

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

DIREKTOR

Pukovnik  
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI 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  
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.General-major  
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-major  
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor  
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.Profesor  
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)Pukovnik  
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

\* \* \*

GLAVNI I ODGOVORNI  
UREDNIKPukovnik  
Miroslav Čojbašić, dipl. inž.  
(tel. 646-277, 23-59-133 ili 33-133)Urednik  
Potpukovnik  
Stevan Josifović, dipl. inž.  
(tel. 23-59-323 ili 33-323)Sekretar redakcije  
Zora Pavličević  
(tel. 23-59-258 ili 33-258)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Birčaninova 5.  
Pretpлата: 645-020 i 23-124, žiro-račun: 40818-  
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.  
Godišnja pretpлата 100,00 dinara. Rukopisi se  
ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija – Beo-  
grad, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI  
G L A S N I K

1

GODINA XLVII • JANUAR-FEBRUAR 1999.



## S A D R Ž A J

<b>Dr Petar Stanojević,</b> kapetan I klase, dipl. inž.	PRIMENA PREVENTIVE U FAZI PROJEKTOVANJA ORGANIZACIONO-TEHNOLOŠKIH I TEHNIČKIH SISTEMA .....	7
<b>Dr Vasilije Mišković,</b> potpukovnik, dipl. inž.		
<b>Saviša Todorović,</b> dipl. inž.		
<b>Slobodan Dželetović,</b> dipl. inž.		
<b>Radisav Jugović,</b> dipl. inž.	ISPITIVANJE VOZILA NA NISKIM TEMPERATU- RAMA OKOLINE .....	21
<b>Zoran Građin,</b> potpukovnik, dipl. inž.		
<b>Dragoljub Đurica,</b> dipl. inž.		
<b>Radoje Spasojević,</b> dipl. inž.	MERNE TEHNIKE ZA ODREĐIVANJE MEHANIČ- KIH GUBITAKA U MOTORIMA SUS .....	29
<b>Slobodan Vasilić,</b> potpukovnik, dipl. inž.		
<b>Mr Branko Đedović,</b> pukovnik, dipl. inž.	MAKSIMALNI KVALITET KAO MERA OSPOSOB- LJENOSTI PREDUZEĆA ZA GENERALNI REMONT BORBENIH VOZILA .....	36
<b>Mr Nenad Dodić,</b> dipl. inž.	LASERSKI DALJINOMERI U PROTIVVAZDUŠNOJ ODBRANI .....	43
<b>Mr Igor S. Simić,</b> kapetan I klase, dipl. inž.		
<b>Docent, dr Aleksa J. Zejak,</b> dipl. inž.	KOMPRESIVNI PRIJEMNIK U SISTEMIMA ZA ELEKTRONSKI RAT .....	54
<b>Mr Milorad Opsenica,</b> potpukovnik, dipl. inž.	KRETANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE BRDSKO-PLANINSKIM PODRUČJEM .....	64
<b>Mihajlo Mihajlović,</b> dipl. inž.	NOSAČI AVIONA KLASSE NIMITZ .....	77
<hr/>		
<b>PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA</b>		
	Raketni sistem BUK-M1-2 – S.P. ....	83
	Budućnost krstarećih raketa TOMAHAWK – M.S. ...	86
	„Šlem“ za artiljerijsko-raketne sisteme – S.P. ....	87
	Novi radar za avion MiG-23 – S.P. ....	89
	Osnovni trendovi u avio-industriji 21. veka – M.S. ....	92

---

**TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Protivtenkovsko oružje MBT-LAW – V.R. . . . . .	94
Novi protivoklopni projektil firme „BOFORS“ – M.S. . .	95
Samohodni protivtenkovski top 2S25 – V.R. . . . . .	95
STRIKER – predstavnik nove generacije bacača granata – M.S. . . . . .	95
Poboljšani minobacački sistem 120 mm AMOS – V.R. . .	96
Laki artiljerijski sistemi SAD – V.R. . . . . .	97
Modifikacija cevi za lansiranje raketa – M.S. . . . . .	98
Francusko-ruska saradnja na razvoju vođenih artiljerijskih projektila – M.S. . . . . .	98
Pešadijski raketni plamenobacač SHMEL – M.K. . . . . .	99
Taktički laserski sistem za zaštitu od projektila vazduh-zem- lja – M.S. . . . . .	100
Nova verzija tenka M-60 – V.R. . . . . .	101
Kupolni sistem za tenk ARJUN – V.R. . . . . .	101
Konstrukcija kupole sa minimiziranim prostorom za punje- nje oruđa – M.S. . . . . .	102
Novi eksplozivni reaktivni oklop u Češkoj – V.R. . . . . .	102
Zamena lakih tenkova u Švedskoj – V.R. . . . . .	103
Borbena vozila pešadije KENTAURUS – V.R. . . . . .	104
Proširenje proizvodnog asortimana tenkova u Ukrajini – V.R. . . . . .	106

## **Godišnja analiza tehničkog obezbeđenja VJ**

*Na osnovu Plana rada Tehničke uprave Sektora za pozadinu GŠ VJ, 20. januara 1999. godine izvršena je godišnja analiza stanja i realizacije tehničkog obezbeđenja VJ tokom 1998. godine.*

*Sastankom je rukovodio načelnik Tehničke uprave general-major prof. dr Jugoslav Kodžopeljić, a prisustvovali su načelnici TSl komandi armija, RV i PVO, RM i KSJ. Takođe, u radu su učestvovali i predstavnici Sektora za KoV, Sektora za RV i PVO, Sektora za VIED, Intendantske uprave, TOC KoV, Uprave za snabdevanje SMO, PoB GŠ VJ, VTA, VMA, STVŠ smer TSl, direktori TRZ Čačak i TRZ Kragujevac i članovi kolegijuma načelnika Tehničke uprave.*

*Skup je pozdravio, i pozeleo uspešan rad u 1999. godini, pomoćnik načelnika GŠ VJ za pozadinu general-potpukovnik prof. dr Vidoje Pantelić.*

*U uvodnom izlaganju načelnik TU je istakao da je cilj sastanka ocena rada na realizaciji zadataka TOB u 1998. godini i definisanje predloga težišnih zadataka koji će biti aktuelni i koji će se realizovati tokom 1999. godine.*

*U oceni realizacije zadataka definisanih na prethodnoj analizi stanja TOB, istaknuto je da su institucije i organi TSl krajnje savesno, odgovorno i profesionalno realizovali sve postavljene zadatke u skladu sa potrebama održavanja visokog stepena ispravnosti sredstava, i na taj način dali pun doprinos jačanju borbene gotovosti VJ. Realizacija zadataka u 1998. godini bila je pokrivena krajnje restriktivnim finansijskim planom, što je zahtevalo permanentno definisanje prioriternih zadataka i izuzetne napore organa i institucija TSl.*

*Za obezbeđenje akumulatora i pneumatika izdvojena su značajna sredstva, tako da je ovaj problem bitno ublažen. Regeneraciji delova i opravci sklopova dat je naročit značaj, jer su i na taj način obezbeđivani vitalni delovi u procesu snabdevanja za potrebe svih vidova održavanja, što se mora nastaviti i ubuduće. Uvođenje informatičke podrške u TSl nastavljeno je dinamikom koju su, uglavnom, diktirale finansijske mogućnosti. Težište je iskazano na mrežnom povezivanju svih računarskih resursa, na realizaciji projekta „Računarske mreže SP GŠ VJ“ i tehnološkoj dogradnji mreže TSl. Nastavljena je i dorada regulativnih akata TSl, što će biti aktuelno i u narednom periodu.*

Posebna pažnja posvećena je preseljenju TNC za obuku vojnika iz Sente u Niš, pa će i dalje biti neophodna pomoć kako bi se formirala ogledna jedinica za obuku vojnika TSl.

Načelnici TSl strategijskih grupacija referisali su o:

– stanju TOB na kraju 1998. godine sa težištem na: brizi organa komandovanja za stanje TMS, ispravnosti sredstava u odnosu na prethodnu godinu, stanju remontnih resursa, realizaciji godišnjih planova preventivnog i korektivnog održavanja, rashodovanju sredstava i oslobađanju jedinica od viškova, stanju materijalnih rezervi, informatičkoj podršci, stepenu popunjeno-  
sti i kvalitetu kadra TSl,

– problemima u dosadašnjoj realizaciji zadataka,

– predlogu težištnih zadataka za rad organa i jedinica TSl u 1999. godini.

Težišta svih referata bili su predlozi za najefikasnija rešenja koja bi poboljšala sistem TOB postojećim kadrom i sredstvima u 1999. godini.

Načelnik TU general-major prof. dr Jugoslav Kodžopeljić je u završnoj reči ocenio stanje realizacije zadataka TOB u 1998. godini, govorio o uslovima u kojima će se odvijati rad TSl u 1999. i o težištnim zadacima. Posebno je naglasio da je organizacija TSl na visokom nivou koji obezbeđuje uspešno izvršavanje zadataka i u složenim i komplikovanim situacijama. Uslovi rada u 1999. godini biće izuzetno teški i složeni, i zahtevaće povećano naprezanje organa TSl, kako bi se postavljeni zadaci uspešno realizovali.

Prioritetni zadaci TSl u narednom periodu odnosiće se na:

– maksimalno angažovanje i prilagodavanje svih organa TSl na izvršavanje zadataka TOB u uslovima realnog okruženja i stalnih pretnji i pritisaka na našu zemlju,

– održavanje stepena funkcionalne ispravnosti TMS na nivou koji je bio u prethodnoj godini, tako da se obezbedi naređeni nivo borbene gotovosti VJ,

– realizaciju zadataka TOB restriktivnim finansijskim sredstvima, što će zahtevati definisanje prioriteta u TSl na svim nivoima,

– davanje odgovarajućeg tretmana, preko organa komandovanja, osnovnom i tehničkom održavanju sredstava,

– potpunu realizaciju svih zadataka TOB koji zahtevaju angažovanje taktičkih i borbenih sastava,

– regeneraciju delova i opravku sklopova naročito za sredstva koja se nabavljaju uvozom,

– objektivno, realno i pravovremeno izveštavanje i razmenu informacija,

– intenzivno obnavljanje tehničkog stanja sredstava značajnih za izvršavanje svakodnevnih aktivnosti jedinica VJ,

– stručno i specijalističko osposobljavanje kadra TSl svih profila,

– dalje uvođenje informatičke podrške radi poboljšanja efikasnosti TSl,

– saradnju sa preduzećima i privredom u ostvarivanju realizacije zadataka TOB,

– dalju doradu regulativnih akata TSl.

Redakcija

**Dr Petar Stanojević,**  
kapetan I klase, dipl. inž.,  
**Dr Vasilije Mišković,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## **PRIMENA PREVENTIVE U FAZI PROJEKTOVANJA ORGANIZACIONO-TEHNOLOŠKIH I TEHNIČKIH SISTEMA**

UDC: 62-7.001.573:65.01

### *Rezime:*

*U radu je razvijen specifičan, opšti algoritam primene preventive, kroz postupke u fazi projektovanja organizaciono-tehnoških sistema i tehničkih sistema. Cilj primene algoritma je iskorišćenje dosadašnjih pozitivnih iskustava teorije i prakse radi poboljšanja kvaliteta projekata, uz obezbeđenje maksimalnih mogućih efekata i smanjenje troškova organizaciono-tehnoških sistema. Algoritam je kreiran tako da se može primeniti kod najvećeg broja realnih sistema.*

*Ključne reči: preventiva, projektovanje, postupci, organizacija, tehnologija, ekonomičnost.*

---

## **APLICATION OF PREVENTIVE IN THE PROCESS OF DESIGNING BUSINESS SYSTEMS AND TECHNICAL ITEMS**

### *Summary:*

*The special general algorithm for preventive requirements application during business systems design process is created. Quality improvement of business systems and technical items design can be done using the algorithm because of good theory and practice experience application. Efficiency improvement and cost reduction can be done as well. The algorithm can be useful in solving design problems for most of real business systems and technical items.*

*Key words: preventive, design, procedures, organization, technology, cost-effectiveness.*

---

### **Uvod**

Projektovanje organizaciono-tehnoških i tehničkih (poslovnih, vojnih, itd.) sistema predstavlja visokostručan proces osmišljavanja odnosa između delova i načina funkcionisanja tih sistema. Mogućnost ugrađivanja podsistema, metoda, pravila i procedura, koji mogu poslužiti za otklanjanje neželjenih događaja, još u fazi projektovanja organizaciono-tehnoških sistema (OTS), predstavlja značajan projektantski problem. Rešenje problema otežavaju zahtevi za stvaranje kon-

zistentne celine sa uobičajenim postupcima projektovanja uz njihovo povezivanje prema mestu i vremenu. Važno je, takođe, naći i pogodan način kojim bi se, po mogućnosti, obezbedio povoljan odnos između ulaganja u preventivu i ostvarivanja koristi od smanjenja rizika nastanka neželjenih događaja. Pri tome je neophodno usmeriti pažnju na fazu projektovanja OTS, jer se logičkim putem lako može doći do zaključka da je probleme najlakše otklanjati pre njihovog nastanka. Indikativno je da se troškovi za eliminisanje nedostataka, na primer

kod tehničkih sredstava, u fazi razrade projekta, pri proizvodnji i eksploataciji nalaze u odnosu 1 : 10 : 100. Zbog toga je racionalno pronaći postupak kojim bi se u ranim fazama nastajanja rešenja uložilo više napora na pronalazanju načina za smanjenje broja problema, posebno mogućnosti nastanka neželjenih događaja, a time i troškova pri funkcionisanju sistema u budućnosti.

Ovaj rad ima za cilj kreiranje algoritma kojim bi se preventivna rešenja primenila još u fazi projektovanja OTS. Primena algoritma mora omogućiti projektantima sagledavanje mogućnosti, kriterijuma i trenutka ugradnje pojedinih rešenja iz domena preventive. Rešenja moraju biti zasnovana na iskustvima dosadašnje teorije i prakse projektovanja, da bi se pozitivni efekti odrazili, kako na vreme i napore projekatanta, tako i na funkcionisanje i ekonomičnost projektovanih sistema. Put rešavanja ovog problema, preko algoritma, mora biti na dovoljnom nivou generalizacije kako bi se omogućila njegova primena u što većem broju slučajeva realnih OTS. Pri projektovanju pojedinačnih realnih sistema, u okviru postavljenih opštih postavki, moraju se tražiti specifična konkretna rešenja.

### Značaj primene preventivnih rešenja u fazi projektovanja

Egzistencija i razvoj organizaciono-tehnoloških sistema zavisi od toga kako će se oni adaptirati na promene koje imaju generatore u sistemu i van njega. Zbog toga se ovi sistemi diferenciraju na delove koji imaju zadatak da upravljaju pojedinim segmentima okoline i sopstvene delatnosti.

Svaki od pomenutih delova OTS čine elementi čija je struktura prikazana na slici 1.

Svi elementi OTS (ljudstvo, tehnička sredstva, materijal, energija, zgrade, postrojenja i informacije) među sobom su povezani organizacionom strukturom



Sl. 1 – Struktura elemenata

koja u osnovi određuje njegovu konfiguraciju, a međusobne veze i funkcionisanje elemenata odvija se u skladu sa specifičnim pravilima i procedurama. Za pravila i procedure funkcionisanja jednog OTS može se reći da čine njegov specifični softver. U OTS se, istovremeno, moraju stvoriti veze između istorodnih i raznorodnih elemenata sistema, a da kvalitet i usklađenost ovih veza ima svoj direktan iskaz u uspešnosti funkcionisanja OTS.

Kvalitet funkcionisanja odnosno uspešnost jednog OTS, može se prikazati preko odnosa ulaza i izlaza koji se stvara u toku karakterističnog transformacionog procesa. Prema „Novoj japanskoj proizvodnoj filozofiji“ [1], čije su neke postavke danas široko prihvaćene u celom svetu, jednačina uspeha glasi: *Prodajna cena – troškovi = dobit*.

Bitna razlika u odnosu na dosadašnji pristup je u tome da se rešenje za povećanje dobiti nalazi u eliminisanju svega nepotrebnog, odnosno naglasak je na smanjenju troškova, uz zadržavanje iste ili čak smanjenje prodajne cene. Da bi se



to ostvarilo ceo radni proces se deli na operacije koje „povećavaju upotrebnu vrednost proizvoda“ i one koje „ne povećavaju upotrebnu vrednost“. Ove druge predstavljaju npr. čekanje, slaganje, prenošenje, promene zahvata, preventivne radnje koje ne doprinose smanjenju rizika nastanka neželjenih pojava, itd. i treba ih, po mogućnosti, eliminisati. To ne znači zapostavljanje operacija koje povećavaju upotrebnu vrednost proizvoda i koje predstavljaju „stvarni“ proces, jer i njih treba razvijati zbog toga što povećavaju vrednost proizvoda. Treba obezbediti da ceo sistem funkcioniše na dobar i izbalansiran – sinhronizovan način.

Jednačina uspeha se u vojnim sistemima može primeniti na funkcionisanje pozadinskih službi. Međutim, mora se naglasiti da se uspeh u poslednje vreme sve više meri prema kvalitetu, kako se to inače čini u svim vojnim sistemima.

Postupci sprečavanja nastanka troškova većih od neophodnih, po suštini preventivnih, predstavljaju, za sada, najlakši, najbrži i najjeftiniji put za postizanje uspeha OTS. Ove akcije predstavljaju dodavanje „energije“ ovim sistemima radi smanjenja i eliminacije pojave entropije koja se prirodno javlja kada se OTS „zapuštaju“ – vremenom, kako je to simbolički prikazano na slici 2.

Poznato je da rešavanje problema celine daje uvek veće efekte nego usavršavanje delova. Zbog toga se u svetu prioritet sve više daje procesima, da bi se zatim išlo na usavršavanje metoda rada (operacija). Međutim, do danas je razvijeno nesrazmerno više metoda i postupaka za rešavanje parcijalnih problema nego problema celine. Proces razvoja metodologija projektovanja i reprojektovanja celokupnih sistema još uvek je u toku, i kod nas i u svetu, pa mogućnosti

poboljšanja na ovom polju predstavljaju vrlo inspirativan istraživački zadatak. Posebno se oseća nedostatak na području rešavanja problema sistematske ugradnje



Sl. 2 – Ideogramski prikaz delovanja i smanjenja entropije u OTS

i primene preventive, još u postupcima stvaranja, odnosno projektovanja OTS, jer se opravdano pretpostavlja da se ovde kriju ogromni potencijali za ostvarenje finansijskih i drugih efekata, posebno na sprečavanju mogućnosti nastanka ličnih i civilizacijskih katastrofa.

Do danas je razvijen i svoju primenu u praksi je našao veliki broj metoda, pravila, procedura i postupaka koji se koriste za prevenciju neželjenih događaja (u daljem tekstu incidenti ili otkazi). Takođe, postoje naučno i praktično verifikovane metode, pravila i postupci koji se posredno mogu iskoristiti za prevenciju incidenata. Svi oni mogu doprineti uspešnijem funkcionisanju OTS ukoliko se u njega ugrade na pogodan, odnosno isplativ način.

Čovekov uticaj na nastanak, obim i posledice neželjenih događaja ne može uvek biti potpun, a može se klasifikovati na sledeći način [2]:

- bez uticaja na veličinu i opseg štete,
- samo uticaj na veličinu štete,
- sa uticajem na veličinu i opseg štete,
- sa uticajem na opseg štete.

Radnje – mere koje se, po vremenskom sledu i svrsi, preduzimaju radi smanjenja posledica neželjenih događaja su:

- preventivne – ostvarivanje uticaja na uslove i uzroke nastanka šteta,
- operativne – ostvarivanje uticaja u početnom, razvijenom i završnom stadijumu neželjenog događaja radi smanjenja šteta,
- sanacione – otklanjanje posledica.

Uticaj svake naredne vrste mera u velikoj meri zavisi od kvaliteta izvodenja prethodne. Priprema OTS unapred povećava kvalitet mogućih akcija u svakoj od faza nastanka neželjenog događaja i upravo čini celinu problema koji u svakom konkretnom slučaju mora da rešava projektant. Na današnjem nivou civilizacijskog razvoja još uvek postoji mnogo nedovoljno predvidivih pojava i ljudskih grešaka, odnosno u nekim slučajevima je stepen neodređenosti i neizvesnosti još uvek visok. Međutim, već samo postojanje svesti o mogućim uzrocima neželjenih događaja upućuje na puteve njihovog rešavanja. Važno je napomenuti da kada se neki problem ne može otkloniti uticajem na uslove i uzroke nastanka, onda to treba učiniti propisivanjem odgovarajućih pravila i procedura ponašanja, odnosno operativnim merama kojima se daje odgovor na pitanja tipa: *šta ako*. Procedure sanacije se, takođe, moraju unapred propisati u mogućem obimu. Posledice koje proističu iz nastanka neželjenih događaja imaju i različit značaj za konkretne sisteme, tako da postoje slučajevi u kojima se preventivno delovanje može svesti samo

na propisivanje postupaka sanacije, odnosno preduzimanje korektivnih radnji.

### **Ishodišta (uzroci) neželjenih događaja u OTS**

Sagledavanje mogućnosti primene pojedinih dostignuća nauke u procesu ugradnje preventive u postupke projektovanja OTS zahteva prethodnu analizu uzroka gubitaka (otkaza – incidenata) i njihovog karaktera.

Gubici u OTS mogu biti posledica otkaza – incidenata:

- sistema kao celine,
- elemenata sistema,
- međusobnih veza između elemenata i pravila funkcionisanja,
- u okolini.

Važno je uzeti u razmatranje uzroke, jer njihove vidljive manifestacije često mogu biti rezultat delovanja dva ili više uzroka. U tabeli je prikazan sistematizovan pregled izvorišta otkaza – incidenata i „objekata“ njihovog delovanja [2, 3, 5].

Prema podacima iz tabele može se zaključiti da se gotovo svi uzroci grešaka – otkaza u OTS mogu svrstati u tri glavne grupe:

- nedostaci u postupcima projektovanja – prognoziranja,
- greške ljudskog faktora,
- „viša sila“.

Ove činjenice dodatno ukazuju na značaj razmatranja potrebe za preventivnim delovanjem još u najranijim fazama nastanka ili reprojekovanja OTS.

Zbog još uvek nedovoljne ili neadekvatne primene u domaćoj praksi, neophodno je napomenuti da je do danas razvijen veliki broj metoda, postupaka i pravila koji se koriste radi delovanja na uzroke mogućih otkaza – incidenata. Međutim, to su, po svojoj suštini i obuhvatu,

Objekat otkaza – incidenta	Ishodišta (uzroci) otkaza – incidenta
Sistem kao celina	Zemljotres, ratna razaranja, požari, poplave, entropija
Čovek – kadar	Neadekvatna uputstva, loš izbor, premor, nedostatak obuke, obrazovanja, nedostatak iskustva, motiva i upravljačko-rukovodilačkih osobina
Tehnološki elementi	Greške u projektu, materijalu, dokumentaciji, uputstvima, izradi, pogrešna ocena moguće i potrebne funkcije, greške u projektu tehnološkog procesa, neadekvatna eksploatacija i održavanje, nedostatak zaštitnih elemenata
Materijal i energija	Neadekvatna zaštita, eksploatacija, čuvanje, održavanje, tokovi, kontrola i alarmiranje
Postrojenja i instalacije	Greške u projektu, određivanju uticaja okoline, materijalu, dokumentaciji, uputstvima, izradi, pogrešna ocena moguće i potrebne funkcije, neadekvatna eksploatacija i održavanje, izbor lokacije, nepridržavanje standarda, propisa i tehničkih elemenata zaštite
Informacije	Samoniklost informacionih sistema, neadekvatni nosioci informacija i projekat informacionog sistema, greške u tačnosti i oceni adekvatnosti, potreba i aktuelnosti
Organizaciona struktura	Teškoće u prenošenju tačnosti informacija, opterećenje rukovodilaca, nerazgraničenost nadležnosti, problemi koordinacije, neadekvatna struktura moći, nedostatak organizacione kulture
Upravljački postupci, pravila i procedure	Nepoznavanje procesa i pravila funkcionisanja, nekritičko preuzimanje od sličnih sistema, nedorečenost, nepreciznost, nedoslednost, nesveobuhvatnost, zastarelost
Okolina	Zemljotres, požar, poplava, kontaminacija, rat, štetočine, itd.

akcije usmerene na poboljšanje kvaliteta elemenata i podsistema koji čine OTS.

Otkaz OTS kao celine može nastupiti kao posledica dugotrajnog dejstva entropije, odnosno nagomilavanja grešaka – otkaza. Zbog toga se posebna pažnja mora usmeriti na sve što od prostog skupa elemenata čini sistem kao višu celinu. Prevencije ostalih uzroka otkaza na nivou celine OTS, regulisane su mnogobrojnim zakonskim i podzakonskim propisima i standardima u vezi HTZ, zaštite od zemljotresa, požara, poplava, itd.

Za analizu i poboljšanje kvaliteta ljudskog faktora razvijen je multidisciplinarni pristup pod nazivom „Pouzdanost ljudskog faktora“ [3]. U razvoju je i

odgovarajući IEC standard kojim će biti regulisana predmetna problematika. Ovaj pristup treba koristiti paralelno sa već poznatim postupcima „profesionalne selekcije“, periodičnih sistematskih medicinskih pregleda, školovanja, obuke i motivacije.

Unapređenja hardvera OTS (tehnička i druga sredstva, materijal, energija...) oblast je gde se već godinama primenjuje teorija pouzdanosti, integralni logistički pristup projektovanju, metode analize vrsta, posledica i kritičnosti otkaza (FMEA i FMECA), analiza stabla otkaza, itd. Ova oblast regulisana je i velikim brojem odgovarajućih domaćih i međunarodnih standarda.

Najbolje iskorišćenje informacija, kao resursa, predmet je istraživanja „Pro-

jektovanja informacionih sistema“ čiji je razvoj veoma dinamičan i u okviru kojeg je razvijeno više metoda (npr. BSP).

Teorija koja se bavi projektovanjem organizacionih struktura i uklapanjem delova OTS u celine koje su prilagođene pojedinim fazama delovanja došla je do sledećih zaključaka [2]: da je za poslovanje u savremenim uslovima, uopšte, veoma pogodna matrična organizaciona struktura, jer su u njoj najbolje izbalansirane horizontalna i vertikalna decentralizacija i ukupna funkcionalnost, pa se uspešno kombinuju funkcionalne i projektne – lokacijske dimenzije: delovanje protiv incidenata – otkaza pogodno je da se artikuliše kao projekat (bez promena postojeće makroorganizacije) kojim se upravlja u linijskoj strukturi, zbog mogućnosti brzog delovanja; sanacija posledica delovanja elementarnih katastrofa može se najbolje sprovesti matričnom projektom organizacijom, pri čemu se neke aktivnosti mogu realizovati hibridnom kombinacijom poznatih organizacionih struktura; ukoliko postoje vrlo izraženi rizici od nastanka otkaza – incidenta, ili se verovatnoća pojave njihovog nastanka želi svesti na apsolutni minimum, pogodno je u postojeću organizacionu strukturu ugraditi posebne funkcije (npr. kvaliteta) ili službe (protivpožarna, zaštite, itd.).

Propisivanje odgovarajućih upravljačkih akcija, pravila i procedura aktivnosti su koje treba obaviti u fazi projektovanja OTS. Pojedini principi i načini izvršenja ovih poslova određeni su literaturom iz oblasti tehnološkog projektovanja [4]. Propisivanje i pridržavanje postupaka i procedura rada imperativno se zahteva standardima JUS-ISO 9000, 10000, 14000, jer se na taj način povoljno utiče na poboljšanje kvaliteta rada i smanjivanje mogućih šteta.

Zakonski propisi, veliki broj standarda i posebna pravila regulišu akcije koje se u OTS moraju preduzeti zbog incidenata čije je ishodište u spoljnoj sredini.

### **Kategorizacija otkaza – incidenata**

Posledice otkaza – incidenata (njihove manifestacije) po OTS mogu imati različiti karakter, a prema težini mogu se uvrstiti u jednu od sledećih devet kategorija (iskorišćena je delom analogija sa tehničkim sistemima [5]):

*kategorija I* – katastrofalni otkaz; otkaz – incident koji može da dovede do smrtnog ishoda ili povreda rukovalaca ili drugih ljudi;

*kategorija II* – katastrofalni ekološki otkaz; otkaz – incident koji može da dovede do smrtnog ishoda ili narušavanja zdravlja rukovalaca ili drugih ljudi usled ekoloških katastrofa;

*kategorija III* – kritičan otkaz materijalnih sredstava; otkaz – incident koji može da prouzrokuje uništenje ili veće oštećenje samog sredstva;

*kategorija IV* – kritičan otkaz šireg organizaciono-tehnološkog sistema; otkaz – incident koji može da prouzrokuje zastoj ili veće oštećenje šireg sistema;

*kategorija V* – incident – događaj kritičan po psihološki osećaj sigurnosti; gubitak psihološkog osećaja sigurnosti kod ljudi;

*kategorija VI* – kritičan otkaz po veličini materijalne štete izazvane zastojem sistema; otkaz – incident za koji se unapred može pretpostaviti da će dovesti do enormnih troškova zbog zastoja elemenata ili šireg sistema;

*kategorija VII* – težak otkaz; otkaz – incident koji može da rezultira neizvršenjem zadatka;

*kategorija VIII* – manji otkaz; otkaz – incident koji može da prouzrokuje degradiranje određenih karakteristika i (ili) nemogućnost potpunog izvršenja zadatka;

*kategorija IX* – neznatan (zanemarljiv) otkaz; otkaz – incident koji ne sprečava izvršenje zadatka, ali zahteva određenju korektivnu akciju.

U procesu grupisanja logičkom analizom pokušano je da se obuhvate sve moguće posledice otkaza – incidenata koji se u opštem slučaju mogu dogoditi. Kategorizacija je sačinjena tako da se može primeniti na otkaze celine i na otkaze podsistema i elemenata sistema. Dodatni razlog za ovakvu kategorizaciju nalazi se u činjenici da je dosadašnja praksa pokazala da se, u načelu, za:

- kategorije otkaza od I do VI nužno i neophodno sprovodi preventiva,
- kategorije otkaza VII i VIII preventiva sprovodi samo ukoliko se finansijski isplati,
- kategoriju IX ne zahteva primena preventive, odnosno ne isplati se primenjivati je.

Primena postupaka preventive za kategorije otkaza od I do VI u većini slučajeva se zahteva i zakonskom regulativom, jer su njihove posledice, u načelu, neprihvatljive. Prema tome, postoje samo dva kriterijuma nužnosti ugradnje konkretne preventivne akcije u postupcima projektovanja OTS, a to su:

- stepen smanjenja rizika,
- troškovi.

Na žalost, često se događa da troškovi predstavljaju projektno ograničenje i u slučajevima kada je viši nivo prevencije neželjenih događaja nužan.

Posebnu pažnju zaslužuje kategorija V koja obuhvata incidente – događaje koji bitno utiču na psihološki osećaj sigurnosti ljudi.

U Maslovljevoj tablici ljudskih potreba [6] sigurnost je na drugom mestu, iza fizioloških potreba. Pojam sigurnosti obuhvata u ljudskoj svesti, prirodom duboko usađene strahove od smrti, gubitka uslova za egzistenciju, gubitka bliskih osoba, destrukcije socijalnog miljea kome su se već prilagodili, itd. Tome treba dodati i gubitak osećaja poverenja u kvalitet nekog proizvoda ili usluge. Iskustvo je pokazalo da izostavljanje faktora sigurnosti može imati veoma teške ili katastrofalne posledice po organizaciono-tehnološke sisteme, posebno u kriznim uslovima funkcionisanja i u slučaju dugotrajnog izostanka poverenja.

### **Metodologija projektovanja organizaciono-tehnoloških sistema**

U osnovi sadašnjih pristupa projektovanju OTS nalazi se sistemski pristup. Međutim, još uvek nije stvoren model koji bi sve uzroke povezao u celinu pogodnu za izučavanje, pa se u osnovi svakog praktičnog rešavanja problema nalazi neki od parcijalnih pristupa, uz manji ili veći obuhvat ostalih. Različiti pristupi se, dakle, moraju sintetizovati. Različitost uslova, karaktera, zakonitosti funkcionisanja OTS i pristupa rešavanju problema u osnovi nameće situacioni pristup (case study approach), kroz koji se ukazuje na kontinuitet tri procesa u postupku projektovanja, a to su: analiza – merenje stvarnog stanja, upoređenje postojećeg i poželjnog, i izbor oblika uticaja na OTS.

Pri projektovanju OTS mora se početi od pretpostavki o dinamičnosti, otvorenosti i racionalnosti sistema. Pravac projektovanja OTS prema „smeru“ može biti trojak: odozgo nadole, odozdo nagore i susretni. Jedino susretni pristup

projektovanju može uključiti krucijalni značaj rešavanja problema vezanih za pojedine elemente i procese u OTS za uspešno ostvarenje funkcije celine i presudnu ulogu rukovodećeg vrha u određivanju strategijskih procena i smernica. Ideogramski prikaz susretnog pristupa projektovanju OTS odslikanog uz pomoć Mintzbergovog prikaza, dat je na slici 3.



Sl. 3 – Ideogramski prikaz susretnog pristupa projektovanju OTS

Opšti algoritam projektovanja OTS razrađen je i prikazan na slici 4. Redosled i sadržaj koraka prilagođeni su sagledavanju uloge i problema delova i celine OTS. Treba istaći da je u njemu stalno naglašena potreba za ponovnim izvršenjem pojedinih koraka, pa i postupka u celini, kako bi se, uzevši u obzir dinamiku promena uslova poslovanja, osiguralo često reprojektovanje radi poboljšanja uspešnosti poslovanja. Postupci ugradnje preventive moraju se konceptijski i vremenskim sledom uklopiti u prikazani algoritam, kako bi se osigurala njihova primenljivost i celovitost zahvata problema OTS.

Svako projektovanje uključuje i znatan stepen prognoziranja. Prognoziranje se obično odvija u karakterističnom informacionom okruženju. U trenutku opredeljenja za primenu neke preventivne akcije postoje tri stanja:



Sl. 4 – Opšti algoritam projektovanja OTS

– MINMAX, kada nema nikakvih informacija o nastupanju pojedinih otokaza – incidenata, pa se mora opredeliti za minimalni ili maksimalni obim preventive;

– **PRELAZNI**, kada se poseduju neki podaci o nastupanju otkaza – incidenata, pa se određuje preventiva izvesnog obima, s tim što se zadržava mogućnost njenog korigovanja u budućnosti, ali su periodi prilagođavanja nepoznati;

– **ADAPTIVNA STRATEGIJA**, kada se znaju i stalno prate mehanizmi pojave otkaza – incidenata, pa se može trenutno reagovati promenom strategije, odnosno obima i karaktera preventive.

### **Algoritam primene preventive u fazi projektovanja organizaciono-tehnoloških sistema**

Na slici 5 prikazan je, u ovom radu kreiran, opšti algoritam primene preventive u fazi projektovanja organizaciono-tehnoloških sistema. Algoritmom se artikuliraju odgovori na pitanja *ZAŠTO, KAKO, KADA, KAKVA* i *KOLIKO PREVENTIVNIH* rešenja primeniti u projektovani OTS i *KOJA SREDSTVA* koristiti. Pri tome su iskorišćena iskustva u rešavanju problema iz teorije i prakse, kako bi se projektantima sistema uštedelo vreme, trud i da bi im se dao alat koji služi kao jasan putokaz i plan rada. U suštini algoritma je odbacivanje rešenja za koja se u teoriji i praksi projektovanja pokazalo da su sigurno neisplativa. Uključivanje raznolikosti mogućih konkretnih rešenja ostvareno je insistiranjem na generisanju specifičnih varijantnih rešenja.

Algoritam je koncipiran tako da se u njemu nađu svi zaključci iz sprovedene analize. Takođe, suštinom postupaka koji ga čine i njihovim vremenskim sledom prilagođen je uklapanju u opšti algoritam projektovanja OTS. Prilagođen je i primeni u sva tri stanja informacionog okruženja.

Postupak sprovođenja algoritma započinje analizom funkcionisanja OTS u

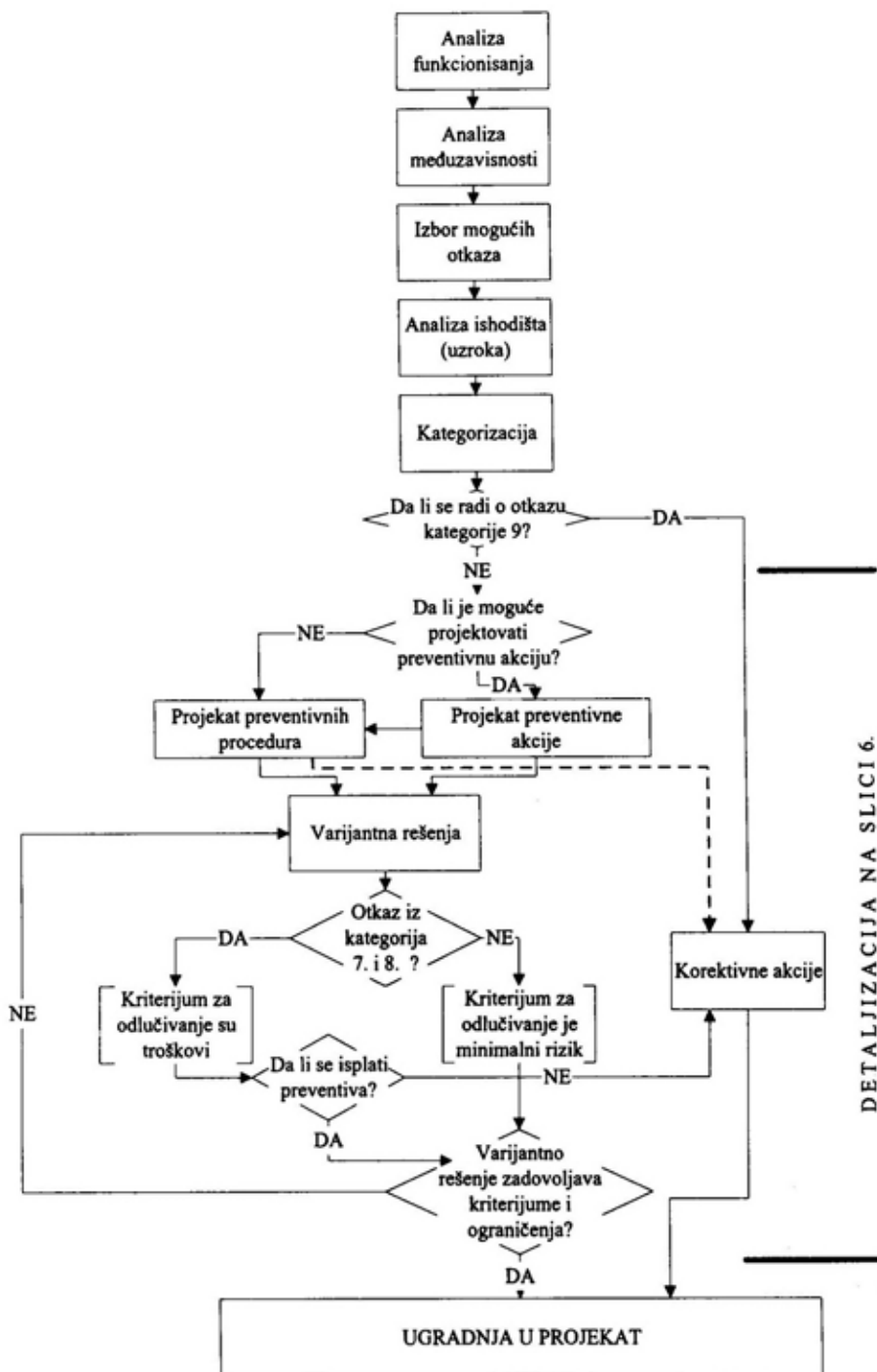
kojoj se moraju dati odgovori na pitanja o njegovom cilju, nameni, osnovnim i dopunskim funkcijama, procesima, režimima, fazama i etapama rada, očekivanim pokazateljima uspešnosti funkcionisanja, ograničenjima i uslovima funkcionisanja. Sledeći korak rezultira u analizi međuzavisnosti pojedinih elemenata sistema, što se postiže kroz postupke raščlanjivanja sistema i izradu funkcionalnih i drugih blok-dijagrama.

Iz ukupnog skupa krajnjih posledica otkaza – incidenata za karakteristični OTS izdvaja se podskup onih koji se realno mogu pojaviti i koji su interesantni za analizu sa stanovišta uticaja na OTS.

Završetak prethodnog koraka analize predstavlja preduslov sprovođenja analize mogućih ishodišta (uzroka) otkaza – incidenata za svaku od mogućih posledica u konkretnom slučaju. Nivo raščlanjivanja OTS i elemenata koji ga čine, pri sprovođenju ovog koraka analize zavisi prvenstveno od stanja informacionog okruženja u kojem se postupak odvija. Što se više zna o prirodi funkcionisanja OTS, analiza može biti dublja.

Postupak kategorizacije sprovodi se na način koji je prethodno objašnjen. Posebno se naglašava izdvajanje neprihvatljivih ishoda (obavezna preventiva) za konkretan OTS. Dalji tok analize ide prema pojedinačnim krajnjim posledicama otkaza – incidenata za karakteristični OTS. Algoritmom se predviđa da se analiza otkaza koji po posledicama spadaju u IX kategoriju ne vrši već se za njih predviđaju samo postupci sanacije – korektive.

Pod projektom preventivnih akcija podrazumeva se analiza mogućnosti smanjenja rizika od nastanka neželjenih događaja ugradnjom redundantnih (dodatnih) elemenata, ugradnjom sredstava za dijagnostiku, kontrolu i alarmiranje, alternativnih vrsta rada, načina povećanja



Sl. 5 – Opšti algoritam primene preventive u fazi projektovanja organizaciono-tehnoloških sistema



otpornosti na preopterećenja, što uključuje i predimenzioniranje, rešenja za smanjenje greške rukovalaca, otklanjanja mogućnosti kratkih spojeva, rešenja koja sprečavaju ili smanjuju mogućnost katastrofalnih otkaza, modularnost građe radi brze zamene, itd.

Cilj ovih akcija je dejstvo usmereno na umanj enje ili eliminaciju delovanja uzročnika otkaza. Kod organizacionih struktura dodatni elementi su, na primer, posebne funkcije (npr. kvaliteta), službe (protivpožarna, zaštite, itd.) ili radna mesta (kontrolori, čuvari...).

Mogućnosti dejstva na uzročnike otkaza često su ograničene (naročito kod reprojekovanja postojećih OTS), neobičajene u praksi ili nedovoljne sa stanovišta smanjenja rizika otkaza. Zbog toga je u postupku projektovanja potrebno u način funkcionisanja OTS unapred primeniti operativne postupke – procedure funkcionisanja. To je, inače, veoma uobičajen način smanjenja rizika nastanka otkaza, pa mu zbog toga treba posvetiti posebnu pažnju. Da bi se rešavanje ovog problema dovelo do stadijuma direktne primenljivosti razvijen je algoritam prikazan na slici 6.

Ovaj algoritam treba posmatrati kao nerazdvojni deo prethodnog algoritma, s tim što je namenjen direktnoj primeni.

Algoritam je kreiran tako da se maksimalno skрати put ka izboru najboljih i najisplativijih rešenja u konkretnim slučajevima. Način izbora zasnovan je na teoriji projektovanja u tom domenu. Takođe, cilj primene algoritma jeste i da se maksimalno smanji broj slučajeva u kojima se moraju obavljati složeni proračuni učestanosti izvođenja pojedinih preventivnih radnji – postupaka.

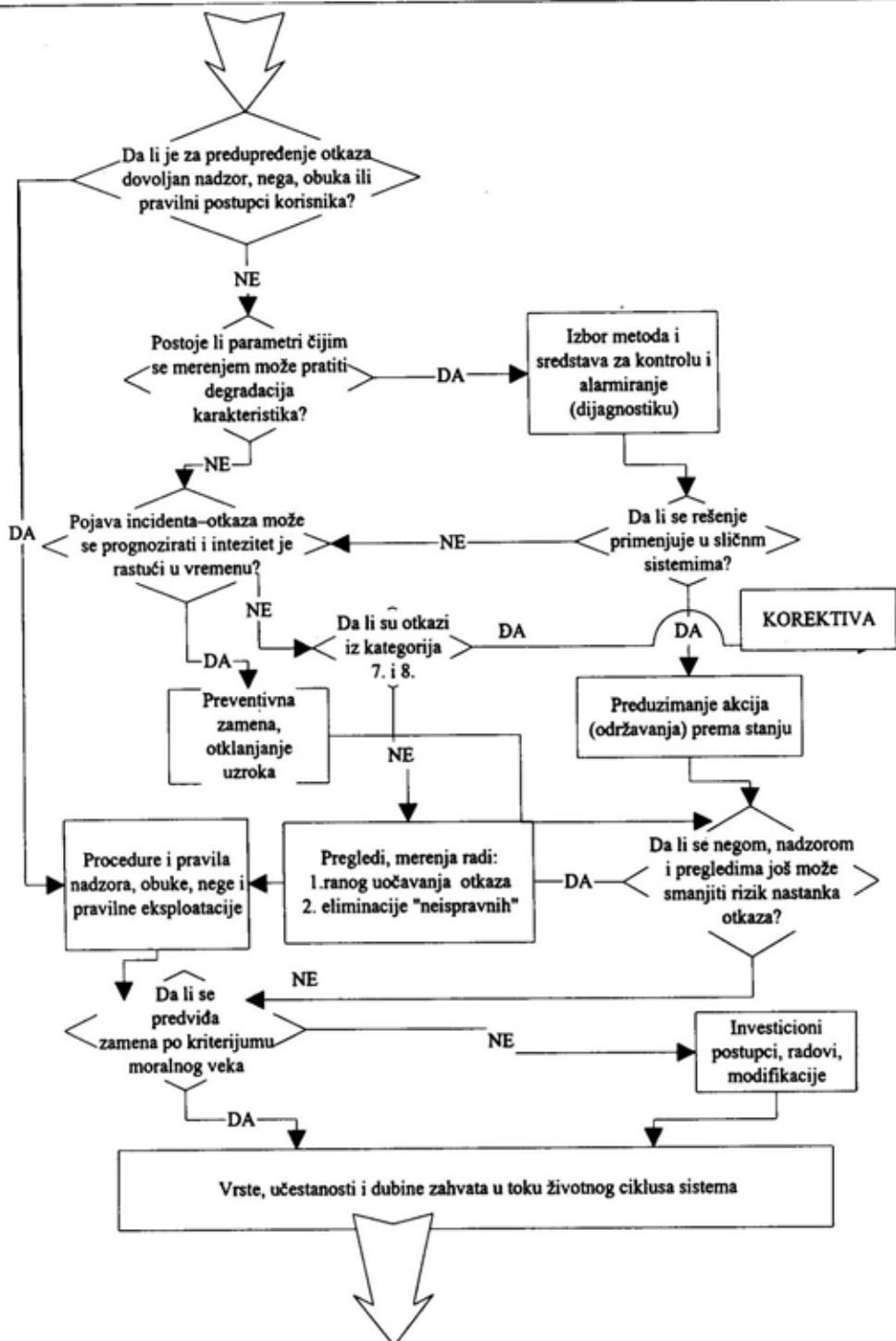
Razvoj algoritma zasnovan je na situacionom pristupu i, u skladu s tim, nužno ga je primenjivati. U različitim konkretnim slučajevima, na primer, iste

kategorije ishodišta otkaza nemaju isti značaj, odnosno istu težinu, pa je konkretizacijom potrebno izraziti težište. Na primer, i skladište pogonskih sredstava i kamenolom su OTS sa visokim stepenom rizika pojave akcidenta. Međutim, požar kao akcident nema isti značaj u ova dva slučaja. Kada je u pitanju skladište pogonskih sredstava požar je u strogom centru pažnje, dok mu se u kamenolomu ne može pridati taj značaj.

Ukoliko se rizik pojave otkaza može smanjiti na prihvatljivu meru negom (čišćenje, podmazivanje, itd.) nadzorom, obukom ili pravilnim postupcima korisnika, onda je dovoljno projektovati i propisati te procedure – postupke. Ako postoje parametri čijim se merenjem može pratiti degradacija karakteristika elemenata OTS, radi iskorišćenja rezerve pouzdanosti i pravovremenog alarmiranja (delovanje „prema stanju“) i ukoliko se ta rešenja primenjuju u svetskoj praksi, problem se svodi na izbor dijagnostičkih metoda i propisivanje procedura.

Pojava otkaza može se prognozirati primenom matematičke statistike, praćenjem, zakonitostima tribologije, upoređivanjem sa sličnim slučajevima, ekspertskim ocenama, itd. U teoriji i praksi je dokazano da ako se otkazi kategorija VII i VIII mogu prognozirati, a intenzitet njihove pojave nije rastući u vremenu, onda se ne isplati projektovati preventivne postupke već se treba ograničiti samo na korektivu. Za ostale otkaze potrebno je predvideti postupke i procedure preventivne zamene (elemenata koji otkazuju) ili nekog drugog načina otklanjanja.

U velikom broju slučajeva neželjena pojava otkaza može se preduprediti ili otkloniti periodičnim pregledima i merenjima, negom, nadzorom, obukom korisnika i održavalaca i pravilnom eksploatacijom. To je jeftin i efikasan način pred-



Sl. 6 – Algoritam projektovanja preventivnih procedura

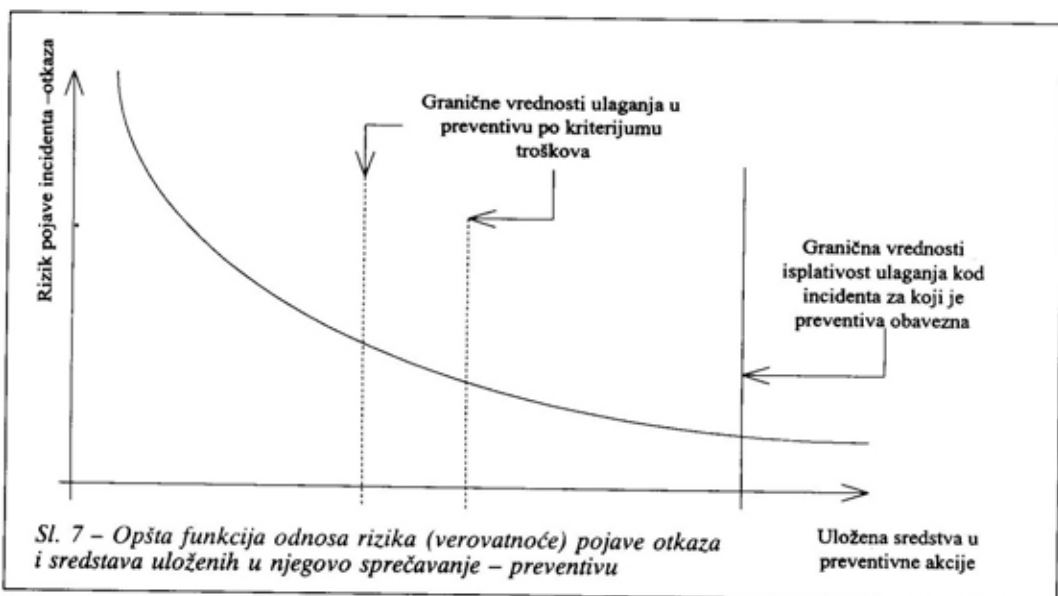
pređivanja pojave otkaza, pa ga treba koristiti uvek kada je to logično i isplativo. Ovi postupci su neophodni kada se radi o neprihvatljivim vrstama otkaza koji se ne mogu prognozirati, pa je najkorisnije tražiti rane znake pojave otkaza i (ili) eliminisati neispravne elemente iz procesa funkcionisanja pre početka njegovog odvijanja kako ne bi prouzrokovali veće štete. Takav način zaključivanja primenjen je u prikazanom algoritmu.

U postupak je bilo potrebno uključiti i razmatranje filozofije korišćenja pojedinih elemenata i celina OTS, sa stanovišta brzog tempa razvoja nauke i tehnologije u današnje vreme. Nemilosrdni uslovi konkurencije nameću brzu i stalnu zamenu i izmene na elementima OTS ukoliko se ne želi pogubno zaostajanje. Zbog toga se elementi OTS, posebno tehnološka oprema, zamenjuju čim se na tržištu pojave novi – efikasniji. U tom slučaju najčešće je besmisleno projektovati neke preventivne postupke i procedure, npr. generalni remont mašina.

Poslednji korak ovog algoritma sastoji se u opredeljenju za vrste prethodno

definisanih procedura, određivanje njihove dubine, obuhvata i učestanosti sprovođenja u toku životnog ciklusa elementa. Ugrađenim postupcima eliminacije pojedinih mogućih rešenja, algoritam korisno svodi obim na veličinu pogodnu za primenu raznovrsnih matematičkih modela za optimizaciju dubine i učestanosti preventivnih postupaka [7].

Završetkom postupka projektovanja preventivnih procedura završava se rad na generisanju varijantnih rešenja pogodnih za rešavanje konkretnog problema. Sprovođenje opšteg algoritma ugradnje preventive u postupke projektovanja OTS, nastavlja se postupkom ocene. Ukoliko se radi o projektu radnji za preventivu otkaza iz kategorija VII i VIII, osnovni kriterijum za odlučivanje su troškovi, odnosno, ukoliko je preventiva skuplja od korektive ide se samo na projektovanje postupaka sanacije – korektive. Za otkaze kategorija I–VI kriterijum za odlučivanje je minimalni rizik. Načelna primena ovih kriterijuma prikazana je na slici 7. Za svaki konkretan slučaj nužno je uspostaviti konkretnu za-



Sl. 7 – Opšta funkcija odnosa rizika (verovatnoće) pojave otkaza i sredstava uloženi u njegovo sprečavanje – preventivu

visnost rizika od troškova. Na slici 7 prikazan je samo načelan oblik ove zavisnosti.

Oblik opšte funkcije odnosa rizika (verovatnoće) pojave otkaza i sredstava uloženi u njegovo sprečavanje – preventivu, ukazuje na to da posle izvesne količine uloženi sredstava u preventivu ne dolazi do bitnog smanjenja rizika, odnosno, da odnos uloženi sredstava i smanjenja rizika postaje neracionalan. Tačka posle koje prestaje isplativost ulaganja u smanjenje rizika predstavlja minimum rizika, odnosno kriterijum prihvatljivosti i nužni rizik sa kojim se mora računati kod otkaza kategorija I–VI. Za otkaze iz kategorija VII i VIII ta tačka predstavlja maksimum do kojeg se može ići sa ulaganjima u preventivu, odnosno ako su potrebna ulaganja veća – bolje je problem rešavati korektivnim akcijama. Za ove kategorije otkaza optimalne ili prihvatljive granične vrednosti ulaganja u preventivu obično su negde na levoj strani od navedene tačke, u zavisnosti od konkretnog slučaja i primenjenog matematičkog modela optimizacije.

Pre završetka algoritmovanog postupka potrebno je proveriti da li varijantna rešenja zadovoljavaju postavljene kriterijume i ograničenja. Ukoliko ih ne zadovoljavaju moraju se odbaciti. To je posebno problematično kod otkaza iz kategorija I–VI, kada troškovi predstavljaju projektno ograničenje, jer može doći do toga da se mora prihvatiti nužno rešenje koje nosi rizik pojave otkaza veći od poželjnog. Završetak postupka definisanog opštim algoritmom primene preventive u postupke projektovanja OTS predstavlja kraj analize svih predviđenih varijantnih rešenja. Zatim se prelazi na ugradnju preventivnih akcija i postupaka u projekat OTS. Najbolje varijantno reše-

nje preventive za konkretni OTS biće ono koje je ugrađeno u najbolju varijantu projektovanog OTS.

## Zaključak

Situacioni pristup se pokazao kao nužna teoretska i praktična osnova projektovanja OTS, jer je potrebno uzeti u obzir konkretne moguće razlike među sistemima i situacijama u kojima deluju. I preventivni postupci pružaju ogroman broj mogućih primena. Sprovedena analiza potreba i mogućnosti preventive, uz kreiranje opšteg algoritma primene preventive u postupke projektovanja OTS predstavlja rezultat ovog rada. Ovaj algoritam je dovoljno uopšten kako bi se mogao primeniti na široku gamu realnih situacija. U okviru njega algoritam projektovanja preventivnih procedura ima veći stepen konkretizacije i primenljivosti. Kategorizacija otkaza, takođe, predstavlja značajan doprinos ovog rada, jer ima veliku praktičnu primenljivost. Navedeni algoritmi omogućavaju projektantima OTS teoretsko sagledavanje mogućnosti, kriterijuma i trenutka primene pojedinih preventivnih rešenja a svoj konkretan oblik dobiće na konkretnom projektu.

### Literatura:

- [1] Shingo Shigeo: Nova japanska proizvodna filozofija I i II, Jugoslovenski zavod za produktivnost rada, Beograd, 1985.
- [2] Cvijanović, J., Jovičić, V.: Organizacija preduzeća izloženih elementarnim katastrofama, Ekonomski institut, Beograd, 1996.
- [3] Todorović, J.: The Impact of Human Reliability on Automobile Quality, JUMV, Beograd, 1997.
- [4] Vukićević, S.: Skladišta, Preving, Beograd, 1996.
- [5] TPR 1767/92: Metodologije analiza vrsta posledica i kritičnosti otkaza, SSNO 1992.
- [6] Bulat, V.: Teorija organizacije, Informator, Zagreb, 1977.
- [7] Gertsbakh, I.B.: Models of Preventive Maintenance, Nort – Holland Publishing Company Amsterdam – New York – Oxford, 1977.

**Saviša Todorović,**  
dipl. inž.  
**Slobodan Dželetović,**  
dipl. inž.  
**Radisav Jugović,**  
dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## ISPITIVANJE VOZILA NA NISKIM TEMPERATURAMA OKOLINE\*

UDC: 629.13.004.15

### Rezime:

*Na niskim temperaturama okoline često se javljaju problemi u funkcionisanju pojedinih sistema vozila. Cilj ovog rada je da ukaže na značaj ispitivanja vozila na niskim temperaturama okoline i potrebu za izradom standarda iz ove oblasti, kao i da ukaže na sadržaj ovih ispitivanja kroz prezentaciju dosadašnjih iskustava u sprovođenju ovakvih ispitivanja na vojnim vozilima.*

*Ključne reči: niska temperatura, ispitivanje, vozilo, standardi, motor, transmisija, električna oprema, grejač.*

---

## VEHICLES TESTING AT LOW AMBIENT TEMPERATURES

### Summary:

*This paper presents the problem of vehicles usability at low ambient temperatures. Which problems in military vehicles and how to solve them is the purpose of this study.*

*Key words: low temperature, testing, standards, vehicle, engine, transmission, electric equipment, heater.*

---

### Uvod

Savremena vojna vozila, a sve više i sva teretna, terenska i putnička vozila i građevinske mašine moraju konstrukcijski da zadovolje zahteve za upotrebu i na niskim temperaturama okoline. S obzirom na specifična konstrukcijska rešenja koja iziskuje upotreba na niskim temperaturama okoline, i ispitivanja vozila u ovim uslovima postaju neophodna. Ona su neophodna i zbog činjenice da je ova oblast nedovoljno pokrivena domaćim i

stranim standardima (postoje samo GOST standardi u oblasti hladnog starta motora, određeni standardi u oblasti traktora, kao i fabričke norme većih proizvođača vozila i komponenata).

### Ispitivanje vozila

Prema važećim jugoslovenskim vojnim standardima konstrukcija vozila mora da obezbedi pouzdanu upotrebu do temperature okoline od  $-30^{\circ}\text{C}$ . Uslove upotrebe vozila na ovako niskim temperaturama definiše korisnik vozila postavljanjem taktičko-tehničkih zahteva. Zadatak ispitivača jeste da na osnovu rezultata ispitivanja zaključi da li ispitivano

\* Rad je saopšten na savetovanju „Ispitivanje upotrebnog kvaliteta mototehničkih sredstava i ocena generalnog remonta“ 08. 12. 1998. u Beogradu.

vojno vozilo ispunjava postavljene zahteve korisnika.

Na osnovu iskustava stečenih na ispitivanju više od stotinu terenskih automobila, kamiona, elektroagregata, inženjerskih mašina i dr., može se definisati minimalni sadržaj ispitivanja vozila na niskim temperaturama okoline. To ispitivanje obuhvata:

- hladni start motora vozila,
- funkcionisanje sklopova transmisije i kočnog sistema,
- karakteristike rada elektroenergetske instalacije i opreme,
- toplotne ugodnosti radnog prostora.

Ispitivanja funkcionalnih karakteristika drugih sistema vozila kao i specijalnih nadgradnji, zasebnih uređaja i agregata, sprovode se po posebnom programu prema zahtevima korisnika.

### *Ispitivanje hladnog starta motora*

Kao prvi problem pri upotrebi vozila na niskim temperaturama okoline pojavljuje se pokretanje (startovanje) pogonskog motora.

Na prvi pogled problem pokretanja motora može izgledati jednostavan i lako rešiv. Naime, potrebno je ispuniti „samo“ tri zahteva:

- spoljnim izvorom energije saopštiti motoru minimalni broj obrtaja potreban za pokretanje,
- u cilindru motora obezbediti temperaturu neophodnu za pravilno formiranje smeše i (ili) samopaljenje,
- u pravom trenutku ubrizgati određenu količinu goriva i (ili) obezbediti varnicu dovoljne energije za paljenje smeše.

Međutim, kada se posebno analizira svaki od ovih zahteva, zatim njihov među-

sobni uticaj, a posebno uticaj sniženih temperatura na mogućnost ispunjenja svakog od njih, dobija se sasvim druga slika. Na primer, sa snižavanjem temperature okoline minimalni broj obrtaja potreban za pokretanje motora, takozvani startni broj obrtaja, povećava se. Sa druge strane, sa snižavanjem temperature povećavaju se unutrašnji gubici u motoru, pa je sve teže postići taj broj obrtaja. Istovremeno spoljašnji izvor energije ima sve manji kapacitet, jer opada kapacitet akumulatorskih baterija u sistemu za električno pokretanje, pada pritisak vazduha u instalaciji za pneumatsko pokretanje, pa se čak i u slučaju ručnog pokretanja na niskim temperaturama smanjuje sposobnost rukovaoca. Kao poseban problem postavlja se pitanje odgovarajućeg goriva za niske temperature, posebno za dizel motore, itd.

Može se zaključiti da je otežano pokretanje motora na niskim temperaturama okoline prouzrokovano čitavim nizom složenih uticaja. Zbog toga i rešavanje ovog problema zahteva sistematsko i sveobuhvatno sagledavanje, prvo u fazi razvoja motora, a zatim u fazi konstruisanja ili odabiranja opreme motora i vozila za konkretnu ugradnju.

Svi veći proizvođači motora i vozila u toku razvoja, pored ostalih ispitivanja, vrše i ispitivanja startnih karakteristika motora na niskim temperaturama okoline prema svojim standardima i metodama. Na taj način utvrđuju graničnu temperaturu pouzdanog startovanja motora. Međutim, taj podatak najčešće nije poznat krajnjem korisniku, jer se ne prikazuje u tehničkoj specifikaciji ili uputstvu za vozilo kupljeno na tržištu. Na zahtev većih korisnika proizvođač može da deklarise i startne karakteristike motora, ali one su teško uporedive sa deklaracijom drugog

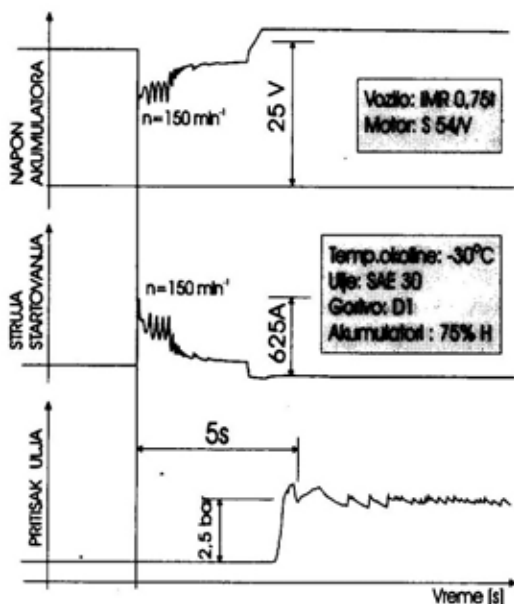
proizvođača, jer ne postoje opšteprihvaćeni standardi po kojima se one utvrđuju i proveravaju.

Ispitivanje startnih karakteristika motora na niskim temperaturama okoline u vojnim vozilima i svim drugim sredstvima za potrebe VJ, obavlja se prema metodi koja je 1982. godine prihvaćena kao važeći armijski standard *SNO 0142 – Metoda ispitivanja startnih karakteristika motora SUS na niskoj temperaturi okoline*. Standard definiše kompletnu metodologiju ispitivanja startnih karakteristika od pripreme motora i merne opreme, uslova i redosleda ispitivanja, do kriterijuma za ocenu rezultata ispitivanja.

Iskustva stečena na osnovu ispitivanja velikog broja najrazličitijih sredstava prema Standardu *SNO 0142* pokazala su opravdanost njegovog postojanja. Standard pomaže korisniku da definiše karakteristike koje sredstvo treba da ispuni u upotrebi, proizvođaču ili onome ko razvija sredstvo jasno ukazuje na tehničke, konstrukcijske i opšte zahteve u okviru kojih treba da se reši problem, a ispitnoj organizaciji olakšava postupak provere ispunjenja zahteva korisnika.

Kao ilustraciju navedenih stavova o složenosti problema pokretanja motora na niskim temperaturama okoline, koji se uspešno rešavaju sistematskim pristupom u svim fazama može se navesti primer prototipa terenskog automobila IMR 0,75 t razvijanog za potrebe VJ. Naime, pravilnim odabirom i ugradnjom odgovarajuće opreme u sistem za napajanje gorivom, sistem za hlađenje motora i sistem za predgrevanje uspešno je startovan motor na temperaturi okoline od  $-30^{\circ}\text{C}$  sa dizel gorivom D1 koje nije deklarirano za upotrebu na ovako niskim temperaturama i sa motornim uljem gradacije SAE 30 koje, takođe, po svom

viskozitetu nije predviđeno za upotrebu u ovakvim uslovima. Kao što se vidi iz dijagrama (slika 1) motor vozila je uspešno startovan i samostalno je počeo da radi već nakon 5 sekundi kada je i pritisak ulja u motoru dostigao vrednost 2,5 bara.



Sl. 1 – Karakteristike startovanja na niskoj temperaturi

### *Ispitivanje funkcionisanja sklopova transmisije i kočnog sistema*

Kompletna ispitivanja sklopova transmisije i kočnog sistema vozila u laboratorijskim uslovima na niskim temperaturama okoline nije moguće sprovesti bez hladne komore sa dinamometrijskim valjcima. S obzirom na to da VJ ne poseduje tako opremljenu hladnu komoru, ispitivanja ovih sistema na vojnim vozilima sastoje se u proveru njihove funkcionalne ispravnosti pri radu vozila u mestu. Naime, vozilo se u hladnoj komori postavlja na krute oslonce tako da se točkovi ne oslanjaju o podlogu, i nakon izlaganja

uticaju temperature proveravaju se funkcije svih sklopova transmisije i kočnog sistema u svim radnim položajima (spojnica, menjač, razvodnik pogona, pogonski mostovi, blokade, radna kočnica, parkirna kočnica, signalizacija).

Kod sklopova transmisije problemi se javljaju na komandama agregata transmisije koje su ugrađene izvan osnovnog kućišta. Najčešće su to blokade razvodnika pogona i pogonskih mostova. Kod kočnog sistema sa pneumatičkim prenosnim mehanizmom, zbog prisustva vlage i korozije u instalaciji dolazi do zapašavanja komponenata sistema. Ova pojava se efikasno otklanja ugradnjom isušivača vazduha koji nisu našli širu primenu u vojnim vozilima. Kod kočnog sistema sa mehaničkim prenosnim mehanizmima dolazi, zbog neadekvatnog vođenja poluga i užadi, a uz prisustvo vlage na niskim temperaturama, do blokiranja u zakočenom ili otkočenom stanju. Takođe, kod kočnica u točkovima može da dođe do „lepljenja“ kočne obloge za doboš i blokiranja točkova.

#### *Ispitivanje karakteristika rada elektroenergetske instalacije i opreme*

Problemi vezani za uticaj sniženih temperatura okoline na elektroenergetsku instalaciju i opremu javljaju se kod izvora napajanja, električnih potrošača, elektromehaničkih komponenti i električne instalacije.

Izvore napajanja vojnih vozila predstavljaju akumulatorske baterije, alternatori povezani sa njima u „pufer“ vezu i razni oblici pretvarača napona. Treba istaći da snižene temperature okoline do  $-30^{\circ}\text{C}$  negativno utiču na realni kapacitet akumulatorskih baterija (olovne, NiCd i

dr.). Tako, na primer, olovne akumulatorske baterije koje u eksploatacionim uslovima imaju kapacitet 75% od nazivnog kapaciteta, na temperaturi okoline  $-30^{\circ}\text{C}$  imaju svega 30% realnog kapaciteta, što čini oko 23% od  $C_n$  (nazivnog kapaciteta). Ako se uzme u obzir da veliki broj vozila ima dizel motore koji traže predgrevanje, i da su povećani otpori na obrtnim elektromehaničkim delovima, uspešnost starta pogonskih motora na sniženim temperaturama okoline izuzetno je otežana.

Da bi se ovaj problem razrešio proizvođači vozila su primenjivali razna rešenja od kojih treba napomenuti ugradnju grejača akumulatorskih baterija, kojima se zagreva elektrolit i znatno povećava njihov kapacitet.

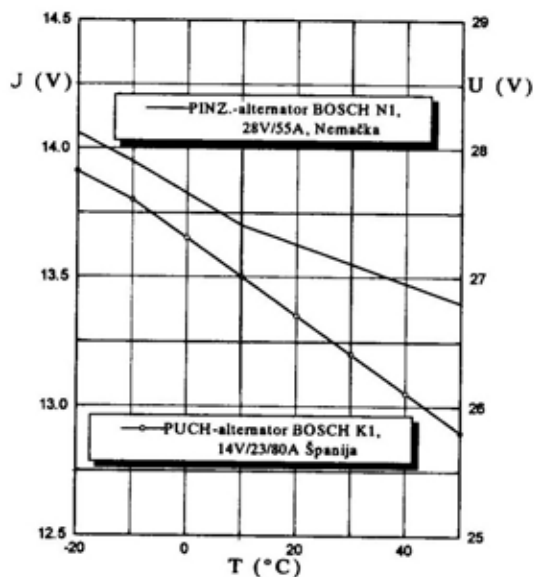
Problemi koji se javljaju kod alternatora u slučaju rada na sniženim temperaturama okoline odnose se, prvenstveno, na nizak nivo izlaznog napona da bi se zbog povećanja unutrašnjeg otpora akumulatorskih baterija moglo uspešno izvršiti njihovo punjenje. Alternatori novije proizvodnje poznatih proizvođača imaju temperaturnu kompenzaciju izlaznog napona kojom se ovaj problem rešava.

Na slici 2 prikazane su dve krive temperaturne kompenzacije na alternatorima BOSCH (tipa N1, 28V/55A i K1, 14V/23/80A) za temperature okoline od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$  ugrađenih u vozila PUCH i PINZGAUER.

U retkim slučajevima na sniženim temperaturama okoline dolazilo je i do otkaza regulatora napona nastalih zbog nekvalitetnih ugrađenih elektronskih komponenti. U slučaju pretvarača napona uočeni problemi odnose se na loš kvalitet ugrađenih elektronskih komponenti (koje nisu verifikovane za upotrebu u VJ), nekvalitetna izvođenja štampanih



pločica (bez lakiranja) i električne instalacije (mehanički oštećena), što je imalo za posledicu smanjenje električnog otpora izolacije i otkaz uređaja.



Sl. 2 – Krive temperaturne kompenzacije na alternatorima

Od električnih potrošača ugrađenih u vozila, značajno je analizirati elektropokretače i motore različite namene. Problemi koji se javljaju u slučaju rada elektropokretača vezani su za povećane otpore na obrtnim delovima, smanjen nivo napona i kapacitet akumulatorskih baterija. To je imalo za posledicu povećanje struje potrošnje (oko 20% u odnosu na struju merenu na referentnoj temperaturi), povećan pad napona (oko 20% u odnosu na pad napona meren u referentnim uslovima) i zbog manjeg broja obrtaja znatno produžen električni start motora (dvadesetak puta duže vreme starta u odnosu na start u referentnim uslovima okoline – reda veličine do 20 sekundi). U slučaju rada motora različite namene negativne posledice sniženih temperatura

okoline ogledaju se u povećanoj struji potrošnje (pri startu motora), zaleđivanju slabo zaptivenih rotirajućih elemenata (ležaja i sl.) i pregorevanju namotaja motora zbog blokade rotora.

Negativni uticaj sniženih temperatura okoline na elektromehaničke komponente ogleda se u njihovom nepouzdanom radu (taster-prekidači, prekidači i potenciometri otkazuju, indikacija pregrevanja motora lažno signalizira). U većini slučajeva to je posledica slabog zaptivanja komponenti (ili nisu zaptivene ili su zaptivne gumice izgubile elastičnost) i zamrzavanja prodrle kondenzovane vlage.

Na električnoj instalaciji na sniženoj temperaturi okoline (do  $-30^{\circ}\text{C}$ ) dolazi do pojave neelastičnosti izolacije i plastičnih elemenata (oznaka, držača, stezaljki) koji pri održavanju pucaju. Takođe, na provodnicima se kondenzuje vlaga koja u slučaju oštećenja izolacije smanjuje električnu otpornost izolacije, a može i da signalizira nepostojeće kvarove spajajući signalizator sa masom vozila.

Ispitivanja elektroenergetske instalacije i opreme pokazala su da neadekvatan odabir elemenata i sastavnih delova na niskim temperaturama okoline dovodi do pojave otkaza kao što su start motora, funkcija specijalne opreme i dr., a što se može izbeći pravilnim sagledavanjem problema eksploatacije vozila na niskim temperaturama okoline još u fazi projektovanja vozila.

### *Ispitivanje toplotne ugodnosti radnog prostora*

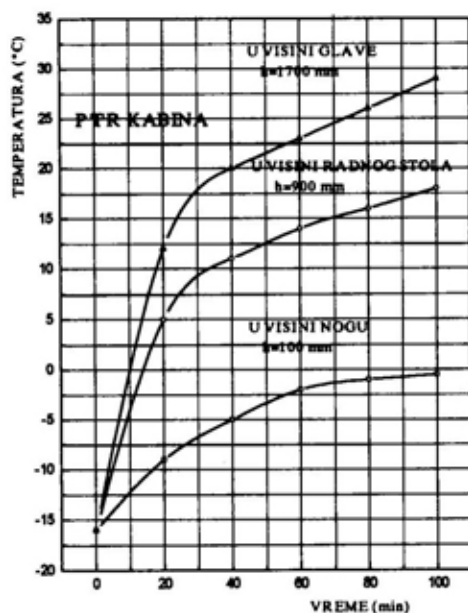
Toplotna ugodnost vozila se u vojsci posmatra kao parametar zaštite i pokretljivosti vozila, a u krajnjem slučaju i kao parametar vatrene moći borbenog vozila,

jer samo potpuno spreman i sposoban vojnik (psihički i fizički) može da ispuni sve borbene zadatke sa vozilom i naoružanjem kojim rukuje. Međutim, sistem za grejanje i ventilaciju konstruktori vojnih vozila dugo nisu razmatrali kao značajan sistem. Smatralo se čak da je samo ugradnjom odgovarajućeg grejača u radne prostore problem obezbeđenja zadovoljavajućih mikroklimatskih uslova u zimskim uslovima upotrebe vozila rešen.

Rezultat takvog pristupa ovom problemu prikazan je na dijagramima slika 3 i 4.

Ispitivanjima koja su sprovedena na velikom broju vojnih vozila ustanovljeno je da mikroklimatski uslovi, kod većine, ne zadovoljavaju ni osnovne parametre toplotne ugodnosti kao što su temperatura komfora,<sup>1</sup> neravnomernost rasporeda temperatura, brzina strujanja vazduha i dr.

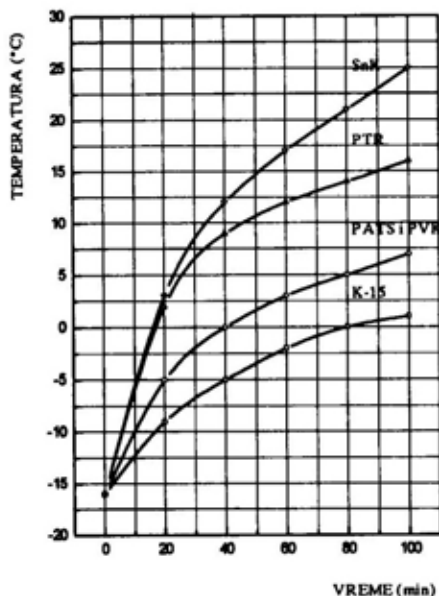
Na dijagramu (slika 3) prikazana je brzina porasta srednje temperature vazduha u radnom prostoru nekih specijalnih nadgradnji na vojnim vozilima. Ispiti-



Sl. 4 - Temperaturna neravnomernost radnog prostora vozila

vanja su vršena na  $t_{ok} = -16^{\circ}\text{C}$ , a prema SNO 0114/87 (kriterijum za ocenu dat u daljem tekstu rada). Iz prikazanih dijagrama vidi se da postoje znatne razlike u brzini porasta srednje temperature. Srednja temperatura kabina K-15, PATS i PVK ne dostiže vrednost temperature komfora ( $+16^{\circ}\text{C}$ ), dok srednja temperatura kabina SnK i PTR dostiže tu vrednost, ali posle prekoračenja potrebnog vremena za efikasan sistem. Pored toga, prisutna je i velika temperaturna neravnomernost po zapremini grejanog prostora kod ovih kabina, koja se kreće i do  $30^{\circ}\text{C}$ , što je prikazano na dijagramu (slika 4).

Do pre par godina ovaj problem je bio izražen kako u civilnoj automobilskoj



Sl. 3 - Brzina porasta srednje temperature vazduha u radnom prostoru

<sup>1</sup> Pod temperaturom komfora podrazumeva se temperatura vazduha radnog prostora na kojoj se osobe koje tu borave osećaju ugodno.

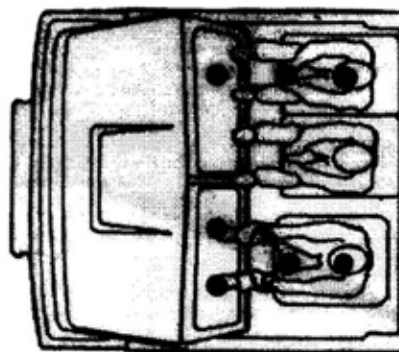
industriji, tako i u građevinarstvu kod kabina radnih mašina, što je potvrđeno i ispitivanjima na vojnim vozilima i mašinama koje su proizvele civilne fabrike (Autokaroserijska, FAP, TAM, Automontaža i dr.). Međutim, u poslednje vreme ovoj oblasti se pridaje znatno više značaja, pa su i ostvareni parametri toplotne ugodnosti znatno poboljšani (kamion IVECO 40.10W, terenski automobil PUCH 290GD6, kopač VOLVO, kamion FAP 2026).

Na dijagramu (slika 5) prikazani su rezultati ispitivanja jednog uspešno izvedenog sistema za grejanje. Sistem je izveden na vozilu PUCH GD6.

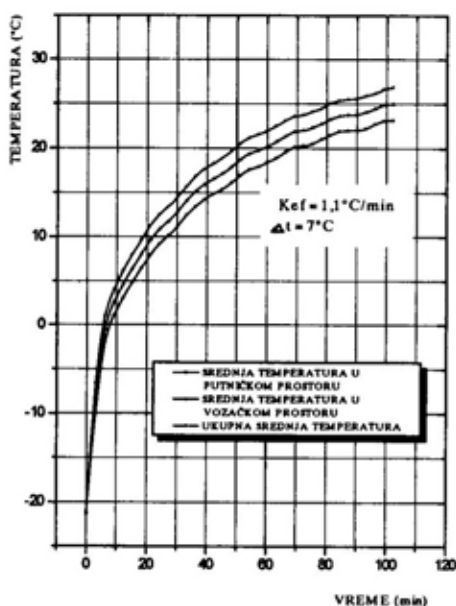
Ipak, nepostojanje odgovarajućih standarda i normi u ovoj oblasti, koji bi obavezivali proizvođače, pa samim tim i

vozilu, dovodi do toga da je i dalje prisutna šarolikost u kvalitetu ostvarene toplotne ugodnosti radnih prostora.

U VJ se ispitivanje toplotne ugodnosti vojnih vozila i vozila sa civilnog tržišta



Sl. 6 – Mesta za merenje temperature u kabini vozila



Sl. 5 – Rezultati ispitivanja sistema za grejanje vozila PUCH GD6

konstruktere motornih vozila da svoje projektovane sisteme za grejanje i ventilaciju potvrde merenjem na izvedenom

sprovodi prema standardu odbrane SNO 0114/87 – Efikasnost grejanja kabine i korisnog prostora vozila. Pod uslovima komfora po ovom standardu podrazumeva se isključivo stanje vazduha izraženo unutrašnjom projektnom temperaturom (temperatura komfora) koja iznosi  $+16^{\circ}\text{C}$ . Ostali parametri koji utiču na komfor, kao što su vlažnost, uticaj hladnih i toplih površina i dr. prema ovoj metodi se ne uzimaju neposredno u obzir.

Sušтина ispitivanja po ovom standardu jeste da se merenje temperature obavlja striktno na onim mestima gde borave ljudi (sedište vozača, suvozača, radna mesta rukovaoca i sl.) i to u visini stopala, kolena i glave, bilo u stojećem ili sedećem položaju (slika 6).

Ono što je posebno karakteristično za ovu metodu, a što neke druge norme ne uzimaju u obzir, jeste da se meri i vreme za koje se ostvari temperatura komfora na svim mernim mestima.

Ispitivanja po ovoj metodi u VJ se sprovode u hladnoj komori na tempera-

turi okoline  $-16^{\circ}\text{C}$ , što je spoljna projektna temperatura prema ovom standardu.

Ocena sistema za grejanje daje se na osnovu koeficijenta efikasnosti koji je definisan izrazom:

$$K_{ef} = \frac{|t_0| + t_{komf}}{\tau_{komf}} [^{\circ}\text{C}/\text{min}]$$

gde je:

$t_0$  – temperatura okoline,

$t_{komf}$  – temperatura komfora,

$\tau_{komf}$  – vreme postizanja temperature komfora.

Koeficijent efikasnosti praktično predstavlja brzinu postizanja temperaturnih uslova komfora u kabini i korisnom prostoru vozila.

Za borbena oklopna vozila mora biti  $K_{ef} \geq 0,5$ , pri čemu neravnomernost rasporeda temperatura  $\Delta t_{max}$  ne sme biti veće od  $10^{\circ}\text{C}$ .

Za vozačke kabine i specijalne nadgradnje vozila mora biti  $K_{ef} \geq 0,7$ , pri čemu  $\Delta t_{max} \leq 10^{\circ}\text{C}$ .

Za vozila čiji radni prostor podleže specijalnim zahtevima za grejanje (npr. sanitetska vozila) mora biti  $K_{ef} \geq 1$ , pri čemu  $\Delta t_{max} \leq 5^{\circ}\text{C}$ .

Standard *SNO 0114/87* propisuje, po mnogim mišljenjima, prilično stroge kriterijume za ocenu kvaliteta, ali njegova

striktna primena kod vozila kojima se vrši opremanje VJ pokazala se opravdanom, jer je znatno poboljšana toplotna ugodnost radnih prostora vozila.

## Zaključak

Upotreba vozila na niskim temperaturama okoline zahteva sistematski pristup ovom problemu od faze projektovanja, razvoja, pa do proizvodnje vozila. Iskustva pokazuju da ove uslove primene vozila najčešće nisu dovoljno sagledali ni proizvođač vozila ni krajnji korisnik.

U svim fazama razvoja vozila neophodno je sprovesti, pored ostalih ispitivanja, i ispitivanje karakteristika vozila pri upotrebi na niskim temperaturama okoline. Donošenje odgovarajućih standarda iz ove oblasti olakšalo bi krajnjem korisniku definisanje zahteva, projektantu sagledavanje svih mogućih problema konstrukcije, a ispitivačkim organizacijama proveru i ocenu ispunjenja zahteva.

### Literatura:

- [1] SNO 0142, Metoda ispitivanja startnih karakteristika motora SUS na niskoj temperaturi okoline.
- [2] SNO 0114, Efikasnost grejanja kabine i korisnog prostora vozila.
- [3] Elaborat o završnom ispitivanju prototipske partije terenskog automobila 0,75 t.

**Zoran Građin,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Dragoljub Đurica,**  
dipl. inž.  
**Radoje Spasojević,**  
dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## MERNE TEHNIKE ZA ODREĐIVANJE MEHANIČKIH GUBITAKA U MOTORIMA SUS\*

UDC: 621.432.018.2.001

### Rezime:

*Smanjenje potrošnje goriva kod motornih vozila je sve aktuelnije, pre svega zbog ekoloških, ali i energetskih i ekonomskih razloga. Izvestan doprinos ovom smanjenju moguć je i kroz smanjenje mehaničkih gubitaka u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. Međutim, ima dosta problema u realnom određivanju mehaničkih gubitaka. U ovom radu analiziraju se određene savremenije merne tehnike za određivanje mehaničkih gubitaka u motorima SUS, čime se ukazuje na veoma složene probleme u ovoj oblasti merenja. Poboljšanje na ovom planu doprineo bi preciznijem definisanju triboloških karakteristika motora SUS.*

*Ključne reči: potrošnja goriva, mehanički gubici, gubici trenja, merne tehnike.*

---

## MEASUREMENT TECHNIQUES FOR IC ENGINE MECHANICAL LOSSES DETERMINATION

### Summary:

*The automobile fuel consumption decrease is of current interest due to ecologic, energetic and economic reasons. Some contributions to this goal are possible using IC engine mechanical losses decrease. There are many problems in real mechanical losses determination. Specific modern measurement techniques for IC engine mechanical losses determination are analysed in this paper. Problems in this measurement field are pointed out. The improvement in this field would contribute to more precise definitions of IC engine tribological characteristics.*

*Key words: fuel consumption, mechanical losses, friction losses, measurement techniques.*

---

### Uvod

Smanjenje potrošnje goriva stalni je trend u razvoju motornih vozila. Samo najrazvijenije zemlje, kao što su SAD i Švedska, imaju propise o ekonomičnosti vozila. U SAD se obuhvata cela flota svakog proizvođača, pri čemu se računa prosečna ekonomičnost za jedno vozilo,

uzimajući u obzir potrošnju u gradskim uslovima kretanja i po auto-putevima. Ovakvim propisom za graničnu potrošnju (iznad koje se plaća porez po geometrijski rastućoj progresiji) stimuliše se proizvodnja malih i ekonomičnih vozila.

Visoka ekonomičnost u potrošnji goriva ne može da se ostvari samo smanjenjem mase, oblikovanjem vozila ili poboljšanjem stepena korisnosti motora. Neizbežno je celovito sagledavanje svih potencijalnih izvora gubitaka, bez obzira

\* Rad je saopšten na savetovanju „Ispitivanje upotrebnog kvaliteta mototehničkih sredstava i ocena generalnog remonta“ 08. 12. 1998. u Beogradu.

na to koliko se činio malim njihov doprinos ekonomičnosti vozila.

Zbog toga sve veći značaj dobija i iznalaženje mogućnosti smanjenja mehaničkih gubitaka u motoru, što opet zahteva razvoj mernih metoda za precizno određivanje mehaničkih gubitaka.

### Metodi za određivanje mehaničkih gubitaka u motoru

Do sada su, uglavnom, bili poznati sledeći metodi za merenje mehaničkih gubitaka:

- indikatorski metod – meri se razlika između indikatorske i efektivne snage;
- metod vučenja – motor se pogoni spoljnim pogonom;
- Morseov metod – naizmenično isključivanje pojedinih cilindara;
- metod Willansovih (Rombergovih) linija – primenjiv samo kod dizel motora;
- kretanje motora po inerciji do zaustavljanja ili zaletanje motora.

Navedeni metodi imaju niz nedostataka koji ne dozvoljavaju kvalitetnu analizu mehaničkih gubitaka u motorima SUS. Dok je kod indikatorskog metoda glavni problem tačno određivanje srednjeg indikatorskog pritiska, dotle je kod metoda vučenja problem u nepostojanju sagorevanja, zbog čega se merenje izvodi pri lokalnim temperaturama i pritislima tarnih površina koji se bitno razlikuju od temperatura i pritiska pri sagorevanju.

Kod Morseovog metoda poteškoće nastaju zbog promene temperature u cilindru u kojem nema sagorevanja i pulsirajućih efekata u usisnom i izduvnom kolektoru. Zbog ovih nedostataka, a radi realne dijagnoze, potrebno je u potpunosti izdvojiti trenje kako bi se otklonila

ova neizvesnost. Metod zahteva kombinaciju tačnog određivanja ukupnog trenja sa mogućnošću da se izdvoje individualni doprinosi tom trenju, ali pod realnim uslovima sagorevanja u motoru.

Kod metoda korišćenog u Shorehamu (V. Britanija) motor je opremljen davačem pritiska koji je posebno kalibrisan i koji se mogao brzo montirati na svaki cilindar, a za dobijanje referentne tačke koristio se marker na vratilu. Metod Douauda i Eyzata [1] korišćen je za određivanje SMT na određenom broju obrtaja. Zbog svega toga bilo je moguće relativno tačno izmeriti srednji indikatorski pritisak i pod uslovima metoda vučenja i pod uslovima sagorevanja. Merenje srednjeg efektivnog pritiska vršeno je pomoću klasičnog dinamometra (kočnice). Srednji pritisak mehaničkih gubitaka ( $p_m$ ) dobija se oduzimanjem efektivnog srednjeg pritiska ( $p_e$ ) i srednjeg pritiska pumpnih gubitaka ( $p_p$ ) od indikatorskog srednjeg pritiska ( $p_i$ ) izmerenog sa pozitivnog dela indikatorskog dijagrama. Pumpni gubici dobijaju se integracijom pumpnog dela indikatorskog dijagrama.

Da bi se video doprinos pojedinih komponenti, gubici koje one stvaraju moraju se izdvojiti iz ukupnih mehaničkih gubitaka, što se postiže upotrebom prikladnih davača obrtnih momenata koji se postavljaju na svakom vratilu, kako je prikazano na slici 1. Signali iz ovih davača, kao i signal iz markera na kolenastom vratilu i davača pritiska u cilindrima šalju se u višekanalnu akvizicijsku jedinicu velike brzine.

Izdvajanje pojedinih gubitaka može da se sumira na sledeći način:

$$p_i = \int p dV$$

$$p_e = \text{meri se dinamometrom}$$

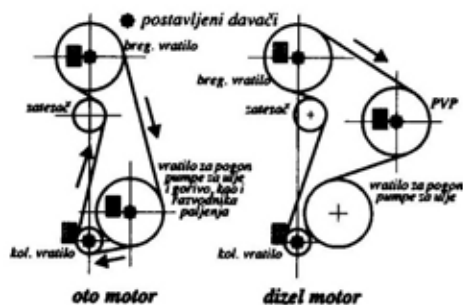
$$p_p = \int p dV$$

$$p_m = p_i - p_e - p_p$$

Vratilo 1:  $p_{m1}$  = meri se davačem momenta 1

Vratilo 2:  $p_{m2}$  = meri se davačem momenta 2

Vratilo 3:  $p_{m3}$  = meri se davačem momenta 3



Sl. 1 - Položaji davača obrtnih momenata

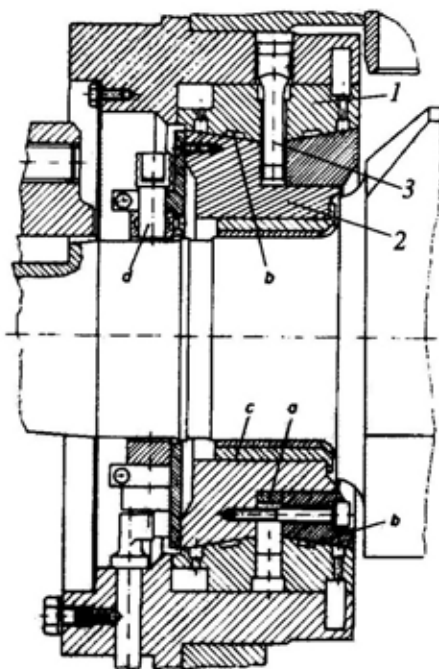
Ostatak:  $p_{m*} = p_{m1} - p_{m2} - p_{m3}$

Koristeći informacije iz gornjih relacija moguće je postići izdvajanje promenljivih komponenti trenja pod uslovima sagorevanja u motoru (a takođe i pri metodu vučenja). Gubici za pogon pomoćnih uređaja variraju sa opterećenjem i u oto i u dizel motorima. Treba imati na umu da upotreba rezultata dobijenih primenom metoda vučenja u sintezi trenja pri uslovima sagorevanja može da dovede do greške.

Informacije sa snimljenih trenutnih frikcionih momenata mogu, takođe, da se koriste za analizu režima trenja u pojedinim oblastima. Na primer, kada je reč o trenju u kliznim ležajevima kolena-stog vratila, pri ustaljenom radu motora, može da se koristi metod sa upotrebom programa za dobijanje putanje kretanja na osnovu hidrodinamičke teorije uljnog filma. Merenje trenja u ovim uslovima treba da potvrdi tu teoriju, a to može da se izvede primenom merne aparature prikazane na slici 2 [2]. Naime, merenje toka momenta trenja u osnovnim ležajevima

vima zahteva razdvajanje kliznog ležaja od kućišta motora. Ovaj zahtev može da se ispuni pomoću hidrostatičkog ležaja koji je prikazan na slici 2. U koničnom dopunskom ležaju (1) po obimu su postavljena 4 džepa (b). Napajanje džepova uljem odvija se pomoću spoljne cirkulacije. Pri obrtanju vratila, zahvaljujući trenju između vratila i kliznog ležaja (c), dolazi do delimičnog obrtanja tog kliznog ležaja, što se preko nosača (2) prenosi na kapacitativni davač za detekciju putanje pomeranja (d). Ovom pomeranju suprotstavlja se savitljiva šipka (3), koja je zahvaćena spolja u jednom žlebu između prstenova, i svojim elastičnim silama drži ovaj sistem u ravnoteži.

Međutim, u motorima ipak nekoliko ležajeva radi u graničnom režimu podma-



Sl. 2 - Hidrostatički dvostruki ležaj za merenje momenta trenja:

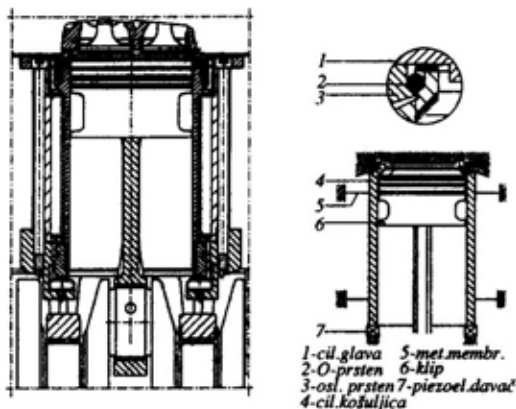
1 - dopunski ležaj, 2 - nosač, 3 - savitljiva šipka, a - odstojni prsten, b - uljni džep, c - klizni ležaj, d - kapacitativni davač za detekciju putanje pomeranja

zivanja, i to bar u delu njihovog životnog veka. Zbog toga je potrebno znati koliko motor radi u ovom režimu i šta mogu da urade modifikatori trenja ili poboljšivači indeksa viskoziteta, pre donošenja ocene o daljoj neupotrebljivosti ležaja.

Klipno-cilindarski sklop dominira u gubicima usled trenja kod većine motora, što dokazuje i Furuhamain rad [1]. Trenje klipa i klipnog prstena veće je nego što klasična teorija može da predvidi a debljina uljnog filma je manja. To ukazuje na to da je potrebno mnogo intenzivnije izučavanje podmazivanja klipa i klipnog prstena.

Furuhamain metod predstavlja korišćenje pokretne cilindarske košuljice koju zadržavaju u mestu opterećeni piezoelektrični prstenovi koji mere vertikalne sile na cilindarskoj košuljici, što znači da se trenje klipa preuzima direktno (slika 3).

Radijalno slobodno kretanje pokretljive cilindarske košuljice u ovom slučaju omogućeno je pomoću dve uležišne specijalne metalne membrane u obliku prstena. Gornja membrana je fiksirana kao nepokretni ležaj cilindarske košuljice u vertikalnom pravcu, dok je donja membrana umetnuta kao podesivi ležaj sa mogućnošću uvijanja za  $90^\circ$  [3].



Sl. 3 – Merni cilindar i principijelna šema merne opreme

Zaptivanje prostora sagorevanja u ovom slučaju sprovedeno je po principu metoda gasnog balansa. Za merenje sile upotrebljavaju se dva kvarcna piezo-davača, postavljena na spojno telo ispod cilindarske košuljice, u vertikalni iznad glavnih ležajeva kolenastog vratila. Kalibrisanje ovog mernog sistema je dinamičko, pomoću mehaničkog pulzatora, u opsegu broja obrtaja eksperimentalnog motora.

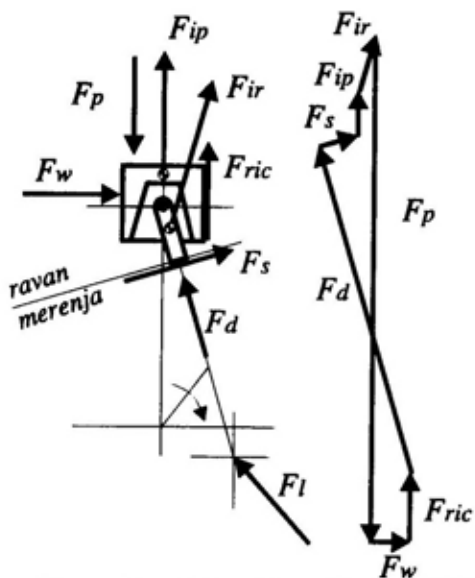
Furuhamain metod predstavlja elegantnu i informacionu tehniku, ali zahteva da cilindarska košuljica bude izolovana od glavnih udara u motoru, tako da je ovaj metod teže upotrebljiv za motore koji imaju blok cilindra iz jednog dela i ima tendenciju da se primenjuje uglavnom za klipove i cilindre koji imaju pravilan geometrijski oblik cilindra.

Naime, poznato je da distorzija cilindra postoji u određenom stepenu kod svih motora, ali uticaj ove distorzije na trenje i potrošnju goriva nije potpuno poznat. U tu svrhu rađena su ispitivanja koja su izvedena pomoću relativno jednostavnog sistema deformacije cilindra, koja zavisi od uvijenosti dizalica primenjenih za postizanje poznatih deformacija na cilindarskoj košuljici. U realnim slučajevima deformacija cilindra često je kombinacija smanjenja naprezanja posle izrade, montažnog naprezanja i termičkog opterećenja, tako da dobijanje realnijih rezultata zahteva radikalnu modifikaciju Furuhamainog metoda.

Veliki naponi učinjeni su za razvoj „direktnog“ metoda za merenje trenja klipne grupe (slika 4). Ovaj metod može da se koristi pod uslovima sagorevanja u motoru i pod velikim brojem obrtaja. U tom slučaju cilindarska glava je opremljena davačem pritiska u cilindru, klipnjača je opremljena davačem naprezanja



za merenje direktnih i smicajnih sila, pri čemu se signali prenose kroz žicu koju nosi njihajući mehanizam. Pritisak u karteru meri se pomoću davača pritiska od-



$F_p$  - sila usled razlike pritiska duž klipa

$F_{ip}$  - sila inercije vsled ubrzanja klipa

$F_{ir}$  - sila inercije usled ubrzanja dela klipnjače iznad ravni merenja

$F_w$  - normalna sila na klip

$F_{ric}$  - sila trenja na klip

$F_s$  - sila u ravni merenja

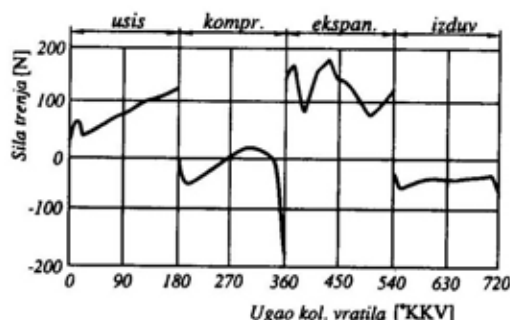
$F_d$  - sila duž klipnjače (normalna na ravan merenja)

$F_l$  - sila od veze sa kolenastim vretalom

Sl. 4 - Sile koje deluju na klip

govarajućeg mernog područja. Senzori, koji su postavljeni uz klip, služe za detekciju SMT i UMT, a optički marker na kolenastom vratilu postavlja se radi dobijanja referentnog ugla kolenastog vratila. Svi signali slivaju se u akvizicijski sistem podataka velike brzine, a podaci se uzimaju u intervalima od 0,5 stepeni ugla kolenastog vratila. Sirovi podaci ulaze u računar koji je povezan u merni lanac zbog unakrsnog kalibrisanja i dovođenja na srednju vrednost radi poboljšanja tačnosti i smanjenja uticaja šumova.

Kod ovog metoda se pritisak gasova u cilindru koji deluju na klip meri direktno pomoću davača pritiska u cilindru, a sile na klipnjači pomoću davača deformacije na klipnjači (svode se sile na pravac ose cilindra). Inercijalne sile na klip, osovinici i odgovarajućem delu klipnjače određuju se računskim putem (i svode se na pravac ose cilindra). Razlika između sile gasova i ostalih sila duž ose cilindra je trenje klipa. Slika 4 pokazuje relevantne sile i njihove pravce. Uras i Patterson [1] koristili su ovaj metod na jednocilindričnom oto motoru i uspeali su da izdvoje promene režima podmazivanja u različitim taktovima i da detektuju razliku između trenja klipa bez sagorevanja i sa sagorevanjem. Slika 5 prikazuje rezultate merenja, dobijene pod uslovima sagorevanja. I ovde se može govoriti o tačnosti tehnike merenja, posebno pri velikim brzinama, kada inercione sile postaju dominantne. Ispitivanja amplituda sila bila su veoma komplikovana, tako da se nije u potpunosti moglo ući u trag mogućim izvorima greške.



Sl. 5 - Direktno merenje sile trenja klipne grupe

Mala je razlika između razložene sile na klipnjači i sile pritiska. To je zbog činjenice da je položaj maksimuma sile trenja 0,5% od položaja maksimuma sile pritiska, a da se rezultujuća sila dobija

kao razlika sile pritiska i sile na klipnjači. Postoji i jasna oblast greške davača, pogotovo u impulsnoj osetljivosti i linearnosti pri merenju pritiska u cilindru. Toplotni izlazni ekvivalent od samo 0,1 bar iz davača pritiska dovodi do srednje potencijalne greške od oko 10% u računanju trenja klipne grupe (srednjeg pritiska trenja). Sem greške davača potencijalni izvori netačnosti su i tehnike koje su korišćene u računanju inercijalnih sila i održavanje vremenske baze.

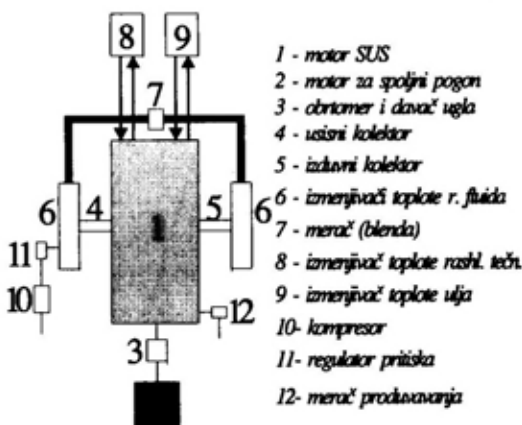
Ako se ovaj sistem koristi pod uslovima vučenja, i bez kompresije, dobijaju se izuzetno dobri rezultati, dajući podatke za dovoljno razlikovanje ciklusa radi omogućavanja detekcije režima podmazivanja, kao i za razlikovanje raznih vrsta ulja po karakteristikama trenja.

Ipak, preovladava mišljenje da ova eksperimentalna tehnika mora da se poboljša, kako bi na osnovu nje moglo da se razume trenje klipne grupe, što se zahteva pri izučavanju konstrukcije i materijala novog klipa i klipnih prstenova, i tačnom sagledavanju ulja u radu, koja modifikuju trenje u ovom veoma važnom delu trenja u motoru.

Originalan metod za određivanje ukupnih mehaničkih gubitaka E. Pasztora [4], sastoji se u tome da se motor pogoni spolja (slika 6), ali su pri tome sva stanja bliska onim u radnim režimima, tako da se eliminiše većina slabosti koje kod drugih metoda dovode do velikih grešaka.

U motoru (1) imitira se radni proces vrlo blizak realnom, tako što motor ima spoljni pogon (2). Usisavanje se vrši iz rezervoara (6), a izduvanje u isti takav rezervoar (6), a oni su spojeni preko merne blende (7) radi održavanja stalne količine radnog fluida u procesu. Za održavanje željenog pritiska u instalaciji,

i za kompenzaciju gubitaka, koristi se mali klipni kompresor (10) i regulator (11). Produvanje kroz karter meri se gasnim satom (12), a sistemi za hlađenje (8) i podmazivanje (9) kontrolisano se drže na traženom termičkom stanju.



Sl. 6 - Šema merne instalacije za određivanje mehaničkih gubitaka po metodi E. Pasztora

Veza sa vrednostima gasnih sila u realnom radnom ciklusu motora uspostavlja se preko radnog pritiska u ovom procesu ( $p_d$ ), koji predstavlja srednju vrednost u procesu kompresije i ekspanzije, što kod motora bez sagorevanja zavisi od stepena kompresije i početne vrednosti pritiska ( $p_0$ ).

Željene vrednosti  $p_d$  mogu direktno da se zadaju. Pošto su gubici trenja funkcije jedino veličine  $p_d$ , a ne više od nepoznatog  $p_i$ , došlo se do načina za merenje otpora u motoru.

Ovim metodom mogu da se ispituju različiti uticaji na mehanički stepen korisnosti motora, kao što su:

- taktost motora,
- odnos najvećeg i najmanjeg pritiska u radnom procesu,
- toplotno stanje motora,
- broj obrtaja motora, tj. srednja brzina klipa,

- snaga, zapremina i konstruktivna koncepcija motora,
- vrsta ulja i aditiva.

## Predviđanja

U bliskoj budućnosti korišćenje metoda konačnih elemenata i graničnih metoda u predviđanju deformacija oblika delova motora moglo bi olakšati:

- bolju dijagnozu radi dobijanja niskofrikcionog motora;
- konstrukciju bloka cilindra koji dozvoljava minimalnu deformaciju.

Izračunavanje gubitaka u ležajevima doprinosi uvođenju realne strukture oko ležaja u proračun, odnosno u model ležaja i podmazivanja, bez pojednostavljenja koja se danas koriste.

Karakteristike trenja mogu se na ovaj način izračunati pre nego što se motor konstruiše, tako da mogu da se definišu kompromisi koji su potrebni u konstruisanju cilindra (na primer, cilindri namenjeni za veoma visoke pritiske ili za veoma velike brojeve obrtaja).

Novi materijali, poput keramičkih, uvode se zbog njihovih triboloških karakteristika ili zbog prednosti u pogledu izolacije.

Proizvođače se motori sa boljim stepenom iskorišćenja (što je delom dobijeno i smanjenjem trenja), sa dužim intervalima servisiranja i boljom celokupnom pouzdanošću (što je delom dobijeno i poboljšanjem uljnih formulacija).

Može se zaključiti, da se izučavanju trenja u motoru mora posvetiti mnogo veća pažnja kroz razvoj analize trenja i mernih tehnika, što povećava mogućnost ostvarenja niskofrikcionih motora.

## Zaključak

Može se očekivati da će uskoro biti doneti propisi o dozvoljenoj potrošnji goriva u svim zemljama sveta. Slično ekološkim normama, propisima će biti obuhvaćena potrošnja goriva novih vozila i vozila tokom duže eksploatacije, što zahteva preispitivanje dosadašnjih metoda optimizacije motora.

Značajni dobici u stepenu korisnosti mogu se postići smanjenjem mehaničkih gubitaka u motorima, što je posebno važno za motore putničkih vozila.

Poboljšanja u trenju motora uglavnom ne moraju da prave kompromise u odnosu na radne cikluse u motoru.

Danas su znatno upotrebljiviji analitički i eksperimentalni alati za postizanje znatnijih smanjenja trenja.

### Literatura:

- [1] Monaghan M.L.: Engine friction - a change in emphasis, The Institution of Mechanical Engineering, BP Tribology Lecture, 1987., pp 14.
- [2] Thiele E.: Ermittlung der reibungsverluste in verbrennungsmotoren, MTZ 43 (6/1982), st. 253-258.
- [3] Halsband M.: Messung und optimierung der reibungsverluste der kolbengruppe - teil I, MTZ 55 (11/1994), st. 664-671.
- [4] Pasztor E.: Hungarian experience with lubricants and additives, Simpozijum „Nauka i motorna vozila“, Beograd, 1995.

**Slobodan Vasilic,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Mr Branko Đedović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Tehnička uprava GŠ VJ,  
Beograd

## **MAKSIMALNI KVALITET KAO MERA OSPOSOBLJENOSTI PREDUZEĆA ZA GENERALNI REMONT BORBENIH VOZILA\***

UDC: 658.562:623.438.004.54

### *Rezime:*

*U ovom radu razmatrani su zahtevi upotrebnog kvaliteta borbenih vozila, sistematizovane specifičnosti i dat njihov interakcijski odnos prema generalnom remontu. Definisani su kriterijumi za izbor preduzeća i funkcija cilja kao potreba ostvarenja maksimalnog kvaliteta generalnog remonta, koji predstavlja meru sposobnosti preduzeća u zadovoljavanju uslova izbora. Sistemskim pristupom, metodom analize i sinteze niza parametara, za odabrane uzorke, kao rezultat iskustava stečenih u petogodišnjem periodu, problemski su izneti elementi i pokazatelji sveobuhvatne realizacije zadatka. Na osnovu teorijskih razmatranja i empirijskih analiza izvedeni su zaključci o postupku obezbeđenja maksimalnog kvaliteta generalnog remonta borbenih mototehničkih sredstava i njihovih vitalnih podsistema.*

*Ključne reči: borbena vozila, maksimalni kvalitet, generalni remont.*

---

## **MAXIMUM QUALITY AS A PARAMETER OF FACTORY COMPETENCE FOR GENERAL OVERHAUL OF COMBAT VEHICLES**

### *Summary:*

*Requirements for service quality of combat vehicles are given first together with the systematization of particularities and their relation with general overhaul. Criteria for the choice of factories are defined as well as the goal function necessary for the realization of general overhaul maximum quality. Elements and indicators of the task allinclusive realization are presented in a problem form by the system approach, the methods of analysis and synthesis of parameters for chosen samples as a result of five-year experience. Based on theory and empirical analyses conclusions are given about the procedure for obtaining general overhaul of maximum quality for combat vehicle systems and their vital subsystems.*

*Key words: combat vehicles, maximum quality, general overhaul.*

---

### **Uvod**

Raznovrsnost modela, složenost konstrukcije i nove tehnologije borbenih mototehničkih sredstava, kao i nedostatak kapaciteta za održavanje u VJ, namet-

nuli su potrebu preraspodele remonta i izbor novih preduzeća, privrednog potencijala izvan VJ, za održavanje na nivou generalnog remonta. Da bi ova preduzeća uspešno izvršila zadatak, neophodno je da prođu postupak osposobljavanja, kojim se preduzeće upoznaje sa konstrukcijom sredstva, tehnologijom remonta i zahtevima za kvalitet, pouzdanost i efek-

\* Rad je saopšten na savetovanju „Ispitivanje upotrebnog kvaliteta mototehničkih sredstava i ocena generalnog remonta“, 08. 12. 1998. u Beogradu.

tivnost koji se definišu za sredstva NVO VJ. Na taj način VJ razvija nove kadrovske, prostorne i materijalne kapacitete za održavanje borbenih mototehničkih sredstava u miru i ratu. Od uspešnosti sprovođenja osposobljavanja u najvećoj meri zavisi mogućnost preduzeća da savlada probleme serijskog remonta i održi kontinualnost verifikovanog nivoa kvaliteta i neprekidnost procesa.

### Upotrebnii kvalitet borbenih mototehničkih sredstava i njegov uticaj na generalni remont

U osnovi održavanja borbenih mototehničkih sredstava jeste zahtev da radna sposobnost sistema, određena parametrima funkcije cilja i procesa promene stanja, u određenim uslovima rada bude održana u što dužem vremenu. Funkciju radne sposobnosti moguće je izraziti kao [2]:

$$F_{rs} = f(\text{uslovi } F_k, x_i, y_j) \quad (1)$$

pri čemu su uslovi:

$F_k$  – funkcija cilja definisana zahtevima donosioca odluka, uslovima okoline i parametrima procesa rada,  
 $x_i$  – ulazne veličine uslovljene kvalitetom okoline i pripreme procesa rada sistema,  
 $y_j$  – ostvarene izlazne veličine sistema.

Ostvarene izlazne veličine mogu se izraziti relacijom [2]:

$$y_j = x_i (T_i, i + 1; t, p) \quad (2)$$

gde su:

$T_i, i + 1$  – transformacione matrice između svih ulaza i izlaza,  
 $t$  – vremenski parametri sadržani u vremenskom ciklusu radova remonta,  
 $p$  – prostorni parametri sadržani u teritorijalnoj lokaciji remontnog kapaciteta.

Dakle, radna sposobnost sredstva – sistema sa  $n$  elemenata može se izraziti kao promenljiva veličina koja je sistematski i slučajno promenljiva u vremenu. Pošto je radna sposobnost sistema višedimenzionalna promenljiva, može se odrediti u okviru odgovarajućih ciljeva, kakvi su, na primer, zahtevi tehnologije remonta u uslovima održavanja.

Osnovna stanja sistema (stanje u radu i stanje u otkazu) određena su promenom parametara funkcije cilja u vremenu. Kada se parametri funkcije cilja nalaze u dozvoljenim granicama određeno je stanje sistema u radu; sistem zadovoljava. Kada se parametri postavljene funkcije cilja nalaze izvan granice dozvoljenih odstupanja stanje sistema ne zadovoljava; sistem je u otkazu. Stanje sistema u otkazu znači da je u sistemu poremećen odnos karakteristika elemenata, tj. da je potrebno sistem vratiti u stanje u radu, tehnologijom definisanim postupcima održavanja.

Meru zadovoljenja postavljenih zahteva, odnosno meru stepena izvršenja zadate funkcije cilja definiše efektivnost sistema. Verovatnoća da će sistem uspešno raditi bez otkaza, prilagođavajući se nametnutim uslovima, u datom vremenu, izražava se relacijom:

$$E(T, t_r) = A(T) R(t_r) F_p \quad (3)$$

gde je:

$A(T)$  – raspoloživost sistema u ukupnom vremenu,

$T$  – vreme koje obuhvata vreme u radu, vreme u otkazu i vreme čekanja,

$R(t_r)$  – pouzdanost sistema u vremenu rada,

$t_r$  – vreme rada sistema,

$F_p$  – funkcionalna podobnost koja predstavlja meru zadovoljenja zahtevanih performansi.

Pod pretpostavkom da efektivnost ne izražava ukupna svojstva tehničkog sistema u smislu ocenjivanja njegovih ukupnih kvaliteta, posmatrajući svojstva kao performanse koje se odnose na njegove određene funkcije, razmatra se upotrebnii kvalitet. Upotrebnii kvalitet se definiše kao ukupni efekat radnih performansi koji određuje stepen zadovoljenja korisnika, a obuhvata osobine sistema vezane za njegov rad, kao i elemente podrške nužne da bi sistem mogao da radi. Korisnik ispostavlja svoje zahteve i time određuje nivo efekata radnih performansi koje razmatrano sredstvo treba da zadovolji.

Zahtevi upotrebnog kvaliteta odnose se na:

- performanse logističke podrške,
- performanse operativnosti,
- performanse upotrebe,
- integritet upotrebe borbenog sredstva.

Najveći značaj za upotrebnii kvalitet borbenih mototehničkih sredstava ima generalni remont kao najsloženiji vid održavanja, koji se izvodi po vremenskom ili eksploatacionom resursu. Pravovremeno, potpuno, tehnički korektno i tehnološki dosledno izvedeni radovi generalnog remonta borbenog mototehničkog sredstva garancija su da će sistem u narednom, međuremontnom, novom resursnom periodu, i po vremenu i po eksploataciji zadovoljiti osnovnu funkciju cilja kao potrebu ostvarenja maksimalnog kvaliteta. Sadržajno definisanom tehnologijom remonta, datom tehničkom remontnom dokumentacijom, regulišu se sve aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja, kao maksimalni skup tehnoloških operacija kojima je moguće svako stanje svakog elementa sistema u otkazu dovesti u stanje u radu, u funkciji upo-

trebnog kvaliteta, odnosno maksimalnog kvaliteta kao funkcije cilja.

Na taj način borbena mototehnička sredstva vraćaju se na početni nivo raspoloživih resursa, u granicama zahtevanih taktičko-tehničkih karakteristika. Naime, upotrebnii kvalitet borbenih mototehničkih sredstava direktno je uslovljen povremenim, sadržajnim i kvalitetno izvedenim aktivnostima održavanja na nivou generalnog remonta. Takođe, uspešnost izvođenja generalnog remonta je uzročno-posledično uslovljena pravilnošću upotrebe sredstva, čime se sprečava da sistem kao celina ili njegovi sastavni elementi ne dođu u stanje u otkazu kao nepopravljivi sklopovi.

### **Izbor preduzeća za izvođača generalnog remonta**

Procesu osposobljavanja preduzeća za izvođača generalnog remonta sredstva prethodi postupak izbora i donošenja odluke nadležnog stručnog tela VJ.

Pred izvođača – nosioca tehnologije radova generalnog remonta borbenog mototehničkog sredstva postavljaju se strogi interni i eksterni zahtevi, kao potrebni, ali ne i dovoljni uslovi koji su rezultat specifičnosti konstrukcije sredstva, tehnologije radova remonta i potrebe za visokom pouzdanošću, efektivnošću i operativnom gotovošću, zahteva inherentnih ovoj grupi vojnotehničkih sistema.

U osnovi procene analize i sinteze uslova rada preduzeća nalazi se zahtev korisnika za maksimalni kvalitet radova generalnog remonta:

$$\max (F_k) = \max (Q)$$

gde funkcija cilja ( $F_k$ ) može biti izražena u vidu:

– optimalne tačnosti tehnoloških operacija

$$\max (F_k) = \text{opt} (T_a)$$

– maksimalnog stepena iskorišćenja kadra, prostora i opreme

$$\max (F_k) = \max (n),$$

– minimalnog trajanja tehnološki definisanog ciklusa rada

$$\min (F_k) = \min (T_c),$$

gde je:

Q – kvalitet radova,

T<sub>a</sub> – tačnost tehnoloških operacija,

n – stepen iskorišćenja kadra,

T<sub>c</sub> – minimalno trajanje tehnološki definisanog ciklusa.

U opštem slučaju, odluku o izboru preduzeća, kao funkciju cilja, moguće je izraziti u vidu:

$$F_k = f(Z, U, P); t, p \quad (4)$$

gde je:

Z – zahtevi poručioca radova, donosioca odluke,

U – uslovi okoline, interni i eksterni uslovi preduzeća za udovoljenje definisanoj tehnologiji radova,

P – parametri procesa rada sadržani u tehnološkoj dokumentaciji.

Zahtevi poručioca radova treba da odgovore na pitanje za koju namenu proizvodni kapacitet treba da bude osposobljen. Uslovi okoline omogućavaju dobijanje podloga o zahtevima u kojima će se izvođač osposobljavati. Time je proces donošenja odluke o izboru preduzeća problem usaglašavanja različitih uslova.

## **Strateška dokumenta projektovana u fazi osposobljavanja preduzeća za generalni remont**

Konačno donošenje odluke o izboru preduzeća i njegovo osposobljavanje za radove generalnog remonta karakteriše, na osnovu regulative VJ, projektom razvoja predviđena izrada operativnih dokumenata, kojima se sveobuhvatno, seriozno i celovito sagledavaju svi relevantni činioci izbora i osposobljavanja preduzeća. Polazni dokument je *Program realizacije osposobljavanja preduzeća sa elementima tehnno-ekonomske analize*.

Program realizacije (PR) jeste osnovni dokument za programiranje osposobljavanja preduzeća izvođača radova remonta. Nosilac izrade PR je Tehnička uprava GŠ VJ, u saradnji sa preduzećem.

*Program realizacije* obuhvata:

– definisanje detaljnih organizaciono-formacijskih rešenja,

– definisanje prostornih kapaciteta,

– definisanje kadrovskih (upravnih, proizvodnih i kontrolnih) kapaciteta,

– analizu tehničko-tehnološke opremljenosti opštim i specijalnim alatima, opremom i priborom,

– sagledavanje dosadašnjih rezultata u poslovanju preduzeća, referenci u realizaciji sličnih zadataka i dostignutog nivoa razvoja preduzeća,

– utvrđivanje željenog obima tehnologije radova i konačnog koncepta održavanja,

– propisivanje zahteva o izradi, doradi i prilagođavanju tehničke dokumentacije,

– procenu dodatne specijalističke obuke kadra,

– procenu dodatnog prostornog uređenja proizvodnih pogona,

- procenu dodatnog opremanja opremom, alatima i uređajima,
- procenu svih troškova po osnovu osposobljavanja,
- sagledavanje teritorijalne lokacije preduzeća i uslova okoline na teritoriji,
- sagledavanje vremena trajanja osposobljavanja.

*Program realizacije* treba da omogućiti:

- \* poručiocu radova – korisniku sredstava
- donošenje odluke o izboru preduzeća za osposobljavanje za radove generalnog remonta sredstva;

\* preduzeću – izvođaču generalnog remonta

- pravilno shvatanje zahteva korisnika,

- formulisanje što realnije kalkulacije ukupnih troškova osposobljavanja;

\* institucijama koje prate i ispituju kvalitet remonta

- izradu Plana učešća kontrole kvaliteta,

- izradu Plana i programa završnih verifikacionih ispitivanja.

Odluku o prihvatanju PR i izboru preduzeća donosi nadležno stručno telo VJ – Savet tehničke službe. Istovremeno, može se razmatrati učešće više preduzeća u izboru po zadatku, i istovremeno raditi više PR. Programi se rade prema jedinstvenom pristupu i moraju dati potpune odgovore po napred definisanim pitanjima.

Nakon donete odluke o izboru preduzeća, proces osposobljavanja se odvija ugovaranjem međusobnih obaveza poručioca i izvođača remonta, prema sledećim aktivnostima:

- dodela raspoložive tehničke dokumentacije,
- dodatna obuka kadra,

- opremanje specijalnom opremom i alatima,

- proučavanje, dorada i prilagođavanje tehničke remontne dokumentacije,

- remont probne partije,

- remont nulte serije,

- verifikacija kvaliteta remonta i završna ispitivanja uz učešće nadležnih ustanova VJ (TRZ, TOC, VTI, VKK).

- praćenje kvaliteta tokom serijskog generalnog remonta.

Verifikaciju kvaliteta remonta probne partije i nulte serije izvodi TRZ Čačak i TOC, na osnovu *Plana i programa verifikacionih ispitivanja* usaglašenog sa izvršiocem radova. Remont probne partije i nulte serije prati i ocenjuje VKK NVO. Nakon uspešno izvedenog remonta i pozitivnih ocena svih učesnika procesa osposobljavanja (poručioca, TRZ, VKK NVO, TOC) Savet tehničke službe donosi *odluku* a načelnik Tehničke uprave *rešenje* o osposobljenosti preduzeća za serijski generalni remont predmetnih mototehničkih sredstava.

### **Sistemska analiza nekih iskustava u osposobljavanju preduzeća**

U periodu od 1992. do 1997. godine za održavanje na nivou generalnog remonta borbenih mototehničkih sredstava, prema navedenom postupku osposobljavana su, kao finalisti remonta, tri preduzeća sa više svojih kooperanata.

Pregled ključnih parametara procesa osposobljavanja prikazan je u tabeli.

Podaci iz tabele ukazuju na složenost procesa i postupaka osposobljavanja preduzeća za održavanje borbenih mototehničkih sredstava na nivou generalnog remonta. U procesu osposobljavanja bile su uključene, neposredno ili posredno, sve tehničke strukture VJ, kako bi se



Red. br.	Parametri osposobljavanja	Preduzeće		
		A	B	C
1	2	3	4	5
1.	Period osposobljavanja	1992-1994.	1992-1994.	1995-1997.
2.	Broj b/v remontovanih u PP	1	1	1
3.	Broj b/v remontovanih u nultoj seriji	2	9	2
4.	Razvijeni kapaciteti za serijski GR	30	30	7
5.	Verifikacija kvaliteta	VKK, TOC	TRZ	VKK, TRZ
6.	Kontrola kvaliteta u serijskom GR	VKK	VKK	VKK
7.	Opremanje alatima (pozicija/dinara)	30/247 000,00	111/425 000,00	112/273 000,00
8.	Obučeno radnika	50	50	15
9.	Obuka radnika (NČ)	200	1 500	1 600
10.	Remontovano b/v u seriji	173	39	-
11.	Broj reklamacija u seriji	8	13	-
12.	Ukupni troškovi osposobljavanja (din.)	850 000,00	3 200 000,00	1 260 000,00

obezbedio maksimalni kvalitet radova remonta borbenih mototehničkih sredstava. Procesi osposobljavanja izvodili su se u nepovoljnim okolnostima i brojnim ograničenjima koja su se ogledala u nedostatku proizvodnih kadrova adekvatne specijalnosti, finansijskih sredstava za izradu i nabavku specijalnih alata i opreme, rezervnih delova, kao i u problemima poslovnih odnosa finaliste i kooperanata. Nakon završenog procesa osposobljavanja isti problemi nastavili su da prate ovaj oblik održavanja borbenih mototehničkih sredstava, dok su se pojedini elementi pogoršali. U nekim preduzećima došlo je do odlaska osposobljenog rukovodećeg i proizvodnog kadra, što je stvorilo nove dodatne probleme u ponovnom osposobljavanju. Ipak, velikom upornošću i zalaganjem svih učesnika ovog zadatka serijski remont se i dalje odvija u sva tri osposobljena preduzeća, iako sa nešto manjim fizičkim obimom od planiranog serijskog remonta.

### Perspektive osposobljenosti preduzeća i ukupnog kvaliteta remonta

Verifikacija osposobljenosti preduzeća za radove GR, samo je potreban uslov, ali ne i potpuna garancija za maksimalni kvalitet remonta borbenih mototehničkih sredstava u serijskom remontu.

Brojna ograničenja u kojima se odvija serijski remont: fluktuacija stručnog kadra, nedostatak kvalitetnih rezervnih delova, nemogućnost potpunog sprovođenja tehnoloških procesa, nemogućnost nabavke repromaterijala propisanih tehničkom dokumentacijom, ostavljaju stalno prisutnu mogućnost degradacije parametara kvaliteta remonta i karakteristika efektivnosti sredstava remontovanih u seriji. Dakle, nameće se potreba da poručilac ili njegovi organi neprekidno nadziru doslednost primene TRD, sprovođenje tehnoloških postupaka i verifikovanog kvaliteta rezervnih

delova i repromaterijala koji se ugrađuju. Da bi se maksimalni kvalitet obezbedio u serijskom remontu, sistemsko rešenje definisanog problema je odluka poručioca radova da se organi VKK NVO neprekidno angažuju u preduzećima na praćenju kvaliteta remonta.

Pravila sistemskog i dokumentovanog obezbeđenja kvaliteta u seriji definišu se ugovornim obavezama poručioca i izvođača:

1. Preduzeće preuzima potpunu odgovornost za kvalitet radova remonta i obavezuje se da će remontovana sredstva NVO, kako od strane izvršioca, tako od strane njegovih kooperanata, za sve sklopove sredstava i za upotrebljene materijale odgovarati kvalitetu koji je specificiran u tehničkoj dokumentaciji;

2. Preduzeće se obavezuje da će se u remontu u svemu pridržavati regulative VJ koja definiše ovu oblast, uključujući SNO 9000/97. Nadzor nad primenom navedenih propisa obavlja VKK NVO;

3. Preduzeće se obavezuje da se pridržava sa VKK usaglašenog Plana kontrole;

4. Preduzeće se obavezuje da će obezbediti i održavati u ispravnom stanju mernu opremu koja se koristi u procesu remonta.

5. Preduzeće se obavezuje da će njegova služba kvaliteta vršiti 100% kontrolu kvaliteta, uključujući se u sve faze rada: ugovaranje, nabavku r/d i materijala, defektaciju, regeneraciju izgrađenih delova, opravku sklopova podsistema i sistema, ispitivanje, održavanje proizvodne opreme, izradu alata i pribora.

6. Preduzeće se obavezuje da sprovedi kontrolu kvaliteta od ulaza materijala u skladište izvršioca do njegove ugradnje.

7. Preduzeće se obavezuje da će dokumenta koja se odnose na dokaziva-

nje kvaliteta remonta čuvati najmanje do isteka garantnog roka, čime se omogućava i naknadni dokumentovan uvid u kvalitet.

8. Preduzeće se obavezuje da uz propisno formiranu prijemno-tehničku dokumentaciju (PTD) prijavi VKK NVO sredstvo radi završne kontrole kvaliteta.

9. VKK obavlja završnu kontrolu kvaliteta remonta na osnovu važeće regulative u VJ.

10. Preduzeće se obavezuje da će sav neusaglašeni materijal, delove i sklopove ili gotova sredstva vidno označiti, obezbediti od neovlašćene upotrebe i onemogućiti njihovu ugradnju u sredstva NVO. Ovu aktivnost kontroliše VKK.

11. Preduzeće se obavezuje da će sve odredbe ugovora koje se odnose na kvalitet u potpunosti preneti na svoje kooperante i dobavljače.

## Zaključak

Da bi se obezbedio maksimalni kvalitet generalnog remonta borbenih mototehničkih sredstava neophodna je:

– adekvatna, kadrovska, prostorna i materijalna priprema preduzeća za obavljanje remonta borbenih mototehničkih sredstava;

– doslednost u primeni TD, alata, pribora i propisanih tehnoloških postupaka;

– osposobljenost preduzeća za predmetne radove što verifikuje nadležna institucija VJ;

– neprekidna kontrola kvaliteta koju obavljaju izvršioci i VKK.

## Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Beograd, 1993.
- [2] Inženjersko-mašinski priručnik, poglavlje Mašinski sistemi, Beograd, 1987.
- [3] Uputstvo za osvajanje remonta TMS, TU-V, 157.

**Mr Nenad Dodić,**  
dipl. inž.  
Vojnotehnički institut VJ,  
Beograd

## **LASERSKI DALJINOMERI U PROTIVVAZDUŠNOJ ODBRANI**

UDC: 623.418.2:531.715

### *Rezime:*

*U radu su razmatrani različiti tipovi lasera vojne namene, posebno laserski daljinomeri pogodni za primenu u protivvazdušnoj odbrani. Detaljnije je opisan laserski daljinomer tipa Nd-YAG sa Ramanovom ćelijom za povećanje talasne dužine zračenja, koja ga čini bezbednim za oko. Dat je pregled savremenih brzih laserskih daljinomera i predloženi su postupci za poboljšanje merenja daljine.*

*Ključne reči: laserska tehnika, laserski daljinomer, merenje daljine, Ramanova ćelija, protivvazдушna odbrana.*

---

## **LASER RANGEFINDERS IN AIR DEFENSE**

### *Summary:*

*Various types of military lasers are discussed, especially laser rangefinders for air defense applications. The paper gives a more detailed description of Nd-YAG laser rangefinder with Raman cell that increases the wavelength of radiation and makes a laser eye-safe. A review of contemporary highfrequency laser rangefinders is given too. Some procedures to enhance the of range measurement are proposed.*

*Key words: laser techniques, laser rangefinder, range measurement, Raman cell, air defense.*

---

### **Uvod**

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je izvor intenzivnog monohromatskog koherentnog elektromagnetnog zračenja u infracrvenom, vidljivoj ili ultraljubičastom delu spektra. Laserska tehnika je mlada disciplina. Prvi laserski uređaj pojavio se 1960, a prvi laserski daljinomer 1961. godine. Pored mikroprocesora laseri postižu verovatno najbrži razvoj u istoriji tehnike, i danas nalaze primenu u gotovo svim oblastima ljudske delatnosti. Iz mnoštva laserskih uređaja izdvaja se laserski dalji-

nomer, koji ima važnu ulogu u protivvazdušnoj odbrani (PVO), jer omogućava da se precizno izmeri daljina do cilja.

Osnovni delovi laserskog daljinomera su laserski predajnik i laserski prijemnik. Daljina se meri tako što predajnik emituje kratak svetlosni impuls, koji se odbija od cilja. Deo odbijenog laserskog zračenja dospeva u laserski prijemnik, koji ga detektuje. Daljina do cilja se izračunava na osnovu vremenske razlike između trenutaka detekcije i emisije i poznate brzine prostiranja svetlosti.

Kada se, pored daljine, u realnom vremenu mere i uglovi azimuta (pravca)

i elevacije (visine) cilja, moguće je, kroz postupke praćenja cilja i balističkog proračuna, obezbediti veliku verovatnoću pogađanja cilja, čak i nevođenim projektilima. Precizno merenje daljine je uslov za precizno određivanje tačke susreta projektila i cilja [1], što je naročito važno pri gađanju protivavionskim topovima, jer se putanja artiljerijskog projektila ne može korigovati u toku njegovog leta.

Merenje daljine može se obaviti i korišćenjem optičkih uređaja (na primer teodolita) koji se nalaze na dovoljno velikom rastojanju – kroz takozvani postupak triangulacije, ali je ovakvo merenje mnogo nepreciznije nego lasersko merenje daljine. Kada se za merenje koristi nišanski radar, preciznost je bliska onoj koju postiže laserski daljinomer. Teorijski posmatrano, merenje daljine laserom je najpreciznije, zbog male talasne dužine laserskog zračenja.

U odnosu na radar, laserski daljinomer se pri radu teže otkriva (zbog uskog snopa zračenja) i vrlo teško ometa. Osim toga, pri praćenju cilja laser se može povremeno i isključivati, bez značajne degradacije tačnosti praćenja – zahvaljujući zasebnim sensorima za merenje uglova cilja. Na taj način protivniku se otežava da locira sistem PVO. S druge strane, isključivanje radara za praćenje, po pravilu, znači i prekid praćenja cilja. Cena laserskog daljinomera višestruko je manja od cene radarskog sistema.

U poređenju s radarom, laser ima i određene nedostatke: manji mu je domet i osjetljiviji je na atmosferske prilike (vlažnost, oblačnost). Osim toga, zbog uskog snopa zračenja (uslovljenog relativno malom energijom zračenja) laserski snop se mora vrlo precizno usmeriti ka cilju, znatno preciznije nego snop nišanskog radara.

Navedeni nedostaci lasera su manje izraženi pri praćenju bliskih ciljeva. Ako se, uz laserski daljinomer, koristi kamera i postupak obrade slike, automatsko praćenje može se postići i bez upotrebe radara. Ako se koristi termovizijska kamera, omogućeno je praćenje i gađanje ciljeva noću. Može se zaključiti da lasersko merenje daljine ima prednost nad radarskim u sistemima bliske PVO.

### **Tipovi lasera vojne namene**

Postoji veliki broj tipova lasera, zavise od materijala od kojeg su izrađeni (čvrsti, tečni, gasoviti) i načina dovođenja energije (optičko, električno, hemijsko, mehaničko,...). Laseri se razlikuju po tehnologiji izrade, snazi zračenja, stepenu korisnosti, talasnoj dužini, učestalosti impulsa izlazne energije, itd. Laseri koji se najčešće koriste u vojne svrhe mogu se podeliti u tri grupe [2]:

- laseri čvrstog tela,
- gasni laseri,
- poluprovodnički laseri.

#### *Laseri čvrstog tela*

Prvi laserski daljinomeri bili su rubinski i pojavili su se početkom šezdesetih godina. Rubinski laseri zrače crvenu svetlost talasne dužine 0,69 mikrometara. S obzirom na to da je ovakvo zračenje vidljivo i opasno za oko, da su stepen iskorišćenja i učestalost ponavljanja impulsa rubinskih lasera mali, oni nisu naročito pogodni za vojnu primenu.

Sedamdesetih godina pojavljuju se Nd-YAG i Nd staklo-laseri. Konverzija energije u njima obavlja se posredstvom neodima (Nd). Atomi ovog aktivnog elementa utisnuti su u matricu kristala itrijum-aluminijum-silikat ( $Y_3Al_2(SiO_4)_3$ ) ili

u polikristalnu matricu (specijalno staklo). Nd laseri se odlikuju velikom snagom impulsa (do 30 MW, obično 2 do 5 MW, pri čemu je energija impulsa 0,04 do 0,09 J), velikom učestalosti (do 30 Hz) i vrlo dobrim iskorišćenjem energije. Zrače u infracrvenom području – talasna dužina im je 1,06  $\mu\text{m}$ . Snop zračenja ima izuzetno malu divergenciju i male energetske gubitke pri prolasku kroz atmosferu. Sve to ih čini izuzetno pogodnim za vojnu primenu, pa je većina lasera u vojnoj upotrebi upravo tipa Nd-YAG.

Na žalost, zračenje od 1,06  $\mu\text{m}$  je vrlo štetno za oči, jer razara mrežnjaču. Zato se pri vežbovnoj upotrebi ovakvih lasera moraju preduzeti posebne mere opreza: poslužiocci nose naočari sa zaštitnim filterom, laser se ne sme usmeravati ka ljudstvu, itd. Krajem sedamdesetih godina počela je da se koristi takozvana Ramanova ćelija, koja se dodaje Nd-YAG laseru ili umeće u njega, a talasnu dužinu zračenja podiže sa 1,06  $\mu\text{m}$  na 1,54  $\mu\text{m}$ . Ovakvo zračenje je bezopasno za oko, jer se apsorbuje u tečnom delu oka, pre nego što dospe do mrežnjače [3].

U lasere čvrstog tela spadaju i erbijum staklo-laseri, koji su se do sredine sedamdesetih godina retko koristili, zbog vrlo male energetske korisnosti – desetak puta manje nego kod Nd-YAG lasera. Kod ovih lasera aktivni element je erbijum, utisnut u strukturu silikatnog stakla. Kada je sredinom osamdesetih godina silikatno staklo zamenjeno poboljšanim fosfatnim staklom, postignuta je efikasnost bliska onoj koju ima Nd-YAG laser [4]. Prednost erbijum staklo-lasera jeste što zrači na talasnoj dužini 1,54  $\mu\text{m}$ , koja je bezopasna za oko.

Zračenje lasera čvrstog tela kompatibilno je sa vidljivom svetlošću, pa se za usmeravanje laserskog zraka i vidljive

svetlosti može koristiti jednak sklop sočiva, prizmi i ogledala. Ova činjenica pojednostavljuje ugradnju laserskih daljinomera čvrstog tela u nišanske sprave borbenih sredstava.

### *Gasni laseri*

Aktivnu supstancu gasnih lasera čini ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ ). Energija se dovodi električnim putem ili mikrotalasnim zračenjem. Gasni laseri se nazivaju i  $\text{CO}_2$ -laseri, a zrače u infracrvenom području, na talasnoj dužini 10,59  $\mu\text{m}$ , saglasnoj sa termovizijskim kamerama (čiji je opseg zračenja 8 do 12  $\mu\text{m}$ ). Za ove lasere i termovizijske kamere koristi se, dakle, ista optika (germanijumska). Snaga impulsa zračenja obično iznosi do nekoliko megavata, a učestalost impulsa može biti stotinak kiloherca. Zračenje  $\text{CO}_2$ -lasera nije štetno za oči, ali su gubici zračenja pri prolasku kroz atmosferu znatno veći nego kod lasera čvrstog tela, naročito kada ima vlage u vazduhu.

Refleksija zraka  $\text{CO}_2$ -lasera od cilja manja je nego kod lasera čvrstog tela, naročito ako je cilj vlažan, hladan ili pokriven snegom (zbog veće apsorpcije zračenja). Ipak, najvažniji nedostatak ovih lasera je visoka cena – oni su dva do tri puta skuplji od Nd-YAG lasera.

### *Poluprovodnički laseri*

Aktivni materijal poluprovodničkih lasera je kombinacija poluprovodnika (Ga As, In Ga P, itd. [2]). Kroz taj materijal propušta se električna struja velike gustine. Ovi laseri emituju zračenje u opsegu od 0,7 do 0,9  $\mu\text{m}$ , a vršna snaga im je svega nekoliko stotina vati. Ako se tome doda i velika divergencija snopa – oko 20 stepeni (naspram nekoliko stotih

delova stepeni kod Nd-YAG lasera), može se zaključiti da su poluprovodnički laseri slični izvorima nekoherentne svetlosti i da se mogu koristiti samo za merenje jako malih daljina. Postoje nagoveštaji da će se razviti laserske diode sa stabilnijom talasnom dužinom i snagom većom stotinu puta od dosadašnje, što bi povećalo njihovu primenu u vojnoj oblasti, ali ne i za merenje daljine u PVO, gde se zahtevaju mnogo veće snage laserskog zračenja.

### Laserski daljinomer tipa Nd-YAG

Posebna pažnja biće posvećena Nd-YAG laserskom daljinomeru, jer se on, zbog velike efikasnosti i niske cene, najviše koristi, uprkos činjenici da je opasan po ljudsko zdravlje.

Šema generisanja zračenja ovog tipa daljinomera prikazana je na slici 1. Aktivni materijal (Nd-YAG) nalazi se između dva paralelna ogledala. Prostor između njih naziva se laserska šupljina ili laserski rezonator. Dovođenjem optičke energije spolja, atomi Nd u laserskom materijalu, koji ima oblik štapa, dolaze u stanje povišene energije. Izvor optičke energije je zračenje ksenonske bleskalice. Kada dovedena energija dostigne odre-

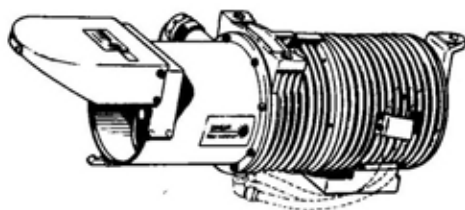
čime se energija zračenja povećava. Jedno ogledalo reflektuje sve zrake (totalna refleksija), a drugo propušta izvestan deo zračenja. Iza ovog ogledala obrazuje se snop paralelnih zraka iste talasne dužine.

Laserski daljinomer treba da emituje zrake u kratkim impulsima (14 do 20 ns), što se može postići zamenu jednog od paralelnih ogledala (slika 1) obrtnom prizmom (Q-prizma). Stimulisano zračenje u tom slučaju se odvija samo u kratkom vremenskom periodu kada je reflektivna površina prizme praktično paralelna sa nepomičnim ogledalom. Kada to nije slučaj, nema višestruke refleksije laserskih zraka, rasipanje energije u laserskoj šupljini je veliko i ne formira se izlazni snop. Laserski daljinomeri za sisteme PVO su repetitivni – mere daljinu 10 do 25 puta u sekundi. Mala divergencija snopa i velika snaga impulsa zračenja ovih daljinomera omogućuju domete merenja daljine koji zadovoljavaju potrebe bliske PVO.



Sl. 1 – Šema rada lasera

đen nivo, atomi počinju da emituju fotone koji se odbijaju od paralelno postavljenih ogledala, ponovo prolaze kroz aktivni materijal i izbijaju iz njega nove fotone,

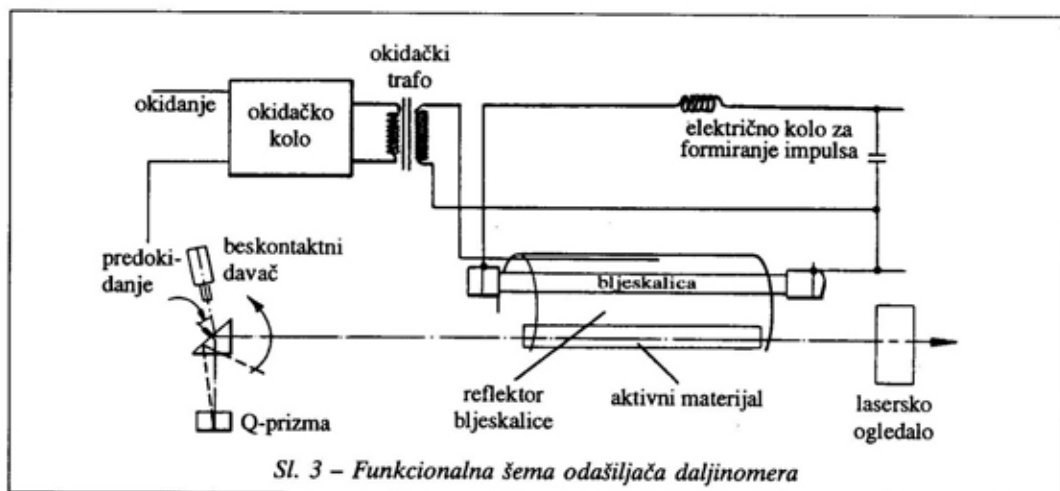


Sl. 2 – Laserski daljinomer UAL 11612

Tipičan Nd-YAG laserski daljinomer za sisteme PVO – ERICSON UAL 11612, prikazan je na slici 2. Funkcionalna šema predajnika ovog daljinomera prikazana je na slici 3. Bleskalica se napaja strujom iz okidačkog kola (koje sadrži kondenzator i tiristor za okidanje), preko okidačkog transformatora, koji diže napon na 15 do 20 kV [5]. Električno kolo za formiranje impulsa (prigušnica i

kondenzator) omogućava da blesak lampe bude pravilan. Okidanje bleskalice sinhronizuje se korišćenjem beskontaktnog davača (pick-up), a samo okidanje

je. Neposredno pre emitovanja zraka daljinomer šalje signal za postavljanje brojača na nulu. Brojač služi za merenje vremena između emitovanja zraka i pri-



Sl. 3 - Funkcionalna šema odašiljača daljinomera

vrši se neposredno pre nego što deflekciona prizma dođe u položaj totalne refleksije. Može se uočiti da se, umesto jedne rotirajuće prizme, koristi jedna rotirajuća i jedna nepomična prizma, čime se dvostruko skraćuje trajanje laserskog impulsa u odnosu na rešenje s jednom prizmom.

Laserski prijemnik – jedinica sa zasebnom optikom, sadrži uskopojasni filter (interferencijski filter) i prijemnu diodu (kod pomenutog daljinomera to je lavinska silicijumska dioda), na koju se fokusira primljeno lasersko zračenje. Dioda detektuje prijem reflektovanog laserskog impulsa. Uloga filtera je da spreči da nelaserska svetlost iz okoline aktivira diodu.

Daljinomerom upravlja računarska jedinica, razmenjujući signale TTL-nivoa (0 do 5 V). Pojedinačno merenje daljine počinje tako što računarska jedinica pošalje daljinomeru signal koji startuje okidačko kolo i otpočinje dovođenje energije

jema reflektovanog zraka. U trenutku emitovanja laserskog zraka daljinomer šalje signal za startovanje brojača, a u trenutku prijema reflektovanog zraka daljinomer šalje signal za zaustavljanje brojača. Ukoliko nema laserskog odraza, brojač se zaustavlja kada dođe do kraja brojnog opsega.

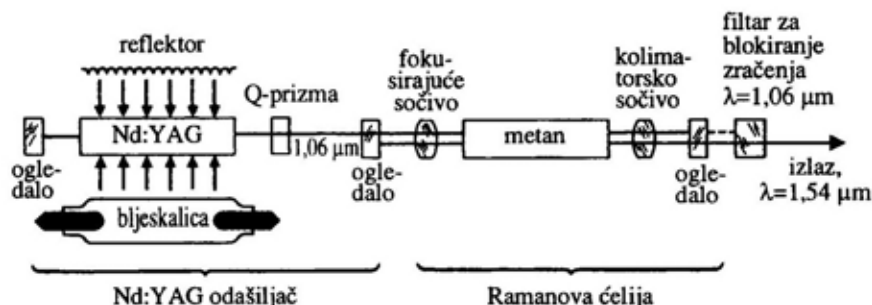
Izmerena daljina predstavlja umnožak sadržaja davača i kvanta daljine. Za kvant daljine 5 m, koji je najčešći kod laserskih daljinomera u PVO, učestalost brojača treba da bude 30 MHz. Savremeniji laserski daljinomeri imaju u sebi brojačku elektroniku i sa računarnom komuniciraju preko serijske veze (RS-422, RS-485 i dr.).

### Laseri Nd-YAG bezbedni za oko

Istaknuto je da zračenje Nd-YAG lasera, talasne dužine  $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ , oštećuje vid, a da laserski zraci od  $1,54 \mu\text{m}$  nisu opasni za oko. Ovaj ozbiljni nedosta-

tak Nd-YAG lasera može se otkloniti, ako se talasna dužina zračenja poveća sa  $1,06 \mu\text{m}$  na  $1,54 \mu\text{m}$ . Ovo pomeranje talasne dužine može se ostvariti korišće-

daljinomera tek krajem sedamdesetih godina. Prvi Nd-YAG laseri poboljšani Ramanovim rezonatorom pojavili su se na tržištu sredinom osamdesetih godina, da



Slika 4 - Funkcionalna šema Nd-YAG lasera sa Ramanovom ćelijom

njem gasa metana pod pritiskom od 30 bara, smeštenog u takozvanu Ramanovu ćeliju, koja se postavlja ispred Nd-YAG lasera ili umeće u samu lasersku šupljinu (slika 4). Talasna dužina laserskog zraka koji izlazi iz odašiljača konvertuje se u veću talasnu dužinu postupkom stimulisanog vibratornog Ramanovog rasejanja [3], u cilindru s metanom. Kao i laserska šupljina, Ramanova ćelija predstavlja optički rezonator. Na izlazu iz ćelije postavlja se još i filter za blokiranje zaostalog zračenja od  $1,06 \mu\text{m}$ , kako bi se obezbedilo da izlazni snop bude sasvim bezopasan za oko.

Umetanjem Ramanovog rezonatora između reflektivnih površina (ogledalo, prizma), odnosno u lasersku šupljinu, pojednostavljuje se i pojeftinjuje konstrukcija lasera, a povećava efikasnost konverzije i kvalitet izlaznog zraka. Ovakvo rešenje je pouzdanije, jer je manje delova koji se podešavaju (rektifikuju), a veći intenzitet zračenja energije.

Stimulisano Ramanovo rasejavanje otkriveno je još 1962. godine, ali je počelo praktično da se koristi za razvoj laserskih

bi u devedesetim on postao standardna opcija za laserske daljinomere.

U tabeli su dati osnovni podaci za više savremenih laserskih daljinomera, namenjenih PVO [6]. Neki od njih prikazani su na slici 5.

### Zahtevi za laserski daljinomer u bliskoj PVO

U sistemima PVO se izmerena daljina cilja, zajedno sa izmerenim uglovima azimuta i elevacije cilja, koristi u postupku praćenja za ocenjivanje (određivanje) vektora brzine i ubrzanja cilja (videti npr. [7]). Na osnovu ovih veličina određuje se tačka susreta projektila i cilja i oruđe usmerava u pravcu koji taj susret obezbeđuje. Da bi se ostvarilo uspešno praćenje i gađanje brzih ciljeva, položaj cilja mora da se meri sa dovoljno velikom tačnošću, učestalošću i pouzdanošću.

Pri projektovanju sistema upravljanja vatrom sa elektro-optičkim nišanskim uređajem, koji se nalazi u sklopu sistema PVO, treba postaviti zahteve za laserski daljinomer čija se ugradnja planira.





Alenia GAQ-4



EI-Op HRLR



Simrad LV350



Elopro LR-40



Litton NT-90



Ericsson Eye-safe



Ericsson UAL 11636



CILAS THS 304-06



GEC-Marconi  
Type 629



Elopro LT-20

*Sl. 5 – Savremeni laserski daljinomeri za sisteme PVO*

Naziv	Zemlja	Talasna dužina (μm)	Masa (kg)	Energija impulsa (J)	Frekvencija (Hz)	Opseg daljina (m)	Divergencija - vidni ugao		Tačnost (m)
							Odašiljač (mrad)	Prijemnik (mrad)	
SIMRAD LV 350	Norveška	1,06	2	-	-	150-9 995	-	8	5
GEC-Marconi 629	Britanija	1,06	6	0,06	10	300-10 000	-	-	2,5
Ericsson UAL 11612	Švedska	1,06	12	0,09	10	450-10 000	2	2	4
Ericsson UAL 11636	Švedska	1,06	10	0,08	do 25	200-20 475	1,5 (3)	3	5
Ericsson Eye-safe	Švedska	1,54	-	-	-	-	-	-	-
El-Op HRLR-ES	Izrael	1,54	14	-	10-20	250-19 995	2	-	5
Eloptro LR-40	Juž. Afrika	1,54	13,3	0,02	12,5 (20)	do 20 400	1,2	1,2	5
Eloptro LT-20	Juž. Afrika	1,06	17	0,08	-	200-65 535	1 (4)	4	1
Cilas THS 304-06	Francuska	1,54	30	-	2-20	300-40 000	-	-	4,5
Zeiss-Eltro CE658	Nemačka	1,54	-	30	12,5	do 40 000	-	3	-
Zeiss-Eltro HELEM II	Nemačka	1,54	2,5	15	20	-	1	-	-
Litton NT-90	SAD	1,06	10	0,09	20	do 20 000	0,5	-	-
Hughes HR	SAD	1,54	-	0,035	15 (20)	-	-	-	-
Alenia GAQ-4	Italija	1,06	11,5	-	20	300-10 235	-	-	6

Osnovni zahtevi za laserski daljinomer, sa stanovišta procesa praćenja cilja i upravljanja vatrom, u ovom slučaju su:

- opseg merenja daljine,
- učestalost merenja daljine (repeticija),
- tačnost merenja daljine.

Pored ovih zahteva, daljinomer treba da zadovolji još niz drugih zahteva, sa stanovišta eksploatacije i održavanja (opseg radnih temperatura, vlažnost, pouzdanost rada,...), što neće biti razmatrano u ovom radu.

Opseg merenja daljine određen je donjom i gornjom granicom merenja daljine. Donja granica uslovljena je činjenicom da lasersko zračenje, reflektovano od čestica iz okolnog vazduha (naročito čestica vode), ima dovoljno energije da aktivira laserski prijemnik (što prouzrokuje pogrešno merenje daljine cilja). Radi toga elektronski snop laserskog daljinomera treba da spreči merenje daljine ispod vrednosti koja se obično kreće od 200 do 300 metara. Ovakva donja granica

merenja daljine je prihvatljiva, s obzirom na to da se cilj vrlo retko i vrlo kratko nalazi na tako malim daljinama.

Gornja granica merenja daljine uslovljena je efikasnim dometom oruđa PVO i vremenom koje treba da protekne od zahvata cilja i prvog merenja daljine do otvaranja vatre. Artiljerijska oruđa PVO obično imaju kalibre do 40 mm i efikasan domet do 4 000 metara. Raketni sistemi bliske PVO obično imaju domet do 10 000 m. Vreme koje je neophodno da postupak praćenja dostigne tačnost potrebnu za gađanje, računajući od prvog merenja daljine, zavisi od tipa praćenja (poluautomatsko, automatsko), načina kretanja cilja, ali i od tipa oruđa i projektila koji se koriste. Može se usvojiti da se ovo vreme kreće od jedne do pet sekundi. Ako se usvoji da je najveća brzina kretanja cilja na malim visinama do 600 m/s, onda on za to vreme može preći najviše 3 000 metara. Za gornju granicu za merenje daljina može se usvojiti zbir dometa oruđa i dužine koju cilj

može preći za vreme od početka merenja daljine do otvaranja vatre. Tako je gornja granica za artiljerijska oruđa bliske PVO 7 000 metara, a za raketna oruđa bliske PVO do 13 000 metara.

Vrednosti opsega merenja daljina koje daju proizvođači lasera (tabela) treba razmatrati s rezervom, jer neke od njih predstavljaju samo tehničku mogućnost, ostvarljivu jedino u izuzetno pogodnim uslovima merenja. Efektivna gornja granica merenja daljine laserskim daljinomerom, za realne ciljeve PVO, ne prelazi desetak kilometara.

Potrebna učestalost merenja daljine zavisi od načina kretanja cilja i postupka njegovog praćenja. Prema Šenonovoj teoremi [8] učestalost merenja treba da bude dvostruko veća od frekventnog spektra promena veličina koje se mere. Proizilazi da ova učestalost treba da bude 20 Hz, u slučaju da je cilj borbeni avion [9].

U slučaju automatskog praćenja cilja korišćenjem TV ili termovizijske kamere poželjno je da učestalost merenja daljine bude 25 Hz, kako bi laser radio sinhronizovano s kamerom. U slučaju poluautomatskog praćenja [10], koje podrazumeva aktivno učešće operatora u celom toku praćenja i obezbeđuje precizno otvaranje vatre protivavionskim topom samo kada se cilj kreće pravolinijski konstantnom brzinom, učestalost merenja daljine od 10 metara sasvim je zadovoljavajuća.

Ispitivanja postupka praćenja i gađanja cilja korišćenjem računarske simulacije [11] pokazuju da tačnost merenja daljine u granicama  $\pm 5$  m obezbeđuje precizno praćenje ciljeva u vazдушnom prostoru i efikasno otvaranje vatre.

### **Predlog postupaka za poboljšanje merenja daljine**

U sistemima bliske PVO sve se više koriste elektro-optički (optoelektronski)

automatski uređaji za praćenje, koji sami detektuju cilj u prostoru i mere njegove uglove u odnosu na stajnu tačku, korišćenjem televizijske ili termovizijske kamere. S obzirom na to da ove kamere, po evropskom standardu, daju sliku cilja svake 0,04 sekunde i da se slika sastoji od dve poluslike, koje su međusobno isprepletane, a koje se generišu svake 0,02 sekunde – merenje uglova cilja i praćenje cilja obično se odvija sa učestalošću od 25 ili 50 Hz. Računarska simulacija pokazuje da praćenje cilja sa učestalošću od 25 Hz obezbeđuje efikasno upravljanje vatrom protivavionskih topova, naročito ako se i merenje daljine obavlja sa istom učestalošću.

Tehnički nije problem napraviti laser koji meri daljinu s učestalošću od 25 Hz, ali je tada, zbog većeg temperaturnog naprezanja, potrebno koristiti kvalitetnije materijale i bolje rešiti hlađenje lasera, što povećava njegovu cenu. Većina savremenih lasera ima maksimalnu dopuštenu učestalost 20 Hz ili manju, pa se zbog toga javlja problem sinhronizacije merenja daljine s merenjem uglova cilja i postupkom praćenja. Predlog rešenja ovog problema izložen je u nastavku.

Neka je  $t$  trenutak u kojem su izmereni uglovi cilja, a  $t_L$  njemu najbliži trenutak u kojem je laserom izmerena daljina –  $y_d(t_L)$ . Izmerena daljina svodi se na trenutak  $t$  na sledeći način:

$$y_d(t) = y_d(t_L) - (t_L - t)v_d(t)$$

gde je  $v_d$  ocena radijalne brzine cilja (brzine promene daljine cilja), dobijena u postupku praćenja, korišćenjem ocena vektora položaja i brzine cilja. Korišćenje vrednosti  $y_d(t)$ , određene prethodnom relacijom, umesto vrednosti  $y_d(t_L)$ , koju daje laserski daljinomer, kompenzuje asinhronost merenja daljine.

Navedena jednačina omogućava i da se daljina koja se meri predviđa i u kratkim periodima kada laserski snop promašuje cilj ili kada dolazi do lažnih merenja (usled refleksije od drugog, bliskog cilja ili objekta, kao i usled greške u radu laserskog prijemnika), što u praksi nisu retke pojave (tipična verovatnoća pojave lažnih merenja je oko 0,5% [5]).

Osim od cilja, u laserski prijemnik gotovo uvek dospeva i deo zračenja koje se odbija od obližnjih čestica atmosfere (na udaljenosti od nekoliko metara do par desetina metara). Zbog toga elektronika u laserskom uređaju treba da blokira slanje signala za zaustavljanje brojača vrlo kratko vreme nakon laserske emisije.

Laserski prijemnik šalje signal kad god prijemnu diodu osvetli laserski zrak. To može biti zrak reflektovan od cilja, nekog drugog objekta ili od atmosfere – naročito kada u njoj ima kapljica vode. Tako se pri jednom poslatom laserskom impulsu može detektovati više od jednog laserskog odraza. Samo jedan odraz može biti od praćenog cilja ili su svi registrovani odrazi lažni.

Da bi se povećala pouzdanost merenja treba sprovesti sledeće aktivnosti:

- ispitati valjanost izmerene daljine,
- očitavati daljine koje odgovaraju većem broju registrovanih laserskih odraza,

kako bi se smanjila verovatnoća da se izgubi merenje, zato što je pravom odrazu prethodio lažni.

Predlaže se sledeći postupak za ispitivanje valjanosti izmerenih daljina. Ispituje se uslov:

$$|y_d - d| < \Delta d_{\text{lim}}, \Delta d_{\text{lim}} > 0,$$

gde je  $d$  ocena daljine u posmatranom trenutku merenja, a  $\Delta d_{\text{lim}}$  dopušteno odstupanje. Ocena daljine dobija se na

osnovu ocene vektora položaja cilja u posmatranom trenutku, a ocena ovog vektora dobija se u postupku praćenja cilja, na osnovu prethodno obavljenih merenja. Smatra se da je  $y_d$  valjano merenje daljine, ako je dati uslov ispunjen. U početnom trenutku, kao i u slučaju da nije izmerena valjana daljina ni jednom na vremenskom intervalu  $(t - \Delta t_{\text{lim}}, t)$ ,  $\Delta d_{\text{lim}}$  uzima maksimalnu vrednost:  $\Delta d_{\text{lim}} = \Delta d_{\text{max}}$ , a zatim eksponencijalno opada:

$$d_{\text{lim}}(t) = \lambda d_{\text{lim}}(t - \Delta t), 0 < \lambda < 1$$

sve do vrednosti  $\Delta d_{\text{lim}} = \Delta d_{\text{min}}$ .  $\Delta d_{\text{lim}}$  je unapred zadato vreme.

Da bi se smanjila mogućnost gubitaka podataka o cilju zbog registrovanja laserskih odraza koji ne potiču od cilja, nakon slanja laserskog impulsa, treba registrovati dva laserska odraza i meriti vreme putovanja laserskog zraka za svaki registrovani odraz. Dakle, treba koristiti dva ili više laserskih brojača i ispitivati validnost podataka o daljini koje daju svi korišćeni brojači.

## Zaključak

Može se zaključiti da je laserski daljinomer najpogodnije sredstvo za merenje daljine cilja u bliskoj PVO. Jedina dobra, iako znatno skuplja alternativa je nišanski radar. On je bolji u lošijim vremenskim uslovima, ali ga protivnik i lakše otkriva, locira i ometa. Od mnoštva različitih tipova lasera, za primenu u bliskoj PVO mogu se preporučiti: Nd-YAG, erbijum-staklo i CO<sub>2</sub>-laseri. Najbolji odnos cene i performansi ima Nd-YAG laser, koji dodavanjem Ramanovog rezonatora postaje bezopasan za oko. Takav laser trenutno predstavlja najbolji izbor.

Pri izboru određenog modela Nd-YAG laserskog daljinomera treba voditi računa da svojim osobinama (tačnost, opseg, učestalost merenja) zadovolji potrebe sistema u koji se ugrađuje. U radu se preporučuju brojčane vrednosti ovih osobina u slučaju upotrebe laserskog daljinomera u sistemima bliske PVO.

Ako je učestalost merenja daljine manja od učestalosti rada uređaja za praćenje (što je najčešći slučaj) podaci koje daje laser moraju se uskladiti sa podacima koje daju ostali senzori. Rešenje za ovaj problem predloženo je u radu.

Takođe, predložen je postupak za ispitivanje valjanosti podataka koje šalje laserski daljinomer. Zbog povremene pojave lažnih podataka predlaže se da se za merenje daljine koriste dva ili tri laserska brojača.

#### Literatura:

- [1] Milinović, M., Dodić, N.: Problem susreta projektila i cilja u sistemu automatskog upravljanja vatrom protivavionskog topa, Vojnotehnički glasnik, br. 5, str. 525-532, 1996.
- [2] Zorgno, M.: The Laser for tactical military applications, Military technology, Vol. 9, № 6, pp. 194-196, 1985.
- [3] Ogorkiewity, R.: Eye-safe neodymium lasers, Int. Defense Review, Vol. 23, № 2, pp. 174-175, 1990.
- [4] Pengelley, R.: OEC's eye-safe laser option, Int. Defense Review, Vol. 23, № 2, p. 176, 1990.
- [5] Laser rangefinder for BOFI UAL 11612 - technical manual, L M Ericson, Molndal, Sweden.
- [6] JANE'S ELECTROOPTIC SYSTEMS 1995-96 (na CD-u).
- [7] Dodić, N.: Praćenje manevrišućih ciljeva preključivanjem Kalmanovih filtera, Vojnotehnički glasnik, br. 2, str. 175-185, 1997.
- [8] Grujić, Lj.: Diskretni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 1980.
- [9] Stojić, R.: Prilog sintezi dinamičkog upravljanja letom aviona - doktorska disertacija, Tehnička vojna akademija, Beograd, 1984.
- [10] Dodić, N.: Poluautomatsko praćenje letelica u sistemu upravljanja vatrom protivavionskog topa, Naučnotehnički pregled, vol. XLIV, br. 7, str. 28-34, 1994.
- [11] Dodić, N.: Istraživanje novih metoda praćenja manevrišućih ciljeva sa primenom na sisteme PVO, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1988 (predato za odbranu).

**Mr Igor S. Simić,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
VP 4522 Batajnica  
**Dr Aleksa J. Zejak,**  
docent, dipl. inž.  
Institut IMTEL, Novi Beograd

## KOMPRESIVNI PRIJEMNIK U SISTEMIMA ZA ELEKTRONSKI RAT

UDC: 623.61:621.396.62

### Rezime:

*Kompresivni ili mikrosken prijemnik u kratkom vremenskom intervalu skenira široki frekvencijski opseg, detektuje frekvencijske komponente signala u njemu i omogućava njihovo dalje procesiranje. Zbog te osobine ovaj tip prijemnika nalazi široku primenu u sistemima za elektronski rat. U ovom članku prikazan je princip rada kompresivnog prijemnika, njegove osnovne karakteristike, ograničenja i primene u različitim vojnim elektronskim sistemima.*

*Ključne reči: kompresivni prijemnik, elektronski rat, čirp transformacija, Furijeova transformacija, čirp signal, čirp filter, Doplerov procesor.*

---

## COMPRESSIVE RECEIVER IN ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS

### Summary:

*Microscan or compressive receiver scans a wide frequency range in a short time interval, detecting the signal components frequency with high resolution and enables its subsequent processing. This property of the receiver makes it extensively applied in electronic warfare systems. In this paper we presented a compressive receiver operation principle, main characteristics, limits and usage in different military electronic systems.*

*Key words: compressive receiver, electronic warfare, chirp transform, Fourier transform, chirp signal, chirp filter, Doppler processor.*

---

### Uvod

Brzo pretraživanje radio-frekvencijskog spektra, detekcija, identifikacija i eksploatacija signala koji se u njemu nalaze imaju izuzetno široku primenu u savremenim sistemima za elektronski rat.<sup>1</sup> Jedan od postupaka za analizu spektra je primena kompresivnih prijemnika. *Kompresivni* (compressive) ili *mikrosken* (microscan) prijemnik u kratkom vremenskom intervalu skenira široki fre-

kvencijski opseg, detektuje frekvencijske komponente signala u njemu i omogućava njihovo dalje procesiranje. Signal na izlazu kompresivnog prijemnika sačinjen je od niza vremenski razdvojenih impulsa. Merenjem vremenske pozicije impulsa određuje se trenutna frekvencija komponenti ulaznog signala, odnosno kompresivni prijemnik obavlja Furijeovu transformaciju ulaznog signala u realnom vremenu.

Pored toga, kompresivni prijemnik je našao širu primenu i u sklopovima za obradu radarskih signala, analizatorima

<sup>1</sup> Engleski: Electronic Warfare - EW.

spektra, presretanju signala sa frekvencijskim skakanjem, sklopovima za određivanje pravca izvora zračenja, i sl.

### Kompresivni prijemnik

Kompresivni prijemnik ili, kako se još u literaturi naziva, mikrosken (microscan) prijemnik, jeste sklop za analognu Furijeovu transformaciju ulaznog signala. Prvi put je razmatran u [1]. Naziv *mikrosken* odnosi se na funkciju prijemnika koji omogućava monitorisanje širokog frekvencijskog opsega (reda nekoliko GHz) u delu mikrosekunde. Pošto je u osnovi principa rada ovog tipa prijemnika kompresija impulsa, kao i da bi se napravila terminološka razlika između kompresionog filtera u radaru i mikrosken prijemnika često se koristi naziv *kompresivni prijemnik*.

Kompresivni prijemnik je, u suštini, širokopojasni prijemnik koji, merenjem vremenske pozicije impulsa na izlazu, određuje trenutne frekvencije komponenti ulaznog signala.

U velikom broju radova [2,3] pokazano je da se Furijeova transformacija može prikazati u formi konvolucije. Množenjem ulaznog signala sa čirp signalom, zatim konvolucijom sa čirpom dobija se Frenelova transformacija. Množenjem ove transformacije sa čirpom dobija se Furijeova transformacija signala. Furijeova transformacija dobijena na taj način zove se i čirp transformacija.<sup>2</sup>

Kompleksna ovojnica linearnog čirpa data je izrazom:

$$\mu(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j\pi kt^2} \text{ za } |t| < \frac{T}{2}, \quad (1)$$

<sup>2</sup> Pošto se kompresija impulsa vrši primenom signala čirpa i čirp prilagođenog filtera, ovakav sistem je u [1] nazvan analizator spektra sa čirp transformacijom.

gde je  $k$  strmina promene trenutne frekvencije.

Impulsni odziv filtera jednak je čirp signalu sa strminom  $k$  suprotnog predznaka. Tada konvolucija

$$S(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{j\pi k(t-\tau)^2} dt, \quad (2)$$

predstavlja Frenelovu transformaciju ulaznog signala  $r(t)$  pomnoženog sa čirp signalom

$$s(t) = r(t) \cdot e^{j\pi kt^2}. \quad (3)$$

Filter koji obavlja konvoluciju ulaznog signala pomnoženog sa čirpom često se naziva *konvolver* ili *čirp filter*, a zbog efekta koji dovodi do kompresije ulaznog signala u uski ulazni impuls koristi se i izraz *kompresioni filter*. Ako se izlaz filtera još jednom pomnoži sa čirp signalom

$$R(\tau) = S(\tau) \cdot e^{j\pi k\tau^2}, \quad (4)$$

dobija se Furijeova transformacija ulaznog signala  $r(t)$ ,

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) \cdot e^{-j(2\pi k\tau)t} dt. \quad (5)$$

Prethodne relacije pokazuju da se spektralna analiza ulaznog signala može ostvariti pomoću čirp transformacije. To znači da se čirp transformacija<sup>3</sup> može smatrati algoritmom za realizaciju Furijeove transformacije u realnom vremenu.

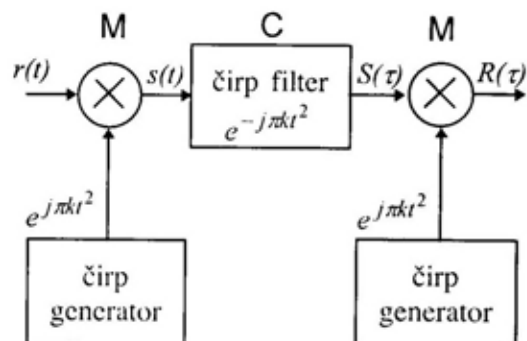
### Tipovi kompresivnih prijemnika

U odnosu na redosled operacija postoje dva osnovna tipa (konfiguracije) kompresivnog prijemnika. Prva se ozna-

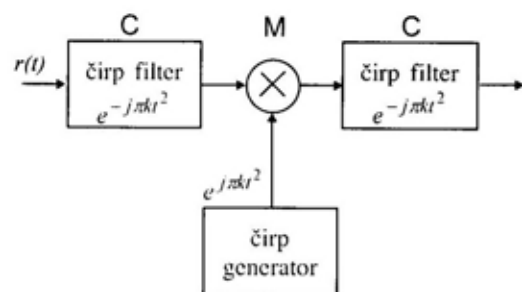
<sup>3</sup> Važno je napomenuti da algoritam kojim se Furijeova transformacija realizuje, „čirp transformacija“, vrši obradu kontinualnih signala. U nekim radovima razmatra se „čirp - z“ transformacija koja podrazumeva obradu odabiraka signala. Čirp transformacija ne uključuje odabiranje pa je treba razlikovati od „čirp - z“ transformacije.

čava sa M-C-M (Multiply-Convolve-Multiply), i prikazana je na slici 1.

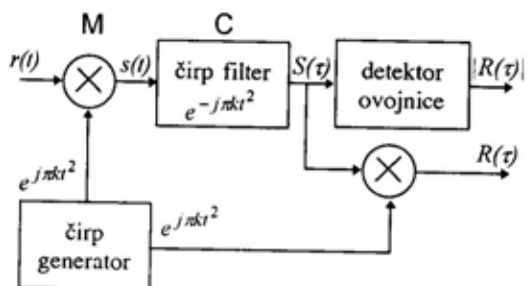
Zamenom operacija konvolucije i množenja mogu se izvesti slične relacije za konfiguraciju kompresivnog prijemnika C-M-C (Convolve-Multiply-Convolve). Na slici 2 prikazana je C-M-C konfiguracija kompresivnog prijemnika.



Sl. 1 – Struktura kompresivnog prijemnika M-C-M tipa



Sl. 2 – Struktura kompresivnog prijemnika C-M-C tipa



Sl. 3 – Varijante M-C-M tipa kompresivnog prijemnika

Frenelova transformacija (2) omogućava da se detektuju frekvencijske komponente signala i da se izmeri njihova frekvencija, što je za najveći broj primena dovoljno. Drugim rečima, kompresivni prijemnik moguće je realizovati sa jednim množačem, konvolverom (M-C) i detektorom ovojnice.

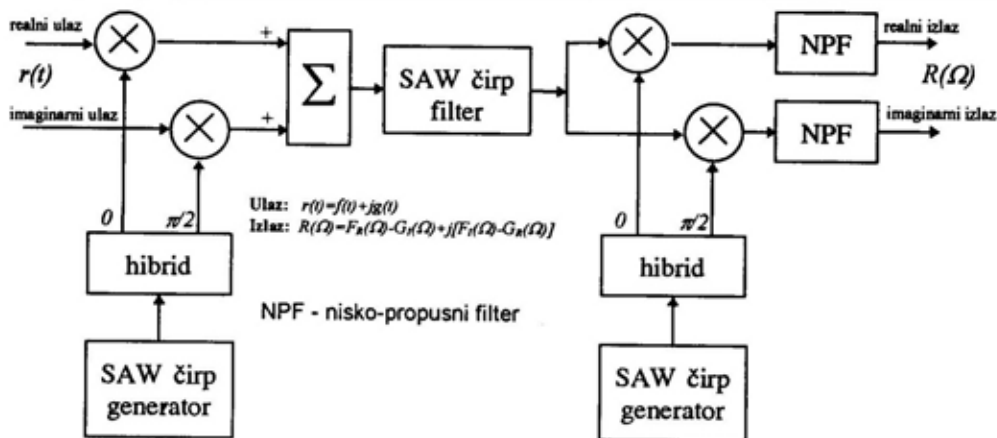
Detekcijom ovojnice gubi se informacija o trenutnoj fazi signala. To znači da je drugo množenje potrebno izvršiti kako bi se zadržala informacija o trenutnoj fazi signala (slika 3). U nekim primenama kompresivnog prijemnika, gde je ova informacija važna, konfiguracija M-C-M i C-M-C koristi se u celini.

Glavni značaj algoritma za čirp transformaciju je u tome što se operacija konvolucije može efikasno izvršiti pomoću SAW (Surface Acoustic Wave) analognog transversalnog (čirp) filtera. Prvobitno projektovane za upotrebu u radarskim sistemima sa kompresijom impulsa, ove komponente su danas komercijalno dostupne, što dozvoljava njihovu široku upotrebu u realizaciji Furijeovih signal procesora. Jedna od mogućih realizacija SAW čirp transformacije, kada su realni i imaginarni deo kompleksnog ulaznog signala odvojeni kanali u osnovnom opsegu, prikazana je na slici 4.

U izrazima od (2) do (5) nije uzeto u obzir da je čirp signal koji se dovodi na prvi množač konačnog trajanja. Impulsni odziv konvolvera konačnog je trajanja koje se, u opštem slučaju, razlikuje od trajanja čirp signala. To je zanemareno kako bi se pokazala suština kompresivnog prijemnika i obrade signala (Furijeova transformacija) koju on obavlja.

Da bi se sagledala sva ograničenja koja ovakav tip procesora realno ima, moraju se razmatrati uticaji vremenskih „prozora“ na odziv kompresionog filtera.





Sl. 4 - Realizacija čirp transformacije pomoću SAW komponenti

Neka je čirp signal prvog množača trajanja  $T_M$ , a impulsni odziv konvolvera trajanja  $T_C$ . Ako je strmina čirpa  $k$ , tada je opseg promene trenutne frekvencije čirpa:

$$B_M = kT_M, \quad (6)$$

a propusni opseg konvolvera:

$$B_C = kT_C. \quad (7)$$

Opšti oblik konvolucije prozorskih funkcija čirpa i čirp filtera zavisi od relativnog trajanja  $T_M$  i  $T_C$ , pa se mogu razlikovati sledeće strukture kompresivnog prijemnika:

- ako je  $T_C > T_M$ , M-C-M struktura se obeležava sa M(s)-C(l)-M (u inostranoj literaturi koristi se naziv „long colvolver“),

- za  $T_M > T_C$ , M-C-M struktura obeležava se sa M(l)-C(s)-M („long multiplier“),

- granični slučaj jeste kada je  $T_M = T_C$ .

Grafička interpretacija konvolucije ovojnice čirp signala i impulsnog odziva

čirp filtera, za sva tri slučaja, prikazana je na slici 5.

Budući da vremenska pozicija impulsa na izlazu kompresivnog prijemnika zavisi od frekvencije na ulazu, može se zaključiti da je ovojnica frekvencijskog odziva kompresivnog prijemnika istog oblika kao i ovojnica vremenskog odziva konvolvera (slika 5 b i c).

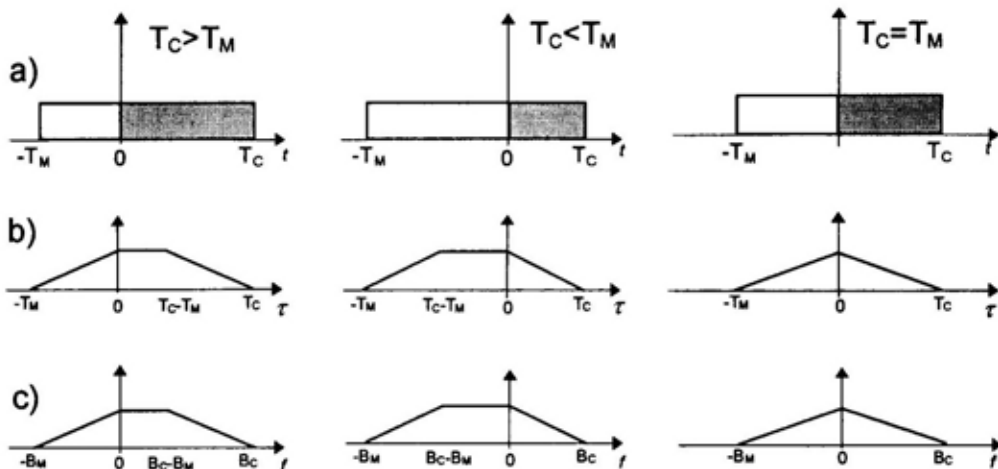
Oblik pojedinačnog impulsa na izlazu konvolvera takođe zavisi od ovojnice čirpa i čirp filtera. Ako se pretpostavi da se čirp signal, dat izrazom (1), može dobiti kada se pomnoži čirp signal definisan na beskonačnom vremenskom intervalu sa prozorskom funkcijom

$\text{rect} \left\{ \frac{t - T_M/2}{T_M} \right\}$  konačnog trajanja  $|t| < T_M \leq T_C$ , a impulsni odziv čirp filtera, dat izrazom

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{T_C}} e^{-j\pi kt^2}, \quad (8)$$

pomnoži sa prozorskom funkcijom

$\text{rect} \left\{ \frac{t - T_C/2}{T_C} \right\}$  trajanja  $|t| < T_C$ , tada je odziv čirp filtera:



Sl. 5 - Grafička interpretacija konvolucije ovojnice čirp signala i impulsnog odziva čirp filtera:  
 a) ovojnice čirp signala i impulsnog odziva čirp filtera  
 b) ovojnice vremenskog odziva kompresivnog prijemnika  
 c) ovojnice frekventijskog odziva kompresivnog prijemnika

$$S(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) \cdot \text{rect} \left\{ \frac{t - T_M/2}{T_M} \right\} \cdot e^{j\pi k \tau^2} \cdot \text{rect} \left\{ \frac{\tau - t + T_C/2}{T_C} \right\} \cdot e^{-j\pi k (\tau - t)^2} dt. \quad (9)$$

Neka je ulazni signal

$$r(t) = e^{j2\pi f t}, \quad (10)$$

gde je  $f$  frekvencija prostoperiodičnog ulaznog signala. Ako se razmatra odziv čirp filtera kod  $M(s)$ - $C(l)$ - $M$  strukture prijemnika u intervalu  $0 \leq \tau \leq T_C - T_M$  amplituda izlaznog signala biće:

$$S(\tau) = e^{-j\pi k \tau^2} \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect} \left\{ \frac{t - T_M}{T_M} \right\} \cdot e^{j2\pi (f + k\tau)t} dt. \quad (11)$$

To znači da pojedinačni impuls na izlazu kompresivnog prijemnika  $M(s)$ - $C(l)$ - $M$  strukture ima oblik Furijeove transformacije ovojnice čirpa prvog mno-

žača. Za pravougaonu prozorsku funkciju  $\text{rect}(t)$ , Furijeova transformacija ima oblik  $\sin(x)/x$  sa nivoom maksimalnih bočnih snopova  $-13.46$  dB. Dinamički opseg prijemnika ograničen je nivoom bočnih snopova, pa se pri rešavanju tog problema primenjuju različiti metodi za njihovo potiskivanje [4].

Kod  $M(s)$ - $C(l)$ - $M$  strukture prijemnika širina frekventijskog opsega  $B_R$  ograničena je razlikom između propusnog opsega čirp filtera  $B_C$  i širinom opsega promene trenutne frekvencije čirpa  $B_M$ ,

$$B_R \leq B_C - B_M. \quad (12)$$

Van tog opsega dolazi do efekata izobličenja odziva kompresivnog prijemnika.

Iz izraza (11) može se videti da širina glavnog snopa odziva zavisi od širine prozorske funkcije, tj. trajanja čirp signala, što znači da je rezolucija kompresivnog prijemnika određena trajanjem čirp signala. Širina spektra izlaznog signala za

M(s)-C(l)-M strukturu jednaka je širini opsega promene trenutne frekvencije čirpa, tako da je rezolucija prijemnika

$$\Delta f = \frac{k}{B_M} = \frac{1}{T_M} \quad (13)$$

Maksimalni broj impulsa koji se mogu detektovati u vremenu trajanja jednog čirpa je

$$N = \frac{B_R}{\Delta f} \quad (14)$$

Kada se razmatra M(l)-C(s)-M struktura kompresivnog prijemnika mora se uzeti u obzir da je širina spektra signala na izlazu ograničena širinom propusnog opsega konvolvera  $B_C$ , a ne širinom  $B_M$ , pa je rezolucija

$$\Delta f = \frac{k}{B_C} = \frac{1}{T_C} \quad (15)$$

Pojedinačni impuls na izlazu kompresivnog prijemnika M(l)-C(s)-M strukture ima oblik Furijeove transformacije ovojnice impulsnog odziva konvolvera.

Širina frekventijskog opsega prijemnika  $B_R$  ograničena je razlikom

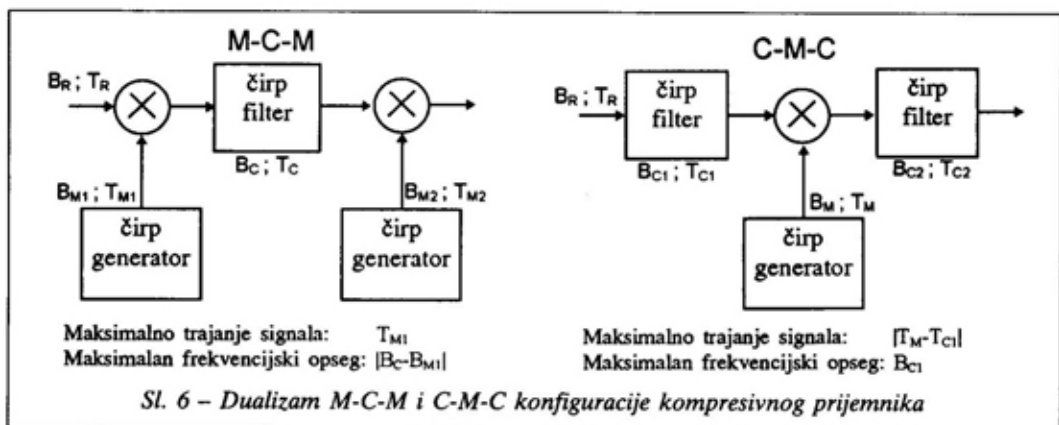
$$B_R \leq B_M - B_C \quad (16)$$

U opštem slučaju može se reći da je frekventijski opseg kompresivnog prijemnika

$$B_R \leq |B_C - B_M| \quad (17)$$

Zamenom operacija množenja i konvolucije u M-C-M konfiguraciji dobijaju se osnovni izrazi koji opisuju kompresivni prijemnik C-M-C (slika 2) konfiguracije. Ulazni signal sada dolazi na konvolver, zatim se množi sa čirp signalom i potom propušta kroz drugi konvolver. Strmina  $k$  množača jednaka je strmini impulsnog odziva konvolvera (čirp filtera), samo ima suprotan predznak. Dualizam operacija konvolucije i množenja u vremenskom i frekventijskom domenu omogućava da se prethodne relacije koriste u analizi funkcionisanja C-M-C konfiguracije. Na slici 6 naznačen je dualizam M-C-M i C-M-C konfiguracije kompresivnog prijemnika.

U hardverskom smislu C-M-C konfiguracija ima prednosti kada se sa datim konvolverima zahteva optimalan frekventijski opseg kompresivnog prijemnika. Za zadate parametre kompresivnog prijemnika, C-M-C konfiguracija omogućava upotrebu komponenti sa manjim TB proizvodom, što se odražava na smanje-



nje unešenog slabljenja (insertion loss), bolji odnos signal-šum, odnosno veći dinamički opseg prijemnika.

Za razliku od M-C-M konfiguracije, gde su za određivanje spektra snage dovoljne dve komponente M-C, C-M-C konfiguracija zahteva sve tri komponente, bez obzira na funkciju procesora, što je, u suštini, njen glavni nedostatak.

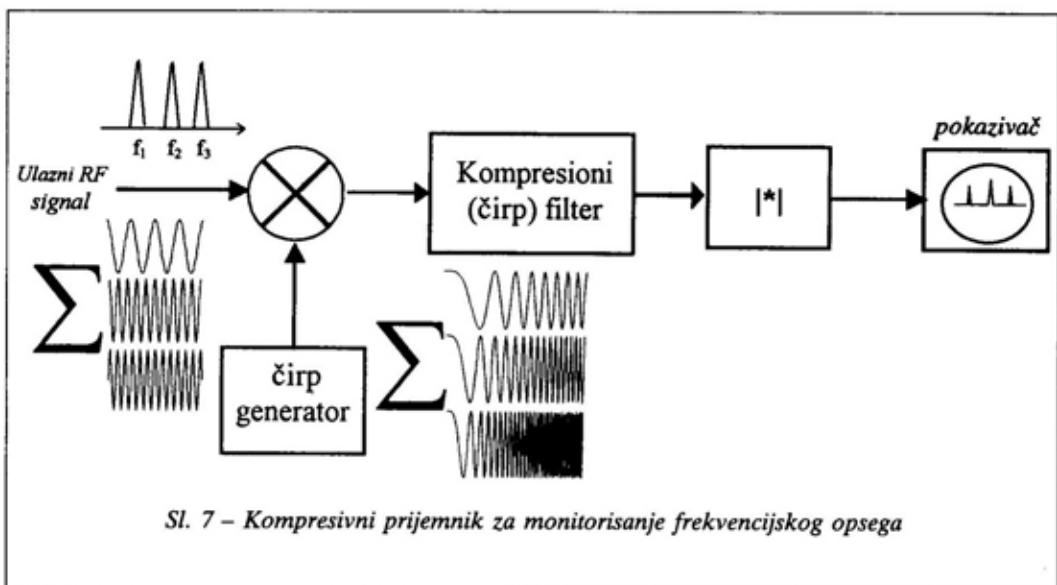
### Primena kompresivnog prijemnika u otkrivanju signala protivnika

Osnovna primena kompresivnog prijemnika jeste u sistemima za elektronsko izviđanje. Naime, prijemnik omogućava monitorisanje širokog frekventijskog op-

### Primena kompresivnog prijemnika u određivanju pravca izvora zračenja

Jedna od potencijalnih aplikacija čirp Furijeove transformacije jeste oblast antenskih nizova i određivanje pravca izvora zračenja. Naime, metod određivanja dolaznog ugla elektromagnetskog talasa (AOA – angle of arrival ili DOA – direction of arrival), koji se zasniva na analizi talasnog fronta, mnoguće je realizovati primenom sklopa prikazanog na slici 8 [2].

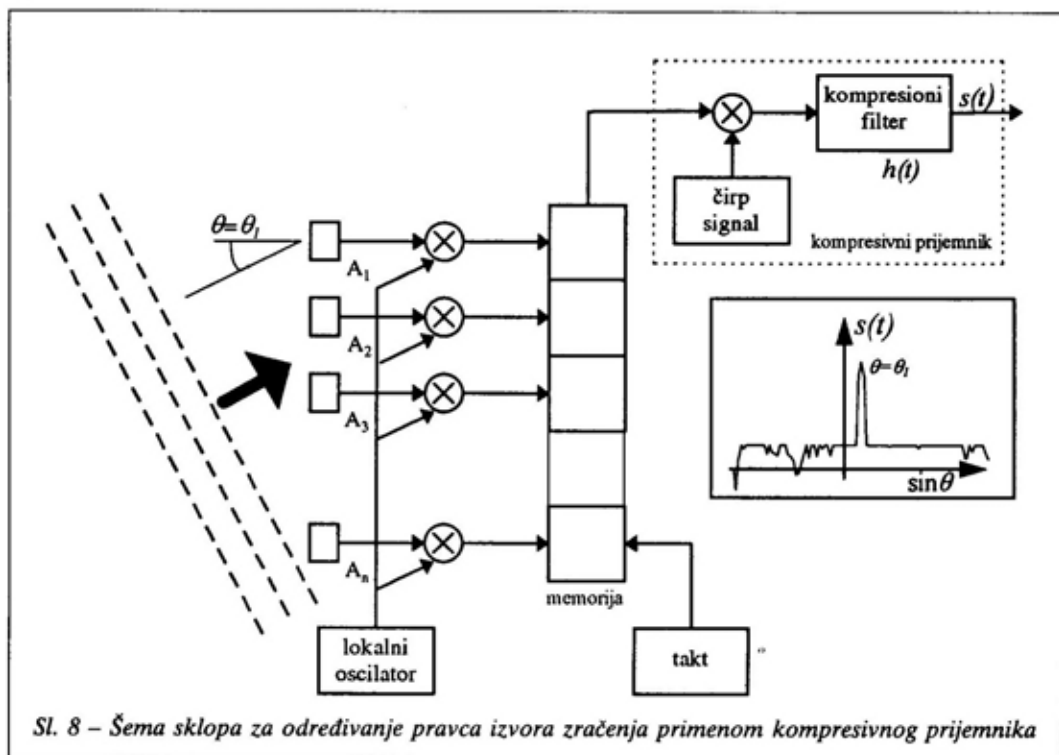
Linearni antenski niz pretvara prostorni elektromagnetski talas u RF signal koji se translira u osnovni opseg, a zatim ga sprema u analogne memorije. N para-



Sl. 7 – Kompresivni prijemnik za monitorisanje frekventijskog opsega

sega u delu mikrosekunde. Ova osobina veoma je poželjna u izviđačkim prijemnicima, jer omogućava veliku verovatnoću presretanja i detekcije komunikacionih i radarskih signala protivnika [3]. U ovoj primeni kompresivni prijemnik najčešće se realizuje u M(1)-C(s) konfiguraciji što je prikazano na slici 7 [6,7].

lelno spremljenih odbiraka serijski se čita iz memorije N puta većom brzinom i dovodi na čirp Furijeov transformator. Kompresivni prijemnik, kao implementacija čirp transformacije, pogodan je za primenu u ovom sklopu zbog potrebe da se Furijeova transformacija obavlja velikom brzinom.



Sl. 8 – Šema sklopa za određivanje pravca izvora zračenja primenom kompresivnog prijemnika

Ako se pretpostavi da su antene  $A_n$  na slici 8 izotropne sa jednakim rastojanjem između susednih elemenata  $L$ , tada je signal koji se indikuje u  $i$ -toj anteni oblika:

$$u_i = U \sin [\sin (\theta) (2\pi i L \lambda^{-1})] = U \sin [\sin (\theta) s], \quad (18)$$

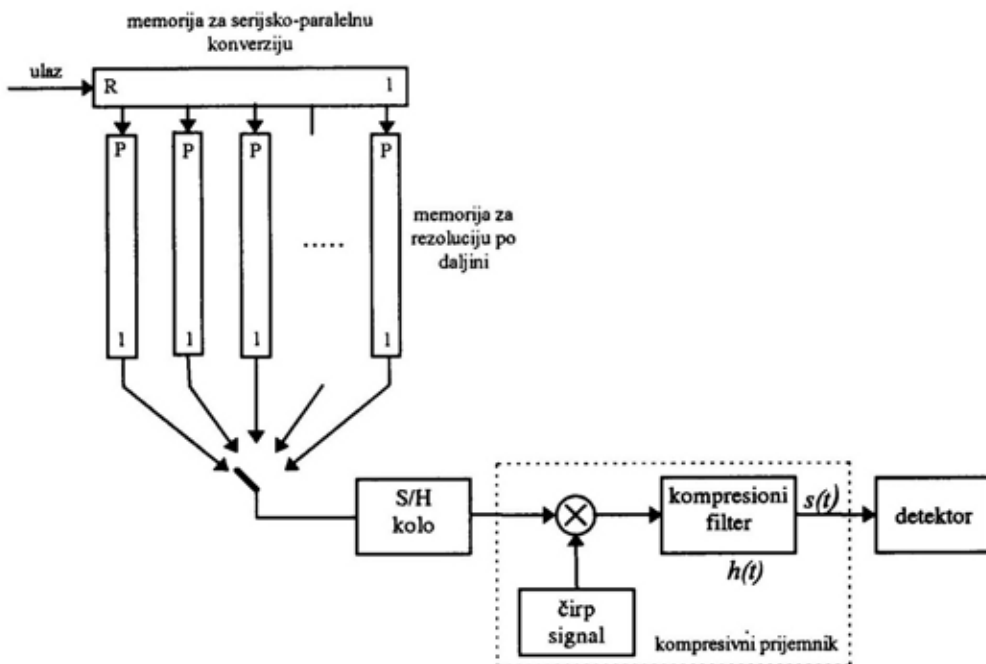
gde je  $U$  amplituda talasa koji dolazi pod uglom  $\theta$ , a  $\lambda$  njegova talasna dužina. Furijeovom transformacijom izraza (18) po prostornim odbircima signala  $s = 2\pi i L \lambda^{-1}$  izračunava se sinus ugla dolaznog elektromagnetskog talasa.

### Primena kompresivnog prijemnika za određivanje brzine cilja

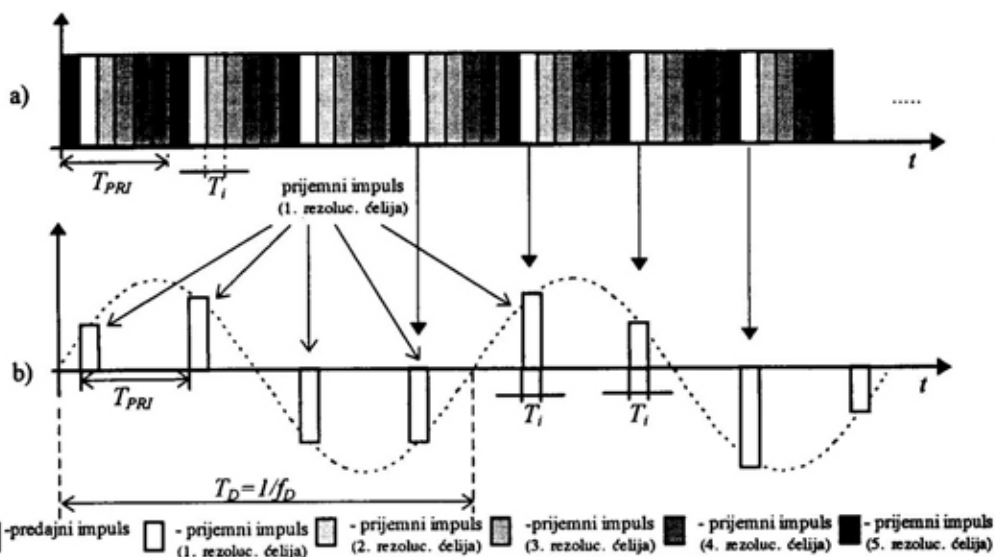
Obrada koherentnih radarskih signala, radi određivanja daljine i brzine cilja,

ograničena je složnošću i cenom realizacije banke Doplerovih filtera. Fizička banka filtera često se izbegava i formira u vidu Furijeovog procesora (FFT, čirp transformacija). U ovom poglavlju biće prikazana primena čirp transformacije u radarima sa Doplerovim procesorom. Jedan od metoda [5] za izdvajanje brzine ciljeva prikazan je na slici 9.

Koherentni video signal upisuje se u serijsku memoriju, a zatim se paralelno prebacuje u memoriju za rezoluciju po daljini. Paralelnu memoriju čini  $P$  lokacija u koje se smešta  $P$  radarskih impulsa, dok se memorija za serijski upis sastoji od  $R$  lokacija za čuvanje  $R$  rezolucionih ćelija po daljini (slika 11). Kada je  $PR$  rezolucionih ćelija zapisano u memoriju, signal se serijski iščitava iz memorije za rezoluciju po daljini i određuje se čirp Furijeova transformacija. Na taj način se za svaku ćeliju po daljini izdvajaju fre-



Sl. 9 – Primena kompresivnog prijemnika u Doplerovom procesoru signala

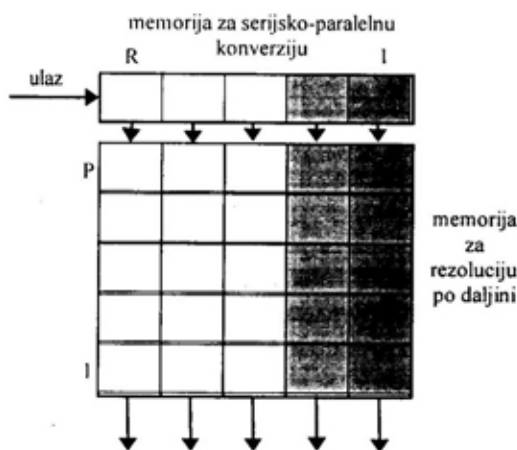


Sl. 10 – Uticaj Doplerovog pomaka na signal impulsnog radara

kvencije koje odgovaraju brzinama ciljeva u njoj.

Sušтина prethodno opisanog procesora signala jeste u načinu na koji Doplerov pomak utiče na signal impulsnog radara. Ako se predajni signal koherentnog impulsnog radara shvati kao niz isečaka trajanja  $T_i$  periodičnog kontinualnog signala, a isečci signala uzimaju u intervalima  $T_{PRI}$ , tada će Doplerov pomak amplitudski modulisati niz prijemnih impulsa (slika 10b). Kada je u rezolucioj ćeliji po daljini prisutan samo jedan cilj, tada uzastopni impulsi reflektovani od njega čine odbirke periodičnog signala frekvencije  $f_D$ , gde je  $f_D = 2v/c$  Doplerov pomak nastao zbog kretanja cilja radialnom brzinom  $v$ .

Na slici 10 prikazan je način na koji Doplerov pomak utiče na prijemni signal impulsnog radara u svakoj rezolucioj ćeliji. Prijemni impulsi se „razvrstavaju“ u memoriju po rezolucioj ćelijama kao što je prikazano na slici 11.



Sl. 11 – Način zapisa signala u memoriju kod Doplerovog procesora

U ovoj primeni kompresivni prijemnik koristi se kao analizator spektra. Ako se u istoj rezolucioj ćeliji po daljini nalaze dva cilja različitih brzina, primenom Doplerovog procesora moguće ih je razdvojiti.

## Zaključak

Princip analize spektra primenom čirp transformacije, ostvaren pomoću kompresivnog prijemnika, u vojnim elektronskim sistemima nalazi raznovrsne primene. Zbog velike verovatnoće presretanja, koja se njegovom primenom postiže, najčešće se koristi u prijemnicima za elektronski rat. Određivanje pravca izvora zračenja metodom analize talasnog fronta takođe je jedna od aplikacija kompresivnog prijemnika. Primenom čirp transformacije poboljšava se i detekcija pokretnih ciljeva impulsnim radarom.

## Literatura:

- [1] Klauder, J. R.: The Theory and Design of Chirp Radars, The Bell System Technical Journal, 39, 1960, pp. 745–808.
- [2] Jack, M. A., Grant, P. M., Collins, J. H.: The Theory, Design, and Applications of Surface Acoustic Fourier-Transform Processors, Proc. of the IEEE, Vol. 68, No. 4, April 1980, pp. 450–468.
- [3] Schleher, D. C.: Introduction to Electronic Warfare, Artech House, 1986.
- [4] Simić, I. S.: Kompresivni prijemnici sa optimizovanom vremensko-frekvencijskom karakteristikom, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, jul 1998.
- [5] Roberts, J. B. G., Eames, R., McCaughan, D. V., Simons, R. F.: A Processor for Pulse-Doppler Radar, IEEE Journal of solid-state circuits, Vol. SC-11, No. 1, February 1976, pp. 100–104.
- [6] Breuer, K. D., Levy J. S., Paczkowski, H. C.: The Compressive Receiver: A Versatile Tool for EW Systems, Microwave Journal, October 1989, pp. 81–98.
- [7] Schmid, H. F.: Microscan receivers boost intercept probability, Defense Electronics, October 1986, pp. 205–214.

**Mr Milorad Opsenica,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## **KRETANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE BRDSKO-PLANINSKIM PODRUČJEM**

UDC: 656.1.052.4:623.43

### *Rezime:*

*Vojna motorizovana kolona savlađuje deonice u brdsko-planinskom području u pogoršanim uslovima kretanja, što remeti parametre toka, i dovodi do nastanka udarnih talasa koji utiču na uredno i bezbedno kretanje. U radu je analiziran uticaj tipičnih karakteristika putnih uslova brdsko-planinskog područja na parametre toka vojne motorizovane kolone.*

*Ključne reči: vojna motorizovana kolona, brdsko-planinsko područje, parametri toka.*

---

## **MOVEMENT OF A MILITARY MOTORIZED QUEUE AT MOUNTAINOUS AREAS**

### *Summary:*

*During the movement of a military motorized queue at mountainous areas the movement conditions become aggravated. It disturbs flow parameters and creates shock waves, which are undesirable for regular and safe movement. Effects of typical characteristics of mountainous road conditions upon the flow parameters of a military motorized queue are analysed in the paper.*

*Key words: military motorized queue, mountainous area, flow parameters.*

---

### **Uvod**

U toku izvršavanja transportnih zadataka jedinica VJ, kretanje u koloni biće često zastupljeno zbog prednosti koje se ogledaju u lakšem vođenju transportnih jedinica mrežom, olakšanog komandovanja, bolje kontrole kretanja, olakšane tehničke pomoći i sl.

Kretanje u koloni, međutim, ima i svojih nedostataka koji se ispoljavaju u nepovoljnim putnim i otežanim terenskim uslovima. Naime, u takvim uslovima pro-

mena parametara kretanja najčešće čelnog (nekada i nekog od ostalih) vozila iz kolone redovno se odražava i na ostala vozila iz kolone, što često izaziva neplanirane zastoje, vremenske gubitke, ometanje ostalog saobraćaja, pa čak i pojavu ugrožavanja bezbednosti saobraćaja.

Problemi su izraženiji ukoliko se vojna motorizovana kolona sastoji od vozila sa znatnom disperzijom dinamičkih karakteristika, a naročito ukoliko se u koloni nalazi vozilo sa izrazito nepovoljnim dinamičkim svojstvima.



## Karakteristike uslova kretanja u brdsko-planinskom području

Veći deo reljefa naše zemlje čini brdsko-planinsko područje na kojem se kretanje u koloni izvodi u specifičnim uslovima. Puteve u brdsko-planinskom području karakterišu: izraziti usponi, oštre krivine malog poluprečnika, serpentine, ograničena širina kolovoza, izrazita vijugavost trase i često loše stanje kolovoznog zastora. Pored toga, na ovom zemljištu ima mnogo mostova, propusta i tunela, česti su i odroni (zimi i u proleće), kao i zavejani i zaleđeni putevi zimi.

Da bi se kretanje vojne motorizovane kolone na takvim putevima efikasno planiralo, naročito je važno poznavati:

- uzdužni profil maršrute,
- vrstu i stanje kolovoznog zastora,
- širinu kolovoza na maršruti,
- karakteristike horizontalnih krivina na maršruti,
- intenzitet saobraćaja na maršruti,
- dinamička svojstva transportnih sredstava.

Na dinamiku kretanja kolone (predviđene brzine kretanja i odstojanja među vozilima, odnosno marševskim formacijama), naročit uticaj imaju uzdužni profil (usponi i padovi), krivine malog poluprečnika, kao i stanje kolovoznog zastora. Svaki od navedenih delova putne mreže predstavlja tzv. usko grlo, na kojem dolazi do znatnog poremećaja u režimu kretanja vojne motorizovane kolone. Dijagram na slici 1 prikazuje uticaj uskih grla (deonice sa uzdužnim nagibom i oštre horizontalne krivine) na parametre saobraćajnog toka.

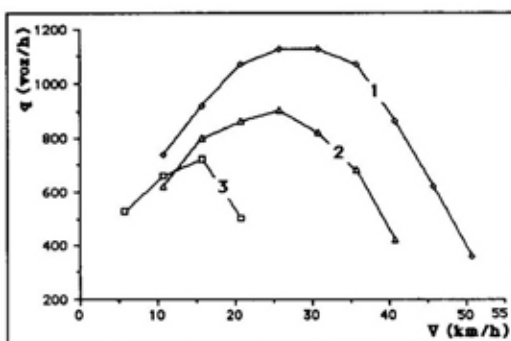
Radi ilustracije na dijagramu su dati i parametri vezani za horizontalnu pravu deonicu, uz procentualnu zastupljenost putničkih vozila u toku od 20%. Može se

uočiti znatno smanjenje maksimalno mogućeg protoka pri kretanju deonicom sa uzdužnim nagibom od 5%, odnosno, pri nailasku vozila na oštru horizontalnu krivinu.

## Kretanje na usponu

Specifičnosti koje karakterišu kretanje vojne motorizovane kolone deonicom sa izrazitim uzdužnim nagibom su:

- znatno smanjenje brzine kretanja,
- vožnja nižim stepenom prenosa,
- povećano naprezanje ljudstva i vozila,
- otežano kretanje zimi.



Sl. 1 - Zavisnost maksimalnog protoka od brzine pri 20% putničkih vozila: 1 - horizontalna deonica, 2 - uspon nagiba 5%, 3 - krivina  $R = 35 m$

Pri nailasku vojne motorizovane kolone brzinom  $V_k$  na deonicu sa znatnim uzdužnim nagibom - usponom, dolazi do promene parametara njenog kretanja, što se posebno odražava na smanjenje brzine. Ono je izraženije ukoliko je uspon većeg uzdužnog nagiba i dužine, odnosno ukoliko su vozila kolone lošijih dinamičkih karakteristika (specifična snaga, vozila pod teretom i sl.).

Usled naglog smanjenja brzine kretanja čelnog vozila kolone dolazi do pojave

talasa<sup>1</sup> u vojnoj motorizovanoj koloni, što je nepoželjno sa aspekta urednosti i bezbednosti kretanja. Vozila iz sastava marševske formacije se, po sustizanju prethodnih vozila (koja su znatno smanjila brzinu kretanja), nagomilavaju ispred uskog grla, povećavajući gustinu<sup>2</sup> toka. Isto se događa i sa ostalim učesnicima u saobraćaju koji se u datom vremenu kreću iza vojne motorizovane kolone. Da bi se izbegle takve pojave (poremećaji, talasi, zastoji i sl.) potrebno je adekvatnim merama organizacije i dinamike kretanja vojne motorizovane kolone, kao i merama organa za regulisanje saobraćaja, obezbediti uredno savlađivanje uskih grla.

Rešenje problema jeste u obezbeđenju pogodnih intervala sleđenja<sup>3</sup> među vozilima u koloni (kada se radi o kontinualnoj marševskoj formaciji), odnosno obezbeđenju potrebnih intervala sleđenja među marševskim formacijama kada se radi o diskontinualnoj koloni (koloni sa više marševskih elemenata).

U uslovima izvođenja borbenih dejstava, zbog taktičkih<sup>4</sup> razloga, organizovano savlađivanje uskih grla je od posebnog značaja. Pri tome je neophodno istaći da dolazi do promene dužine vojne moto-

rizovane kolone na uskom grlu u odnosu na dužinu pre uskog grla. Promena dužine kolone realizuje se promenom prostornog, odnosno vremenskog intervala sleđenja među vozilima kontinualne formacije, odnosno adekvatnim intervalima sleđenja između marševskih elemenata kod diskontinualnih kolona.

Kada se radi o kontinualnoj vojnoj motorizovanoj koloni, posledice udarnog talasa će se ublažiti postojanjem adekvatnog intervala sleđenja među vozilima u koloni koji treba da bude ostvaren neposredno pre nailaska na usko grlo.

Kako na uskom grlu redovno dolazi do smanjenja brzine kretanja, i prostorni interval sleđenja, odnosno rastojanje među vozilima biće smanjeno. Međutim, ta veličina prostornog intervala sleđenja u praksi se ne smanjuje ispod određene vrednosti (koja je propisana, odnosno naredena<sup>5</sup> zapovešću za kretanje kolone). Osim toga, prostorni interval je vrlo značajan jer predstavlja mogućnost za ostale učesnike u saobraćaju da preteču vozila iz sastava kolone. Znači da je pre nailaska na usko grlo potrebno povećati prostorni

<sup>1</sup> Kontinualne promene koje se dešavaju u saobraćajnom toku duž saobraćajnice, tj. kontinualne promene osnovnih parametara saobraćajnog toka (protoka, brzine i gustine), nošene su tzv. „talasima“ koji se kreću duž saobraćajnice u pravcu kretanja saobraćajnog toka ili suprotno od pravca saobraćajnog toka ili, pak, natrag u odnosu na saobraćajnicu.

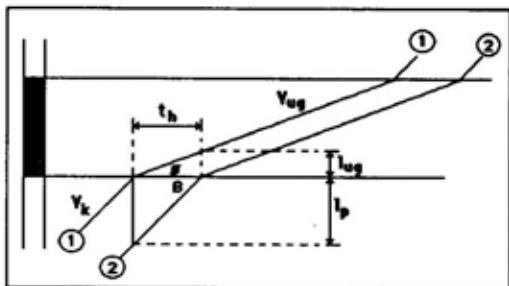
Kada su pomenute pojave skokovite radi se o tzv. „šok talasima“ ili „udarnim talasima“, koji se duž saobraćajnice mogu kretati u smeru toka, ali češće suprotno od smera saobraćajnog toka, odnosno natrag u odnosu na saobraćajnicu.

<sup>2</sup> Pod pojmom gustina saobraćajnog toka podrazumeva se broj vozila na jedinicu dužine saobraćajnice, po saobraćajnoj traci, po smerovima za jednosmerne saobraćajnice, odnosno u oba smera za dvosmerne saobraćajnice.

<sup>3</sup> Interval sleđenja vozila u saobraćajnom toku predstavlja vreme između prolaska čela dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presečni posmatranog odelca puta.

Prostorni interval sleđenja ili rastojanje sleđenja vozila predstavlja prostorni razmak između čela dva uzastopna vozila u saobraćajnom toku.

<sup>4</sup> Taktički razlozi podrazumevaju umanjene posledice dejstva po vojnoj motorizovanoj koloni. U tom smislu su nepoželjni zastoji, koncentracija velikog broja vozila na jednom mestu, itd.



Sl. 2 – Promena prostornog intervala sleđenja

interval sleđenja. Povećanje treba da bude toliko koliko je veća razlika u brzinama kretanja pre i na uskom grlu (slika 2).

<sup>5</sup>Ova vrednost se u praksi obično definiše na 50 do 100 metara.

Odnos ta dva prostorna intervala sleđenja definisan je sledećim relacijama:

$$V_{ug} = \text{tg } \phi = l_{ug}/t_h \text{ (m/s)} \quad (1)$$

$$V_k = \text{tg } \beta = l_p/t_h \text{ (m/s)} \quad (2)$$

U relacijama (1) i (2) oznake predstavljaju:

$V_{ug}$  – brzina kretanja kolone na uskom grlu (m/s),

$V_k$  – brzina kretanja kolone pre uskog grla (m/s),

$l_{ug}$  – prostorni interval sleđenja na uskom grlu (m),

$l_p$  – prostorni interval sleđenja pre uskog grla (m),

$t_h$  – vremenski interval sleđenja među vozilima (s).

Iz obrazaca (1) i (2) proizilazi:

$$l_p = (V_k/V_{ug}) l_{ug} \text{ (m)} \quad (3)$$

U realnim uslovima nije moguće izbeći pojavu udarnog talasa pri nailasku kolone na usko grlo, ali je adekvatnim odabirom parametara kretanja moguće uticati na njegovu veličinu.

Na slici 3 prikazana su dva različita udarna talasa (izražena veličinom pripadajućeg ugla) koji se javljaju pri jednakoj dužini kontinualne vojne motorizovane kolone na uskom grlu i za iste brzine kretanja pre i na uskom grlu.

Brzina udarnog talasa koji se javlja pri promeni stanja saobraćajnog toka izračunava se prema izrazu:

$$V_t = (q_k - q_{ug})/(g_k - g_{ug}) \quad (4)$$

gde je:

$q_k$  – veličina protoka<sup>6</sup> pre nailaska na usko grlo (voz/s),

$q_{ug}$  – veličina protoka na uskom grlu (voz/s),

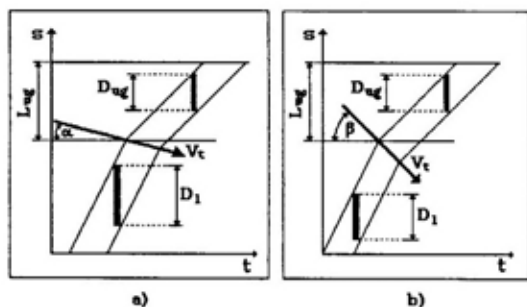
$g_k$  – veličina gustine toka pre nailaska na usko grlo (voz/m),

$g_{ug}$  – veličina gustine toka na uskom grlu (voz/m).

Uz zamene  $g_k = V_k g_k$ ;  $q_{ug} = V_{ug} g_{ug}$ ;  $g_k = 1/l_p$ ;  $g_{ug} = 1/l_{ug}$ , obrazac (4) prima sledeći oblik:

$$V_t = [(V_k l_{ug}) - (V_{ug} l_p)] / (l_{ug} - l_p) \text{ (m/s)} \quad (5)$$

Sa slike 3 očigledno je da će se ostvariti manja vrednost brzine talasa ( $V_t$ ) pri postojanju veće vrednosti dužine kolone pre uskog grla (slika 3a), odnosno pri manjoj vrednosti dužine kolone pre uskog grla javiće se veća brzina udarnog talasa (slika 3b).



Sl. 3 – Udarni talasi pri promeni stanja toka kolone

S obzirom na to da su pri kretanju kolone uskim grlom najčešće određeni parametri kretanja (potrebno odstojanje među vozilima, odnosno definisana ili maksimalno moguća brzina kretanja uskim grlom), potrebno je definisati zavisnost dužine kolone pre nailaska na usko grlo (a time i potrebnih odstojanja među vozilima) od dužine kolone na uskom grlu. Pri tome se mora uzeti u obzir pojava udarnog talasa, jer granica prihvatljive veličine talasa direktno utiče na

<sup>6</sup> Pod pojmom protok vozila podrazumeva se broj vozila koji prođe posmatrani presek saobraćajnice u jedinici vremena u jednom smeru za jednosmerne saobraćajnice ili u oba smera za dvosmerne saobraćajnice.

potrebnu dužinu kolone pre nailaska na usko grlo.

Zavisnost dužine kolone pre uskog grla od dužine kolone na uskom grlu data je relacijom:

$$D_{kp} = D_{ug} [(V_{kp} + V_t) / (V_{ug} + V_t)] \quad (6)$$

gde je:

$D_{kp}$  – dužina kolone pre nailaska na usko grlo (m),

$D_{ug}$  – dužina kolone na uskom grlu (m),

$V_{kp}$  – brzina kretanja kolone pre uskog grla (m/s),

$V_{ug}$  – brzina kretanja kolone na uskom grlu (m/s),

$V_t$  – brzina udarnog talasa (m/s).

Kada je odnos brzina kretanja kolone pre uskog grla i na uskom grlu,  $V_{kp}/V_{ug} = \delta$ , obrazac (6) dobija oblik:

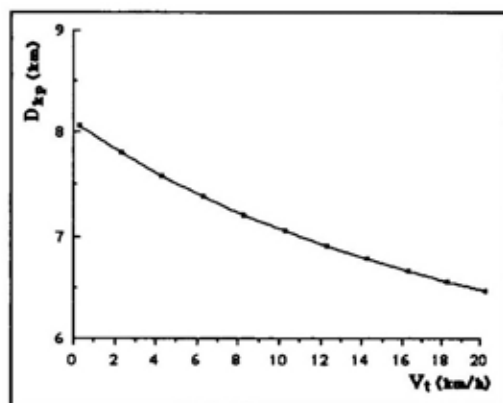
$$D_{kp} = D_{ug} [(V_{kp} + V_t) \delta] / (V_{kp} + V_t \delta) \quad (7)$$

Prema tome, ako su poznati parametri: potrebna dužina kolone na uskom grlu, brzina kretanja kolone pre uskog grla, brzina kretanja kolone na uskom grlu, kao i prihvatljiva vrednost brzine udarnog talasa koji će se javiti pri promeni stanja – moguće je odrediti potrebnu dužinu kolone pre uskog grla.

Na dijagramu<sup>7</sup> (slika 4) data je zavisnost potrebne dužine kolone pre uskog grla od brzine udarnog talasa, za pretpostavljene vrednosti ostalih parametara.

Sa dijagrama se može uočiti da za ostvarenje niskih vrednosti brzine talasa treba znatno povećati dužinu kolone pre uskog grla u odnosu na dužinu pri kojoj

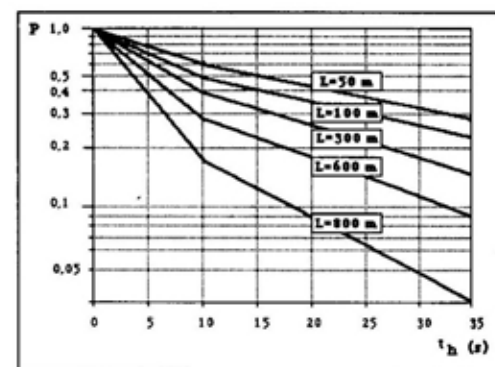
se savladuje usko grlo. Ovo povećanje planira se u postupku definisanja osnovnih parametara kretanja kolone (zapovest za kretanje), a realizuje pravilnim postupkom vođenja vojne motorizovane kolone.



Sl. 4 – Zavisnost dužine kolone pre uskog grla od brzine talasa

Sa povećanjem dužine deonice sa uzdužnim nagibom dolazi do stvaranja reda iza sporog vozila, a time i do relativnog smanjenja vremenskih i prostornih intervala sleđenja među vozilima.

Na dijagramu (slika 5) prikazana je raspodela vremenskih intervala sleđenja na različitim tačkama uspona s nagibom 6% kod protoka od  $q = 200$  voz/h.



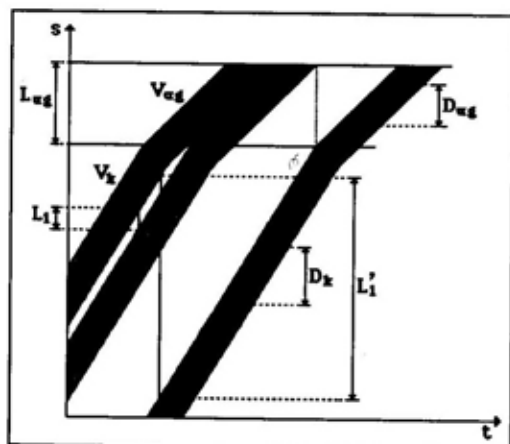
Sl. 5 – Raspodela vremenskih intervala sleđenja na različitim tačkama uspona s nagibom 6% pri protoku od  $q = 200$  voz/h

<sup>7</sup> Dijagram je urađen na osnovu obrasca (7), uz sledeće pretpostavljene vrednosti: dužina kolone na uskom grlu,  $D_{ug} = 4$  km; brzina kretanja kolone pre nailaska na usko grlo,  $V_k = 60$  km/h; odnos brzina kretanja pre i na uskom grlu,  $\delta = 2$ .

Kada je vojna motorizovana kolona organizovana diskontinualno (sa više marševskih elemenata) tada se vremenski, odnosno prostorni intervali sleđenja među marševskim formacijama mogu iskoristiti za ublažavanje posledica udarnih talasa koji se javljaju.

Pogodno određen interval sleđenja pre nailaska na usko grlo (odnosno odstojanje među marševskim elementima) omogućuje savlađivanje uskog grla u jedinstvenoj formaciji. Ponekad će taktički ili drugi<sup>8</sup> razlozi nalagati da se usko grlo savlađuje tako što će sledeći marševski element na usko grlo pristići tek kada ga prethodni marševski element savlada.

Na dijagramu (slika 6) prikazana su oba pomenuta slučaja.



Sl. 6 – Savlađivanje uskog grla

Veličina odstojanja među marševskim elementima pre uskog grla, u slučaju sustizanja elemenata na početku uskog grla, biće:

$$L_1 = (D_{ug}\delta) - D_k \quad (8)$$

<sup>8</sup> Ovakvi razlozi najčešće se javljaju pri savlađivanju uskih grla kao što su: mostovi ograničene nosivosti ili širine kolovoza, tuneli, i sl.

U slučaju da marševski elementi pojedinačno savlađuju usko grlo potrebno odstojanje je određeno prema sledećem:

$$L'_1 = [(D_{ug} + L_{ug}) \delta] - D_k \quad (9)$$

Maksimalno moguća brzina kretanja vozila na usponu dobija se iz uslova izjednačavanja raspoložive snage motora vozila i rada potrebnog za savladavanje ukupnog otpora na usponu. S obzirom na to da je snagom motora vozila (umanjenom za gubitke u transmisiji) potrebno savladati otpore kretanju na usponu, važi da je:

$$RV_{ug} = P_m k \quad (10)$$

gde je:

R – ukupna sila otpora kretanju na usponu (N),

$V_{ug}$  – maksimalno moguća brzina na usponu (m/s),

$P_m$  – maksimalna snaga motora vozila (W),

k – koeficijent iskorišćenja transmisije vozila.

Prema tome, proizilazi da je maksimalno moguća brzina vozila na usponu:

$$V_{ug} = P_m k / R \quad (11)$$

Kako se na usponu ukupni otpor može izraziti preko otpora nagiba i otpora kotrljanja (zanemaruje se otpor vazduha zbog relativno male brzine kretanja na usponu, kao i otpor inercije zbog ubrzanja, jer se na usponima vozi nižim stepenom prenosa i konstantnom brzinom), to je:

$$R = G [(\sin \alpha) + (f_k \cos \alpha)] \quad (12)$$

gde je:

–  $\alpha$ , veličina uzdužnog nagiba (rad),

- G, ukupna težina vozila (N),
- $f_k$ , koeficijent otpora kotrljanja.

Dobija se da je:

$$V_{ug} = P_m k / \{G [( \sin \alpha ) + ( f_k \cos \alpha )] \} \quad (\text{m/s}) \quad (13)$$

Definiše li se odnos  $P_m/G = D$ , kao dinamička konstanta određenog vozila, tada je moguća brzina na uskom grlu:

$$V_{ug} = D k / ( \sin \alpha + f_k \cos \alpha ) \quad (\text{km/h}) \quad (14)$$

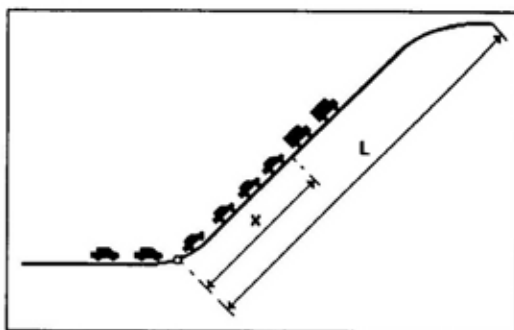
### Stvaranje reda vozila iza vojne motorizovane kolone na usponu

U strukturi vozila vojne motorizovane kolone uglavnom preovlađuju teretna vozila (sa relativno niskim dinamičkim faktorom), što pri kretanju na usponu ima za posledicu smanjenje brzine kretanja kolone.

U odnosu na vozila iz ostalog toka, vozila iz sastava kolone predstavljaju tzv. spora vozila. Osim toga, vojna motorizovana kolona u takvim uslovima i svojom strukturom (kretanje na određenim odstojanjima među vozilima, znatni gabariti vozila) stvara veće poteškoće pri preticanju nego kada se radi o pojedinačnom sporom vozilu. Situacija se dodatno usložava kada vojna motorizovana kolona na usponu sustigne sporo vozilo (vozilo koje je sporije i od same kolone). Pri opisanim uslovima dolazi do stvaranja reda ostalih vozila iza kolone, slika 7.

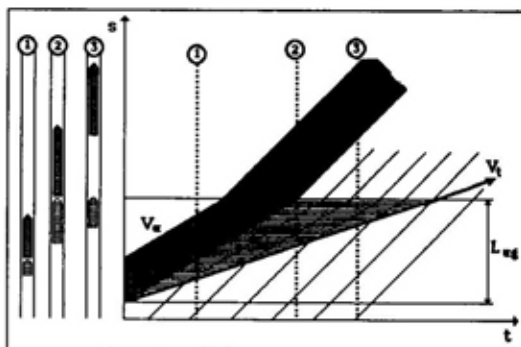
Vozilima u formiranom redu iza kolone znatno se povećava vreme kretanja, odnosno javljaju se određeni vremenski gubici. Vremenski gubici biće toliko veći koliko je veća dužina uspona, odnosno manja brzina kretanja kolone na usponu, koja je prvenstveno određena veličinom

uzdužnog nagiba, tj. dinamičkim svojstvima vozila iz sastava kolone.



Sl. 7 - Stvaranje reda iza kolone na usponu

Vremenski gubici mogu se iskazati preko dužine formiranog reda vozila iza kolone na usponu (veličina x na slici 7), odnosno broja vozila koja su prinuđena na promenu parametara kretanja. Dužina formiranog reda raste sve do momenta kada začelno vozilo iz kolone savlada uspon. Tada dostiže maksimalnu vrednost, a zatim se smanjuje dok se ne rasformira, slika 8.



Sl. 8 - Promena dužine reda na usponu

Dužina formiranog reda vozila iza kolone zavisi od relevantnih parametara kretanja, što se vidi iz formule:

$$D_r = [1 - (V_v/V_u)] x \quad (\text{m}) \quad (15)$$

gde je:

$D_r$  – dužina reda (m),

$V_u$  – brzina kretanja kolone na usponu (m/s),

$V_t$  – brzina udarnog talasa pri promeni stanja (m/s),

$x$  – pozicija začelnog vozila iz kolone u odnosu na početak uspona (m).

Formirani red će dostići najveću dužinu kada veličina  $x$  dostigne vrednost dužine uspona ( $L_{ug}$ ), tj. kada začelno vozilo iz sastava kolone savlada uspon.

Maksimalna dužina reda formiranog iz vojne motorizovane kolone na usponu biće:

$$D_{r, MAX} = [1 - (V_t/V_u)] L_{ug} \text{ (m)} \quad (16)$$

Prema modelu verovatnoće L.N. Sapegina [6] srednja dužina reda vozila koja sustignu kolonu čije se začelje nalazi na određenom odstojanju od tačke početka uspona (veličina  $x$  na slici 7) iznosi:

$$D_{r, sr} = (1/K_o) \{P_o x + [K_o / (1 - K_o)]\} \text{ (m)} \quad (17)$$

U obrascu  $K_o$  predstavlja tzv. koeficijent opterećenja sistema masovnog opsluživanja, a definiše se kao:

$$K_o = g_b (V_b - V_k) t_p \quad (18)$$

gde je:

$g_b$  – gustina toka vozila koja sustižu kolonu ( $m^{-1}$ ),

$V_b$  – brzina vozila koja sustižu kolonu (brza vozila) (m/s),

$V_k$  – brzina kretanja kolone na usponu (m/s),

$t_p$  – vreme potrebno za pripremu i izvršenje preticanja (s).

Veličina  $P_o$  predstavlja verovatnoću da će se formiranom redu vozila iza ko-

lone priključiti još jedno brzo vozilo, a definisano je kao:

$$P_o = g_b (V_b - V_k) (l_a/V_k) \quad (19)$$

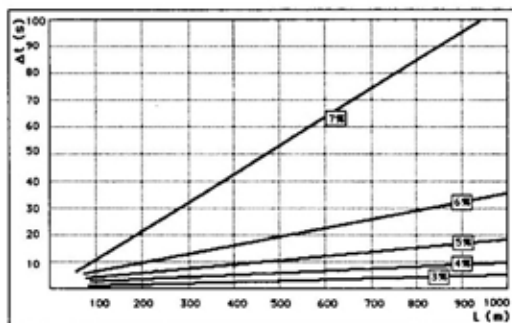
gde je  $l_a$ , veličina dinamičkog gabarita vozila (m).

Prema modelu, vremenski gubici svih brzih vozila, koja se nalaze u redu iza kolone, iznose:

$$\Sigma T_g = \{[L_u (V_b - V_k)] / [2 (1 - P_o) V_k V_b]\} \{P_o x + [(2 - P_o) K_o / (1 - K_o)]\} \text{ (s)} \quad (20)$$

U izrazu (20) veličina  $L_u$  predstavlja ukupnu dužinu uspona. Model daje dobre rezultate kod veličine protoka brzih vozila do 500 voz/h.

Na dijagramu (slika 9) prikazana je zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od dužine uspona i veličine nagiba.

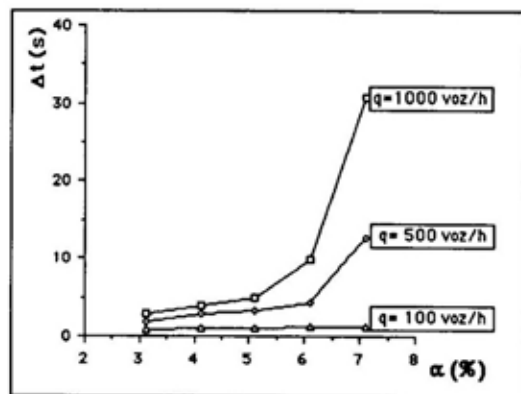


Sl. 9 – Zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od dužine uspona

Dijagram je urađen uz pretpostavljenu veličinu protoka brzih vozila od  $q_b = 400$  voz/h. Vremenski gubitak je izražen veličinom s/km, tj. brojem „izgubljenih“ sekundi po jedinici dužine uspona.

Sa dijagrama se uočava da je zavisnost linearna i da se znatno povećavaju vremenski gubici sa porastom veličine nagiba i dužine uspona.

Pri znatnim veličinama protoka brzih vozila, tj. vozila koja sustižu kolonu (sezonski uslovi, pojedini delovi mreže koji „privlače“ više vozila i sl.) vremenski gubici u redu iza kolone posebno rastu. Na dijagramu (slika 10) prikazana je zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od veličine nagiba, za različite veličine protoka vozila koja sustižu kolonu na usponu.



Sl. 10 – Zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od veličine nagiba

Vremenski gubici su gotovo zanemarivi pri malim vrednostima protoka brzih vozila (slučaj  $q = 100$  voz/h), dok su vremenski gubici izraziti pri većim vrednostima protoka (slučaj  $q = 1000$  voz/h).

### Savladavanje oštrih horizontalnih krivina

Pri nailasku čelnog vozila u koloni na oštru horizontalnu krivinu dolazi do smanjenja brzine kretanja na bezbednu brzinu kretanja kroz krivinu, koja je utoliko manja koliko je manji poluprečnik krivine. Na ostala vozila iz sastava kolone to smanjenje brzine imaće sličan efekat (udarni talas) kao i pri nailasku na deo puta sa izrazitim nagibom trase.

Bezbedna brzina kretanja kroz krivinu određuje se prema uslovima klizanja, odnosno prevrtanja vozila, prema sledećem:

$$V_{kl} = [g \mu_b R]^{0.5} \text{ (m/s)} \quad (21)$$

$$V_{pr} = [g R B/2 h_t]^{0.5} \text{ (m/s)} \quad (22)$$

gde je:

$V_{kl}$  – granična brzina pri kojoj nastupa klizanje vozila (m/s),

$V_{pr}$  – granična brzina prevrtanja vozila (m/s),

$g$  – ubrzanje Zemljine sile teže ( $m/s^2$ ),

$\mu_b$  – bočni koeficijent prijanjanja,

$R$  – poluprečnik krivine (m),

$h_t$  – visina težišta vozila (m),

$B$  – širina traga točkova vozila (m).

Obično je uslov proklizavanja stroži (naročito kod putničkih vozila, odnosno za vozila sa manjom visinom težišta), tabela 1.

Tabela 1

Vrednosti graničnih brzina klizanja i prevrtanja<sup>9</sup>

R (m)	$V_{kl}$ (km/h)	$V_{pr}$ (km/h)
8	23	36
9	24	38
10	25	40
11	26	42
12	27	44
13	28	46
14	29	48
15	30	50
20	35	60
25	40	70
30	45	80
35	50	90

<sup>9</sup> Tabela je izrađena na osnovu karakteristika tipičnog vozila iz jedinica VJ (teretno vozilo) sa visinom težišta od 0,6 do 1,0 m, razmakom točkova od 2,0 m, i uz bočni koeficijent prijanjanja za asfalt srednjeg kvaliteta ( $m = 0,5$ ).



Da se pred oštrom krivinom ne bi nagomilavala vozila iz sastava kolone, potrebno je (analogno razmatranju za izrazit uspon) definisati odgovarajući prostorni, odnosno vremenski interval sledenja među vozilima.

Analogno obrascu (3) prostorni interval sleđenja među vozilima pre nailaska na oštru horizontalnu krivinu treba da bude:

$$l_p = V_k l_{kr} / V_{kr} \text{ (m)} \quad (23)$$

gde je:

$l_p$  – prostorni interval sleđenja među vozilima pre krivine (m),

$l_{kr}$  – prostorni interval među vozilima kroz krivinu (m),

$V_k$  – brzina kretanja kolone pre nailaska na krivinu (m/s),

$V_{kr}$  – brzina kretanja kroz krivinu (m/s).

Pojedine oštre krivine zahtevaće da se savlađuju manevrisanjem (tj. krivina se zbog znatnih gabarita vozila, odnosno ograničenog poluprečnika zaokretanja pojedinih vozila savlađuje iz više pokušaja, vožnjom napred-nazad). Pri tim uslovima potrebna je sledeća vrednost prostornog intervala sleđenja među vozilima pre nailaska na oštru krivinu:

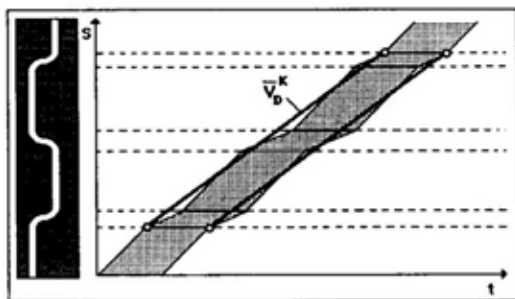
$$l_p = V_k t_m \text{ (m)} \quad (24)$$

gde je:

$V_k$  – brzina kretanja kolone pre oštre krivine (m/s),

$t_m$  – vreme manevrisanja u krivini (s).

Kako su u brdsko-planinskom području oštre krivine (i serpentine) veoma česte, za deonicu na kojoj se učestalo javljaju oštre krivine može se smatrati da se kolona kreće nekom nižom vrednošću prosečne brzine (slika 11), što je važno



Sl. 11 – Prosečna brzina kretanja kolone deonicom sa učestalim oštrim horizontalnim krivinama

imati u vidu pri definisanju potrebnih brzina kretanja.

### Kretanje deonicom sa lošim stanjem kolovoznog zastora

Stanje kolovoznog zastora odražava se na dinamiku vojne motorizovane kolone prvenstveno preko sledećih parametara:

- koeficijenta otpora kotrljanja ( $f_k$ ),
- koeficijenta prijanjanja pneumatika za podlogu ( $\mu$ ).

Pri povećanom otporu kotrljanja znatan deo snage motora troši se na njegovo savladavanje, što rezultira manjom mogućom brzinom kretanja. Pri smanjenom koeficijentu prijanjanja (npr. zaleđen kolovoz, sneg, mokro lišće na putu, mokra trava i sl.) dolazi do proklizavanja pogonskih točkova, odnosno kretanje je otežano, jer se raspoloživa snaga motora ne može efikasno iskoristiti. U takvim situacijama česti su zastoji u kretanju, što u ukupnom vremenu osetno smanjuje srednju brzinu kretanja. Osim toga, loše stanje kolovoznog zastora (udarne rupe, kolovozi na zemljanim i makadamskim putevima i sl.) negativno se odražava na rad pojedinih sklopova na vozilima, kao što su uređaj za upravljanje,

sistem elastičnog oslanjanja, itd., ali utiče i na brže zamaranje ljudstva i udobnost kretanja.

U tabeli 2 dat je pregled koeficijena otpora kotrljanja i koeficijena prijanjanja u zavisnosti od vrste kolovoznog zastora.

Tabela 2

Pregled koeficijena otpora kotrljanja i koeficijena prijanjanja<sup>10</sup>

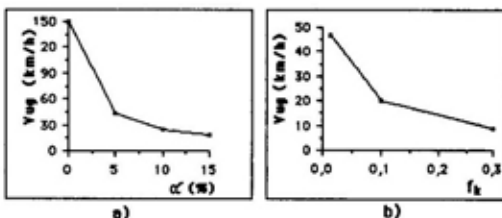
Vrsta zastora	$f_k$	$\mu$
Asfalt, beton	0,014–0,022	0,30–0,80
Kocka	0,016–0,024	0,28–0,80
Makadam	0,030–0,040	0,37–0,50
Zemljani put (nabijen)	0,030–0,060	0,35–0,55
Zemljani put (neravan, blatnjav)	0,050–0,100	0,30–0,40
Pesak	0,080–0,300	0,20–0,50
Sneg	0,250–0,380	0,10–0,20
Led	0,018–0,020	0,05–0,15

Kako se pri kretanju u brdsko-planinskom području mogu očekivati relativno niske vrednosti brzina, dominantan deo snage motora biće angažovan za savladavanje otpora uspona i otpora kotrljanja.

U obrascu (10) data je veza između efektivne snage motora vozila i maksimalno moguće brzine kretanja na određenom uskom grlu – usponu. Sa povećanjem uzdužnog nagiba i povećanjem otpora kotrljanja opadaće maksimalno moguća brzina kretanja takvom deonicom.

Na dijagramima (slika 12, a i b) prikazana je zavisnost maksimalno moguće brzine na uskom grlu od veličine uzdužnog nagiba (dijagram a), odnosno

koeficijenta otpora kotrljanja (dijagram b). Sa porastom i jednog i drugog parametra znatno opada maksimalno moguća brzina kretanja na određenom uskom grlu, odnosno deonici sa takvim uskim grlima.



Sl. 12 – Dijagrami zavisnosti maksimalno moguće brzine na uskom grlu<sup>11</sup> od veličina  $\alpha$  i  $f_k$

U zimskim uslovima u brdsko-planinskom području često su putevi prekriveni snegom i ledom (neefikasna služba čišćenja, ugažen sneg na kolovozu i sl.), što se negativno odražava na srednju brzinu kretanja, ali i na prohodnost, bezbednost kretanja, itd. Drugi parametar preko kojeg se iskazuje uticaj kvaliteta kolovoznog zastora na moguću brzinu kretanja uskim grlom, pored koeficijenta otpora kotrljanja, jeste koeficijent prijanjanja ( $\mu$ ), koji za snegom pokrivene i zaleđene putne površine redovno ima male vrednosti.

S obzirom na to da većina vozila iz sastava jedinica VJ ima pogon na svim mostovima, maksimalni uspon koji je moguće savladati u odnosu na uslove proklizavanja, određuje se prema sledećem:

$$\text{tg } \alpha_{\max} = \mu, \text{ odnosno } \alpha_{\max} = \text{arc. tg } \mu \quad (25)$$

<sup>11</sup> Dijagrami na slici 12 urađeni su na osnovu sledećih pretpostavljenih veličina:

- dijagram a:  
 – dinamička konstanta  $D = P_p/G = 3,75 \text{ W/N}$ ,  
 – koeficijent iskorišćenja transmisije,  $k = 0,8$ ,  
 –  $f_k = 0,02$  (asfalt u lošijem stanju)  
 dijagram b:  
 – dinamička konstanta  $D = P_p/G = 3,75 \text{ W/N}$ ,  
 – koeficijent iskorišćenja transmisije,  $k = 0,8$ ,  
 –  $a = 5\%$  (uzdužni nagib – uspon).

<sup>10</sup>Tabela je obrađena koristeći podatke iz izvora [3] i [4].

gde je  $\mu$  koeficijent prljanjanja pneumatica o podlogu.

U tabeli 3 proračunate su maksimalne vrednosti uspona koji se mogu savladati za prosečne vrednosti koeficijenta prljanjanja za različite podloge.

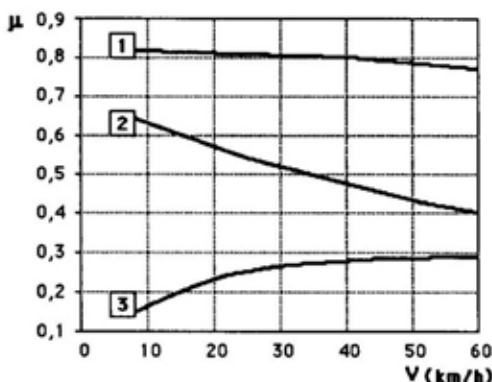
Tabela 3

Maksimalni mogući uspon zavisi od vrste zastora

Vrsta zastora	$\mu$	$\alpha_{max}$	
		( $^{\circ}$ )	%
Asfalt, beton	0,7	35	70
Kocka	0,25	14	25
Makadam	0,4	22	40
Zemljani put	0,35	19	35
Sneg	0,15	8,5	15
Led	0,05	3	5

Kod kolovoza prekrivenih ledom i snegom dolazi do proklizavanja pogonskih točkova već pri malim vrednostima uzdužnog nagiba (koji su, uglavnom, manji od uobičajenih vrednosti za brdsko-planinsko područje), pa je potrebno posvetiti punu pažnju radnjama i postupcima za povećanje prohodnosti (sistem uključivanja pojedinih pogonskih mostova, blokada diferencijala, lanci za sneg, centralna regulacija pritiska u pneumaticima, priručna sredstva za povećanje prohodnosti, itd.).

Koeficijent prljanjanja na putnim površinama prekrivenim ledom i ugaženim snegom, neznatno zavisi od brzine kretanja (za razliku od mokrog kolovoza), pa čak pokazuje i određeni rast (slika 13), što se objašnjava činjenicom da je pri većim brzinama na ugaženom snegu manja mogućnost obrazovanja vodenog sloja između pneumatica i snega. Sve to ukazuje na potrebu odabira adekvatnog stepena prenosa pri kretanju takvim deonicama (lakše dolazi do proklizavanja točkova u nižim stepenima prenosa).



Sl. 13 – Zavisnost koeficijenta prljanjanja od brzine kretanja

U zimskom periodu pri pojavi znatnijih padavina ostaje deo snega na kolovozu (ugažen sneg) koji smanjuje korisni deo vozne površine. Pri pojavi vojne motorizovane kolone (znatni gabariti vozila) na takvim deonicama posebno je otežano kretanje ostalim učesnicima u saobraćaju (onemogućeno preticanje, pa čak i mimoilaženje).

Osim toga, pri vožnji na nizbrdicama sa zaleđenim i snegom<sup>12</sup> pokrivenim kolovozom javljaju se problemi pri zaustavljanju vozila, pa je ugrožena bezbednost kretanja. Konačno, deonice sa lošijim stanjem kolovoznog zastora (kao i usponi i oštre krivine) predstavljaju usko grlo gde dolazi do znatnog smanjenja brzine kretanja, pa je interval sleđenja isti kao i u slučaju uspona odnosno oštre krivine, s tim što na zaleđenim nizbrdicama ti intervali moraju da budu odabrani tako

<sup>12</sup> Osnovna karakteristika fizičkog stanja snega kao putnog prekrivača je njegova zapreminska masa [3], koja se određuje prema sledećem:

$$g_s = (V_s/V_w) g_w, \text{ g/cm}^3, \text{ gde je:}$$

- $V_s$ , zapremina uzorka snega ( $\text{cm}^3$ ),
- $V_w$ , zapremina vode istopljenog uzorka snega ( $\text{cm}^3$ ).
- $g_w$ , zapreminska masa vode ( $\text{g/cm}^3$ ).

Niži slojevi snega obično imaju veću zapreminsku masu. Srednja zapreminska masa snega kreće se od 0,2 do 0,45. Ostali važni parametri snega značajni za prljanjanje su koeficijent unutrašnje kohezije i koeficijent unutrašnjeg trenja.

da ne ugrožavaju bezbednost kretanja (da ne dođe do naleta vozila).

Pri kretanju brdsko-planinskim područjem često će se istovremeno javiti prethodno analizirani uslovi (npr. izrazit uspon sa oštrom krivinom, te kolovozom prekrivenim snegom i ledom). Očigledno je da će time biti višestruko ograničena mogućnost urednog kretanja, pa je obaveza organizatora i realizatora kretanja kolone u VJ da o tome vode računa i blagovremeno izvrše adekvatne pripreme (odnosno predvide takve uslove i ugrade odgovarajuća rešenja u planove kretanja), kako bi se zadaci izvršavali na vreme i bez većih poremećaja.

### Zaključak

Pri kretanju vojne motorizovane kolone brdsko-planinskim područjem uticaj putnih uslova specifično se odražava na stanje parametara saobraćajnog toka, odnosno parametara kretanja kolone (brzina, gustina, protok, intervali sleđenja itd.).

Dominantan uticaj takvih uslova ispoljava se na brzinu kretanja (a time posredno i na ostale parametre toka) što redovno dovodi do smanjenja srednje brzine kretanja. Utrošak pogonskih sredstava u uskoj je vezi sa brzinom kretanja (u principu, niže vrednosti ostvarene brzine kretanja prouzrokuju povećanje utroška pogonskih sredstava), pa je organizaciji, odnosno realizaciji kretanja u uslovima brdsko-planinskog područja potrebno posvetiti dužnu pažnju. S druge strane, ostvarene niže vrednosti brzina kretanja izazivaju probleme u odnosu na

izvršavanje namenskih zadataka (kašnjenja, povećanja vremena izvršenja zadataka, zamaranje ljudstva, itd.).

Iz izloženih razmatranja može se zaključiti da je za uredno savlađivanje deonice sa uskim grlima od posebne važnosti adekvatna dinamika kolonskog kretanja pre nailaska na usko grlo (brzina kretanja kolone, intervali sleđenja među vozilima, odnosno marševskim formacijama diskontinualne kolone).

Za organizatore i realizatore vojnog kolonskog kretanja, kao i organe za regulisanje i kontrolu vojnog putnog saobraćaja, važna su saznanja o funkcionalnoj zavisnosti intervala sleđenja od veličine uticaja određenog uskog grla, radi preduzimanja praktičnih mera i postupaka u toku realizacije zadataka.

Posebnu pažnju treba posvetiti situacijama kada se uticaji analiziranih uslova javljaju istovremeno.

### Literatura:

- [1] Opsenica, M.: Metodika regulisanja i kontrole putnog vojnog saobraćaja u ratu, magistarski rad, CVTŠ KoV, Zagreb, 1990.
- [2] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učestvom vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [3] Hinić, M.: Eksploatacija automobila u teškim uslovima, VIZ, Beograd, 1981.
- [4] Popović, Č.: Teorija kretanja neborbenih motornih vozila točkaša, lekcija, TŠC, Zagreb, 1982.
- [5] Siljanov, V. V.: Teorija transportnih potokova u projektovanju dorog i organizaciji dviženja, Transport, Moskva, 1977.
- [6] Lobanov, E. M.; Siljanov, V. V.; Sitnikov, J. M.; Sapegin, L. N.: Propusknaja sposobnost avtomobilnyh dorog, Transport, Moskva, 1970.
- [7] Tribunskij, V. M.: Režimi dviženja potokova avtomobilej i propusknaja sposobnost dorog, Trudi MAD1, 1972.
- [8] Vasiljev, A. P.: Sostojanie dorog i bezopasnost dviženja avtomobilej u složnih pogodnih uslovijah, Transport, Moskva, 1976.
- [9] Kuzović, Lj.: Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.

**Mihajlo Mihajlović,**  
dipl. inž.  
Viša tehnička škola,  
Zrenjanin

## NOSAČI AVIONA KLASSE NIMITZ

### Uvod

Nosači aviona imaju veliki značaj za ratnu mornaricu SAD. Još od vremena Drugog svetskog rata, kada je za prostranstva Pacifičkog okeana bio potreban veliki broj brodova i aviona, i kada su nosači aviona, umesto bojnih brodova, postali udarna snaga plovnih sastava, američka mornarica nastavlja sa gradnjom ove vrste brodova koji su i u vremenu sukobljavanja dva bloka tokom „hladnog rata“, pored strategijskih podmornica, bili glavni demonstrator sile. U nemalom broju lokalnih ratova i vojnih intervencija nosači aviona su odigrali ključnu ulogu.

Danas su američki nosači aviona prisutni svuda gde to američki interesi nalažu. Njihova snaga leži u velikom broju savremenih višenamenskih aviona. Plovni sastavi na čijem se čelu nalaze nosači, imaju ogromnu vatrenu moć i mogu delovati potpuno samostalno na bilo kojem akvatoriju. Politika kao i načelo „US Carriers, anythime, anywhere“ („Američki nosači aviona bilo kada, bilo gde“), jasno pokazuje da su nosači aviona „suverena američka teritorija koja se može pojaviti na bilo kom moru i bilo kada“ i nije slučajno da se u slučaju neke krize

uvek postavlja pitanje „gde je najbliži nosač?“

### Nastanak i razvoj nosača klase NIMITZ

Brodovi klase NIMITZ predstavljaju najснаžnije američke nosače aviona, a ujedno i najснаžnije ratne brodove izgrađene do danas.

Prvi brod iz klase „CVN 68“ (USS Nimitz) porinut je 13. maja 1972. godine. Opremanje broda trajalo je do oktobra 1975, kada je primljen u sastav ratne mornarice. Odmah po prijemu prvog broda, porinut je i drugi brod, „CVN 69“ (USS Dwight Eisenhower), koji je u sastavu flote od oktobra 1977. godine. Treći brod iz serije „CVN 70“ (USS Carl Winson) porinut je marta 1980, a u sastavu flote je od 1982. Četvrti brod, „CVN 71“ (USS Theodor Roosevelt), porinut je oktobra 1984, a službeno je primljen oktobra 1986. „CVN 72“ (USS Abraham Lincoln) porinut je februara 1988, a primljen novembra 1989. „CVN 73“ (USS Georg Washington) porinut je jula 1990, a primljen jula 1992. „CVN 74“ (USS John Stennis) porinut je novembra 1993, a u sastavu flote je od decembra 1995. Projekat „CVN 75“ (USS Harry S. Tru-

man) započet je aprila 1989, kobilica je položena novembra 1993, porinut je septembra 1996, a sada je u fazi opremanja. Njegove probne plovidbe počele su maja 1998, a u službenoj upotrebi je od kraja 1998. godine. Zameniče nosač „USS Independence“ sa konvencionalnim pogonom. Brod „CVN 76“ (USS Ronald Reagan) još je u fazi projektovanja, a u sastav ratne mornarice trebalo bi da stupi 2002. godine kada će zameniti nosač „USS Constellation“. Svi brodovi ove klase su izgrađeni ili se grade u brodogradilištu Newport News.

Pored toga što su to najsnažniji američki nosači aviona, oni predstavljaju i najveću posleratno građenu seriju nosača. Programom gradnje predviđeno je devet brodova, dok se deseti – „CVN 77“ još nalazi u fazi razmatranja, jer je u pitanju nova koncepcija.

U projektovanju i gradnji broda učestvovalo je oko 1 000 kompanija koje su isporučile različite komponente. Te kompanije su svrstane u „SHIP Team Members“. Neke od najznačajnijih su „General Dynamics Electric Boat Corporation“, „Bath Iron Works“, „Computer Science Corporation“, NASSCO (National Steel and Shipbuilding Company), itd.

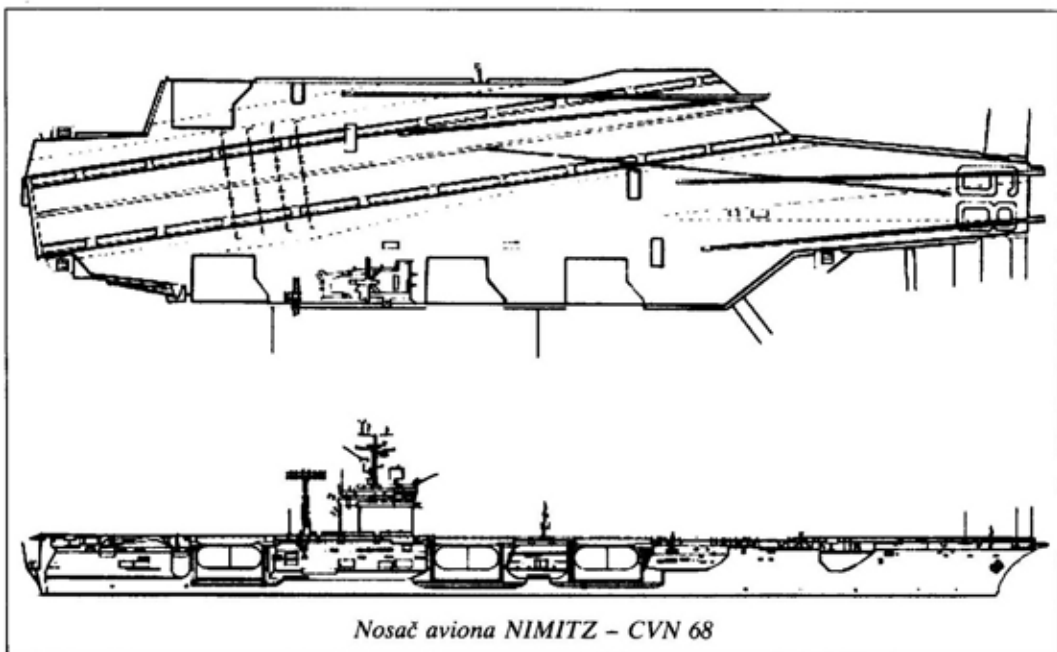
Snaga nosača nalazi se u skoro 90 aviona sposobnih za nanošenje nuklearnog udara, presretanje ciljeva u vazdušnom prostoru, napade na kopnene ciljeve, zaštitu konvoja i blisku protivpodmorničku odbranu. Vazduhoplovni sastav je optimiziran tako da pokriva sve navedene namene. Treba reći da je vazduhoplovni sastav jednog nosača Wing\* snažniji nego što su to ratna vazduhoplovstva u više od dve trećine zemalja sveta.

\* Wing – anglosaksonski ekvivalent za puk

## Projektovanje nosača klase NIMITZ

Projektovanje prvog nosača aviona klase NIMITZ započeto je sredinom šezdesetih godina. U obzir su uzeta iskustva sa prvog nosača na nuklearni pogon – „USS Enterprise“, a novi projekat se bitno razlikovao. Osnovnu razliku u pogonskoj grupi čini novi tip reaktora, „Westinghouse A4W“, tipa PWR, koji je nastao razvojem „A2W“ ugrađenom na „Enterpriseu“. Termalna snaga novog reaktora povećana je za skoro četiri puta. Toplota koju proizvode reaktori koristi se za stvaranje pare koja pogoni četiri seta zupčastih turbina „General Electric“. Snaga na parnim turbinama iznosi 193 885 kW (260 000 KS), što je omogućilo da se umesto osam „A2W“ reaktora u novi nosač ugrade samo dva „A4W“. U odnosu na stari tip reaktora, „A4W“ ima obogaćeno uranijumsko jezgro (oko 45%) koje omogućava njegovo korišćenje 20 godina, mada je predviđeno da se izmena goriva obavlja nakon 13 godina. Gabaritne mere reaktora nisu povećane proporcionalno sa snagom, tako da je korisni brodski prostor dobio na veličini u odnosu na gabarite reaktorskog prostora.

Vizuelno, brodom dominira široka paluba koja se prostire celom dužinom i širinom broda, izuzev kutijastog nadgrađa koje se nalazi na desnom boku, prema krmu. Dužina palube je oko 333 m sa završecima parnih katapulta, a širina prosečno iznosi 76 do 78 m. Paluba se sastoji od dve poletno-sletne staze, od kojih je jedna (prednja) postavljena u aksijalnoj osi broda, a druga je zakošena pod uglom od 8° u odnosu na osu broda i nalazi se na levom boku. Ostali deo palube služi kao stajanka letelicama. Najveći broj poletanja i sletanja odvija se sa



Nosač aviona NIMITZ - CVN 68

druge poletno-sletne staze. Paluba je čelična sa prosečnom debljinom 7 do 8 cm. Radi zaštite od atmosferskih uticaja, kao i od štetnih uticaja izduvnih gasova avionskih motora, obložena je posebnim materijalima i bojama.

Na nadgrađu se nalazi komandni most iznad kojeg su smešteni različiti antenski uređaji, poput radarskih antena i sistema za vezu. Da bi se izbegla interferencija ostalih sistema i poboljšale mogućnosti osmatranja, iza nadgrađa je postavljen visoki jarbol na kojem se nalazi antena osmatračkog radara za vazdušno osmatranje velikog dometa AN/SPS-43.

Ispod palube se nalazi najveći prostor na brodu – hangar, koji je namenjen za smeštaj aviona i helikoptera i njihovo održavanje. Tu su i kompletna sredstva za opsluživanje i održavanje letelica, uključujući i kapacitete za popravku i održavanje avionskih motora i elektronike. Dimenzije hangara su 226,4 × 36,3 × 7,8 m.

Centralna brodska sekcija služi za smeštaj generatora i ostalih mašina. Pogonska i propulziona grupa podeljena je na dve odvojene jedinice sa magacinima smeštenim između i ispred, prema pramcu. Ova poboljšanja u gradnji dovela su do povećanja količine avionskog goriva za 20% u odnosu na količinu goriva na nosaču „Enterprise“. Isto tako, za oko 2 510 tona povećan je i kapacitet vazduhoplovnog naoružanja i rezervnih delova.

Brod je opremljen sa četiri lifta, od kojih se tri nalaze na desnom boku, a jedan na levom, na kraju palube, prema krmi. Nosivost liftova je do 60 tona (dva aviona tipa F-14 normalne poletne mase), a njihova površina predstavlja integralnu površinu palube.

Za poletanje aviona služe parni katalpulti C 13 Mod 2, dužine 89,9 m. Dva su montirana na desnoj, prednjoj, aksijalnoj poletnoj stazi, a dva na zakošenoj. To su uređaji koji koriste visoki pritisak za povećanje brzine aviona pri poletanju.

Konstrukcija katapultu sastoji se od cilindra sa klipom koji je u čvrstoj vezi sa nosačem na kojem se nalazi priključni sklop za stajni trap aviona. Jedino je ovaj priključni deo vidljiv na palubi. Princip rada parnog katapultu sastoji se u tome da se nakon otvaranja startnih klapni u cilindru stvori pritisak pare od 6 do 8 MPa. Para koja se stvara pogonskim sistemom broda dolazi do parnog kolektora. Njenim istovremenim dejstvom na klipove u cilindrima i forsazom avionskih motora dolazi do stvaranja sile koja je 4 do 5 puta veća od sile potrebne za poletanje, i avion se u intervalu od 1,5 s ubrzava do brzine oko 250 km/h, koja je dovoljna da se ostvari uzgonska sila na krilima i obezbedi poletanje.

Pri kraju kretanja klipa u cilindru dolazi do naglog zaustavljanja kočionim cilindrom, nakon čega se oslobađa veza sa stajnim trapom, koja se, inače, ostvaruje zabravljivanjem. Povratnim priti-

skom klipovi se vraćaju u startnu poziciju i spremni su za ponovnu upotrebu.

Vreme između dva poletanja sa jednog katapultu iznosi 20 do 30 s. Položaj parnog katapultu se, vizuelno, na palubi primećuje kao prava linija, a deo pare pri lansiranju izlazi na površinu. Masa celokupnog sistema za lansiranje pomoću parnog katapultu iznosi 400 do 500 tona. Ovo uključuje, pored cilindra i klipova, i sistem za dovod pare, kolektore, kompresore, i sl. Ovakav način lansiranja omogućava poletanje aviona mase do 37 tona.

Ugradnja parnog katapultu iziskuje posebnu konstrukciju cilindra ispod palube, kao i sisteme za skladištenje i dovod pare pod pritiskom. Na početnim lansirnim mestima izvode se posebni hidraulički podizani zaštitnici, koji primaju mlaz avionskih motora, štite prostor iza aviona od vrelih gasova i povećavaju reaktivnu

*Osnovni podaci za nosače aviona klase NIMITZ*

Dimenzije:	
- dužina	332,9 m
- širina	40,8 m
- gaz	11,2 m; 11,8 m (CVN71); 11,9 (CVN 72-75)
Poletno-sletna paluba	332,9 × 76,8 m; 332,9 × 78,4 (CVN 71-75), zakošenje 8°, 4 parna katapultu
Deplasman	81 600 tona standardni; 91 485 tona puni (CVN 68, CVN 69, CVN 70); 91 385 tona (CVN 71); 102 000 tona (CVN 72-75)
Pogonska grupa	nuklearna, parne turbine snage 193 885 kW (260 000 KS); 4 osovine
Brzina	30 + čvorova
Radijus	neograničen
Posada	mornarički sastav 3 136, vazduhoplovni sastav 2 800 članova + komanda flotnog sastava 70
Vazduhoplovna komponenta (uobičajeni sastav)	20F-14 A/D TOMCAT; 40 F/A-18 HORNET; 10 S-3 A/B VIKING; 6 SH-60F SEAHAWKS; 4 E-2C HAWKEYE i 4 KA-6D avio tankera
Naoružanje	3 lansirna sistema BPDMS Mk 29, svaki sa po 8 NATO SEA SPAROW RIM-7; 3-4 (CVN 70-75) Mk 15 PHALANX 20 mm
Individualni brodovi	CVN 68 (Nimitz), CVN 69 (Dwight D. Eisenhower), CVN 70 (Carl Vinson), CVN 71 (Theodor Roosevelt), CVN 72 (Abraham Lincoln), CVN 73 (Georg Washington), CVN 74 (John C. Stennis), CVN 75 (Harry S. Truman), CVN 76 (Ronald Reagan)



silu. Površina zaštitnika čini deo palube, a njihov ugao podizanja iznosi 75°.

Za zaustavljanje aviona pri sletanju služi sistem za sletanje sa čeličnim užadima tipa Mk 7 Mod 3, koji se sastoji od tri užeta prečnika 5 cm, poprečno postavljениh na sletnu stazu, i mreže za zaustavljanje.

Ukupna visina broda, od kobilice do najvišeg jarbola, iznosi 78,33 metra (kao zgrada sa 24 sprata), a visina iznad vodene linije je 20 spratova. Kretanje brodu omogućavaju četiri bronzana propelera sa pet lopatica, pojedinačne mase 30 tona i prečnika 6,4 metra. Brod je opremljen sa dva kormila mase 50 tona i visine 8,83 metra. Za sidrenje služe dva sidra mase po 30 tona sa 634 metra dugim sidrenim lancem. Lanac se sastoji od 684 karike, mase po 165 kg.

Veličina broda je uticala i na povećanje kapaciteta goriva za avione. Brodski rezervoari imaju ukupnu zapreminu 10 600 000 litara pogonskog goriva, koje je dovoljno za 16 dana neprekidnog izvođenja operacija celokupnog vazduhoplovnog sastava.

### **Naoružanje, oprema i vazduhoplovni sastavi**

Naoružanje broda se, u početnom periodu eksploatacije, sastojalo od tri osnovna odbrambena raketna sistema Mk 25 BPDMS (Basic Point Defence Missile System), koja su tokom modernizacije zamenjena lakšim raketnim sistemima Mk 29 NATO SEA SPARROW. Ovaj sistem sastoji se od osmostrukog lansera sa dve grupe po četiri rakete RIM-7H i RIM-7M SPARROW. Za blisku odbranu od niskoletućih aviona i raketa ugrađen je sistem 20 mm „VULKAN PHALANX“ sa šestocevnim rotirajućim topom sistema „GATLING“. U toku 1975. godine, nedugo posle prijema NIMITZA

u upotrebu, pridodat je i komandni centar za protivpodmorničke avione S-3A/S-3B i S-3H. Od broda CVN 70 pa nadalje ovakvi centri su predviđeni projektom.

Elektronsku opremu čine: 3D radar SPS-48, radar za osmatranje vazdušnog prostora SPS-49(V)5, radar za vazdušno osmatranje SPS-43, radar za osmatranje površine SPS-67V, navigacioni radar SPN-64(V)9 ili SPN-66 (CVN 70-75), pet radara serije SPN za sletanje, jedan radar Mk 23 i šest Mk 57 koji rade sa tri sistema za kontrolu vatre Mk 91, mornarički taktički sistem podataka NTDS (Naval Tactical Data System), 4A, 11 i 14 data – links, sistem za elektronska dejstva sa elementima za presretanje SLQ-32(V)4, zajedno sa sistemom za elektronska protivdejstva SLQ-29(V)3, sistemom za upozorenje WLR-8 i sistemom za ometanje SLQ-17AV, četiri bacača mamaca i ometača Mk-36 Super RBOC, satelitski komunikacioni sistem OE-82, satelitski komunikacioni transiver WSC-3, i satelitski komunikacioni prijemnik SSR-1.

Dopunsku komponentu čine avioni E-2C HAWKEY, tako da se prostor oko broda kontroliše u prečniku većem od 400 km. Za zaštitu od torpeda služi tegljeni mamac SLQ-36 NIXIE (phase 1).

Vazduhoplovni sastav čini 85 do 91 avion od kojih: 20 GRUMMAN F-14, TOMCAT, 40 Mc DONELL DOUGLAS F/A-18 HORNET, 5 GRUMMAN EA-6B PROWLER, 4 GRUMMAN KA-6D EXTRUDER, 5 GRUMMAN E-2C HAWKEY, 10 LOCKHEED S-3A VIKING i 6 helikoptera SIKORSKY SH-60F & SH-60H SEA-HAWK. Zbog remonta, broj aviona je obično nešto manji i iznosi od 75 do 80.

Prva zamena goriva na USS NIMITZ započeta je 1998. godine. Pretpostavlja se da će zamena goriva, delova postrojenja i opreme trajati tri godine, a izmene će se obaviti u Refueling Complex Overhaul u Newport News brodogradilištu.

## Nosači aviona u Jadranu

Raspadom SFRJ i izbijanjem građanskog rata, a u skladu sa rezolucijom UN o blokadi SRJ, američka mornarica je u područje Jadrana poslala brodove iz sastava VI flote (Sredozemne), koju su predvodili nosači aviona klase NIMITZ. Flotu su činile još 1 do 2 raketne krstarice tipa TICONDIROGA, raketni razarač tipa ARLEIGH BURKE, razarači klase SPRUANCE, fregate klase OLIVER HAZARD PERRY sa brodovima za logistiku.

Tokom operacije „Denny Flight“ (Sprečeni let), koju su sprovodile snage NATO nad teritorijom Bosne i Hercegovine, patrolne letove izvodili su i avioni sa nosača. Posebnu ulogu imali su avioni E-2C HAWKEY za rano upozoravanje, sa nosača „Theodor Roosevelt“, koji su nadgledali područje iznad Bosne i pratili transportne avione. Protivpodmornički avioni S-3 (VIKING) nadgledali su položaje Srpske vojske i izbacivali osetljive akustičke primopredajnike pomoću kojih su pratili dešavanja i pokrete iza linija fronta, i tragali za mobilnim raketnim baterijama PVO.

Tokom operacije „Deliberate Force“ (Oslobodena snaga), u kojoj su napadani položaji vojske Republike Srpske, palubni lovci tipa F-14A bacili su na srpske položaje 11 tona bombi. Napade na ciljeve u Republici Srpskoj izvodili su i avioni F/A-18.

I u najnovije vreme, tokom pretnji vazдушnim napadima NATO na SRJ, oktobra 1998. godine nosač aviona „Dwight Eisenhower“ je uplovio u vode Jadrana. Prema američkim planovima, početni napad na položaje PVO SRJ trebalo je da izvrše brodovi i avioni iz sastava VI flote. Na ovaj nosač bilo je ukrcano 75 aviona. Avioni za rano otkrivanje E-2C obavljaju stalne patrolne misije i neprekidno sni-

maju sve emisije radarskih sistema jugoslovenske PVO. Od posebnog značaja bilo je utvrđivanje položaja mobilnih raketnih sistema KUB. Palubni avioni opremljeni su mnoštvom protivradarskih raketa za dejstvo po radarskim i raketnim jedinicama. Iako je sredinom oktobra opasnost od neposrednog vazdušnog napada na Jugoslaviju otklonjena, nosač aviona „Eisenhower“ i dalje se nalazi u istočnom Mediteranu kao stalna pretnja.

## Zaključak

Nosači aviona klase NIMITZ predstavljaju izuzetno snažne brodove i sigurno je da će u sastavu američke ratne mornarice ostati i u prvoj polovini narednog veka. Veoma su značajni jer predstavljaju „ploveće aerodrome“ sa kojih se može u bilo kom trenutku uputiti veliki broj aviona u napad ili demonstraciju vazdušne i pomorske moći.

Iako je ova klasa brodova relativno nova, za nju je planirana sukcesivna modernizacija početkom narednog veka, tako da će u sastavu američke ratne mornarice verovatno biti do 2030. godine. Sigurno je da će i u prvoj polovini narednog veka ovi brodovi činiti jezgro američkih plovnih sastava.

### Literatura:

- [1] Chant, C.: Modern Aircraft Carriers, Tiger Books International, London, 1997.
- [2] Gunston, B.: Modern Carriers, Salamander book, London, 1988.
- [3] American research: U.S. Aircraft Carriers, multimedia CD, 1995.
- [4] Mihajlović, M.: Nosači aviona i helikoptera, knjiga u pripremi.
- [5] Mihajlović, M.: Nosači aviona i helikoptera, CD.
- [6] Internet: službeni sajтови USN (Nimitz, Carl Vinson, Theodor Roosevelt).
- [7] Radić, A.: Borbeni avioni, NIU Vojska, 1997.
- [8] Radić, A.: Specijalni, školski i transportni avioni, NIU Vojska, Beograd, 1996.



## prikazi iz inostranih časopisa

### RAKETNI SISTEM BUK-M1-2\*

Krajem osamdesetih godina za protivvazdušnu odbranu jedinica kopnene vojske OS SSSR u naoružanje je uveden raketni sistem PVO BUK-M1, namenjen za uništavanje aviona, krilatih raketa i helikoptera. Međutim, razvoj sredstava za napad iz vazdušnog prostora, posebno za koncentrisane napade, izbacio je u prvi plan niz taktičkih balističkih raketa i oružja visoke preciznosti, prvenstveno avionske i protivradarske rakete, kao i upravljane avionske bombe. Zbog toga je zadatak konstruktora da usavrše BUK-M1 kako bi bio u stanju da uništava taktičke balističke rakete i oružja visoke preciznosti.

*Univerzalan, višenamenski raketni sistem*

Polazeći od iskustva KoV i RM, ukazala se potreba da raketni sistem PVO BUK-M1 dejstvuje po slabokonstrastnim ciljevima na vodi (kao što su torpedni čamci, fregate, torpedni razara-

či) i ciljevima na zemlji (kao što su radari, raketna lansirna oruđa, avioni na zemlji, komandni centri i sl.) radi povećanja odbrambene sposobnosti grupacija KoV u priobalnim područjima pri odbijanju napada protivnika u desantnim operacijama.

U periodu od 1994. do 1997. godine, u nizu firmi vojnoprivrednog kompleksa u Rusiji, na osnovu raketnog sistema PVO BUK-M1 obavljani su radovi na projektu univerzalnog, višenamenskog raketnog sistema, koji se može upotrebiti u sistemima protivvazdušne, protivra- ketne i obalske odbrane.

U tom procesu došlo je do suštinske modernizacije, posebno softverske podrške, elemenata raketnog sistema BUK-M1, uključujući i raketu. Tako dobijeni novi sistem dobio je oznaku BUK-M1-2. Sistem je namenjen za protivvazdušnu odbranu grupacija KoV i objekata od savremenih i budućih taktičkih i strategijskih aviona velike brzine i visokih manevarskih karakteristika, helikoptera za vatreanu podršku, kao i taktičkih balističkih raketa, krilatih raketa i raketa vazduh-vazduh, u uslovima maskiranja njihovog dejstva, primenom intenzivnih elektron-

\* Prema podacima iz časopisa VOENNIJ PARAD, septembar-oktobar 1998.

skih ometanja i protivelektronskih borbena dejstva, kao i za dejstvo protiv ciljeva na vodi i kopnu.

### *Sastav sistema BUK-M1-2*

Visoka vatrena moć, postignuta uz pomoć šest lansirnih oruđa, garantuje uništavanje ciljeva koji istovremeno dolaze sa raznih strana i na raznim visinama. Raketni sistem PVO BUK-M1-2 obuhvata:

- komandnu stanicu,
- radar za otkrivanje i vođenje ciljeva,
- šest samohodnih vatrenih oruđa,
- tri oruđa za lansiranje i pretovar raketa, koja su pridodata samohodnim vatrenim oruđima,
- vođene rakete zemlja-vazduh 9M317, smeštene na samohodnim vatrenim oruđima (4 na svakom) i na oruđima za lansiranje i pretovar raketa (8 na svakom, od čega 4 na lanserima i 4 na transportnom položaju).

Taktičko-tehničke karakteristike raketnog sistema PVO BUK-M1-2, u poređenju sa već dobro poznatim raketnim sistemom PVO BUK-M1 koji je bio osnova za ovaj sistem, i raketnim sistemom EUROSAM koji projektuju zapadnoevropske zemlje, prikazane su u tabeli. Takve karakteristike postignute su, pre svega, zahvaljujući raketi zemlja-vazduh tipa 9M317, kao i novom sistemu za upravljanje gađanjem, što je zasnovano na novim konstrukcijskim i programskim (softverskim) rešenjima u komandnoj stanici, samohodnom lansirnom oruđu i oruđu za lansiranje i pretovar raketa.

### *Modernizacija sistema*

Do najvećih promena došlo je u softveru komandne stanice radi obezbe-

đenja mogućnosti gađanja taktičkih balističkih aketa kao i efikasnije organizacije gađanja. Osim toga, u glavu za samonavođenje rakete, koja radi na principu Doplerovog efekta, i bila je u stanju da izdvaja pokretne ciljeve iz odraza od nepokretnih objekata, ugrađen je princip razdvajanja ciljeva po radarskom kontrastu (amplitudni metod), radi obezbeđenja dejstva po sporim ciljevima kakvi su na vodi i na zemlji. To je naročito efikasno pri dejstvu po ciljevima na vodi, kada nema odraza od nepokretnih objekata kada je refleksija signala od površine vode mala a efektivna refleksna radarska površina ciljeva na vodi relativno velika (raketni čamac više od 50 m<sup>2</sup>, a torpedni čamac do 1 500 m<sup>2</sup>).

Uzimajući u obzir visok nivo refleksija pri talasanju mora, i znatne refleksije pri dejstvu po ciljevima na kopnu, razvijeni su specijalni algoritmi za formiranje trajektorije navođenja na cilj i obezbeđenje optimalnog ugla prilaza površi, radi minimizacije refleksija od velikih površi, a izmenjen je i metod i sistem zahvata ciljeva na vodi i kopnu.

Stvarna ispitivanja raketnog sistema PVO BUK-M1-2, u toku kojih su uspešno uništeni ciljevi na vodi (minolovac usidren na 12 km od obale) i kopnu (avion strategijske avijacije Tu-16 na stajanci aerodroma udaljenoj 5-7 km, lansirni uređaji, kao i taktičke balističke i krilate rakete), potvrdili su visoku efikasnost, univerzalnost i višestrukost namene ovog sistema. Raketni sistem PVO BUK-M1-2 u stanju je da uništava, pored ciljeva u vazдушnom prostoru (uključujući taktičke balističke i protivradarske rakete), ciljeve na kopnu i ciljeve na vodi u priobalnom pojasu.

Uporedni prikaz taktičko-tehničkih karakteristika

Karakteristika	Tip raketnog sistema srednjeg dometa		
	BUK-M1	BUK-M1-2	Eurosam
1. Mogućnost uništenja ciljeva	Avioni TA, SA, helikopteri, KR	Avioni TA, SA, helikopteri, KR, TBR, rakete vazduh-vazduh, elementi visokopreciznih oružja, ciljevi na vodi, ciljevi na kopnu	Avioni TA, SA, helikopteri, KR, TBR, protivradarske rakete
2. Granice zone uništenja (km)			
2.1. Avioni tipa F-15 u doletu			
– po daljini	3–35	3–45	3–35
– po visini	0,015–22	0,015–25	0,015–20
2.2. TBR tipa LENS (Lance)			
– po daljini	nema mogućnost	do 20	do 20
– po visini	nema mogućnost	2–16	nema podataka
2.3. PRR tipa HARM			
– po daljini	nema mogućnost	do 20	nema podataka
– po visini	nema mogućnost	0,1–15	nema podataka
2.4. KR tipa ALKM			
– po daljini	20–25	30–35	nema podataka
2.5. Ciljevi na vodi tipa torpedni razarač			
– po visini	nema mogućnost	3–25	nema podataka
2.6. Ciljevi na kopnu tipa avion na stajanci, lansirno oruđe, veliki komandni centri	nema mogućnost	10–15	nema mogućnost
3. Verovatnoća uništenja cilja jednom raketom			
– avion tipa F-15, koji ne manevriše	0,7–0,85	0,8–0,95	0,7–0,85
– TBR tipa LENS	–	0,5–0,7	–
– PRR tipa HARM	–	0,5–0,7	–
– KR tipa ALKM	0,4	0,5–0,7	–
4. Vreme pripreme za dejstvo (min)	5	5	15

TA – taktička avijacija,  
SA – strategijska avijacija,  
KR – krilate rakete,

TBR – taktičko balističke rakete,  
PRR – protivradarske rakete



S. Pokorni

## BUDUĆNOST KRSTAREĆIH RAKETA TOMAHAWK\*

Ako američki Kongres odobri Mornarici SAD planiranu nabavku od 1 353 taktičke krstareće rakete TOMAHAWK, tada bi Ministarstvo odbrane Velike Britanije dobilo mogućnost da nabavi preko 100 krstarećih raketa TOMAHAWK Block III, namenjenih za napad na zemaljske ciljeve (TLAM – Tomahawk Land Attack Missile) koje bi se u tom slučaju pojavile kao višak.

Prema postojećim planovima, proizvodnja TLAM u fabrikama „Raytheon Missile Systems Company“ u Tusconu (Arizona) trebalo bi da bude obustavljena nakon isporuke poslednje serije od 100 raketa Block III. Američka mornarica planira da tada započne sa programom usavršavanja i temeljite prepravke 577 raketa TLAM Block III u Block IV u narednih pet godina. Program (TBIP – Tomahawk Baseline Improvement Programme) obuhvata uvođenje sistema za navigaciju pomoću globalnog sistema za pozicioniranje (GPS – Global Positioning System) otpornog na ometanje, novog satelitskog linka za prenos podataka i nove avionike. Novu verziju TOMAHAWKA zajednički će finansirati sektori RM SAD zaduženi za razvoj podmornica i površinskih ratnih brodova. Modifikacija se sastoji u rekonstrukciji rakete koja ima za cilj smanjenje troškova životnog ciklusa i bitno poboljšanje karakteristika oružnog sistema obuhvaćenih programom TBIP.

Taktička raketa TOMAHAWK neće moći da se lansira iz torpednih cevi na podmornicama, jer će se koristiti jeftinija osnovna konstrukcija rakete koja ne

može da izdrži naprezanja pri lansiranju ispod površine vode. Za novu varijantu rakete predviđeno je lansiranje sa vertikalnih lansera na podmornicama i sa lansera na površinskim brodovima.

Ako se odobri nabavka nove količine taktičkih raketa TOMAHAWK, podmorničke snage RM SAD dobiće dovoljne količine raketa varijante Block III koje će biti višak na površinskim brodovima, pa bi se po vrlo povoljnim cenama mogao prodati RM Velike Britanije.

Ako Kongres ne odobri novu nabavku krstarećih raketa TOMAHAWK, osetiće se njihova nestašica koja može da ugrozi visoke operativne zahteve za ovom vrstom vrlo efikasnog oružja, koje u konstelaciji novih odnosa među svetskim silama i sve izrazitijoj ulozi SAD kao svetuskog policajca, ima izuzetnu ulogu u discipliniranju neposlušnih režima i zemalja. Ratna mornarica Velike Britanije je već dostavila zahtev za nabavku 65 ovih raketa, ali se očekuje da će naručiti i dodatnih 200 komada za podmorničke snage koje ove rakete lansiraju iz torpednih cevi.

Verzija taktičke rakete TOMAHAWK imaće sledeće karakteristike:

- znatno povećan domet od oko 1 600 nm (oko 2 850 km);
- kameru za osmatranje cilja neposredno pre udara ili za ocenjivanje efekata dejstva rakete posle raketnog udara;
- mogućnost preusmeravanja rakete na drugi cilj u toku samog leta;
- mogućnost trosatnog krstarećeg zadržavanja u vazduhu u okviru 400 nm (oko 720 km) radi eventualne vatrene podrške;
- mogućnost trenutnog odziva na komandu sa zemlje;
- mogućnost da nosi različite bojne glave, kao što su BAT, firme Northrop Grumman, sa protivoklopnom potkali-

\*Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENSE WEEKLY, 22. april 1998.

barnom municijom ili probojne glave (penetratore) za teško utvrđene objekte kao što je britanska BROACH.

Smatra se da će cena proizvodnje nove verzije Block IV biti 1,4 miliona dolara, a sama prepravka 800 000 dolara. Međutim, u serijskoj proizvodnji cena jedne taktičke rakete TOMAHAWK biće garantovana i iznosiće 569 000 dolara. Troškovi životnog veka biće znatno smanjeni, a u slučaju da bude naručena količina od 1 353 komada za ovaj kontingent biće smanjeni za 400 miliona dolara. U slučaju da sve rakete verzije TLAM budu zamenjene taktičkom varijantom, projektozna ušteda na troškovima životnog veka iznosiće milijardu dolara.

M. Savanović



## ŠLEM ZA ARTILJERIJSKO- -RAKETNE SISTEME\*

Savremena taktika napada iz vazdušnog prostora na grupacije jedinica, kolone na maršu i posebno važne objekte u sistemu protivvazdušne odbrane (PVO) karakteriše se, po pravilu, koncentrisanim naletima avijacije uz primenu oružja visoke preciznosti (OVP), obično iz nekoliko pravaca prikriveno, korišćenjem karakteristika terena, letenjem na vrlo malim visinama i uz primenu aktivnog i pasivnog ometanja u svim spektralnim opsezima. Taktika upotrebe sredstava za napad iz vazdušnog prostora pažljivo se priprema pronalazeći slabe tačke u protivvazdušnoj odbrani. Radi povećanja iznenađenja, takvi napadi često se izvode noću i u nepovoljnim meteorološkim uslovima. To pred savremene artiljerijsko-

-raketne sisteme postavlja veoma složene zahteve: minimalno vreme reakcije, dejstvo po različitim ciljevima, analizu i izbor najopasnijeg cilja, efikasnu zaštitu od ometanja, efikasno prilagođavanje sistema upravljanja novim taktičkim postupcima pri izvođenju borbenih dejstava uz upotrebu različitih uređaja za ometanje. Da bi artiljerijsko-raketni sistemi mogli upravljati raketnim i artiljerijskim oružjem moraju biti opremljeni radarskim uređajima za neprekidnu analizu složene situacije u vazdušnom prostoru, odnosno sistemom za praćenje ciljeva i upravljanje oružjem.

Ruska firma Fazotron-NIIR razvila je, koristeći savremenu tehnologiju, minijaturni visokointegrirani, otporan na smetnje, sistem za praćenje ciljeva i upravljanje oružjem, pod nazivom ŠLEM, za savremene artiljerijsko-raketne sisteme koji su sada u naoružanju nekih država.

Osnova tog sistema je radar koji funkcioniše u dva talasna opsega, i obezbeđuje dejstvo artiljerijsko-raketnih sistema po širokom spektru ciljeva: avionima, helikopterima, bespilotnim letelicama, oružjima visoke preciznosti i pokretnim ciljevima na zemlji. Sistem ŠLEM, odnosno sistem za praćenje ciljeva i upravljanje oružjem, obezbeđuje otkrivanje ciljeva (na osnovu podataka dobijenih od različitih drugih informacionih senzora i sistema), automatski zahvat cilja, praćenje i predaju koordinata odabranog cilja artiljerijsko-raketnom oružju, raspoznavanje vrste ciljeva, određivanje koordinata vođenih raketa zemlja-vazduh, formiranje komandi za upravljanje i njihov jednovremeni prenos na nekoliko raketa (do tri), koje se navode na dva cilja. Predviđeno je i goniometriisanje izvora aktivnih smetnji i predaja koordinata boj-

\* Prema podacima iz časopisa VOENNIJ PARAD, septembar-oktobar 1998.

nim sredstvima sistema, radi dejstva po izvoru smetnji.

Radi povećanja rezolucione sposobnosti i tačnosti određivanja položaja cilja, sistem za praćenje ciljeva i upravljanje oružjem istovremeno radi u dva proširena talasna opsega (centimetarskom i milimetarskom) uz upotrebu jednog antenskog sistema. Centimetarski talasni opseg obezbeđuje veću daljinu zahvata cilja pri prelasku na automatsko praćenje, u poređenju sa milimetarskim opsegom, zbog većeg energetskeg potencijala, a omogućuje i veću daljinu dejstva u uslovima atmosferskih padavina. Objedinjavanje ta dva talasna opsega povećava zaštitu od smetnji i pouzdanost sistema ŠLEM u odnosu na bilo koji talasni opseg zasebno.

Optimalnom obradom signala i korišćenjem predajnika veće snage obezbeđen je maksimalni energetskeg potencijal za dejstvo po ciljevima sa malom radar-skom refleksnom površinom (kao što su oružja visoke preciznosti).

Primenom snažnog računara otvorene arhitekture, koji se sastoji od signalnog procesora i procesora podataka sa mogućnošću programiranja povezanog sa centralnim digitalnim računarom oružnog sistema, realizovani su digitalna obrada signala, algoritmi borbenog rada i funkcionalna kontrola ispravnosti (dijagnostika).

Radi obezbeđenja visoke tačnosti navođenja artiljerijsko-raketnog oružja, posebno pri dejstvu po ciljevima koji lete na veoma malim visinama, kao i povećanja zaštite od smetnji, ovaj radarski sistem za praćenje ciljeva i upravljanje oružjem povezan je sa optoelektronskim sistemom automatskog praćenja ciljeva i postavljanja pravca raketa. Sistem, takođe, može da funkcioniše dok je artiljerijsko-raketno oruđe u pokretu.

Pri istovremenom dejstvu artiljerijsko-raketnog sistema po više ciljeva, pri odbijanju grupnog naleta, sistem ŠLEM formira komande upravljanja raketom za autonomno antensko-optičko komandno mesto sa optoelektronskim sistemom automatskog praćenja ciljeva i postavljanja pravca raketa sa posebnog predajnika preko dopunske antene, postavljene na antensko-optičkom komandnom mestu.

Sistem ŠLEM je izrađen modularno, što olakšava njegovo smeštanje na bilo koje transportno sredstvo, i konstruktivno je izrađen u obliku:

– *modula 1*, koji se sastoji od: osnovne antene za dva talasna opsega, uređaja za vertikalno i horizontalno navođenje i stabilizaciju; antene za uvođenje rakete u snop zračenja osnovne antene, koja radi dok je raketa na početku putanje; predajnika i sintetizatora učestanosti centimetarskog i milimetarskog talasnog opsega; visokofrekventnih i međufrekventnih prijemnih uređaja za centimetarski i milimetarski talasni opseg; bloka za sinhronizaciju i spregu navedenih uređaja međusobno i sa drugim uređajima u sistemu ŠLEM;

– *modula 2*, koji čine: blok pojačavača međufrekvencije; kombinovani digitalni prostor signala; blokovi upravljanja uređajima za navođenje i stabilizaciju; blok sinhronizacije i formiranja komandi za upravljanje vođenom raketom zemlja-vazduh; blok sekundarnog napajanja; predajnik komandi upravljanja vođenom raketom zemlja-vazduh na antensko-optičko komandno mesto.

Sistem ŠLEM čine i uređaj za napajanje i sistem tečnog hlađenja predajnika, koji su predviđeni za postavljanje u artiljerijsko-raketni sistem.

Može se reći da visoka prostorna rezolucija sistema ŠLEM, postignuta ko-



rišćenjem antenskog sistema koji radi u dva talasna opsega, visoka rezoluciona sposobnost po daljini i brzini, kvalitetno prigušivanje pasivnih smetnji, visoke energetske mogućnosti predajnika, kao i kompatibilna i jednovremena obrada signala informacionih kanala omogućava postizanje visoke tačnosti određivanja

koordinata ciljeva i raketa, čak i u složenim uslovima kao što su aktivne i pasivne smetnje, što bitno povećava borbenu efikasnost artiljerijsko-raketnog sistema. Sistem ŠLEM se može koristiti na artiljerijsko-raketnim sistemima instaliranim na različitim tipovima vozila (guseničari, točkaši), kao i na brodovima.

*Osnovne taktičko-tehničke karakteristike sistema ŠLEM*

Vrsta cilja	avioni, krilate rakete, oružja visoke preciznosti uključujući i protivradarske rakete, ciljevi na zemlji
Daljina zahvata aviona efektivne refleksne površine 2-3 m <sup>2</sup> , (km)	30
Zona praćenja (°): - po elevaciji - po azimutu - kada se okreće kupola artiljerijsko-raketnog sistema	-5 do +82 -50 do +50 0 do 360
Greška određivanja koordinata cilja i rakete: - ugaonih koordinata (mrad) - po daljini (m)	0,2-0,3 5,0
Sistem navođenja rakete zemlja-vazduh	radio-komandni
Rafalna paljba raketama	da
Dejstvo u pokretu	da
Ugrađen sistem kontrole sistema ŠLEM	da
Sredstva zaštite od smetnji:	predviđen je širok spektar hardverskih i softverskih rešenja i metoda zaštite od smetnji, u skladu sa dostignućima vojne tehnike u svetu

S. Pokorni



## NOVI RADAR ZA AVION MiG-23\*

Lovački avion MiG-23 prvi je ruski avion s promenljivom geometrijom krila, a proizveden je krajem šezdesetih godina. Imao je ugrađen radar SAFIR-23, firme „Fazotron-NIIR“. MiG-23 proizvodio se u periodu od 1969. do 1984. godine, i nalazi se u naoružanju ratnih vazduho-

plovstava 25 zemalja. Njegove karakteristike kao što su mala brzina pri sletanju sa raširenim krilima i velika brzina u borbi sa skupljenim krilima davale su mu prednost u svim uslovima upotrebe.

Višenamenski avionski radar SAFIR-23 bio je tih godina prvi koji je obezbeđivao izdvajanje ciljeva na zemlji, koristeći režim selekcije pokretnih ciljeva. Međutim, zbog smanjenja radarske refleksne površine (povećanja steltnosti)

\* Prema podacima iz časopisa VOENNIJ PARAD, jul-avgust 1998.

lovačkih aviona nove generacije, nemogućnosti avionskog radara SAFIR-23 da upravlja raketnim naoružanjem koje koristi druge frekventne opsege, kao i zbog toga što ovaj radar nema digitalni računar, mogućnosti aviona MiG-23 ne odgovaraju savremenim zahtevima.



Višenamenski avionski radar MOSKIT-23

Zbog toga se na ovom avionu sprovodi racionalna modernizacija kojom je povećana efikasnost elektronske opreme, čime se obezbeđuje korišćenje visokopreciznog raketnog i bombarderskog naoružanja. Time se MiG-23 ponovo svrstava u red savremenih aviona koji su projektovani znatno kasnije. Osnovu te modernizacije treba da predstavlja zamena avionskog radara SAFIR-23 novim avionskim radarom MOSKIT-23 ili MOSKIT-21K, koje projektuje i izrađuje firma „Fazotron-NIIR“. Prvobitna ideja bila je ugradnja avionskog radara SUPER-KOPJE, ali je u zajedničkoj analizi sa koncernom MiG, pri razmatranju varijanata razmeštaja i sprežanja sa avionom, ipak ocenjeno da je varijanta sa savremenijim avionskim radarom MOSKIT pogodnija.

Na taj način su koncern MiG i firma „Fazotron“ sada u stanju da lovački avion MiG-23 ponovo pretvore u savremeni višenamenski moćni sistem, sposoban da pouzdano štiti vazdušni prostor, i bude

ofanzivno oružje za udare po ciljevima u vazdušnom prostoru, na kopnu i moru.

Predložene su tri varijante modernizacije ovog aviona, pri čemu se pruža mogućnost izbora varijante zavisno od raspoloživih sredstava i potrebnog nivoa modernizacije, a u skladu sa zadacima za koje je avion namenjen. Sa koncernom MiG usaglašavaju se radovi koje je potrebno izvesti da bi se resurs aviona produžio do 2010. godine.

*Prva varijanta modernizacije* pretpostavlja zamenu avionskog radara SAFIR-23, ili njegove modifikacije, avionskim radarom MOSKIT-23, koji se postavlja u nosni deo aviona na mesto gde se nalazio osnovni blok radara SAFIR-23 (antena, prijemnik, predajnici).

Avionski radar MOSKIT-23, osim osnovnih režima rada koje ima radar SAFIR-23, poseduje i:

- režim *vazduh-vazduh*:
- osmatranje i praćenje;
- praćenje osam ciljeva uz jednovremeni napad na dva cilja;
- bliski boj.
- Režim *vazduh-zemlja*:
- mapiranje (kartografija) pri otkrivanju ciljeva na kopnu (moru) sledećim metodama:
  - realnim snopom,
  - doplerovskim snopom,
  - sintetizovanjem otvora antene;
  - otkrivanje pokretnih ciljeva na kopnu (moru);
  - merenje daljine do zemlje.

Avionski radar MOSKIT-23 spreže se sa savremenim raketama klase vazduh-vazduh: R27R(T), RVV-AE, R-73 i omogućava upotrebu raketa R233T, R24T, raketa klase vazduh-zemlja: X-31A, kao i bombi KAB500KP, NRS, SPV i aviobombi.

Opremanje aviona MiG-23 višenamenskim avionskim radarom MOSKIT-23 povećava efikasnost ovog aviona zbog:

- povećanja daljine otkrivanja ciljeva u vazdušnom prostoru do 90 km;
- korišćenja režima mapiranja i upotrebe protivbrodskih raketa X-31A sa glavama za aktivno samonavođenje, sa daljinom lansiranja do 100 km na ciljeve na moru, kao i korišćenje bombi KAB500KP.

*Druga varijanta modernizacije* ne predviđa zamenu radara SAFIR-23, već dodavanje avionskog radara MOSKIT-21K u podvesnom kontejneru, zbog čega nije potrebna dorada na avionima MiG-23, MiG-23BN, MiG-27. Radar MOSKIT-21K, kao i MOSKIT-23, spreže se sa novim naoružanjem.

Opremanje aviona višenamenskim avionskim radarom MOSKIT-23 povećava efikasnost zbog:

- povećanja daljine otkrivanja ciljeva u vazdušnom prostoru do 50 km i

upotrebe kompleta raketa vazduh-vazduh: RVV-AE, R27R(T), R73;

- korišćenja režima mapiranja i protivbrodskih raketa X-31A sa glavama za aktivno samonavođenje, sa daljinom lansiranja do 50 km na ciljeve na moru, kao i korišćenje bombi KAB500KP, NRS, SPV i aviobombi.

*Treća varijanta modernizacije* takođe ne predviđa zamenu radara SAFIR-23 već ugradnju kanala radio-korekcije FRC u nosnom delu aviona, čime se omogućava, pored postojećeg naoružanja, korišćenje i savremenih raketa RVV-AE sa glavom za aktivno samonavođenje, kao i raketa R-27T i R-73E. Opremanjem aviona raketama RVV-AE, umesto raketa R23R i R24R, povećava se domet lansiranja u susretnom boju do 50 km.

Dopuna prvog i trećoj varijanti modernizacije može biti ugradnja uređaja za aktivno ometanje koji se spreže sa avionskim radarom.

*Taktičko-tehničke karakteristike avionskih radara koji se koriste u modernizaciji aviona MiG-23*

Varijanta modernizacije	Tip radara	Daljina otkrivanja (km)		Uglovi praćenja (°)		Rastojanje do centra mape pri mapiranju (km)	Tip rakete
		Prednja polusfera	Zadnja polusfera	Po azimutu	Po daljini		
MiG-23-98-1	MOSKIT-23	90	40	±60	±60	150	RVV-AE, R-27R(T), R-73E, X-31A, R23T, R24T
MiG-23-98-2	MOSKIT-21K	45	20	±40	±40	150	"
MiG-23-98-3	SAFIR-23	50	40	±60	±60	-	R23R(T), R24R(T)
	S kanalom FRC	-	-	±60	±60	-	RVV-AE

S. Pokorni



## OSNOVNI TRENDOVI U AVIO- -INDUSTRIJI 21. VEKA\*

Ako se analizira sadašnja cena novog borbenog aviona i trend stalnog porasta cene pri razvoju novih tipova, pa se taj trend ekstrapolira u budućnost i uporedi sa trendom rasta vojnog budžeta, dolazi se do apsurdnog zaključka da bi se 2054. godine za ceo iznos sadašnjeg američkog vojnog budžeta mogao nabaviti samo jedan taktički borbeni avion. To bi se moglo desiti ukoliko se ne promeni sadašnji pristup u razvoju i projektovanju borbenih aviona. Da se to ne bi desilo, nešto se mora bitno promeniti, a to će u narednom veku biti glavni izazov, kako avio-industriji, tako i američkoj vladi. U suprotnom opstaće samo one industrijske grane i fabrike koje se budu mogle prilagoditi, dok će ostale „izumreti“.

Pored dugoročnog trenda povećanja jedinične cene borbenog aviona postoje srednjoročni i kratkoročni trendovi koji bitno utiču na vojne potencijale i industriju.

Srednjoročni trend je direktno vezan za razvoj i proizvodnju poluprovodničkih integrisanih kola. U poslednjoj četvrtini ovog veka, svakih 18 meseci, memorijski kapacitet ovih kola se udvostručavao, a svakih 13 meseci njihova cena je padala za 50%. Dakle, postojao je trend povećanja mogućnosti i trend smanjenja cena. Međutim, prednost je data trendu povećanja mogućnosti u odnosu na trend smanjenja cena, što je dovelo do toga da većina zemalja širom sveta danas troši oko 40% vojnog budžeta na nabavku elektronskih sredstava.

Kratkoročni trend je vezan za kraje hladnog rata, i imao je najveći uticaj

na budućnost industrije. Tako, na primer, ako je vojni budžet rastao ili padao za 1%, nabavke su rasle ili padale za 2%. Generalno gledano, vojni budžeti zemalja širom sveta imali su tendenciju smanjivanja.

Nakon sprovedenih analiza može se zaključiti da je jedan od najboljih načina za uravnoteženje ekonomskih trendova korišćenje starije opreme, koja se može nadograditi primenom usavršenih tehnoloških rešenja. Ova pojava može se opisati kao trka između promena u tehnologiji i promena u ekonomiji, da bi se videlo koja od njih će prevladati. Implikacije ove trke od suštinskog su značaja za vojsku, jer će još vrlo kratko vreme moći sebi da dozvoli „luksuz“ da u strateškim operacijama koristi veliki broj borbenih aviona, kao što je to danas slučaj.

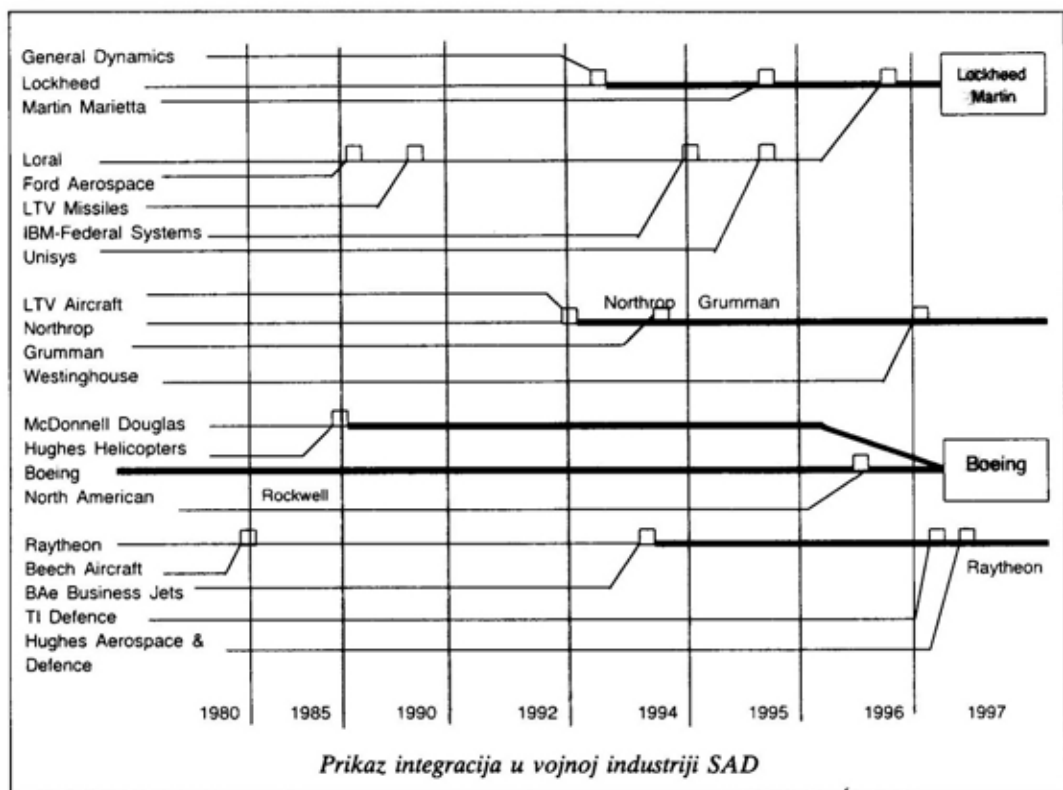
Rešenje problema tražiće se u redukciji obima snaga i izvođenju operacija na najracionalniji način.

Posledice ovakvih trendova u budućnosti biće takve da će sve više kompanija u svetu biti na raspolaganju sve manjim vojnim budžetima. Ova činjenica determinisaće strategiju prilagođavanja kompanija za kombinovanje proizvodnih programa, i zatvaranja fabrika koje neće biti u stanju da proizvedu kritičnu masu proizvoda i angažuju dovoljno sredstava na istraživanje i razvoj koji će ih zadržati u vodećoj grupi.

Za ilustraciju izloženih trendova može poslužiti primer SAD, gde su se vodeće kompanije za proizvodnju vojne opreme u poslednjih 20 godina intenzivno integrisale, tako da sada praktično postoji samo nekoliko velikih kompanija. Međutim, postoje i drugi putevi kojima se u industriji može uticati na postojeće trendove, a to su:

– povećanje nivoa međunarodne

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, (Defence Industry report), july, 1998.



kooperacije radi smanjenja troškova razvoja i proizvodnje jedinice proizvoda;

- primena komercijalnih tehnologija u sektoru vojne industrije, kao načina za smanjenje troškova razvoja i rizika;

- usmeravanje istraživanja i razvoja u područja na kojima je moguć najveći tehnološki napredak;

- potenciranje generalnog smanjenja troškova;

- više aktivnosti na prototipima i demonstratorima tehnoloških principa pomoću kojih se mogu testirati koncepti, taktike, hardveri i softveri;

- stavljanje težišta na nadogradnje koje mogu produžiti vek osnovnih platformi i poboljšati upotrebnu vrednost borbenih sistema.

M. Savanović



# tehničke novosti i zanimljivosti

## PROTIVTENKOVSKO ORUŽJE MBT-LAW\*

Novi prenosni protivtenkovski sistem MBT-LAW (Main Battle Tank – Light Anti-tank Weapon) razvijen je u saradnji firmi „Bofors Anti-Armor Systems“ i „Bofors Missiles“. Sistem je već uveden u operativnu upotrebu armija Velike Britanije i Holandije, kao zamena dosadašnjih sistema koji nisu efikasni u borbi protiv poslednje generacije osnovnih borbenih tenkova.

Umesto pokušaja da probija visoko zaštićeni čeonu deo na tenkovima, „Bofors“ je odlučio da razvije bojnu glavu za napad iz gornje polusfere, kao što je to već učinjeno sa protivtenkovskom vođenom raketom BILL 1 dometa 2 000 m. Radi redukcije vremena i troškova, novo oružje LAW koristi podsisteme koji se već proizvode za ostala oružja. Na primer, to se odnosi na dve kumulativne bojne glave iz poslednje verzije vođene rakete BILL 2, dok je lansirni sistem preuzet iz nove bojne glave AT4 CS (confined space). Projektil je opremljen

sa dve bojne glave, prednje veće, prečnika 150 mm i manje prečnika 84 mm. Prednja probija eksplozivni reaktivni oklop, omogućavajući, na taj način, manjem punjenju da probije osnovni oklop tenka. Razvijen je novi sistem blizinskog upaljača, a naglašena njegova mala osetljivost na ometanje.

Pored toga što je razvijen za dejstvo iz gornje polusfere i napad na tenkove i ostala teška oklopna vozila, oružje LAW se može koristiti i u direktnoj borbi protiv lakih vozila i fortifikacijskih objekata na bojištu. Operator ima mogućnost izbora dejstva iz gornje polusfere ili za direktan napad.

Malo pogonsko punjenje pokreće projektil iz lansera početnom brzinom od 50 m/s, a glavni pogonski motor na čvrsto gorivo povećava tu brzinu na 300 m/s.

Spreman za upotrebu, LAW ima masu manju od 12 kg i maksimalnu dužinu od 1 m. Lansirna cev je od kompozitnog materijala i na njoj se nalazi postolje dnevnog nišana, a tronožac se koristi kao oslonac prednjem delu oružja. Lanser je namenjen za jednokratnu upotrebu, a predviđena je i mogućnost ugradnje noćnog nišana.

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 22. juli 1998.

## NOVI PROTIVOKLOPNI PROJEKTIL FIRME „BOFORS“\*

„Bofors“ je patentirao novi protivoklopni projektil koji koristi startni motor za ubrzavanje neeksplozivnog pancirnog penetratora do supersonične brzine, pre nego što dođe do susreta sa ciljem. Patent predviđa mogućnost da se projektil pre ispaljivanja može podesiti za različite vrste ciljeva kao što su oklopljena ili neoklopljena vozila. Pri dejstvu na oklopljene ciljeve startni motor se neposredno pre udara u cilj odvaja od penetratora, pojačavajući tako efekat na cilj, a pri dejstvu na neoklopljene ciljeve on ostaje spojen sa bojnomo glavom, čime se pojačava dejstvo na tu vrstu cilja.

M. S.



## SAMOHODNI PROTIVTENKOVSKI TOP 2S25\*\*

U Rusiji je razvijen prototip novog samohodnog protivtenkovskog topa 125 mm (SPAGT), industrijske oznake 2S25. Osnovno naoružanje 2S25 predstavlja novi top 125 mm sa glatkom cevi, označen kao 2A75, sa ekstraktorom dima, ali bez gasne kočnice.

Top 2A75 se zasniva na seriji glatkocevnih topova 125 mm koji se ugrađuju u ruske osnovne borbene tenkove, počevši od T-62 pa do T-72, T-80 i T-90, ali sa modifikovanim trzajućim sistemom, tako da se može ugraditi na mnogo lakše šasijske. Top 2A75 koristi familiju municije koja se odvojeno puni (projektil i punje-

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, (Defence Industry Report) jul, 1998.

\*\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 19. avgust 1998.

nje) kao i kod serije glatkocevnih topova 2A46.

U sadašnjoj fazi razvoja još nije poznato da li top 2S25 koristi i laserski vođene projektele dometa 4000 m, koji se ispaljuju iz sadašnjih ruskih tenkova. Kao i svi osnovni ruski borbeni tenkovi naoružani topom 125 mm, top 2S25 je verovatno opremljen automatskim punjačem, što omogućava da posada vozila ima tri člana – komandira, nišandžiju i vozača.

Podrazumeva se da standardna oprema uključuje kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom, NHB sistem i opremu za noćno osmatranje. Kao i sva ostala ruska laka oklopna vozila, pretpostavlja se da je i samohodni top 2S25 amfibijski.

Nova šasijska topa 2S25 SPAGT verovatno će se zasnivati na produženoj verziji vozila BMD-3, koje je razvijeno kao naslednik vozila BMP-1 i BMP-2. Takođe, pretpostavlja se da je samohodni top 2S25 razvijen još početkom devedesetih godina, a da je prvi primerak izrađen 1994. godine.

V. R.



## STRIKER – PREDSTAVNIK NOVE GENERACIJE BACAČA GRANATA\*

Na razvoju nove generacije bacača granata angažovale su se firme: „Saco Defense“, „Carl Gustaf“ iz sastava „Boforsa“ i „Computing Devices Canada“. Novi bacač je usavršeni laki bacač granata (ALGL – Advanced Lightweight Grenade Launcher) STRIKER. Projektovan je da može da ispali usavršene granate kalibra 40 mm sa većom preciznošću od

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

postojećeg bacača MARK 19 firme „Saco“. „Bofors“ će ovaj bacač ponuditi evropskom tržištu pod nazivom CG40.

Bacač STRIKER odlikuje se mnogim poboljšanjima. Integrisani su vatreni deo, sistem za upravljanje vatrom i programabilna municija, uz znatno smanjenje ukupne mase u poređenju sa svim drugim bacačima koji su proizvedeni na Zapadu. Tako, na primer, masa bacača MARK 19 iznosi 35 kg, dok je masa STRIKERA samo 17 kg, uz znatno povećanu kompaktnost konstrukcije.

Ovakvom rešenju doprinela je primena različitih konstrukcionih i tehnoloških metoda i postupaka, a naročito primena lakih metala i kompozitnih materijala. Jedan od najznačajnijih primera je rad automata. STRIKER ispaljuje granate iz zatvorenog redenika, što obezbeđuje povećanje preciznosti. Kao i većina ostalih bacača granata i on radi na principu trzajuće mase, gde masa trzajućih delova čini 55% ukupne mase sistema. Trzanje se ublažava uz pomoć vrlo efikasnog protivtrzajućeg i stabilizirajućeg sistema, čija je pouzdanost na nivou pouzdanosti bacača granata MARK 19. STRIKER koristi sve vrste municije 40×53 mm velike brzine.

Vrlo značajna komponenta sistema STRIKER je i potpuno integrisani elektronski sistem za upravljanje vatrom, koji je razvila firma „Computing Devices Canada“. Ovaj sistem omogućava brzu akviziciju (prikupljanje podataka) cilja i prikazivanje krsta končića na ravnom displeju smeštenom iznad glave strelca. Određivanje daljine do cilja, u rasponu 40 do 2 000 m, obavlja se uz pomoć laserskog daljinomera, bezbednog za oči, sa tačnošću od 1 m u čitavom mernom području. Kada se daljina do cilja jednom odredi, sistem za upravljanje vatrom au-

tomatski izračunava ostale elemente cilja, zauzima potrebnu elevaciju cevi i određuje programski veličinu komore pre ispaljivanja granate. Ako nije došlo do ispaljivanja, upaljač se automatski resetuje i aktivira ponovo kada se sistem za upravljanje vatrom aktivira.

Sistem za upravljanje vatrom ima ugrađen pojačivač slike treće generacije, a jednostavnim preklopnikom može se izabrati dnevni ili noćni mod rada. Vrlo brzo se može adaptirati i u termovizijski ili video senzor, a poseduje i klasični optički nišan. Da bi strelac uočio cilj, na maksimalnoj efikasnoj daljini od 2 000 m, nanišanio, izvršio opaljenje i da bi granata stigla do cilja potrebno je oko 18 s, u odnosu na 22 s koliko je potrebno strelcu da izvrši isti zadatak na daljini od 500 m sa bacačem granata MARK 19.

Municija sistema STRIKER razvijena je i proizvedena u Boforsovoj firmi „Carl Gustaf“. Neposredno pre ispaljivanja, granata dobija informacije o cilju sa nišanskog uređaja, a municija se u zavisnosti od vrste cilja može programirati za različite vrste aktiviranja, čime se bitno utiče na efikasnost bacača.

M. S.



## **POBOLJŠANI MINOBACAČKI SISTEM 120 mm AMOS\***

Dvocevna kupola 120 mm AMOS (Advanced MOrtar System) Model B nedavno je ugrađena na oklopno vozilo točkaš XA-185 6×6 firme Patria Vehicles. Testovi gađanja planirani su za početak 1999. godine. AMOS su razvile firme „Patria Vammas“ iz Finske (odgovorna

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 12. avgust 1998.



za minobacač) i „Hagglunds Vehicle“ iz Švedske (odgovorna za kupolu).

Studijska grupa „Nordic Mortar Group“, koja uključuje Dansku, Finsku, Norvešku i Švedsku, formulisala je zajedničke zahteve za novi samohodni minobacački sistem 120 mm, koji bi se uveo u upotrebu početkom 21. veka. Očekuje se da će kupola biti jednaka za sve korisnike, a da će šasija biti, verovatno, različita i odgovarati posebno postavljenim zahtevima.

Oklopno vozilo XA-185 6×6 može da nosi 60 razornih metaka i 6 „pametnih“ minobacačkih mina (kao što je švedski projektil STRIX).



*Minobacačka kupola 120 mm AMOS Model B na oklopnom vozilu točkašu*

Maksimalna brzina gađanja, korišćenjem poluautomatskog sistema za punjenje, iznosi 24 metka u minuti, a prvih 6 ispaljuje se za manje od 10 sekundi.

Do sada su izrađena dva prototipa kupola AMOS. Model A naoružan je sa dva minobacača 120 mm, koji se pune kroz usta cevi i imaju domet 10 km, dok Model B ima dva minobacača 120 mm koji se pune kroz zadnjak cevi sa dužom komorom i dometom od 13 km. Sadašnje aktivnosti koncentrisane su na verziju Model B.

Radi ispitivanja kupola AMOS je ugrađena na šasiju oklopnog vozila CV 90

koje se od ranije nalazi u upotrebi u Švedskoj i Norveškoj kao borbena vozilo pešadije.

Armija Finske odlučila se za novu šasiju, pa je u toku prikupljanje informacija za novo borbena vozilo pešadije. U konkurenciji su CV 90, BMP-3 i WARRIOR 2. Zahtevi se odnose na 120 vozila, a osnovna prednost ugradnje AMOS kupole na vozilo točkaš jeste što ima veću strategijsku pokretljivost i manje prosečne troškove upotrebe i održavanja.

V. R.



## LAKI ARTILJERIJSKI SISTEMI SAD\*

Armija SAD je objavila informacije o projektu poboljšane tehnologije lakih artiljerijskih sistema ATLAS (Advanced Technology Light Artillery Systems), koji se ranije nazivao FDSWS (Future Direct Support Weapon System).

Planirano je da ATLAS bude kompletan sistem koji neće sadržati samo jedno oruđe, već će ga činiti vučno vozilo i vozilo za municiju. Ukupni zahtevi odnose se na 628 oruđa, uključujući oruđa za rezervu i uvežbavanje, sa uvođenjem u naoružanje do 2008. godine. Svaki bataljon sistema ATLAS imaće tri baterije sa po šest oruđa.

U poređenju sa sadašnjim vučnim artiljerijskim sistemom 105 mm, namera je da sistem ATLAS ima veći domet, veći učinak municije, smanjeno vreme reakcije (korekcije), veću brzinu vatre, veću tačnost i smanjenje zahteva za manuelnim radom.

ATLAS treba da zameni sisteme 105 mm M119A1 (takođe i engleski laki top

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 12. avgust 1998.

L119) i vučne artiljerijske sisteme 105 mm M102, koji se koriste za direktnu vatrenu podršku u artiljerijskim bataljonima i lakim divizionima. Takođe, on će zameniti i vučna oruđa 155 mm M198 koja se koriste za direktnu vatrenu podršku.

Sistem ATLAS imaće kalibar 155 mm i koristiće svu sadašnju i novu municiju, što podrazumeva, npr. novu municiju „oseti i uništi“ (sense and destroy) i vođene projektele XM982. Takođe, koristiće modularni sistem punjenja MACS (Modular Artillery Charge System) i imati brzinu gađanja od 8 metaka u minuti. Gađanjem sa klasičnom municijom imaće domet oko 20 km, a gađajući sa raketno podržanom municijom domet će biti oko 27 km. Imaće potpuno automatizovan sistem za upravljanje vatrom nadograđen sa sistemom globalnog pozicioniranja GPS, a biće povezan sa poboljšanim artiljerijskim sistemom za vatrenu podršku. Masa sistema iznosiće oko 2 268 kg, tako da se može prenositi ofanzivnim helikopterom UH-60 BLACK HAWK, a moći će da se transportuje vazдушnim putem avionima HERCULES C-130.

Već su obavljena probna ispitivanja (Test Bed I) prototipa 155 mm/33 kalibra, mase 3 175 kg, a slede dalja probna ispitivanja (Test Bed II) prototipa 155 mm/26 kalibara, mase 2 268 kg. Pošto će se postojeća oruđa M119A1 i M198 zadržati još nekoliko godina u naoružanju SAD, oni će se modernizovati u okviru ranijeg programa LASIP (Light Artillery System Improvement Programme), za koji su odobrena finansijska sredstva.

Armija SAD već finansira dva artiljerijska sistema 155 mm. Jedan od njih je samohodni artiljerijski sistem CRUSADER 155 mm koji će zameniti sadašnji sistem 155 mm M109A6 PALADIN. Sistem M198 biće zamenjen u KoV-u i

mornaričkoj pešadiji novim sistemom lake haubice 155 mm XM777. Mornarička pešadija ima zahteve za 526 oruđa, a KoV je tražila 273 oruđa. Laka haubica 155 mm/39 kalibara ima masu 3 745 kg i očekuje se da će se u trogodišnjoj fazi razvoja, proizvodnje i opremanja izraditi oko 8 prototipova, od kojih će tri biti isporučena početkom 1999. godine.

V. R.



## MODIFIKACIJA CEVI ZA LANSIRANJE RAKETA\*

Firma „Bofors“ patentirala je modifikaciju konstrukcije cevi za lansiranje raketa, koju karakteriše zatvaranje zadnjeg kraja cevi odmah nakon lansiranja rakete. Cilj ove modifikacije jeste redukcija količine vrelih gasova – produkata sagorevanja raketnog goriva koji napuštaju cev, kao i maksimalno smanjenje infracrvenog odraza lansirnog mesta i, na taj način, smanjenje mogućnosti otkrivanja njegove pozicije.

M. S.



## FRANCUSKO-RUSKA SARADNJA NA RAZVOJU VOĐENIH ARTILJERIJSKIH PROJEKTILA\*\*

Najavljena saradnja između ruskih proizvođača artiljerijskog projektila KRASNOPOLJ i francuskih proizvođača laserskih sistema vođenja, krunisana je uspešno izvedenim opitnim gađanjima. Nakon početnog ispitivanja kompatibil-

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY. (Defence Industry Report) jul, 1998.

\*\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 9/1998.

nosti vođenog artiljerijskog projektila KRASNOPOLJ, ruske firme „KBP“, i laserskog lokatora DHY307, francuske firme „Cilas“, završna opitna gađanja izvedena su u Rusiji. Ispitivanja su sprovedena u okviru plana za prilagođenje ruskog poluaktivno laserski vođenog projektila NATO standardima.

Testirani projektil je adaptirani standardni projektil 9K25 KRASNOPOLJ, kalibra 152 mm i dometa 20 km, na koji su za ova opitovanja bili ugrađeni vodeći prstenovi, kako bi mogao biti ispaljen iz američke haubice M109, kalibra 155 mm. Kao i ekvivalentni američki projektil COPPERHEAD (čija je proizvodnja trenutno obustavljena), KRASNOPOLJ je duži od standarda koje je za sistem za punjenje oruđa postavio NATO, pa je punjenje obavljano ručno.

Firma „KBP“ je 1996. godine prikazala model jeftinije varijante KRASNOPOLJ-M koja je kombinovala originalnu bojnu glavu KRASNOPOLJA, mase 20 kg, sa odsekom za vođenje preuzetim od manjeg projektila KITOLOV, razvijenog ranije za artiljerijska oruđa 122 mm i minobacače 120 mm.

U odnosu na originalnu konstrukciju, masa projektila KRASNOPOLJ-M redukovana je za 7 kg i svedena na 43 kg, a dužina sa 1 300 mm na 955 mm. Na taj način projektil je učinjen kompatibilnim sa standardima za spremišta municije, sisteme punjenja i ležišta metka koje je za haubice definisao NATO. Prema dostupnim podacima pritisak pri opaljenju ograničen je na 2 500 atmosfere, ubrzanje na 10 000 do 12 000 g, a maksimalna brzina projektila na 700 m/s, što će obezbediti maksimalni domet od 17 km.

Početna laboratorijska ispitivanja, koja su imala zadatak da verifikuju mo-

gućnost zajedničkog funkcionisanja laserskog transmitera DHY307 i glave za samonavođenje KRASNOPOLJA, sprovedena su u oktobru 1997. godine.

Gađanja ciljeva na malim daljinama izvedena su u snežnim uslovima i pokazala su potpunu kompatibilnost u fazi ispaljivanja i u toku sekvence vođenja. Ispaljena su tri projektila sa smanjenim barutnim punjenjem, od kojih su prva dva direktno pogodila cilj u obliku oklopnog vozila na daljini od oko 5 km. Zbog promene vremenskih uslova, u vidu spuštanja baze oblačnosti i intenziviranja snežnih padavina, treći projektil promašio je cilj za manje od 2 m.

Treća faza opitovanja planirana je za kraj 1998. godine ili početak 1999. na poligonima u Buržu (Bourges) u Francuskoj. Očekuje se upotreba standardne vučene haubice 155TR, dužine cevi 39 kalibara, sa standardnim francuskim punjenjem. U nedostatku projektila KRASNOPOLJ-M, čiji razvoj još nije u potpunosti završen, opet će se koristiti modifikovani projektil KRASNOPOLJ kalibra 152 mm. Očekuje se da njegova nestandardna dužina neće stvarati poteškoće pri rukovanju, ali će omogućiti da projektil zadrži puni domet od 20 km koji ima i pri ispaljivanju iz originalnog oruđa od 152 mm.

M. S.



## PEŠADIJSKI RAKETNI PLAMENOBACAČ SHMEL\*

Razvoj pešadijskih raketnih plamenobacača inicirao je izradu masovnog oružja za pešadijske i hemijske jedinice, koje će biti efikasno u bliskoj borbi i

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, sept.-okt., 1998.

sposobno da zameni artiljeriju na teško pristupačnom zemljištu, kao što je brdsko-planinsko ili u naseljenim mestima i mestima sa ograničenom vidljivošću.

Rešavanje tih problema uslovalo je izradu bacača granata tipa pešadijskog oružja, jeftinog za proizvodnju, jednostavnog za rukovanje i upotrebu, i koje zadovoljava sledeće zahteve:

- visoku preciznost vatre;
- malu masu i dimenzije;
- raznovrsnu upotrebu i efikasno uništavanje ciljeva na nivou artiljerije.



*Raketni plamenobacač SHMEL*

Zadatak razvoja takvog oružja postavile su mnoge zemlje još od pojave ručnih protivtenkovskih bacača. Međutim, zbog kompleksnosti tehničkih problema koje je trebalo rešiti, malo kome je to i uspelo.

Ruski raketni plamenobacač SHMEL je bestrzajno oružje sa tri vrste zrna: termobaričnim RPO-A, zapaljivim RPO-Z i dimnim RPO-D.

Visoka preciznost, dobro grupisanje vatre i bestrzajnost funkcionisanja postignuti su posebnom šemom lansiranja s odvajanjem motora i bojne glave u otvoru cevi (kontejneru).

Municija RPO-A stvara natpritisak od 0,39 do 0,78 bara na rastojanju 5 metara od tačke eksplozije na otvorenom

prostoru i 3,9 do 6,8 bara u zatvorenim prostorima zapremine do 90 m<sup>3</sup>. Udarni talas se širi tranšejama, skloništima, itd. Za vreme eksplozije termobarične smese, udarni pritisak, kao i njegova rušilačka snaga, znatno prevazilaze pritisak koji stvaraju konvencionalni eksplozivi, kao što je TNT, koji, po pravilu, prouzrokuje rušenje zidova i pregrada u zgradama i sl. Kompletno sagorevanje kiseonika javlja se u zoni detonacije i transformacije termobarične smese, pri čemu temperatura poraste iznad 800°C, stvarajući nemoguće uslove za opstanak.

Municija RPO-Z prouzrokuje zapreminsko paljenje zapaljivih materija (drvo, građa, itd.) za 5 do 7 sekundi u prostoru zapremine 90 do 100 m<sup>3</sup>, i stvara oko 20 žarišta vatre na otvorenom prostoru površine do 300 m<sup>2</sup>.

Municija RPO-D stvara neprovidnu dimnu zavesu dužine 55 do 90 m na otvorenim terenima, zapremine preko 1 500 m<sup>3</sup> i za vreme od 1,2 do 2 minute. Dimna zavesa stvara nepodnošljive uslove za nezaštićenu živu silu, potpuno zaslepljuje ljudstvo koje nosi zaštitne maske u trajanju od 3 do 5 min, i stvara žarišta vatre bez rušenja objekata od kamena i cigle.

M.K.



## **TAKTIČKI LASERSKI SISTEM ZA ZAŠTITU OD PROJEKTILA VAZDUH-ZEMLJA\***

Firma „TRW Inc.“ patentirala je koncept novog laserskog sistema u obliku taktičkog oružja namenjenog za zaštitu određenog prostora od napada projektila

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, (Defence Industry Report) jul, 1998.

vazduh-zemlja. Sistem koristi mrežu upravljivih segmenata ogledala koji lasersku energiju iz jednog izvora dele u mnoštvo upravljivih laserskih snopova koji se mogu usmeriti prema većem broju dolazećih projektila.

Sistem sadrži detektorsku jedinicu koja može detektovati nekoliko projektila istovremeno, uređaj za određivanje dimenzija zaštitne zone, u kojoj će svi dolazeći projektili biti uništeni, i izvršni sistem ogledala. Kontroler laserskih snopova nezavisno usmerava svaki laserski snop.

Autori ovog patenta imaju ambicije da ga razviju u sistem za odbranu od većeg broja dolazećih projektila, kao što su rakete, projektili ili bombe, a naročito od onih koje bi mogle da nose biološke ili hemijske agense.

M.S.



## NOVA VERZIJA TENKA M-60\*

Američka kompanija General Dynamics Land Systems, koja je bila nosilac razvoja i proizvodnje serije osnovnih borbenih tenkova M1/M1A1/M1A2 AB-RAMS, započela je marketinške aktivnosti oko revitalizacije starijih tenkova M-60 novom verzijom nazvanom M-60-2000.

Verzija M-60-2000 podrazumeva modernizovanu šasiju opremljenu kupolom tenka M1A1 sa glatkocevnim topom kalibra 120 mm. Osnovna poboljšanja nove verzije ogledaju se u ključnim oblastima – oklopu, pokretljivosti i vatrenoj moći. Takođe, potvrđeno je da će turskoj vojnoj industriji biti povereni poslovi modernizacije. Turska ima vrlo dobro koncipi-

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 29. juli 1998.

ranu industrijsku bazu i uspešno je modernizovala preko 2 000 tenkova M-48 u verzije M-48A5T1/T2. Takođe, već je isporučila određeni broj verzija tenkova M60A3.

Originalna kupola sa topom 105 mm na tenku M-60 biće zamenjena kupolom M1A1 koja je opremljena glatkocevnim topom M256 kalibra 120 mm, koaksijalno spregnutim mitraljezom 7,62 mm, mitraljezima 7,62 mm i 12,7 mm koji su ugrađeni na vrhu kupole. Ta kupola će se kasnije moći nadograditi poslednjom verzijom M1A2.

Šasija je promenjena, a novu pogonsku grupu čini dizel motor AVDS-1790-9, koji razvija snagu od 883 kW (1 200 KS) i automatska transmisija ALLISON X1105-5 sa četiri stepena prenosa za kretanje napred i dva stepena prenosa za kretanje unazad. Borbena masa tenka je 56 t a odnos snage i mase iznosi 23,1 KS/t. Tenk M-60-2000 može ubrzati do brzine od 32 km/h za 9 sekundi. Takođe, planirana je i modernizacija sistema elastičnog oslanjanja.

V.R.



## KUPOLNI SISTEM ZA TENK ARJUN\*

Armija Indije izvršila je testove gađanja sa južnoafričkim kupolnim sistemom 155 mm/52 kalibra LIW T-6, ugrađenim na šasiju osnovnog borbenog tenka ARJUN. Indija ima ukupne zahteve za 600 samohodnih oruđa kojima bi se opremilo 30 pukova.

Oruđe nazvano BHIM (Hindu bog rata) testirano je na poligonu Pokhran,

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 12. avgust 1998.

nedaleko od mesta na kome je Indija u maju 1998. godine izvršila nuklearne probe. Gađanja su sledila ispitivanja pokretljivosti na terenima u okolini pustinje Tar, koje odlikuju visoke peščane dine.

Raniji pokušaji da se izvrši integracija kupola 155 mm (britanske AS90D, južnoafričke LIW (T-6) i slovačke ZTS Zuzana) na šasiju tenka T-72 bili su neuspešni, kao i ispiti pokretljivosti.

Južnoafričko oruđe ostvarilo je maksimalni domet veći od 40 km, koristeći projektil povećanog dometa sa generatorom gasa, i predstavljeno je kao izuzetno tačno. Prototip oruđa BHIM ima automatski sistem punjenja i autonomni navigacioni sistem.

Za ispitivanja dometa LIW je obezbedila i svoje projekte povećane brzine i velikog dometa (do 52 km). Takođe, demonstriran je i modularni sistem punjenja, koji je, inače, pored SAD, jedini razvijen i spreman za operativnu upotrebu.

V.R.



## KONSTRUKCIJA KUPOLE SA MINIMIZIRANIM PROSTOROM ZA PUNJENJE ORUĐA\*

Firma „Rheinmetall Industries“ patentirala je novu konstrukciju kupole sa minimiziranim prostorom za punjenje cevnog oruđa smeštenog u kupoli. U kupoli su smešteni cevno oruđe, magacin (kupolna komora) i punjač metaka koji obezbeđuje transport do oruđa municije spremljene u magacinu. Radi racionalnog iskorišćenja prostora pojedinačni meci spremljeni su u horizontalno postavljene kontejnere u obliku cevi, koji su speci-

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, (Defence Industry report) july/1998.

jalno povezani i predstavljaju neku vrstu redenika. Redenik se proteže do magacina (kupolne komore) u kojem se nalazi prednji položaj za izvlačenje. Kada se metak postavi u prednji položaj za izvlačenje metka, prvi deo punjača izgura odgovarajući metak iz njegovog kontejnera u cev za punjenje. Drugi deo punjača, zatim, gura metak iz cevi za punjenje u ležište metka na zadnjaku topa.

M.S.



## NOVI FLEKSIBILNI ZAŠTITNI OKLOPI\*

Firma „Lockheed Martin Corp.“ prijavila je patent novog fleksibilnog zaštitnog oklopnog tela koje poboljšava zaštitu od projektila. Oklopno telo se sastoji od dva zaštitna sloja. Prvi sloj predstavlja fleksibilnu membranu izatkanu od balističkih vlakana, sa slojem tvrdih elemenata sfernog oblika zalepljenih za membranu. Drugi sloj se sastoji od tvrdih elemenata sfernog oblika montiranih na drugu fleksibilnu membranu koja omogućava relativnu rotaciju sfernih elemenata. Ova dva sloja čine zaštitni sistem koji se pri udaru projektila ugiba i, na taj način, apsorbuje njegovu kinetičku energiju.

M.S.



## NOVI EKSPLOZIVNI REAKTIVNI OKLOP U ČEŠKOJ\*\*

Konzorcijum kompanija u Češkoj izradio je novi eksplozivni reaktivni

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, (Defence Industry report) jul, 1998.

\*\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 9/1998.

oklopni (ERA) modul za poboljšanje preživljavanja na bojištu tenkova T-54 i T-55, koji su u armiji Češke preostali iz prethodnog perioda. Novi modul je potpuno drugačiji od onog koji se ugrađuje na serije ruskih tenkova T-54 i T-55.

Oklopni modul sastoji se od dve kutije i panela pričvršćenih na gornju prednju oklopnu ploču – sa obe strane kupole tenka, levo i desno i na gornjem delu ispred i između otvora za komandira i punioca.



Tenk T-55A sa oklopnim modulom ERA razvijenim u Češkoj

Proširena ispitivanja čeških tenkova T-55A opremljenih novim modulom ERA pokazala su:

- povećanje zaštite za 100 do 200% od dejstva ručnog protivtenkovskog oružja i raketa koje probijaju oklop debljine veće od 650 mm;

- povećanje zaštite za 250 do 300% od kumulativnih projektila kasetne municije koja dejstvuje iz gornje polusfere;

- povećanje zaštite za 100 do 140% od dejstva artiljerijskih kumulativnih projektila;

- delimično povećanje balističke zaštite od protivoklopnih potkalibarnih projektila.

Kada se gađa streljačkom municijom kalibra do 12,7 mm ERA se ne aktivira,

a konstrukcija je takva da ako se jedna kutija aktivira kumulativnim protivoklopnim projektilom, druga se neće aktivirati. Potvrđeno je da se standardna ploča ERA pokazala efikasnijom u zaštiti od dejstva pod većim uglovima udara, dok je takozvani klinasti (V) ili poprečni (K) tip ploče efikasniji u slučaju udara pod pravim uglom.

Kao što su urađene modifikacije oklopa za serije tenkova T-54 i T-55, tako je razvijen i modul ERA za tenkove T-72. Armija Češke je ispitivala seriju modifikovanih tenkova T-72, koji su označeni kao T-72 CZ M3 i T-72 CZ M4. Obe modifikacije su opremljene sopstveno razvijenim sistemima ERA za povećani nivo preživljavanja na bojištu.

V.R.



## ZAMENA LAKIH TENKOVA U ŠVEDSKOJ\*

Prototip vozila za vatrenu podršku CV90120, nastao kao zajednički projekat švedske kompanije Hagglunds i švajcarskih kompanija Swiss Ordnance Enterprises i Celsius, imao je prvi javni nastup na izložbi naoružanja i vojne opreme Eurosatory. Vozilo CV90120 je ponuđeno švedskoj armiji kao potencijalna zamena za lake tenkove Ikv91, koji se koriste u severnim regionima Švedske.

Modifikovana kupola CV90 uključuje novi top 120 mm/50 kalibra CTG L50, firme Swiss Ordnance. Vozilo je u fazi sprovođenja statičkih testova, ispitivanja sa potpuno integrisanim sistemom za upravljanje vatrom otpočetice sredinom 1999. godine.

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 8/1998.

Top ima masu 2 600 kg i trzajuću masu 1 860 kg sa dužinom trzanja od 500 mm i generišuću silu trzanja od 200 kN. Elevacija je ograničena u dijapazonu od  $-8^{\circ}$  do  $+22^{\circ}$ . Gasna kočnica je ugrađena kako bi se obezbedila kompatibilnost gađanja sa potkalibarnom municijom APFSDS. Kada se gađa topom 120 mm CTG L50, nemačka potkalibarna municija DM33 ima početnu brzinu 1 680 m/s. Takvih 10 projektila može se smestiti u punjač, a još 40 u telo vozila. Planirano je da kupola ima tročlanu posadu – komandir, nišandžija i vozač, manuelni poluautomatski sistem punjenja sa dvostrukim magacinom tipa revolver, za 5 projektila. Alternativni automatski sistem za punjenje municijom još se razmatra.

Komandir ima mogućnost osmatranja iz kupole u sektoru  $110^{\circ}$  ulevo i  $135^{\circ}$  udesno, i dnevni termalni nišan Avimo DNGS. Pored toga, komandir ima na raspolaganju panoramski dnevno-noćni nišan Celsius LEMUR sa opcijom integralnog sistema za navođenje raketa. Elevacija je limitirana u dijapazonu od  $+35^{\circ}$  do  $-20^{\circ}$ . Nišandžija, koji je smešten ispred komandira, ima modifikovani nišan Celsius UTAAS sa modulom koji ima elevaciju u dijapazonu od  $+25^{\circ}$  do  $-10^{\circ}$ .

Vozilo je zaštićeno od dejstva pancirnih projektila 12,7 mm i 30 mm sa prednje strane, ima masu 25 t sa mogućim povećanjem od 27 t. Pogonski agregat Scania DS14 ima snagu od 445 kW i omogućava maksimalnu brzinu od 70 km/h.

V. R.



## **BORBENO VOZILO PEŠADIJE KENTAURUS\***

Grčka industrija vozila ELBO (Hellenic Vehicle Industry) nastavila je sa razvojem programa novog oklopnog borbenog vozila pešadije KENTAURUS. On će se projektovati na osnovu sledećih ključnih kriterijuma:

- najmanji profil za maksimalno preživljavanje na bojištu;
- manja širina za maksimalnu pokretljivost i prohodnost;
- vazdušna prenosivost (npr. avionom HERCULES C-130);
- velika vatrena moć;
- izrazite performanse u uslovima visokih temperatura okoline;
- dnevno-noćna borbena sposobnost;

– veća verovatnoća pogađanja prvim metkom;

– digitalni sistem za upravljanje vatrom;

– mogućnost ugradnje lansera raketa STINGER.

Prema planu, prvi prototip vozila očekuje se da bude spreman za ispitivanja i prezentaciju u jesen 1999. godine.

Telo KENTAURUSA je zavarene konstrukcije izrađeno od termički obrađenih čeličnih oklopnih ploča, sa sedištem vozača u prednjem levom delu, pogonskim agregatom desno od njega i kupolom u centru. Vozilo će pružati balističku zaštitu sprema od dejstva metaka 25 mm APDS ispaljenih sa 400 m, i ukupnu zaštitu od dejstva pancirnih metaka  $7,62 \times 51$  mm malokalibarskog streličkog oružja, od artiljerijskih fragmenata, kao i od mina usmerenog dejstva. Na osnovu zahteva balistička zaštita može se poboljšati dodatnim oklopom.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 10/98.



Pogonska grupa se sastoji od nemačkog turbo punjenog dizel motora MTU 6V18TE22 V90 koji razvija 305 kW pri 2 300 o/min, povezanog sa automatskom 6-stepenom transmisijom ZF LSG 1 000,

hidrauličkim kočnicama i integrisanim sistemom za upravljanje. Kompletna pogonska grupa (motor, transmisija i deo sistema za hlađenje) može se izgraditi za oko 15 minuta.

*Osnovne karakteristike vozila KENTAURUS*

Posada (članova)	2 + 8
Borbena masa (kg)	18 000
Specifični pritisak na tlo (kg/cm <sup>2</sup> )	0,67
Dužina (m)	6,28
Širina (m)	2,5
Visina (m)	(do vrha kupole) 1,7
Klirens (m)	0,42
Širina traga gusenica (m)	2,12
Širina gusenica (mm)	380
Dužina naleganja gusenica (m)	3,3
Maksimalna brzina po putu (km/h)	73
Kapacitet rezervoara (l)	360
Akcioni radijus (po putu) (km)	470
Savlađivanje uspona (%)	75
Savlađivanje nagiba (%)	35
Savlađivanje vertikalne prepreke (m)	0,8
Savlađivanje rova (širina) (m)	2,1
Radijus okretanja (m)	6,7
Motor	V-90 6-cilindrični dizel, razvija 305 kW pri 2 300 o/min
Transmisija	automatska 6 stepena prenosa napred i 3 unazad, sa integrisanim ovešenjem i hidrauličnom kočnicom
Ovešenje	torziona osovina, amortizeri na 1, 2 i 6 točku
Električna instalacija	24 V
Akumulatori	6 × 12V, 100 Ah svaki
Naoružanje	(osnovno) top 30 mm Mk30F
Municija	(spremnih za upotrebu/rezerva) 200/200 metaka 30 mm
Bacači dimnih granata	2 × 4 (76 mm)
Dimne granate	(spremnih za upotrebu/rezerva) 8/8
Oprema za upravljanje topom	električno – manualna (nišandžija)
Elevacija/depresija topa	+45°/-10°
Azimut kupole	360°
Stabilizacija topa	(vertikalna osa) da
Trenutni status	prototip u razvoju, očekuje se da bude okončan razvoj početkom 1999. godine

KENTAURUS kupola E8 za jednog člana koja se razvija u nemačkoj kompaniji KUKA, ima niskoprofilni dizajn. Osnovno naoružanje je top 30 mm MAUSER MK30F sa 200 metaka (100 pancirnih i 100 razornih) spremnih za upotrebu i još 200 metaka u rezervi. Nišandžija može izabrati jedinačnu ili rafalnu paljbu. Ostala oružja, kao npr. BOEING 30 mm BUSHMASTER II, mogući su zamenitelji ako je potrebno. Mitraljez 7,62 mm MG3 je koaksijalno spregnut sa topom, ima 500 metaka spremnih za upotrebu i 500 metaka u rezervi. Kao koaksijalna oružja mogu se ugraditi 12,7 mm HMG ili 40 mm AGL. Takođe, mogu se ugrađivati i bacači dimno-rasprskavajućih granata 76 mm.

U osnovnoj konfiguraciji kupola je opremljena dnevno-noćnim periskopskim nišanom za nišandžiju PILKINGTON SABRE. Takođe može se ugraditi i digitalni sistem za upravljanje vatrom, što uključuje:

- dvoosno stabilisane senzorske platforme sa drugom generacijom IC-CCD termalnih nišana, CCD kameru i laserski daljinomer;
- inercijalne senzore i sistem za stabilizaciju oružja;
- digitalni računar sistema za upravljanje vatrom;
- monitor za nišandžiju i, ako je potrebno, monitor za komandira.

Ostale opcije uključuju laserski sistem za obaveštavanje, integrisani upravljački i komandni sistem (C<sup>2</sup>), laser raketa STINGER sa dve rakete, daljinski upravljan sistem za kontrolu preko džojstika i monitora.

Vozilo KENTAURUS opremljeno je optoelektronskim nišanom kao na tenku LEOPARD 2, koji uključuje CCD dnevnu kameru, termalnu kameru zasno-

vanu na detektorima i odvojenim displejom sa ravnim ekranom.

Sistem elastičnog oslanjanja obezbeđuje visoku pokretljivost vozila u terenskim uslovima. Gusenice 224M izrađene su u nemačkoj firmi Diehl, a široke su 380 mm.

Sa masom od 18 000 kg KENTAURUS ima respektivan odnos snaga – masa i maksimalnu brzinu po putevima od 73 km/h i pri hodu unazad do 48 km/h. Ubrzanje od 0 do 50 km/h postiže za 18 sekundi. Osnovna šasija može se opremiti različitim kupolama i koristiti u velikom dijapazonu: laki tenk, PA odbrana, ambulanta, oklopna inžinjerija, logistička podrška, nosač minobacača i vozilo za izvlačenje.

V. R.



## PROŠIRENJE PROIZVODNOG ASORTIMANA TENKOVA U UKRAJINI\*

Ugovaranjem prodaje 320 tenkova T-80UD Pakistanu, Ukrajina je postala lider na svetskom tržištu osnovnih borbenih tenkova. Takođe, ona je proširila svoju proizvodnu gamu tenkova, što podrazumeva lokalno razvijeni tenk T-84 (razvojna oznaka 478K), za koji se navodi da je u proizvodnji, i dve poslednje verzije masovno korišćenih ruskih tenkova T-72 (T-72AG i T-72MP). U tom smislu izvršena su intenzivna ispitivanja u Aziji i na Bliskom istoku.

Ukrajinska fabrika „Mališev“ izradila je novi tenk T-80UD za Pakistan, a 98% komponenti za tenk izrađivaće se u Ukrajini, uključujući i glatkocevni top

\* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, 9. septembar 1998.

125 mm (lokalna oznaka KBA-3). Pre raspada SSSR-a Rusija je imala udela u snabdevanju komponentama tenka T-80 sa 60%.

Poslednji tenkovi za Pakistan imaju dizel motor 6TD-1 snage 736 kW, nišansku dnevno-noćnu spravu TKN-4S AGAT za komandira, dnevni nišan IG46 za nišandžiju sa ugrađenim laserskim daljinomerom i noćnim nišanom TPN-4 BURAN za nišandžiju. Glatkocevni top 125 mm može gađati sa laserski vođenom municijom na daljinama do 4 000 m.

Tenk T-84 ima sličan sistem za upravljanje vatrom i opšti izgled kao tenk T-80UD. Najvažnija razlika je njegova kupola izrađena zavarivanjem, umesto prethodne livene. Pokreće ga dizel motor 6TD-2 snage 883 kW, a ima isti zaštitni paket koji je ugrađen na tenkove T-72.

Slično tenkovima T-72 i T-80, tenk T-84 koristi napred ugrađeni nož za ukopavanje, uređaj za čišćenje mina sa noževima i opremu za duboki gaz. Vozilo za izvlačenje, BREM-84, takođe se zasniva na šasiji tenka T-84.

Verzija tenka T-72AG razvijena je u projektnom KhMDB birou „Morozov“ u Harkovu i fabrici „Mališev“. Ona uključuje instalaciju sopstveno razvijenog dizel motora 6TD-2, novu komunikacionu opremu, panoramski nišan za komandira, termalni nišan za nišandžiju, dodatnu oklopnu zaštitu i sistem za aktivnu zaštitu ŠTORA-1. Moguć je izbor komponenti i nivoa modernizacije prema postavljenim operativnim zahtevima. Ugradnjom dizel motora 6TD-2 povećana je brzina kretanja po putevima na 65 km/h (76 km/h kada je ugrađen menjač za povećanu brzinu). Filtroventilacioni sistem ima tri stepena, omogućavajući tako upotrebu tenka T-72AG u uslovima temperature okoline od +55°C.

Sistem za upravljanje vatrom sada uključuje balistički računar, dvoosno stabilisani dnevni nišan IG46 za nišandžiju, noćni nišan TPN-4 za nišandžiju stabilisan u vertikalnoj ravni i dnevno-noćni nišan TKN-4S AGAT stabilisan u vertikalnoj ravni za komandira. Kao opciju, nišandžija može imati na raspolaganju termalni noćni nišan. Novi sistem za upravljanje vatrom povećava verovatnoću pogađanja na daljinama od 2 000 m preko 85%, kao i smanjenje vremena potrebnog za korekciju između 10 i 15 sekundi. Top 125 mm je stabilisan u dve ravni, dok je na kupoli ugrađen PA mitraljez 12,7 mm NSVT stabilisan u vertikalnoj ravni.

Tenk T-72MP još je moderniji, a nastao je kao zajednički projekat KhMDB biroa i fabrike „Mališev“ sa češkom kompanijom PSP i francuskom SAGEM. On podrazumeva sličan zaštitni paket, ugradnju dizel motora 6TD-1, ili kao opciju 6TD-2 ili 6TD-3 1 104 kW, dodatnu oklopnu zaštitu u aktivni sistem zaštite ŠTORA-1.

Najznačajnije poboljšanje predstavlja ugradnja francuskog stabilisanog panoramskog dnevnog nišana za komandira SFIM VS 850. Nišandžija ima kombinovani dnevno-noćni nišan SAVAN-15 francuske firme SAGEM sa laserskim daljinomerom, a komandir poseduje monitor sa termalnim odrazom. Oba nišana stabilisana su u dve ravni.

Nišanski sistem za tenk T-72MP pruža mogućnost komandiru da osmatra i prati cilj. Sistem za upravljanje vatrom prima informacije od nekoliko senzora, uključujući komandirski i nišan nišandžije i dobija tačnu informaciju o brzini cilja, brzini vetra, brzini tenka, kursu kretanja, uglu nišana, atmosferskoj temperaturi vazduha, vazдушnom pritisku, promeni tem-

perature, trošenju cevi, temperaturi municije, geografskoj širini terena, itd.

Francuski nišanski sistemi za upravljanje vatrom namenjeni su za povećanje efikasnog dometa tenka T-72MP do 2 500 m i povećanje verovatnoće pogađanja na 90%. Detekcija cilja u dnevnim uslovima povećana je na 5 000 m, a u noćnim na 3 000 m.

Glatkocevni top 125 mm može gađati sa sledećim tipovima municije: kumulativnom (30F26), razornom i dve vrste potkalibarne municije APSFDS. Potkalibarna municija ima penetrator od osiromašenog urana i 3BM42 sa penetratorom

od čelika konvencionalne tvrdoće. Ukrajinska industrija je nedavno obelodanila i novi APFSDS-6 projektil nazvan 125G1 izrađen u kooperaciji sa francuskom kompanijom GIAT INDUSTRIES.

Ostale verzije tenkova T-72 podrazumevaju ugradnju NATO standardnih glatkocevni topova kalibra 120 mm, opremljenih automatskim punjačem municije sa 22 projektila. To omogućava veću brzinu vatre, kao i povećanje opstanka (preživljavanje) na bojištu. Druga alternativa je i nova kupola izrađena zavarivanjem koja pruža veću zaštitu i ima veću unutrašnju zapreminu.

V. R.



## **VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD**

11002 Beograd, Birčaninova 5

Telefoni: (011) 645-020 i 36-13-751 lok.: 23-124 i 23-152

Telefaks: (011) 645-020

## **NARUDŽBENICA**

Pretplaćujem(o) se na časopis za 1999. godinu:

### **VOJNOTEHNIČKI GLASNIK**

(stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 100,00, polugodišnja pretplata

60,00 dinara.

..... primeraka

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenu i poslati na adresu:  
VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro račun 40818-637-9-6319 RC Topčider – za VIZ (sa pozivom na broj 054/963) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenu.

Časopise slati na adresu:

Kupac .....

Mesto ..... Ulica ..... br. ....

Dana .....

.....  
Potpis naručioца



Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i 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, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, 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, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. 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, ili u pogodnoj računarskoj grafici. 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.

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, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

*Tehničko uređenje*  
Branko Marković

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 20,00 dinara  
Tiraž 1300 primeraka

---

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiji Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

---

UDC: Jugoslovenski bibliografsko-informacijski institut