u ispravno stanje.

Pojam operativne raspoloživosti je standardima IEC [2] zamenjen pojmom *asimptotska (granična) raspoloživost*. To je granična vrednost, ako postoji, trenutne raspoloživosti kada vreme teži beskonačnosti. U uslovima, kao što su, na primer, konstantan in-

tenzitet otkaza i konstantan intenzitet obnavljanja, asimptotska raspoloživost može se odrediti relacijom:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (1)$$

gde je:

MUT — srednje vreme raspoloživosti (mean up time), odnosno matematičko očekivanje vremena u radno sposobnom stanju objekata;

MDT — srednje vreme neraspoloživosti (mean down time), odnosno matematičko očekivanje vremena neraspoloživosti. Vreme neraspoloživosti sadrži vremena preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja (remonta), kao i sva vremena zadržavanja objekata zbog organizacijskih razloga, neadekvatne obezbeđenosti materijalnim resursima, itd.

Veza između uslovnog, bezuslovnog intenziteta otkaza i asimptotske raspoloživosti data je modelom:

$$\lambda(t) = \frac{w(t)}{1-Q(t)} \quad (2)$$

Bezuslovni intenzitet otkaza, odnosno gustina obnavljanja, dobija se iz fundamentalnih jednačina teorije obnavljanja [1]:

$$w(t) = f(t) + \int_0^t f(t-u)\, v(u)du$$

$$v(t) = \int_0^t g(t-u)\, w(u)du \quad (3)$$

Očekivani broj otkaza u intervalu $(t, t+\Delta t)$ predstavlja srednji broj otkaza u tom intervalu, pod uslovom da je element u $t=0$ bio u ispravnom stanju.

$$w(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} w(t)dt \quad (4)$$

Izraz za asimptotsku neraspoloživost minimalne havarijske kombinacije proizilazi iz činjenice da realizacija događaja na višem nivou nastaje samo kada se izvrše svi događaji iz skupa događaja analizirane minimalne havarijske kombinacije:

$$Q_i^* = \prod_{i=1}^{n} Q_i \quad (5)$$

gde je:

n — broj elemenata minimalne havarijske kombinacije.

Očekivani broj pojava havarijskih kombinacija u jedinici vremena u momentu t (bezuslovni intenzitet otkaza ili parametar potoka otkaza), ocenjuje se pomoću izraza:

$$w_i^*(t) = \sum_{j=1}^{u} [1-Q_j(t)]\lambda_j(t) \prod_{\substack{l=1 \\ l=j}}^{n} Q_j(t) \quad (6)$$

Intenzitet otkaza minimalne havarijske kombinacije, ekvivalentno izrazu (2), dobija se iz izraza:

$$\lambda_i^* = \frac{w_i^*(t)}{1-Q_i^*(t)} \quad (7)$$

Isti pokazatelji koriste se i za sistem (konačni događaj). Njihove približne vrednosti dobijaju se iz relacija [3]:

$$Q_s \cong \sum_{i=1}^{N_k} Q_i^*; \quad w_s \cong \sum_{i=1}^{N_k} w_i^*; \quad \lambda_s \cong \sum_{i=1}^{N_k} \lambda_i^* \quad (8)$$

gde je:

N_k — broj minimalnih havarijskih kombinacija.

Za određivanje parametara značajnosti elemenata i havarijskih kombinacija predložen je veći broj modela, a u ovom radu je korišćen model Fussel — Vessele, po kojem se računa verovatnoća kojom i-ti događaj utiče na otkaz sistema. Polazi se od pretpostavke da i element koji nije kritičan može

doprinositi realizaciji otkaza, ako se nalazi u jednoj ili nekoliko havarijskih kombinacija [1].

Značajnosti elemenata i havarijskih kombinacija određivane su prema izrazima:

$$I_i^{FV} = \frac{\sum_{k=1}^{k_j} Q_k^*}{Q_s}, \quad I_k^{*FV} = \frac{Q_k^*}{Q_s} \qquad (9)$$

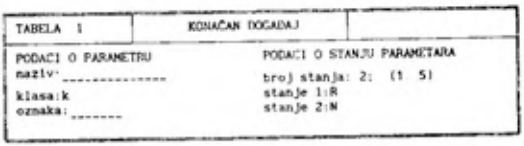
gde je:

k_j — broj minimalnih havarijskih kombinacija koje sadrže element i.

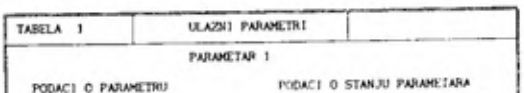
Programski paket za konstrukciju i kvantitativnu analizu stabla otkaza

Programski paket sastoji se od dve celine: programa za konstrukciju stabla otkaza metodom tabela rešenja i programa za kvantitativnu analizu stabla otkaza.

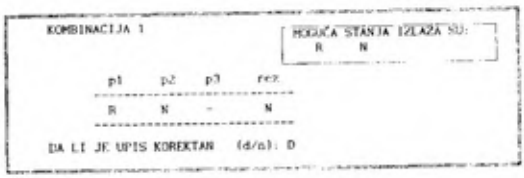
Program za konstrukciju omogućuje formiranje i uprošćavanje tabela rešenja i formiranje tabele kritičnih prelaza korišćenjem metode usaglašavanja. Moguć je izlaz na video-ekran i printer. Program formira datoteke podataka minimalnih havarijskih kombinacija i ulaznih parametara. Ove datoteke koriste se za kvantitativnu analizu stabla otkaza. Operator treba da unese podatke o: konačnom događaju (naziv i oznaka), ulaznim parametrima koji definišu stanje izlaznog parametra (naziv, klasa, oznaka); mogućim stanjima ulaznih parametara i stanjima izlaznog parametra. Podaci se unose preko odgovarajućih maski, koje su prikazane na slikama 1, 2 i 3. Najpre se unose podaci o konačnom događaju preko maske prikazane na slici 1, a zatim podaci o ulaznim parametrima i njihovim pripadajućim stanjima preko maske broj dva (slika 2). Posle unosa podataka o ulaznim parametrima javlja se maska za upis stanja (slika 3) izlaznog parametra za svaku moguću kombinaciju stanja ulaznih parametara. Posle unosa svih stanja izlaznog parametra, program vrši uprošćavanje tabela rešenja, modifikaciju tabele kritičnih prelaza i, na kraju, definiše novi ulazni parametar. U sledećem koraku pojavljuje se maska broj 1 (slika 1) preko koje se definišu ulazni parametri za novi izlazni parametar. Po završetku procesa formiranja uprošćenih tabela rešenja i konačne tabele kritičnih prelaza formiraju se datoteke u kojima se smeštaju podaci o ulaznim parametrima za konačnu tabelu kritičnih rešenja, kao i o minimalnim havarijskim kombinacijama.



Sl. 1 — Maska za unos podataka o konačnom događaju (maska broj 1)



Sl. 2 — Maska za unos podataka o ulaznim parametrima (maska broj 2)



Sl. 3 — Maska za unos stanja izlaznog parametra (maska broj 3)

Kvantitativnom analizom određuju se verovatnoće realizacija ranije definisanih događaja na svim nivoima — od početnih, preko havarijskih kombinacija do konačnog događaja. Program za kvantitativnu analizu koristi baze

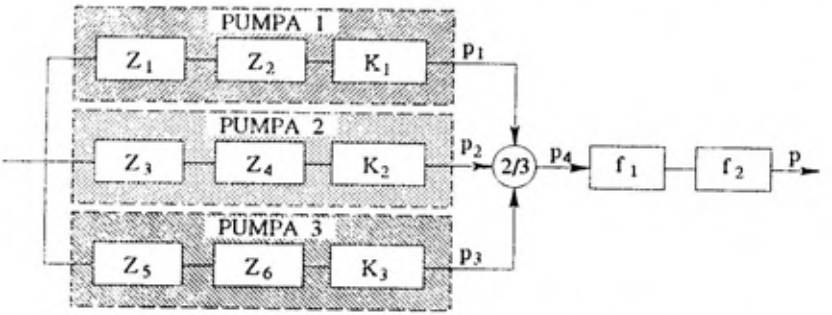
podataka koje formira program za konstrukciju stabla otkaza i po prikazanim modelima vrši ocenu navedenih pokazatelja pouzdanosti elemenata, havarijskih kombinacija i sistema. Korisnik treba da unese samo parametre raspodela verovatnoća vremena rada do otkaza za sve razmatrane elemente i vremena potrebnih za njihovo održavanje.

Za ilustraciju procedure konstrukcije stabla otkaza i kvantitativne analize pomoću komentarisanog paketa programa, kao primer prikazan je krajnje pojednostavljen tehnički sistem koji se sastoji od dva serijski spojena podsistema: tri paralelno povezane pumpe po modelu »2 do 3« (sistem je u otkazu ako otkažu dva od postojeća 3 elementa) i dva serijski spojena prečistača. Svaka pumpa sastoji se od tri serijski spojena elementa: vodećeg i vođenog zupčanika i kućišta pumpe. Ovaj primer preuzet je iz literature [1] i korišćen za testiranje rada programa. Blok-dijagram sistema prikazan je na slici 4.

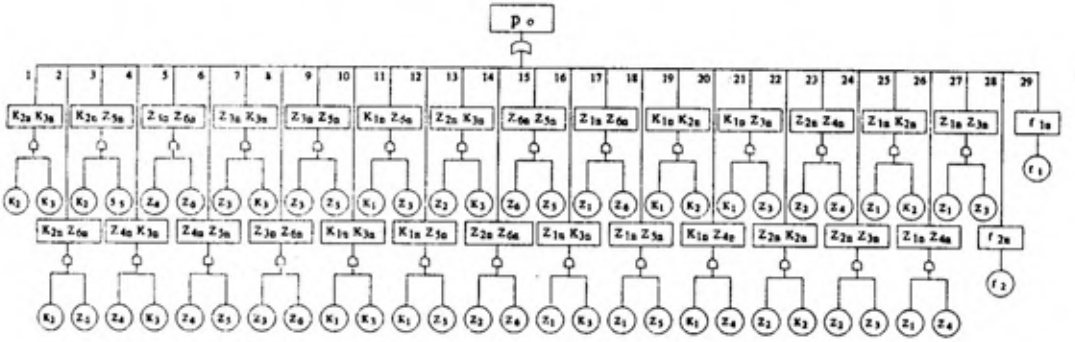
Svaki od elemenata i parametara sistema može biti u radnom (R) ili neradnom (N) stanju, kao što je prikazano u tabeli 2. Konačni događaj je parametar p — »nema pritiska na izlazu«. Ovaj događaj je u funkciji tehničkog stanja elemenata pumpi i prečistača. Posle unošenja osnovnih podataka o elementima i parametrima preko komentarisanih maski dobijene su uprošćene tabele (3 do 7) i konačna tabela kritičnih prelaza (tabela 8).

Iz tabele 8 može se uočiti 29 minimalnih havarijskih kombinacija (osnovnih implikanata) za razmatrani sistem: {k2nk3n}, {k2nz6n}, {k2nz5n}, {z4nk3n}, ..., {f2n} i {f1n}.

Grafička interpretacija tabele kritičnih prelaza (stablo otkaza) data je na slici 5. Konačni događaj, nedovo-



Sl. 4 — Blok-dijagram sistema



Sl. 5 — Stablo otkaza sistema

Tabela 2

Osnovni podaci o elementima i parametrima sistema

Red. broj	Naziv	Klasa	Oznaka	Radno stanje	Nerad. stanje
1	prečistač 1	e	f1	R	N
2	prečistač 2	e	f2	R	N
3	pritisak iz p.	p	p4	R	N
4	pritisak iz p1	p	p1	R	N
5	pritisak iz p2	p	p2	R	N
6	pritisak iz p3	p	p3	R	N
7	zupčanik 1	e	z1	R	N
8	zupčanik 2	e	z2	R	N
9	kućište 1	e	k1	R	N
10	zupčanik 3	e	z3	R	N
11	zupčanik 4	e	z4	R	N
12	kućište 2	e	k2	R	N
13	zupčanik 5	e	z5	R	N
14	zupčanik 6	e	z6	R	N
15	kućište 3	e	k3	R	N

Tabela 3

Uprošćena tabela za konačan događaj

Red. broj	Parametri ulaza			Izlaz
	f1	f2	p4	p
1	R	R	R	R
2	—	—	N	N
3	—	N	—	N
4	N	—	—	N

Tabela 4

Uprošćena tabela za pritisak iz pumpi

Red. broj	Parametri ulaza			Izlaz
	p1	p2	p3	p4
1	R	R	R	R
2	R	R	N	R
3	R	N	R	R
4	N	R	R	R
5	—	N	N	N
6	N	—	N	N
7	N	N	—	N

Tabela 5

Uprošćena tabela za pritisak iz pumpe 1

Red. broj	Parametri ulaza			Izlaz
	z1	z2	k1	p1
1	R	R	R	R
2	—	—	N	N
3	—	N	—	N
4	N	—	—	N

Tabela 6

Uprošćena tabela za pritisak iz pumpe 2

Red. broj	Parametri ulaza			Izlaz
	z3	z4	k2	p2
1	R	R	R	R
2	—	—	N	N
3	—	N	—	N
4	N	—	—	N

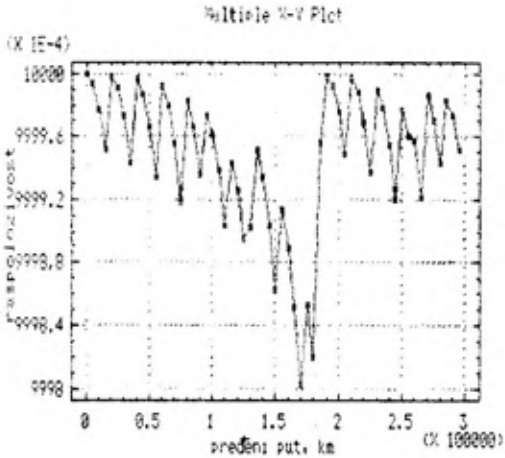
Tabela 7

Uprošćena tabela za pritisak iz pumpe 3

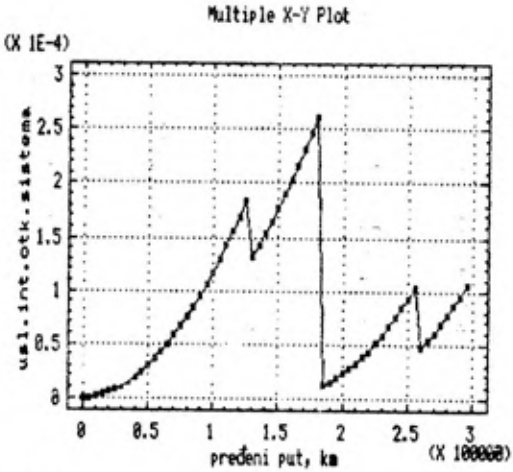
Red. broj	Parametri ulaza			Izlaz
	z5	z6	k3	p3
1	R	R	R	R
2	—	—	N	N
3	—	N	—	N
4	N	—	—	N

ljan pritisak ulja iz sistema, realizovaće se ako se realizuje jedna od navedenih minimalnih havarijskih kombinacija.

Kvantitativna analiza stabla otkaza urađena je sa sledećim parametrima Vejbulove raspodele vremena rada do otkaza i vremena održavanja: 1 — za prečistače ulja $\beta = 3$, $\Theta = 25000$ km, $\beta_r = 3$, $\Theta_r = 1$h, 2 — za vodeće zupčanike pumpi $\beta = 3$, $\Theta = 170000$ km, $\beta_r = 3$, $\Theta_r = 5$h, 3 — za vođene zupčanike $\beta = 3$, $\Theta = 240000$ km, $\beta_r = 3$, $\Theta_r = 5$h i 4 — za tela pumpi $\beta = 3$, $\Theta = 240000$ km, $\beta_r = 3$, $\Theta_r = 7$h. Primenjena je strategija periodične preventivne zamene elemenata sa sledećim fiksnim periodičnostima: prečistači ulja su menjani posle svakih 20000 km, vodeći zupčanici posle svakih 130000 km, a ostali elementi posle svakih 170000 pređenih kilometara.



Sl. 6 — Asimptotska raspoloživost sistema



Sl. 7 — Uslovni intenzitet otkaza sistema

Tabela 8

Tabela kritičnih prelaza

Red. broj	Parametri ulaza											Kon. dog.
	f1	f2	z1	z2	k1	z3	z4	k2	z5	z6	k3	p
1	—	—	—	—	—	—	—	N	—	—	N	N
2	—	—	—	—	—	—	—	N	—	N	—	N
3	—	—	—	—	—	—	—	N	N	—	—	N
4	—	—	—	—	—	—	N	—	—	—	N	N
5	—	—	—	—	—	—	N	—	—	N	—	N
6	—	—	—	—	—	—	N	—	N	—	—	N
7	—	—	—	—	—	N	—	—	—	—	N	N
8	—	—	—	—	—	N	—	—	—	N	—	N
9	—	—	—	—	—	N	—	—	N	—	—	N
10	—	—	—	—	N	—	—	—	—	—	N	N
11	—	—	—	—	N	—	—	—	—	N	—	N
12	—	—	—	—	N	—	—	—	N	—	—	N
13	—	—	—	N	—	—	—	—	—	—	N	N
14	—	—	—	N	—	—	—	—	—	N	—	N
15	—	—	—	N	—	—	—	—	N	—	—	N
16	—	—	N	—	—	—	—	—	—	—	N	N
17	—	—	N	—	—	—	—	—	—	N	—	N
18	—	—	N	—	—	—	—	—	N	—	—	N
19	—	—	—	—	N	—	—	N	—	—	—	N
20	—	—	—	—	N	—	N	—	—	—	—	N
21	—	—	—	—	N	N	—	—	—	—	—	N
22	—	—	—	N	—	—	—	N	—	—	—	N
23	—	—	—	N	—	—	N	—	—	—	—	N
24	—	—	—	N	—	N	—	—	—	—	—	N
25	—	—	N	—	—	—	—	N	—	—	—	N
26	—	—	N	—	—	—	N	—	—	—	—	N
27	—	—	N	—	—	N	—	—	—	—	—	N
28	—	N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	N
29	N	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	N

Deo dobijenih rezultata prikazan je na slikama 6. i 7. Mogu se uočiti efekti — smanjenje intenziteta otkaza sistema (slika 7) i povećanje raspoloživosti (slika 6) primenom navedene strategije preventivnog održavanja. Na sličan način mogu se prezentirati pokazatelji i za ostale nivoe strukture, od osnovnih elemenata do konačnog događaja, uz primenu navedene ili drugih strategija preventivnog ili korektivnog održavanja.

Zaključak

Metoda tabela rešenja omogućuje relativno jednostavnu automatizaciju procesa formiranja konačne tabele kritičnih prelaza, a na taj način i definisanja minimalnih havarijskih kombinacija za sva, za analizu značajna, tehnička stanja elemenata tehničkih sistema. Proces grafičke interpretacije stabla otkaza, na osnovu konačne tabele kritičnih prelaza, vrlo je jednostavan. Ovaj proces u predloženom programu nije automatizovan i to je sledeći korak njegovog usavršavanja. Kvantitativnom analizom stabla otkaza sa prikazanim modelima mogu se dobiti ocene svih relevantnih pokazatelja pouzdanosti tehničkih sistema, potrebnih u procesima alokacije pouzdanosti u fazi projektovanja, optimizacije režima tehničkog održavanja, i sl.

Literatura:

[1] Henley, E. J., Kumamoto, H.: Reliability engineering and risk assessment, ruski prevod, Mašinostroenie, Moskva, 1984.

[2] Internacionalni standard IEC 50 (191), 1990.

[3] Pronikov, A. S.: Nadežnost mašin, Mašinostroenie, Moskva, 1978.

[4] Beljčič, i dr.: Nadežnost i efektivnost v tehnike, tom 5, Mašinostroenie, Moskva, 1988.

[5] Beichelt, F., Franken, P.: Zuferlassigkeit und instanhaltung, mathematishe methoden, Veb Verlagtechnik, Berlin, 1983.

[6] Dhillon, B. S., Singh, Ch.: Engenering Reliability, new techniques and applications, ruski prevod, Moskva, 1981.

[7] Rainske, K., Usakov, I. A.: Ocenka nadežnosti sistem s ispoljzovanijem grafov, Radio i svjaz, Moskva, 1988.

[8] Stanković, R., Šehović, S.: Kvalitativna i kvantitativna analiza stabla otkaza tehničkih sistema, VTG, 1/1992.

Dr Vasilije Mišković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

KVANTITATIVNI POKAZATELJI FUNKCIONISANJA SISTEMA SNABDEVANJA MUNICIJOM ARTILJERIJE ZA PODRŠKU

UDC: 623.41.001.572

Rezime:

Postupak za određivanje karakteristika sistema snabdevanja predstavlja kombinaciju primene analitičkih i simulacionih modela.
Karakteristike sistema snabdevanja određuju se obradom podataka dobijenih eksperimentima na razvijenom modelu. Simulacija na modelu zahteva definisanje „scenarija" po kome se odvijaju borbena dejstva. Namena dobijenih karakteristika jeste da se pogodnom obradom dobiju zahtevi prema kojim je moguće dimenzionisati resurse u sistemu snabdevanja.

Ključne reči: artiljerija za podršku, artiljerijska municija, sistem snabdevanja, model, simulacija.

QUANTITY INDICATORS OF AMMUNITION SUPPLY SYSTEM FUNCTIONING IN SUPPORTING ARTILLERY

Summary:

The procedure for determining the characteristics of an ammunition supply system combines the application of analytic and simulation models. The supply system characteristics are determined using processed data obtained by experiments on a developed model. Model simulation demands the definition of a »screenplay« for combat action development. The aim of the obtained characteristics is to get requirements which should serve as a base for determining the dimensions of resources in the supply system.

Key words: supporting artillery, artillery ammunition, supply system, model, simulation.

Uvod

Sistem snabdevanja u oružanim snagama treba da zadovolji materijalne potrebe jedinica i ustanova. Snabdevanje jedinica i ustanova materijalnim sredstvima obuhvata više procesa kao što su:

— obezbeđenje potrebne količine materijalnih sredstava,

— čuvanje materijalnih sredstava,

— dotur materijalnih sredstava do neposrednog potrošača.

Tehničko snabdevanje obuhvata snabdevanje tehničkim materijalnim sredstvima, pogonskim sredstvima, osnovnim sredstvima, municijom, minsko-eksplozivnim sredstvima, raketama, rezervnim delovima i potrošnim materijalom.

Sistem snabdevanja municijom mora imati organizaciju koja će omogućiti ostvarivanje postavljenog cilja. Ovaj vid snabdevanja može se posmatrati kao sistem, jer ima elemente organizovane u određenu strukturu u kojoj se odvija niz procesa.

Utvrđivanje mogućnosti i karakteristika funkcionisanja postavljenog sistema bez sprovođenja eksperimenata na samom sistemu uvek je problematično. Poseban problem predstavljaju sistemi koji funkcionišu u uslovima izrazite neizvesnosti i neodređenosti. Ako je moguće, nakon razvoja sistema, njegovu proveru treba izvršiti pre uvođenja u funkciju. Tada se utvrđuju i karakteristike njegovog funkcionisanja i otklanjaju nedostaci. Međutim, ako postoji zahtev da razvijeni sistem bez prave provere bude uveden u funkciju i da mora da funkcioniše na zahtevani način, nužno je pribeći razvoju modela na kojem se proverava funkcionisanje sistema i određuju karakteristike i pokazatelji njegovog funkcionisanja.

Sistem snabdevanja municijom funkcioniše u uslovima neodređenosti i neizvesnosti. Razvoj i uspostavljanje ovog sistema vrši se u miru kako bi funkcionisao u ratu. Znači da prave provere sistema pre njegovog uvođenja u funkciju nema. Da bi se, ipak, utvrdile karakteristike njegovog funkcionisanja pribegava se modelovanju. Modeli koji se razvijaju različitog su tipa, od fizičkih modela (na različitim vežbama) do modela za simulaciju na računarima.

Metodologija rešavanja ovog problema u stranim oružanim snagama, posebno ona koja se trenutno primenjuje, malo je poznata, ali se znaju krajnji rezultati istraživanja. Međutim, često se i ti rezultati moraju prihvatiti sa određenom rezervom. Razvoj metodologija determinisan je doktrinarnim opredeljenjima, uslovima i načinima izvođenja borbenih dejstava, veličinom i namenom oružanih snaga, tako da se ne može očekivati da bi razvijena metodologija u nekim stranim oružanim snagama mogla biti u potpunosti primenjena i u našim uslovima.

U ovom radu prikazan je postupak za određivanje karakteristika funkcionisanja sistema snabdevanja municijom artiljerije za podršku.

Opis sistema snabdevanja municijom artiljerije za podršku

Elementi sistema snabdevanja municijom jesu organizacione celine, koje se po svojim karakteristikama izdvajaju u ukupnoj strukturi sistema snabdevanja. Osnovni elementi sistema snabdevanja su upravni organi, izvršni organi i rezerve i zalihe municije.

Upravni organi sistema snabdevanja municijom integrisani su u upravni organ sistema tehničkog snabdevanja i istovremeno u upravni organ sistema tehničkog obezbeđenja. Razvijeni su u organizacionoj strukturi pozadine u sastavu komandi. Osnovna namena i zadatak upravnih organa jeste sagledavanje potrebe jedinica i iznalaženje najboljih rešenja za zadovoljenje tih potreba.

Zadatke neposrednog snabdevanja jedinica municijom realizuju izvršni organi koji su razvijeni po celoj strukturi sistema snabdevanja. Izvršni organi u sistemu snabdevanja formirani su kao jedinice i ustanove. Integrisani su u okviru pozadinskih jedinica i ustanova kao posebne organizacione celine. U strukturi sistema snabdevanja izvršni organi ne prate obavezno liniju komandovanja i ne moraju se razvijati na svim nivoima komandovanja.

Za ilustraciju ovog pristupa određivanja kvantitativnih pokazatelja funkcionisanja sistema snabdevanja korišćen je hipotetički sistem, prikazan na slici 1.

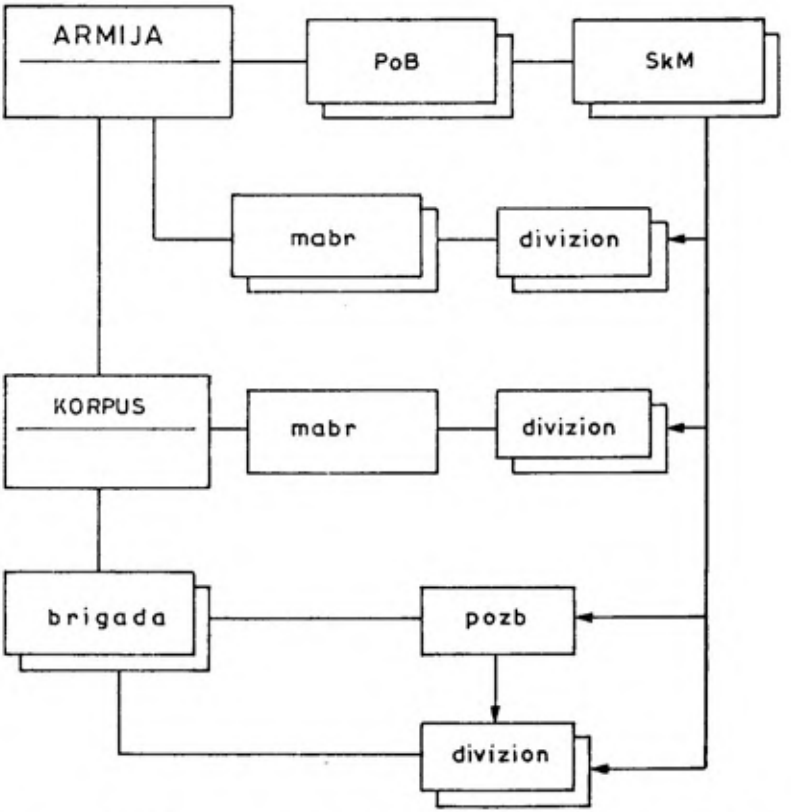
Jedinice za tehničko snabdevanje u združenim taktičkim jedinicama u borbenom poretku razvijaju stanice za snabdevanje u rejonu razvoja pozadinske jedinice. Mesto razvoja je, po pravilu, iza zadnjeg elementa borbenog poretka jedinice. U okviru ovih stanica razvijaju se sekcije za snabdevanje municijom.

Sistem tehničkog snabdevanja municijom može obavljati svoju funkciju samo uz postojanje određenih zaliha i rezervi municije, koji su sastavni deo

sistema snabdevanja municijom, a ešelonirane su po nivoima. Viši nivo ešeloniranja je izvor snabdevanja za niže nivoe. Ukupne količine municije koje se ešeloniraju zavise od perioda za koji se rezerve formiraju i operativno-strategijskih planova upotrebe oružanih snaga. Formirane rezerve i zalihe municije raspoređuju se po teritoriji i po nivoima ešeloniranja.

— izveštaj diviziona koji obuhvata utrošak municije i stanje zaliha municije u divizionu.

Armijsku i korpusnu artiljeriju popunjavaju skladišta municije angažovanjem vlastite snabdevačke jedinice pozadinske baze, ako ih pozadinska baza ima. Brigadna artiljerija popunjava se na isti način, s tim da brigadna



Sl. 1 — Struktura sistema snabdevanja artiljerijskom municijom za podršku

Funkcionisanje sistema snabdevanja municijom odvija se realizacijom informacionih i materijalnih tokova. Osnovi za određivanje količine municije za popunu diviziona su:

— plan dejstva diviziona u narednom periodu, odnosno očekivani utrošak municije na narednom vatrenom položaju,

artiljerija ima i dopunski izvor snabdevanja u svom pozadinskom bataljonu. Na osnovu izveštaja diviziona i prognoze utroška na nivou komande brigade formira se zahtev za popunu prema korpusu ili armiji. Odluka da li će pozadinski bataljon popunjavati divizion donosi se na osnovu izveštaja diviziona o stanju zaliha, prognoze utro-

ška municije i procene potrebnog vremena za realizaciju popune sa nivoa armije. Pozadinski bataljon vrši popunu u slučaju kada se proceni da stanje zaliha municije neće biti dovoljno dok se ne realizuje popuna sa nivoa armije.

Informacioni tokovi interesantni su sa stanovišta vremena prenosa i obrade informacija. Mesta generisanja informacija o stanju zaliha municije jesu neposredni potrošači (divizioni) i komande, gde se planira upotreba diviziona. Planiranjem upotrebe diviziona generiše se veličina očekivanog utroška u narednom periodu (narednim vatrenim položajima). Pored toga, generišu se i informacije o mestu diviziona (mesto narednog ili narednih vatrenih položaja) i vremenu kada će se divizion naći na tom vatrenom položaju. Poznavanjem i obradom ovih informacija moguće je formirati zahtev za popunu diviziona. Vreme koje se stavlja na raspolaganje sistemu snabdevanja za realizaciju popune teče od momenta kada je zahtev primljen do onog momenta kada municija mora biti stavljena na raspolaganje divizionu. To je raspoloživo vreme za organizaciju i realizaciju popune diviziona.

Za organizaciju i realizaciju popune sistemu snabdevanja je potrebno vreme, koje mora biti manje od raspoloživog vremena, inače divizionu municija ne može stići na vreme. Borbena situacija, zbog uticaja neodređenosti i neizvesnosti, uslovljava momenat kada je moguće artikulisati zahtev za popunu, a postavljena struktura, organizacija i primenjena tehnologija u sistemu snabdevanja ograničavaju vreme organizacije i realizacije popune.

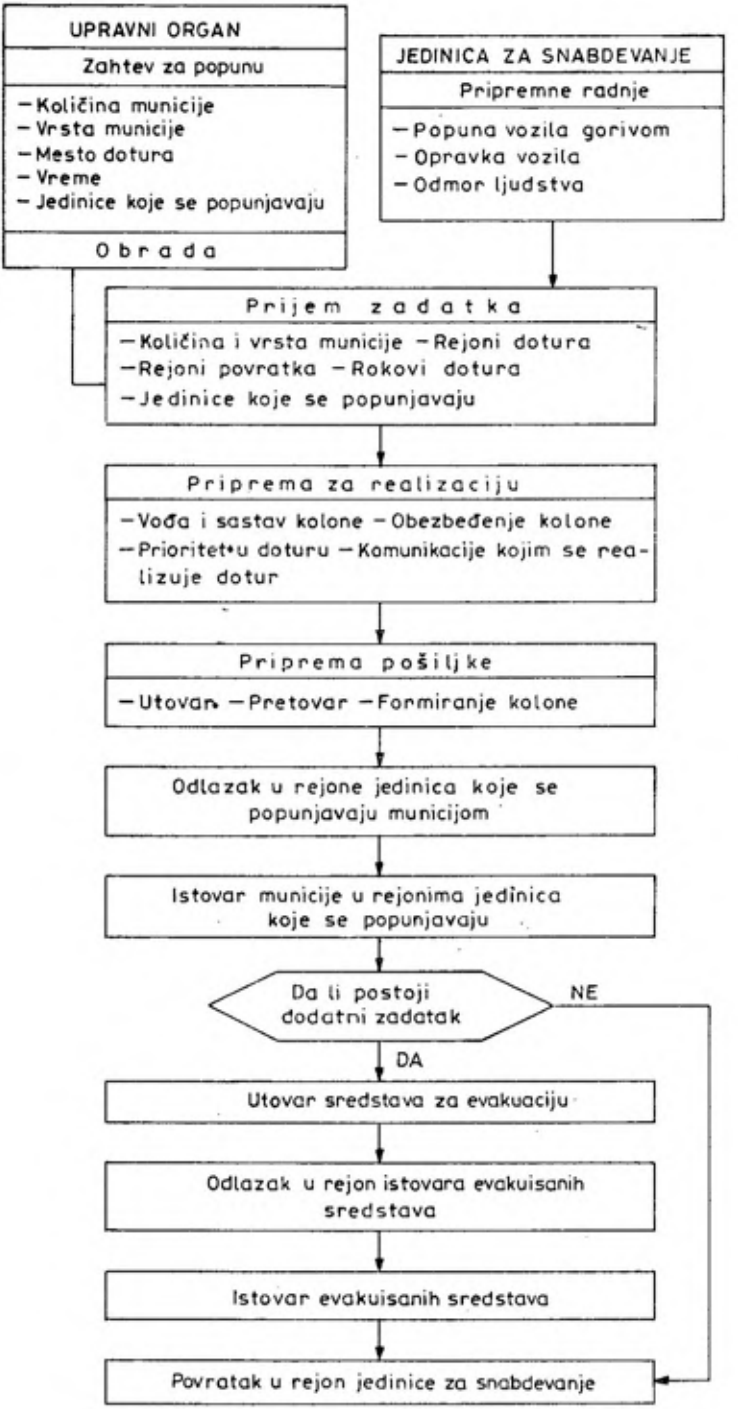
Materijalni tokovi u sistemu snabdevanja ostvaruju se angažovanjem transportnih i manipulativnih kapaciteta jedinica za snabdevanje i povremenim angažovanjem kapaciteta transportnih jedinica. Faze realizacije dotura municije u jednom ciklusu, za hipotetički sistem snabdevanja, prikazane su na slici 2.

Materijalni tokovi u sistemu snabdevanja municijom realizuju se između izvora snabdevanja i jedinica koje predstavljaju krajnje potrošače. Neposredno pre ili početkom borbenih dejstava lokacija rezervi se menja, čime se uspostavljaju borbeni poredak i materijalni tokovi onako kako su predviđeni organizacijom sistema snabdevanja. Preuzimanjem rezervi iz trupnih skladišta, što obavljaju združeno-taktičke jedinice, i raseljavanjem vantrupnih skladišta rezerve municije se približavaju neposrednim potrošačima, čime se skraćuju putevi dotura, a time i vreme popune jedinica.

Izbor kvantitativnih pokazatelja koji opisuju procese popune

Za određenu organizaciju i primenjenu tehnologiju u sistemu snabdevanja nameće se potreba dimenzionisanja elemenata sistema. Zato će biti prikazana mogućnost razvijanja modela za određivanje sistema ešeloniranja na trupnom nivou, kao i način određivanja zahteva za angažovanje transportnih kapaciteta. Da bi ovi modeli mogli da se razviju, neophodno je definisati pokazatelje koji opisuju navedene veličine.

Osnovni cilj postojanja i funkcionisanja sistema snabdevanja jeste da zadovolji potrebe potrošača za municijom. S obzirom na to da se u sistemu snabdevanja i njegovom okruženju odvijaju slučajni procesi, mora se uvažiti i nužnost postojanja rizika, što znači da je pri definisanju pokazatelja neophodna stalna orijentisanost prema verovatnoći zadovoljenja potreba. Nivo verovatnoće zadovoljenja potreba može se postaviti kao zahtevana veličina ili analizom birati vrednost verovatnoće zadovoljenja u odnosu na prirast posmatrane veličine i prirast verovatnoće zadovoljenja potreba. Verovatnoća zadovoljenja potreba diviziona za municijom znači da data organizacija sistema snabdevanja, primenjena tehnologija i dimenzionisani elementi sis-



Sl. 2 — Faze realizacije dotura municije

tema omogućavaju zadovoljenje potreba u zahtevanom (ili određenom) procentu slučajeva. U slučajevima kada sistem, onako kako je postavljen, ne može da zadovolji potrebe, moraju se preduzimati dodatne aktivnosti kako bi se ipak zadovoljile. Ovakvi slučajevi moraju biti retki.

Popuna municijom u borbenim dejstvima može se opisati sledećim pokazateljima:

— količinom municije kojom se jedinica popunjava,

— vremenom između dve popune jedne jedinice,

— vremenom između dve popune koju realizuje snabdevačka jedinica,

— vremenom realizacije popune,

— angažovanjem transportnih kapaciteta.

Količina municije kojom se jedinica popunjava je slučajna veličina. Ona zavisi od stanja zaliha municije u jedinici i procenjene potrošnje u narednom periodu (vatrenom položaju). Da bi se dobila realna slika o količinama municije kojom se jedinica popunjava neophodno je posmatrati nivo sa kojeg se ona popunjava. Razdvajanjem količina municije kojom se jedinica popunjava po nivoima sa kojih se popunjava, dobija se slika toka municije po količini u sistemu. S obzirom na to da je ova veličina slučajnog karaktera, njen opis je dovoljan definisanjem raspodele verovatnoća.

Vreme između dve popune jedne jedinice pokazuje koliko često se snabdevačke jedinice pojavljuju u jednom artiljerijskom divizionu, odnosno koliko često jedinica prima municiju. Ova veličina je slučajnog karaktera, jer je posledica intenziteta potrošnje municije, stanja zaliha municije u jedinici i intenziteta premeštanja artiljerijske jedinice sa jednog na drugi vatreni položaj. Opis ove veličine je dovoljan raspodelom verovatnoća.

Vreme između dve popune koje realizuje snabdevačka jedinica je slučajna veličina i predstavlja vreme između dva početka angažovanja snabdevačke jedinice. Ova veličina zavisi od potoka zahteva za popunom od jedinica oslonjenih na snabdevačku jedinicu, a može se predstaviti raspodelom verovatnoća.

Vreme realizacije popune je slučajna veličina i teče od momenta prijema zahteva za popunu do realizacije zahteva (istovara municije u popunjavanoj jedinici). Ova veličina zavisi od količine municije kojom se jedinica popunjava, udaljenosti rezervi municije od popunjavane jedinice, brzine kretanja transportnih sredstava, primenjene tehnologije pri utovaru, pretovaru i istovaru municije.

Angažovanje transportnih kapaciteta je slučajna veličina i može se opisati kao količina municije za koju se angažuju transportni kapaciteti u vremenu, što govori da je složenog karaktera. Opis ove veličine moguć je na više načina. Za potrebe ovog rada primereniji opis je vezivanje količina municije za vreme. Opis ove veličine je moguć formiranjem posebnih raspodela količina za koje se angažuju transportni kapaciteti i vremena angažovanja tih kapaciteta. Međutim, na ovaj način gubi se veza između količina za koje se angažuju transportni kapaciteti i vremena angažovanja. Formiranjem dvodimenzionalne raspodele ovaj nedostatak se otklanja, ali i dalje nije obuhvaćeno angažovanje transportnih kapaciteta na različitim zadacima. Zbog toga bolja je varijanta formiranja kumulante kojom se dobija slika angažovanja transportnih kapaciteta u vremenu. Merodavna količina municije za transport dobija se izdvajanjem vremenskog intervala u kome su zahtevi za angažovanjem transportnih kapaciteta najveći. Vreme za koje su transportni kapaciteti angažovani, jednako je vremenu transportnog ciklusa.

Tabela 1

Vremenska slika promene stanja

AKTIVNOST (vreme u satima)	Jedinice armije				Jedinice korpusa				
	mabr	okbr	1. mbr	2. mbr	1. mtbr	2. mtbr	1. mbr	2. mbr	mabr
Uvodi se u borbu prvi put	0	155 do 165	0	65 do 75	0	55 do 65	0	45 do 55	0
Izvodi se iz borbe prvi put	240	240	65 do 75	155 do 165	55 do 65	110 do 120	45 do 55	90 do 100	240
Uvodi se u borbu drugi put	—	—	180 do 190	—	110 do 120	170 do 180	90 do 100	135 do 145	—
Izvodi se iz borbe drugi put	—	—	240	—	170 do 180	240	135 do 145	180 do 190	—

Napomena: vreme uvođenja u borbu u datom intervalu se poklapa sa izvođenjem druge jedinice i određuje se na slučajan način. Pretpostavlja se da su jedinice sve vreme oslonjene na pozadinsku bazu i da moraju biti popunjene pre uvođenja i nakon izvođenja iz borbe. U obzir se ne uzima popuna nakon 240. sata. U tabeli se sa 0 označava početak borbenih dejstava.

Određivanje vrednosti kvantitativnih pokazatelja funkcionisanja sistema snabdevanja

Za potrebe ovog rada korišćen je model sistema snabdevanja municijom artiljerije za podršku koji je objavljen u Vojnotehničkom glasniku br. 1/95.

Eksperimentisanje na modelu, kao jedna faza istraživanja, obuhvata planiranje jednog ili više eksperimenata i njihovu realizaciju. Realizacija eksperimenata, u ovom slučaju, znači sprovođenje simulacije na procesnom modelu.

Interpretacija opisanog modela u programskom jeziku zahteva tačno definisanje inicijalnih stanja i nekih od opisnih varijabli komponenata sistema.

Inicijalni »scenario« za komponente modela je dinamički model opštih borbenih dejstava. U ovom radu simulacija će biti predstavljena prema sledećem »scenariju«: simulira se popuna jedinica armije oslonjenih na jednu pozadinsku bazu. Jedinice se nalaze u odbrani. Na pozadinsku bazu su oslonjene sledeće jedinice armije:

- *mešovita artiljerijska brigada sastava:*
  - dva diviziona 152 mm,
  - divizion 130 mm,
  - divizion 155 mm;
- *oklopna brigada*
  - divizion 122 mm;
- *dve mehanizovane brigade*
  - divizion 122 mm;
- *korpus* sastava:
  - dve motorizovane brigade,
    - divizion 105 mm,
  - dve mehanizovane brigade,
    - divizion 122 mm,
  - mešovita artiljerijska brigada sastava:
    - divizion 155 mm,
    - divizion 152 mm,
    - divizion 130 mm.

Vremenska slika promene stanja, prema dinamičkom modelu opštih borbenih dejstava, prikazana je u tabeli 1*. Operacija se izvodi 10 dana.

Analiza rezultata dobijenih simulacijom

Pošto ne postoje podaci o ponašanju sistema u uslovima koji su nametnuti u modelu, upoređenje može da se vrši samo sa željenim stanjem sistema i sa očekivanim ponašanjem na osnovu prethodnih saznanja o ponašanju sličnih sistema. U krajnjem, svi zaključci o ponašanju sistema ostaju nedokazani, jer je nemoguće provesti pravu proveru sistema. Modelovanjem i simulacijama na modelu i obradom dobijenih rezultata može da se dobije samo prognoza ponašanja sistema, pa sve dobijene rezultate tako treba i shvatati. S obzirom na to da je na modelu i pojedinim delovima modela sproveden niz eksperimenata, to se na osnovu dobijenih rezultata može uporedo vršiti ocena valjanosti modela i analiza dobijenih rezultata.

Količina municije kojom se jedinica popunjava u jednoj popuni slučajna je veličina. Dobijene raspodele verovatnoća koje opisuju ovu veličinu prikazane su u tabeli 2 za popunu sa nivoa armije za pretpostavljenu organizaciju snabdevanja.

Tabela 2

Raspodele verovatnoća količine municije kojom se popunjava jedinica sa nivoa armije

Divizioni	Raspodela	Matematičko očekivanje (komada)
105 mm	E (1;0,00297)	673
122 mm	E (2;0,004788)	627
130 mm	N (531;247)	531
152 mm	N (369;188)	369
155 mm	N (329;149)	329

* Vrednosti opisanih varijabli i parametara navedeni su u radovima objavljenim u Vojnotehničkom glasniku 4/95 i 6/95.

Vreme između dva zahteva za popunu, koje dobija pozadinska baza za jednu jedinicu, ima raspodele verovatnoća prikazane u tabeli 3. Pored raspodela verovatnoća u tabeli 3 prikazana su i matematička očekivanja ove veličine.

Vreme između dva zahteva za popunu, koje prima pozadinska baza, pokorava se eksponencijalnoj raspodeli sa parametrom $\lambda = 0{,}0199$ i matematičkim očekivanjem 50 minuta. Znači, očekuje se da će pozadinska baza primati zahtev za popunu na svakih 50 minuta. Radi se o potoku događaja koji nastaje slaganjem više potoka događaja, tačnije četrnaest (prema testnom primeru). Stalno je angažovano deset diviziona, s tim da tokom vremena dolazi do smene u skladu sa zahtevima koji proizilaze iz borbene situacije (prema vremenskoj slici stanja). Pored toga, popune nakon izvlačenja diviziona iz borbe i pre uvođenja u borbu, dopunjavaju potok događaja. Zbog toga se moglo očekivati da se radi o prostom potoku događaja, odnosno da se vreme između dva događaja pokorava eksponencijalnoj raspodeli. Ako se svaki pristigli zahtev posmatra kao jedan događaj jasno je da se radi o Poasonovom potoku događaja. Međutim, ako se zahtev posmatra kao količina municije, radi se o složenom Poasonovom potoku događaja.

Tabela 3

Vreme između dva zahteva za popunu jedne jedinice

Divizioni	Nivo brigade (minuti)		Nivo armije (minuti)	
	Raspodela	M (X)	Raspodela	M (X)
105 mm	LN (5,74;0,92)	475	LN (5,54;0,53)	294
122 mm	LN (6,32;0,75)	741	LN (5,87;0,29)	371
130 mm			LN (6,62;0,3)	781
152 mm			LN (6,21;0,26)	513
155 mm			LN (6,01;0,28)	420

Matematičko očekivanje vremena između dva zahteva jedne jedinice menja se u zavisnosti od diviziona i nivoa kome se zahtev upućuje. Podaci iz tabele pokazuju da se model ponaša na način kako se očekuje da će se ponašati sistem. Dobijena matematička očekivanja vremena između dva zahteva prema nivou brigade veća su nego matematička očekivanja vremena između dva zahteva prema nivou armije, što se i očekivalo. Svi zahtevi usmeravaju se prema nivou armije kao nivou koji vrši osnovnu popunu. Prema nivou brigade zahtevi se usmeravaju kada nivo armije ne može vremenski da stigne da izvrši popunu. Kada se posmatra zavisnost vremena između dva zahteva po divizionima, uočava se da postoji korelacija između vremena dejstva bez promene vatrenog položaja i vremena između dva zahteva koji se upućuju za divizion prema nivou armije.

Vreme realizacije popune (od momenta prijema zahteva do momenta

završetka istovara municije na mestu dotura) prikazano je u tabeli 4. Matematička očekivanja data su u minutima.

Iz podataka prikazanih u tabeli 4 može se videti da vreme realizacije pune sa nivoa armije ne zavisi od diviziona. Udaljenost diviziona čija oruđa imaju manji domet je veća, ali količina municije po masi kojom se ti divizioni popunjavaju je manja, tako da je vreme utovara i vreme istovara manje, pa se time kompenzuje vreme zbog transporta na dužim relacijama.

Tabela 4

Raspodele verovatnoća vremena realizacije popune

Divizion	Sa nivoa brigade (minuti)		Sa nivoa armije (minuti)	
	Raspodela	M (X)	Raspodela	M (X)
105 mm	V (8,579;207,456)	196	N (318;46)	318
122 mm	N (212;17)	212	N (331;42)	331
130 mm			LN (5,81;0,13)	337
152 mm			LN (5,8;0,12)	334
155 mm			LN (5,78;0,14)	326

V (α; β) — Vejbulova raspodela

Angažovanje transportnih kapaciteta menja se u vremenu. Svaki pristigli zahtev za popunu prouzrokuje angažovanje transportnih kapaciteta, a svaki završen transportni ciklus oslobađa transportne kapacitete. Zahtevi za angažovanje transportnih kapaciteta prikazani su na slici 3. Zahtev je izražen tonama municije koju je potrebno transportovati i vremenom zauzetosti transportnih kapaciteta. Prikaz angažovanih transportnih kapaciteta na slici 3 dat je u diskretnim vremenskim intervalima u kojima su sabirani novopristigli zahtevi i oduzimani kapaciteti koji su realizovali zahtev. Veličina intervala određena je prema matematičkom očekivanju vremena iz-

Sl. 3 — Angažovanje transportnih kapaciteta u vremenu

među dva zahteva za popunu prema pozadinskoj bazi. U testnom primeru dobijeno vreme između dva zahteva je 50 minuta, pa je kao najbliža vremenska jedinica, izabran vremenski interval od jednog sata. Angažovanje transportnih kapaciteta slučajan je proces, tako da je za svaki vremenski interval vezana raspodela verovatnoća angažovanih transportnih kapaciteta. Na slici 3 prikazana su matematička očekivanja za svaki vremenski interval.

Može se uočiti da postoji stabilnost angažovanja transportnih kapaciteta, izuzimajući prelazni period. Uzimajući matematička očekivanja angažovanih transportnih kapaciteta kao slučajnu promenljivu, dobija se raspodela verovatnoća matematičkih očekivanja N(257,17; 10,92). S obzirom na to da je standardno odstupanje relativno malo, može se prihvatiti da se radi o slučajnim kolebanjima, tako da zahtev za angažovanjem transportnih kapaciteta, kao slučajnu promenljivu, nije neophodno opisati slučajnim procesom. Dovoljno je ovu slučajnu promenljivu opisati raspodelom verovatnoća. Uzimajući sve realizacije ove slučajne promenljive (osim za prelazni period), dobija se raspodela verovatnoća N(257,17; 62,3). Znači da je matematičko očekivanje zahteva za angažovanjem transportnih kapaciteta u jednom satu 257,17 tona, a standardno odstupanje 62,3 tone. Ova slučajna promenljiva pokorava se normalnoj raspodeli.

Dobijanjem raspodele verovatnoća zahteva za angažovanjem transportnih kapaciteta postavlja se pitanje koliki je merodavni transportni zahtev. S obzirom na to da se radi o slučajnoj veličini, mora se prihvatiti verovatnoća kojom će biti realizovani transportni zahtevi i, na taj način, odrediti merodavni transportni zahtev. U ovom slučaju neophodno je uzimati visoku verovatnoću zadovoljenja. Kroz ceo postupak koji je sproveden, situacije sa ekstremnim zahtevima nisu uzimane u obzir. Zadovoljenje potreba diviziona za municijom uzimano je sa verovatnoćom 0,9. Pretpostavljalo se da će u 10% slučajeva sa ekstremnim zahtevima biti preduzimane dodatne mere u sistemu snabdevanja, kao što je približavanje municije divizionima, ojačavanje diviziona transportnim kapacitetima, ostavljanje municije na narednim vatrenim položajima, itd. Međutim, da bi takvi zahtevi mogli biti realizovani nužno je unapred obezbediti transportne i manipulativne kapacitete koji će se moći angažovati. Ovi kapaciteti postoje samo u pozadinskoj bazi. Zbog toga je uzeto da je merodavni transportni zahtev $\mu+3\sigma$, što u ovom slučaju iznosi 444,07 tona.

U ovom radu za realizaciju su uzeta transportna sredstva klasifikovana po deklarisanoj nosivosti. Uzimajući u obzir koeficijent iskorištenja vozila, dobijen je odnos prevezenog tereta po klasama vozila, što je prikazano u tabeli 5.

Tabela 5

Pregled vozila i njihovog učešća u prevozu tereta pri realizaciji transportnih zahteva

Nosivost	Koeficijent iskorištenja	Učešće u prevozu tereta (%)	Broj vozila (kom.)
5 t	0,643	1,7	3
7 t	0,658	1,1	2
9 t	0,713	1,9	2
13 t	0,8	6,6	3
16 t	0,894	9,2	3
20 t	0,894	10,3	3
26 t	0,9	69,2	14

Odnos i broj vozila određen je isključivo prema transportnim zahtevima. Pored ovog moraju se uzimati u obzir i drugi kriterijumi, kao što su zahvati preventivnog održavanja, otkazi vozila i drugi koji nisu predmet ovog rada.

Zaključak

U toku izvođenja borbenih dejstava odvijaju se složeni procesi, koji imaju sve karakteristike slučajnosti i stalnih promena stanja u kome se nalaze jedinice i okruženja u kome jedinice deluju. Borbena dejstva jedinice ostvaruju vatrom, manevrom vatre i pokretom, što uslovljava da je utrošak municije slučajna veličina. Zbog toga zadovoljenje potreba jedinica za municijom predstavlja veoma složen problem. Poseban problem predstavlja zadovoljenje potreba za municijom jedinica za artiljerijsku podršku zbog njihove mogućnosti da u kratkom vremenu utroše velike količine municije po masi, i da veoma brzo menjaju položaje. Mogućnost zadovoljenja potreba za municijom artiljerijskih diviziona za podršku, kao osnovnih jedinica artiljerije za podršku i najvećih potrošača municije po masi, nametnula se kao jedan od osnovnih problema koje je potrebno istražiti u domenu snabdevanja jedinica municijom.

Osnovni zadatak ovog rada bila je izgradnja modela za određivanje karakteristika sistema snabdevanja municijom.

Hipotetički sistem snabdevanja opisan je strukturom, načinom funkcionisanja i procesima koji se odvijaju u sistemu, posebno izdvajajući materijalne i informacione tokove.

Rezultati dobijeni simulacijom na modelu prema postavljenom »scenariju« prvenstveno pokazuju oblik karakteristika sistema snabdevanja. Na osnovu analize dobijenih rezultata može se zaključiti da primenom razvijenih modela i postupaka, za definisane ulazne veličine, vremensku sliku promene stanja i zahteve koji se postavljaju pred sistem snabdevanja mogu odrediti veličine nužne za dimenzionisanje resursa u sistemu snabdevanja.

Rezultati testnog primera su prikazani. Metoda modelovanja i simulacije ima dobru stranu jer se može dobiti veliki broj podataka o funkcionisanju sistema. U ovom radu simulacija je strogo ciljno orijentisana, pa su kao izlazi definisani samo podaci o količinama municije kojom se jedinica popunjava, vremenu između dva zahteva jedne jedinice, vremenu između dva zahteva koje dobija pozadinska baza, vremenima realizacije popune i angažovanju transportnih kapaciteta. Međutim, moguće je, pogodnim definisanjem izlaza, istovremeno dobiti podatke o velikom broju procesa koji se odvijaju u sistemu, što zavisi od želja istraživača, ali i njegove kreativnosti.

Jedan od procesa koji su praćeni u testnom primeru jeste angažovanje transportnih kapaciteta. Obradom rezultata dobijeno je angažovanje transportnih kapaciteta pozadinske baze u vremenu. Ova pojava predstavlja slučajni proces koji pokazuje relativnu stabilnost (slika 3). U testnom primeru stalno je angažovano deset diviziona. Pri drugom broju i vrsti angažovanih diviziona pojava zadržava stabilnost, ali sa drugim parametrima. Promena broja i vrste angažovanih diviziona u vremenu prouzrokuje promenu oblika samo u prelaznom periodu. U tom slučaju u odnosu na maksimalne zahteve za angažovanjem transportnih kapaciteta, definiše se merodavni transportni zahtev, koji predstavlja osnov za određivanje broja vozila.

Izgrađeni model omogućava kvantifikovanje i proučavanje niza karakteristika sistema snabdevanja. Pogodnom obradom na osnovu dobijenih rezultata mogu se definisati zahtevi i dimenzionisati resursi u sistemu.

Literatura:

[1] Rosić, B., Vidojević, V., Rodić, D., Fetahović, I., Radman, Z., Marčesku, N.: Artiljerija, taktičko-operativna upotreba, VIZ, Beograd, 1976.

[2] Peredeljskij, G. E.: Artiljerijskij divizion v boju, Voennoje izdateljstvo, Moskva, 1984.

[3] Nikolić, Ž.: Metoda proračuna artiljerijske municije za predlog načelnika artiljerije, ASC, Zadar, 1982.

[4] Mišković, V.: Utvrđivanje kompleta municije artiljerije za podršku u funkciji intenziteta upotrebe artiljerijskih diviziona, magistarski rad, CVTS, KoV JNA, Zagreb, 1987.

[5] Vajner, A. J.: Taktički proračuni (prevod s ruskog), COSIS, Beograd, 1986.

[6] Sakovič, V. A.: Modeli upravlenija zapasami, Nauka i tehnika, Minsk, 1986.

[7] Borojević, S.: Metodologija eksperimentalnog naučnog rada, Radnički univerzitet Radivoj Ćirpanov, Novi Sad, 1978.

[8] Horafas, A. F.: Sistemi i modelirovanie, MIR, Moskva, 1967.

[9] Kapustić, S.: Metodika organizacijskog projektiranja, Samobor, 1984.

[10] Zeigler, B. P.: Theory of modeling and simulation, J. Wiley, New York, 1976.

[11] Avramčuk, E. F. i dr.: Tehnologija sistemnogo modelirovanija Mašinostroenie, Moskva, Tehnik, Berlin, 1988.

[12] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1981.

[13] Maksić, R.: Prilog definisanju postupka za utvrđivanje zakonitosti utroška municije u vremenu za jedinice u oružanoj borbi, doktorska disertacija, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.

[14] Mišković, V.: Razvoj modela i postupaka za određivanje resursa snabdevanja municijom artiljerije za podršku, doktorska disertacija, VTA VJ, Beograd, 1994.

Sc Marko Andrejić,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

TABELE ODLUČIVANJA I NJIHOVA PRIMENA U VOJNOJ ORGANIZACIJI

UDC: 355.3:519.715

Rezime:

U radu su navedene prednosti tabela odlučivanja, područje moguće primene, subjekti koji ih mogu koristiti, kao i struktura, vrste i postupak njihove izrade. Na odabranim primerima iz vojne prakse prikazana je njihova primena.

Ključne reči: tabele odlučivanja, postupak izrade, optimizacija tabela odlučivanja, operativna primena.

DECISION TABLES AND THEIR APPLICATION IN A MILITARY ORGANIZATION

Summary:

The advantages of decision tables and the scope of their possible application are given in the paper as well as the structure, types and procedure of their realization and user profiles. The application of decision tables is illustrated by some chosen examples from military practice.

Key words: decision tables, working procedure, decision table optimization, operational application.

Uvod

Svakodnevna praksa zahteva opredeljenje za jednu od mogućih varijanti u donošenju različitih odluka. Posle toga preduzimaju se određene akcije koje vode izvršenju zadataka, čime se ostvaruju konkretni rezultati, radi postizanja ciljeva.

Zastupljeni načini formalizacije procesa ne mogu pregledno prikazati sve moguće logičke kombinacije uslova i akcija koje treba preduzeti kao odgovor (posledicu) na postavljene (ispunjene, nastale) uslove. Zbog toga se teži da se proces odlučivanja maksimalno pojednostavi i kvalitetno formalizuje, da donosilac odluke raspolaže *prerađenim podacima,* odnosno samo *pravim* i jezgrovitim (komprimiranim) informacijama (dostupnim) prezentiranim u najpodesnijem obliku za korišćenje.

U organizacionim sistemima primenjuju se tabele odlučivanja kao pomoćno sredstvo za prikazivanje kompleksnih procesa. Po svojoj suštini tabele pripadaju grupi metoda za analizu i ispitivanje sistemskih tokova.

Cilj ovog rada jeste doprinos većoj primeni i uvođenju tabela odlučivanja u operativnu upotrebu, ukazivanjem na njihove prednosti, probleme koje rešavaju, područja primene, način izrade i konkretnu primenu na odabranim primerima.

Prednosti i područja primene tabela odlučivanja

Tabele odlučivanja vrlo su jednostavne za primenu, prilagođene perceptivnim sposobnostima čoveka, vizuelnoj komunikaciji i logičkom rasuđivanju. Omogućuju veliku uštedu vremena, dokumenata, novca i ostalih resursa. Kompleksne probleme, sa višestrukim zavisnostima, prikazuju dvodimenzionalno na kompaktan način i pregledno.

Donosiocima odluka pružaju kratku, jasnu i jezgrovitu informaciju. Omogućavaju preslikavanje logike opisivanja sistemskih tokova u tabelarnom obliku, a mogu se primenjivati u različitim oblastima ljudske delatnosti. Pogodne su za racionalizaciju, analizu i kontrolu odlučivanja.

Složeni problemi prikazuju se tabelama odlučivanja pregledno i jasno, a informacije prikazane na taj način mogu se koristiti brzo i potpuno u daljim analizama ili kao osnova za automatsku obradu podataka. Pomoću tabela odlučivanja moguće je kompleksnu logiku odlučivanja u realnim situacijama predstaviti grafotekstualno, a da se pri tome sačuvaju svi značajni detalji. Pogodne su za opisivanje rada (postupak) jednog ili manjeg broja subjekata, kada su mu na raspolaganju jedna ili više mogućnosti, u zavisnosti od ispunjenih uslova (nastalih događaja).

Primenjuju se u analizi i projektovanju proizvodnih sistemskih tokova, kao efikasno pomoćno sredstvo, kao i u oblikovanju sistema automatizovane obrade podataka (operativno-taktički opis problema, za programiranje logičke kontrole i direktno programiranje).

Podesne su za opis problema kod kojih se javlja više uslova, jer imaju mogućnost predočavanja akcija, u zavisnosti od svih datih uslova, za opis organizacije rada u bilo kom procesu gde postoji više uslova i više akcija, povezanih sa kombinacijom uslova. Dobre rezultate daju tamo gde treba prikazati proces sa više grananja, kada aktivnosti ne slede sekvencijalno jedna za drugom, pa kao pretpostavka za njihovo izvođenje treba da se ispita da li su neki uslovi ispunjeni ili nisu. Naročito su podesne za primenu pri donošenju rutinskih (programiranih) odluka, i pri procesu čiji su konstitutivni elementi stabilni, a procedure je moguće standardizovati.

Primena[1] tabela odlučivanja moguća je u različitim oblastima ljudske delatnosti, kao što su vojna i policijska praksa, zakonodavstvo, obrazovanje, medicina, matematika i druge oblasti.

U vojsci se mogu uspešno primenjivati u oblasti upravljanja, rukovođenja i komandovanja (naročito tamo gde se odluke moraju doneti brzo, a rešenja unapred pripremaju[2], odnosno kod složenih procesa gde donošenje odluka zahteva preispitivanje određenih uslova programirane odluke), u tehničkoj i medicinskoj dijagnostici, u redukciji i formalizaciji teksta datog u jezičkom kodu (vojnostručna literatura)[3], u odlučivanju sa određenostima (u zatvorenim ili otvorenim sistemima ako se mogu dovoljno apstrahovati nerelevantni parametri), u organizaciji rada, pripremi procesa za automatizaciju i zapisivanje problema u nekom programskom jeziku, kontroli odvijanja određenog procesa, izgradnji ekspertnih sistema, i sl.

Mogu ih uspešno koristiti donosioci odluka (menadžeri, organizatori, ko-

---

[1] Gotovo kompletni administrativni propisi u RV SAD predstavljeni su tabelama odlučivanja, a prema nekim izvorima ta tendencija se javlja i u ostalim zemljama članicama NATO.

[2] Pri primeni određenih rutinskih procedura pre stavljanja u funkciju određenih borbenih sistema u različitim situacijama (rakete, podmornice, itd.) za definisanje postupaka organa unutrašnje službe u određenim vanrednim situacijama, itd.

[3] Način prezentiranja sadržaja u vojnostručnoj literaturi, administrativnim propisima, uputstvima za rad organa unutrašnje službe i sl., nije primeren potrebama prakse, a naročito ne zahtevu za pružanjem »zgusnute informacije i na način podesan za njenu brzu eksploataciju. Postojeća uputstva i podsetnici podesni su za obučavanje, ali ne i za brzo odlučivanje, odnosno operativan rad. Primenom tabela odlučivanja, ovaj problem bi se znatno ublažio i uštedeli značajni resursi, a rad ljudi olakšao.

mandiri, komandanti) različitih statusnih pozicija (direktori, komandanti — komandiri, inspektori, neposredni izvršioci), bez obzira na stepen poznavanja konkretnog problema.

Izvanredne rezultate daju u oblasti upravljanja, rukovođenja i komandovanja u kombinaciji sa tehnikom mrežnog planiranja i upravljanja i linijskim dijagramima.

Osnove izrade tabela odlučivanja

Tabele odlučivanja zasnovane su na saznanju da tokovi postaju kompleksni i nepregledni kada radnje koje treba izvršiti ne slede sekvencijalno jedna za drugom već se, kao pretpostavka za njihovo izvođenje, prvo mora ispitati da li su ispunjeni određeni uslovi ili kombinacija uslova.

Kompleksni tokovi sastoje se od niza situacija odlučivanja. Ukoliko su situacije odlučivanja dokumentovane u jednom toku, ceo tok je poznat.

Pri primeni programskih planova protoka, situacije odlučivanja razlažu se u korake koji sekvencijalno slede jedan za drugim, tako da se pojedina pravila odlučivanja ne prepoznaju više kao logička celina.

Tabele odlučivanja dokumentuju svaku situaciju odlučivanja u dvodimenzionalnom formatu, tako da pravila odlučivanja ostanu sačuvana kao logička celina (jedinica).

Struktura tabela odlučivanja

Struktura tabela odlučivanja prikazana je na slici 1 gde se, sa sintaktičkog aspekta, primećuje da se sastoji od četiri kvadranta, međusobno razdvojena dvostrukim linijama.

Levi gornji kvadrant sadrži opis relevantnih (pretpostavljenih, mogućih, itd.) uslova, koji treba da budu preispitani u okviru konkretne situacije odlučivanja pre nego što se mogu izvesti akcije, a levi donji kvadrant opis relevantne akcije.

A	Uslovi (Opis pretpostavljenih - mogućih uslova)	Ostvareni uslovi (Indikatori kombinacija uslova)	B
C	Moguće akcije (Opis pretpostavljenih akcija)	Rezultujuće akcije (Indikatori akcija - redosleda akcija)	D

Sl. 1 — Osnovni elementi tabela odlučivanja

Desni gornji kvadrant sadrži indikatore — pokazivače uslova koji su potrebni za definiciju uslovnih konstelacija, odnosno različite konstelacije uslova (uslovni pokazivački deo).

U desnom donjem kvadrantu, pomoću pokazivača akcija, definisani su svi potrebni tokovi akcija.

Radi lakše interpretacije sadržaja i uspešnijeg korišćenja, tabelama se dodaju i određeni dopunski elementi (slika 2): naziv tabele, oznaka uslova, oznaka akcija i oznake pravila odlučivanja.

	Naziv tabele	Oznake pravila odlučivanja					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6
Oznaka uslova	U1						
	U2						
	U3						
Oznaka akcija	A1						
	A2						
	A3						
Primedba:							

Sl. 2 — Dopunski elementi tabele odlučivanja

Logičkim posmatranjem kod svih tabela odlučivanja razlikuju se tri celine, koje se međusobno preklapaju:

— područje konstelacije uslova (gornji levi i desni kvadrant),

— područje tokova akcija (donji levi i desni kvadrant),

— područje pravila odlučivanja (desni gornji i donji kvadrant).

Svaka kombinacija uslova u realnom procesu definiše jedno pravilo odlučivanja. Pravila odlučivanja opisuju se u obliku simbola koji imaju sledeće značenje:

— »J (D, Y)« — uslov (mora biti) ispunjen,

— »N« — uslov nije ispunjen,

— »—« uslov nije relevantan,

— »X« — akcija se mora preduzeti.

Svako pravilo odlučivanja zahteva preduzimanje tačno određenog redosleda akcija, pri čemu se redosled akcija mora odvijati zadatim redosledom, od vrha ka dnu tabele.

Maksimalno mogući broj pravila odlučivanja iznosi

$$P = 2^n + 2^m,$$

gde je:

n — broj nezavisnih uslova,

m — broj zavisnih uslova[4].

Korišćenje tabela odlučivanja zasniva se na logičkom pravilu *»ako — onda«*, tj. ako je ispunjen određen uslov (kombinacija uslova), treba preduzeti određenu akciju (akcije).

Faze izrade tabela odlučivanja

Postupak izrade tabela odlučivanja prikazan je dijagramom toka na slici 3, a pojedine faze biće propraćene elementarnim komentarima, neophodnim za bolje razumevanje.

Ispitivanje potpunosti tabela odlučivanja predstavlja, zapravo, kontrolu da li tabele odlučivanja sadrže sve uslove, akcije i pravila odlučivanja. Problemskom analizom konkretnog sistema (procesa) to postižu analitičari realnog sistema.

Međutim sve formalne kombinacije uslova često su logički nedopustive tako da njima ne treba težiti niti ih uzimati u razmatranje.

Ispitivanje redundancije (suvišnosti elemenata) obavlja se polazeći od logičkog stava da uslovi čije ispitivanje nije od značaja ni za jednu relevantnu akciju i akcije koje ne treba izvesti ni pod kakvim uslovima jesu redundantni — suvišni.

Kod pravila odlučivanja, redundancija se javlja ako se za konstelaciju uslova, u realnom sistemu, koristi više pravila odlučivanja, što dovodi do logičke protivrečnosti, čak i onda kada ta pravila odlučivanja sadrže različite akcije. To se eliminiše tako što se zajedničke konstelacije uslova zadržavaju samo u jednom pravilu odlučivanja, a iz ostalih uklanjaju.

Optimizacija (redukcija sadržaja) tabela odlučivanja obavlja se na više načina:

a) — *logičkom redukcijom*

— utvrđivanjem zavisnih uslova, čime se automatski smanjuje i ukupan broj mogućih kombinacija uslova,

— korišćenjem logičkih zakona (zakon dovoljnog razloga, relacije *ili*, pravila *ostalo)*

b) — *proširivanjem* (preobražajem jednostavnih akcija, uslova i pravila odlučivanja u složene)

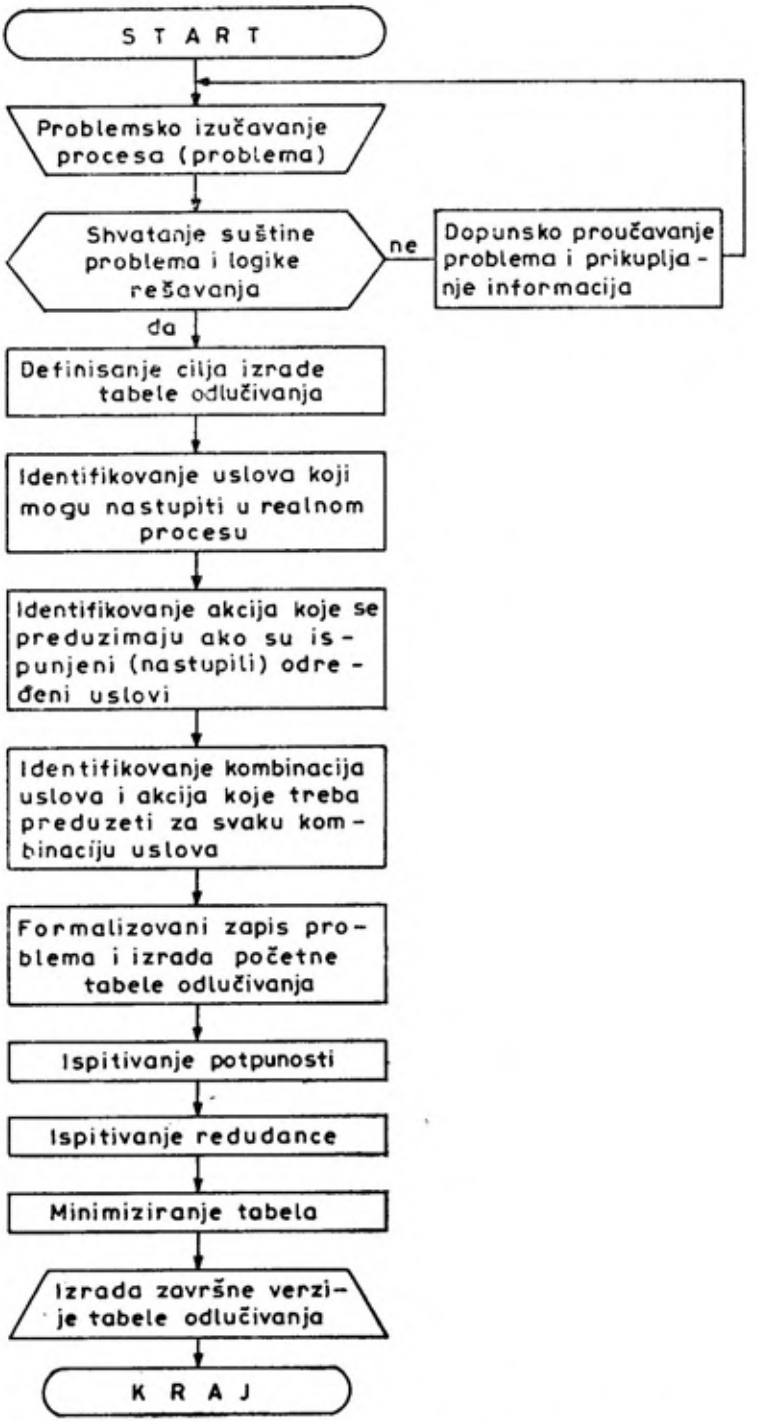
c) *grananjem — razlaganjem* osnovne (polazne) tabele na više manjih, radi bolje preglednosti.

Vrste tabela odlučivanja

S obzirom na izgled i način prezentacije sadržaja (informacija) postoji nekoliko vrsta tabela odlučivanja: ograničene, proširene, kompletne i višestruke.

Kod ograničenih tabela odlučivanja uslovi i akcije su potpuno definisani (ograničeni na levu stranu tabele), pa se za ostvarene uslove i rezultujuće akcije stavljaju samo kodovi (D, N, X).

[4] Logička zavisnost znači da su mogući rezultati jednog ispitivanja uslova, putem rezultata ranije izvedenog ispitivanja, uskraćeni za jedan ili više uslova. Logički nezavisni uslovi ne utiču jedan na drugi.



Sl. 3 — Dijagram toka izrade tabela odlučivanja

Podsetnik za rešavanje TZ u ulozi organa tehničke službe u ZTJ		P1	P2	P3	P4	P5
U1	Rad organa TSl do prijema zadatka	D				
U2	Rad organa TSl od prijema zadatka do donošenja odluke		D			
U3	Rad organa TSl od donošenja odluke do početka b/d			D		
U4	Rad organa TSl u toku borbenih dejstava				D	
U5	Rad organa TSl posle završetka b/d					D
A1	Izr. naređenja za sanir. stanja po TOb-u	X			X	X
A2	Izveštaj pretpostavljenoj komandi o stanju po TOb-u	X			X	X
A3	Izrada pripremnog naređenja		X			
A4	Izrada plana rada organa TSl		X			
A5	Procena opštevojne situacije značajne za TOb		X			
A6	Procena situacije po TOb-u		X			
A7	Formulisanje predloga po TOb-u		X			
A8	Izrada plana izviđanja			X		
A9	Formulis. sadržaja za zapovest K-danta			X		
A11	Formulisanje sadržaja za zapovest PKPo			X		
A12	Izrada operativnog plana održavanja			X		
A13	Izrada naređenja za TOb sa prilozima			X		
A14	Izrada naređenja (sa prilozima) komandirima tehničkih jedinica			X		
A15	Priprema elemenata za izradu dokumenata TKT iz domena TOb-a			X		
A16	Izrada radne karte			X		
A17	Izrada dopunskog naređenja				X	
A18	Izrada vanrednih i redovnih izveštaja				X	

Preporuka »alata« za rešavanje pojedinih problema iz oblasti pozadinskog obezbeđenja		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
U1	Traži se prikaz odvijanja procesa u vremenu, aktivnosti se odvijaju sekvencijalno — jedna za drugom	D								
U2	Traži se formalizacija procesa odlučivanja, aktivnosti se ne odvijaju sekvencijalno jedna za drugom, donošenju odluka prethodi ispitivanje da li su određeni uslovi (kombinacija uslova) ispunjeni ili nisu, proces složen sa višestrukim zavisnostima		D							
U3	Traži se prikaz toka odvijanja složenog procesa u realnom vremenu gde više učesnika istovremeno obavlja različite aktivnosti i prikaz međusobne zavisnosti aktivnosti			D						
U4	Treba izvršiti analizu optimalnosti sadržaja dokumenata radi utvrđivanja koji dokumenti sadrže potrebne informacije, da li postoje nepotrebna prekrivanja i opterećenja nepotrebnim informacijama				D					
U5	Treba izvršiti modeliranje realnog procesa, uz prikaz delova sistema, njihovih međusobnih veza i veza sistema sa okolinom, radi funkcionalne specifikacije zahteva korisnika, radi projektovanja informacionog sistema					D				
U6	Treba se opredeliti za optimalnu (jednu od više mogućih) varijantu, uz istovremeno zadovoljenje više kriterijuma, vrednosti kriterijuma mogu biti (ali ne moraju) zadane						D			
U7	Treba postići najveću vrednost funkcije cilja uz minimalni utrošak resursa							D		

Preporuka »alata« za rešavanje pojedinih problema iz oblasti pozadinskog obezbeđenja		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
U8	Treba ustanoviti zakonitost odvijanja određene pojave, odnosno procesa, kad je eksperiment iz različitih razloga neizvodljiv (velika cena, opasnost po okolinu...)								D	
U9	Treba ustanoviti šta najviše opterećuje realni sistem (odnosi resurse), radi određivanja mesta koncentrisanja ljudskih napora na povećanju efikasnosti funkcionisanja sistema									D
A1	Dijagram toka (podataka) odvijanja procesa	X								
A2	Tabele odlučivanja		X							
A3	Metoda rešetkastih dijagrama				X					
A4	Pareto (ABC) analiza									X
A5	Strukturna sistem analiza					X				
A6	Tehnika mrežnog planiranja i upravljanja			X						
A 7	Metode višekriterijumske analize						X			
A8	Metode optimalnog raspoređivanja (dodeljivanja)							X		
A9	Metode simulacije								X	

Kod proširenih tabela odlučivanja, uslovi i akcije nisu potpuno definisani na levoj strani tabele, pa se tek u poljima za ostvarene uslove i rezultujuće akcije potpuno određuju.

Kombinovane tabele odlučivanja predstavljaju, zapravo, kombinaciju ograničenog i proširenog načina prikazivanja uslova i akcija.

Kompletne tabele odlučivanja sadrže samo nezavisne uslove koji se nađu samo u jednom čvoru odluke (ne slede jedan za drugim). Nazivaju se još i tabele istinitosti.

Višestruke tabele odlučivanja predstavljaju kompletne ili nekompletne tabele koje se razlažu na više manjih delova (manjih tabela), kako bi se složeni proces jednostavnije prikazao. Izrađuju se za situacije u kojima bi opisane vrste tabela bile preglomazne ili za situacije u kojima se pojedine ak-

Primer 3

		Tabela odlučivanja za dijagnostiku neispravnosti motora	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Simptomi	U1	Motor se ne pokreće starterom	D										
	U2	Motor se pokreće starterom, ali ne polazi u hladnom stanju		D									
	U3	Motor ne kreće u zagrejanom stanju			D								
	U4	Motor ne postiže punu snagu, ne prilagođava se promeni opterećenja				D							
	U5	Motor radi neujednačeno ili se gasi na praznom hodu					D						
	U6	Motor radi neravnomerno pri velikom broju obrtaja						D					
	U7	Nepostojan pritisak ulja u sistemu za podmazivanje							D				
	U8	Povećana potrošnja ulja za podmazivanje								D			
	U9	Pregrevanje motora									D		
	U10	Povećana potrošnja sredstva za hlađenje										D	
	U11	Povećana potrošnja goriva											D
Mogući uzroci neispravnosti	A1	Ispražnjen akumulator, priključci na akumulatoru nedovoljno pritegnuti ili četkice el. pokretača neispravne	X										
	A2	Razlabavljeni kablovi između bobine, razvodnika paljenja i svećica ili poremećeni zazori između elektroda na svećicama		X									
	A3	Mehanička oštećenja na poklopcu ili rotoru razvodnika paljenja		X									
	A4	Igličasti ventil na karburatoru oštećen i ostao u gornjem položaju, zapušen filter ili dizne na karburatoru		X									
	A5	Oštećena membrana pumpe za gorivo, oštećen filter ili ventil pumpe ili zapušene cevi za gorivo		X									
	A6	Poremećen mehanizam za prazan hod na karburatoru, mehanizam za startovanje na karburatoru ostaje stalno uključen ili oštećen igličasti ventil na karburatoru			X								
	A7	Nedovoljno otvoren leptir na karburatoru, nepodešen jezičak plovka u karburatoru (neujednačen nivo goriva)				X							
	A8	Neispravna pumpa za gorivo (oštećena membrana, opruge, ventili ili filter zaprljan)				X							

		Tabela odlučivanja za dijagnostiku neispravnosti motora	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Mogući uzroci neispravnosti	A9	Oslabila opruga na kontaktima prekidača paljenja, moment paljenja radne smeše nepodešen, oslabile opruge za pokretanje ventila ili istrošeni bregovi na bregastom vratilu				X							
	A10	Poremećen zazor u mehanizmu za pokretanje ventila, oštećenje ventila, pregorevanje klipa, lom i pregorevanje klipnih prstenova, veliko oštećenje cilindara ili oštećena zaptivka između glave i bloka				X							
	A11	Poremećen mehanizam za pogon leptira u karburatoru, zapušene dizne i kanali u karburatoru, poremećen nivo goriva u karburatoru, pojava vode u karburatoru ili vazduh prolazi između tela i poklopca karburatora					X						
	A12	Moment paljenja radne smeše nepodešen				X	X						
	A13	Poremećen zazor u mehanizmu za pogon ventila ili poremećen nivo goriva u karburatoru					X						
	A14	Labavi spojevi u električnom kolu paljenja, svećice zamašćene ili je povećan zazor između elektroda					X						
	A15	Nedovoljna kompresija ili vazduh prolazi između bloka i glave cilindra					X						
	A16	Zapušene dizne i kanali u karburatoru ili neadekvatan položaj plovka				X		X					
	A17	Pojava vode u crevima za dovod goriva i u karburatoru						X					
	A18	Obrazovanje gareži u komori za sagorevanje						X					
	A19	Ishabani kontakti prekidača paljenja ili veliko iskošenje osovinice razvodnika paljenja						X					
	A20	Neispravnost — istrošenje pumpe za ulje							X				
	A21	Curenje ulja kroz (pored) zaptivke, veliko istrošenje klipnih prstenova, zapušen sistem ventilacije bloka, uvećano istrošenje cilindara i klipova, zaribavanje klipnih prstenova u kanalima na klipu, lom klipnih prstenova, pojava čađi na klipovima i prstenovima — skidačima ulja ili povećano istrošenje osovine ventila								X			
	A22	Nedovoljna količina sredstva za hlađenje u rezervoaru, slabo zategnut kaiš za pokretanje ventilatora i pumpe za vodu, neispravan termostat ili zaprljane cevi hladnjaka za vodu									X		
	A23	Neispravan ventil na ulazu u hladnjak, oštećena zaptivka na ulaznom ventilu hladnjaka, oštećen hladnjak, oštećene zaptivke na mestima spajanja u instalaciji ili pojava poroznosti u bloku i glavi cilindara										X	
	A24	Uređaj za startovanje na karburatoru ostaje delimično uključen, montiran neodgovarajući igličasti ventil, deformisan plovak karburatora, jezičak plovka u neodgovarajućem položaju, neispravno postavljene dizne u karburatoru ili nepotpuno zatvaranje prigušnog leptira druge komore karburatora											X

		Tabela odlučivanja za dijagnostiku neispravnosti motora	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Simptomi	U1	Lupanje kolenastog vratila (potmuli tonovi, povećavaju se sa zagrevanjem motora)	D													
	U2	Lupanje ležajeva klipnjače (čuje se pri malom broju obrtaja motora) i naizmenično isključivanje svećica motora (isključivanjem svećice u dotičnom cilindru prestaje buka)		D												
	U3	Lupanje klipova (zvonki škljocajući zvuk — uočava se dobro pri radu hladnog motora i pri praznom hodu, a smanjuje se pri zagrevanju)			D											
	U4	Lupanje osovinice klipa (udvojeni i vrlo reski ton, dobro se čuje pri radu motora na praznom hodu, isključenjem svećice cilindra gde postoji kvar lupa prestaje)				D										
	U5	Lupa u mehanizmu bregastog vratila					D									
	U6	Šum lančanika bregastog vratila, kod motora sa lančastim prenosom (dobro se čuje pri malom broju obrtaja kolenastog vratila)						D								
	U7	Ventili lupaju (karakterističan zvonki zvuk sa učestalošću približno 2 puta manjom od ostalih zvukova u motoru)							D							
	U8	Vibracije motora								D						
	U9	Oštećena površina cilindra									D					
	U10	Motor ne razvija snagu i dolazi do lupanja										D				
	U11	Nivo ulja se povećava (usled prodiranja benzina u korito motora)											D			
	U12	Isticanje goriva iz karburatora												D		
	U13	Neispravan sistem hlađenja motora													D	
	U14	Veoma veliki pritisak ulja u sistemu za podmazivanje														D
	A1	Koristi se neadekvatno ulje za podmazivanje motora	X	X												
	A2	Nedovoljan pritisak i doticanje ulja za podmazivanje radilice	X													
	A3	Ekscentričnost ili ovalnost ležećih rukavaca radilice	X													

Tabela odlučivanja za dijagnostiku neispravnosti motora			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Mogući uzroci neispravnosti	A4	Istrošenje kliznih, aksijalnih, ležajeva radilice	X													
	A5	Oslabilo pritezanje zamajca za radilicu	X													
	A6	Nedovoljan pritisak ulja usled povećanja zazora u ležajevima ili narušena paralelnost osa velike i male pesnice klipnjače		X												
	A7	Povećan zazor između klipa i klipnih prstenova ili loše stanje klipnih prstenova			X											
	A8	Povećan zazor između osovinice i klipa, ili se osovinica u klipnjači razlabavila				X										
	A9	Povećan zazor u mehanizmu za pogon ventila, povećan zazor između ventila i njegove vođice, polomljena opruga ventila ili iskrivljeni ventili							X							
	A10	Istrošenje bregova na bregastom vratilu (zbog malog zazora u mehanizmu za pogon ventila)					X									
	A11	Smanjena zategnutost lanca, polomljena papučica zatezača lanca ili istrošena osovinica zatezača						X								
	A12	Nepravilno podešen moment paljenja, nepravilan rad karburatora, neuravnoteženost radilice, različita masa klipova ili oslabili amortizeri motora								X						
	A13	Zaprljan uložak prečistača za vazduh								X						
	A14	Lom elektrode svećice i prodiranje parčića između zidova cilindara i klipa									X					
	A15	Oštećenje delova mehanizma za razvođenje radne smeše (nije ravnomerno kretanje podizača u odnosu na bregasto vratilo ili iskrivlj. vent.)										X				
	A16	Oštećena dijafragma benzinske pumpe											X			
	A17	Neispravan igličasti ventil karburatora, deformisan ili polomljen plovak na karburatoru, otežan rad plovka zbog zaprljanosti, oštećena zaptivka između čepa, filtera i karburatora ili oslabilo pritezanje poklopca karburatora												X		
	A18	Neispravan termostat, neispravan hladnjak, oštećeni ležajevi pumpe za vodu ili kvar u ventilatoru													X	
	A19	Ulje za podmazivanje je isuviše gusto, neispravan ventil za ograničavanje maksimalnog pritiska ulja; zaprljani kanali sistema za podmazivanje ili neispravan davač signala o pritisku ulja za podmazivanje														X

tivnosti, pod određenim uslovima, u jednom procesu više puta ponavljaju. U tom slučaju delovi višestrukih tabela odlučivanja moraju biti međusobno povezani posebnim naredbama za prelazak na pojedine manje tabele, odnosno prelazak na osnovnu.

Primena tabela odlučivanja na odabranim primerima

Kroz tri odabrana primera (primer 1, 2 i 3), prikazana je primena tabela odlučivanja u rešavanju problema u različitim područjima vojne prakse.

Primer 1 pokazuje primenu tabela odlučivanja u vidu podsetnika pri rešavanju taktičkih zadataka za organe tehničke službe u združenim taktičkim jedinicama. Dinamika odvijanja borbenih dejstava, a time i dinamika rešavanja taktičkih zadataka, podeljena je u nekoliko faza. Svaka faza od organa tehničke službe zahteva odgovarajuće odluke i akcije, odnosno rešenja.

Primer 2 pokazuje primenu tabela odlučivanja kao pomoćnog sredstva pri donošenju odluke organa pozadine, o načinu rešavanja određenih problema, odnosno izboru određenih savremenih metoda i tehnika u rešavanju konkretnih problema. Od donosioca odluke ne zahteva se detaljno poznavanje navedenih metoda i tehnika, već treba da znaju koje klase problema se njima mogu rešavati, kako bi svojim stručnim organima mogli izdati zadatke za pripremu odluke.

Primer 3 pokazuje primenu tabela odlučivanja u dijagnostici neispravnosti motora motornih vozila, što je važno za oficire TSl u operativnoj praksi. Zahvaljujući redukciji, sadržaji više tehničkih pravila i uputstava zamenjeni su sa dve tabele, čime je ostvarena znatna ušteda, a rad donosioca odluke je olakšan.

Zaključak

Zbog prednosti tabela odlučivanja a to su, pre svega, jednostavnost, prilagodljivost vizuelnoj komunikaciji, perceptivnom sistemu i logičkom rasuđivanju, kao i velika mogućnost redukcije sadržaja, formalizacija odlučivanja i široka oblast primene, treba ih više koristiti u operativnoj vojnoj praksi.

Osnovno područje njihovog korišćenja jeste formalizacija i redukcija sadržaja datih u jezičkom kodu i formalizacija programiranih odluka.

Nedostatak tabela odlučivanja jeste što postaju nepregledne kod pravila odlučivanja koja determiniše veliki broj uslova i što ne oslikavaju proces u realnom vremenu. Međutim, ovaj nedostatak može se otkloniti kombinovanjem tabela odlučivanja sa, na primer, tehnikom mrežnog planiranja i upravljanja ili gantogramom.

Naročito su podesne u situacijama kada se odluke donose brzo (što je karakteristično za vojnu organizaciju), a rešenja se mogu unapred pripremiti.

Literatura:

[1] Strunz, H.: Entscheidungstabllen technik, Zeitschrift fur organisation 2/73 i 3/73.

[2] Stojiljković, M., Borović, S.: Primena tabela odlučivanja u formalizaciji procesa u sistemu tehničkog obezbeđenja.

[3] Kamenarević, U.: Tabele odluka i njihova primena, Praksa 3/77.

[4] Stojković, S.: Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, NIRO Tehnička knjiga, Beograd, 1986.

[5] Kerli, L.: Popravi sam svoj auto — održavanje i popravke, ČGP Delo, Ljubljana, 1968.

Dr Novica Đorđević,
general-major, dipl. inž.
Mornaričkotehnička uprava
GŠ VJ, Beograd

Saša Đorđević,
dipl. inž.
Brodogradilište Beograd

PRIMENA RAČUNARA U BRODOGRADNJI

UDC: 629.12:681.322

Rezime:

Primena računara u brodogradnji vrlo je specifična. Naime, brod je teško matematički definisati, jer je složene konstrukcije, kompleksno opremljen i vrlo skup proizvod. Pored toga u njegovoj izgradnji, koju treba realizovati u relativno kratkom roku, učestvuje mnogo kooperanata. Zbog toga primena računara doprinosi konkurentnosti na svetskom tržištu, odnosno, pojeftinjuje realizaciju izgradnje broda. U ovom članku je opisana primena računara koja se odnosi na definisanje brodske forme i konstrukcije.

Ključne reči: personalni računar, projektovanje, brodogradnja, dokumentacija brodske linije.

COMPUTER APPLICATION IN SHIPBUILDING

Summary:

Computer application in shipbuilding is very specific. A vessel is hard to define mathematically because of its complex structure and equipment. Besides, it is a very expensive product. Many subcontractors take part in its construction which should be realized in a relatively short period of time. Computer application contributes to being competitive at the worldwide market by lowering the price of ship building. This paper describes the computer application in defining a ship form and its construction.

Key words: personal computer, design, shipbuilding, documentation, ship lines.

Uvod

Primena računara u industriji uopšte, pa i u brodogradnji, vezuje se za period od sredine sedamdesetih godina. U to vreme pojavili su se prvi sistemi koji su, zahvaljujući razumnoj ceni, postali rentabilni, ali su imali relativno male mogućnosti, naročito u pogledu grafike. Prema tome, korišćeni su, uglavnom, za proračune, dok se većina poslova vezanih za projektovanje obavljala na klasičan način. Međutim, za dosadašnji razvoj računarske tehnike karakterističan je nagli razvoj, tako da je u veoma kratkom periodu, do sredine osamdesetih godina, računarska grafika znatno uznapredovala. Tada su se pojavile prve kompleksnije radne stanice koje su preuzele znatan deo pripreme tehničke dokumentacije. Praktično, snažna računarska grafika omogućila je da se trasiranje broda, u skoro svim svojim fazama, obavlja na računaru. Taj proces odvijao se u nekoliko faza. Idejni projekat linija, sa doteranom hidrostatikom, unosio se u računar gde se uglađivala forma. U nju su se smeštali, dobrim delom automatski, elementi konstrukcije: rebrenice, rebra, spone itd. Računar je, zatim, trasirane elemente automatski

slagao na table limova, čime se postizala maksimalna ušteda u materijalu. Konačan rezultat bila je bušena traka na kojoj su se nalazile sve neophodne informacije za numerički vođenu — NC mašinu za sečenje lima.

U istom periodu pojavljuju se daleko jeftiniji računari sa drugačijom, jednostavnijom arhitekturom. To su bili PC XT, a kasnije PC AT i tada praktično počinje konkurentski odnos između personalnih računara i radnih stanica koji se u današnje vreme završava definitivnom pobedom računara. Sa ove distance mogu se sagledati i neki razlozi zbog kojih su personalni računari potisnuli radne stanice.

Prvi razlog je svakako cena, što se može sagledati pomoću parametra koji izražava odnos ukupnih mogućnosti i cene sistema. Naime, u trenutku kada se pojavio personalni računar, radne stanice bile su blizu vrhunca svojih moći i desetak puta skuplje od računara koji je imao nekoliko puta skromnije mogućnosti. Danas, personalni računari najnovije generacije imaju gotovo iste mogućnosti kao i radne stanice, ali se odnos cena nije promenio.

Drugi razlog je tehničke prirode. Naime, moglo se zaključiti da su radne stanice bile više okrenute proizvodnji, dakle, pripremi tehničke dokumentacije. Prema tome, njihovo korišćenje u idejnom projektovanju, pretprojektovanju, izradi ugovorne i klasifikacione dokumentacije bilo je svedeno na minimum. Upravo te aktivnosti su vremenski vrlo ograničene, a tehnički veoma široke. Jer, pri izradi idejnog projekta potrebno je uraditi niz analiza i varijanti koje se moraju brzo pripremiti. Za tu vrstu aktivnosti personalni računar se pokazao kao idealan alat i tu je, praktično, počela njegova ozbiljna primena u brodogradnji. Daljim razvojem, računari su počeli da preuzimaju jednu po jednu ulogu radnih stanica tako da se danas računa sa tim da je budućnost u brodogradnji upravo u primeni personalnih računara.

U skladu s tim pojavili su se i brojni programski paketi specijalizovani za primenu u brodogradnji. Neki od tih programskih paketa su toliko usavršeni i integrisani da omogućuju da se kompletan tok dokumentacije, od izrade idejnog projekta pa do sečenja limova i pripreme montaže, radi na personalnom računaru, čime je proces projektovanja zaokružen u svim fazama.

Proces projektovanja

U tradicionalnom maniru, jedan projektantski biro za brodogradnju, u zavisnosti od vrste i složenosti objekta, u procesu projektovanja treba da izvrši sledeće faze:

— idejno rešenje uz ponudu,

— pretprojekat i ugovornu dokumentaciju,

— glavni projekat (klasifikaciona dokumentacija),

— trasiranje,

— radioničku dokumentaciju,

— ažuriranje dokumentacije,

— ispitivanja.

Međutim, vreme koje je na raspolaganju za izvršenje svih ovih faza projekta gotovo je uvek veoma ograničeno. Retka su preduzeća koja mogu, kao svoj sopstveni razvoj, unapred i za svoj račun da vrše ispitivanja i razrađuju varijante koje dovode do usavršavanja konačnog proizvoda.

Upravo u tom trenutku, kada u kratkom vremenskom roku treba analizirati nekoliko varijanti po pitanju linija broda, hidrostatike, preliminarnog stabiliteta, čvrstoće struktura, brodske arhitekture i ostalog, računari pružaju veliku pomoć.

S obzirom na stanje na tržištu brodova i brodske opreme, brodogradilišta moraju veliki deo opreme da nabavljaju u inostranstvu, u različitim delovima sveta, pa je pomoć računara gotovo nezamenjiva, u razvrstavanju i izboru najboljih ponuđača, zatim u prijemu i slanju dokumentacije, što se

već vrši putem modema, disketa i globalnih svetskih mreža. Najzad, s obzirom na to da se cela baza podataka nalazi u elektronskom obliku, olakšana je manipulacija, kao i ažuriranje dokumentacije koja se tiče specifikacija opreme kao i njeno praćenje.

Svakako najveću promenu u odnosu na klasičan sistem doživelo je trasiranje broda. Jer, tačnost postupka, geometrije i položaja elemenata, kao i povezanost sa ostalim fazama gradnje broda kod elemenata koji su trasirani računarom mnogo je veća. Sa druge strane, u uslovima široke upotrebe računara veliki deo poslova trasernice seli se u projektne biroe, odnosno uspostavlja se jedan sasvim novi sistem protoka informacija. Jer, sada projektni biroi direktno snabdevaju pogone u kojima se vrši predmontaža i montaža, dok trasernica učestvuje samo u izradi prostornih šablona za neke veoma komplikovane elemente. Prema tome, nova uloga projektnog biroa mogla bi se slobodno nazvati »informacionim centrom proizvodnje«, s obzirom na to da sada veliki broj informacija vezanih za čistu proizvodnju kreće upravo iz projektnih biroa.

CAD u projektnom birou

Upotreba CAD-a u projektnom birou može se podeliti u nekoliko kategorija:

— idejno rešenje — ponuda,
— osnivanje linija,
— osnivanje linija nadgrađa,
— glavno rebro,
— razvoj oplate,
— brodski sistemi,
— projekat elektrike i elektronike,
— oružni sistemi,
— dokumentacija za odobravanje (pretprojekat — klasifikaciona dokumentacija).

Svaka od pobrojanih aktivnosti čini osnovu za izradu detaljne dokumentacije. Treba naglasiti da je ovde prednost računara u tome da se razmena informacija između pojedinih grupa vrši mnogo lakše i brže, s tim što je i obim posla manji, za pojedine grupe, jer su obično izlazni podaci jedne grupe ulazni podaci za drugu i slično. Štaviše, mnogi proizvođači brodske opreme nude dokumentaciju za jedan deo svog proizvodnog programa, takođe u elektronskom obliku, kao crteže ili baze podataka.

Osnivanje linija, na tradicionalan način, obično je obavljano tako što se u najranijoj fazi uzimalo u razmatranje jedna do dve moguće varijante linija, zbog ograničenosti vremena, koje je potrebno za iscrtavanje na tabli i osnovne proračune hidrostatike. Precizno definisanje linija, kao i njihov konačan oblik, utvrđivao bi se tek u kasnijem procesu projektovanja. Uz korišćenje računara, projektant je u mogućnosti da veoma brzo, u roku od nekoliko sati, za potrebe analize, promene u projektnom zahtevu ili iz drugih razloga, razradi novu varijantu linija.

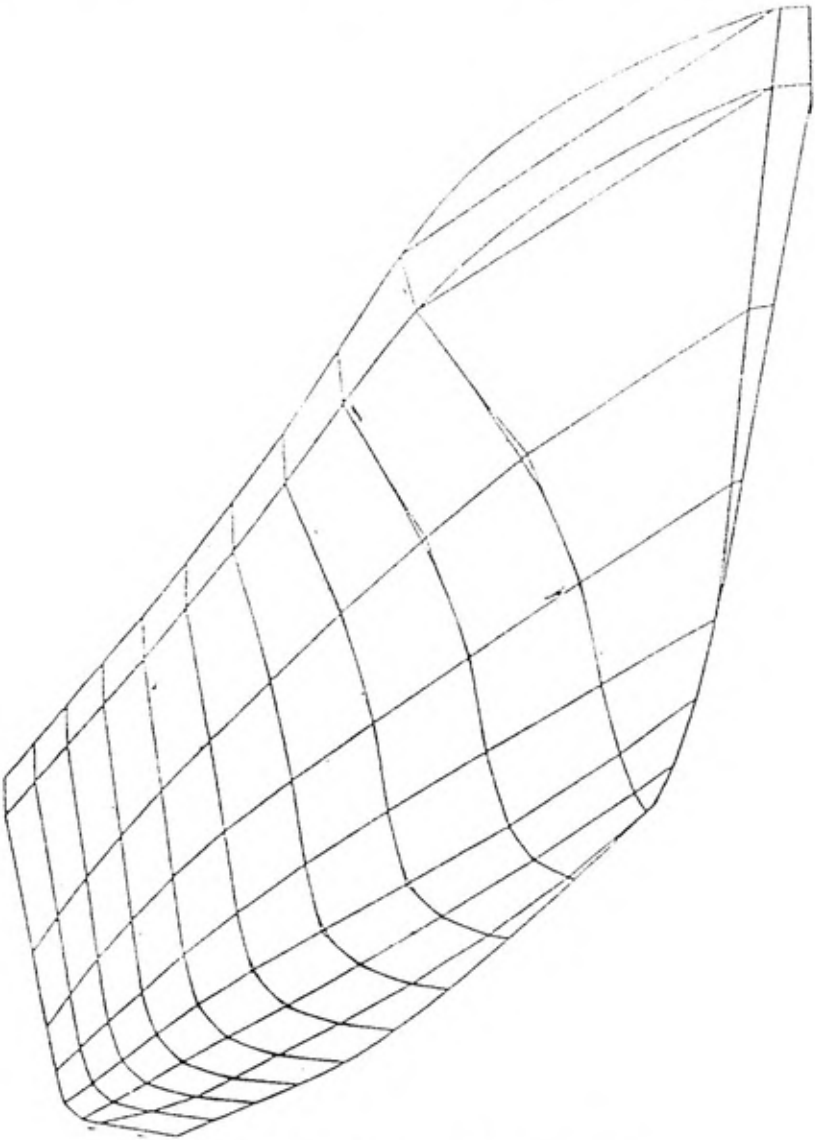
U sledećoj fazi, kada od idejnih linija treba izraditi konkretan plan vodnih linija u dve i tri dimenzije (2D i 3D), zadatak se svodi samo na doradu idejnih linija. Pomoću 3D modela linija može se, zatim, numeričkim mašinama izraditi model u razmeri, u svrhu hidrodinamičkih ispitivanja, ispitivanja čvrstoće pomoću konačnih elemenata ili za prezentacije naručiocima.

Nije neobično da se u toku razvoja neke forme, napravi i do desetak različitih varijanti. Obično, hidrostatika se rešava u prvom ili drugom koraku, dok se varijante svode na promenu krmenog dela ili pramca kod ratnih brodova i, na primer, uvođenjem bulba ili slično, kod trgovačkih brodova.

Najzad, svakim sledećim uspešno rešenim projektom upotpunjuje se biblioteka gotovih formi koje u nekom narednom projektu služe kao gotova polazna osnova, te se automatski, pri rešavanju nekog novog problema, štedi vreme.

Na slici 1 prikazan je trodimenzionalan izgled trupa broda u fazi osnivanja linija.

Međutim, potpuno kompjutersko projektovanje i proizvodnja za sada je još uvek nemoguće, odnosno neisplativo, jer je brodska forma, u osnovi, veoma složena površina koju je teško matematički u potpunosti definisati. Zbog toga se tradicionalne metode još uvek koriste, naročito pri trasiranju u punoj razmeri. Za određene brodove postoje mesta složene geometrije ili konstrukcije, gde je tradicionalan metod mnogo efikasniji nego određene računarske metode, kao kod trodimenzionalnih šablona za savijanje limova. Ovakav pristup, pored ostalog, doprinosi većoj integraciji u okviru predu-



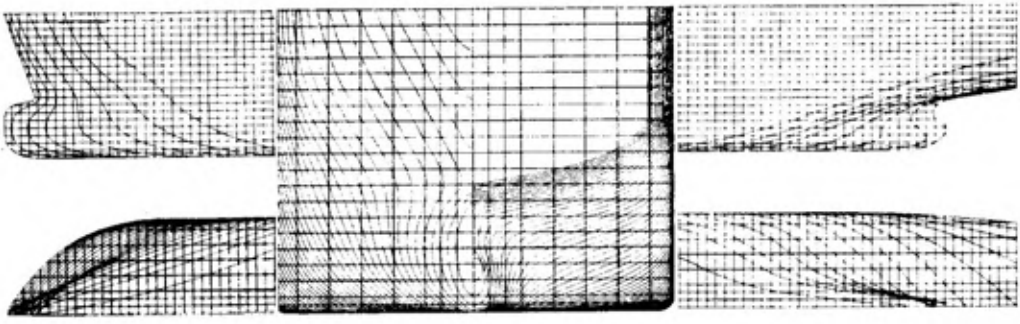
Sl. 1 — Brodske linije u fazi osnivanja

zeća, jer, recimo, projektanti koji rade na računarima tesno sarađuju sa traserima.

Uglađivanje linija

Uglađivanje linija je faza u projektovanju broda u kojoj od definisanih teoretskih rebara, sa doteranom hidrostatikom, treba razraditi sva građevna, dakle, stvarna rebra na brodu, zajedno sa svim detaljima. Nekad je to bio dugotrajan postupak, koji se sastojao od iscrtavanja linija u punoj razmeri na podu trasernice, pomoću dugačkih traserskih letvi. Na taj način su, praktično, ispravljane greške projekta vodnih linija i dobijala konačna forma broda.

Prvi programski paketi za uglađivanje linija koristili su model kubnog splajna, što je u osnovi sasvim prirodno. Jer, metod kubnog splajna, u suštini, predstavlja matematički model traserske letve (splajn — »letva«). Međutim, uskoro se pokazalo da pomenuti metod nije dovoljno produktivan. Sedamdesetih godina ovog veka francuski matematičar Bezije (Besiere) postavio je matematičke osnove novog metoda koji je po njemu dobio ime Bezijeov splajn ili B-splajn. Veliki nedostatak pomenutih metoda sastoji se u tome da je njihov rezultat bio takozvani »žičani model«, što znači da je forma trupa predstavljena sistemom linija: rebara, vodnih linija i uzdužnjaka. Forma se uglađivala tako što bi se prvo unosili u računar podaci za, recimo, rebra, a zatim bi se u preseku rebara na određenim visinama dobijale vodne linije. Međutim, u procesu dobijanja vodnih linija na bazi unetih rebara uvek je bilo potrebno definisati i neke dodatne uslove koje bi vodne linije morale ispunjavati, a koji se odnose, uglavnom, na pramčani i krmeni deo broda. Mada, i pored toga, ponekad nismo bili u mogućnosti da, naročito kod komplikovanih formi, budemo sasvim sigurni u to šta se događa sa formom na mestima gde se ona naglo menja i gde podela rebara i vodnih linija svojom prirodnom gustoćom ne može da nam pruži jasnu sliku o tome. Napredak u tom smislu ostvaren je uvođenjem novog modela, takozvanog metoda površi. Suština ovog metoda sastoji se u tome da se kroz povučene kontrolne linije, obično u tri dimenzije, povlači trodimenzionalna površ, koju možemo zamisliti kao oplatu koja najbolje definiše formu broda. Površ dobijena na ovaj način je glatka u meri u kojoj su kvalitetne linije na osnovu kojih je formirana. Osnovna prednost površi jeste u tome što, s obzirom na to da po definiciji ne prolazi striktno kroz zadate linije ili tačke, vrši upravo onaj deo posla koji se obavljao u trasernici, a to je fino uglađivanje i otklanjanje sitnih grešaka. Na slici 2 prikazane su »uglađene« linije broda.



Sl. 2 — Uglađene linije broda

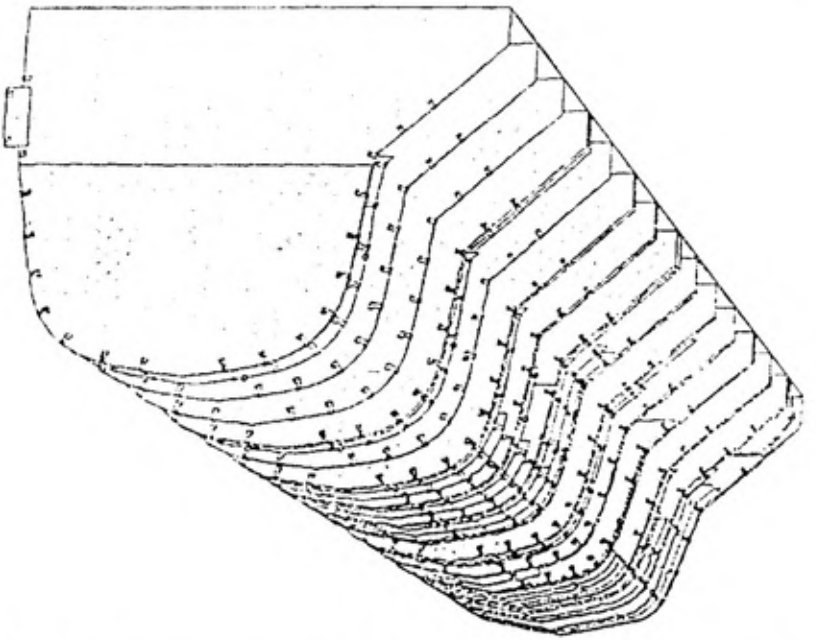
Razvoj oplate

Razvoj oplate, je svakako, jedan od najznačajnijih crteža u celokupnoj dokumentaciji broda. Pošto masa oplate čini najveći deo mase čelika broda, koja je jedna od važnih stavki pri projektovanju broda, mogućnost brzog i preciznog dobijanja crteža razvoja oplate je od velike važnosti. Zatim, u ranim fazama projektovanja, iz crteža razvoja oplate, dobijaju se specifikacije za narudžbine limova. Dobijanje crteža razvoja oplate na računaru lakše je od tradicionalnog metoda. Praktično, sa definisanim rebrima i vodnim linijama dobijanje crteža razvoja oplate veoma je jednostavno.

Metodi koji se koriste za dobijanje crteža razvoja oplate nisu posebno razvijani za korišćenje na računaru, već su prilagođeni iz tradicionalnih metoda.

Konstrukcija broda

Pošto se izvrši uglađivanje rebara i napravi projekat glavnog rebra, podrazumevajući da je crtež razvoja oplate završen, pristupa se detaljnom definisanju konstruktivnih elemenata trupa. Ovde postoji nekoliko mogućnosti za primenu računara koje zavise od opremljenosti brodogradilišta. Na primer, postoji mogućnost da se linije uglađuju jednom od pomenutih metoda, a da se elementi konstrukcije unose »ručno« za svaki pojedini elemenat. Savršeniji programi, kojima raspolažu i naša brodogradilišta, rade na drugim principima. Većim delom, unos konstrukcije je poluautomatski. Recimo, pri definisanju rebrenica dovoljno je uneti njihovu visinu, položaj i geometriju eventualnih izreza za olakšanje, prodora uzdužnih elemenata konstrukcije i slično, a zatim ih program sam umeće na odgovarajuće mesto. Najmoderniji programi ove vrste u mogućnosti



Sl. 3 — Trodimenzionalni izgled jedne faze u definisanju brodske konstrukcije

nosti su da na osnovu pravila po kojima se gradi brod i na osnovu glavnih dimenzija broda sami definišu i umetnu na odgovarajuće mesto elemente konstrukcije. Na slici 3. prikazan je trodimenzionalni pogled na elemente konstrukcije, u jednoj od faza, koji su definisani pomoću računara.

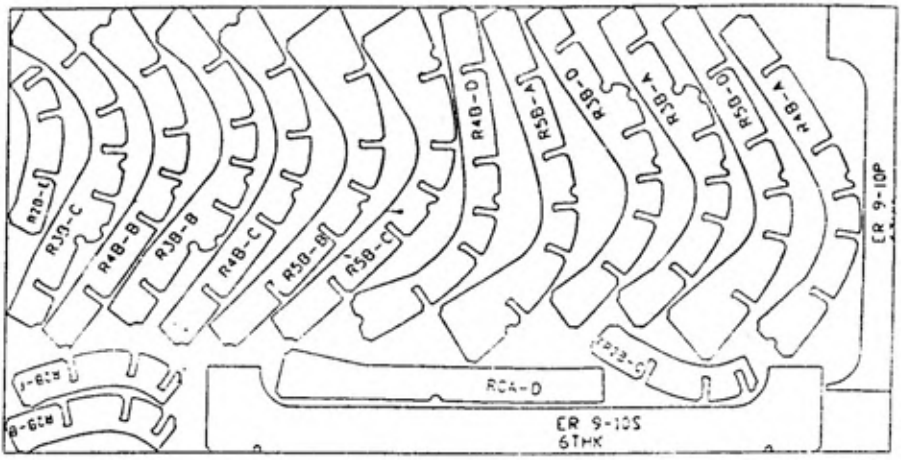
Sledeća aktivnost u nizu, pošto su elementi konstrukcije definisani i uneti u računar je slaganje elemenata na table lima. U interesu je da elementi budu složeni, tako da procenat iskorišćenosti površine lima bude što veći. Na slici 4 prikazan je crtež table lima sa složenim elementima koji bi trebalo da budu isečeni. Procenat iskorišćenja površine table lima, pri automatskom slaganju elemenata, dakle onom koji izvršava računar unapred zadatim programom, pored velike uštede u vremenu, kreće se u proseku oko 80%.

S obzirom na to da se veliki deo projektovanja broda sastoji u usaglašavanju potreba naručioca, kao i pravila i propisa, uz mnoštvo izmena od kojih neke dolaze u poslednji čas, vreme utrošeno na definisanje i unošenje konstruktivnih elemenata, kao i na eventualne izmene, zavisi od organizacije samog projektovanja i unošenja elemenata konstrukcije. Ukoliko je organizacija loša, uz mnogo nejasnoća oko protoka informacija od projektnog dela do proizvodnje, upotreba računara će samo uneti dodatnu zabunu. Prema tome, pojava računara, pored ostalog, nameće i drugačiju organizaciju unutar projektnog biroa. Na žalost, dolazi i do gašenja mnogih radnih mesta, uglavnom manje stručnih. Ipak, primena računara u brodogradnji pomoći će dobrim projektantima da brže i tačnije obavljaju svoj posao. Nijedan program i računar ma kakve moći neće pomoći projektantima koji nemaju dovoljno znanja da naprave dobar projekat.

Zaključak

U ovom prikazu načinjen je osvrt na primenu računara u brodogradnji, i to samo prilikom definisanja brodske forme i konstrukcije.

U delu projektovanja računari se uspešno primenjuju pri definisanju pogonskog kompleksa i pripadajućih sistema, elektroenergetskog sistema, elektronike, oružnih i drugih sistema.



Sl. 4 — Priprema dela konstruktivnih elemenata broda za sečenje na numeričkoj mašini

Zahtev da se u najmanjoj zapremini funkcionalno smesti što više raznovrsne opreme može se kvalitetno ispuniti samo uz upotrebu računara.

Kako je brod veoma složen i kompleksan industrijski proizvod, a uz to i veoma skupa investicija, ovaj prikaz primene računara u brodogradnji odnosi se samo na početni deo realizacije broda. Konkurentna realizacija projektovanja i gradnje brodova može se provesti samo uz kompletnu primenu računara u svim fazama.

Pre uvođenja sankcija brodograđevinska industrija Jugoslavije raspolagala je hardverom i softverom koji se mogao svrstati među najmodernije u svetu, ali je danas u izvesnom zaostajanju.

Mr Vida Živković,
dipl. fiz.

Slobodan Zelenika,
dipl. fiz.
Savezni zavod za mere i dragocene metale, Beograd

Vojislav Đurašinović,
potpukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za standardizaciju, metrologiju i nomenklaturu, SMO, Beograd

MOGUČNOST MERENJA DUŽINE U METROLOŠKOM SISTEMU JUGOSLAVIJE NA OSNOVU REZULTATA SEDMOG CIKLUSA UPOREDNIH MERENJA ETALONA

UDC: 531.711/.713(497.1)

Rezime:

U radu su prikazani principi i metode po kojima se izvode uporedna merenja kao analiza rezultata sedmog ciklusa uporednih merenja etalon-graničnih planparalelnih mera dužine i etalon valjka. U analizi rezultata istaknuti su problemi u vezi sa primenom metode merenja, obradom i prikazivanjem rezultata, a posebno merne nesigurnosti. Prikazana je, takođe, funkcionalna zavisnost reproduktivnosti (merne nesigurnosti) od vrednosti merene dužine graničnih mera, odnosno mogućnost merenja dužine do 100 mm u metrološkom sistemu Jugoslavije.

Ključne reči: uporedna merenja, granična mera, etalon-valjak, srednja dužina, merna nesigurnost, ponovljivost, reproduktivnost, elektronski komparator, laserski interferometar, postupak iteracije.

LENGTH MEASUREMENT POSSIBILITY IN METROLOGY SYSTEM OF SR YUGOSLAVIA BASED ON THE RESULTS OF THE SEVENTH STANDARDS INTERCOMPARISON MEASUREMENT

Summary:

This article describes principles and methods of intercomparison measurement (Round-Robin), as well as the results and analysis of the seventh intercomparison measurement of standard length gauge blocks and standard cylinder in Yugoslavia. The analysis emphasises the problem of correct application of used measurement methods, elaboration and presentation of results, and especially of their uncertainty. In the article the function dependence of reproducibility (uncertainty) and measured length of gauge blocks is given; and therefore the length measurement possibility in range of 100 mm in Metrology System of Yugoslavia based on the seventh intercomparison measurement.

Key words: intercomparison (Round-Robin) measurement, gauge block, standard cylinder, mean length, measurement uncertainty, repeatability, reproducibility, electronic gauge block comparator, laser interferometer, iteration procedure.

Uvod

Jedna od značajnih aktivnosti u okviru metrološkog sistema Jugoslavije jeste organizovanje i sprovođenje uporednih merenja etalona i etalonskih sistema svih zainteresovanih laboratorija [1]. Dobro pripremljena i sprovedena uporedna merenja daju značajan doprinos uspostavljanju mernog jedinstva i poboljšanju tačnosti merenja određene fizičke veličine.

Upoređivanja među laboratorijama u zemlji najefikasniji su put ka otkrivanju određenih sistematskih grešaka. Ona omogućavaju proveru mer-

ne opreme i mogućnosti merenja laboratorija, proveru određene metode merenja, uspostavljanje jedinstvene vrednosti upoređivanog etalona i otvaraju nove puteve razvoja i unapređenja rada u laboratorijama. Laboratorije učesnice uporednih merenja su ovlašćene laboratorije iz metrološkog sistema.

Osnovni zadaci uporednih merenja ovlašćenih laboratorija su:

— upotpunjavanje i obrazovanje kompatibilnog, jedinstvenog sistema ovlašćenih i drugih laboratorija u zemlji;

— unificiranje, standardizovanje i sistematizovanje metoda merenja, načina određivanja i prikazivanja rezultata merenja, izmerenih vrednosti i merne nesigurnosti [2] i, na taj način, unificiranje metrološkog kvaliteta merila;

— obezbeđenje tačne mere i mernog jedinstva.

U toku 1995. godine u SR Jugoslaviji je organizovan i sproveden sedmi ciklus uporednih merenja etalon-graničnih planparalelnih mera dužine i etalon-valjka. Organizatori i nosioci ovih merenja bili su Savezni zavod za mere i dragocene metale (Zavod) i Odeljenje za standardizaciju, metrologiju i nomenklaturu iz Saveznog ministarstva za odbranu. U ovom ciklusu uporednih merenja, pored Zavoda (SZM), učestvovalo je 16 metroloških laboratorija koje je ovlastio Zavod ili pomoćnik saveznog ministra za odbranu. Zajedno sa laboratorijama učesnicama merenja utvrđena su i usvojena Pravila uporednih merenja etalon-graničnih planparalelnih mera i etalon-valjka u sedmom ciklusu [4], koja sadrže:

— spisak laboratorija koje učestvuju u merenju;

— nosioce posla;

— etalone koji će se meriti, način i metode merenja;

— vreme potrebno za merenje i obradu mernih rezultata;

— redosled merenja i način primopredaje etalona;

— način sređivanja i dostavljanja rezultata;

— analizu rezultata i organizacije završnog sastanka na kome će se oni prikazati i analizirati.

Cilj uporednih merenja bio je:

— provera opreme i mogućnosti laboratorija učesnica merenja;

— otkrivanje određenih sistematskih grešaka u radu;

— uspostavljanje jedinstvene mogućnosti merenja dužine do 100 mm sistema ovlašćenih laboratorija u našoj zemlji.

Osnovni principi i metode uporednih merenja

U sedmom ciklusu uporednih merenja, pored Zavoda, učestvovalo je 16 laboratorija. Merenja su obavljena prema usvojenim pravilima [4].

Predmet uporednih merenja bili su sledeći etaloni:

— granična planparalelna mera nazivne dužine 2 mm, proizvođača C.E.J, klase 00, serijskog broja 551079;

— granična planparalelna mera nazivne dužine 100 mm, proizvođača C.E.J, klase 00, serijskog broja 551079;

— etalon valjak nazivnog prečnika 50 mm, proizvođača SIP, serijskog broja 13982.

Svaka laboratorija učesnica merila je [6] odstupanje stvarne od nazivne vrednosti, odnosno srednju dužinu graničnih planparalelnih mera od 2 mm i 100 mm, i stvarnu vrednost dva uzajamno normalna prečnika etalon-valjka čiji su pravci naznačeni na etalonu i koji su mereni na polovini visine merne površine etalona.

Srednja dužina granične mere merena je metodom upoređenja sa sopstvenim etalonom iste nazivne dužine, uz upotrebu uređaja za pregled granič-

nih mera — komparatora kontaktnog tipa, i određena je prema sledećem izrazu [6]:

$$L = L_e + \Delta L + [\alpha(20-t) - \alpha_e(20-t_e)] \cdot L_n \quad (1)$$

gde je:

- L — srednja dužina ispitivane granične mere,
- L_e — srednja dužina etalona izmerena interferometrijskom metodom,
- ΔL — srednja vrednost izmerene razlike dužine etalona i ispitivane granične mere na komparatoru, dobijena na osnovu 10 ponovljenih merenja,
- α i α_e — koeficijenti linearnog istezanja ispitivane granične mere i etalona,
- t i t_e — temperature ispitivane granične mere i etalona,
- L_n — nazivna dužina granične mere.

Etalon valjak meren je metodom direktnog upoređenja na odgovarajućem uređaju (merna mašina, mikroskop i sl.). Na osnovu 10 ponovljenih merenja određena je srednja vrednost svakog od dva uzajamno normalna prečnika etalon-valjka.

Srednja vrednost dužine granične mere, odnosno prečnika etalon-valjka, izračunava se na osnovu izraza:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i \quad (2)$$

gde je:

- $n=10$ — broj ponovljenih merenja,
- y_i — pojedinačna vrednost merenja.

Srednja vrednost dobijena na osnovu ovog izraza vredi samo ako su ispunjeni sledeći uslovi: temperatura ispitivane i etalon-granične mere iste su i iznose 20°C, ispitivana i etalon-granična mera od istog su materijala, a sva merenja obavljena su u istim uslovima u kratkom vremenskom intervalu.

Pored srednje vrednosti, laboratorije su izračunale i standardnu devijaciju kojom je ta vrednost određena. Standardna devijacija izračunata je na osnovu izraza [4]:

$$\bar{S}_y = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Statistički model obrade rezultata uporednih merenja

Statistička obrada rezultata uporednih merenja urađena je na osnovu modela preporučenog u međunarodnom standardu ISO 5725 [3] i BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP i OIML publikacije [5].

Na osnovu ovog modela pretpostavlja se da se svaki rezultat merenja — y može predstaviti u obliku

$$y = m + B + e \quad (4)$$

gde je:

- y — rezultat merenja,
- m — srednja vrednost,
- B — član koji se odnosi na odstupanje rezultata merenja pojedinih laboratorija od srednje vrednosti — m,
- e — slučajna greška koja se javlja pri svakom merenju.

Srednja vrednost — m razlikuje se u opštem slučaju, od »stvarne vrednosti« — M, odnosno vrednosti dobijene nekom tačnijom metodom merenja. U ovim uporednim merenjima, na primer, vrednost m koja predstavlja dužinu granične planparalelne mere, u pojedinim laboratorijama dobijena je metodom upoređenja dužine ispitivane mere sa poznatom dužinom etalonske mere pomoću elektronskog komparatora, a »stvarna vrednost« — M merena je u Zavodu pomoću interferometra.

Vrednost člana B uzima se konstantnom za bilo koju seriju merenja izvršenih u pojedinoj laboratoriji. U međulaboratorijskim uslovima merenja član B se ponaša kao slučajna promenljiva koja ima približno normalnu raspodelu. Njena varijansa označava se sa:

$$\mathrm{var}\,(B) = \sigma_L^2, \tag{5}$$

i naziva se međulaboratorijska varijansa. U opštem slučaju, ona se sastoji od dve komponente: slučajne i sistematske. Sistematska komponenta može da postoji ukoliko se merenja izvode sa različitim tipovima uređaja ili u različitim mikroklimatskim uslovima u laboratoriji. Ukoliko laboratorije koriste isti tip uređaja u sličnim mikroklimatskim uslovima, ova komponenta može se smatrati dovoljno malom, tako da se član B može razmatrati kao slučajna promenljiva.

Član e predstavlja slučajnu grešku koja se javlja prilikom svakog merenja. Kao i za član B pretpostavlja se da je njegova raspodela normalna, a varijansa povezana sa ovim članom je

$$\mathrm{var}\,(e) = \sigma_w^2, \tag{6}$$

i naziva se unutarlaboratorijska varijansa. Ona može da se razlikuje, što zavisi od kvaliteta upotrebljene merne opreme ili stručnosti onoga koji vrši merenja u laboratoriji. U analizi rezultata uporednih merenja pretpostavljeno je da je metoda merenja standardizovana, tako da su razlike među laboratorijama dovoljno male.

Na osnovu modela dobijaju se vrednosti za ponovljivost — r i reproduktivnost — R prema izrazima:

$$r = 2{,}8\,\sigma_r \tag{7}$$

$$R = 2{,}8\,\sigma_R \tag{8}$$

gde je:

σ_r — varijansa ponovljivosti koja predstavlja srednju vrednost varijansi, dobijenih u pojedinim laboratorijama učesnicama uporednih merenja $\sigma_r^2 = \mathrm{var}(e)$,

σ_R — varijansa koja služi za izračunavanje reproduktivnosti (varijansa reproduktivnosti),

$$\sigma_R^2 = \sigma_L^2 + \sigma_r^2 \tag{9}$$

Konstanta 2,8 podrazumeva da su ponovljivost i reproduktivnost procenjeni za nivo verovatnoće od 95%, kao i pretpostavku da je raspodela rezultata merenja približno normalna (u nju je uračunato neznatno odstupanje raspodele rezultata merenja od normalne raspodele) [3].

Budući da stvarne vrednosti varijansi σ_R^2 i σ_r^2 nisu poznate, u obradi rezultata merenja koriste se njihove procenjene vrednosti s_R^2 i s_r^2 dobijene na osnovu izvršenih uporednih merenja.

Izrazi koji se koriste u analizi rezultata uporednih merenja su sledeći:

$$T_1 = \sum_i \bar{y}_i \tag{10}$$

gde je y_i srednja vrednost merena u pojedinačnim laboratorijama;

$$T_2 = \sum_i \bar{y}_i^2, \tag{11}$$

$$T_3 = \sum_i s_i^2 \tag{12}$$

gde je s_i standardno odstupanje sa kojim su dobijene vrednosti $\bar{y}_i$.

Na osnovu ovih vrednosti izračunato je:

$$s_r^2 = \frac{T_3}{p}, \tag{13}$$

srednja unutarlaboratorijska varijansa (varijansa ponovljivosti),

$$s_L^2 = \frac{pT_2 - T_1^2}{p(p-1)} - \frac{s_r^2}{n}, \tag{14}$$

međulaboratorijska varijansa,

$$s_R^2 = s_L^2 + s_r^2, \tag{15}$$

varijansa koja služi za izračunavanje reproduktivnosti R,

$$m = \frac{T_1}{p}, \qquad (16)$$

srednja vrednost rezultata merenja svih laboratorija,

$$r = 2{,}8\sqrt{s_r^2}, \qquad (17)$$

ponovljivost rezultata merenja,

$$R = 2{,}8\sqrt{s_R^2}, \qquad (18)$$

reproduktivnost rezultata merenja

gde je:

p — broj laboratorija čiji su rezultati analizirani,

n — broj ponovljenih merenja.

Da bi se utvrdilo koji su rezultati merenja nekompatibilni (rezultati koje laboratorija treba da izuzme iz statističke analize) korišćeni su Kohranov (Cochran) i Diksonov (Dixon) kriterijum [3].

Kako pokazuje praksa, podaci o mernoj nesigurnosti rezultata merenja (dobijeni na osnovu procenjene standardne devijacije, odnosno varijanse) [2, 5] mogu se ponekad znatno razlikovati. Da bi se odredilo koje su vrednosti merne nesigurnosti u nekom ciklusu uporednih merenja prihvatljive i mogu se upotrebiti u statističkoj analizi rezultata uporednih merenja, primenjuje se Kohranov kriterijum maksimalnih varijansi. Ovaj kriterijum je neosetljiv na male vrednosti varijanse, koje su često rezultat pogrešne analize i procene, a ne visokih mernih mogućnosti neke laboratorije. Na osnovu ovog kriterijuma može se zaključiti da pojedine laboratorije mere sa manjom tačnošću od drugih, što je uslovljeno nekorektnom primenom metode merenja ili primenom neadekvatnog mernog uređaja. Postoje i drugi slični statistički testovi za analizu podataka o mernoj nesigurnosti, dobijenih u uporednim merenjima [7], ali se jedino Kohranov kriterijum primenjuje na slučaj kada je neka od varijansi jednaka nuli.

Za analizu srednjih vrednosti, dobijenih merenjima u pojedinim laboratorijama, primenjuje se Diksonov kriterijum. On se primenjuje nakon Kohranovog kriterijuma na preostale rezultate merenja laboratorija učesnica uporednih merenja. Njegovom primenom dolazi se do podatka o tome koje rezultate uporednih merenja (srednje vrednosti merene veličine dobijene u pojedinim laboratorijama) ne treba uključiti u statističku obradu.

Rezultati uporednih merenja

Uporedna merenja u sedmom ciklusu obavljena su u periodu od 13. marta do 10. jula 1995. godine.

U tabeli 1 prikazani su etaloni i merna oprema korišćena u pojedinačnim laboratorijama pri uporednim merenjima etalon-graničnih planparalelnih mera dužine i etalon-valjka.

Pri merenju graničnih planparalelnih mera od 2 mm i 100 mm dve laboratorije učesnice koristile su komparator čija je rezolucija za red veličine manja od ostalih (Abbeov visinomer i optimetar Carl Zeiss), a pet laboratorija je kao sopstvene etalone koristilo granične mere klase 0, dok su ostale upotrebile granične mere klase 00.

Etalon-valjak laboratorije učesnice su merile različitim uređajima; mernu mašinu je koristilo deset laboratorija, merni mikroskop tri, optimetar jedna i elektronski komparator dve laboratorije. Sedam laboratorija merilo je valjak upoređenjem sa sopstvenim etalon-valjkom ili graničnom planparalelnom merom od 50 mm, dok su ostale (osam) direktno merile vrednost prečnika ispitivanog valjka.

Tabela 1

Etaloni i merna oprema	Metrološke laboratorije — učesnice merenja																
	SZM	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16
Etalon-granične planparalelne mere																	
Interferometar CARL ZEISS	◆																
Elektronski komparator MAHR		◆		◆			◆		◆	◆							◆
Elektronski komparator TESA					◆	◆					◆	◆				◆	
Elektronski komparator SUHL															◆		
ABBE-ov visinomer													◆				
Optimetar CARL ZEISS														◆			
Etalon g.p.m, 00, Cary		◆															
Etalon g.p.m, 00, Messwelk				◆													
Etalon g.p.m, 00, Mauser					◆												
Etalon g.p.m, 00, C.E.J.						◆				◆	◆		◆			◆	
Etalon g.p.m, 00, C. Frank															◆		
Etalon g.p.m, 0, Kirov							◆										
Etalon g.p.m, 0, Carl Zeiss									◆			◆		◆			
Etalon g.p.m, 0, Helios																	◆
Etalon valjak																	
Laserski interferometar HP	◆																
Merna mašina Mahr		◆									◆						
Merna mašina Carl Zeiss			◆	◆	◆			◆		◆						◆	
Merna mašina SIP							◆		◆								
Alatni mikroskop OMO						◆											
Alatni mikroskop C. Zeiss								◆									
Dvokoordinatni mikroskop C. Zeiss													◆				
Optimetar Carl Zeiss														◆			
Elektronski komparator MAHR															◆		◆
Etalon p.g.m, kl. 0,50 mm			◆											◆	◆		◆
Etalon p.g.m, kl. 1,50 mm		◆															
Etalon valjak, SIP, 50 mm							◆		◆								

Tabela 2

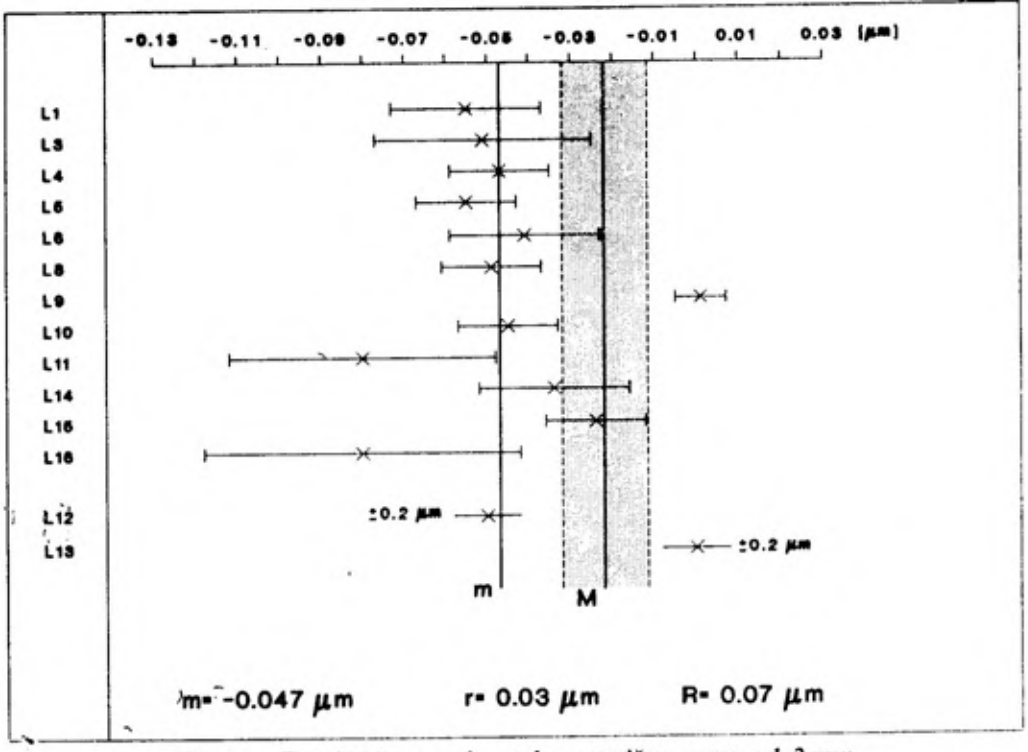
Laboratorija	Granična mera 2 mm		Granična mera 100 mm	
	Srednja vrednost (μm)	Standardna devijacija (μm)	Srednja vrednost (μm)	Standardna devijacija (μm)
1	2	3	4	5
SZM	**−0,020**	**0,004**	**+0,151**	**0,014**
L1	−0,055	0,003	+0,228	0,003
L2	—	—	—	—
L3	−0,051	0,004	+0,250	0,003
L4	−0,047	0,002	+0,093	0,003
L5	−0,055	0,002	+0,264	0,002
L6	−0,041	0,003	+0,121	0,003
L7	—	—	—	—
L8	−0,049	0,002	+0,265	0,012
L9	+0,001	0,001	+0,356	0,338
L10	−0,045	0,002	+0,189	0,002
L11	−0,077	0,005	+0,200	0,008
L12	−0,05	0,1	+0,15	0,1
L13	0,00	0,1	+0,50	0,1
L14	−0,034	0,003	+0,132	0,006
L15	−0,024	0,002	−0,042	0,003
L16	−0,080	0,006	+0,240	0,016
SZM	**−0,24**	**0,004**	**+0,145**	**0,014**

Tabela 3

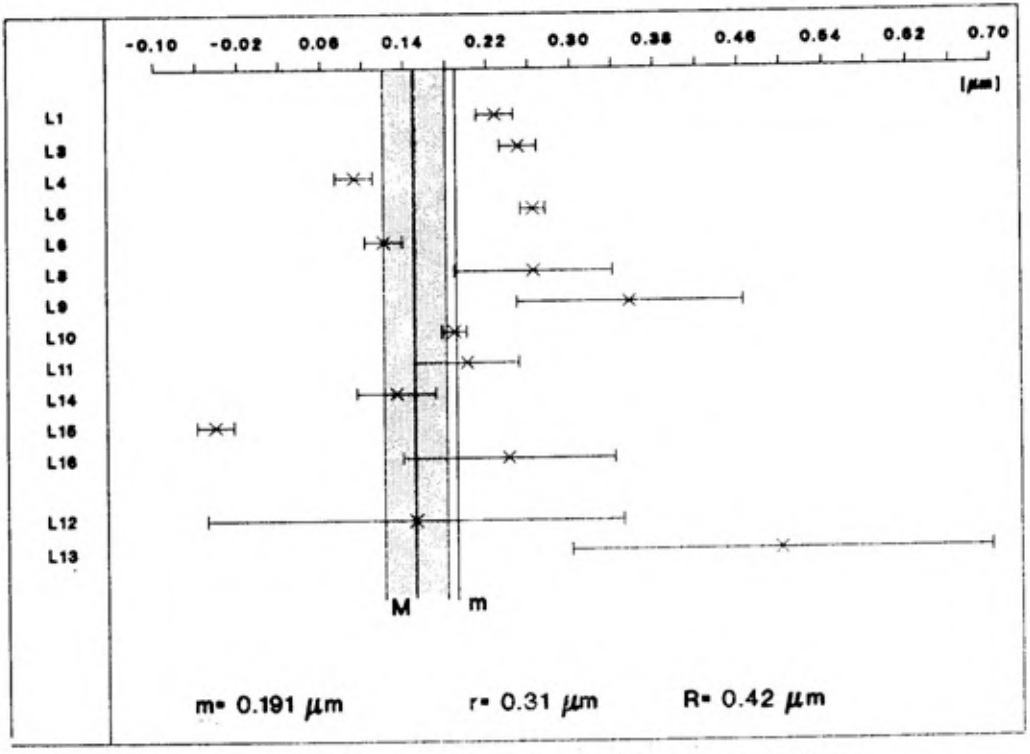
Laboratorija	Etalon-valjak prečnik A		Etalon-valjak prečnik B	
	Srednja vrednost (μm)	Standardna devijacija (μm)	Srednja vrednost (μm)	Standardna devijacija (μm)
1	2	3	4	5
SZM	**+0,14**	**0,09**	**+0,4**	**0,09**
L1	+0,64	0,02	+1,35	0,02
L2	+0,19	0,15	+1,38	0,15
L3	+0,96	0,05	+1,30	0,04
L4	+0,17	0,04	+1,00	0,03
L5	+0,48	0,01	+0,97	0,01
L6	+0,35	0,02	+1,05	0,02
L7	+0,30	0,15	+1,60	0,34
L8	−0,16	0,02	+0,14	0,02
L9	+0,95	0,09	+1,40	0,13
L10	+0,02	0,04	+0,71	0,04
L11	—	—	—	—
L12	+0,10	0,10	+0,90	0,10
L13	+0,35	0,10	+1,07	0,10
L14	+0,44	0,02	+1,28	0,03
L15	+0,11	0,02	+0,16	0,02
L16	+0,07	0,02	+0,37	0,02
SZM	**+0,15**	**0,09**	**+0,58**	**0,09**

U tabelama 2 i 3 prikazane su srednje vrednosti — m i standardne devijacije — s merenja etalon-graničnih planparalelnih mera od 2 mm i 100 mm, i merenja etalon valjka prečnika 50 mm za sve laboratorije.

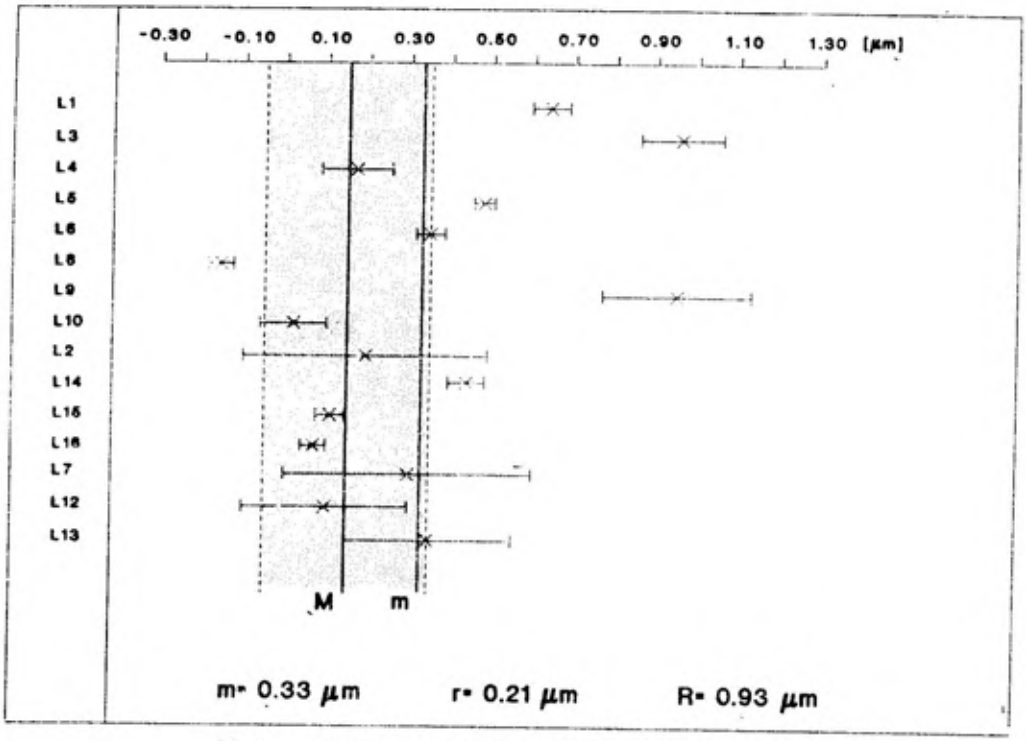
Na slikama 1, 2, 3 i 4 prikazani su grafički rezultati uporednih merenja navedenih etalona.



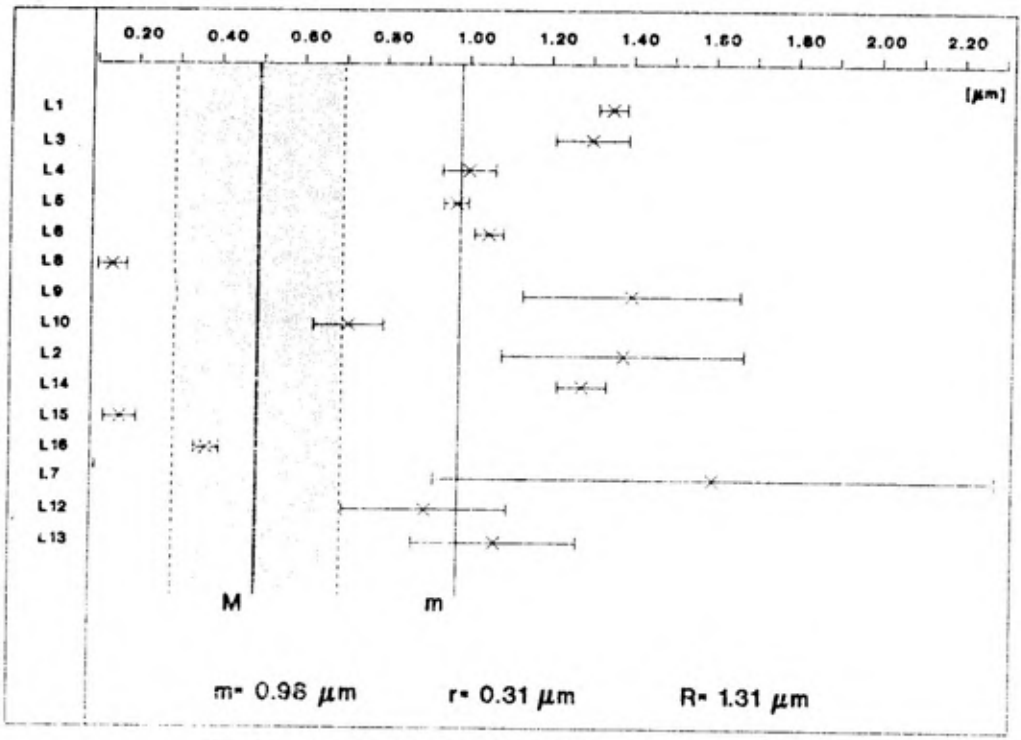
Sl. 1 — Rezultati merenja etalon-granične mere od 2 mm



Sl. 2 — Rezultati merenja etalon-granične mere od 100 mm



Sl. 3 — Rezultati merenja prečnika A etalon-valjka



Sl. 4 — Rezultati merenja prečnika B etalon-valjka

Analiza rezultata uporednih merenja

Na slici 5 prikazan je opšti dijagram toka statističke analize rezultata uporednih merenja korišćenjem statističkog modela preporučenog u standardu ISO 5725 [3]. Osenčena polja na dijagramu odgovaraju analizi rezultata merenja etalon-graničnih mera dužine i etalon-valjka merenih u sedmom ciklusu uporednih merenja.

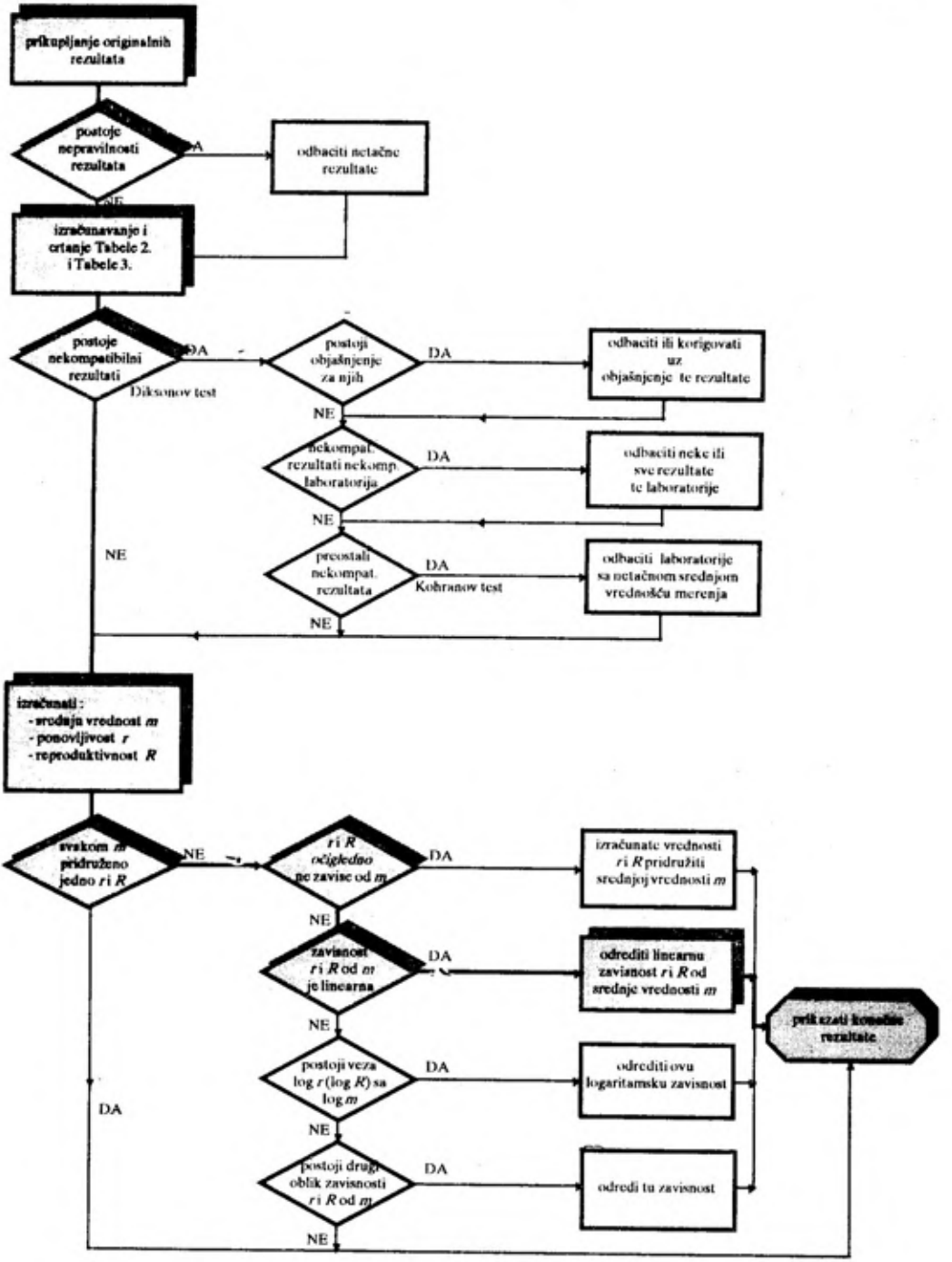
U tabeli 4 dati su parametri T_1, T_2, T_3, s_r^2, s_L^2, s_R^2, m, r i R i njihove izračunate vrednosti na osnovu podataka iz tabele 2 i tabele 3. Pri proračunu je uzet model koji se primenjuje u slučaju uporednih merenja sa jednakim brojem ponovljenih merenja u svakoj laboratoriji, i koji je veći od 2 (broj ponovljenih merenja za sve laboratorije je 10).

Analiza rezultata uporednih merenja, dobijenih na osnovu ovih proračuna, pokazala je za:

— etalon-graničnu planparalelnu meru od 2 mm: statistički su obrađivani svi rezultati merenja, osim rezultata dve laboratorije koje su za merenje koristile komparator sa manjom rezolucijom za red veličine od ostalih laboratorija. U toku obrade nisu korišćeni Diksonov i Kohranov kriterijum za odbacivanje nekompatibilnih rezultata merenja (outliers/ stragglers). Dobijena je srednja vrednost odstupanja od nazivne vrednosti m = −0,047 μm sa reproduktivnošću R = 0,07 μm. Ponovljivost merenja unutar svake la-

Tabela 4

		Granična mera 2 mm	Granična mera 100 mm	Etalon-valjak	
				Prečnik A	Prečnik B
Br. laborat. učes.: **p** Br. ponov. merenja: **n**		p=12 n=10	p=12 n=10	p=15 n=10	p=15 n=10
$T_1=\sum_i \bar{y}_i$	(μm)	−0,56	2,30	4,97	14,68
$T_2=\sum_i \bar{y}_i^2$	(μm²)	0,0315	0,5569	3,1122	17,2598
$T_3=\sum_i s_i^2$	(μm²)	0,001218	0,151380	0,080427	0,182219
$s_r^2=\frac{T_3}{p}$	(μm²)	0,000102	0,012615	0,005362	0,012148
$s_L^2=\frac{pT_2-T_1^2}{p(p-1)}-\frac{s_r^2}{n}$	(μm²)	0,000478	0,009433	0,103954	0,205426
$s_R^2=s_L^2+s_r^2$	(μm²)	0,000580	0,022048	0,109315	0,217574
$m=\frac{T_1}{p}$	(μm)	−0,047	+0,191	+0,33	+0,98
$r=2{,}8\sqrt{s_r^2}$	(μm)	0,03	0,31	0,21	0,31
$R=2{,}8\sqrt{s_R^2}$	(μm)	0,07	0,42	0,93	1,31



Sl. 5 — Dijagram toka statističke analize rezultata uporednih merenja

boratorije iznosi r = 0,03 μm. Odstupanje ovako dobijene srednje vrednosti m od stvarne vrednosti (M = −0,022 μm), izmerene na interferometru u Zavodu, iznosi Δm = m − M = = −0,025 μm, što je u okviru nesigurnosti merenja elektronskog komparatora ±(0,05+0,5·L) μm;

— etalon graničnu planparalelnu meru od 100 mm:

u statističku obradu uzeti su svi rezultati merenja osim rezultata dve laboratorije koje su za merenje koristile komparator sa manjom rezolucijom od ostalih. U toku obrade nisu korišćeni Diksonov i Kohranov kriterijum za odbacivanje nekompatibilnih rezultata merenja (outliers/ stragglers). Dobijena je srednja vrednost odstupanja od nazivne vrednosti, m = +0,191 μm sa reproduktivnošću R=0,42 μm. Ponovljivost merenja unutar svake laboratorije iznosi r=0,31 μm. Odstupanje ovako dobijene srednje vrednosti m od stvarne vrednosti (M = +0,150 μm), izmerene na interferometru iznosi Δm=m−M=+0,041 μm, što je u okviru nesigurnosti merenja elektronskog komparatora ±(0,05+0,5·L) μm, ali vrednost dobijena za reproduktivnost, koja karakteriše rasipanje rezultata čitavog sistema laboratorija koje su učestvovale u uporednim merenjima znatno je veća od dozvoljene vrednosti (±0,1 μm za 100 mm, a dobijeno je ±0,21 μm).

— etalon-valjak prečnika 50 mm:

u statističku obradu uzeti su svi rezultati merenja. U toku obrade nisu korišćeni Diksonov i Kohranov kriterijum za odbacivanje nekompatibilnih rezultata merenja (outliers/ stragglers). Dobijena je srednja vrednost odstupanja od nazivne vrednosti za prečnik A:m = + 0,33 μm sa reproduktivnošću R=0,93 μm, a za prečnik B: m=+0,98 μm sa reproduktivnošću R=1,31 μm. Ponovljivost merenja unutar svake laboratorije iznosi r=0,21 μm za prečnik A i r=0,31 μm za prečnik B. Odstupanje ovako dobijene srednje vrednosti m od stvarne vrednosti (M=+0,15 μm), izmerene laserskim interferometrom u Zavodu, iznosi, Δm=m−M= =+0,18 μm, za prečnik A, i M=+0,49 μm, a Δm=m−M=+0,49 μm, za prečnik B.

Određivanje zavisnosti R od m

Drugi korak u analizi rezultata sedmog ciklusa uporednih merenja etalona dužine bilo je utvrđivanje funkcionalne zavisnosti između reproduktivnosti merenja R i srednje vrednosti m (za granične planparalelne mere). Polazeći od pretpostavke da je ta zavisnost linearna [3] i da se može prikazati relacijom R=a+b·m (linearna regresija), izračunate su najpre sledeće međuvrednosti:

$$Q_1 = \sum_j W_j \tag{19}$$

gde je $W_j=1/R_j^2$, a j je broj merenih vrednosti (u slučaju ovih merenja j=2, jer su merene dve vrednosti dužine od 2 mm i 100 mm);

$$Q_2 = \sum_j m_j W_j \tag{20}$$

$$Q_3 = \sum_j W_j m_j^2 \tag{21}$$

$$Q_4 = \sum_j W_j R_j \tag{22}$$

$$Q_5 = \sum_j W_j m_j R_j \tag{23}$$

Ove vrednosti korišćene su za izračunavanje parametara a i b pomoću sledećih izraza:

$$a = \frac{Q_3 Q_4 - Q_2 Q_5}{Q_1 Q_3 - Q_2^2} \tag{24}$$

$$b = \frac{Q_1 Q_5 - Q_2 Q_4}{Q_1 Q_3 - Q_2^2} \tag{25}$$

Nakon toga primenjen je postupak iteracije za podešavanje (fitovanje) vrednosti parametara a i b kako bi se dobila konačna zavisnost reproduktiv-

nosti od izmerene dužine. Ovaj postupak sastoji se u uzastopnom izračunavanju a_n i b_n pomoću izraza:

$$W_{nj} = \frac{1}{R_{nj}^2} \tag{26}$$

Na osnovu ovako dobijenih vrednosti za koeficijente a_n i b_n uspostavlja se nova funkcionalna zavisnost $R_{nj} = a_n + b_n \cdot m_i$. Ovaj postupak se završava kada se postigne odgovarajuća tačnost koeficijenata a i b, odnosno funkcionalne zavisnosti između R i m. U navedenom postupku iteracije indeks n predstavlja broj uzastopnih iteracija.

Na osnovu statističke analize uporednih merenja etalon-graničnih planparalelnih mera, i na osnovu procedure predložene u standardu ISO 5725, određena je zavisnost reproduktivnosti ovih merenja u funkciji merene vrednosti za opseg do 100 mm za celokupan sistem ovlašćenih laboratorija u SR Jugoslaviji. Dobijena je sledeća zavisnost:

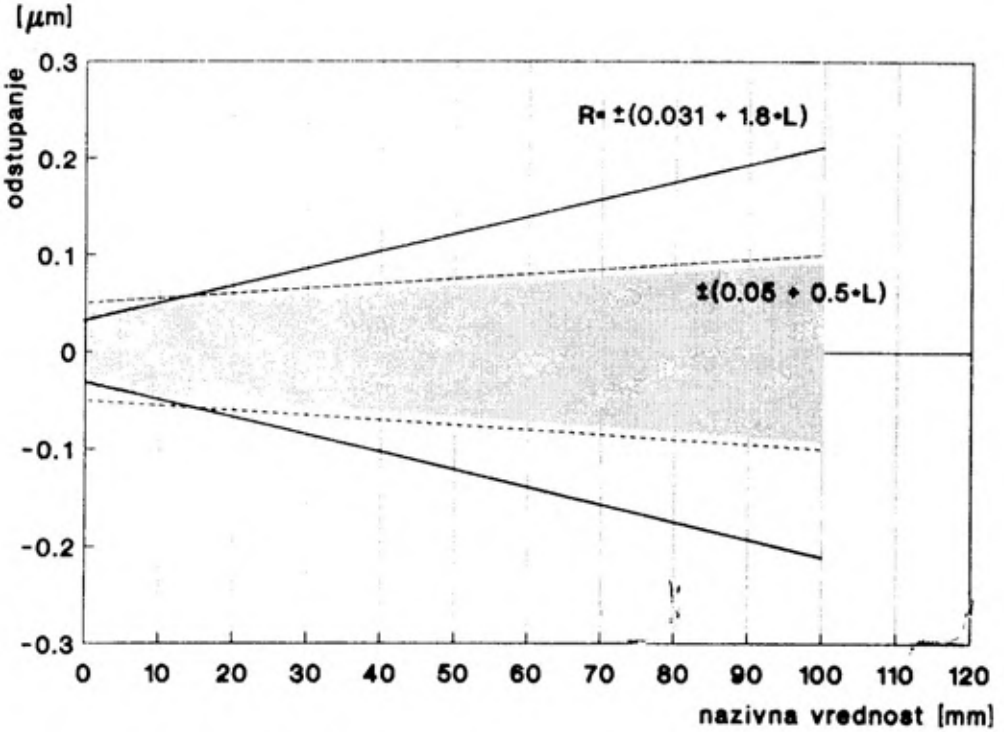
$$R = \pm\ (0{,}031 + 1{,}8 \cdot L)\ \mu m, \tag{27}$$

gde je:

L izraženo u metrima.

Na osnovu dobijene zavisnosti može se zaključiti da su merenja do 15 mm u skladu sa dozvoljenom nesigurnošću za elektronski komparator, a za merenja graničnih planparalelnih mera dužina većih od 15 mm nesigurnost merenja je veća od dozvoljene.

Na slici 6 prikazana je funkcionalna zavisnost između R i m za ceo sistem laboratorija i za opseg merenja dužine do 100 mm.



Sl. 6 — Funkcionalna zavisnost reproduktivnosti od merene dužine

Zaključak

Na osnovu rezultata uporednih merenja, mogućnosti merenja graničnih planparalelnih mera do 100 mm i spoljašnjih mera do 50 mm u SR Jugoslaviji su:

— reproduktivnost kojom se mere granične planparalelne mere do 100 mm iznosi $R = \pm(0{,}031 + 1{,}8 \cdot L)$ μm,

— reproduktivnost kojom se meri etalon-valjak od 50 mm iznosi $\pm 0{,}5$ μm.

Posebno treba istaći problem obrade i izražavanja rezultata merenja i merne nesigurnosti. Primećeno je da mnoge laboratorije neadekvatno obrađuju i tumače rezultate merenja [2], dok je izražavanje merne nesigurnosti [1] stalan problem koji se permanentno javlja u svim uporednim merenjima.

Izuzetno je izražen uticaj neadekvatno održavanih mikroklimatskih uslova, posebno temperature okoline, na kvalitet merenja. Netačnost rezultata u ovom ciklusu merenja u nekim laboratorijama prouzrokovana je lošim uslovima, nedovoljnim temperiranjem etalona i ispitivane mere, kao i neadekvatnim merenjem njihovih temperatura. Zbog toga treba naglasiti da su za ostvarenje pouzdanog i dovoljno tačnog rezultata merenja podjednako važni sledeći faktori: uslovi u laboratoriji, pravilno određena i etalonirana merna oprema i etaloni, stručnost metrologa koji obavlja merenja.

Visok nivo kvaliteta proizvoda, a posebno sredstava naoružanja i vojne opreme, uslovljen je velikim delom i razvojem metrologije, uspostavljanjem i održavanjem mernog jedinstva u metrološkom sistemu Jugoslavije. Obezbeđenjem visokog kvaliteta merenja ovaj cilj se može postići, a uporedna merenja jedan su od dobrih načina da se to ostvari.

Literatura:

[1] Živković, V., Spasić, V.: Izveštaj o uporednim merenjima ovlašćenih laboratorija na području dužina, Glasnik SZMDM, 1985/3.

[2] Živković, V., Zelenika, S.: Prikazivanje merne nesigurnosti rezultata interkomparativnih merenja etalona dužine u Jugoslaviji, Zbornik radova JUREMA 36, 3. sveska, 2.5 do 2.8, 1991.

[3] ISO 5725: Precision of test methods — Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests, ISO, 1986.

[4] Pravila uporednih merenja etalon graničnih planparalelnih mera dužine i etalon valjka u sedmom ciklusu uporednih merenja etalona dužine, Zavod interno, 1995.

[5] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993, ISO.

[6] OIML IR 30 End Standards of Length, Chapter III Verification Methods, OIML SP4/Sr1, 1990.

[7] Matsumoto, H.: Report on the Round — Robin Measurement of Gauge Blocks in 1992, Bulletin of NRLM, Vol. 42, No. 2, 169, 1993.

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

AUTOMATSKO BAŽDARENJE MIKROTALASNIH OSLABLJIVAČA

UDC: 621.373.089.6

Rezime:

Mikrotalasni oslabljivači su komponente mnogih složenih radio frekventnih i mikrotalasnih uređaja, a mogu se koristiti i samostalno pri popravkama, podešavanjima ili baždarenjima. Bez obzira na upotrebu oslabljivača, oni se moraju verifikovati u metrološkom smislu, kako bi se pouzdano utvrdilo da li su KST (koeficijent stojećeg talasa) i slabljenje oslabljivača u propisanim granicama. U ovom radu obrađena je metoda automatskog baždarenja mikrotalasnih oslabljivača čije je slabljenje do 70 dB.

Ključne reči: mikrotalasna tehnika, merenje, oslabljivač, koeficijent stojećeg talasa, slabljenje.

AUTOMATIC CALIBRATION OF MICROWAVE ATTENUATORS

Summary:

Microwave attenuators are components of many complex radio frequency and microwave devices but they can be used separately for repair, adjustement or calibration. Disregarding the usage, attenuators ought to be verified in terms of metrology in order to determine with reliability if the standing wave ratios and the attenuation of attenuators are within prescribed limits. This paper treats the method of automatic calibration of microwave attenuators with the attenuation of up to 70 dB.

Key words: microwave technique, measurement, attenuator, standing wave rations, attenuation.

Uvod

U mikrotalasnoj tehnici najvažnije je tačno izmeriti dve veličine: mikrotalasnu snagu i frekvenciju. Međutim, vrlo je važno tačno izmeriti i odnos dve veličine — mikrotalasno slabljenje. Na nižim frekvencijama slabljenje je odnos izlaznog i ulaznog napona mreže, dok je mikrotalasno slabljenje odnos ulazne i izlazne snage.

Mikrotalasni oslabljivači, kao mreže koje slabe ulaznu snagu, sastavni su delovi mnogih mikrotalasnih uređaja. S druge strane, pri raznim merenjima mikrotalasne snage, mikrotalasni oslabljivači se koriste kao samostalni (neugrađeni) mikrotalasni elementi.

Bilo da su mikrotalasni oslabljivači deo složenih sistema (generatora, prijemnika i sl.), ili se koriste samostalno, potrebno je što tačnije odrediti njihovo slabljenje i periodično ih baždariti.

U ovom radu obrađena je metoda automatskog baždarenja mikrotalasnih oslabljivača čije je slabljenje do 70 dB, a frekvencijski opseg DC do 18 GHz.

Metoda se može koristiti za baždarenje oslabljivača koji po klasifikaciji pripadaju radnim etalonima, odnosno mernim sredstvima koja podležu redovnoj verifikaciji ili pregledu.

Takođe, navedene su osnovne definicije i termini koji se koriste pri mikrotalasnom slabljenju, a koji su usklađeni sa civilnim [1] i vojnim [2] standardima, a zatim je opisan programski paket za merenje KST oslabljivača. Programski paket je modifikovana verzija paketa opisanog u [4]. Opisan je i program za merenje slabljenja fiksnih i promenljivih stepenastih oslabljivača do 30 dB, sa analizama nesigurnosti merenja, i program za merenje slabljenja oslabljivača u opsegu 30 do 70 dB.

Termini i definicije

Slabljenje je opšti iskaz koji se koristi da označi opadanje amplitude signala od jedne do druge tačke u prenosnom vodu a obično nastaje zbog disipativnih ili reflektujućih gubitaka. Slabljenje se, najčešće, izražava u decibelima (dB):

$$A = 10 \log \frac{P_{ul}}{P_{izl}} = 20 \log \frac{U_{ul}}{U_{izl}} \text{ (dB)} \qquad (1)$$

gde je:

P_{ul} — ulazna snaga,

P_{izl} — izlazna snaga,

U_{ul} — ulazni napon,

U_{izl} — izlazni napon.

Oslabljivač je pod idealnim uslovima linearna dvopriključna mreža koja slabi snagu na izlaznom priključku u odnosu na snagu koja se dovodi na ulazni priključak.

Uneto slabljenje je odnos snage koju apsorbuje opterećenje vezano direktno na izvor, i snage koju apsorbuje kada je vezan neki uređaj između istog izvora i istog opterećenja.

Karakteristično uneto slabljenje je slabljenje uneseno u prenosni sistem koji je prilagođen i prema izvoru i prema opterećenju (potrošaču).

Karakteristično promenljivo uneto slabljenje je promena karakterističnog unesenog slabljenja promenljivog oslabljivača između dve postavljene vrednosti.

Karakteristično preostalo uneto slabljenje je slabljenje promenljivog oslabljivača kada je postavljen na naznačenu minimalnu vrednost slabljenja.

Slabljenje refleksije na spoju voda i impedanse je odnos reflektovanog i direktnog talasa izražen u dB. Slabljenje refleksije je mera nejednakosti dve impedanse (Z_1 i Z_2) i jednako je modulu recipročne vrednosti koeficijenta refleksije:

$$S.R. = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_1+Z_2}{Z_1-Z_2} \right| \qquad (2)$$

Koeficijent refleksije voda Γ je odnos kompleksnog broja koji predstavlja fazu i amplitudu vektora električnog reflektovanog talasa *b* prema kompleksnom broju koji predstavlja fazu i amplitudu vektora električnog incidentnog talasa *a* u nekoj tački voda:

$$\Gamma = \frac{b}{a} = \rho \angle \phi \qquad (3)$$

Koeficijent refleksije izvora u sistemu Z_o je:

$$\Gamma_g = \frac{Z_g - Z_o}{Z_g + Z_o} \qquad (4)$$

Koeficijent refleksije opterećenja je:

$$\Gamma_{op} = \frac{Z_{op} - Z_o}{Z_{op} + Z_o} \qquad (5)$$

gde su:

Z_g i Z_{op} — ulazne impendanse izvora i opterećenja, respektivno.

Naponski koeficijent stojećeg talasa (NKST) jeste odnos amplituda napona koje odgovaraju maksimumu i minimumu stojećeg talasa. Koeficijent stojećeg talasa u homogenom vodu je:

$$NKST = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \qquad (6)$$

Reflektometar je merni uređaj koji meri odnos amplitude reflektovanog talasa i odgovarajuće amplitude direktnog talasa u sredini prostiranja.

Prilagođenost na vod ili talasovod je uslov da je impedansa opterećenja vezanog za vod ili talasovod jednaka karakterističnoj impendansi voda ili talasovoda (za prilagođenost).

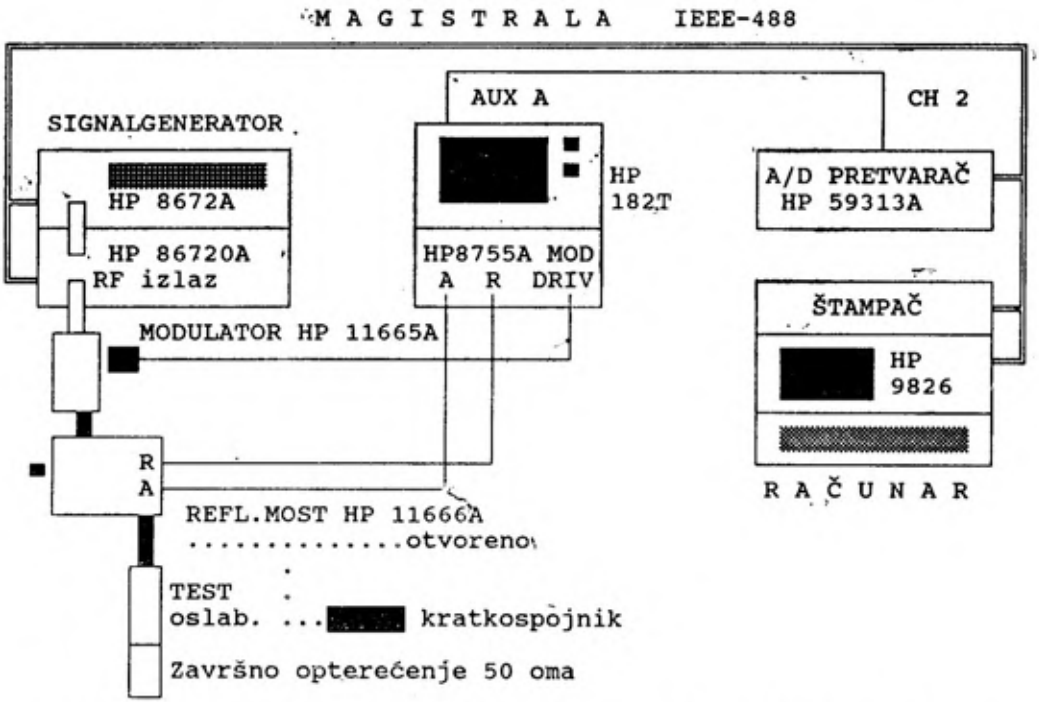
Neprilagođenost na vod ili talasovod je uslov da impedansa opterećenja ne prilagođava impedansu priključka izvora na koji je opterećenje vezano.

Merenje promenljivih i fiksnih oslabljivača

KST jednog kraja fiksnih oslabljivača određuje se uz pomoć programa KSTFIX, dok se koeficijenti refleksije oba kraja promenljivih stepenastih oslabljivača određuju pomoću programa KROSLKOR. KST, odnosno koeficijent refleksije, određuje se reflektometarskom metodom a osnovni etalon koji se koristi pri merenju je reflektometarski most HP 11666A.

Povezivanje mernih instrumenata za automatsko određivanje KST-a, odnosno koeficijenta refleksije, prikazano je na slici 1.

Programi su napisani u tehničkom BASIC-u, izvršavaju se na računaru



Sl. 1 — Šema povezivanja mernih instrumenata za automatsko merenje KST

HP 9826, a rezultati se štampaju na štampaču HP 82906.

Na analizatoru prebrisavajuće amplitude HP 8755B aktiviran je prekidač dB/DIV=5, što znači da se na analognom izlazu AUX A displeja HP 182T javlja napon, tako da važi relacija 0,1 V = 1 dB što se koristi u programima. Kanal 2 (CH2) A/D pretvarača HP 59313A podešen je na maksimalnu vrednost 2,5 V ulaza što odgovara broju 1023. Formula za A/D pretvaranje koja se koristi u programu je:

$$U = K \cdot N \tag{7}$$

$$K = \frac{\text{Ulazni puni opseg}}{\text{Izlazni puni opseg}} = \frac{2{,}5}{1023} \tag{8}$$

gde je:

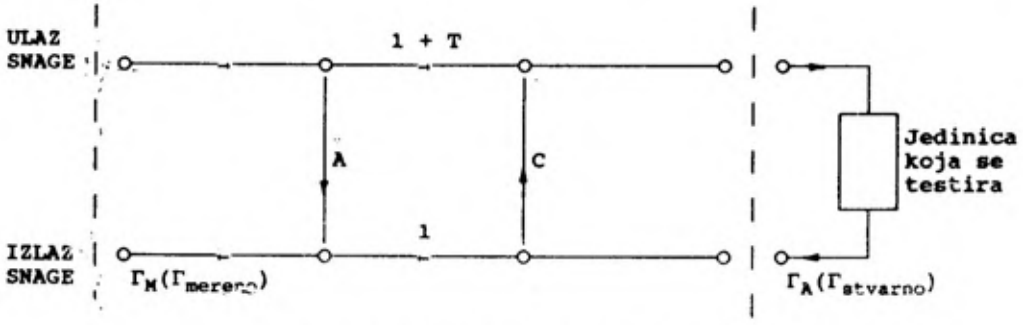
U — proračunati napon iz digitalnog oblika K izlaza A/D pretvarača.

Programima se prvo očitavaju vrednosti usmerenosti i ekvivalentnog koeficijenta refleksije reflektometarskog mosta koje su prethodno unete u posebne datoteke na disketi. Ove veličine se kasnije koriste za računanje nesigurnosti određivanja koeficijenta refleksije.

Automatizovano merenje se prvo izvodi za otvoren, a zatim kratko spojen TEST terminal reflektometarskog mosta. Nivo izlaznog signala iz signal-generatora održava se na + 10 dBm, a izabrane frekvencije su 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz i 1 do 18 GHz u koracima od po 1 GHz. Nakon ovog kalibracionog merenja vrše se merenja testirajućim oslabljivačima. Prethodno se REFERENCE LEVEL, na kanalu 1 analizatora prebrisavajuće amplitude HP 8755B, postavlja na −20 dBm, što programi uzimaju u obzir. Zatim se upisuje granična frekvencija rada oslabljivača, a KST se određuje do te frekvencije. Nakon izvršenog merenja u programu KSTFIX se iz koeficijenta refleksije računa KST. Koeficijent refleksije se određuje iz gubitaka refleksije. Takođe, računa se i nesigurnost određivanja koeficijenta refleksije. Zbirovi koeficijenta refleksije i nesigurnosti određivanja koeficijenta refleksije upisuju se u datoteke AJ i BE, a ovi podaci se kasnije koriste pri računanju nesigurnosti određivanja slabljenja.

Navedeni postupak se ponavlja a moguće je odrediti KST za 20 oslabljivača, ako je prethodno samo jednom izvršeno kalibraciono merenje (otvoren/kratkospojen TEST terminal reflektometarskog mosta).

Merenje KST je potrebno vršiti za oba kraja oslabljivača. Ako je na TEST terminalu reflektometarskog mosta muški N-konektor, a oba kraja oslabljivača imaju ženske N-konektore (što je uglavnom slučaj sa promenljivim stepenastim oslabljivačima), merenje je jednostavno. Nakon kalibracionog me-



Sl. 2 — Prenošenje mikrotalasne snage u reflektometarskom sistemu

renja vrši se merenje KST jednog, a odmah zatim drugog kraja oslabljivača. Međutim, ako jedan kraj oslabljivača ima ženski, a drugi muški N-konektor, merenje je složenije. Nakon određivanja KST kraja oslabljivača sa ženskim N-konektorom, potrebno je na TEST terminalu reflektometarskog mosta zameniti konektor: umesto muškog stavlja se ženski N-konektor.

Sada se mora ponoviti kalibracio-no merenje, a zatim se određuje KST onog kraja oslabljivača sa muškim N--konektorom.

Da bi se odredila nesigurnost merenja koeficijenta refleksije, razmatra se šematski prikaz bilo kog reflektometra koji je prikazan na slici 2.

Korišćene su sledeće oznake:

A — snaga koja direktno teče sa ulaza na izlaz sistema preko kojeg se vrši testiranje, nezavisno od uređaja koji se testira,

T — faktor skaliranja sistema,

C — prilagođenost izvora odnosno ekvivalentna refleksija posmatrano sa izlaza reflektometra.

Koristeći Masonov zakon [6] sledi da je:

$$\Gamma_m = A + \frac{(1+T)\cdot\Gamma_A}{1-C\cdot\Gamma_A} \qquad (9)$$

U prethodnom izrazu sve veličine su kompleksni brojevi. Ako se zanemari uticaj faze, proračuna maksimalna moguća greška i uprosti izraz (9), kako je to detaljno pokazano u [4], dobija se:

$$\Delta\rho = A + B\rho + C\rho^2;\ B = (A+C) \qquad (10)$$

gde je:

ρ — skalarni ekvivalent koeficijenta refleksije.

Iz izraza (10) drugi sabirak se može brisati, jer je B=0 kada se vrši kalibracija reflektometarskog mosta, tako što se referentni nivo određuje kao aritmetička sredina merenja otvorenog i kratkospojenog TEST terminala reflektometra.

Tabela 1

Rezultati merenja KST fiksnog oslabljivača WE AS5, 3 dB

Koeficijent refleksije i KST oslabljivača Serijski broj: AS5-2101	Model AS-5/3 Datum:		
Dozvoljene max. vrednosti KST			
od: 0,00 GHz do: 4,00 GHz KST ≤ 1,1500			
od: 4,00 GHz do: 8,00 GHz KST ≤ 1,2000			
od: 8,00 GHz do: 12,40 GHz KST ≤ 1,2500			
F (GHz)	$K_{Ref.}$	$\Delta K_{Ref.}$	KST
0,04	0,02502	0,03524	1,05132
0,05	0,02251	0,03404	1,04606
0,10	0,01926	0,03371	1,03927
0,50	0,01945	0,03370	1,03967
1,00	0,01997	0,03382	1,04076
2,00	0,02057	0,03395	1,04201
3,00	0,02081	0,03399	1,04250
4,00	0,02251	0,03447	1,04606
5,00	0,04485	0,03722	1,09391
6,00	0,06907	0,04049	1,14840
7,00	0,08364	0,04297	1,18255
8,00	0,02134	0,03467	1,04361
9,00	0,03678	0,03631	1,07637
10,00	0,04646	0,03742	1,09744
11,00	0,06429	0,03928	1,13742
12,00	0,01891	0,03389	1,03854
12,40	0,02796	0,03518	1,05752

Napomena:

$K_{Ref.}$ — koeficijent refleksije oslabljivača,

$\Delta K_{Ref.}$ — nesigurnost određivanja KRef oslabljivača,

KST — koeficijent stojećeg talasa oslabljivača

U programima KSTFIX i KROSLKOR postavljeno je A=Dr/T, što je ekvivalentna usmerenost reflektometarskog mosta, a $C=\rho_c+|TDi|$ što je ekvivalentni koeficijent refleksije reflektometarskog mosta. Na vrednost $\Delta\rho$ C malo utiče, jer se množi sa ρ^2.

Rezultati merenja KST fiksnog oslabljivača WE AS5, 3 dB dati su u

tabeli 1. U prvoj koloni se štampa frekvencija u GHz, u drugoj koloni je mereni koeficijent refleksije, u trećoj je proračunata nesigurnost merenja koeficijenta refleksije prema formuli (10), a u četvrtoj KST izračunat iz koeficijenta refleksije. U zaglavlju rezultata merenja date su dozvoljene maksimalne vrednosti KST za dati oslabljivač. U navedenom primeru mereno je KST na kraju oslabljivača sa muškim N konektorom.

Merenje slabljenja za jednosmerni ulazni napon

Slabljenje oslabljivača za jednosmerni ulazni napon meri se uređajima povezanim prema blok-šemi prikazanoj na slici 3.

Slabljenje se računa po formuli:

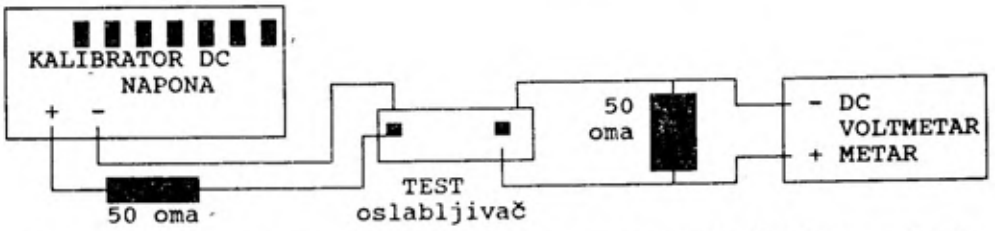
$$A(dB) = 20 \log \frac{A_{ul}}{A_{izl}} \qquad (11)$$

Za promenljivi koračni oslabljivač meri se karakteristično preostalo uneto slabljenje na svakom koraku za ulazni jednosmerni napon.

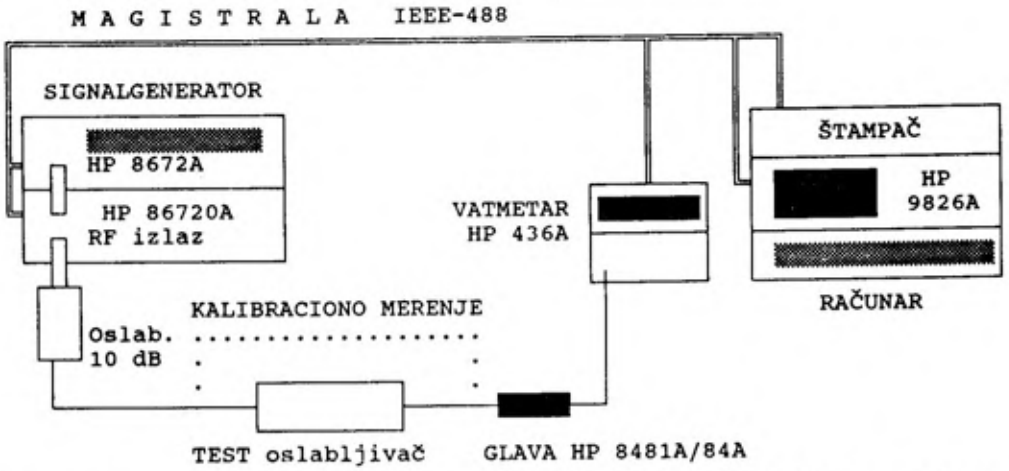
Merenje slabljenja oslabljivača 0 do 30 dB

Slabljenje oslabljivača 0 do 30 dB u frekvencijskom opsegu 50 MHz do gornje granice frekvencije ($f_g \leqslant 18$ GHz) meri se prema blok-šemi prikazanoj na slici 4.

Upravljanje mernim sredstvima prikazanim na slici 4 vrši se pomoću



Sl. 3 — Šema povezivanja mernih instrumenata za merenje slabljenja za jednosmerni ulazni napon



Sl. 4 — Šema povezivanja mernih instrumenata za merenje slabljenja u opsegu 0 do 30 dB

programa SLBFIX i SLBKOR, u zavisnosti od toga da li je oslabljivač koji se verifikuje fiksni ili promenljivi — koračni.

U oba slučaja prvo se vrši kalibraciono merenje, odnosno meri se snaga na izlazu signal-generatora HP 8672A + HP 86720A preko pomoćnog oslabljivača 10 dB. Snaga se meri na frekvencijama 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz, a zatim u koracima od po 1 GHz do 18 GHz. Posebno kalibraciono merenje izvodi se i na frekvenciji 12,4 GHz. Na frekvencijama do 10 GHz programirana je izlazna snaga generatora +13 dBm, a od 50 MHz do 18 GHz izlazna snaga je programirana na +11 dBm, kako bi se izbegla nestabilnost na višim frekvencijama. U procesu kalibracije koristi se termopretvarača koaksijalna glava 8481A.

Nakon izvršenog kalibracionog merenja vrše se merenja testirajućim oslabljivačem, a daljnji postupak se razlikuje za fiksne i koračne oslabljivače.

Za fiksni test-oslabljivač preko računara se uvodi gornja granična frekvencija. Merenja se obavljaju na frekvencijama i sa nivoima snage kao i kod kalibracionog merenja, s tim što se ide do gornje granične frekvencije, a ne do 18 GHz. S obzirom na to da je izlazna snaga iz signal-generatora preko pomoćnog oslabljivača (10 dB) + 3 dBm, odnosno +1 dBm, za merenje slabljenja fiksnih oslabljivača do 30 dB koristi se glava 8481A. Slabljenje test-oslabljivača dobije se kao razlika merenja snage pri kalibraciji i merenja snage sa test-oslabljivačem. U računar se unose podaci o modelu i serijskom broju oslabljivača, datumu baždarenja i nominalnom slabljenju. Za svaku zadatu frekvenciju računa se apsolutna greška slabljenja oslabljivača, kao razlika nominalnog i izmerenog slabljenja. Takođe računa se nesigurnost određivanja slabljenja, pa je potrebno iz datoteka AJ i BE učitati koeficijente refleksije i neodređenosti merenja koeficijenta refleksije test-oslabljivača. Odštampani rezultati merenja slabljenja sadrže četiri kolone: frekvenciju u GHz, izmereno slabljenje u dB, nesigurnost određivanja slabljenja u dB i grešku slabljenja oslabljivača u dB.

Nakon testiranja prvog test-oslabljivača, meri se drugim, trećim, itd. Za sva ova merenja koristi se samo jedno, početno, kalibraciono merenje.

Rezultati merenja slabljenja fiksnog oslabljivača WE AS5, 3 dB prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2

Rezultati merenja slabljenja fiksnog oslabljivača WE AS5, 3 dB

Određivanje slabljenja oslabljivača — Model AS-5/3
Serijski broj: AS5-2101 — Datum:

Dozvoljene maksimalne greške slabljenja
od: 0,00 GHz do: 12,40 GHz;
Greška slabljenja: ±0,30 dB

F (GHz)	Slab. (dB)	Nes. Sl. (dB)	Gr. Sl. (dB)
0,05	2,7600	0,1291	−0,2400
0,10	2,7700	0,1169	−0,2300
0,50	2,8100	0,1173	−0,1900
1,00	2,8300	0,1510	−0,1700
2,00	2,8700	0,1153	−0,1300
3,00	2,8500	0,1228	−0,1500
4,00	2,9200	0,1266	−0,0800
5,00	2,9500	0,2096	−0,0500
6,00	2,9600	0,2324	−0,0400
7,00	3,0000	0,2646	0,0000
8,00	3,0500	0,1265	0,0500
9,00	3,0700	0,1741	0,0700
10,00	3,1300	0,1850	0,1300
11,00	3,1200	0,2181	0,1200
12,00	3,1400	0,1184	0,1400
12,40	3,1200	0,0759	0,1200

Napomena:

Slab. (dB) — izmereno slabljenje oslabljivača,

Nes. Sl. (dB) — nesigurnost određivanja slabljenja,

Gr. Sl. (dB) — greška (NOMINALNO slabljenje — IZMERENO slabljenje).

Merenje slabljenja navedenog oslabljivača izvršeno je i kalibratorom oslabljivača AILT PRD 915B. To je sekundarni etalon za merenje mikrotalasnog slabljenja i njegova greška merenja iznosi 0,03 dB/10 dB do 70 dB na frekvenciji 30 MHz.

Rezultati merenja slabljenja oslabljivača WE AS5, 3 dB kalibratorom oslabljivača AILT PRD 915B dati su u tabeli 3. Upoređujući rezultate merenja iz tabela 2 i 3, vidi se visoka podudarnost rezultata. Najveća razlika merenja slabljenja, koristeći obe metode, iznosi 0,04 dB.

Za stepenaste oslabljivače (program SLBKOR) kalibraciono merenje je isto kao u prethodnom slučaju, a zatim se meri slabljenje za pojedine korake. Prvo se određuje karakteristično preostalo uneto slabljenje koje se izračunava po formuli:

$$A_{kpu}(dB) = m + n \cdot f \qquad (12)$$

gde je f data u GHz. Vrednosti m i n su za razne modele koračnih oslabljivača različite:

— za 8494 A/B/G/H: m=0,6; n=0,09

— za 8495 A/B/G/H: m=0,4; n=0,07

— za 8496 A/B/G/H: m=0,6; n=0,09

Nakon računanja u programu se štampaju rezultati za uneto karakteristično preostalo slabljenje: frekvencija merenja (GHz), preostalo uneto karakteristično slabljenje (dB), nesigurnost određivanja preostalog karakterističnog unetog slabljenja (dB), maksimalno dozvoljeno uneto karakteristično preostalo slabljenje (dB) i greška unetog karakterističnog slabljenja (dB) kao razlika izmerenog i dozvoljenog karakterističnog preostalog slabljenja (dB).

Zatim se vrše merenja na svakom koraku koračnog oslabljivača, u frekvencijskom opsegu 50 MHz do gornje

Tabela 3

Rezultati merenja slabljenja oslabljivača WE AS5, 3 dB kalibratorom AILT PRD 915B

F (MHz)	Ref. slabljenje na PRD (dB)	Slabljenje sa test-oslabljivačem (dB)	Slabljenje test-oslabljivača (dB)	Greška (dB)
0,05	29,42	32,18	2,76	−0,24
0,1	29,62	32,38	2,76	−0,24
0,5	31,33	34,12	2,79	−0,21
1,0	15,74	18,55	2,81	−0,19
2,0	13,86	16,71	2,85	−0,15
3,0	13,75	16,61	2,86	−0,14
4,0	12,95	15,84	2,89	−0,11
5,0	13,38	16,29	2,91	−0,09
6,0	14,49	17,44	2,95	−0,05
7,0	17,60	20,59	2,99	−0,01
8,0	17,14	20,15	3,01	0,01
9,0	18,50	21,55	3,05	0,05
10,0	19,45	22,54	3,09	0,09
11,0	19,73	22,84	3,11	0,11
12,0	18,93	22,07	3,14	0,14
12,4	20,23	23,39	3,16	0,16

granične frekvencije, i upisuju se dozvoljene greške slabljenja. U odštampanom listingu date su frekvencije u GHz, izmereno slabljenje u dB, nesigurnost određivanja slabljenja u dB, zbir nominalnog slabljenja i karakterističnog unetog preostalog slabljenja u dB, kao i greška slabljenja kao razlika izmerenog slabljenja i upravo navedenog zbira slabljenja. Navedena merenja i računanja vrše se za svaki korak koračnog oslabljivača.

Greške određivanja slabljenja mikrotalasnih oslabljivača

Tačnost merenja slabljenja oslabljivača određena je preko tri izvora nesigurnosti:

— nesigurnosti merne instrumentacije, odnosno vat-metra 436 A,

— šuma koji se javlja uz signale niskog nivoa, kada se mere velika slabljenja,

— nesigurnosti zbog neprilagođenosti koja je uslovljena re-refleksijom duž mernih komponenata i oslabljivača koji se testira,

— slučajne greške.

Izračunavanje nesigurnosti koje se javljaju u mernom sistemu mogu da se izvrše metodom najgoreg slučaja ili metodom kvadratnog korena iz sume kvadrata.

Metoda najgoreg slučaja nesigurnosti za bilo koji merni sistem predstavlja takav zbir grešaka da daju najveći mogući rezultat. S obzirom na malu verovatnoću da će se maksimalni moduli nesigurnosti u datom momentu poklopiti i po smeru, ovaj metod je izrazito pesimistički.

Metod korena iz zbira kvadrata (RSS) jeste realističniji, jer se zasniva na činjenici da je većina grešaka koje se javljaju pri merenju mikrotalasne snage i slabljenja međusobno nezavisna. S obzirom da su ove greške međusobno nezavisne (mada su sistematske, a ne slučajne), mogu se uvažiti kao slučajne varijable. Ukupna nesigurnost se izračunava tako što se pojedine vrednosti nesigurnosti kvadriraju, zatim se kvadrati sabiraju i vadi kvadratni koren.

Nesigurnost merenja vat-metrom 436A

Nesigurnost merenja vat-metrom pri određivanju slabljenja oslabljivača vrlo je mala, jer on sa glavom 8481A/ /8484A vrši relativna merenja. To znači da merenje predstavlja odnos dva očitavanja sa istog vat-metra tako da se nesigurnost faktora baždarenja i nesigurnost referentnog oscilatora snage javljaju i u brojiocu i u imeniocu na isti način, pa se učinci ovih nesigurnosti poništavaju.

Nesigurnost zbog postavljanja i prenosa nule, ako se poštuje procedura postavljanja nule, može se u merenjima slabljenja zanemariti.

Instrumentaciona nesigurnost vat-metra podrazumeva greške linearnosti i tačnost prelaska iz opsega u opseg. Tačnost vat-metra 436A za relativna merenja je ±0,02 dB unutar jednog opsega i ±0,02 dB za različite opsege. S obzirom na to da se vrše dva merenja (kalibraciono i sa test-oslabljivačem) javljaju se četiri nesigurnosti ±0,02 dB. Prema tome, najgori slučaj nesigurnosti je ±0,08 dB, dok je RSS nesigurnost instrumentacije vat-metra ±0,04 dB.

Postoji još jedan izvor grešaka kod vat-metra a to je vreme odziva analognih kola. Moguće je da pri očitavanju snage vat-metar, zbog tromosti analognih kola, pokaže 99% konačne vrednosti, odnosno za dva merenja (kalibraciono i sa test oslabljivačem) javi se nesigurnost od ±2% (±0,09 dB) u najgorem slučaju. U slučaju RSS nesigurnost je ± 1,41% (±0,06364 dB), što je verovatnija vrednost koja se u programima koristi.

Uticaj šuma na tačnost merenja slabljenja

Uticaj šuma na merenja slabljenja ispod 50 dB je zanemarljiv, uticaj šuma na tačnost merenja slabljenja 50 dB do 60 dB je mali, a uticaj šuma na merenja slabljenja većih od 60 dB značajan. Zbog toga je u programima za merenje slabljenja do 30 dB zanemaren uticaj šuma.

Nesigurnost zbog neprilagođenosti

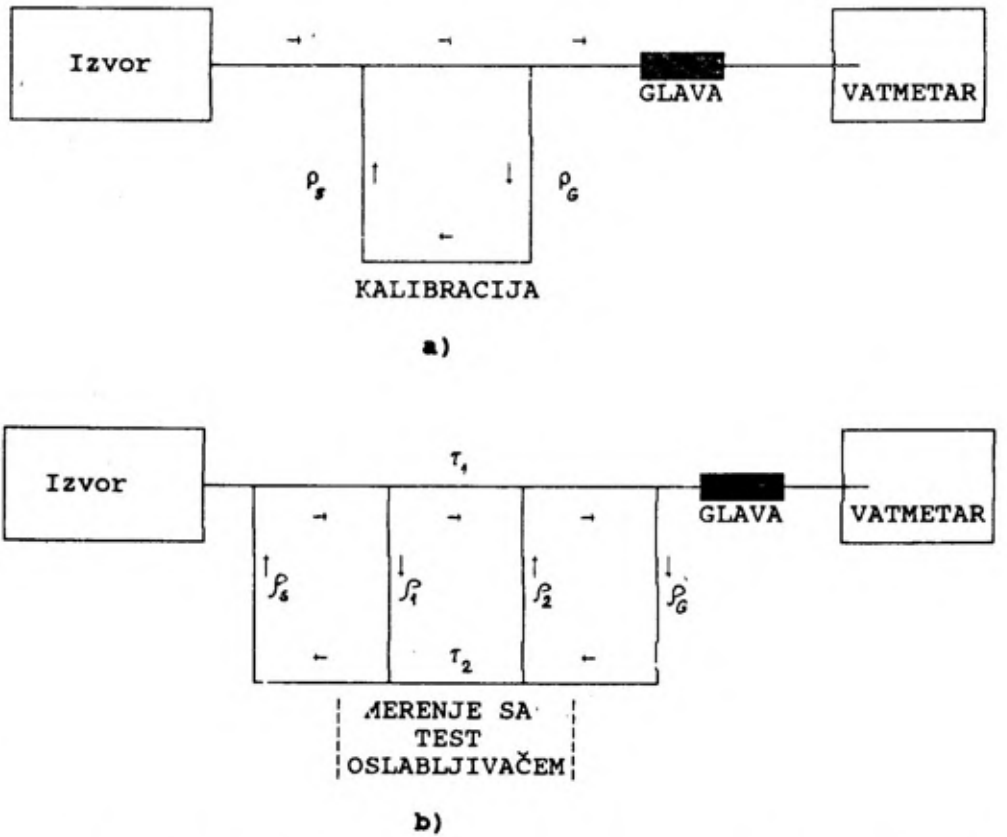
Najznačajnija nesigurnost pri merenju slabljenja nastaje zbog neprilagođenosti. Ova nesigurnost nastaje jer re-refleksije menjaju incidentne talase, tako da su oni različiti od onih kakvi bi trebalo da budu za nereflektujuće (»nula« reflektujuće) oslabljivače, generatore i glave za vat-metre.

Najgori slučaj nesigurnosti zbog neprilagođenosti pri merenju slabljenja biće izveden uz pomoć slike 5 gde je:

ρ_s i ρ_g — koeficijent refleksije generatora i glave, respektivno,

ρ_1 i ρ_2 — ulazni i izlazni koeficijent refleksije test-oslabljivača,

τ_1 i τ_2 — koeficijenti prenosa (slabljenja) test-oslabljivača u oba smera.



Sl. 5 — Prenošenje mikrotalasne snage od izvora do merne glave preko oslabljivača

Koristeći Masonov zakon [6] nesigurnost zbog neprilagođenja pri merenju koeficijenta prenosa τ_1 (smer napred) je:

$$M_u = \frac{1 \pm \rho_s \rho_g}{(1 \pm \rho_s \rho_1)(1 \pm \rho_2 \rho_g) + (\rho_s \tau_1 \tau_2 \rho_g)} \quad (13)$$

U slučaju kada je $\tau_1 \tau_2 > 10$ dB, izraz $(\rho_s \tau_1 \tau_2 \rho_g)$ može se zanemariti. Relacija (13), ukoliko se nesigurnost izražava u (dB), može se napisati kao:

$$M_u = 20 \log \frac{1 \pm \rho_s \rho_g}{(1 \pm \rho_s \rho_1)(1 \pm \rho_2 \rho_g) \pm (\rho_s \tau_1 \tau_2 \rho_g)} \quad (14)$$

U računanjima je najčešće $\tau_1 = \tau_2$ i $\rho_1 = \rho_2$. RSS nesigurnost zbog neprilagođenja računa se na sledeći način:

$$M_{RSS} = 20 \log [1 + \sqrt{\rho_g^2 \rho_s^2 + \rho_g^2 \rho_2^2 + \rho_s^2 \rho_1^2 + \rho_g^2 \rho_s^2 \tau_1^2 \tau_2^2}] \quad (15)$$

Da bi se smanjio koeficijent refleksije generatora ρ_g između generatora i glave (pri kalibracionom merenju), odnosno generatora i oslabljivača koji se testira, umeće se pomoćni oslabljivač. Ekvivalentni koeficijent refleksije generatora se bitno smanjuje i iznosi:

$$\rho_{se} = \rho_{1p} + \frac{\tau_{1p} \cdot \tau_{2p} \cdot \rho_s}{1 - \rho_{2p} \cdot \rho_s} \quad (16)$$

gde je:

ρ_{1p}, ρ_{2p} — ulazni i izlazni koeficijent refleksije pomoćnog oslabljivača,

τ_{1p}, τ_{2p} — slabljenje pomoćnog oslabljivača u oba smera,

ρ_s — koeficijent refleksije generatora.

Ukoliko se koristi oslabljivač od 20 dB, uticaj koeficijenta refleksije izvora smanjuje se za 100 puta. U merenjima se koristio pomoćni oslabljivač 10 dB, WE 23-10. Maksimalni dozvoljeni koeficijenti refleksije, za oba kraja ovog oslabljivača, jesu:

DC do 4 GHz; $\rho_{1p} = \rho_{2p} = 0{,}0698$

4,0 do 8,0 GHz; $\rho_{1p} = \rho_{2p} = 0{,}09091$

8,0 do 12,4 GHz; $\rho_{1p} = \rho_{2p} = 0{,}1111$

12,4 do 18 GHz; $\rho_{1p} = \rho_{2p} = 0{,}1667$ (17)

Maksimalni dozvoljeni koeficijent refleksije generatora HP 8672A je $\rho_s = 0{,}432$. Koristeći izraz (10) dobijaju se sledeće vrednosti za ekvivalentni koeficijent refleksije generatora HP 8672A:

DC do 4 GHz; $\rho_{se} = 0{,}11424$

4,0 do 8,0 GHz; $\rho_{se} = 0{,}23308$

8,0 do 12,4 GHz; $\rho_{se} = 0{,}2544$ (18)

12,4 do 18 GHz; $\rho_{se} = 0{,}3139$

Realno ove vrednosti su još manje, jer su stvarne vrednosti koeficijenta refleksije oslabljivača i generatora gotovo uvek manje od maksimalno dozvoljenih. Ove vrednosti programski su unete u jednačinu (15) na mesto ρ_s, dok je izraz $\rho_g^2 \rho_s^2 \tau_1^2 \tau_2^2$ u slučajevima $\tau_1 \times \tau_2 > 10$ dB, zanemaren.

Proširenje mernog opsega do 70 dB

Opisana tehnika omogućava merenje slabljenja do 30 dB. Koristeći visoku osetljivost diodne glave HP 8484A, napisan je programski paket SLB70 kojim se upravlja automatskim merenjem slabljenja do 70 dB. Povezivanje mernih sredstava prikazano je na slici 6.

U procesu kalibracije izlazna snaga signal-generatora postavljena je na −16 dBm. Pošto je uneto slabljenje razdelnika snage WE 1870A-6 dB, na glave HP 8484A i HP 8481A dolazi snaga −22 dBm. Programski se menja frekvencija na signal-generatoru (50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz, a zatim sa korakom od 1 GHz do granične

frekvencije oslabljivača). Za svaku radnu frekvenciju meri se snaga koja dolazi na glave HP 8484A i HP 8481A sa razdelnika snage. Snage očitane sa vat-metara označavaju se sa P_1 i P_2, saglasno obeležavanju vat-metara na slici 5.

Vrednosti snaga skladište se u posebne matrice rezervisane u memoriji računara.

Nakon toga između razdelnika snage i diodne glave HP 8484A, umeće se oslabljivač koji se baždari, a čije je slabljenje u dijapazonu od 30 dB do 70 dB. Izlazna snaga signal-generatora postavlja se na +10 dBm. Ukoliko je nominalna vrednost slabljenja testiranog oslabljivača 30 dB, uzimajući u obzir slabljenje razdelnika snage, na diodnu glavu dolazi snaga od −26 dBm. Ako testirajući oslabljivač ima slabljenje 70 dB, na diodnu glavu dolazi snaga od −66 dBm. Programski se na signal-generatoru postavljaju iste frekvencije kao i u procesu kalibracije. U posebnim matricama u memoriji računara registruju se izmerene snage na vat-metru sa diodnom glavom HP 8484A i na vat-metru sa termopretvaračkom glavom HP 8481A kao P_1' i P_2', respektivno.

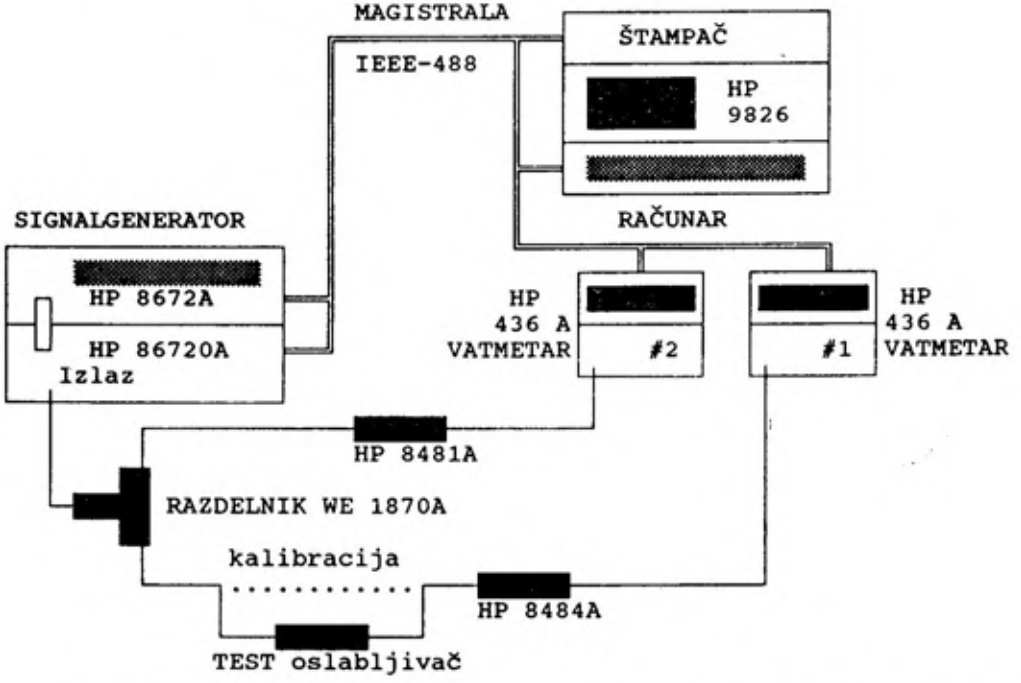
Treba istaći da promena veličina izlazne snage signal-generatora pri kalibracionom i test-merenju nema uticaja na tačnost merenja, jer obe grane razdelnika snage »vide« istu promenu snage.

Slabljenje baždarenog oslabljivača računa se po formuli:

$$A = (P_1 - P_2) - (P_1' - P_2') \qquad (19)$$

Za oslabljivač koji radi u frekvencijskom opsegu DC do 18 GHz slabljenje se meri u 21. tački.

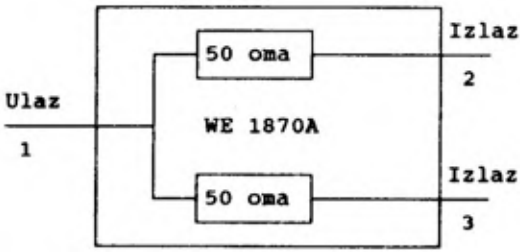
U merenju se ne koristi pomoćni oslabljivač za smanjenje koeficijenta refleksije izvora (signal-generatora), ali zato korištenje dvootporničkog razdel-



Sl. 6 — Šema povezivanja mernih instrumenata za merenje slabljenja u opsegu 30 do 70 dB

nika snage WE 1870A bitno smanjuje KST izvora, pa je tipična tačnost merenja slabljenja bolja od $\pm 0{,}2$ dB.

Razdelnik snage WE 1870A prikazan je na slici 7.



Sl. 7 — Grafički prikaz razdelnika snage WE 1870 A

Kada se koristi ovaj razdelnik snage efektivni koeficijent refleksije (odnosno efektivno prilagođenje na izvor) jednak je za obe izlazne grane razdelnika i iznosi:

$$\Gamma_s = S_{22} - S_{21} \cdot \frac{S_{32}}{S_{31}} = S_{33} - S_{31} \cdot \frac{S_{23}}{S_{21}} \tag{20}$$

gde je:

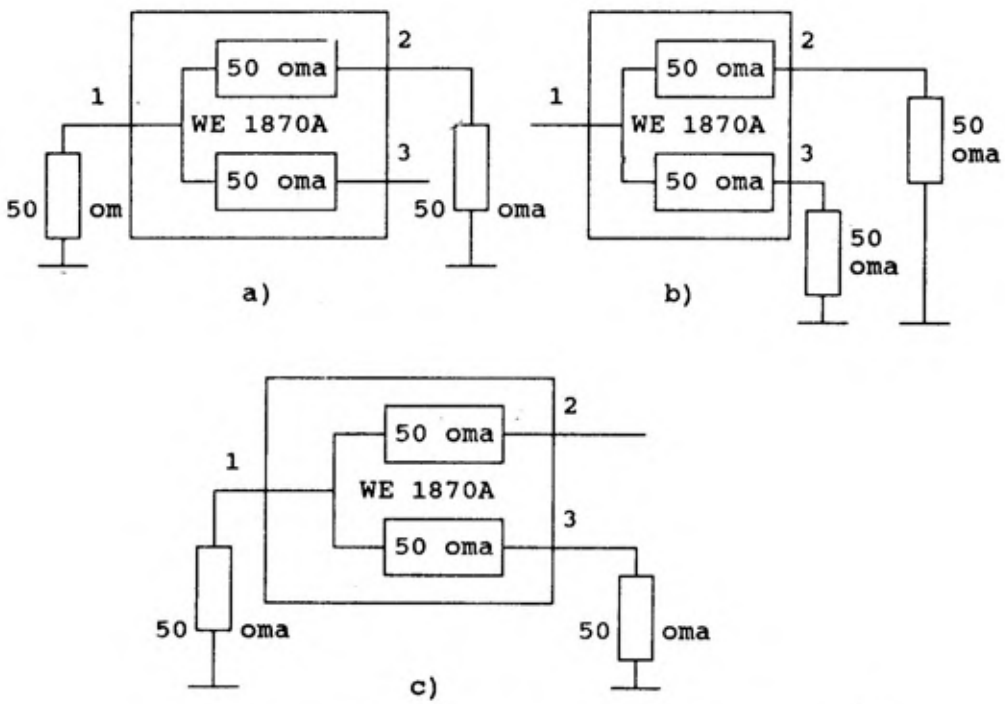
S_{22}, S_{33} — koeficijenti refleksije izlaznih grana razdelnika,

S_{21}, S_{31} — sprega ulaz-izlaz razdelnika,

S_{23}, S_{32} — izolovanost (»preslušavanje«) izlaznih grana,

S_{23}/S_{21}, S_{32}/S_{31} — usmerenost (analogija sa usmerenim sprežnjakom).

Pomoću slike 8 proračunavaju se S-parametri razdelnika.



Sl. 8 — Proračun S-parametara razdelnika snage

Prema slici 8a) sledi da je ($S_{33}=S_{22}$):

$$R = 50 + \frac{50 \cdot 100}{50+100} = 83{,}33\ \Omega \quad (21)$$

$$S_{22} = S_{33} = \frac{R - Z_0}{R + Z_0} = \frac{33{,}33}{133{,}33} = 0{,}25 \quad (22)$$

Sa slike 8b) je:

$$S_{21} = S_{31} = 0{,}5 \quad (23)$$

Sa slike 8c) je:

$$S_{23} = S_{32} = 0{,}25 \quad (24)$$

Zamenjujući dobijene vrednosti S-parametara u formulu (20) dobija se:

$$\Gamma_s = 0{,}25 - 0{,}5 \cdot \frac{0{,}25}{0{,}5} = 0 \quad (25)$$

U idealnom slučaju dobija se da je ekvivalentni koeficijent refleksije izvora, posmatrajući sa izlaznih grana razdelnika snage, jednak nuli. To je i jasno ako se uzme u obzir da su svi elementi razdelnika otpornosti, i da su fazni uglovi koeficijenta refleksije jednaki nuli.

U realnim uslovima ekvivalentni KST izvora, posmatrano sa izlaznih grana razdelnika, je (zbog neidealnosti konektora):

$$<1{,}20 \text{ do } 8\ \text{GHz}$$
$$<1{,}33 \text{ do } 18\ \text{GHz} \quad (26)$$

Ovo kratko razmatranje ukazalo je na koji način korištenje dvootporničkog razdelnika snage doprinosi poboljšanju tačnosti merenja slabljenja.

Treba istaći da se ova metoda merenja mikrotalasnog slabljenja može koristiti i u opsegu 0 do 30 dB. U tom slučaju potrebno je zameniti diodnu glavu HP 8484A na vat-metru 1 termopretvaračkom glavom HP 8481A.

Najveći doprinos ukupnoj nesigurnosti merenja slabljenja daje nesigurnost zbog neprilagođenja.

Tabela 4

KST_{se}	KST_g	KST_{osl}	Slb(dB)	Nesigurnost zbog neprilagođenja (dB)	
				Najgori slučaj	RSS
1,1	1,1	1,15	3	−0,08713 do +0,0676	±0,0473
1,18	1,2	1,3	3	−0,2928 do +0,2292	±0,15897
1,33	1,28	1,4	3	−0,6032 do +0,4580	±0,3224
1,1	1,1	1,15	50	−0,0773 do +0,0774	±0,0452
1,2	1,18	1,3	50	−0,2609 do +0,2626	±0,1523
1,33	1,28	1,4	50	−0,5310 do +0,5369	±0,3051
1,1	1,1	1,3	10	−0,1292 do +0,1259	±0,0787
1,33	1,28	1,3	10	−0,46401 do +0,4363	±0,026101
1,1	1,1	1,3	70	−0,1273 do +0,1279	±0,07844
1,33	1,28	1,3	70	−0,4494 do +0,4519	±0,2568

Napomena:

KST_{se} — ekvivalentni KST signal-generatora,
KST_g — KST glave HP 8481A ili HP 8484A,
KST_{osl} — KST test-oslabljivača (pretpostavka da su KST oba kraja isti),
Slb(dB) — nominalno slabljenje test-oslabljivača.

U analizi nesigurnosti merenja slabljenja zbog neprilagođenja, koriste se metoda najgoreg slučaja određivanja nesigurnosti i RSS metoda. Vršena su proračunavanja za razne vrednosti ekvivalentnog KST izvora, KST glave mikrotalasnog vat-metra, KST test-oslabljivača i slabljenja oslabljivača. Urađen je poseban program na računaru u kojem su korištene formule (14) i (15). Rezultati ovih razmatranja dati su u tabeli 4.

Iz tabele 4 vidi se da za neke tipične vrednosti ($KST_{se}=1,1$; $KST_g=1,1$; $KST_{osl}=1,3$) ni u slučaju analize nesigurnosti zbog neprilagođenja metodom najgoreg slučaja greška nije veća od $\pm 0,15$ dB. U slučaju analize nesigurnosti određivanja slabljenja zbog neprilagođenosti metodom RSS, čak u slučaju kada su zadane vrednosti na granici tehničkih uslova proizvođača ($KST_{se}=1,33$; $KST_g=1,28$; $KST_{osl}=1,4$), greška ne prelazi $\pm 0,31$ dB.

Pri proceni ukupne nesigurnosti određivanja mikrotalasnog slabljenja, osim navedene nesigurnosti zbog neprilagođenja, moraju se uzeti u obzir nesigurnost merenja vat-metrom i uticaj šuma na tačnost merenja slabljenja koja su veća od 50 dB.

U slučaju da se traži »kontinualno« merenje slabljenja od 0 do 70 dB (na primer, pri testiranju filtera), u već navedenu šemu merenja ubacuje se mikrotalasni koaksijalni prekidač HP 8761B koji se upravlja programabilnim izvorom napajanja. U tom slučaju potrebno je uvesti još jedan vat-metar HP 436A sa termopretvaračkom glavom HP 8481A. Znači, u šemi merenja tri vat-metra HP 436A sa dve termopretvaračke i jednom diodnom glavom.

Osnovni nedostatak ove metode merenja je dodatna nesigurnost zbog neprilagođenja koja nastaju ubacivanjem koaksijalnog prekidača [7].

Zaključak

Navedenom metodom automatskog baždarenja fiksnih i promenljivih oslabljivača mogu se baždariti radni etaloni mikrotalasnog slabljenja i oslabljivači koji podležu redovnoj verifikaciji ili redovnom pregledu u mernom opsegu 0 do 70 dB, odnosno frekvencijskom opsegu DC do 18 GHz.

Pokazano je da tipična nesigurnost merenja izloženom metodom ne prelazi $\pm 0,2$ dB ukoliko se koristi razdelnik snage. Prednost ovakvog merenja slabljenja je potpuna automatizacija merenja i obrada rezultata. Tabelarno se prikazuju rezultati merenja KST ili koeficijenta refleksije sa proračunatom nesigurnošću merenja, kao izmereno slabljenje sa nesigurnošću određivanja slabljenja.

Osnovna prednost ove metode je u korišćenju relativno jednostavne merne opreme, a nedostatak u ograničenom dinamičkom mernom opsegu.

Literatura:

[1] JUS L.G7.101: Mikrotalasni instrumenti — Termini i definicije, Beograd, 1980.

[2] SNO 6797: Iskaz za kvalitet rada i metode merenja nepromenljivih i promenljivih oslabljivača, DC do 40 GHz — Termini i definicije, Beograd, 1988.

[3] Beatty W. R.: Insertation Loss Concepts, Proceedings of the IEEE, June 1964.

[4] Unković, M.: Greške merenja mikrotalasne snage, Vojnotehnički glasnik br. 6, Beograd, 1994. god.

[5] Hewlett Packard Application Note 64-2: Extended Application of Automatic Power Meters, Palo Alto, CA, September 1978.

[6] Hewlett Packard Application Note 183: High Frequency Swept Measurement, Palo Alto, CA, December 1978.

[7] Hewlett Packard Application Note 196: Automated Measurement Using the 436A Power Meter, Palo Alto, CA, March 1976.

[8] Power Meter 436A, Operating and service Manual, Polo Alto, USA, CA, October 1995.

[9] Syntethesized Signal Generator 8672A, Operating and Service Manual, Polo Alto, CA, February 1977.

Mr Branislav Todorović,
dipl. inž.

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

PRINCIPI TELEVIZIJE
— nastavak —

UDC: 621.327.13.001

Televizija u boji

Televizija u boji donosi još jedan, novi utisak o prizoru na mestu snimanja i sadrži znatno više informacija. U svetlosnom delu spektra, koji zauzima opseg talasnih dužina od 380 do 780 nm, nalazi se nebrojeno mnogo boja različitih nijansi. One sačinjavaju tzv. dugin spektar. Najmanju talasnu dužinu ima ljubičasta, a najveću crvena boja. Između njih u spektru su sadržane sve ostale boje. Bela boja nije samostalna već se sastoji od svih boja u spektru. Njutn i Hajgens su dokazali da je svetlost elektromagnetski talas određene talasne dužine koji je po svojoj prirodi identičan radio-talasima. Na osnovu ovih fundamentalnih saznanja, izvedeni su neki važni zaključci za nauku o bojama (kolorimetriju).

Kolorimetrija

Svakoj boji odgovara elektromagnetski talas određene talasne dužine, odnosno učestanosti. Dolazeći na mrežnjaču oka, svetlosno (optičko) zračenje neke talasne dužine stvara utisak boje. Ako na mrežnjaču oka istovremeno dolaze svetlosna zračenja različitih talasnih dužina, one stvaraju utisak neke nove boje. Ukoliko na mrežnjaču dolazi svetlosno zračenje iz celog opsega vidljive svetlosti od 380 do 780 nm dobiće se utisak bele boje. Ukoliko se, pak, ovom spektru oduzme jedan njegov deo dobiće se utisak neke konkretne boje. Prema tome, utisak boje u oku stvara se na dva načina: sabiranjem i oduzimanjem. Na osnovu toga mogu se razlikovati dva načina mešanja boja: aditivno i subtraktivno. Aditivno mešanje boja je mešanje svetlosnih vrsta, dok subtraktivno mešanje predstavlja mešanje obojenih materija; prvo je vezano za televizijsku tehniku, a drugo za slikarstvo. Povećanjem komponenata u subtraktivnom mešanju rezultirajuća boja postaje sve tamnija, a u aditivnom mešanju sve svetlija.

Kod televizijskog prenosa u boji potrebno je imati potpuno definisane odnose boja, koji se na pogodan način mogu meriti. Merljivost boja sadržana je u odnosima pojedinih boja prema precizno definisanim primarnim bojama, koje su dobijene ispitivanjem velikog broja osoba. Pri tom se došlo do saznanja da se sve postojeće boje mogu reprodukovati pomoću tri osnovne boje: crvene, zelene i plave. Uobičajeno je da se ove boje označavaju akronimima engleskih reči: R (red — crvena), G (green — zelena) i B (blue — plava). Izvori koji daju primarne boje precizno su određeni u spektru. Na osnovu njih može se računski odrediti udeo primarnih boja u drugim bojama. Zbog toga se koriste monohromatski izvori koji zrače svetlosnu energiju u sasvim uskom delu spektra. Za primarne boje u te-

levizijskom prenosu izabrane su sledeće talasne dužine: crvena $\lambda_R = 700$ nm, zelena $\lambda_G = 546$ nm i plava $\lambda_B = 436$ nm.

Relativni iznosi tri osnovne (primarne) boje, potrebni da se dobije neka izvedena boja, služe kao numeričke veličine za njen opis. Količina primarnih boja određuje se kolorimetrom u kome se svetlost neke boje upoređuje sa mešavinom svetlosti tri osnovne boje. One se kalibrisanim oslabljivačima mogu proizvoljno mešati. Ako se sa C označi tražena izvedena boja, a sa q (R), q (G), q (B) odgovarajuće količine primarnih boja, onda se tražena boja dobija na sledeći način:

$$C = q(R) + q(G) + q(B) \qquad (41)$$

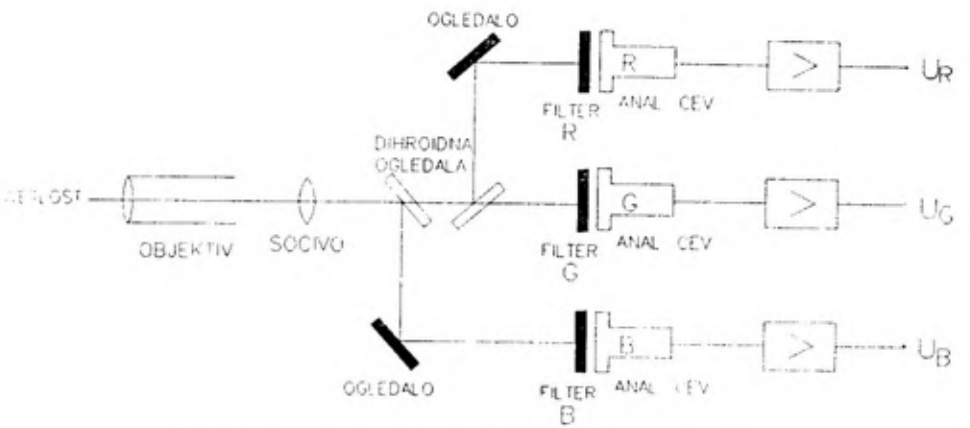
Principi televizijskog prenosa u boji

S obzirom na to da se utisak u oku o svakoj boji može dobiti aditivnim mešanjem tri primarne boje (primara) u odgovarajućim iznosima, kod televizije u boji moraju se dobiti, preneti i reprodukovati odgovarajuće tri informacije.

Prenos slike u boji ostvaruje se na isti način kao i kod crno-bele televizije. Na predajnoj strani se kao električno-optički pretvarač nalazi kolor TV kamera. Na njenom izlazu dobijaju se tri električna ekvivalenta (napona) koji odgovaraju količinama primara za svaki element analizirane slike. Ove informacije se na pogodan način komponuju u složeni (kompozitni) signal, koji se zatim prenosi jednim kanalom. Na prijemu se ovaj složeni signal najpre dekomponuje, a zatim uvodi u električno-optički pretvarač — kolor katodnu cev.

Princip rada kolor TV kamere može se objasniti pomoću slike 10. Razlaganje svetlosti koja dolazi sa snimane scene na komponente primarnih boja vrši se specijalnim optičkim sistemom. Svetlost koja je reflektovana sa snimane scene dolazi preko objektiva i sistema sočiva na dihroidna ogledala.

Prvo dihroidno ogledalo reflektuje plavu svetlost, a propušta zelenu i crvenu. Propuštena svetlost dolazi na drugo ogledalo. Ono reflektuje crvenu, a propušta zelenu svetlost. Potrebno je naglasiti da su koeficijenti apsorpcije ovih ogledala veoma mali, tako da se pri propuštanju svetlosti javljaju mali gubici. Reflektovane svetlosti (plava i crvena) padaju na obična ogledala, od kojih se reflektuju prema analizatorskim cevima. Ispred cevi R,



Sl. 10 — Principijelna šema kolor TV kamere

G i B postavljeni su filteri za crvenu, zelenu i plavu boju, respektivno, kojima se odstranjuju eventualne primese drugih svetlosti.

Dakle, kamera ima po jedno crveno, zeleno i plavo »oko«. Svako od njih »vidi« samo onu vrstu svetlosti koja pripada njenom opsegu talasnih dužina. Elektronskim mlazevima, čija kretanja moraju biti sinhronizovana, analiziraju se crveni, zeleni i plavi sadržaji snimane scene na signalnim pločama. To znači da će se za svaki analizirani element dobiti tri napona: U_R, U_G, U_B, koji predstavljaju odgovarajuće količine primarnih boja posmatranog elementa.

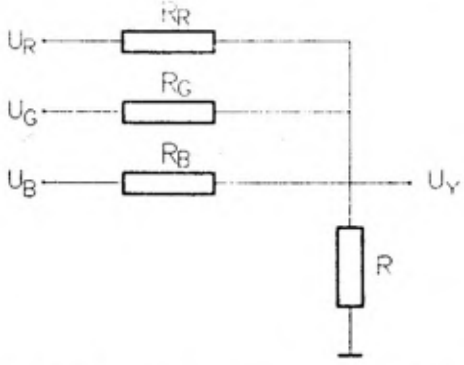
Električni signal koji nosi informaciju o osvetljaju opisan je izrazom:

$$U_Y = 0{,}30U_R + 0{,}59U_G + 0{,}11U_B \qquad (42)$$

Signal U_Y, koji nosi podatak o osvetljaju elemenata snimane scene, naziva se luminentni ili Y — signal.

Formiranje luminentnog signala od signala U_R, U_G i U_B izvodi se pomoću matričnog kola prikazanog na slici 11. To je mreža otpornika čiji je odnos otpornosti $(R/R_R):(R/R_G):(R/R_B) = 0{,}3:0{,}59:0{,}11$.

Formiranje luminentnog signala najlakše se može objasniti na primeru četiri boje: bele, sive, zasićene žute i zasićene plave boje. U slučaju bele boje, naponi U_R, U_G i U_B jednaki su i maksimalni. Ma kolike da su ove maksimalne vrednosti, mogu se normalizovati i obeležiti jedinicom. Tada je $U_Y = 0{,}30 \cdot 1 + 0{,}59 \cdot 1 + 0{,}11 \cdot 1 = 1$. U slučaju sive boje ovi naponi su takođe jednaki, ali je njihova vrednost manja. Ako je ova vrednost 0,5 onda je $U_Y = 0{,}30 \cdot 0{,}5 + 0{,}59 \cdot 0{,}5 + 0{,}11 \cdot 0{,}5 = 0{,}5$. Zasićena žuta svetlost se optičkim sistemom kamere razlaže na dve komponente maksimalnih vrednosti: crvenu i zelenu. Zbog toga je $U_R = 1$; $U_G = 1$; $U_B = 0$. U ovom slučaju luminentni signal je $U_Y = 0{,}30 \cdot 1 + 0{,}59 \cdot 1 + 0{,}11 \cdot 0 = 0{,}89$. Za zasićenu plavu boju je $U_R = 0$; $U_G = 0$; $U_B = 1$. Luminentni signal je tada $U_Y = 0{,}30 \cdot 0 + 0{,}59 \cdot 0 + 0{,}11 \cdot 1 = 0{,}11$. Prema tome, luminentni signali odgovaraju subjektivnom osećaju osvetljaja ovih boja: bele i žute koje su najosetljivije, dok se plava čini najtamnijom.



Sl. 11 — Formiranje Y — signala pomoću mreže otpornika

S obzirom na to da su signali U_Y, U_R, U_G i U_B povezani relacijom (42), to znači da se ne moraju prenositi sva četiri signala, već samo tri. Četvrti signal se na osnovu relacije (42) može rekonstruisati na mestu prijema.

Sistemi za televizijski prenos u boji

Pre nego što je započet razvoj televizijskog sistema za prenos slike u boji, pušten je u rad veliki broj televizijskih stanica za prenos crno-bele slike. Bio im je dodeljen i odgovarajući deo frekvencijskog spektra, a koristilo se i mnogo crno-belih televizora. To je u bitnoj meri uticalo na koncepciju televizijskog sistema za prenos slike u boji. Zahtevi koje je sistem trebalo da ispuni bili su:

— kvalitetna reprodukcija slike, što znači da su boje morale da budu verne, a kontrast, oštrina i rezolucija isti kao kod prenosa crno-bele slike,

— kompatibilnost, što je trebalo da omogući korisnicima koji imaju

crno-bele televizore da mogu nesmetano da primaju crno-belu sliku programa koji emituju predajnici za prenos slike u boji, a korisnici koji imaju televizore u boji da nesmetano primaju crno-belu sliku programa koji emituju predajnici za prenos crno-bele slike,

— rad unutar frekvencijskih kanala dodeljenih za prenos crno-bele slike.

Da bi se ispunio zahtev kompatibilnosti, luminentni signal obavezno mora biti jedan od tri signala koji se prenose. Za prenos podataka o boji potrebna su još dva signala. Na prvi pogled može se zaključiti da će prenos slike u boji biti korektan ukoliko se pored Y — signala prenose bilo koja dva od tri signala boje, jer se treći u prijemniku može lako rekonstruisati. Međutim, ovakvim izborom sistem ne bi bio kompatibilan. Naime, za bilo koju sivu nijansu sva tri napona na izlazu iz kamere su jednaka. Kako je za korektnu reprodukciju crno-bele slike dovoljan samo Y — signal, preostala dva signala koji se prenose predstavljaju smetnju.

Da bi sistem bio kompatibilan pronađeno je rešenje da se prenose luminentni signal U_Y i signali razlike boja: U_{R-Y} i U_{B-Y}. Pri tom signali razlike nose samo podatke o vrsti i zasićenosti prenošene boje. Pri prenosu crno-bele slike, oba signala razlike boja jednaka su nuli, tako da se prenosi samo Y — signal.

Prvi televizijski sistem za prenos slike u boji razvijen je u SAD. Projektom je rukovodio Nacionalni komitet za televizijske sisteme, pa je sistem dobio naziv NTSC (National Television System Committee).

Ostali televizijski sistemi za prenos slike u boji, koji se danas koriste, predstavljaju varijante originalnog NTSC sistema. Tako je u Nemačkoj razvijen PAL (Phase Alternating Line) sistem, a u Francuskoj SECAM (SEquential Colour And Memory) sistem.

Signal slike u boji sadrži dve osnovne komponente: osvetljaj (tzv. »luminentna komponenta«) i boju (tzv. »hrominentna komponenta«). Luminentna komponenta je praktično ista kao i signal monohromatske slike, dok je hrominentna komponenta pomerena duž frekvencijske ose i centrirana oko učestanosti podnosioca za boju f_c.

Sistem NTSC

Kod sistema NTSC modulacija podnosioca za boju se ne vrši direktno signalima razlike U_{R-Y} i U_{B-Y}. Kombinacijom ovih signala u odgovarajućim iznosima dobijaju se novi signali I i Q, koji su određeni sledećim izrazima:

$$I = 0{,}74U_{R-Y} - 0{,}27U_{B-Y} \tag{43}$$

$$Q = 0{,}48U_{R-Y} + 0{,}41U_{B-Y} \tag{44}$$

Da bi se emitovala dva različita signala, I i Q, na jednom podnosiocu za boju, koristi se kvadraturna modulacija, a zatim se modulisani podnosilac za boju sabira sa luminentnim Y — signalom i na taj način se formira kompozitni video-signal.

U sistemu NTSC kao učestanost podnosioca za boju usvojena je vrednost jednaka jednoj polovini 455-struke vrednosti linijske učestanosti uvećane za dvostruku učestanost slike:

$$f_c = (455/2)f_l + 2f_s = \\ = 3{,}583185 \text{ MHz} \tag{45}$$

Osnovni tehnički problem pri prenosu I i Q signala razlike boja jeste pojava preslušavanja. Posledica ove pojave je izobličenje u vernosti reprodukcije boja.

Najveći nedostatak sistema NTSC je njegova osetljivost na izobličenje diferencijalne faze. Posledica ovog izobličenja je greška pri reprodukciji boje. Najvažniji uzrok koji izaziva izobličenje diferencijalne faze je pojava re-

fleksije. Ona dovodi do superpozicije direktnog i reflektovanog talasa na ulazu u prijemnik, a samim tim i do fazne greške. Pojavu refleksije nije moguće kompenzovati u prijemniku.

Uprkos jednostavnom tehničkom rešenju za prenos slike u boji, osetljivost na izobličenja diferencijalne faze, a samim tim pogrešno reprodukovanje boje ozbiljan je nedostatak. Protivnici sistema NTSC ironično su tvrdili da skraćenica NTSC potiče od engleskog: Never Twice the Same Color — nikad dvaput ista boja. Zbog toga ovaj sistem nikad nije prihvaćen u Evropi, već se radilo na razvijanju novih, boljih sistema za prenos slike u boji.

Danas se sistem NTSC koristi u SAD, Kanadi i Japanu, gde je razvijen kablovski televizijski prenos kod koga pojava refleksije nije značajna, kao i u nekim zemljama Srednje i Južne Amerike.

Sistem PAL

Valter Bruh razvio je sistem PAL 1951. godine, i on predstavlja usavršenu varijantu sistema NTSC. Osnovna ideja kod sistema PAL zasniva se na već poznatoj osobini oka da ne može razlikovati boje vrlo sitnih detalja slike. Ova osobina oka već je bila iskorišćena kod sistema NTSC za ograničenje spektra I i Q signala, čime je smanjena horizontalna rezolucija za boje. Ograničenje razlaganja za boje moguće je izvršiti i u vertikalnom pravcu slike. Eksperimentalno je utvrđeno da se sadržaji o boji dve uzastopne linije vrlo malo razlikuju. Drugim rečima, razlike u boji dva elementa slike koji se nalaze jedan ispod drugog veoma su male. To znači da se hrominentni podaci ovih elemenata mogu međusobno mešati, a da oko ne primeti izobličenja u vrsti boje i zasićenju koja zbog toga nastaju.

Osnovna ideja sistema PAL sastoji se u sledećem: neka se u n-toj liniji prenosi narandžasta boja koja je definisana početnom fazom Φ u odnosu na pozitivan smer B — Y ose. Ako se iz već opisanih razloga na prenosnom putu javi greška u fazi $+\Delta\Phi$, na ekranu će se reprodukovati pogrešna, žuta boja. Kako se informacija o boji sasvim neosetno menja između dve susedne linije, može se pretpostaviti da će sledeća linija, (n+1), takođe biti narandžasta. Opravdano se može pretpostaviti da će se na prenosnom putu javiti isto fazno izobličenje $+\Delta\Phi$, jer se za tako kratko vreme (trajanje jedne linije) fazna greška neće bitno promeniti. Na ekranu bi se i u ovom slučaju reprodukovala pogrešna, žuta boja. Međutim, ako se na predaji promeni početna faza linije (n+1) za 180°, a zatim ista operacija izvrši na prijemu, doći će do pojave komplementarne fazne greške $-\Delta\Phi$, pa će se narandžasta boja reprodukovati kao crvena. Posmatranjem te dve susedne pogrešno reprodukovane linije (žute i crvene), pri normalnoj udaljenosti sa ekrana, gledalac će imati utisak o narandžastoj boji. Naime, zbog inercije oka i velike brzine reprodukovanja linija, u oku dolazi do integracije dve susedne linije sa nultom rezultujućom faznom greškom.

Prema tome, kod sistema PAL faza svake sledeće linije u koderu i dekoderu menja se za 180°. Otuda i naziv PAL koji je dobijen od početnih slova izraza Phase Alternation Line, što u slobodnom prevodu znači: promena faze od linije do linije. Kod savremenih sistema PAL, umesto da se prepušta oku da kombinuje boje susednih linija, ova operacija se vrši elektronskim putem pomoću linije za kašnjenje i dodatnih kola koja se nalaze u dekoderu prijemnika.

Kod sistema PAL se kao modulišući signali za modulaciju podnosioca boje koriste tzv. redukovani signali razlike boja, obeležavaju se sa U i V. Opisani su sledećim izrazima:

$$U = 0{,}49 U_{B-Y} \tag{46}$$

$$V = 0{,}88 U_{R-Y} \tag{47}$$

Dakle, U signal predstavlja 49% signala U_{B-Y}, a V signal 88% signala U_{R-Y}. Pošto je i kod sistema PAL primenjena kvadraturna modulacija za dobijanje hrominentnog signala, nove modulacione ose U i V poklapaju se sa B — Y i R — Y osama, respektivno.

U sistemu PAL za učestanost podnosioca boje usvojena je 284-struka vrednost linijske učestanosti umanjena za 1/4 linijske učestanosti i uvećana za učestanost slike:

$$f_c=(284-1/4)f_l+f_s=$$
$$=4{,}43361875 \text{ MHz} \quad (48)$$

Danas se ovaj sistem, pored Nemačke, koristi u mnogim zemljama zapadne Evrope, Azije i Afrike, uključujući i Jugoslaviju.

Sistem SECAM

Sistem SECAM takođe se zasniva na osobini oka da ne razlikuje po boji dve susedne linije. Radi otklanjanja greške diferencijalne faze kod sistema SECAM se u svakoj liniji prenosi Y signal, i naizmenično samo jedan od signala razlike U_{R-Y} i U_{B-Y}.

Za razliku od NTSC i PAL sistema, gde se signali razlike prenose istovremeno, kod sistema SECAM prenos ovih signala se vrši sukcesivno (sekvencijalno). Zbog zahteva kompatibilnosti Y signal se i ovde mora slati za svaku liniju.

S obzirom na to da je pri reprodukciji potrebno imati oba signala razlike, u prijemniku se postavlja linija za kašnjenje čije vreme kašnjenja odgovara vremenu trajanja jedne linije. Ova linija za kašnjenje ima ulogu memorijskog elementa, tj. da »zapamti« sadržaj signala prethodne linije koji zajedno sa sadržajem prve sledeće linije omogućava da se izvrši dekodovanje. Zbog načina prenosa signala razlike ovaj sistem je dobio ime.

Modifikovani signali razlike kod sistema SECAM obično se označavaju sa D_R i D_B. Opisani su sledećim izrazima:

$$D_R=-1{,}9U_{R-Y} \quad (49)$$

$$D_B=1{,}5U_{B-Y} \quad (50)$$

Kod sistema SECAM signalima D_R i D_B vrši se frekvencijska modulacija podnosioca za boju. Kvadraturna modulacija ovde nije potrebna jer se obavlja sekvencijalni prenos ovih signala.

Pri prenosu signala D_R i D_B učestanost podnosioca za boju nije jednaka već se menja od linije do linije. Kada se prenosi signal D_R, učestanost podnosioca za boju je:

$$f_{DR}=282f_l \quad (51)$$

a kada se prenosi signal D_B, učestanost podnosioca za boju je:

$$f_{DB}=272f_l \quad (52)$$

Danas se sistem SECAM, pored Francuske, koristi u mnogim zemljama istočne Evrope, Azije i Afrike.

Vrste televizijskog prenosa

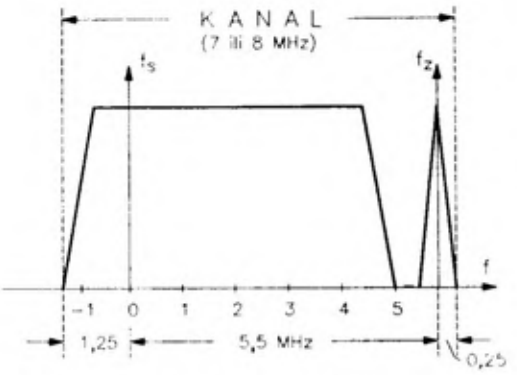
Sistem za distribuciju televizijskog programa predstavlja važnu kariku u televizijskom prenosu. Distribucija programa može se vršiti na tri načina, pa prema tome postoje tri vrste televizijskog prenosa: radio-difuzni, kablovski i satelitski. Tip modulacije koja se koristi pri emitovanju zavisi od vrste prenosa. Kod radio-difuznog prenosa koristi se amplitudska modulacija sa nesimetričnim bočnim opsegom. Isti je slučaj i kod kablovskog prenosa, sa izuzetkom mreža za digitalni prenos, dok se kod satelitskog prenosa koristi frekvencijska modulacija. Svaka od pomenute tri vrste televizijskog prenosa ima svoje određene prednosti i vrši se unutar posebnih kanala. Pri tom treba nagla-

siti da različiti sistemi za distribuciju programa nisu međusobno konkurentni, već se uzajamno dopunjavaju. Iako kablovski televizijski prenos ne spada u domen radio-komunikacija, zbog celovitosti izlaganja biće razmotrene sve tri vrste televizijskog prenosa.

Radio-difuzna televizija

Kod radio-difuznog prenosa televizijskog signala razlikuju se dva tipa amplitudske modulacije. Modulacija je negativna ako elementu slike koji ima najveći osvetljaj odgovara najmanja amplituda modulisanog signala. Nasuprot tome, modulacija je pozitivna kada amplituda modulisanog signala raste sa povećanjem osvetljaja elementa slike. Oba tipa modulacije imaju svoje prednosti i nedostatke. U Jugoslaviji se koristi negativna modulacija.

Amplitudska karakteristika televizijskog signala koji emituje radio-difuzni predajnik prikazana je na slici 12.



Sl. 12 — Amplitudska karakteristika signala radio-difuznog televizijskog predajnika

Učestanost nosioca slike označena je sa f_s, a učestanost nosioca tona sa f_z. Međusobni razmak ovih učestanosti određen je standardima pojedinih sistema. Po jugoslovenskim standardima ovaj razmak je 5,5 MHz. Širina gornjeg bočnog opsega televizijskog signala je 5 MHz, dok je širina delimično potisnutog donjeg bočnog opsega 1,25 MHz. Za razliku od slike, modulacija nosioca tona je frekvencijska. Širina tonskog kanala je 0,5 MHz i znatno je veća od maksimalne devijacije, koja iznosi samo 50 kHz, da bi se smanjio uticaj bočnih komponenata na reprodukciju slike.

Prema preporukama CCIR-a, u Jugoslaviji se za radio-difuzni prenos televizijskog signala koriste četiri opsega učestanosti. Oni se obično nazivaju opsezima I, III, IV i V. Opsezi I i III pripadaju VHF, a opsezi IV i V pripadaju UHF talasnom području. Zauzimaju sledeće opsege učestanosti: I opseg 41 do 68 MHz, III opseg 174 do 230 MHz, IV opseg 470 do 606 MHz i V opseg 606 do 862 MHz. Opseg II koji se nalazi u VHF talasnom području 87,5 do 108 MHz ne koristi se za televizijski prenos već je ostavljen na raspolaganje radio-difuziji za FM prenos zvuka.

U tabeli 1 dat je pregled svih raspoloživih televizijskih kanala i područja učestanosti koja oni zauzimaju, a prikazane su i vrednosti učestanosti nosioca slike i tona za pojedine kanale.

Širina televizijskog kanala u opsezima I i III iznosi 7 MHz. U opsegu I za prenos programa stoje na raspolaganju tri kanala (2, 3 i 4), dok se kanal 1 (41 do 47 MHz) koristi u službene svrhe. U opsegu III smešteno je osam kanala (5 do 12). Dakle, u VHF području postoji 11 raspoloživih kanala.

Širina televizijskog kanala u opsezima IV i V iznosi 8 MHz. U ova dva opsega smešteno je ukupno 49 kanala (21 do 69).

Jedan radio-difuzni televizijski predajnik svojim programom može pokriti zonu čiji je maksimalni poluprečnik oko 100 km. Da bi se televizijskim programom pokrila cela teritorija jedne veće države, potreban je od-

Tabela 1

Raspoloživi televizijski kanali

Talasno područje	Opseg	Redni broj kanala	Područje kanala (MHz)	Učestanost nosioca slike (MHz)	Učestanost nosioca tona (MHz)
VHF	I	2	47 do 54	48,25	53,75
		3	54 do 61	55,25	60,75
		4	61 do 68	62,25	67,75
VHF	III	5	174 do 181	175,25	180,75
		6	181 do 188	182,25	187,75
		7	188 do 195	189,25	194,75
		8	195 do 202	196,25	201,75
		9	202 do 209	203,25	208,75
		10	209 do 216	210,25	215,75
		11	216 do 223	217,25	222,75
		12	223 do 230	224,25	229,75
UHF	IV	21	470 do 478	471,25	476,75
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		37	598 do 606	599,25	604,75
UHF	V	38	606 do 614	607,25	612,75
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		69	854 do 862	855,25	860,75

govarajući broj pogodno raspoređenih televizijskih predajnika. Njihov ukupan broj i odgovarajući raspored čine mrežu radio-difuznih televizijskih predajnika.

Pri raspodeli TV kanala pojedinim predajnicima treba voditi računa da dva susedna predajnika ne rade na istom kanalu. Naime, ako bi ovi predajnici nezavisno radili na istom kanalu, ne može se postići da generisane učestanosti nosioca u njima budu potpuno jednake. Usled ove nejednakosti javljaju se povremene ili stalne smetnje na ekranu TV prijemnika. Smetnje se u prijemniku javljaju kao posledica izbijanja signala različitih učestanosti nosioca, a manifestuju se u vidu crnih i belih linija. Razmak ovih linija srazmeran je razlici učestanosti nosioca susednih predajnika. Pokazalo se da dva susedna predajnika mogu raditi na istom kanalu, pri čemu su uzajamne smetnje minimalne, ukoliko se njihove učestanosti nosioca razlikuju za polovinu linijske učestanosti. Ovakav rad, koji se inače koristi u SAD, prilično je složen, jer zahteva visok stepen stabilnosti učestanosti nosioca, kao i učestanosti sin-

hronizacionih impulsa. Zbog složenosti praktične realizacije, ovakav način prenosa ne koristi se u Jugoslaviji.

Na planiranje mreže TV predajnika i raspodelu kanala utiču i obaveze prema susednim zemljama, što je regulisano međunarodnim propisima koji obezbeđuju da se mreže TV predajnika susednih zemalja projektuju tako da uzajamne smetnje budu minimalne.

Kablovska televizija

Kablovska televizija je naziv za prenos televizijskih signala po kablovskoj mreži koja je izrađena od koaksijalnih ili optičkih kablova.

Prva kablovska mreža izgrađena je 1949. godine u SAD, i danas je veoma razvijena — ima više miliona priključaka i nudi veliki broj televizijskih programa. I u Evropi se kablovska mreža brzo razvijala, tako da postoje gradovi sa velikim brojem priključaka na kablovsku televizijsku mrežu, naročito u Belgiji, Velikoj Britaniji, Danskoj, Francuskoj, Holandiji, Nemačkoj i Norveškoj. Kablovska televizijska mreža počela je da se gradi kod nas 1979. godine, i to prvenstveno u novim prigradskim naseljima.

Kablovska televizijska mreža koja trenutno postoji u Evropi omogućuje, uglavnom, jednosmerni prenos televizijskih signala od prijemnih uređaja do pojedinih korisnika. Malo mreža omogućuje dvosmerni prenos, tj. prenos poruka od korisnika do centra mreže. Taj dvosmerni prenos je, uglavnom, namenjen za nadzor delovanja kablovskog distribucionog sistema, jer se kablovska mreža može dopuniti elementima koji omogućuju povratni prenos za određene funkcije nadzora kod korisnika (alarm u slučaju provala, požara, potrošnja električne energije, gasa, itd.). Prema jugoslovenskom standardu, za povratni prenos koriste se tri kanala (P1 do P3) u opsegu od 9 do 30 MHz. Pri izradi kablovske mreže u budućnosti će se koristiti optički kablovi, a broj usluga će se povećati: prenos svih mogućih radio i televizijskih programa, veza između računara, videotekst, itd.

Kablovska televizijska mreža gradi se prvenstveno zbog toga što omogućuje bolji prijem televizijske slike i tona i više programa. Sastoji se od: prijemnog antenskog sistema, glavne stanice, distribucione mreže i priključaka korisnika.

Prijemni antenski sistem postavlja se na najpogodnijem mestu u naselju (ili njegovoj okolini), gde je moguće primati sve programe sa najboljim kvalitetom. Antenski sistem sastoji se od mehanički postojanih antena otpornih na sve vremenske uticaje. Pored antena namenjenih za prijem radio-difuznog televizijskog programa, antenski sistem, po pravilu, uključuje i parabolične antene za prijem satelitskih televizijskih programa.

Glavna stanica sastoji se od antenskih filtera, sprežnika, pojačavača, konektora, energetskih izvora za napajanje, itd. U njoj se vrši obrada primljenih signala radi što kvalitetnijeg odašiljanja u distribucionu mrežu. Obrada primljenih signala je takva da svaki korisnik može primati kvalitetnu sliku bez refleksija i drugih spoljašnjih uticaja.

Distribuciona mreža sastoji se od koaksijalnih ili optičkih kablova sa odgovarajućim pojačavačima, elementima za deljenje signala, konektorima, izvorima za napajanje, itd.

Priključak korisnika je utičnica koja se postavlja na kraju kabla u stanu korisnika.

Kablovska televizija je posebno podesna u područjima gde nije moguće dobro pokrivanje terena signalom radio-difuznih predajnika, zbog izrazito talasaste konfiguracije terena.

Što se tiče frekvencijskog opsega, za kablovsku distribuciju radio-difuz-

nih televizijskih programa, jugoslovenski standard stavlja na raspolaganje 41 kanal (S1 do S41) u opsegu od 104 do 468 MHz. Raspored ovih kanala prikazan je u tabeli 2. Za kablovsku distribuciju satelitskih televizijskih programa u Jugoslaviji se koristi 40 kanala (S42 do S81) koji se nalaze u opsegu od 950 do 1750 MHz.

Satelitska televizija

Ideja o uključivanju svih tačaka na Zemljinoj površini u jedinstvenu radio-komunikacionu mrežu za prijem televizijskih signala pripadala je naučnoj fantastici sve do pojave veštačkih satelita. Međutim, od 1962. godine, kada je Zemljin veštački satelit TE-

Tabela 2

Raspored kanala za kablovsku distribuciju TV programa

Talasno područje	Opseg	Redni broj	Područje kanala (MHz)	Učestanost nosioca slike (MHz)	Učestanost nosioca tona (MHz)
VHF	II	S1	104 do 111	105,25	110,75
		S2	111 do 118	112,25	117,75
		S3	118 do 125	119,25	124,75
		S4	125 do 132	126,25	131,75
		S5	132 do 139	133,25	138,75
		S6	139 do 146	140,25	145,75
		S7	146 do 153	147,25	152,75
		S8	153 do 160	154,25	159,75
		S9	160 do 167	161,25	166,75
		S10	167 do 174	168,25	173,75
VHF	III	S11	230 do 237	231,25	236,75
		S12	237 do 244	238,25	243,75
		S13	244 do 251	245,25	250,75
		S14	251 do 258	252,25	257,75
		S15	258 do 265	259,25	264,75
		S16	265 do 272	266,25	271,75
		S17	272 do 279	273,25	278,75
		S18	279 do 286	280,25	285,75
		S19	286 do 293	287,25	292,75
		S20	293 do 300	294,25	299,75
UHF	IV	S21	300 do 308	301,25	306,75
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		S30	372 do 380	373,25	378,75
		.	.	.	.
		.	.	.	.
		S41	460 do 468	461,25	466,75

LESTAR počeo da prenosi televizijske programe između Severne Amerike i Evrope, postalo je jasno da će ova ideja postati stvarnost.

TELESTAR je bio loptastog oblika prečnika 87 cm i mase 80 kg. Lansiran je u eliptičnu orbitu sa apogejom (tj. sa najvećom udaljenošću od Zemlje) od oko 5600 km, i periodom obilaska Zemlje 2,5 sata. Snaga predajnika na TELESTAR-u bila je 2,25 W, a širina propusnog opsega 50 MHz. Učestanost nosioca je bila 6 MHz na uzlaznoj deonici (Zemlja — satelit), a 4 GHz na silaznoj deonici (satelit — Zemlja). Kapacitet TELESTAR-a iznosio je 600 telefonskih govornih kanala, ili, umesto toga, mogao je da prenese jedan televizijski signal.

Prvi komercijalni radio-komunikacioni satelit INTELSAT I lansiran je 1965. godine u geostacionarnu orbitu iznad Atlantskog okeana. Skoro istovremeno u SSSR-u je lansiran radio-komunikacioni satelit MOLNIJA I u subsinhronu eliptičnu orbitu koja je bila pogodna za prekrivanje cele teritorije SSSR-a i njemu susednih zemalja.

Satelitske radio-komunikacije, čiji rad je započeo formiranjem globalnog sistema na bazi satelita INTELSAT IV, danas se uveliko primenjuju.

Za potrebe užih geografskih regiona (Severna Amerika, Zapadna Evropa, itd.) izgrađeni su tzv. »domaći« radio-komunikacioni sateliti.

Programi iz radio-komunikacionih satelita ECS-1, INTELSAT-11, INTELSAT-12, ASTRA i TELECOFM mogu se primati u celoj Evropi. Te programe emituju zapadnoevropske državne i privatne kompanije.

Radio-komunikacioni sateliti predstavljaju TV pretvarače, koji svojim antenama u geostacionarnoj orbiti iznad ekvatora pokrivaju signalima određene predele Zemljine površine.

Glavni delovi satelitskog prijemnog uređaja su:

— parabolična antena sa postoljem,

— mikrotalasni pretvarač,

— modulator na standardni TV kanal.

Potrebna veličina parabolične antene zavisi od nivoa signala na mestu prijema.

Za distribuciju televizijskih programa koriste se telekomunikacioni sateliti i sateliti za direktni prijem.

Telekomunikacioni sateliti sačinjavaju tzv. fiksnu satelitsku službu, koja nije namenjena individualnim korisnicima, pa zbog toga podleže posebnim odredbama međunarodne konvencije o telekomunikacijama. Zbog toga su potrebne dozvole za prijem signala sa ovih satelita. Radi očuvanja tajnosti, ovi programi su često šifrovani, najčešće korišćenjem skremblera. Telekomunikacioni sateliti emituju program u 3 frekvencijska opsega: 3,655 do 3,695 GHz, 10,950 do 11,700 GHz i 12,500 do 12,750 GHz.

Danas postoji veliki broj telekomunikacionih satelitskih sistema, a neki od njih, kao što su: INTELSAT, EUTELSAT i HORIZONT mogu se primati u Jugoslaviji. INTELSAT emituje američki i španski program, EUTELSAT sa dva satelita: ECS-F1 i ECS-F2 služi za evrovizijsku razmenu programa, HORIZONT distribuira centralni moskovski program za teritoriju bivšeg SSSR-a i evropske zemlje, a ARABSAT emituje programe za arapske zemlje od Indijskog do Atlantskog okeana.

Fiksna satelitska služba, pored televizijskog prenosa, obuhvata širok spektar informacija: telefoniju, teleks, faksimil, kompjuterske signale, elektronsku poštu, i dr.

Sateliti za direktan prijem sačinjavaju radio-difuznu satelitsku službu, koja emituje program u opsegu

11,7 do 12,5 GHz i namenjena je direktnom prijemu televizijskih signala.

U Evropi je opseg od 11,7 GHz do 12,5 GHz podeljen na 40 kanala širine od po 27 MHz i sa razmakom od 19,18 MHz.

Umesto zaključka

U ovom radu su na sažet način prikazani principi televizijskog prenosa. Najpre je generalno razmatran prenos slike, kako nepokretne (faksimil) tako i pokretne (televizija). Posle toga analiziran je televizijski signal u vremenskom i frekvencijskom domenu. Zatim su diskutovani principi kolorimetrije. Osnovni televizijski sistemi za prenos slike u boji (NTSC, PAL i SECAM) su ukratko prikazani. Na kraju, razmatrane su različite vrste prenosa signala (radio-difuzni, kablovski, satelitski).

Literatura:

[1] Fink, D. G.: Television Engineering, McGraw-Hill, New York, 1952.

[2] Bretz, R.: Techniques of Television Production, McGraw-Hill, New York, 1962.

[3] Zworykin, V. K., Morton, G. A.: Television, John Wiley & Sons, New York, 1954.

[4] Kiver, M. S.: Color Television Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1964.

[5] Holm, W. A.: Colour Television Explained, Philips Technical Library, Eindhoven, 1963.

[6] Sims, H. V.: Principles of PAL Colour Television, Iliffe Books, London, 1969.

[7] Wentworth, J. W., Color Television Engineering, McGraw-Hill, New York, 1995.

[8] Lukatela, G., Drajić, D., Petrović, G., Petrović, R.: Digitalne telekomunikacije, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.

[9] Radojlović, M., Tomić, M.: Televizijski uređaji, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1989.

[10] Elsat, Glasilo o kabelski in satelitski TV, Gorenje-Elrad, II izdaja, 1988.

[11] CCIR Recommendations and Reports, Volume XI — Part 1, Broadcasting service (Television), Geneva, 1986.

[12] Topalović, M., Nastić, B.: Televizija 1, RTS, Beograd, 1992.

[13] Topalović, M.: Televizija 2, RTS, Beograd, 1993.

[14] Jugoslovenski standard JUS N.N6.170, 1987.

Anastas Paligorić,
dipl. inž.

PRAVCI I TENDENCIJE RAZVOJA SOVJETSKIH (RUSKIH) TENKOVA

Uvod

Poznavaoci oklopne tehnike i tendencija razvoja tenkova posle Drugog svetskog rata najčešće tvrde da je jedino u SSSR-u taj razvoj bio vojnotehnički utemeljen doslednim praćenjem usavršavanja sovjetske vojne doktrine, bez povremenih »izleta« u nedovoljno istražene koncepcijske novine. Podaci o projektovanju sovjetskih borbenih tenkova i o timovima angažovanim na njihovom razvoju čuvani su kao posebna tajna. Tek od 1992. godine, zahvaljujući otvaranju Rusije prema svetu, pojavljuju se podaci koji u izvesnoj meri demantuju formiranu sliku o potpunoj konsekventnosti tog razvoja.

Stanje pred Drugi svetski rat — istraživanja radi definisanja novih koncepcija rešenja tenkova

Početkom tridesetih godina ovog veka u SSSR-u su najmasovniji bili laki tenkovi za praćenje pešadije T-26 i točkaško-gusenični tenkovi serije BT. Činili su osnovu sovjetskih mehanizovanih i tenkovskih jedinica, a imali su, za to vreme, visoke borbene i tehničke karakteristike.

U mnogim monografijama, objavljenim poslednjih godina u Rusiji i inostranstvu, opisuje se nastanak tenkova serije BT. Analizirajući spoljnu politiku rukovodstva SSSR-a tridesetih i četrdesetih godina, koncepciju »rata na tuđoj teritoriji«, mnogi autori dolaze do zaključka da je Crvena armija bila zainteresovana za točkaško-gusenični »tenk agresor«, koji bi se u Rusiji kretao van puteva pomoću gusenica, a na prostorima Zapadne Evrope po putevima pomoću točkova. U vezi sa tim iznose se neutemeljena tendenciozna mišljenja o tajnoj kupovini dva uzorka američkog točkaško-guseničnog tenka M-1928 (koga je projektovao D. Walter Christi)[1] [1].

Uvidom u dokumentaciju Ruskog državnog vojnog arhiva (sada otvorenu za javnost) otkrivaju se pravi razlozi i uslovi navedene kupovine. Krajem decembra 1929. godine komisija Uprave za mehanizaciju i motorizaciju boravila je u SAD radi kupovine manjeg broja tenkova T-1 i E-1, firme »Cunningham«. Međutim, na osnovu rezultata ispitivanja zaključeno je da su ti tenkovi po mnogim karakteristikama lošiji od već kupljenih tenkova engleske firme »Vickers«, a uz to i znatno skuplji, te je sovjetska strana odustala od nameravane kupovine. Tek posle toga komisija se upoznala sa rešenjem tenka M-1928 i, posle obavljenih pregovora, donela je odluku o kupovini dva uzorka vozila (bez kupole i naoružanja). Američki partner je preu-

[1] Ova koncepcija rešenja hodnog dela tenka u stručnoj literaturi je poznata pod nazivom KRISTI, a u žargonu specijalista i tenk M-1928 se često naziva tim imenom.

zeo obavezu da sovjetskoj strani prenese sve radioničke crteže, tehnološke procese za proizvodnju vozila i pruži punu tehničku pomoć (uključujući pristanak inženjera Kristija da boravi u SSSR-u dva meseca radi organizovanja proizvodnje). Ugovor o kupovini navedenih uzoraka potpisan je aprila 1930. godine, a po njemu su dva uzorka vozila plaćena 60000 USD i rezervni delovi za kupljene uzorke u iznosu od 4.000 USD. Ugovorom je dobijeno pravo na proizvodnju, prodaju i upotrebu vozila KRISTI na teritoriji SSSR-a u trajanju od 10 godina [1]. Krajem decembra 1930. godine posle montaže i ispitivanja u SAD dva vozila KRISTI su poslata u SSSR.

Maja 1931. godine, u Harkovskoj fabrici za proizvodnju vagona (HPZ), formiran je konstrukcioni biro, kome je 1. jula 1931. godine dat zadatak za projektovanje i proizvodnju tenka BT. Pošto su vozila KRISTI bila nabavljena bez kupole, posebna pažnja posvećena je projektovanju naoružanja, kupole i pogonske grupe. Na bazi vozila KRISTI u SSSR-u je razvijena familija tenkova serije BT-2, BT-5, BT-7 i niz opitnih modela. Tenkovi serije BT poslužili su za razradu mnogih originalnih inovacija konstruktora u oblasti projektovanja tenkova.

Radovi na poboljšanju borbenih svojstava tenkova serije BT vodili su se u oblasti projektovanja pogonskih grupa, pokretljivosti, naoružanja i zaštite. Tako, u periodu od 1934. do 1936. godine, vršeni su eksperimenti ugradnje raketnog naoružanja na tenkove BT. Prvi eksperimentalni model raketnog oruđa 132 mm, ugrađenog na levu stranu kupole, projektovao je inženjer V. Aleksandrov. Ispitivanja su sprovedena maja 1935. godine. Ugradnja moćnijih torpeda od 250 kg izvršena je po projektu inženjera Tverskog. Po jedan lanser, sa zajedničkim mehanizmom za pokretanje po visini, ugrađen je na obe strane kupole. Pre ispaljivanja torpeda gađano je topom 45 mm, radi utvrđivanja korektivnog koeficijenta. Tim sistemom naoružanja bilo je moguće uništenje utvrđenih fortifikacija na daljinama do 1500 m (pri najvećoj elevaciji od 48°). Pokazalo se da je nedostatak obeju konstrukcija bila velika osetljivost raketnih projektila u borbi.

Radi povećanja vatrene moći tokom cele 1939. godine vođen je razvoj topova 76,2 mm L-11 i F-32 i ugradnja u tenk BT-7. Tenkovski top L-11 zapravo je usavršeni top L-10 sa povećanom dužinom cevi (30 kalibara) i pojačanim protivtrzajućim uređajem. Tenkovski top F-32 nastao je doradom divizijskog topa 76,2 mm F-22 (po konstrukciji V. Grabina) radi ugradnje u raspoloživi prostor tenka BT-7 (cev je izrađena od visokolegiranih čelika, a dužina trzanja smanjena na samo 300 mm). U toku uporednih poligonskih ispitivanja za ugradnju u tenk BT-7 odabran je top F-32, koji je kasnije ugrađivan i u teški tenk KV.

Tokom 1940. godine na linijski tenk BT-7 ugrađen je pneumatski bacač plamena KS-63 desno od vozača, koji ga je i opsluživao. Jednim punjenjem ovaj uređaj je mogao da izbaci 10 do 15 plamena na daljinu do 70 m. Ocenjeno je da je ugradnja bacača plamena, uz zadržavanje osnovnog naoružanja i borbenog kompleta, a uz neznatno smanjenje autonomije kretanja, konstrukciono dobro izvedena i da su time povećane vatrene mogućnosti tenka.

Početkom 1941. godine uspešno su sprovedena ispitivanja daljinski upravljane (radionavođenjem) grupe tenkova, realizovane na bazi tenka BT-7. Grupu su sačinjavali upravljački tenk i daljinski upravljan tenk (teletenk). Bila su predviđena tri načina upravljanja teletenkom: ručno, automatsko pomoću komandnog pulta i telemehaničko. Na daljini do 2500 m teletenk je izvršavao sledeće komande: startovanje motora, zaustavljanje tenka i promenu stepena prenosa; zaokret tenka ulevo i udesno; pripremu naoružanja za dejstvo, lansiranje plamena, is-

puštanje dimne zavese i gađanje iz mitraljeza; zaokret kupole ulevo i udesno, i drugo. Teletenk je bio naoružan mitraljezom SILINA i hemijskim uređajem KS-60 (sa rezervoarom zapremine od 400 litara) iz kojeg je moglo da se izvrši do 18 izbacivanja plamena na daljinu 40 do 50 m. Upravljački tenk imao je tri poslužioca, naoružanje je bilo analogno serijskom tenku BT-7, a masa opreme za daljinsko upravljanje 147 kg [1].

Proizvodnja tenkova serije BT obustavljena je u proleće 1940. godine, a ostvareni rezultati istraživanja i tehnoloških ispitivanja uspešno su primenjeni kasnije pri razvoju srednjeg tenka T-34, koji je dugi niz godina bio najuspešniji svetski tenk.

Razvoj u toku i neposredno posle Drugog svetskog rata

U toku i na kraju Drugog svetskog rata SSSR je imao dva centra za projektovanje osnovnih borbenih tenkova.

Prvi, Specijalni projektantski centar-2 (SPC-2) u fabrici »Kirov« u Lenjingradu (LKZ) bio je zadužen za projektovanje teških tenkova serije KV i IS (Staljin). Rukovodilac tog centra bio je general Josif Kotin. Oktobra 1941. godine centar je, zbog nemačkog prodora prema Lenjingradu, premešten u fabriku za tešku mašinogradnju broj 100 u Čeljabinsku, poznatiju pod nazivom »Tenkograd«. Krajem rata tim generala Kotina vraćen je u Lenjingrad, ali je manja grupa inženjera zadržana u Čeljabinsku radi nastavljanja radova na razvoju teškog tenka. Projekat teškog tenka biće poznat pod nazivom OKBT ili Kotinov biro [2].

Drugi centar u fabrici »Kominterna« u Harkovu (istočna Ukrajina) bio je zadužen za projektovanje srednjih tenkova. Pod rukovodstvom M. I. Koškina, od 1936. godine započeti su ra-

Sl. 1 — Tenk T-34

dovi na projektu srednjeg tenka A-20[2], a kasnije i nove verzije A-30[3]. Koškin je brzo uočio nedostatke kombinovanog točkaško-guseničnog hodnog uređaja primenjenog na tenkovima serije BT (gusenični lanac za kretanje van puta i osloni točkovi za kretanje po putu) kojim se znatno povećava masa vozila, pa je predložio i realizovao rešenje hodnog dela samo sa gusenicama na prototipu tenka A-32, a zatim T-32. Nakon uporednog ispitivanja prototipova A-20 i T-32 usvojena je nova koncepcija hodnog dela i, uz napomenu ispitivača da treba pojačati oklopnu zaštitu i ugraditi top većeg kalibra, stvorena je koncepcija rešenja budućeg tenka T-34. Iste godine, zbog pogoršane vojno-političke situacije (pre završene izrade i ispitivanja prototipa), usvojen je u naoružanje tenk T-34. Januara 1940. godine završena je izrada prve serije, a juna 1940. godine završena dokumentacija za serijsku proizvodnju[4]. Pod rukovodstvom glavnog konstruktora Koškina dva prototipa su ispitana vožnjom na relaciji Harkov—Moskva — Smolensk — Kijev — Harkov, a na Crvenom trgu u Moskvi prikazana najvišim državnim i vojnim rukovodiocima. Posle Koškinove smrti septembra 1940. godine, njegovo mesto preuzeo je njegov pomoćnik Aleksandar Morozov [3]. Zbog nemačkog napredovanja, 1941. godine projektantski biro Morozova je premešten u fabriku za proizvodnju vagona »Uralvagon« u gradu Njižni Tagil. Tek 1951. godine Morozov je uspeo da veći deo svoga tima vrati u Harkov, dok je manja grupa inženjera ostala u Njižni Tagilu i nastavila da radi na razvoju srednjeg tenka T-54A.

Oba projektantska biroa poslovala su u sastavu Ministarstva za proizvodnju transportne mehanizacije (poznatijem pod imenom Mintransmaš), zaduženim za upravljanje sovjetskom železnicom i proizvodnju transportne opreme. Unutar Mintransmaša bila je osnovana Direkcija za projektovanje osnovnog tenka (GLAVTANK), kojom je početkom pedesetih godina rukovodio N. A. Kurčerenko, bivši pomoćnik glavnog konstruktora tenka T-34.

Tenk T-34

Prema usvojenoj koncepciji i osnovnim tehničkim karakteristikama tenk T-34 je, u vreme uvođenja u naoružanje, bio ispred tenkova toga vremena. Njegove bitne karakteristike su: velika specifična snaga od 11,6 kW/t (zahvaljujući primeni dizel-motora velike snage), top kalibra 76,2 mm dobrih balističkih osobina, spoljašnji oblik vrlo dobro prilagođen postizanju balističke zaštite, racionalno iskorišćenje unutrašnjeg prostora, velika autonomija kretanja, jednostavna tehnička rešenja pogodna za proizvodnju i održavanje. U toku proizvodnje izvršeno je više modifikacija, a najznačajnije su prelazak na livenu kupolu i ugradnja novog topa kalibra 85 mm (u jesen 1943. godine).

Procenjuje se da je u periodu od 1940. do 1945. godine proizvedeno oko 53000 tenkova T-34. Proizvodnja je produžena do sredine pedesetih godina, kada je započela serijska proizvodnja tenka T-54. Tenk T-34 uveden je u naoružanje u više od 30 zemalja sveta [3].

Zahteve za razvoj novih tenkova postavljala je Direkcija za osnovni borbeni tenk (GBTU) sa sedištem u Moskvi. U svom sastavu imala je Odeljenje za projektovanje oklopnih vozila i Institut za oklopnu tehnologiju (NI-

[2] Masa tenka A-20 bila je 18 tona, a osnovno naoružanje top 45 mm.

[3] Osnovno naoružanje tenka A-30 bio je top 76,2 mm.

[4] Krajem 1940. godine proizvedeno je 115 komada, do juna 1941. godine (kada je Nemačka napala na SSSR) proizvedeno je 1225 komada, a do početka napada na Moskvu 1853 tenkova T-34.

Sl. 2 — Tenk T-55

IBT) na poligonu Kubinka, oko 50 km jugoistočno od Moskve[5]. Između navedenih entiteta uspostavljena je sledeća tehnološka podela posla:

— za definisanje taktičko-tehničkih zahteva bila je nadležna direkcija GBTU,

— NIIBT je bio odgovoran za razvoj savremenih tehnologija, te je za razvoj specijalnih tehnologija sarađivao sa projektantskim biroima drugih ministarstava (kao što su bili biro Fjodora Petrova za projektovanje artiljerijskih i tenkovskih topova, odnosno biro Trašutina u Čeljabinsku za projektovanje dizel-motora),

— za projektovanje tenkova bio je nadležan projektantski biro Mintransmaša.

Nametnuti sukob ideja — teški tenk, univerzalni tenk ili lovac tenkova sa raketnim naoružanjem

Pedesete godine ovoga veka bile su burne po projektovanju i proizvodnji sovjetskih tenkova, zahvaljujući direktnom angažovanju Hruščova u poslovima oko definisanja i nabavke naoružanja. Tako je glavni zadatak za Morozova bio razvoj radikalno novog univerzalnog ili standardnog (osnovnog) tenka koji bi zamenio i srednje i teške tenkove. Raniji program univerzalnog tenka (iz 1943. godine) napušten je, jer je ocenjeno da ni Morozovljev tenk T-43 ni Kotinov tenk KV-13 nisu dostigli performanse nemačkog tenka PANTHER (PANTER). Na bazi novog Morozovljevog programa univerzalnog tenka realizovan je 1960. godine prototip tenka OBJEKAT 430, preteča tenka T-64. Preostali deo projektnog tima u Njižni Tagilu, kojom je rukovodio Leonid Karcev, dobilo je manje atraktivan zadatak da nastavi usavršavanje tenka T-54A. Rezultat tog rada bila je pojava tenka T-55, sredinom 1957. godine [2].

U međuvremenu Kotinov OKTB biro u Lenjingradu završio je seriju projekata teškog tenka, uključujući i tenk T-10 (1953. godine), ali i projektovanje novog lakog tenka amfibije PT-76. Kotinov biro nastavlja sa raz-

[5] Taj institut se, po funkcijama koje je obavljao, može uporediti sa američkim poligonom Aberdeen i engleskim Bovington.

vojem tenka T-10 do kasnih pedesetih godina, uključujući tenk OBJEKAT 277 sa turbopogonom. Istovremeno, nekoliko manjih projektantskih grupa, u saradnji sa biroima u Lenjingradu i Čeljabinsku, rade na alternativnim projektima teškog tenka, među kojima je, po koncepciji nesvakidašnji, četvorogusenični tenk OBJEKAT 279 Trojanova, namenjen za dejstvo u nuklearnom ambijentu bojnog polja. Projektantski tim, kojim rukovodi Pavel Isakovič, razvio je u Čeljabinsku teški tenk OBJEKAT 770, koji su mnogi istoričari sovjetskih tenkova ocenili kao najuspešniji tenk pedesetih godina. Dalja eksperimentisanja sa konceptom teškog tenka obustavio je Nikita Hruščov, svojom naredbom od 22. juna 1960. godine, da se nijedan tenk teži od tenka T-10 ne uvede u serijsku proizvodnju. Razloge za ovu naredbu treba tražiti delimično u programu opšteg smanjenja konvencionalnog naoružanja u korist ekspanzije strateških nuklearnih snaga, ali i u uverenju Hruščova da je koncept teškog tenka zastareo i da tenkove treba zameniti lovcima tenkova sa ugrađenim raketnim sistemima naoružanja [2].

Krajem 1960. godine, pod neobičnim okolnostima, Rusi su dobili jedan američki tenk M60A1[6], čije je intenzivno ispitivanje otpočelo već januara 1961. godine. Spominje se da je maršal V. I. Čujkov bio van sebe od besa kada je saznao da je američki tenk naoružan topom 105 mm (jer je osnovni sovjetski tenk u to vreme bio naoružan topom 100 mm sa olučenom cevi) i da sovjetski tenkovski top 100 mm nije mogao da probije čeoni deo oklopa kupole tenka M60A1. Neki autori smatraju taj trenutak kriznim, ali i prelomnim, za dalji program razvoja sovjetskih tenkova.

U novi tenk OBJEKAT 430, čiji je razvoj vodio Morozov u Harkovu, bio je ugrađen top 100 mm D-54 sa glatkom cevi. To je prvi tenkovski top sa glatkom cevi u svetu, a njegove performanse su bile nešto bolje od onih koje ima top 100 mm D-10 sa olučenom cevi[7], koji se do tada ugrađivao u tenk T-55. Razvoj novog tenka OBJEKAT 432 odmah je započet sa novim topom 115 mm sa glatkom cevi. To je potvrda tendencije da osnovna odlika tenka treba da bude njegova vatrena moć. Po prioritetnom zadatku projektni tim fabrike »Vagonka« u Njižnom Tagilu na bazi produženog tela tenka T-55 razvija tenk OBJEKAT 166 sa topom 115 mm sa glatkom cevi, a ubrzo zatim i novu varijantu tenka OBJEKAT 167, na kojem je bio primenjen poboljšani sistem oslanjanja. Međutim, hitnost programa opremanja uticala je na vladu da donese odluku o usvajanju u naoružanje jednostavnijeg modela OBJEKAT 166, čija je serijska proizvodnja počela 1962. godine, pod nazivom tenk T-62.

Odluka Hruščova da se obustavi dalji razvoj teškog tenka pogodovala je afirmaciji Morozovljevog koncepta standardnog tenka, pa su prototipovi OBJEKTA 432 bili spremni za prikazivanje Hruščovu oktobra 1962. godine. Posebna novina u tom tenku bio je dizel-motor 5TD sa suprotnosmernim klipovima. U isto vreme, na Hruščova vrši pritisak i projektni tim »Vagonke« iz Njižni Tagila, koji nudi svoj OBJEKAT 167 kao novi univerzalni tenk, a to je, zapravo, tenk T-62 sa novim sistemom oslanjanja i, da bi se zadovoljila Hruščovljeva opsednutost raketama[8], projektanti ugrađuju protivoklopni lanser na kupolu. Početkom šezdesetih godina učinjeno je nekoliko pokušaja da se razvije tenk koji ispaljuje rakete. Tako se na tenku OBJEKAT 775 (razvoj u Čeljabinsku) raketa ispaljivala iz topovske cevi, dok su na

[6] Jedan dezerter iranske vojske prevezao je tenk na sovjetsku teritoriju.

[7] Prelazak sa olučenih na glatke cevi zahtevala je primena potkalibarnih projektila sa velikim početnim brzinama, većim od 1400 m/s.

[8] Hruščovljeva opsednutost raketama ogledala se u formiranju novog vida sovjetskih oružanih snaga, decembra 1959. godine, pod nazivom Strateške oružane snage.

lovcima tenkova OBJEKAT 150 (razvoj u Njižnom Tagilu) OBJEKAT 287 (razvoj u Lenjingradu) primenjena rešenja za šinsko lansiranje raketa.

Pritisnut rivalitetom konkurentskih rešenja iz Harkova i Njižni Tagila Hruščov je odustao od donošenja odluke o izboru novog standardnog tenka, očekujući dalje aktivnosti na razvoju tenka sa raketnim naoružanjem. Prikaz lovca tenkova OBJEKAT 150 (IT-1), septembra 1964. godine, učvrstio je stav Hruščova »da tenkovi nemaju budućnost«. Međutim, odnos prema oklopnoj tehnici bitno se menja dolaskom na vlast Leonida Brežnjeva. Naime, izbor koncepcije rešenja tenka i prioritete opremanja vojske on je prepustio nadležnima iz vojske i industrije.

Koncepcija tenka sa raketnim naoružanjem nije u praksi verifikovana kao valjana alternativa konvencionalnom tenku, te je tokom 1965. godine proizveden manji broj lovaca tenkova IT-1 na šasiji tenka T-62. Taj koncept je odbačen pošto ga nisu podržale ni oklopne jedinice ni artiljerija. Nastavljen je samo rad na ispaljivanju rakete iz topovske cevi u projektantskom birou A. Raspletina u Tuli (uz pomoć GBTU), a kao rezultat razvoja pojavila se, sredinom sedamdesetih godina, vođena raketa KOBRA, koja se ispaljuje iz topa 125 mm.

Nastanak tenka T-72

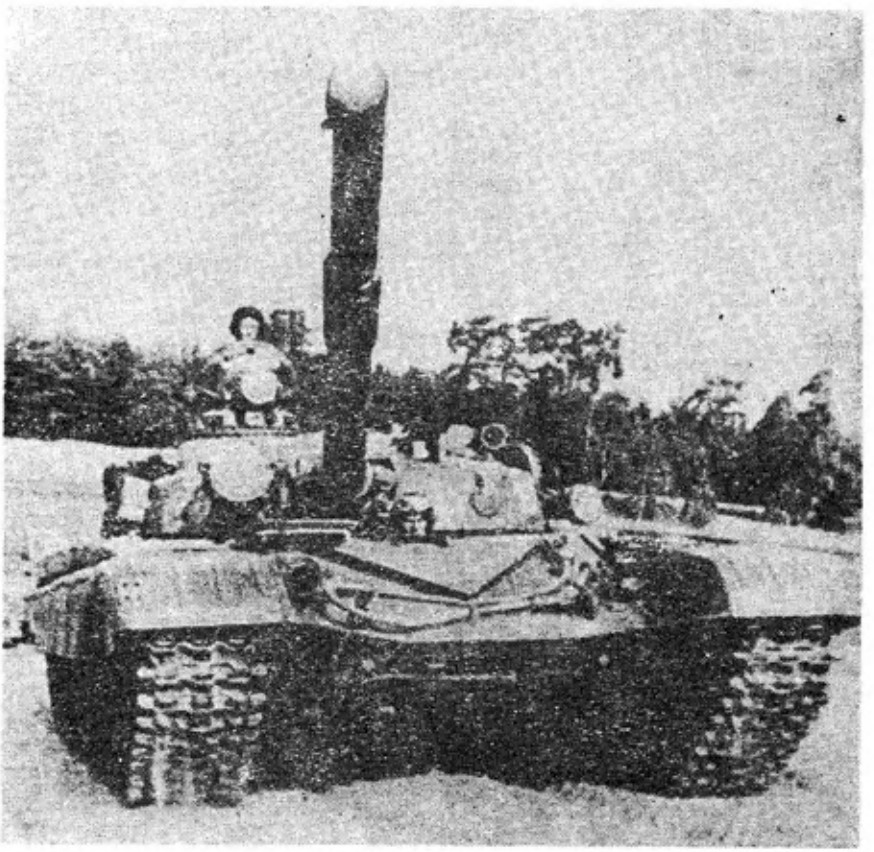
Izbor novog osnovnog tenka, koji bi zamenio srednji tenk T-62 i teški tenk T-10, bio je sveden na samo dva rešenja — tenk OBJEKAT 167 koji je nudila »Vagonka«, i poboljšani tenk OBJEKAT 434, koji je nudio Morozovljev biro iz Harkova. Veći broj stručnjaka iz vojske i industrije opredelio se za jednostavnije rešenje — OBJEKAT 167, zbog manjih troškova proizvodnje i logističkih razloga (motor isti kao na tenkovima T-55 i T-62, a municija istovetna kao za tenk T-62). Asortiman tenkovske municije bio je sveden samo na kalibre 100 mm i 115 mm, uz veći broj specijalizovane municije za topove desantnih i drugih oklopnih vozila. OBJEKAT 434 bio je, takođe, naoružan topom 115 mm sa glatkom cevi, istovetan sa topom U-5T kao na tenkovima T-62 i OBJEKTU 167, ali je zbog automatskog punjača municija bila različita (dvodelna).

Suprotno onima čiji je izbor bio motivisan manjim troškovima i logističkom povezanošću sa prethodnim rešenjima tenkova, GBTU je izričito bio za radikalni pomak u koncepciji budućeg tenka, te je njegov izbor bio tenk OBJEKAT 434 koji je, u poređenju sa OBJEKTOM 167, imao poboljšanu oklopnu zaštitu, veću vatrenu moć zahvaljujući povećanoj brzini gađanja, bolju preciznost topa i veću pokretljivost. Po završetku dugotrajnog razvoja OBJEKAT 434 je usvojen za serijsku proizvodnju pod nazivom T-64. U to vreme tenk T-64 bio je najsavršeniji tenk na svetu, prvi sa automatskim punjačem i sa topom najvećeg kalibra (sa glatkom cevi).

Međutim, ispitivanja tenka T-64 u jesen 1967. godine, u Beloruskoj vojnoj oblasti, bila su poražavajuća. Ponašanje dizel-motora je bilo katastrofalno, pokazalo se da je primenjen usavršeni sistem oslanjanja teško održavati u terenskim uslovima, a automatski punjač bio je nepouzdan i opasan po bezbednost posade. Da bi se otklonili navedeni nedostaci, stručnjaci iz konkurentske fabrike »Vagonka« predložili su da se ugradi poboljšana verzija dizel-motora V-45 iz tenka T-62, sistem oslanjanja zameni oslanjanjem razvijenim za OBJEKAT 167, a nepouzdani automatski punjač u topu T-64 kasetnim punjačem razvijenim u projektantskom birou Kovaljeva i Bistrickog. GBTU je odobrio program navedenih izmena u novembru 1967. godine, a tako izrađen prototip tenka nazvan je OBJEKAT 172. Iako je u početku intencija bila da OBJEKAT 172 u

svemu, osim motora, bude sličan tenku T-64, na kraju razvoja dobijen je sasvim novi tenk. Posle pojave prototipa OBJEKTA 172 pojavile su se ozbiljne razmirice između direktora fabrike »Vagonka« u Njižnom Tagilu i rukovodioca projektnog tima Leonida Karceva, te je u leto 1969. godine Karcev podneo ostavku. Na njegovo mesto postavljen je V. Vegidiktov, koji je nastavio razvoj OBJEKTA 172 ugradnjom poboljšanog motora V-46, pa je novo rešenje tenka dobilo naziv OBJEKAT 172M.

U međuvremenu, do početka ispitivanja OBJEKTA 172M, projektni tim Morozova uspeo je da otkloni većinu tehničkih nedostataka na tenku T-64. Poboljšani tenk, oznake OBJEKAT 437, umesto topa 115 mm D-68 imao je top 125 mm sa glatkom cevi. Taj model, pod oznakom T-64A, počeo je serijski da se proizvodi 1969. godine u fabrikama u Harkovu i Omsku, dok je u Njižni Tagilu nastavljena proizvodnja tenka T-62, pre svega za potrebe izvoza. Navedenim postupcima otklonjeni su tehnički problemi na tenku T-64A, ali je njegova cena ostala vrlo visoka. Cena izrade tenka T-64A iznosila je 250.000 rubalja, dok je cena do tada najskupljeg sovjetskog tenka T-10 bila samo 100.000 rubalja. Imajući u vidu da će tenk OBJEKAT 172M, zbog primene jednostavnijih vozilskih komponenti i jednostavnog sistema za upravljanje vatrom, biti jeftiniji od T-64A čak za oko 40%, vlada je 1973. godine dala nalog fabrici »Vagonka« u Njižni



Sl. 3 — Tenk T-72

Tagilu da obustavi proizvodnju tenka T-62 i da započne proizvodnju OBJEKTA 172M, pod nazivom tenk T-72. Tom odlukom srušeni su dugo sanjani snovi velikog broja ruskih konstruktora da se raznovrsni modeli postojećih tenkova zamene jednim univerzalnim. Naime, iako su tenkovi T-64A i T-72 imali isti top i municiju, većina važnih delova i sklopova (kao što su motor, transmisija i gusenice) potpuno su se razlikovali [2].

Tokom osamdesetih godina mnogi zapadni vojni analitičari opisivali su sovjetski sistem opremanja naoružanjem napadno efikasnim, sa strogo postavljenim ciljem da elementi tog sistema naoružanja budu međusobno usaglašeni. Sada se može reći da takvo tumačenje nije bilo zasnovano na proučavanju sovjetske prakse, već je verovatno bilo motivisano potrebom da se verzija »idealizovanog sistema naoružanja« nametne kao model za reformu NATO sistema nabavke naoružanja. Naime, sedamdesetih godina propali su pokušaji da se odabere jedinstveno rešenje tenka za opremanje NATO[9]. Nacionalni prioriteti su nadvladali potrebu savezničkog uniformnog razvoja i opremanja naoružanjem ne samo u oblasti tenkova već i u drugim klasama naoružanja.

Sukob koncepcija tenkova T-72, T-64 i T-80

Najekstremniji primer udaljavanja sovjetske vojske od idealizovanog cilja uniformisanja naoružanja jeste program razvoja tenka T-80. Većina zapadnih analitičara očekivala je da se »ponovi šema« dvadesetogodišnjeg zanavljanja novim proizvodom i pojavi radikalno novi tenk, koji je na zapadu najavljivan kao FST-1 i FST-2 (budući sovjetski tenk). Očekivalo se da poseduje savremeniji oklop, top većeg kalibra i druge novine već ugrađene u zapadne tenkove. Umesto toga pojavio se tenk T-80, kao verzija tenka T-64 sa turbinskim pogonom.

Ruska tenkovska gasna turbina

Razvoj motora sa gasnom turbinom započet je 1949. godine u birou Kotina SKB-2 u fabrici »Kirov« u Lenjingradu. Taj prvi pokušaj nije bio uspešan, a ponavlja se 1958-59. godine u sklopu razvoja teškog tenka OBJEKAT 277. Zatim sledi naredba Hruščova da se obustavi razvoj teških tenkova, te da se fabrika »Kirov« preorijentiše na proizvodnju industrijskih traktora.

Godine 1963. birou Kotina pripaja se biro za projektovanje motora Klimov, koji uspešno razvija prvu rusku gasnu turbinu za helikoptere. Koristeći to iskustvo pristupa se razvoju opitnog tenka sa gasnom turbinom. Tokom 1966. godine to istraživanje se uspešno završava izradom i ispitivanjem OBJEKTA 288, a zatim počinje razvoj gasne turbine od 735,3 kW (1000 KS) — projekat GTD-1000T.

Posle pada Hruščova bivši biro OKBT u Lenjingradu iskorišćen je za osnivanje novog instituta u okviru Mintransmaša. Tim institutom rukovodio je najpre P. K. Vorošilov, a kasnije N. S. Popov. Za razliku od drugih instituta ovaj je imao pravo da preduzme poslove i odgovornost projektovanja i proizvodnje tenkova. Tako je fabrika »Kirov«, koja je deset godina bila isključena iz proizvodnje tenkova, krajem sedamdesetih godina bila ponovo osposobljena za proizvodnju tenkova.

[9] Umesto planiranog projekta zajedničkog tenka MBT-70 svaka zemlja je krenula svojim putem, pa su Amerikanci uveli u naoružanje tenk ABRAMS M1, Nemci tenk LEOPARD II, a Englezi i Francuzi nisu ni bili zainteresovani za zajednički tenk.

Verzija tenka T-64 sa turbopogonom pojavila se sredinom šezdesetih godina pod oznakom T-64T, sa gasnom turbinom GTD-3TL od 257,3 kW (350 KS). Ova verzija je poslužila kao osnovica za koncept tenka OBJEKAT 219, čiji je razvoj započet 1969. godine u fabrici »Kirov« u Lenjingradu, a prototip završen 1970. godine. Kao i u tenk T-72 i u OBJEKAT 219 je ugrađen veliki broj komponenti iz tenka T-64, pa je opšta konfiguracija tela vozila i kupole bila slična onoj na tenku T-64. Projektantski tim Popova nije bio zadovoljan sistemom oslanjanja u T-64, pa je razvio svoje rešenje bazirano na primeni konvencionalnih torzionih štapova. Ispitivanja su pokazala da motor sa gasnom turbinom ima veću snagu i obrtni momenat, kao i brzinske performanse (uz veću potrošnju goriva) u poređenju sa karakteristikama dizel-motora 5 TDF na tenku T-64A [2].

Iz još nepoznatih razloga, 1976. godine doneta je odluka o usvajanju u naoružanje tenka T-80, samo tri godine posle usvajanja tenka T-72 i T-64A i devet godina posle usvajanja T-64. U logističkom pogledu to je bilo opterećenje za sovjetsku vojsku, jer je tenk bio nekompatibilan sa prethodnima, imao je različiti motor, transmisiju, oslone točkove, gusenice i druge komponente. U eksploataciji su se pojavili problemi sa pouzdanošću motora zbog primene nove tehnologije, a vek upotrebe mu je bio ograničen na samo 500 sati. Ipak, tenk T-80 je imao bolje brzinske performanse u odnosu na tenk T-64A, dok su im vatrena moć i zaštita bili približno isti. Kratko vreme po otpočinjanju serijske proizvodnje korisnik (sovjetska armija) zahtevao je »program unifikacije« T-64, T-72 i T-80, u zakasnelom pokušaju da se izvrši standardizacija delova u optimalnoj meri. Tako su, na primer, u T-80 ugrađena poboljšanja topa i sistema za upravljanje vatrom iz tenka OBJEKAT 447, odnosno T-64B.

Tenkovi T-80 i T-64A bili su znatno skuplji (i savremeniji) od tenka T-72, te su u prvo vreme bili namenjeni za naoružavanje tenkovskih diviziona velike borbene gotovosti, kao što su grupe sovjetskih oružanih snaga u DR Nemačkoj. Jedno od bitnih usavršava-

Tenk T-80U

Borbena masa tenka — 46 tona, maksimalna brzina kretanja — 70 km/h, autonomija kretanja — 335 km, posada — tri člana.

Motor — gasna turbina sa dvostepenim turbokompresorom, snaga — 919 kW (1250 KS), transmisija — mehanička, planetarna.

Naoružanje — top 125 mm sa glatkom cevi, 2A46M-1; spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT; PA mitraljez 12,7 mm UTES (NSVT-12,7); PO raketa 9K119 (REFLEKS) ispaljuje se iz cevi, vođenje po laserskom snopu.

Automatski punjač — 28 metaka i raketa, obezbeđuje brzinu gađanja od 6—8 metaka/minut pri kretanju tenka brzinom 25—30 km/h pri svim uglovima kupole.

SUV 1A45 — automatski, sa dvojnom komandom kod komandira; dnevna sprava 1G46 periskopska sa nezavisnom stabilizacijom nišanske linije i laserskim meračem daljine; noćna sprava TPN4-29-23 periskopska, pasivno-aktivna; dnevno-noćna sprava komandira TKN-4S periskopska, pasivno-aktivna; elektronski balistički računar.

Zaštita — višeslojni oklop i spoljna dinamička zaštita čeonih površina tela vozila i kupole i hodnog dela ekranima, štiti od dejstva potkalibarnih i kumulativnih projektila, prenosnih PO vođenih raketa, ručnih PO bacača, kasetnih avionskih bombi [4 i 6].

nja tenka T-64 je bila ugradnja protivoklopne rakete 9K112 (KOBRA) na model T-64B (OBJEKAT 447A), sa lansiranjem iz cevi topa (1976. godine). Usavršavanje tenka T-64 okončano je 1984. godine kada je Harkovski tim, ugradnjom dizel-motora 6TD od 735,3 kW (1000 KS), pokušao da dostigne performanse tenka T-80. Posle toga je Mintransmaš izdao naredbu fabrici u Harkovu da pređe na proizvodnju tenka T-80, koji se već proizvodio u fabrikama u Lenjingradu i Omsku. Sredinom osamdesetih godina u proizvodnji ostaju samo dva tenka — skuplji tenk T-80, koji proizvode fabrike u Lenjingradu, Harkovu i Omsku i jeftiniji tenk T-72 koji proizvodi fabrika u Njižni Tagilu.

Godine 1978. pojavio se T-80B (OBJEKAT 219R) i označio još jedno žestoko nadmetanje dva projektantska tima, ovoga puta u domenu oklopne zaštite. Tako je tim Popova 1980. godine realizovao T-80B sa pojačanim oklopom, a tim iz fabrike »Vagonke« razvio T-72B (OBJEKAT 182) sa drugačijim i usavršenijim oklopom kupole. U serijsku proizvodnju zatim ulazi tenk T-80B sa ugrađenim poboljšanim motorom GTD-1000TF, čiji je vek upotrebe produžen na oko 1000 sati rada. Odmah po završetku razvoja (1985. godine) protivoklopnih raketa druge generacije 9K119 (REFLEKS) i 9K120 (SVIR), koje se, takođe, ispaljuju iz cevi topa, one se respektivno ugrađuju, i to prva na tenk T-80U, a druga na T-72S [4].

Od 1985. godine na sve sovjetske tenkove se, u postupku postepene modernizacije, vrši ugradnja reaktivnog oklopa KDZ. Razvoj ovog tipa oklopa, u najmanje dve generacije proizvoda, vođen je u naučno-istraživačkom birou u Kubinki. Obe generacije imaju sličan spoljašnji izgled čeličnih kutija, oblika kvadra. Nedostatak prve generacije, koji se ogledao u mogućoj prevremenoj eksploziji, izazvanoj dejstvom streljačke municije, otklonjen je na kutijama druge generacije.

Čak i posle obustavljanja proizvodnje tenka T-64, tri projektna tima nastavljaju delimično svoje takmičenje u kreiranju novih rešenja sve do kraja

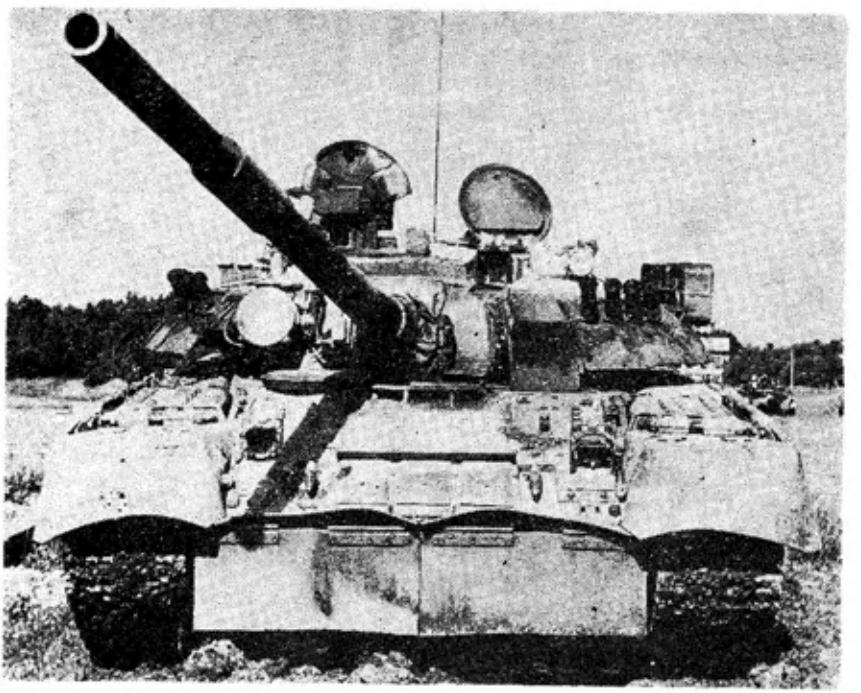
Sl. 4 — Tenk T-72S

osamdesetih godina. Tako institut Transmaša razvija novi »dinamički« oklop koji nudi zaštitu i od dejstva potkalibarnih projektila (koji deluju kinetičkom energijom udara). On je po prvi put ugrađen na tenk T-80U (OBJEKAT 219AS) umesto reaktivnog oklopa. Na isti tenk ugrađena je i gasna turbina povećane snage GTD-1250T. Takođe, tim »Vagonke« je razvio novi oklop za svoj tenk T-72M.

Koncept tenka sa gasnom turbinom bio je predmet rasprava u sovjetskoj vojsci, a najviše zbog nedovoljnog veka upotrebe i velike potrošnje goriva. Stoga je projektantski biro iz Harkova ponudio svoju alternativu, OBJEKAT 478B, koji čini tenk T-80U, ali sa dizel-motorom 6TDF umesto gasne turbine. Uprkos nastojanjima da se izvrši unifikacija, sve do 1990. godine proizvode se tenkovi sa tri različita motora i pogonske grupe. Do tog perioda postignuta je saglasnost u vezi sa izborom topa i oklopne zaštite. Ali, kada su u pitanju motorska grupa i gusenice stavovi još uvek nisu usaglašeni. Ta neusaglašenost stavljena je u drugi plan promenom politike proizvodnje tenkova. Naime, dolaskom Gorbačova, koji je smatrao da je odbrana na zadovoljavajućem nivou, reducira se proizvodnja tenkova. Prema američkim podacima, u toku 1988. godine u SSSR-u je proizvedeno 3500 tenkova, 1989. godine proizvodnja je smanjena na samo 1700 komada, a već 1990. godine proizvodnja u Lenjingradu je obustavljena.

Stanje posle raspada SSSR-a — šansa za univerzalni tenk?

Raspad SSSR-a, krajem 1991. godine bitno je uticao na proizvodnju tenkova. Grad Harkov, tradicionalno vodeći projektni i proizvodni centar srednjih tenkova sada se nalazi u Ukrajini i teško da je u stanju da nastavi proizvodnju sopstvenog tenka, jer više od 70% komponenti se proizvodi

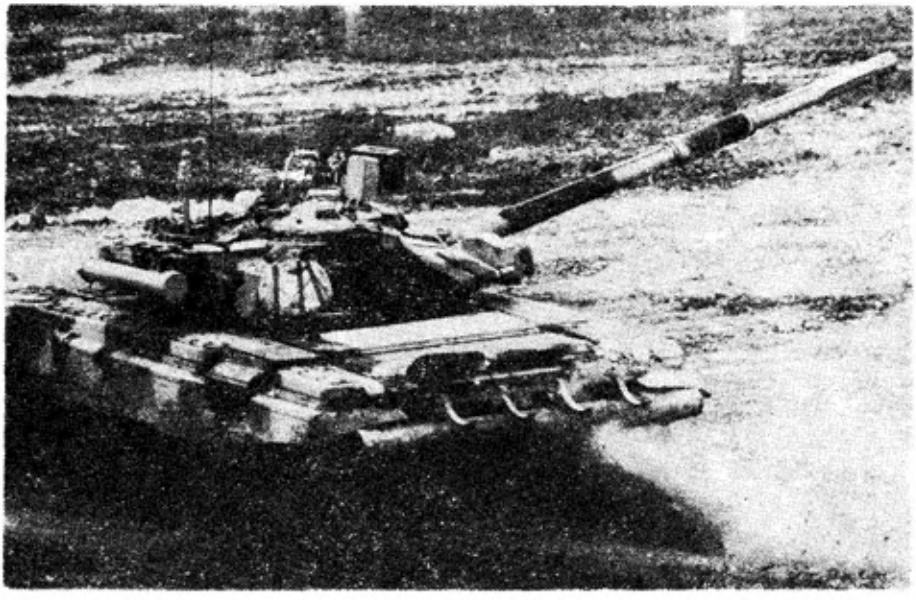


Sl. 5 — Tenk T-80U

u fabrikama Ruske Federacije. U Ruskoj Federaciji budući primat i trku u razvoju tenkova mogu da nastave »Vagonka« iz Njižni Tagila sa svojim tenkom T-72BM i »Transmaš« iz Sent Peterburga sa svojim T-80U. Posle 1992. godine ruska proizvodnja je pala na samo 675 tenkova godišnje[10].

Svestan verovatnoće da će ruska vojska vršiti pritisak da dobije univerzalni tenk, projektantski tim iz Njižni Tagila odlučuje da modifikuje svoj T-72BM i tako zadovolji predstojeći zahtev. Da bi se neutralisao glavni nedostatak u tenku T-72 u odnosu na tenk T-80U, a to je nesavremen sistem za upravljanje vatrom, ugrađena je kupola (sa naoružanjem i SUV) tenka T-80U na šasiju tenka T-72 i tako dobijen OBJEKAT 188, odnosno tenk T-90, koji je prvi put javno prikazan na izložbi naoružanja u Kubinki u leto 1993. godine. U isto vreme institut »Transmaša« nastavlja da usavršava tenk T-80U, uključujući i ugradnju izuzetno (i možda nepotrebno) snažnog motora sa gasnom turbinom od 1102,9 kW (1500 KS). Projektantski tim u Harkovu, sa glavnim projektantom Anatolijem Slovikovskim, pokušava da tenku T-80U da »ukrajinsku notu« pod nazivom T-84.

Godine 1992. Ruska vojska započinje seriju vežbi na poligonu u Embi radi razmatranja i definisanja budućih zahteva za naoružanje i reorganizaciju jedinica[11]. Tokom vežbe vršena su uporedna ispitivanja tenkova T-80U iz Sent Peterburga i T-90 iz Njižni Tagila. U izjavi datoj posle vežbe, general-pukovnik Aleksandar Galkin, načelnik GBTU, rekao je da Rusija želi da do 1994. godine dobije jedan jedini »unificirani« tenk, koji bi po tehničkim karakteristikama odgovarao nemačkom LEOPARD II ili američkom M1A2. Kako se novi tenk opisuje kao ekvivalentan navedenim zapadnim tenkovima, neki zapadni analitičari su zaključili da Galkin najavljuje novu konstrukciju osnovnog borbenog tenka, dok ruski ana-



Sl. 6 — Tenk T-90

[10] Posebno je veliki pad proizvodnje u fabrici transportnih mašina iz Omska, koja je u vreme Brežnjeva proizvodila oko 1000 tenkova godišnje, a u 1992. godini je proizvela samo 160 tenkova T-80U, i to 155 za izvoz i samo 5 za rusku vojsku.

[11] Vežbi su prisustvovali Andrej Kokošin, prvi zamenik ministra odbrane, Oleg Saskavec i Aleksandar Šiškin, u ime vlade, Aleksandar Piskunov, u ime Komiteta za odbranu i bezbednost ruske Dume i predstavnici Ruskog komiteta za vojnu industriju.

litičari uporno ostaju pri tvrdnji da je postojeći T-80U već dostigao navedeni nivo ili je čak i bolji u mnogim performansama od zapadnih tenkova. Galkinovu izjavu, ipak, treba jednostavno shvatiti kao ruski pokušaj da se proizvodnja svede na jedan model tenka, T-80 ili T-90.

pokušaji čine i u vodećim zapadnim vojskama. Glavni nedostatak ruskih tenkova u Zalivskom ratu bio je što u SUV-u ne poseduju termičku kameru za dejstva u noćnim uslovima. Taj nedostatak sada se otklanja zakasnelim uvođenjem u SUV tenka T-90 noćne sprave AGAVA. U domenu zaštite ten-

Tenk T-90

Borbena masa tenka — 46,5 tona, posada — tri člana.

Motor — dizel, četvorotaktni V-84MS, snaga 617,6 kW (840 KS).

Naoružanje — top 125 mm sa glatkom cevi, stabilizovana u dve ravni, 2A46M; spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT; PA mitraljez 12,7 mm, NSVT-12,7; raketa 9K119 i 9K119M ispaljuje se iz cevi topa, vođenje po laserskom snopu, daljina 100 m do 5000 m; borbeni komplet 43 metka, od toga 22 u automatskom punjaču.

SUV 1A45T — automatski, sa mogućnošću dvostrukog upravljanja vatrom (sem raketa) sa mesta komandira; sprava nišandžije 1A43 — nišan, daljinomer i uređaj za navođenje 1G46, noćna sprava TPN4-49-23 BURAN-PA ili AGAVA-2; raspoznavanje cilja sa BURANOM u pasivnom režimu 1200 m, a u aktivnom režimu 1500 m; dnevno-noćna sprava komandira TKN-4S (AGAT-S); balistički računar 1B528-1.

Zaštita — protiv dejstva projektila kao na T80U; dopunska zaštita optoelektronskim kompleksom ŠTORA-1 [4].

Odluka o izboru jednog od tenkova za buduću proizvodnju svakako neće značiti kraj procesa razvoja ruskih tenkova. Pretpostavlja se da će se Rusija najpre koncentrisati na važan zadatak standardizacije svojih oklopnih snaga, u što je moguće većoj meri. To će, verovatno, značiti izbacivanje iz operativne upotrebe starijih tipova tenkova i standardizaciju tenkova familije T-64, T-72 i T-80. Malo je verovatno da će se novčana sredstva uložiti u razvoj još jednog novog tenka u bliskoj budućnosti; verovatnije je da će se ona (makar i ograničena) upotrebiti za modularnu modernizaciju postojećih. Naime, rat u Zalivu 1991. godine ukazao je na neke nedostatke ruskih tenkova, posebno onih u domenu sistema za upravljanje vatrom i pratećih senzora.

Neki od programa modernizacije već su u toku, a treba reći da se slični

ka u institutu u Kubinki izrađen je opsežan program razvoja novih tipova pasivnih i aktivnih oklopa (kojim rukovodi dr Viktor Brizgov). Nova generacija reaktivnog oklopa, pod nazivom »Kontakt« već se nudi za izvoz. Projektantski biro Oka KMB iz Kolomne razvija aktivni (senzorski) zaštitni sistem pod nazivom ARENA, koji treba da zameni sistem DROZD, prethodno razvijen u Tuli. Sistem ARENA predstavlja, u osnovi, aktivirajuće eksplozivne table za odbranu tenka od protivoklopnih projektila i raketa. Takođe, završen je razvoj optoelektronskog sistema ŠTORA, koji je već ugrađen u novu verziju tenka T-90. Taj sistem zaštite onemogućava protivničke protivoklopne rakete sa poluautomatskim sistemima navođenja da pogode tenk i ometa vođene projektile protivnika sa laserskim navođenjem na cilj [2, 4 i 5].

HRONOLOGIJA RAZVOJA SOVJETSKIH (RUSKIH) TENKOVA

	KB Lenjingrad		KB Harkov		KB Njižni Tagil	
Godina	**I&R**[1]	**S P**[2]	**I&R**	**S P**	**I&R**	**S P**
1960.			Ob.430			
1961.	Ob.287				Ob.167	
1962.	Ob.288					
1963.			Ob.432			
1964.						
1965.			Ob. 434			
1966.						
1967.			Ob.437A	T-64		
1968.						
1969.				T-64A	Ob.172	
1970.	Ob.219					
1971.					Ob.172M	
1972.			Ob.447A			
1973.						T-72
1974.						
1975.						T-72M
T-80	Ob.219R	T-80		T-64B		
1977.						
1978.		T-80B			Ob.174	
1979.	Ob.219AS					T-72A
1980.						T-72M1
1981.			Ob.447T			
1982.						
1983.				T-64BM	Ob.182	
1984.		T-80U				
1985.						T-72B
1986.	Ob. H		Ob.478V		Ob.184	
1987.						T-72S
1988.				T-80UD		T-72BM
1989.						
1990.						
1991.					Ob.188	
1992.						
1993.			Ob.478H			T-90
1994.				T-84		
1995.		?				

[1] I&R -Istraživanje i razvoj
[2] S P - Serijska proizvodnja

Procena raspodele sovjetskih tenkova 1990. godine

Model tenka	Rusija	Belorusija	Ukrajina	Ukupno
T-54	943	22	628	1593
T-55	955		2175	3130
T-62	1508	317	196	2021
T-64	1888	3	2091	3982
T-72	2323	1644	1125	5092
T-80	4766		141	4907
Ukupno	12383	1986	6356	20725

Vlada uverenje da se u Rusiji ipak uveliko radi na razvoju nove generacije tenka, koji po performansama treba da prevaziđe unificirani T-80/T-90. Čak i ako je taj razvoj završen, to ne mora da znači da će ruska vojska brzo dobiti novi osnovni borbeni tenk. Pored ekonomskih teškoća u kojima se nalazi sadašnje rusko Ministarstvo odbrane, treba imati u vidu i ruska tradicionalna shvatanja koja se odnose na izradu i upotrebu oklopnih sredstava. Dosadašnja iskustva i tradicija upućuju na tvrdnju da nije realna pretpostavka da će tenkovi familija T-80/T-90, generacije koju još nismo u celosti ni upoznali, brzo napustiti scenu.

Literatura:

[1] Zheltov, I., Pavlov, M.: From the History of Russian Weapons — Tank Laboratory, Military Parade, January-February 1995, 98—100.
[2] Zaloga, S.: Trends in Russian Tank Desigh, Jane's Intelligence Review, June 1994, 243—249.
[3] Dragojević, M.: Tenkovi i borbena vozila pešadije, VINC, Beograd 1986. godine.
[4] Russia's Arms — Catalog, Volume I — ARMY, 1996-97, Military Parade, str. 153—162.
[5] Bespalov, S.: T-90 Russian Battle Tank, Military Parade, novembar—decembar 1995, str. 64—69.
[6] Jelisejev, V., Sancev, P.: Rosijskij osnovnoj tank T-80V, Vojenij parad, septembar—oktobar 1994, str. 152—156.

prikazi iz inostranih časopisa

BORBENA ODELJENJA S AUTOMATSKIM NAORUŽANJEM*

U poslednje vreme u svetu je aktuelan razvoj univerzalnih borbenih odeljenja naoružanih različitim automatskim naoružanjem, u zavisnosti od namene. Ova odeljenja su standardizovana i mogu se montirati na različita borbena vozila ili biti postavljena kao vatrene tačke.

Razvoju odeljenja prišle su i ruske firme, a tekao je po sledećim etapama:

— sveobuhvatan pristup proučavanju sistema naoružanja borbenih vozila i analiza njihove borbene efektivnosti;

— definisanje zahtevanih vatrenih parametara, uključujući i probleme gađanja pokretnih i vazdušnih ciljeva, uz postojeća ograničenja koja se odnose na masu i dimenzije borbenih odeljenja;

— izrada tehničke dokumentacije i proizvodnja prototipova;

— testiranje i modifikacija prototipova;

— prenošenje dokumentacije i uzoraka u fabrike za serijsku proizvodnju.

Sistemi naoružanja sastavljeni su od vrlo efikasnih pojedinačnih oružja i oruđa koja se već nalaze u operativnoj upotrebi, kao što su: automatski top 30 mm 2A42 (2A72); mitraljez 7,62 mm; mitraljez 12,7 mm; mitraljez 14,5 mm, sistem protivtenkovske vođene rakete KONKURS i automatski bacač granata AG-17.

Sledeći navedene etape, prvo je razvijeno borbeno odeljenje za jurišno vozilo BMD-2, zatim oružni moduli za oklopne transportere BTR-80 (BTR-70), dodatno naoružanje za osnovni borbeni tenk, univerzalni teleskopski komplet naoružanja i modernizovano borbeno odeljenje za borbeno vozilo BMP-2. Nakon završetka razvoja sistema naoružanja za borbena vozila, prišlo se definisanju odgovarajućih dimenzija nosača borbenih odeljenja. Tako su razvijene različite verzije borbenih odeljenja: sa jednim ili dva sedišta za poslužioce, mehaničkim ili automatskim stabilizovanim pokretačima. Karakteristike borbenih odeljenja prikazane su u tabeli 1.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar—februar 1996.

Tabela 1

Karakteristike borbenih odeljenja

	Jednosed	Dvosed
Masa (kg)	1250	2350
Prečnik (mm)	1300	1640
Naoružanje	— automatski top 30 mm 2A42 stabilisan u dve ravni, — spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT, — protivtenkovska vođena raketa KONKURS	
Borbeni komplet (metaka):		
— top	300	500
— matraljez	2000	2000
— protivtenkovska vođena raketa	4	4
Nišanski uređaji:		
— dnevno-noćni	BPK-1-42	BPK-1-42
— PA nišani	PZU	1-PZ-6

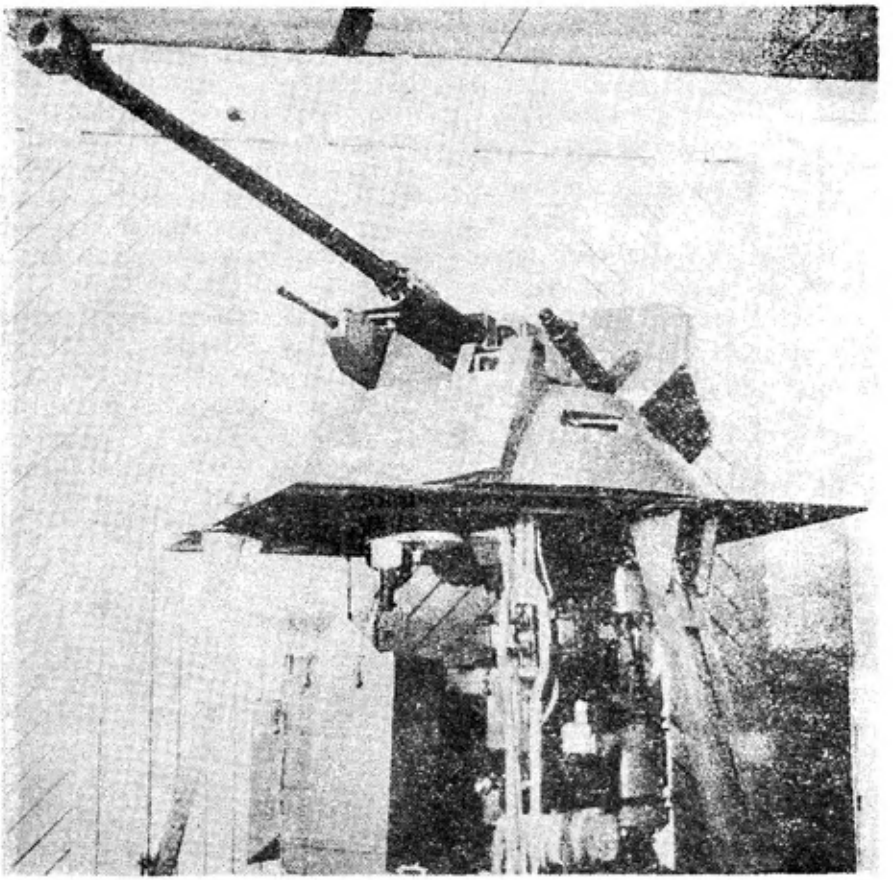
Jednosednu verziju borbenog odeljenja za jurišno vozilo BMD-2 čine automatski top 30 mm 2A42 stabilisan u obe ravni, spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT i sistem protivtenkovske vođene rakete KONKURS. Ovo odeljenje može da dejstvuje danju i noću po pokretnim ciljevima kao što su: lovci tenkova, lakooklopljena vozila i tenkovi. Borbena odeljenja mogu poslužiti i za modernizaciju drugih borbenih vozila različitog porekla, kao što su: borbeno vozilo pešadije BMP-1, AMX-13, M-113, i sl.

Za borbena vozila koja raspolažu velikim prostorom razvijena su borbena odeljenja sa sedištima za dva poslužioca koja, pored navedenih oružja, uključuju i automatski bacač granata AG-17, a omogućavaju i lansiranje protivtenkovskih vođenih raketa. Primena ovog koncepta modularnog naoružanja tj. konstrukcije zamenjivih oružnih modula, omogućava ugradnju različitih tipova borbenih odeljenja na iste nosače bez ikakvih modifikacija. Tako, na primer, tri jednosedna oružna modula koji su razvijeni za oklopne transportere BTR-80 (slika 1) i BTR-70 ugrađuju se na prsten prečnika 1075 mm i sadrže sledeća oruđa i oružja: automatski top 30 mm 2A42 i spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT; automatski bacač granata AG-17 i spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT; mitraljez 14,5 mm KPVT i spregnuti mitraljez 7,62 mm PKT. Moduli obezbeđuju pouzdan rad i daljinsko upravljanje oružjem koje je montirano izdvojeno od posade. Smeštaj topovskog naoružanja izvan odeljenja za posadu isključuje potrebu za odvođenjem barutnih gasova.

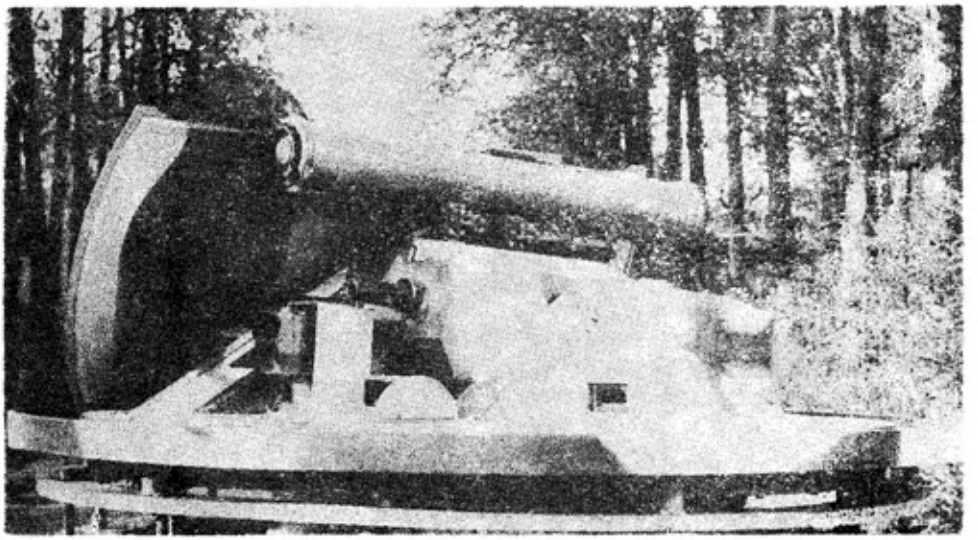
Radi proširenja mogućnosti tenkova u borbi protiv ciljeva iz vazdušnog prostora i lovaca tenkova, preporučuje se ugradnja automatskog topa 30 mm 2A42 kao dodatnog naoružanja. Opitni model ovog oruđa ugrađen je na tenk T-80. Top 2A42 montiran je na gornji zadnji deo kupole, a njegov borbeni komplet sadrži 450 metaka. Mogućnosti zakretanja topa u odnosu na kupolu su 120° po pravcu i 5° do 65° po visini.

Pored ovih borbenih odeljenja, namenjenih za ugradnju na borbena vozila, razvijena su i oklopljena odeljenja za naoružanje i posadu koja se mogu ukopati u zemlju na odbrambenim linijama, a u slučaju potrebe i izmeštati i transportovati putnim ili železničkim transportnim sredstvima.

Takvo je i univerzalno Goršakovo odeljenje (slika 2) namenjeno za organizaciju utvrđene odbrane u graničnim sektorima, zaštitu vitalnih objekata i organizaciju odbrane bez velikog



Sl. 1 — Oružni modul za BTR-80



Sl. 2 — Goršakovo borbeno odeljenje

gubitka vremena. Ono, u suštini, predstavlja oklopljeni cilindar sa poklopcem koji se otvara, a u zatvorenom položaju štiti naoružanje i osmatračke i nišanske optičke uređaje. Konstrukcija je ukopana u zemlju do nivoa poklopca, što je čini teškom za otkrivanje i praktično nedostupnom protivničkoj vatri. U zatvorenom položaju, jedan ili dva člana posade mogu da osmatraju bojno polje kroz periskope. Prilikom otvaranja vatre poklopac sa oružjem se izdiže iznad nivoa zemlje, dok posada ostaje u odeljenju. Oružjem se upravlja mehanički. Ovakva vatrena tačka je u stanju da odbije tenkove, lakooklopljena borbena vozila i živu silu, uz obezbeđenje povećane zaštite za posadu. U pogledu borbene efikasnosti ovo borbeno odeljenje nadmašuje slične standardne konstrukcije. Karakteristike Goršakovog borbenog odeljenja prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2

Karakteristike Goršakovog borbenog odeljenja

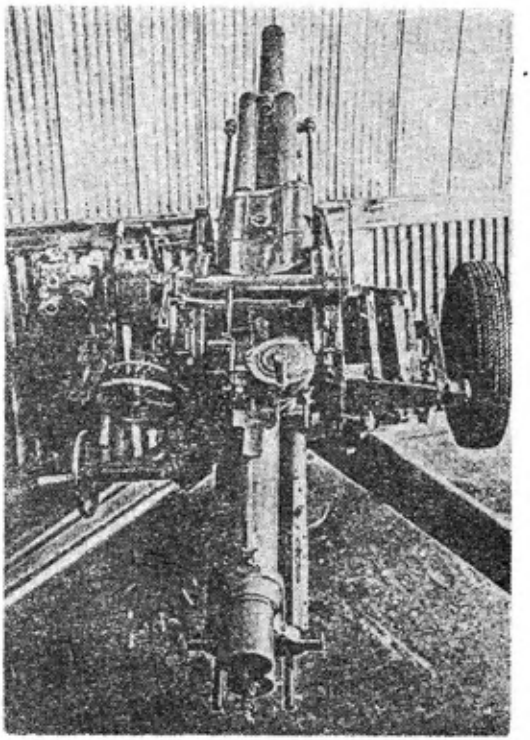
Masa (kg)	1500
Naoružanje:	
— automatski bacač granata AG-17	1
— mitraljez 7,62 mm PKT ili 12,7 mm NSV	1
— protivtenkovska vođena raketa	1
Borbeni komplet (kom.):	
— za automatski bacač granata	290
— za mitraljez PKT	1000
— za mitraljez NSV	500
— za protivtenkovsku vođenu raketu	4

M. S.

AUTOMATSKI MINOBACAČ 2K21*

Jednostavna konstrukcija, visoka pokretljivost i brzina paljbe, mogućnost gađanja ciljeva pod velikim elevacijskim uglovima i velika vatrena moć karakteristike su koje minobacačima obezbeđuju sigurno mesto u naoružanju svih vojski sveta.

Minobacači ostaju osnovna vrsta zemaljske artiljerije za podršku (ili kao pešadijska sredstva za podršku), sadejstvo sa pešadijom, te odbijanje protivničke žive sile i lakih borbenih sredstava. Međutim, ruska vojska u svom naoružanju ima i automatski minobacački sistem 82 mm 2K21 VASILJOK, za sada jedino automatsko oruđe ovog tipa u svetu.



Automatski minobacač 2K21 VASILJOK

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust 1995.

Ovaj sistem sadrži: 82 mm automatski minobacač tipa 2B9, transportno vozilo 2F54, bazirano na poznatom vozilu GAZ-66 koje je modifikovano ugradnjom specijalne opreme za utovar i istovar minobacača. Vozilo je namenjeno za prevoženje minobacača na karoseriji ili za njegovu vuču, kao i za prevoženje municije i posluge minobacača.

U svom kompletu minobacač ima optički nišan PAM-1 i osvetljivač PM2M koji omogućava gađanje u mraku. Magacin se puni sa 24 okvira u koje staje po 4 minobacačke mine. U borbenom položaju oslanja se na jednu stopu i ašove krakova lafeta. Oruđe se sastoji od sklopa automatskog minobacača, gornjeg dela lafeta sa mehanizmima i podvoza sa točkovima.

Pre punjenja punilac vrši zapinjanje pomeranjem pokretnih delova unazad dok se ne oslone na automatsku zapinjaču. Poluga razdvajača paljbe postavlja se u položaj koji odgovara izabranoj vrsti paljbe — automatskoj ili pojedinačnoj. Nakon toga minobacač se puni tako što se okvir sa minama postavlja u oruđe kroz poklopac na desnom ramenu. Opaljuje se pritiskom na polugu okidača.

Automatski minobacač može da radi u režimu jedinačne paljbe ili u automatskom režimu kada energiju barutnih gasova, koja nastaje u cevi, pretvara u energiju potrebnu za rad mehanizma za punjenje. Opaljenje se vrši u toku protivtrzanja cevi, a kao posledica razvija se energija trzanja koja se koristi za usporenje i zaustavljanje pokretnih delova. Prigušivanje ovog procesa obavlja se pomoću povratnika. Njegov pomak se apsorbuje apsorpcionim prstenovima klipa.

Nakon svake ispaljene mine mehanizam donosioca automatski pomera okvir pomoću jedne kosine koja donosi sledeću minu u osu cevi. Da bi produžio automatsku (rafalnu) paljbu, punilac u toku paljbe ubacuje sledeći okvir povezujući ga sa prethodnim i formirajući tako redenik. Na taj način omogućava se rad hidroelastičnog sistema koji kompenzuje protivtrzajuću energiju pokretnih delova u slučaju zastoja ili zakasnelog opaljenja mine.

Vodeno hlađenje cevi omogućava neprekidno dejstvo, isključujući prekide potrebne za hlađenje cevi. Rashladni sistem je zavarene konstrukcije koja se sastoji od: rashladnog plašta, kolektora pare i dva ventila — sigurnosnog i ventila za proveru.

Zavojni zatvarač uvodi minu u cev, udara u inicijalnu kapslu osnovnog punjenja, vrši zaptivanje između mine i cevi, a pod pritiskom barutnih gasova dolazi do pomeranja pokretnih delova i ponovnog zapinjanja.

Minobacač ima mehanizam koji obezbeđuje jednaku brzinu trzanja pri svim uglovima elevacije cevi.

Automatski minobacač ima osiguravajući mehanizam koji isključuje mogućnost okidanja za vreme dok radi mehanizam za punjenje, kada okvir nije postavljen, kao i u toku kretanja okvira pri donošenju sledeće mine u osu cevi.

Gornji stroj minobacača čine mehanizmi za zakretanje cevi po elevaciji i pravcu, mehanizam za okidanje i nišan.

Optički nišan sadrži dva međusobno spojena nišana za neposredno i posredno gađanje. U toku rada sa nišanom za posredno gađanje ne ometa se nišanska linija nišana za neposredno gađanje, što znači da se nišan uvek može koristiti za neposredno gađanje.

Podvoz se sastoji od: donjeg postroja, krakova lafeta i točkova. Prevoženje minobacača na karoseriji vozila znatno je pogodnije za duže transporte, dok se vuča minobacača koristi samo za premeštanje oruđa s položaja na položaj ili u slučaju hitnog napuštanja položaja zbog opasnosti. Da bi se minobacač učinio stabilnim u toku paljbe i da bi se mogla menjati visina cevi, koristi se sistem nazubljene letve i zupčanika koji su šarnirno spo-

jeni sa prednjim delom zadnjaka i koji se ručno pomeraju. Za vreme paljbe ili prevoženja ovaj mehanizam je učvršćen i osiguran.

Automatski minobacač 2B9 koristi mine velikog dometa O-832DU koje se sastoje od parčadne košuljice, upaljača i osnovnog i dopunskog barutnog punjenja.

Borbeni komplet sastoji se od 226 minobacačkih košuljica sa 96 mina smeštenih u 24 okvira poređana u specijalne sanduke, dok se ostatak čuva u 13 proizvođačkih pakovanja.

Može se zaključiti da se domet minobacača 2B9 ne razlikuje od dometa ostalih minobacača (maksimalni domet varira između 4000 i 4500 m), brzina na ustima cevi nešto je veća (oko 20 m/s iznad proseka) i može da gađa pri malim uglovima, uključujući i depresiju od 1,16°, dok elevacioni uglovi za uobičajene minobacače variraju između 35° i 90°.

Relativno velika masa ovog minobacača kompenzuje se borbenim kompletom koji je veći 2 do 3 puta. U pogledu brzine paljbe nema premca, a borbena efektivnost je u proseku 6 puta veća od efektivnosti standardnih minobacača, pa predstavlja pravu opasnost za protivnika iza prirodnih zaklona koji nije zaštićen od artiljerijske i streljačke vatre.

Osnovne karakteristike automatskog minobacača VASILJOK date su u tabeli 1.

Tabela 1

Osnovne karakteristike minobacača 2K21

Kalibar (mm)	82
Domet (m):	
— minimalni	800
— maksimalni	4270
Brzina paljbe (mina/min):	
— praktična	100 do 120
— u ciklusima	170
Polučasovna vatrena kadenca (mina):	
— sa vodenim hlađenjem	300
— bez vodenog hlađenja	200
Elevacija/depresija	+85°/−1,16°
Zakretanje po pravcu	±30°
Vreme prelaska iz marševskog u borbeni položaj (min)	1,5
Maksimalna brzina kretanja prilikom vuče minobacača (km/h):	
— po zemljanim putevima	20
— po asfaltnim putevima	60
Borbeni komplet (mina)	226
Posluga (članova)	4
Masa oruđa (kg)	635
Masa celog sistema sa borbenim kompletom municije, RAP-om i posadom (kg)	6060

M. S.

TAKTIČKI RAKETNI SISTEM TOŠKA-U*

Taktički raketni sistemi obezbeđuju osnovnu vatrenu podršku kopnenim snagama. Ciljevi koji se mogu uništavati ovim sistemima su: raketna postrojenja, zemaljske stanice za izviđanje i osmatranje, upravljačke stanice različitih oruđa, piste aerodroma ili helidroma, rejoni prikupljanja jedinica, skladišta municije, goriva i ostalog materijala. Vodeće zemlje proizvođači naoružanja traže načine da poboljšaju ove raketne sisteme. Sve one koncentrišu svoje napore na povećanje taktičke efikasnosti putem povećanja dometa i tačnosti ovih raketa. Poboljšanje karakteristika ovih sistema obavlja se tako što se usavršavaju najsofisticiraniji modeli koji su već u upotrebi. Ovaj način poboljšanja operativnih karakteristika raketnog oružja naročito je pogodan za restriktivne uslove finansiranja. Upravo takav primer potpune modernizacije predstavlja precizni taktički raketni sistem TOŠKA-U, proizveden 1989. godine, kao naslednik funkcionalno identičnog raketnog sistema TOŠKA.

Taktički raketni sistem TOŠKA-U

TOŠKA-U omogućava potpuno izvršenje operativnih zadataka, obezbeđuje efikasno uništavanje ciljeva i pouzdano funkcionisanje. Osnovna jedinica koja u svom sastavu ima ovaj raketni sistem je raketna baterija. Ona se sastoji od 2 samohodna lansirna oruđa, 2 vozila transportera — punioca i jednog komandnog vozila. Raketna baterija može da uništava ciljeve jedinačnom ili plotunskom paljbom.

Visoka mobilnost i manevaribilnost postižu se zahvaljujući visokoj prohodnosti i brzini vozila točkaša pogonjenog dizel-motorom. Ovo vozilo omogućava brzo razvijanje, ali i brzo napuštanje mesta s kojeg je raketa lansirana, radi izbegavanja protivničkog kontraudara.

U slučaju potrebe za brzim prebacivanjem raketnog sistema u sasvim udaljenu zonu upotrebe, njegove glavne komponente mogu se transportovati avionima transportne avijacije.

Lansiranja se mogu izvesti iz marševskog položaja, ali i sa različitih uređenih položaja, uključujući i specijalne platforme. Ovaj raketni sistem može da izvršava zadatke u širokom temperaturnom i klimatskom dijapazonu (od $-40°C$ do $+50°C$), kao i na nadmorskim visinama do 3000 m.

Prilikom lansiranja rakete ne zahtevaju se topografska ili tehnička priprema lansera niti bilo kakvi meteorološki podaci. Uređaji na lanseru samostalno rešavaju probleme vezane za lansirnu tačku, izračunavanje podataka o letu i nišanjenje raketom. Ako je potrebno, raketa može da se lansira na cilj u vremenu od 16 minuta nakon završetka marševanja i pristizanja na lansirno mesto, a nakon samo 1,5 minuta lansirno oruđe se može premestiti iz preventivnih razloga, kako bi se izbegao kontraudar.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust 1994.

Osnovni sklop raketnog sistema čini jednostepena raketa sa čvrstim pogonskim gorivom, koja je naoružana rastavljivom bojnom glavom. Raketa postiže veliku brzinu leta koja omogućava vrlo brzo donošenje bojne glave na cilj. Visoka tačnost gađanja raketom postiže se njenom kontinuiranom kontrolom tokom čitavog leta. U završnom delu silazne putanje raketa se može prevesti u programirani korektivni režim rada, kako bi se obezbedio njen vertikalni pad na cilj. Ovakav manevar znatno doprinosi povećanju efektivnosti destrukcije cilja. Bojna glava se aktivira u vazduhu iznad samog cilja kako bi se povećala zona efikasnog dejstva.

Raketa se sastoji od bojne glave i nosača, a nosač od raketnog motora na čvrsto gorivo i zadnjeg odseka s instrumentima. Motor je izrađen u obliku zatvorene metalne cevi od čelika visoke čvrstoće. Gornja i donja ploča motora izrađene su u obliku elipse. Donja ploča ima prorez na koji je čvrsto spojen sklop mlaznica od kompozitnog materijala. Kritični presek mlaznice, koji je izložen najintenzivnijim termičkim opterećenjima, obložen je oplatom izrađenom od legure tungstena i nikla sa umecima od plastične mase punjene ugljenikom, koja je otporna na eroziju.

Višekomponentno pogonsko punjenje, koje daje vrlo visoki impuls sile, oblikovano je tako da obezbedi jednokratan rad i čvrsto je spojeno sa zidovima raketnog motora. Zadnji odsek s instrumentima izrađen je od aluminijumske legure kovanjem i zakivanjem. Raketa je opremljena nezavisnim inercijalnim upravljačkim sistemom sa digitalnim računarskim uređajem koji se nalazi na samoj raketi. Raketom upravljaju rešetkasta aerodinamička kormila smeštena na zadnjem odseku rakete, a pokreću ih upravljački aktuatori. Za kompenzaciju odstupanja koja se javljaju u početnoj fazi leta rakete, kada njena brzina nije dovoljna da na upravljačkim kormilima stvori dovoljnu upravljačku silu, koriste se gasna kormila. Svi električni potrošači na raketi dobijaju energiju iz generatora sa turbinom koju pokreće gasni generator.

Raketni sistemi mogu biti opremljeni sa dve vrste bojnih glava: jednostrukom s udarno-parčadnim dejstvom i višestrukom. Višestruka (klaser) bojna glava sastoji se od 50 bombica. One su pojedinačno efikasne kada se koriste protiv grupnih ciljeva, kao što su nezaklonjena živa sila i jedinice koje se prevoze u neoklopljenim ili lakooklopljenim vozilima. Kada rakete nisu montirane na lansirnim oruđima čuvaju se ili transportuju u metalnim kontejnerima.

Glavna vozila raketnog sistema (tj. lansirno oruđe i transporter — punilac) čine slične kamionske šasije sa pogonskim dizel-motorom. U stanju su da se kreću izvan puteva, kao i da savlađuju vodene prepreke snagom sopstvenog motora.

Oba vozila imaju kabine opremljene sistemom za preživljavanje posade, hermetički zatvorena odeljenja za rakete sa sistemom za kontrolu temperature i vlažnosti, unutrašnjom vezom i ostalom opremom. Radijus kretanja lansirnog oruđa s jednim rezervoarom iznosi 650 km. Lanser omogućava pripremu za lansiranje i lansiranje bez ikakvih dodatnih sredstava, a zadatke može da izvršava kao deo raketne baterije, ili samostalno. Radi toga lanser je opremljen uređajima za osmatranje, sistemom za nišanjenje i uređajima za testiranje. Oprema lansera testira se pomoću školsko-funkcionalne rakete koja se koristi za proveru većine sklopova odgovornih za radni status lansera. Sistem za osmatranje može se prilagoditi za upotrebu u zemljama koje koriste različite koordinate sistema od onih usvojenih u Rusiji. U tu svrhu, ovom sistemu dodaje se specijalni računar koji vrši automatsku konverziju podataka iz jednog u drugi koordinatni sistem. Letni zadatak, tj. putanja rakete, generiše se

na lansirnoj rampi. Nakon verifikacije proračunatih parametara leta oni se unose u digitalni računar rakete. U toku nišanjenja, borbenog dežurstva i većine operacija iz sastava ciklograma lansiranja, raketa se nalazi u horizontalnom položaju. Dizanje rakete započinje najranije 15 sekundi pre lansiranja. To omogućava efikasno prikrivanje pripreme raketnog udara pred protivničkim osmatračkim sredstvima.

Transporter — punilac čini osnovno sredstvo za ekspeditivan dotur municije do raketnih baterija. U radnom prostoru mogu da se smeste i prevoze dve rakete s bojnim glavama i s punom gotovošću za upotrebu. Specijalna oprema za transport i punjenje, uključujući hidraulični pogon, konzolnu dizalicu i druge uređaje, omogućava punjenje lansera za oko 19 minuta. Ova operacija se može izvesti na bilo kakvoj neuređenoj površini čije dimenzije omogućavaju da lansirno oruđe i transporter — punilac stanu jedan pored drugog. Rakete smeštene u metalnim kontejnerima mogu se, takođe, slagati i prevoziti na transporteru. Na svaki mogu da se smeste dve rakete i četiri bojne glave. Osnovna šasija transportera je višenamenski model 6009 sa svim pogonskim, nezavisno ovešenim točkovima. Opremljena je i sredstvima za učvršćivanje raketa i omčom za podizanje koja se koristi pri ponovnom punjenju.

Visoki stepen operativne gotovosti raketnog sistema može se postići periodičnim testiranjem raketa i opreme lansera, kao i pravovremenim potpunim održavanjem sklopova raketnog sistema. Da bi se obezbedili uređaji za parametarsko testiranje opreme i preventivno održavanje, u sastav taktičkog sistema TOŠKA-U ulaze stanice za automatsko testiranje i preventivno održavanje. Takođe, proveravaju se uslovi na lanseru i testira oprema vozila. Obe pokretne stanice montirane su na terenskim vozilima ZIL-131V. Testiranje se može izvesti na licu mesta uređajima koji se napajaju energijom iz pokretnog elektro-agregata.

Posada raketnog sistema se u timskom radu uvežbava uz pomoć sredstava za obuku. Za ovu namenu posebno je razvijena školsko-funkcionalna raketa, bojna glava, simulatori opreme lansera, a koriste se i posebni panoi i instrukcije.

Američki raketni sistem LANCE i francuski PLUTON su sistemi sa potpuno istom namenom. Lanseri ovih raketnih sistema montirani su na guseničnim oklopnim vozilima koja su puno teža za rad i održavanje od vozila točkaša, imaju znatno kraći vek trajanja u odnosu na pređenu kilometražu i gube pokretljivost u uslovima vodenih prepreka.

Raketa LANCE ima raketni motor sa tečnim gorivom. Istina, motor joj je zatvoren kao ampula i ne zahteva predstartno punjenje, ali je puno komplikovaniji i skuplji nego motor na čvrsto gorivo i manje je pogodan za održavanje. Ova raketa ima manju masu pri lansiranju, a domet iznosi 80 km sa konvencionalnom bojnom glavom mase 454 kg.

Raketni sistem TOŠKA-U nadmašuje svoje direktne konkurente u tačnosti pogađanja koja se postiže praćenjem i upravljanjem raketom tokom čitave putanje. Pri gađanju na daljini 56 km srednje odstupanje od cilja ne prelazi 10 m. Kada se koristi zajedno sa drugim oruđima, taktički raketni sistem TOŠKA-U može da obezbedi efikasno izvršavanje zadataka u ofanzivnim i defanzivnim operacijama.

Uporedni pregled podataka za raketne sisteme TOŠKA-U, LANCE i PLUTON dat je u tabeli 1. U tabeli 2 prikazane su osnovne karakteristike samohodnog lansirnog oruđa, a u tabeli 3 osnovne karakteristike transportera-punioca.

Tabela 1

Uporedne karakteristike sličnih raketnih sistema

Karakteristika \ Vrsta RS	TOŠKA-U (Rusija)	LANCE (SAD)	PLUTON (Francuska)
Domet (km):			
— minimalni	20	10	15
— maksimalni	120	80	120
Masa rakete (kg)	2010	1570	2420
Dužina rakete (m)	6,146	6,170	7,590
Prečnik rakete (m)	0,65	0,56	0,65
Vrsta bojne glave	udarno-parčadna, višestruka (klaster), nuklearna	udarno-parčadna, višestruka (klaster), nuklearna	nuklearna
Masa konvencionalne bojne glave (kg)	480	454	500 (max.)
Vrsta pogonskog raketnog motora	sa čvrstim gorivom	sa tečnim gorivom	sa čvrstim gorivom
Vrsta upravljačkog sistema	nezavisni, inercijalni	nezavisni, inercijalni	nezavisni, inercijalni
Vrsta lansirnog oruđa	točkaš sa sopstvenom vučom	guseničar sa sopstvenom vučom + prikolica točkaš	guseničar sa sopstvenom vučom

Tabela 2

Osnovne karakteristike lansirnog oruđa 9P129M-1

Putna brzina (km/h)	60
Vreme za pripremu lansiranja (min)	2 do 2,5
Vreme između dva lansiranja (min)	40
Akcioni radijus sa jednim punjenjem rezervoara (km)	650
Posada (članova)	3

Tabela 3

Osnovne karakteristike transportera-punioca 9T218-1

Broj raketa koje može da nosi (kom.)	2
Putna brzina (km/h)	60
Akcioni radijus sa jednim punjenjem rezervoara (km)	650
Posada (članova)	2

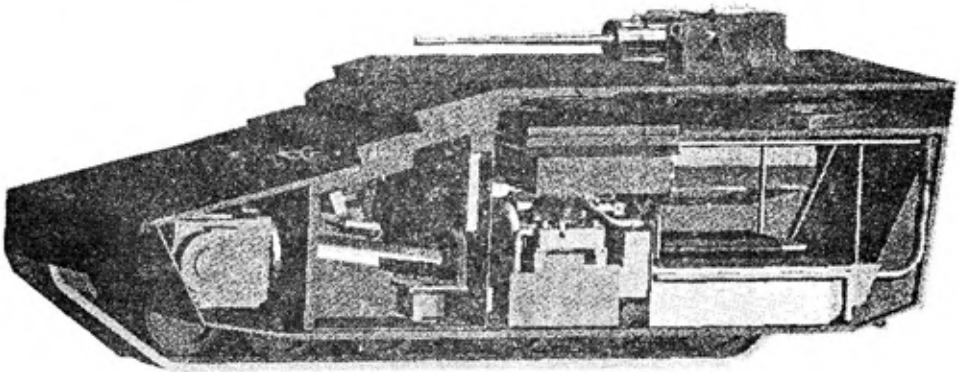
M. S.

RAZVOJ »PLASTIČNOG« TENKA*

Pod pretpostavkom da je revidirana konstrukcija uspešno prošla ispitivanja, novembra 1995. godine, trebalo bi da u četvrtom kvartalu 1996. godine iz fabrike izađe demonstrator kompozitnog oklopnog vozila CAV (Composite Armored Vehicle), izrađen po novoj tehnologiji, vozilo budućnosti američke KoV. Novo vozilo biće podvrgnuto dvogodišnjem ispitivanju. Nosilac ugovora, UDLP, zaključio je jedan od prva dva paralelna ugovora za studiju vozila CAV 1992. godine.

strukcije za 33%, kao i praktična primena upravljanja integrisanim odrazom. Pomoću demonstratora kompozitnog oklopnog vozila neće se moći predstaviti njegove mogućnosti proizvodnje ali će se prikupiti dovoljno iskustava u pogledu konstruisanja, kako bi se mogle obaviti realne ekstrapolacije.

Merilo za poželjno smanjenje mase je masa ekvivalentnog vozila, izrađenog od čelika ili aluminijuma. Masa kupole kompozitnog vozila BRADLEY bila je manja za 27% od odgovarajuće konvencionalne kupole. Što se tiče vozila CAV, nezvanično se smatra da bi se



Kompozitno oklopno vozilo CAV

Vozilo CAV neće biti prvo ispitno kompozitno borbeno vozilo koje je konstruisala UDLP, jer je udružena firma FMC krajem osamdesetih godina bila zadužena za konstruisanje ispitnog kompozitnog vozila BRADLEY (radi potvrđivanja principa), kompozitnog oklopnog transportera M113, za mornaričke jedinice, kao i nekoliko slično izrađenih kupola. Međutim, nijedna od ovih konstrukcija nije ušla u proizvodnju. Demonstrator kompozitnog oklopnog vozila specijalno je namenjen za naglašavanje mogućnosti proizvodnje, dostupnosti i trajnosti. U ciljeve demonstracije kompozitnog oklopnog vozila spadaju i smanjenje mase kon-

postigla ušteda u masi od 35 do 40% (5,89 t umesto 8,66 t). Jedan od ciljeva ispitivanja biće i način iskorištenja operativnih preimućstava takvih ušteda.

Firma UDLP neposredno sarađuje sa firmom »Lockheed Martin« na smanjivanju svih aspekata aktivnih i pasivnih karakterističnih odraza vozila CAV. Oni bi trebalo da budu smanjeni posebnim oblikovanjem delova vozila, slabljenjem IC zračenja karakterističnih tačaka i prigušivanjem buke pogonskih elemenata.

Po planu, CAV bi trebalo da bude vozilo sa masom od 22 t, čija bi se proizvodna tehnologija, u principu, mogla koristiti za izradu familije vozila, od izviđačkih (9 do 11 t), do borbenih ten-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 7/1995.

kova od 50 t. Ključni aspekat razvoja vozila CAV jeste integrisanje funkcionalnih disciplina kroz takozvanu tehniku IPPD (Integrated Process Product Development), koja bi trebalo da obezbedi dobijanje tačnih rezultata i izvođenje tačnih troškovnih podataka u toku razvoja. Pored toga, integrisanje proizvodnih procesa omogućiće da sklop laminiranog tela vozila S-2, zajedno sa pripadajućim integrisanim keramičkim oklopom i materijalom za smanjivanje karakterističnih odraza, bude deo jedne proizvodne sekvence.

Biće izrađena dva tela vozila, od kojih će samo jedno biti podvrgnuto ispitivanjima u vožnji. Drugo telo vozila, poznato i kao verzija za ispitivanje izdržljivosti, imaće ugrađen top 25 mm BUSHMASTER. Kasnije će ovo telo biti preuređeno za vatrena ispitivanja sa ugrađenim topom 105 mm, sa ispaljivanjem 120 projektila. U trećoj fazi vozilo će biti prepravljeno radi ispitivanja smanjivanja karakterističnih odraza, pa će biti bez naoružanja. Drugo telo će služiti za strukturalna i balistička ispitivanja. U zahtevani nivo oklopne zaštite spadaju zaštita, sa gornje strane, od poboljšane konvencionalne municije (DPICM), od pancirne municije 7,62 mm i 14,5 mm sa bočnih strana, od protivoklopnih potkalibarskih projektila 30 mm u luku od 60° u čeonom delu i od protivpešadijskih mina koje eksplodiraju ispod vozila.

Telo vozila, izrađeno od kompozitnih materijala, podeljeno je na dva dela: gornju i donju polovinu. Dva člana posade, jedan do drugog, smešteni su u modulu za posadu.

Postoji mogućnost da vozilo CAV dobije električni pogonski sistem, ali će na početku to biti motorni sistem, zasnovan na onome koji imaju vozilo BRADLEY i oklopni top X8 (6V92T sa mehaničkom transmisijom HMPT-500). Jedini nestandardni element biće sistem oslanjanja sa ugrađenim hidropneumatskim »in-arm« uređajem za oslanjanje.

P. M.

SAVREMENI LOVCI-BOMBARDERI*

Za izvršavanje određenih zadataka sve vazduhoplovne snage moraju koristiti nekoliko različitih tipova borbenih aviona. Već duže vreme postoji potreba za smanjenjem broja različitih tipova aviona u naoružanju zbog nekoliko razloga, a pre svega zbog ekonomskog činioca. Najkorisniji tip borbenog aviona u naoružanju je lovac-bombarder, pod uslovom da njegova fleksibilnost bitno ne umanjuje performanse aviona u svakoj pojedinačnoj ulozi.

Stalni tehnološki napredak, posebno u oblasti elektronske opreme borbenih aviona (višerežimski radar, napadno-navigacijski sistemi za noćna dejstva) i u oblasti letačkih kvaliteta (zahvaljujući uvođenju veštačke stabilnosti i upravljanja), obezbedio je mogućnost izrade borbenog aviona koji može efikasno da obavlja različite zadatke, od borbe u vazdušnom prostoru do napada na ciljeve na zemlji. Višenamenske mogućnosti postignute su skoro bez ikakvih ograničenja u specifičnim zadacima u odnosu na specijalizovane jednonamenske avione — što ranije nije bio slučaj.

Čak i za jednostavnije analize lovaca-bombardera koji se danas nalaze u naoružanju, ili se očekuju u bliskoj budućnosti, potrebno je raspolagati mnogobrojnim podacima (koje proizvođači često uskraćuju). U ovom radu tabelarno su prikazani uporedni podaci osnovnih karakteristika aviona, i zadaci koje mogu ili ne mogu da obave u dve glavne uloge — borba u vazdušnom prostoru i napad na ciljeve na zemlji.

Polazna tačka za analizu je glavna razlika između lakih, srednjih i teških lovaca-bombardera. U lake lovce-bombardere spadaju jeftiniji tipovi aviona, a svi su jednomotorni. Obično se nastoji da avioni srednje klase imaju dva

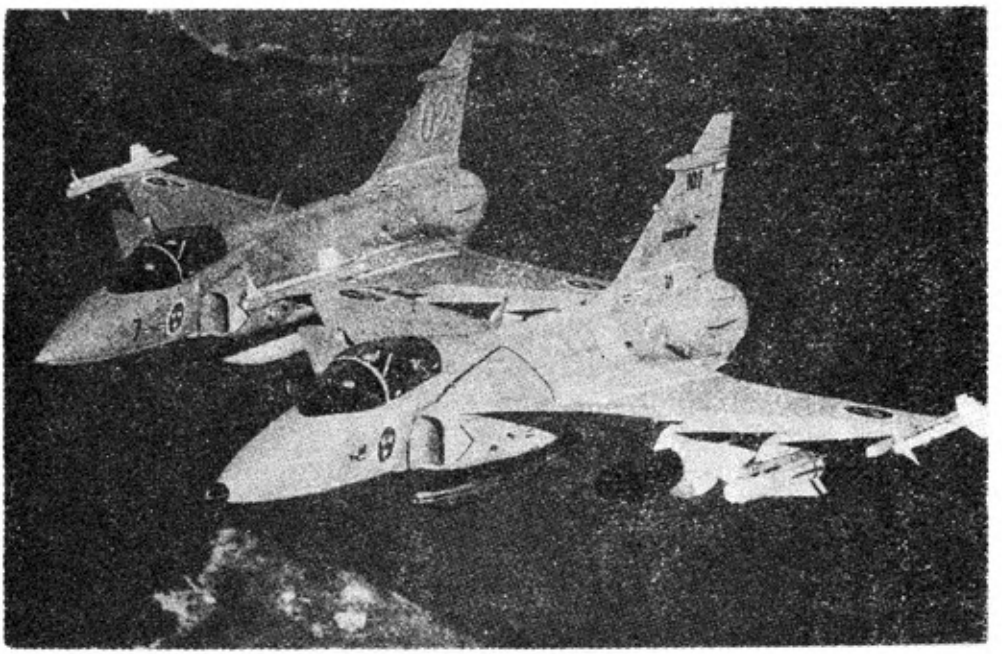
* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 6/1995.

motora, mada to poskupljuje korišćenje i podršku. U klasu teških lovaca-bombardera spadaju pojedini tipovi sa velikim mogućnostima u bilo kojoj ulozi. Međutim, zbog nabavne cene i troškova eksploatacije takvih aviona njegovo uvođenje u naoružanje mogu da ostvare samo ekonomski jake zemlje ili one kojima ne preti velika opasnost od napada.

JAS-39 GRIPEN (Švedska)

Švedski lovac-bombarder JAS-39 GRIPEN (slika 1), najmanji je postojeći lovac-bombarder u kome su kompenzirana sva tipična ograničenja zbog malog kostura. Od samog početka razvoja zamišljen je kao višenamenski avion, podesan za efikasno presretanje i borbu u vazdušnom prostoru, kao i za napade na ciljeve na zemlji i moru i za zadatke izviđanja. Koncepcija aviona GRIPEN predviđa osnovni kostur aviona kome su kao spoljašnji teret u kontejnerima bili pridodati senzori, specifični za određeni borbeni zadatak, čime je limitiran unutrašnji prostor kostura aviona za potrebnu fiksnu opremu prema specifičnosti borbenog zadatka. Preimućstvo ovakvog rešenja je u tome da jedna država može da nabavi odgovarajući broj aviona za svoje ratno vazduhoplovstvo, optimiziranih za određene borbene zadatke, uz korišćenje dodatnih podvesnih kontejnera. Kako je osnovni avion uvek isti, bez obzira na ulogu, znatno se smanjuju nabavna cena i kompleksnost logističke podrške.

Zahvaljujući osnovnom zadatku švedskog RV, a to je sprečavanje dejstva protivničkih aviona sa mora, avion GRIPEN je vrlo dobro opremljen za protivbrodska dejstva uz pomoć protivbrodskih vođenih projektila RB-15F. Nedostatak koncepcije aviona GRIPEN je u tome što nošenje spoljašnjih sredstava za obavljanje pojedinačnih zadataka povećava čeoni otpor aviona i smanjuje mu performanse. Spoljašnji kontejneri kao i spoljašnji rezervoari za gorivo, utiču na smanjenje broja nosača ubojnih sredstava potrebnih za izvršavanje zadataka. Ovakve proble-



Sl. 1 — Švedski lovac-bombarder JAS-39 GRIPEN

me imaju i drugi savremeni lovci-bombarderi, veći od aviona GRIPEN, ali su kod njega veoma izraženi, jer ima samo pet fiksnih nosača za spoljašnji teret, kao i dva na vrhovima krila za vođene projektile vazduh-vazduh.

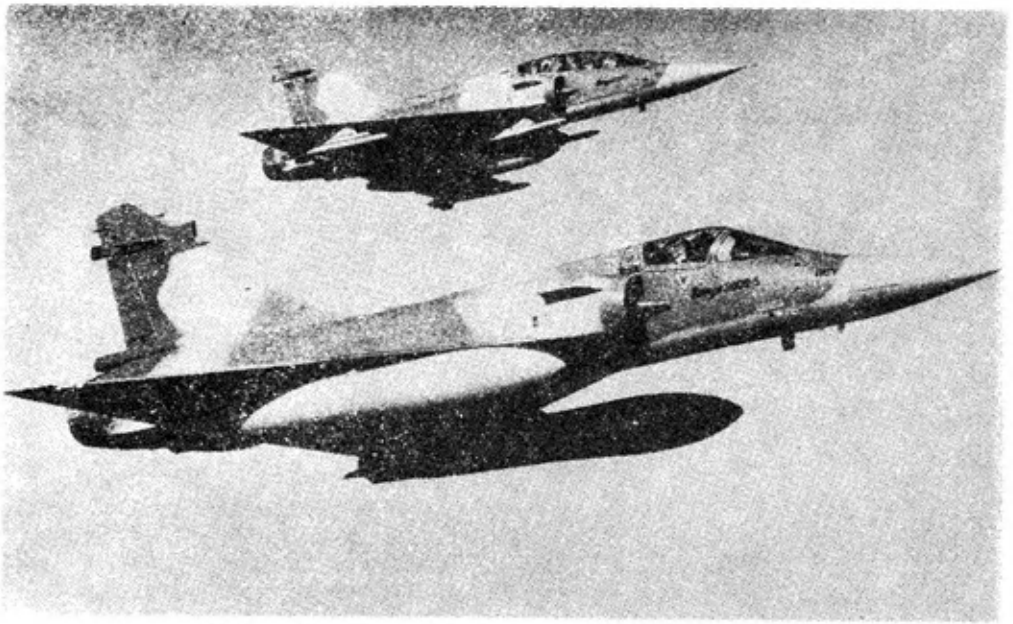
MIRAGE 2000-5 (Francuska)

MIRAGE 2000-5 (slika 2) koncepcijski je građen kao presretač i lovac za PVO sa delta-krilom. Bez obzira na prvobitnu namenu, avion je prerastao u verzije koje su bile optimizirane za udarna dejstva: 2000N za nuklearne napade i 2000D za konvencionalne napade. Dok su oba ova aviona bila dvosedi, ugradnjom višenamenskih radara i savremenih navigacijskih sistema otpala je potreba za jednim članom posade, pa je razvijena varijanta sa jednim pilotom za zadatke lovca-bombardera za dejstva u svim vremenskim uslovima. Sa daljim poboljšavanjem kvaliteta originalne verzije za vazdušnu borbu avion je ostvario dobre karakteristike za napade po ciljevima na zemlji i moru.

Pored dva unutrašnja topa 30 mm DEFA, avion je naoružan još sa 8 vođenih projektila vazduh-vazduh MICA, srednjeg i malog dometa, sa IC ili radarskim vođenjem. Što se tiče izvršavanja zadataka napada po ciljevima na zemlji i moru, avion nosi protivbrodski vođeni projektil EXOCET, razbacivač ubojnih sredstava APACHE koji se aktivira van dometa protivničke PVO i do 1000 kg bombi sa laserskim vođenjem i pripadajućim uređajem u kontejneru za lasersko obeležavanje (osvetljavanje) cilja.

Mada je nabavna cena veća od cene aviona F-16C, MIRAGE 2000-5 je verovatno bolje opremljen u svojoj osnovnoj konfiguraciji i za borbu u vazdušnom prostoru, kao i za napade po ciljevima na zemlji i moru.

Iako su napori za izvoz aviona familije 2000 usmereni na verziju 5, aktuelan je i dvosedni 2000E, sličan verziji 2000D koju poseduje RV Francuske. Drugi pilot poboljšava navigacione funkcije, lansira vođene projektile (posebno noću) i rukuje aktivnim i pasivnim sredstvima za elektronska protivdejstva. Zbog potrebe većeg prostora



Sl. 2 — Francuski lovac-bombarder MIRAGE 2000-5

u kabini za drugog pilota, izvađeni su topovi 30 mm DEFA, a zadržani vođeni projektili vazduh-vazduh.

Za ovaj avion karakteristična je relativno niska nabavna cena i prihvatljiva jednostavnost korišćenja.

Familija F-16 (SAD)

Smatra se da je najuspešniji savremeni lovac-bombarder F-16 zbog niske nabavne cene i niskih operativnih troškova, jednostavnosti, malih dimenzija i sa samo jednim motorom. Njegov kostur može se prilagoditi različitim ulogama.

Koncipiran kao jednostavni lovački avion za obezbeđenje nadmoći u vazdušnom prostoru po lepom vremenu, evoluirao je u vrlo moćnog lovca-bombardera sa velikim akcionim radijusom, opremljenog savršenom avionskom opremom i elektronikom. Ograničene mogućnosti prvobitnog lakog radara kod najnovije verzije su prerasle u višerežimski radar koji je u stanju da obavi sve postavljene zadatke u vazdušnoj borbi, i u napadima po ciljevima na zemlji u svim vremenskim uslovima, uključujući i napade po ciljevima preko granice vidljivosti (protivničke avione), kartografisanje zemljišta, kao i pronalaženje i praćenje ciljeva na zemlji.

Međutim, najnovija predložena razvojna verzija uglavnom je orijentisana na izvršavanje zadataka dubokog prodora na približno strateškom nivou. Verzija F-16ES ima konturno prilagođene spoljne rezervoare za gorivo, dugačke oko 7,3 m, iznad spoja trupa i krila sa dodatnih 1450 l goriva, dok se drugi nosači koriste za druge dodatne rezervoare za gorivo i ubojna sredstva. Drugo poboljšanje je ugradnja unutrašnjeg sistema nišanjenja IFTS, čije dve senzorske loptaste glave vire iznad i ispod nosa aviona sa vrlo širokim pokrivanjem čeone i bočne hemisfere za navigaciju noću i za nišanjenje. Za dalje produženje akcionog radijusa, umesto standardnih potkrilnih rezervoara za gorivo od 1402 l, mogu se postaviti rezervoari od 2271 l.

MiG-29SE (Rusija)

Ovaj model aviona je sadašnja izvozna verzija poboljšanog MiG-29S, poslednja koja je ušla u naoružanje ruskog ratnog vazduhoplovstva. Ima duboki nadtrupni profilisani deo radi povećanja postojećeg prostora za ugradnju različite opreme, elektronike i unutrašnjih rezervoara za gorivo, što je bio najznačajniji nedostatak aviona MiG-29.

MiG 29SE ima dva motora i predstavlja lovca srednje veličine namenjenog za borbu u vazdušnom prostoru u svim vremenskim uslovima, zahvaljujući postojanju brojnih senzora. Na ovom avionu i avionu Du-27 primenjena je fuzija senzora: informacija od višerežimskog radara, koji može jednovremeno i da skanira dok prati cilj, a može i da se poveže sa podacima koje daje IC uređaj za traženje i praćenje IRST, i sa integrisanim laserskim daljinomerom. Piloti MiG-29 imaju nišan postavljen na kacigi, pomoću kojeg se uveliko proširuje spektar napada u bliskoj borbi. Laserski daljinomer, pored obezbeđivanja podatka o daljini do cilja, pomaže da se bitno poboljša preciznost topovske vatre u vazdušnoj borbi i pri dejstvu po ciljevima na zemlji i vodi, takođe veoma precizno meri daljinu, što je vrlo važno za obezbeđivanje verovatnoće pogađanja prvom raketom ili vođenom bombom.

Da je MiG-29 namenjen za vazdušnu borbu vidi se i iz njegove opreme i naoružanja. Uz vrlo dobar sistem za pronalaženje i napad na ciljeve, avion je naoružan različitim vođenim projektilima vazduh-vazduh, počev od R-73 (NATO oznaka AA-11 ARCHER) srednjeg dometa do 30 km i, takođe, sa dve verzije vođenog projektila vazduh-vazduh srednjeg — velikog dometa sa radarskim i IC vođenjem. Šest vođenih projektila vazduh-vazduh (dva srednjeg

do velikog dometa i malog do srednjeg dometa) i podtrupni rezervoar za gorivo od 1500 l obezbeđuju mu uspešna borbena dejstva na srednjim akcionim radijusima, potvrđujući osnovnu namenu MiG-29 kao taktičkog lovca za prevlast u vazdušnom prostoru.

Što se tiče sposobnosti aviona za dejstva po ciljevima na zemlji, ona su potisnuta u drugi plan zbog osnovne namene aviona za borbu u vazdušnom prostoru. Teret ubojnih sredstava od 4000 kg može se smatrati prihvatljivim za avion ovih dimenzija. Međutim, izgleda da je kritičniji faktor nemogućnost nošenja vođenih projektila vazduh-zemlja zbog nedovoljne integracije i superspecijalizacije sistema za pronalaženje ciljeva i upravljanje vatrom, prilagođenih za vazdušnu borbu.

U toku su poboljšanja osnovnog aviona MiG-29SE, uključujući prilagođivače za vođeni projektil srednjeg do dugog dometa RVV-AE/R-77, i za neka druga vođena ubojna sredstva vazduh-zemlja.

MiG-29M (Rusija)

Zbog svojih nedostataka MiG-29 nije u stanju da bude univerzalni lovac-bombarder, što je prinudilo konstruktorski biro da obavi modifikaciju. Zadržavajući originalni aerodinamički oblik, MiG-29M u znatnoj meri odstupa od ranijih modela, kako po svojoj strukturi, tako i kao nosač ubojnih sistema. Nadmoćni letački kvaliteti i dalje su poboljšani smanjivanjem prirodne stabilnosti, zahvaljujući učetvorostručenom sistemu upravljanja *fly-by-wire*.

Ograničeni unutrašnji kapaciteti za gorivo su povećani, celokupni prednji deo trupa i veći deo krila su rekonstruisani, pa sada imaju oblik hermetičnog odseka za gorivo. Na taj način nosivost goriva u unutrašnjim rezervoarima povećana je za 1500 l, što odgovara pomoćnom podtrupnom rezervoaru za gorivo, ali sada bez čeonog otpora. Usisnici vazduha su slični kao kod aviona Su-27.

Sistem za upravljanje vatrom kompletno je rekonstruisan, kako bi avion mogao da rešava zadatke vazduh-vazduh i vazduh-zemlja. Pored ostalih režima, radar sada može da radi i u režimu sa sintetskim otvorom koji omogućuje da se ciljevi na zemlji oštro fokusiraju. Uvođenje vođenih projektila vazduh-vazduh R-77 sa radarskim samonavođenjem omogućava jednovremeni napad na četiri cilja. Takođe je poboljšan sistem optroničkih senzora, po performansama (udvostručen je domet otkrivanja do 30 km), i po mogućnosti prepoznavanja ciljeva na zemlji, kao i za vođenje ubojnih sredstava sa IC i TV vođenjem. Za te potrebe dograđena je TV-kamera u glavu optroničkih senzora. Broj potkrilnih nosača (pajlona) povećan je na osam.

Do mnogo značajnijih poboljšanja došlo je u pogledu izvršavanja zadataka napada po ciljevima na zemlji i moru. Borbeni teret je povećan na 4,5 t, uključujući i lepezu vođenih (»pametnih«) sredstava vazduh-zemlja, kao što su protivradarski projektili, projektili sa TV i laserskim vođenjem, kao i bombe. Avion ima ugrađenu multispektralnu senzorsku opremu koja omogućuje autonomno vođenje ubojnih sredstava, pa drugi član posade nije potreban. Ubojna sredstva mogu se nositi na svih osam nosača, jer nema potrebe za vešanjem aerodinamičkih kontejnera za osvetljavanje i nišanjenje.

— Nastaviće se —

P. M.

Uputstvo saradnicima

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA »VOJSKA«
REDAKCIJA IZDAVAČKE DELATNOSTI »VOJNA KNJIGA«

ZA VAŠU BIBLIOTEKU

1. Aleksandar Radić
   BORBENI AVIONI
   Format 14×20. Strana 96.
   Povez broširan. Ćirilica.
   Cena 40 dinara.

2. Čedomir Višekruna
   VAZDUHOPLOVNI POGONSKI MATERIJALI, I deo GORIVA
   Format 17×24. Strana 216.
   Tvrd povez. Latinica.
   Cena 30 dinara.

3. Predrag Pejčić
   VOJNI HELIKOPTERI
   Format 17×24. Strana 466.
   Tvrd povez. Latinica.
   Cena 80 dinara.

4. Metodija Hristovski
   EKSPLOZIVNE MATERIJE — rečnik
   Format 17×24. Strana 320.
   Povez broširan. Latinica.
   Cena 70 dinara.

5. Dušan Banjac
   ELEKTRONSKA BORBA U PVO
   Format 14×20. Strana 292.
   Povez platno. Latinica.
   Cena 30 dinara.

6. **Aleksander Razingar**
   ELEKTRONSKO IZVIĐANJE I MASKIRANJE
   Format 13×21. Strana 419.
   Tvrd povez. Latinica.
   Cena 30 dinara.

7. Milan Jovanović
   ZAŠTITA LJUDI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA HEMIJSKIM SREDSTVIMA
   Format 14×20. Strana 350.
   Tvrd povez. Latinica.
   Cena 30 dinara.

8. Milan M. Šunjevarić
   RADIO-GONIOMETRIJA
   Format 17×25. Strana 608.
   Povez platno. Latinica.
   Cena 40 dinara.

9. Zlatko Rendulić
   RATOVODSTVO I NAUČNO-TEHNIČKI POGRES
   Format 17×24. Strana 298.
   Tvrd povez. Latinica.
   Cena 30 dinara.

10. Nikola Vujanović
    TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SISTEMA
    Format 17×24. Strana 592.
    Tvrd povez. Latinica.
    Cena 50 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 kredit priložiti potpisanu i pečatom overenu narudžbenicu i dokaz o uplati prve rate, a penzioneri prilažu odrezak čeka na kome se nalazi broj predmeta. Ostale rate uplaćuju se na 30 dana administrativnom zabranom.

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

Miiojko 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.