

GENERALŠTAB VOJSKE SRBIJE I CRNE GORE

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik  
SLAVOLJUB JOVANČIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)

General-potpukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)

Pukovnik  
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
PAVLE GALIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik  
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILJKO ERIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

\* \* \*

Glavni i odgovorni urednik

Pukovnik  
**sc Stevan Josifović, dipl. inž.**  
(tel. 646-277)

Sekretar redakcije

**Zora Pavličević**  
(tel. 2641-795, vojni 22-431)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

Pretplata tel.-fax: 3612-506, tekući račun:  
840-51845-846 RC SMO Topčider – za VIZ,  
poziv na broj 054/963

Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna  
štampanija – Beograd, Resavska 40b

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE SRBIJE I CRNE GORE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

Vojnotehnički glasnik je,  
povodom 50 godina rada,  
odlikovan Ordenom VJ  
trećeg stepena



# 2

GODINA LII • MART–APRIL 2004.





## SADRŽAJ

<b>Dr Petar Stanojević,</b> major, dipl. inž. <b>dr Vasilije Mišković,</b> pukovnik, dipl. inž.	MOGUĆNOSTI I PROBLEMI PRIMENE SAVREMENIH STRATEGIJA ODRŽAVANJA U VOJNIM SISTEMIMA .....	133
<b>Dr Slobodan Janičijević,</b> pukovnik, dipl. inž.	ODREĐIVANJE OPTIMALNE ARHITEKTURE INERCIJAL- NOG MERNOG BLOKA SA STANOVIŠTA POGODNOSTI DETEKCIJE OTKAZA SENZORA .....	147
<b>Dušan Jović,</b> major, dipl. inž.	ODREĐIVANJE PARAMETARA POUZDANOSTI GRUPE ELEKTRONSKIH UREĐAJA VAZDUHOPLOVA PRIME- NOM GRAFIČKE METODE .....	162
<b>Dr Čedomir Gacović,</b> pukovnik, dipl. inž.	ISPITIVANJE UTICAJA OBLAKA SMETNJI NA MONO- IMPULSNI NIŠANSKI RADAR I PROTIVRADARSKJE RA- KETE .....	171
<b>Mr Ljubiša Nedeljković,</b> pukovnik, dipl. inž.	AUTOMATSKI I ADAPTIVNI VF RADIO-KOMUNIKACIONI SISTEMI .....	182
<b>Dr Radun Jeremić,</b> pukovnik, dipl. inž.	NEKI ASPEKTI PRIMENE RAZLIČITIH METODA U ISPI- TIVANJU EKSPLOZIVNIH MATERIJAMA .....	194
<b>Dr Milorad Radetić</b> dipl. inž.	ODREĐIVANJE OSNOVNIH PARAMETARA PRI UBRZA- VANJU BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA .....	206
<b>Dr Dragoljub M. Brkić,</b> dipl. inž.	JEDAN POSTUPAK PODELE KOEFICIJENTA NAUČNO- STRUČNE KOMPETENTNOSTI UČESNICIMA NA ZA- DATKU .....	211
<b>Mr Zoran Filipović,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>sc Saša Tirnanić,</b> major, dipl. inž. <b>mr Gordana Mitrović,</b> dipl. inž.	SEDAMDESET GODINA VAZDUHOPLOVNOG OPITNOG CENTRA .....	216
<b>Branislav Lučić,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Aleksandar Kovačević,</b> major, dipl. inž.	ISPITIVANJE KVALITETA SREDSTAVA NVO I TEHNIČKIH PROIZVODA – prikaz naučno-stručnog skupa – .....	224
	PARTNER 2004 – PRVI SAJAM NAORUŽANJA I OPREME ..	229

---

**PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA**

---

Modernizacija aviona Su-27 – S. V. ....	231
Povećana radarska bezbednost lovca Su-35 – M. K. ....	235
Budući sistem raketne odbrane – M. K. ....	237
Turska poboljšava raketne sisteme T-122 – M. K. ....	238
Ukrajinska modernizacija tenka T-55 – M. K. ....	239
Hrvatski tenk Degman – M. K. ....	241
Lako oklopljeno taktičko vozilo Eagle IV – M. K. ....	242
Teški vučni transporter 1070F 8 × 8 – M. K. ....	243

---

**TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Modernizovani tenkovi T-72 za češku armiju – M. K. ....	245
Prvi indijski tenkovi T-90 – M. K. ....	245
Modernizovano poljsko vozilo BRDM-2 – M. K. ....	246
Rumunski artiljerijski sistem 155 mm – M. K. ....	246
Mobilni topovski sistemi Stryker za kanadsku armiju – M. K. .	247
Izraelski tenkovski projektil 120 mm APAM – M. K. ....	248
Protivbrodska raketa Kh-59MK – M. K. ....	249
Nova verzija višenamenskog helikoptera Black Hawk – S. V. .	249
Prekinut razvoj aviona Su-49 – S. V. ....	250
Novi kineski lovac FC-1/Super 7 – S. V. ....	250
Usavršen poljski školski avion – S. V. ....	250
Sistem Ferret za detekciju streljačkog naoružanja – M. K. ....	251
Novi radio Micro-Lite – M. K. ....	252
Prvi ruski vučeni radarski mamac – S. V. ....	252
Bespilotna letelica GoldenEye-50 – M. K. ....	252
Sklapajuća mikroletelica za specijalne snage – M. K. ....	253
Pokretna kuhinja za širok krug korisnika – V. T. R. ....	254

**Dr Petar Stanojević,**  
major, dipl. inž.  
**dr Vasilije Mišković,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – ŠNO,  
Beograd

## MOGUĆNOSTI I PROBLEMI PRIMENE SAVREMENIH STRATEGIJA ODRŽAVANJA U VOJNIM SISTEMIMA

UDC: 62-7.001.26 : 355.1

### *Rezime:*

*U radu su analizirani načini i problemi uvođenja savremenih strategija održavanja na osnovu svetskih iskustava. Na osnovu analize stanja održavanja u vojnim sistemima, našem i inostranim, dat je predlog o tome koje bi se strategije održavanja mogle primeniti, pod kojim uslovima i u kakvoj kombinaciji. Analiziran je i način njihovog uvođenja i primene, i date su odgovarajuće preporuke. Izvršena je kratka analiza mogućih efekata.*

*Ključne reči: strategije održavanja, vojska, problemi primene.*

---

### POSSIBILITIES AND PROBLEMS IN APPLYING CONTEMPORARY MAINTENANCE STRATEGIES TO MILITARY SYSTEMS

#### *Summary:*

*The paper gives problems and methods of introducing contemporary maintenance strategies on the basis of worldwide experiences. The analysis of maintenance in our as well as in other military systems resulted in suggesting possible strategies, conditions of their application and possible combinations. The method of their implementation and application is analyzed as well as possible effects. Adequate recommendations are also given.*

*Key words: maintenance strategies, military, application problems.*

---

#### **Četvrta generacija organizacija sistema održavanja**

Četvrta generacija organizacija sistema održavanja svoje osnove će imati u prve tri generacije ovih sistema (o prve tri bilo je više reči u VTG br. 6/2003). Karakteristike ove faze biće [1]:

- detaljno i eksplicitno uzimanje u obzir rizika koje nose projektovanje tehničkih sistema (TS) i primena strategija održavanja;
- još veće povezivanje i integracija među naručiocima opreme, projektanti-

ma, proizvođačima i održavaocima nego što je to danas. Predlaže se formiranje posebne organizacione funkcije tzv. „Asset management“, koja bi se bavila samo upravljanjem TS (naručivanje, nabavka, projektovanje, proizvodnja, održavanje). To, inače, znači i interdisciplinarni pristup rešavanju problema;

- sve veća upotreba informacione tehnologije u otkrivanju, dijagnostici i predviđanju otkaza (prenosni kompjuteri, daljinske komande, GPS za pozicioniranje mesta otkazalih TS i ekipa za održavanje, odustajanje od formiranja centralnih

kontrolnih soba – tzv. distribuirani sistemi, veštačka inteligencija, ekspertni sistemi, sistemi za podršku odlučivanju, itd.);

– težište na obuci ljudstva. Danas se traži kadar sa znanjima iz više oblasti (vibracije, kompjuteri, elektronika...). Trend je na specijalizaciji ljudstva prema vrsti opreme, a manje prema strukama radne snage (klasična podela rada). Još izvesno vreme biće neophodna ljudska kontrola nad procesima, čak i u potpuno automatizovanim i robotizovanim postrojenjima. Obuka ljudstva trebalo bi da se organizuje bar 10 dana godišnje, uz korišćenje raspoloživih tehnologija, uključujući i predavanja na daljinu, preko računara;

– težnja ka 0-otkaza i 0-zastoja zbog održavanja, odnosno situacije kada će iznenadni otkazi biti samo izuzetni događaji a ne pravilo, odnosno činjenica, kao što je to slučaj danas. To se, prvenstveno, odnosi na važnu opremu, a ne na onu manje bitnu.

Ciljevi su da se:

– formalizuju pristupi menadžmentu rizikom (npr. tehnike kao: RCA – Root Cause Analyse), FMECA, Probabilistic Safety Assessment, Probabilistic Risk Assessment...);

– primene savremene strategije održavanja: održavanja prema pouzdanosti – Reliability Centred Maintenance – RCM, totalno produktivno održavanje – Total Productive Maintenance (TPM) i drugih;

– integrišu uticaji ljudskog faktora (pouzdanost, greške, itd.);

– integriše participativni pristup u projektovanju opreme (npr. tehnike kao što su Design for Maintainability, Value Engineering, Hazop...).

Za domaću naučnu i stručnu javnost može biti samo privremeno utešno da is-

kustva iz razvijenih zemalja [3] govore da se većina kompanija nalazi u drugoj generaciji sistema održavanja, a da su samo neke prešle u treću. Četvrta generacija je još uvek u domenu teoretskih razmatranja.

### **Pokazatelji uspešnih sistema održavanja**

Pokazatelji da su neke faze dale rezultate, odnosno da je primena pojedinih postupaka – metoda za usavršavanje sistema održavanja bila efektivna, jesu sledeći [4, 5]:

– ne sme biti više od 25% neplaniranih poslova;

– planski poslovi bi trebalo da budu 95%;

– plansko angažovanje 70% raspoloživih resursa;

– dnevno raspoloživi kapaciteti moraju biti angažovani 100%;

– obrt zaliha rezervnih delova trebalo bi da bude 3,0 do 3,5 (danas iznosi oko 0,7);

– procenat traženih prema trenutno zadovoljenim zahtevima za rezervne delove trebalo bi da bude 97%;

– da se 85% rezervnih delova i opreme za održavanje donosi na mesto rada;

– organizaciona celina koja se bavi upravljanjem i planiranjem ne treba da bude vezana za izvršni deo organizacije;

– planiranje se obavlja pre raspoređivanja poslova; poslovi se raspoređuju na one koji ih mogu izvršiti, a izvršenje poslova se ne prekida;

– postoji sistem za prioritizaciju poslova;

- planirani poslovi se izvršavaju na vreme;
- postoji preventivno održavanje koje se izvodi kada je jeftinije od korektivnog održavanja i većinom bez zaustavljanja rada TS;
- preventivne radnje održavanja izvršavaju se 100%;
- baza tehničkih podataka je 95% ažurna (postoji za sredstva) i tačna;
- korisnici učestvuju u sprovođenju radnji koje omogućavaju stvaranje osnovnih uslova za rad opreme (postoji „nega“ – opsluživanje TS);
- standardi sigurnosti su visoki (manje od 2 incidenta na 200 000 radnih sati);
- postoji široki raspon kontrole, jer je kadar visokokvalifikovan, posebno na nivou poslovođa;
- svaki pojedinac ima poseban lični plan školovanja i usavršavanja;
- postoji posebna organizaciona celina koja se bavi sa RCA, FMECA i drugim naprednim tehnikama i direktno je odgovorna glavnom direktoru;
- u upravi sistema održavanja može se izdvojiti 20% radnog vremena za razvoj i rešavanje dugoročnih problema.

Prosečna ocena uspešnosti sistema održavanja preduzeća na Zapadu na skali od 1 do 10 je od 4 do 5, dok najbolji imaju ocenu 6, a retki 7 [5].

U svakom sistemu održavanja postoje mogućnosti za njegovo usavršavanje, kao i u izboru načina da se dođe do usavršavanja sistema i boljih rezultata funkcionisanja. Zbog toga je potrebno analizirati problem i ukazati na mogućnosti primene savremenih strategija održavanja, ali i drugih pristupa, bazirano na iskustvima i istraživanjima autora i podacima iz relevantne svetske literature.

## **Uvođenje i korišćenje informacionog sistema**

Iako ne spada u strategije održavanja, Computerised Maintenance Management System (informacioni sistem za upravljanje održavanjem – CMMS) mora se uzeti u obzir, jer bez njega nema primene savremenih strategija održavanja, kao ni efektivnog i efikasnog menadžmenta održavanjem. Uvođenje ovog menadžerskog pomagala prvi je korak u usavršavanju svakog sistema održavanja.

Primena CMMS ima nekoliko prednosti, kao što su:

- služi kao podsetnik za organizovanje poslova u vremenu (Diary and Personal Organiser Tool), odnosno pruža podatke o poslovima, planovima, planiranim zastojima, troškovima, radnoj snazi, materijalu, TS, programima, rasporedima, statusu pojedinih poslova, potrebnoj dokumentaciji;
- raspoređuje radnu snagu prema zadacima, znanjima, ekipama ili na druge načine, i analizira njeno angažovanje;
- dnevno prati sve zahteve za održavanjem i generiše radne naloge za preventivno održavanje;
- klasifikuje poslove prema prioritetima, lokacijama, TS,..;
- deli poslove na faze radi preciznijeg planiranja i programiranja;
- štedi vreme i novac (npr. ako u bazi podataka poseduje katalog delova i katalog ponuđača može se izabrati najbolja ponuda);
- prati troškove;
- prati ugovore za održavanje i njihovu realizaciju;
- vrši analizu otkaza TS, ali i preventivnog održavanja;



- pomaže u određivanju trendova i drugim statističkim analizama;
- služi za obuku, učenje i davanje instrukcija (npr. ukoliko poseduje tehnološku dokumentaciju sa slikama, procedurama, specifikacijama materijala i opreme, itd.);
- povećava bezbednost u radu TS i ljudi;
- analizira prihode i rashode i omogućava racionalno praćenje trošenja budžeta;
- pomaže korisnicima tehničkih sredstava (može ih podsećati na njihove obaveze u vezi s opsluživanjem, pregledima ili planiranim zastojećima).

Da bi se utvrdilo da li je postojeći sistem održavanja dobar, treba započeti sa njegovom analizom zasnovanoj na podacima iz CMMS [6]. Na ovaj način utvrđuje se i da li CMMS daje potrebne izlazne podatke. Ova analiza praktično se sastoji od dva koraka. Prvi korak je „Ocena“ koja se sastoji u dobijanju odgovora na sledeća pitanja:

1. Da li su preventivne procedure (akcije) svrsishodne (da li raste ili pada broj korektivnih akcija, koliko radnih časova se troši na korektivne, a koliko na preventivne akcije održavanja itd.)?
2. Da li se preventivno održavanje redovno vrši i kakvi su mu rezultati (na svakih 6 preventivnih akcija održavanja trebalo bi da se otkrije bar jedna korektivna)?
3. Gde su problemi vezani sa pouzdanošću (koja oprema, koji delovi i procesi najčešće otkazuju)?
4. Gde se troši najveći broj radnih časova službe održavanja (po različitim klasifikacijama vrsta poslova)?
5. Koliko je nedovršenih poslova (ukupna količina poslova ne bi smela da

prede veličinu koja se ne može završiti za 6 radnih nedelja) [7]?

6. Kolika je efikasnost radne snage u održavanju?

7. Koliko organizacija troši novca na održavanje i gde su problemi (kadar, delovi, oprema, podizvođači...)?

Drugi korak sastoji se u identifikaciji problema (prvenstveno vezano za CMMS), i obuhvata odgovore na pitanja:

1. Da li softver može da generiše potrebne liste i tabele i na koji način (npr. ako je izdvojeno više od 10 kritičnih vrsta TS to nije dobro)?

2. Da li je moguće dobiti pregled radne snage po potrebnim znanjima, veštinama, raspoloživim kapacitetima, itd.?

3. Kakav je pregled TS (identifikacioni brojevi, naziv, tip, model, starost, centri troškova, pripadnost organizacionim celinama, lokacija, itd.)?

4. Kakav je pregled zaliha (identifikacija, lokacija, isporučilac, minimalni i maksimalni nivo zaliha, itd.)?

5. Kakve su mogućnosti modula za izdavanje i analizu radnih naloga?

6. Da li se u analizi preventivnih zadataka održavanja navode svi resursi potrebni za izvođenje akcija održavanja, da li postoji povratna veza, koliko je preventivna akcija bila efektivna, itd.)?

Dostupni podaci ukazuju na to da se investicije u uvođenje sistema CMMS vraćaju za 18 do 30 meseci [8].

### **Primena savremenih strategija održavanja**

Pod tradicionalnim strategijama održavanja podrazumevaju se preventivno, korektivno i kombinovano održavanje. Savremene strategije su RCM, TPM, odr-

žavanje prema stanju, prediktivno održavanje i veći broj tzv. „ubrzanih strategija“. Rezultati njihove primene su raznoliki.

Rezultati postignuti primenom strategije RCM, u različitim slučajevima, jesu sledeći [3]: smanjenje broja radnih časova za preventivno održavanje za 87%; smanjenje ukupnog broja radnih časova za održavanje do 29%; smanjenje troškova repromaterijala za održavanje do 64%; povećanje raspoloživosti TS do 15%; povećanje pouzdanosti TS do 100%.

Poznato je da se investicije u RCM vraćaju za 3 do 6 meseci, eventualno godinu dana, i da se smanjuje broj zahteva za održavanje za 25 do 40%. Međutim, za njegovu primenu potrebno je 2 do 6 godina, pošto su procedure analize, posebno FMECA, vrlo komplikovane, pa time i dugotrajne.

Kritičari primene ove strategije ističu da je ona namenjena za projektovanje TS, i da su joj ograničene mogućnosti za TS koji se već eksploatišu. Neki smatraju da je prekomplikovana i dugotrajna, posebno kada se do detalja razrađuje FMECA. RCM ne uzima u obzir planiranje i planske zastoje TS, pa se smatra da je pogodna samo za komplikovane i složene TS.

Uvođenje strategije TPM zahteva puno vremena i uloženog rada. Prvi efekti su приметni već posle 6 meseci, dok puna implementacija traje više godina. Velike uspehe ovaj koncept je postigao pri primeni u kompanijama kao što su Ford, Kodak, Harley Davidson i Texas Instruments. Investicije se vraćaju za najmanje tri puta, a proizvodnja se u nekim slučajevima povećava i do 80%, dok se zastoj zbog održavanja skraćuje i preko 50% [9].

Ubrzane strategije održavanja nastale su kao odgovor na probleme prime-

ne, prvenstveno RCM strategije, radi njihove brže primene i bržeg ostvarenja finansijskih rezultata.

Primena novih strategija održavanja zahteva promenu „organizacione kulture“ u sredinama gde se primenjuje. To znači odustajanje od tradicionalnog razmišljanja orijentisanog na opravke i orijentaciju na pouzdanost, odnosno, pomak od reaktivnog ka proaktivnom načinu razmišljanja, što podrazumeva [10]:

- definisanje dugoročnih strategijskih ciljeva;
- usklađivanje sistema nagrađivanja sa strategijskim ciljevima;
- bolju integraciju proizvodnje (osnovne funkcije) i održavanja;
- stvaranje mogućnosti za timski rad i učenje;
- isključivo cilju posvećeno vodstvo – menadžment.

Razlike između tradicionalne organizacione kulture u održavanju i nove, koja mora nastati, prikazane su u tabeli [10].

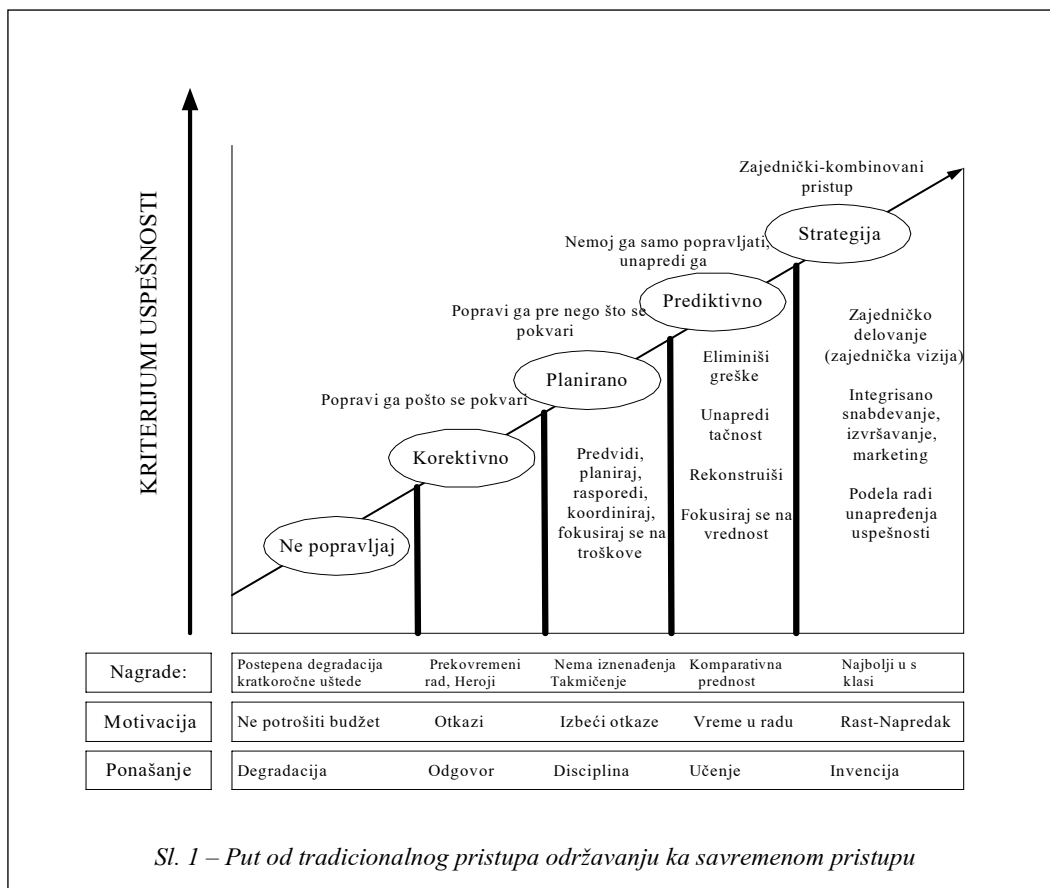
*Razlike između tradicionalne organizacione kulture u održavanju i nove*

STARO	NOVO
Orijentacija na opravke	Orijentacija na pouzdanost
Popravi	Unapredi
„Gašenje požara“	Predvidi, Planiraj, Programiraj akcije
Zanatlija	Član poslovnog tima
Rešavaj otkaze	Eliminiši otkaze
Smanji troškove održavanja	Povećaj vreme u radu
„Akcija-program meseca“	Kontinuirano unapređivanje
Verovanje da su otkazi neizbežni	Verovanje da su otkazi samo izuzeci
Prioritet se daje otkazima	Prioritet se daje eliminisanju uzroka otkaza
Mnogo otkaza	Svega nekoliko otkaza
Nizak udeo planskih poslova	Visok udeo planskih poslova
Mnogo reklamacija	Malo reklamacija
Niska pouzdanost	Visoka pouzdanost
Visoki troškovi održavanja	Niski troškovi održavanja
Kratkoročni planovi	Dugoročni planovi
Neprofitni karakter	Privlači investicije

Da bi se ostvarile ove promene potrebno je 5 do 8 godina. Osnovno je napuštanje orijentacije sa neposrednih i kratkoročnih ciljeva i orijentacija ka dugoročnim ciljevima, a neophodna je i izvesna promena kadra. To podrazumeva i bolju motivaciju kadra i viši nivo inspiracije, jer traži zadovoljenje izmenjenih i viših psiholoških zahteva i potreba. Praktično, svaki zaposleni mora da nađe svoj interes u ovim promenama, pa se i sistem nagrađivanja podešava prema novim ciljevima organizacije.

Put od tradicionalnog pristupa održavanju ka savremenom pristupu ilustrovan je na slici 1, na kojoj su prikazane faze u razvoju sistema održavanja. Jasno je da se

pokazatelji uspešnosti poboljšavaju sa primenom novih pristupa. U isto vreme menja se i sistem nagrađivanja, motivacioni mehanizmi i karakteristike ponašanja zaposlenih. Tako se, na primer, u reaktivnom okruženju smatra da se nikada ne zna šta je sledeći posao, novčane nagrade su vezane za prekovremeni rad na otklanjanju iznenadnih otkaza i hitnih poslova, ljudi postaju „heroji“ ako znaju nešto da oprave i to rade brzo, osnovnim kvalitetom službe održavanja smatra se brza reakcija na zahteve za opravkama. Jedino ograničenje je da se ne prekorači odobreni budžet, a sve aktivnosti usmeravaju se na jednostavne uštede. Veza između proiz-



vodnje (osnovne funkcije) i održavanja svodi se na puko ispostavljanje zahteva za održavanjem.

Ukoliko se uvede strategija plansko-preventivnog održavanja menja se suština delovanja, jer se sada naglašava disciplinovanost izvršavanje planiranih radova i procedura. Na taj način i stari sistem nagrađivanja više nije funkcionalan. Nagrađuju se oni koji posao obavljaju po tačno određenim procedurama i na vreme. Uvodi se pravilo „što manje otkaza (manje rada u održavanju) veća plata“ ili fiksna plata, što eliminiše „bivše heroje“ prekovremenog rada. Nagrađuje se postizanje planske raspoloživosti TS. Veza između proizvodnje i održavanja postaje dvo-smerna, jer održavanje zahteva planske zastoje zbog izvođenja radnji održavanja.

U proaktivnom okruženju traži se učešće svih zaposlenih u otkrivanju mogućnosti za eliminaciju otkaza (strategije RCM, TPM,...). Međutim, pojavljuje se problem da se sa umanjnjem potreba za održavanjem umanjuje i potreban broj radne snage. To podrazumeva stvaranje sistema učešća ljudi u timovima za unapređenje rada, čime se kompenzuje njihovo neangažovanje na radovima održavanja. To zahteva i stvaranje sistema nenovčanih nagrada. Odnos proizvodnja – održavanje tada dobija nov kvalitet, jer se za određivanje „optimalnog“ održavanja zahteva učešće osoblja i iz proizvodnje i iz održavanja, kao i međusobna podela odgovornosti u ovom poslu (npr. za TPM). Stvaranje timova vitalni je element promena u ponašanju.

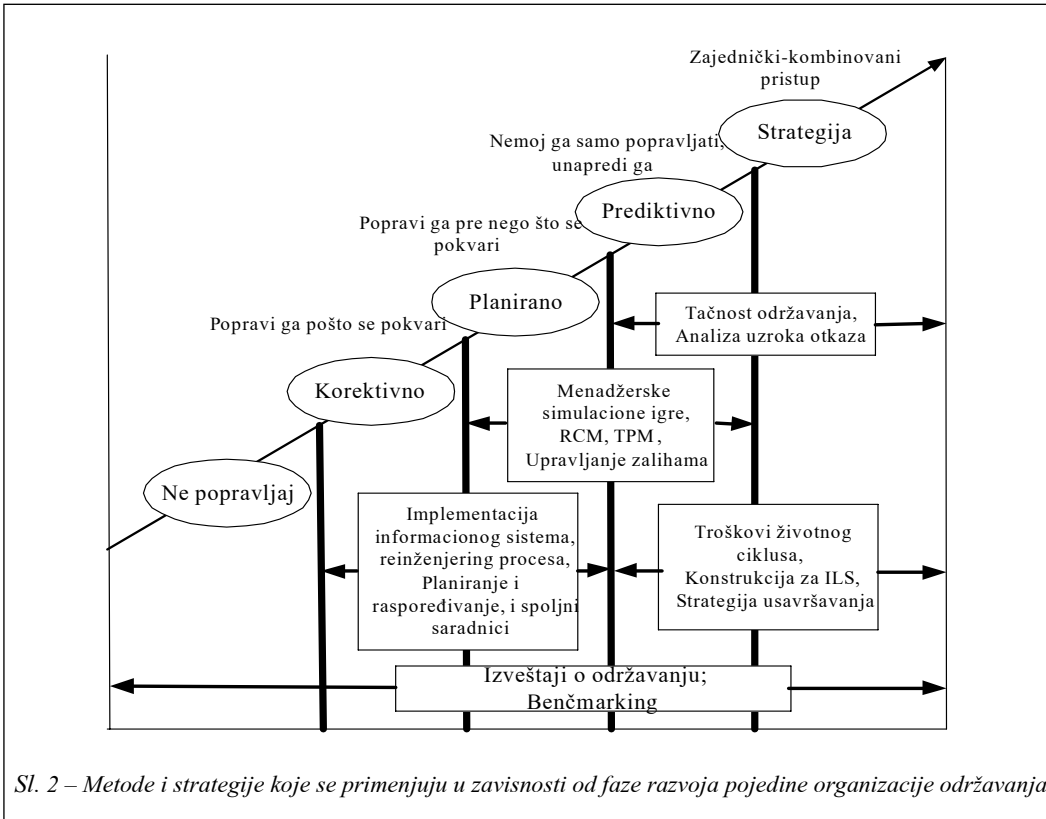
Poslednji stadijum ovog procesa još uvek ne postoji u praksi, ali je jasno da mu je suština u ostvarivanju sve veće integracije među delovima organizacije radi poboljšanja ukupnog poslovanja.

Na osnovu iznetih stavova može se zaključiti kojoj fazi razvoja pripada pojedini sistem održavanja.

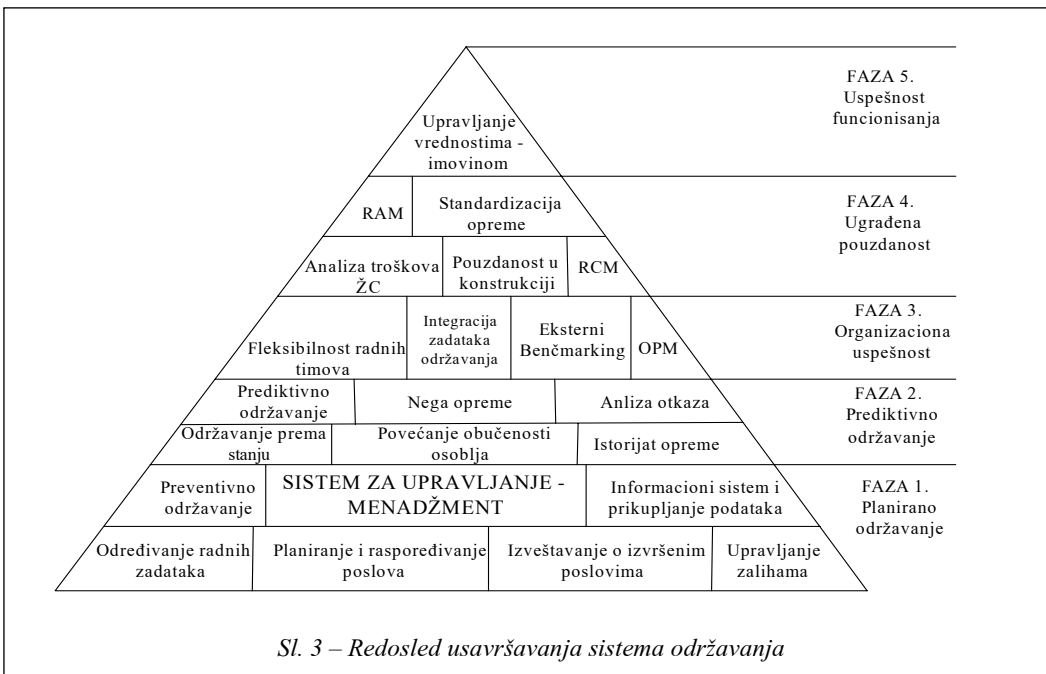
Rešenje unapređenja uspešnosti sistema održavanja ne može se tražiti u primeni samo jedne strategije ili jedne metodologije. Svaka od njih ima određene prednosti, ali i nedostatke. Najbolji rezultati mogli bi se postići njihovom odgovarajućom kombinacijom [11], koja je, u skladu sa potrebama konkretne organizacije, cilj kojem treba da se teži. Pojedini pristupi efektivniji su od drugih u konkretnim uslovima, a opšte preporuke u tom smislu mogle bi se sintetizovati i grafički prikazati kao na slici 2. Metode i strategije primenjuju se u zavisnosti od faze razvoja pojedine organizacije održavanja.

Mnogi od ovih pristupa podrazumevaju veću integraciju i timski rad proizvodnje (osnovne funkcije), održavanja i projektovanja. Ograničenje je da se oni ne mogu uvesti niti sprovesti bez odgovarajuće edukacije, vođenja od najvišeg menadžmenta, istrajnosti, fleksibilnosti, promene organizacione kulture, javnosti rada i naglašavanja uspeha.

Pri svemu tome ne treba zaboraviti da se promene ne mogu uvoditi u sisteme koji „nisu spremni“ za njih. Na primer, kako uvesti nove preventivne radnje kada sistem za planiranje ne postoji, ili kako dobiti podatke o efektima pojedinih radnji kada ne funkcioniše povratna veza u informacionom sistemu, ili kako odrediti šta je hitno kada nema sistema za određivanje prioriteta? Redosled rešavanja pojedinih pitanja, odnosno problema, ilustrativno je prikazan u vidu piramide na slici 3. U usavršavanju se kreće od baze ka vrhu piramide, a osnovicu daje sistem CMMS.



Sl. 2 – Metode i strategije koje se primenjuju u zavisnosti od faze razvoja pojedine organizacije održavanja



Sl. 3 – Redosled usavršavanja sistema održavanja

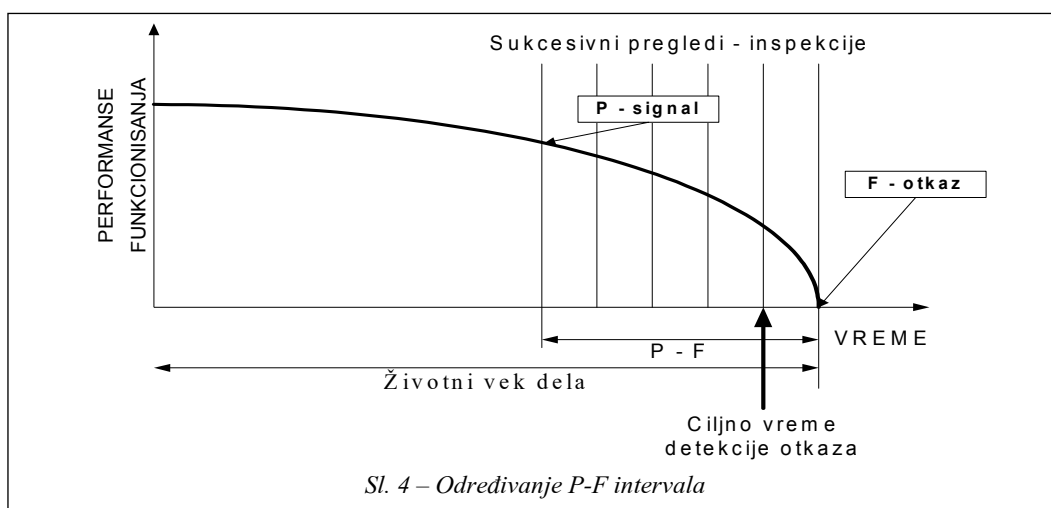
Pored prethodnih problema primena strategija održavanja, koji su više menadžerske prirode, odnosno vezani za organizaciju poslovanja, postoje i dva osnovna problema koji su više tehničko-tehnološke prirode. Prvi je u određivanju optimalnog intervala pregleda – inspekcije TS. U primeni savremenih strategija održavanja smatra se da tzv. „prvu liniju odbrane“ od otkaza čine postupci za dijagnostiku stanja TS [18] savremenom dijagnostičkom opremom. Međutim, što su pregledi – inspekcije češći, troškovi održavanja su veći. Ovaj problem ilustrovan je na slici 4. Svako TS, ili neki njegov deo, ima odgovarajući „životni vek“, odnosno period za koji će raditi u odgovarajućim granicama traženih performansi funkcionisanja. Neki delovi, odnosno oni kod kojih je moguće dijagnostikovati otkaz, od trenutka P daju signal o tome da je moguće da će doći do otkaza. U trenutku F taj deo definitivno otkazuje posle izvesnog perioda funkcionisanja uz smanjenje performansi (podebljana kriva na slici). Sa slike je jasno da je, ukoliko se oprema – deo pregleda

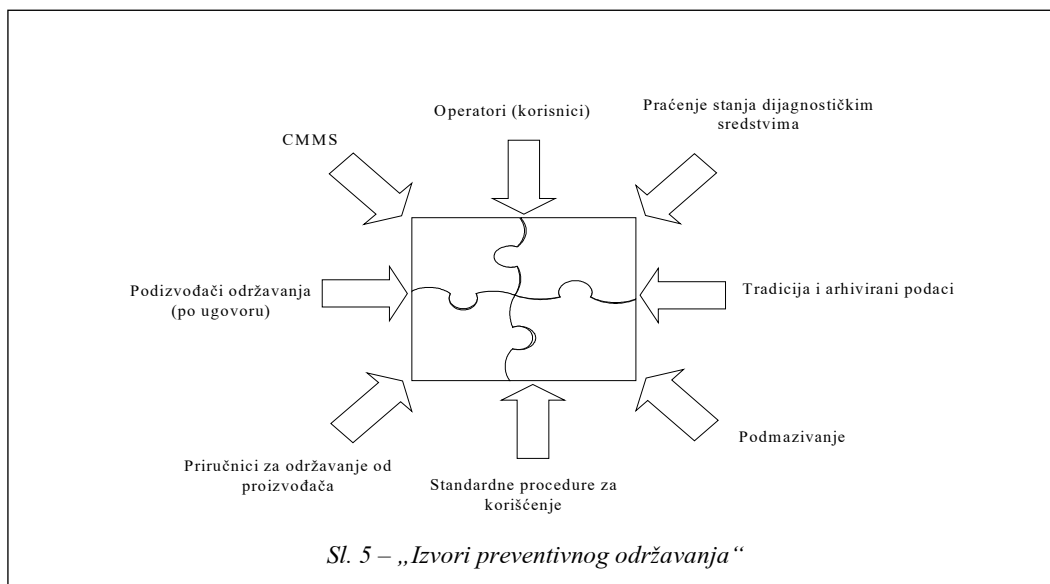
u intervalima manjim od P-F, moguće da se ovaj otkaz otkrije pre nastanka.

Postavlja se pitanje koliko interval pregleda – inspekcije mora biti manji od intervala P-F. Takođe, postavlja se pitanje da li, ako se češće vrše pregledi – inspekcije, to znači da je i verovatnoća otkaza manja? Cilj bi bio da se otkaz otkrije neposredno pre vremena nastanka (ciljno vreme detekcije otkaza – slika 4), jer se na taj način maksimalno iskorističava tzv. rezerva pouzdanosti TS – dela.

Za optimizaciju veličine intervala pregleda – inspekcija, ili zamene delova, razvijen je veliki broj matematičkih modela, tzv. modela održavanja. Oni su matematički veoma komplikovani, pa je važno uočiti sledeće stavove, uglavnom zasnovane na podacima iz literature [18]:

- ukoliko su troškovi preventivne zamene veći od troškova zastoja TS nema svrhe da se preventivno održavaju;
- ukoliko je metod za dijagnostiku otkaza potpuno pouzdan obavljanje više od jednog pregleda – inspekcije predstavlja gubljenje vremena i novca. Periodika takvog pregleda tada može biti





samo malo manja od intervala P-F. U protivnom pregledi – inspekcije moraju se vršiti češće, što zahteva optimizaciju broja pregleda u okviru intervala P-F;

- zagovornici primene RCM i TPM tvrde da korisnici opreme i ljudstvo iz procesa održavanja najbolje znaju, na osnovu iskustva, da odrede veličinu intervala P-F;

- suprotno od do skoro preovlađujućeg mišljenja u inženjerstvu održavanja, veličina optimalnog intervala pregleda – inspekcije nije uslovljena verovatnoćom nastanka otkaza niti zakonitošću razvoja otkaza (degradacije dela).

Treba napomenuti da to važi za 91% delova koji bi mogli da se zamene pre nastanka otkaza (preventivno), a posebno oni koji daju „određeni signal“ da im je stanje narušeno.

Drugi problem tehničko-tehnološke prirode jeste kako optimizirati sadržaj preventivnih radnji održavanja. Tradicionalan pristup sastoji se u pridržavanju uputstava i preporuka proizvođača. Kao što je

poznato, proizvođači, obično, preporučuju više radova sa većom učestalošću, što obično ne odgovara konkretnim uslovima korišćenja TS. Takođe, neke preporuke vremenom zastarevaju, kao što su na primer, one o zameni ulja, jer sa pojavom sintetičkih ulja kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem interval zamene se višestruko povećao, ili one vezane za zastarelu opremu za dijagnostikovanje. Radi toga je potrebno najpre sagledati sve „izvore podataka o preventivnom održavanju“ [19], kao što je to prikazano na slici 5.

Potrebno je izvršiti određivanje ukupnog zadatka preventivnog održavanja (uključujući prioritete). Vršiti se kompilacija akcija održavanja, odnosno prikupljanje i dokumentovanje postojećeg programa održavanja (formalnog – iz zvanične dokumentacije i neformalnog – iz iskustava korisnika i održavalaca TS). Zatim se analiziraju otkazi (oni koje postojeći sistem otklanja) sa stanovišta da se odbace one preventivne radnje koje otklanjaju otkaze koji se nikada neće dogoditi ili koji su neisplativi. Iz podataka o dosada-

šnjim otkazima određuje se na koje se otkaze isplati preventivno delovati, a nisu obuhvaćeni dosadašnjim preventivnim programom. Sledeći korak je racionalizacija preventivnih radnji i revizija svih relevantnih otkaza. U tom okviru vrši se eliminacija radnji koje se dupliraju u različitim preventivnim programima održavanja. Završni korak je analiza posledica dopuštenih otkaza, kako bi se odredili oni sa nedopustivim posledicama i odredio način preventivnog delovanja na njih. Na taj način stvara se ukupan racionalizovan – optimiziran skup radnji preventivnog održavanja. U nekim slučajevima ovde je korisno primeniti FMECA analizu radi detaljnije analize kritičnih otkaza.

### **Problemi i mogućnosti njihovog rešavanja u vojnim sistemima održavanja**

Za održavanje se izdvaja 5 do 10% od domaćeg vojnog budžeta. Ova sredstva su velika, ali su nedovoljna za trenutno potrebnu sanaciju tehnike. Međutim, koliko treba povećati budžet i da li to treba činiti ne bi bilo korisno odgovoriti pre određenog usavršavanja sistema održavanja usmerenog na neophodne racionalizacije. Na to ukazuju i određena svetska iskustva.

Avijacija mornarice SAD (NAVAIR) konstatovala je da joj troškovi održavanja rastu 5% godišnje. Po izveštajima njihove komande sadašnji rashodi vezani za eksploataciju i održavanje TS su reda veličine 50 do 60% od ukupnog budžeta. U uslovima restrikcije vojnih budžeta vrlo je teško održati borbenu spremnost i vršiti potrebne modernizacije. Zbog toga je u NAVAIR započeta realizacija projekta koji ima za cilj smanjenje troškova održavanja i eksploatacije (zasnovano na metodologiji RCM), pri čemu je definisan, prihvatljiv nivo raspoloživosti (gotovosti) tehnike [12].

Gotovo istovremeno ratna mornarica SAD, u okviru projekta Smart Ship („inteligentni“ brod), na ratnom brodu USS YORKTOWN izvršila je implementaciju usavršenog sistema održavanja zasnovanog na RCM [13]. Smart Ship projekat zasniva se na: novim tehnologijama (ne samo za održavanje); novim politikama i procedurama (ne samo u održavanju) i novim metodama održavanja zasnovanim na RCM.

Konstatovano je da su postignuti sledeći rezultati: primenjena je fleksibilna matrična organizaciona struktura; izvršena je automatizacija navigacije, kontrole mašina, kontrole stanja mašina i opreme i informacionog sistema; smanjene su potrebe za preventivnim održavanjem za 15%, a u isto vreme nije došlo do povećanja broja otkaza; ostvareno je smanjenje angažovanja radne snage za 9000 časova (30%), što omogućava smanjenje posade za 44 mornara i 4 oficira, godišnje; novčane uštede mogle bi se estimirati na 2,865 miliona USD; povraćaj investicija u tehnologiju biće ostvaren za 17 godina, dok će se investicije u RCM vratiti za dve godine, itd. [14].

Britanska kraljevska mornarica u potpunosti je usvojila primenu RCM strategije, i u tu svrhu izdala odgovarajući standard.

Neki podaci o organizaciji italijanskih oružanih snaga govore o tome da kod njih postoji funkcija pomoćnika za naoružanje vezana za najviše vojno rukovodstvo, a koji ima delokrug rada koji upravo odgovara već pomenutoj funkciji „Asset management“, odnosno njegov zadatak je upravljanje TS (naručivanje, nabavka, projektovanje, proizvodnja i održavanje).



Podaci o stanju tehnike u našoj vojsci [15] govore o tome da još 1990. godine, zbog nedostatka resursa, tehnički pregled nije izvršen na oko polovini TS, a izvršena je samo trećina od stvarnih potreba. Srednji i generalni remont realizovan je oko 50% od planiranog. Funkcionalna ispravnost tehnike tada je procenjena vrlo visoko, ali je stanje bilo mnogo slabije. Realno je bilo očekivati da je bilo oko 2/3 potpuno ispravnih tehničkih sredstava.

I pored evidentnog neizvršavanja radnji preventivnog održavanja, situacija po pitanju ispravnosti tehnike nije se znatno pogoršala ni posle izvođenja borbenih dejstava 1991/1992. godine. Iz toga se može zaključiti da je bilo predviđeno previše preventivnih radnji održavanja. U istom periodu smatralo se da je oko 60% neispravnosti na tehničkim sredstvima prouzrokovano slabim osnovnim održavanjem, što nameće zaključak da se uključivanjem korisnika u održavanje mogu postići izuzetno veliki efekti, što je suština strategije TPM.

U jednom istraživanju [16] procesa održavanja vozila TAM 110/150 devedesetih godina, što uključuje periode normalne eksploatacije i u toku izvođenja borbenih dejstava, uočeno je da je za pet godina od 4699 vrsta sastavnih delova otkazalo svega 300. Od otkazalih delova samo 18 vrsta imalo je više od 20 otkaza, što predstavlja minimum zadata u standardu IEC 605 za izračunavanje intenziteta otkaza, odnosno pouzdanosti. Već sam podatak da je otkazalo svega 300 delova, a da je na zalihama, samo u jednoj jedinici, bilo oko 1000 različitih stavki, jasno ukazuje na mogućnosti ušteda kroz sma-

njenje zaliha. Od 18 delova koji su najčešće otkazivali samo 6 ima jasno izraženu tendenciju rasta intenziteta otkaza, što govori da svega 2% delova spada u kategoriju onih kod kojih intenzitet nije konstantan. Sve to ukazuje na mogućnosti primene strategije RCM.

Zaključci koji su proizašli kao rezultat istraživanja [15, 17] vezanih za sistem održavanja u Vojsci ukazuju na činjenicu da se, na osnovu iznetih rezultata, može izvršiti rangiranje razmatranih faktora koji utiču na promenu pokazatelja uspešnosti funkcionisanja, i mogućnosti primene u odnosu na potrebna ulaganja. Promenama u sistemu održavanja treba pristupiti prema redosledu značaja ovih faktora, odnosno takvim redosledom razvojnih koraka postigli bi se najveći efekti uz najmanja ulaganja. Ovaj redosled je, takođe, logičan, jer npr. bez uvođenja automatske obrade podataka i informacionog sistema nema efikasnog i efektivnog upravljanja zalihama r/d. Redosled razvojnih koraka (ili relevantnih faktora prema značaju) koje treba preduzeti je sledeći:

1. Može se tvrditi da je koncepcija – strategija održavanja ključni faktor koji utiče na efektivnost i efikasnost sistema održavanja. Ukoliko se broj radova održavanja smanji za oko 40%, raspoloživost opreme može se povećati za oko 30% (praktično koliko manje radnji održavanja toliko veća raspoloživost), a broj radnih mesta u održavanju smanjiti i do 10%. Ovaj zaključak je i logički jasan, jer je jasno da će opredeljenje za strategiju održavanja uticati na karakter, obim i učestanost radova održavanja koje treba izvršiti u konkretnom sistemu. Šire gle-

dano, ovde treba uključiti i primenu koncepta ILS (Integrated Logistics Support ili kod nas poznatiji kao ITOB).

2. Od pojedinačnih faktora najveću pažnju treba obratiti na skraćivanje administrativnih vremena kroz izmene u tipu i obliku upravljačke – organizacione strukture, i primenu savremene tehnologije za prenos i obradu informacija. Povećanje broja izvršenih radova za isto vreme u tom slučaju je oko 15%, a rast pokazatelja raspoloživosti za do 5%. To, kao i naredni stav, zahteva, pored redizajniranja organizacione strukture, postupaka i procedura za upravljanje, i uvođenje odgovarajućeg informacionog sistema (Computerised Maintenance Management System – CMMS);

3. Naredni faktor po značaju je skraćivanje logističkih vremena, posebno kroz određivanje optimalnog nivoa, načina upravljanja i rasporeda zaliha r/d po nivoima, i ubrzanje za njih vezanih materijalnih i informacionih tokova. Kao pogodna vrednost verovatnoće trenutnog zadovoljenja tražnje za rezervnim delovima navodi se vrednost od 0,70 do 0,85.

4. Povećanje kvaliteta izvršenja radova održavanja više zahteva promene u ponašanju ljudi i organizaciji nego materijalna ulaganja. Na povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti utiče oko 2 do 3%.

5. Uvođenje i primena savremene dijagnostičke opreme svakako je jedan od najznačajnijih svetskih trendova (to je i sastavni deo opredeljenja za strategiju održavanja, bez čega se ne mogu odrediti potrebe za ovom vrstom opreme). Povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti je oko 15% za 10% povećanja tačnosti dijagnostike.

6. Uvođenjem savremene remontne opreme (za rastavljanje, sastavljanje, itd.) raspoloživost bi se povećala za oko 1%.

7. Ostali rezultati ukazuju na potrebu za što tačnijim dimenzionisanjem izvršnih i upravnih elemenata sistema održavanja, radi dodatnog smanjenja troškova.

Promene u sistemu navedenim redosledom bi, kako se dalje odmiče sa njihovom primenom, imale sve veći efekat na sistem, jer bi se uvećavao sinergetski efekat. Može se očekivati povećanje vrednosti pokazatelja uspešnosti do 30%. Usavršavanja se mogu izvršiti i kombinacijom nekih navedenih koraka.

### **Zaključak**

U usavršavanju sistema održavanja bitno je uočiti redosled kojim treba započeti taj proces. Pri svemu tome ne treba zaboraviti da se promene ne mogu uvoditi u sistemima koji „nisu spremni“ za njih. Pre uvođenja strategija održavanja treba usavršiti sistem planiranja radnji održavanja, informacioni sistem, menadžment, pravilno dimenzionisati sistem, obučiti radnu snagu, uvesti sistem za ocenjivanje uspešnosti rada i druga poboljšanja na polju menadžmenta održavanjem, pa tek onda uvoditi nove strategije održavanja, jer inače one neće naići na pripremljeno „tlo“ i mogu lako doživeti neuspeh.

Ključni, početni korak, za ozbiljnije racionalizacije ipak je stvaranje odgovarajuće strategije održavanja. U domenu strategija ne treba izgubiti iz vida da je svaki sistem održavanja specifičan i da zahteva posebna rešenja. Zbog toga se danas sve više teži kombinovanju postojećih strategija održavanja i drugih metoda, radi iskorišće-

nja njihovih prednosti i smanjivanja nedostataka, a radi dobijanja adekvatnog i u konkretnoj praksi primenljivog rezultata. To podrazumeva da takav put treba tražiti i u našem vojnom sistemu održavanja.

Ne bi trebalo izgubiti iz vida da je naš vojni sistem održavanja, po slobodnoj proceni autora, negde između korektivnog i planiranog održavanja (slike 1 i 2). Da bi se pristupilo njegovom usavršavanju moraju se najpre rešiti problemi i nedostaci u oblastima koje su prikazane u dva najniža reda piramide na slici 3. To podrazumeva uvođenje odgovarajućeg CMMS, sistema za upravljanje zalihama, povećanje kvaliteta radne snage, pribavljanje tehničke dokumentacije, opreme, itd. Tek nakon toga vredi krenuti ka stvaranju odgovarajuće strategije održavanja.

#### Literatura:

- [1] Ray Beebe: It is the year 2020, and ..., Reliability web.com, 2000.
- [2] John Woodhouse: Asset management Decision-Making, The Woodhouse Partnership Ltd., 2001.
- [3] Sandy Dunn: Re-inventing the Maintenance Process, Queensland Maintenance Conference, 1998.
- [4] Dave Army: Operational Reliability Maturity Continuum, Strategic Asset Management Inc., sami\_01.htm
- [5] Christer Idhammar: What constitutes world-class reliability and maintenance, Idcon Inc.
- [6] Reliability Center, Inc.- Maintenance & Engineering Notes.htm: The 9 Great Benefits of a CMMS, Reliability.web.com
- [7] David Bertolini: Maximum CMMS, Reliability.web.com\
- [8] John Woodhouse: Asset management Decision-Making, The Woodhouse Partnership Ltd., 2001.
- [9] Ross Kennedy: Examining the Processes of RCM and TPM, Plant Maintenance Resource Center, 2002.
- [10] Sandy Dunn: Moving from a Repair-focused to a Reliability-focused Culture, Reliability.web.com
- [11] Evropski CRAFT projekat MELISSA (Maintenance Evaluation by Linked and Integrated Simulation in Sawmills), The Woodhouse Partnership Ltd., 2001.
- [12] Nancy Regan: U. S. Naval Aviation Implements RCM, Naval Air Warfare Center, Aircraft Div., 2000.
- [13] Smart Ship Project Assessment Report, 1998.
- [14] Aleksić, M.: „Modernizacija krstarica tipa Ticonderoga“, Novi glasnik 3–4, VIZ Beograd, 2000.
- [15] Projekat: Logistički pristup projektovanju VJ, 2000.
- [16] Jovanović, D., Stanojević, P., Čirović, M.: Neki problemi izučavanja pouzdanosti tehničkih sistema sa niskim i nestacionarnim intenzitetom eksploatacije, SYMOPIS, 1998.
- [17] Stanojević, P., Bukvić, V. Mišković, V.: Pristup kvantifikaciji uticajnih faktora na sistem održavanja, NTP br.1., 2003.
- [18] Steve Turner: Choosing maintenance analysis techniques, www.pmoptimisation.com
- [19] Steve Turner: PM Optimisation (Maintenance Analysis of the Future), www.pmoptimisation.com

Dr Slobodan Janićijević,  
pukovnik, dipl. inž.  
VP 9513, Beograd

## ODREĐIVANJE OPTIMALNE ARHITEKTURE INERCIJALNOG MERNOG BLOKA SA STANOVIŠTA POGODNOSTI DETEKCije OTKAZA SENZORA

UDC: 629.7.052 : 527 : 681.586

### Rezime:

U ovom članku analitički je ispitano 11 raznih rezervisanih arhitektura inercijalnog mernog bloka (IMB), sa stanovišta pogodnosti za detekciju senzora koji daju netačne parametre ili su potpuno otkazali. Algoritam ispitivanja baziran je na jednačinama parnosti i teoriji najmanjeg kvadrata greške rezervisanih senzora.<sup>1</sup> Određena je optimalna arhitektura IMB sa stanovišta pogodnosti za detekciju otkaza senzora.

*Ključne reči:* besplatformski inercijalni navigacijski sistem, inercijalni merni blok, rezervisana arhitektura senzora, detekcija otkaza, jednačine parnosti.

---

## DETERMINING OPTIMUM INERTIAL MEASUREMENT UNIT ARCHITECTURE FROM THE VIEW-POINT OF SENSOR FAULT DETECTION

### Summary:

This paper analytically analyzed 11 redundant architectures of the inertial measurement unit (IMU) from the view-point of detection capability of sensors which give inaccurate parameters or which failed completely. The test algorithm is based on parity equations and the least square error theory of redundant sensors. At the end of the paper an optimum architecture of the inertial measurement unit from the view-point of sensor fault detection capability was proposed.

*Key words:* Strapdown inertial navigation system, inertial measurement unit, redundant sensor architecture, fault detection, parity equations.

---

### Uvod

U mnogim kritičnim i važnim vazduhoplovnim zadacima zahteva se velika pouzdanost rada ključnih sistema vazduhoplova, među koje spada i inerci-

jalni navigacijski sistem (INS), jer daje osnovne navigacijske parametre aviona (poziciju, brzinu, uglovnu brzinu, linearno ubrzanje i dr.), i drugi uređaji, kao što su: radar, autopilot, FLIR, itd.<sup>2</sup> Glavni razlog relativno male pouzdanosti prvih

---

<sup>1</sup> U teoriji mernih sistema do sada su primenjene sledeće metode (algoritmi) za detekciju neispravnih senzora: adaptivna metoda, sekvencijalna metoda na bazi Kalmanovog filtra, metoda praga, metoda kvadrata greške, Bajesova metoda, metoda maksimalne verodostojnosti, minimaksna metoda, metoda srednje vrednosti (bez praga), analitička metoda i metoda na bazi teorije Markovca. Učinak svake od nabrojanih metoda zavisi od arhitekture, odnosno tipa rezervisanja IMB.

<sup>2</sup> Prvi INS su bili platformskog tipa sa kardanskim rotacijama. Pojavom „suvih“, laserskih i fiberoptičkih žiroskopa i brzih avionskih procesora u MIL standardu, algoritmi na bazi kvaterniona mogli su da se primene, tako da su se krajem sedamdesetih godina prošlog veka pojavili prvi besplatformski INS (BINS) sa osnovnom osobinom da su im senzori (žiroskopi i akcelerometri) čvrsto vezani za avion i usmereni u pravcu osi aviona.

BINS (oko stotinu časova) bio je mala pouzdanost njegovog ključnog dela – IMB, koji se sastoji od senzora, žiroskopa i akcelerometara.

Pouzdanost navigacijskih parametara, koje su „potrošači“ dobijali od BINS, u prvo vreme povećala se uvođenjem rezervisanja čitavog sistema BINS. Naime, dva ili tri BINS radila su u paralelnoj vezi, pri čemu je jedan – osnovni BINS stalno radio, a preostali su bili u rezervi (u radnoaktivnom stanju, stand by režimu ili su se uključivali ako osnovni BINS otkáže<sup>3</sup>). Međutim, ovaj način povećanja pouzdanosti rada zahteva višestruko veći prostor za ugradnju BINS u avionu, ima veću masu i cenu.

Napretkom tehnologije, već sredinom sedamdesetih godina XX veka, vodeći proizvođači BINS u svetu (Honeywell i Litton) sačinili su „klaster“<sup>4</sup> inercijalnih senzora, koji su činili jedan rezervisani sistem. Intenzivno su ispitivane razne arhitekture IMB, tj. klasteri, na bazi rezervisanja senzora (simetrične, ortogonalne i koplanarne) primarno, radi veće pouzdanosti BINS, koja je u uskoj vezi sa boljom detekcijom neispravnih senzora u IMB, a sekundarno radi bolje tačnosti izračunavanja navigacijskih parametara, manje mase i dimenzije IMB.

U ovom članku analizirano je 11 rezervisanih arhitektura IMB sa stanovišta pogodnosti za detekciju senzora koji daju netačne parametre ili su potpuno otkazali, tj. prestali sa radom. Algoritam izložen u

<sup>3</sup> U kosmičkim letelicama tipa Shuttle ugrađena su tri rezervisana BINS.

<sup>4</sup> „Klaster“ sadrži nekoliko žiroskopa u jednom kućištu. Na primer, „klaster“ sa laserskim žiroskopima može da sadrži i do 6 žiroskopa, dok je sa „suvim“ – DTG (dry tuned gyro) žiroskopima napravljen „klaster“ sa dva žiroskopa, tj. TDOF (two degree of freedom) žiroskop.

članku baziran je na jednačinama parnosti i teoriji najmanjeg kvadrata greške.

### Jednačine i vektor parnosti

Iz teorije mernih sistema poznato je da se u slučaju  $n$  rezervisanih senzora može formirati  $n$  jednačina merenja, tj.:

$$m = Hx + \varepsilon \quad (1)$$

gde je:

$m$  – vektor merenja (npr:  $m_i$  – mereni parametar iz  $i$ -tog senzora),

$x$  – trodimenzionalni vektor stanja (uglovna brzina ili linearno ubrzanje), npr. u pravcu ortogonalnih osa koordinatnog sistema aviona,

$\varepsilon$  –  $n$ -dimenzionalni vektor šuma sa Gausovom raspodelom,

$H$  – matrica merenja ili matrica geometrije senzora. Rang matrice  $H$  jednak je dimenziji (obično je 3) vektora  $x$ .

Kada se trodimenzionalni vektor  $x$  meri skupom od  $n$  rezervisanih senzora, koji daju na svom izlazu parametar  $m_n$  bez šuma, onda se može pokazati da je [1]:

$$\lambda_1 m_1 + \lambda_2 m_2 + \dots + \lambda_n m_n = 0 \quad (2)$$

gde je  $\lambda_n$  skalar.

Kada merenje  $m_n$  sadrži grešku  $\varepsilon_n$ , jednačina (2) glasi [1]:

$$\lambda_1(m_1 - \varepsilon_1) + \lambda_2(m_2 - \varepsilon_2) + \dots + \lambda_n(m_n - \varepsilon_n) = 0 \quad (3)$$

$$\text{ili } \lambda_1 m_1 + \lambda_2 m_2 + \dots + \lambda_n m_n = \eta \quad (4)$$

gde je  $\eta$  vektor „nedoslednosti“ ili greška pri merenju [1].

Jednačina (4) naziva se jednačina parnosti. Ukoliko se merenje  $n_0$  dimenzionalnog vektora obavlja sa  $n$  senzora ( $n > n_0$ ), onda postoji  $C_4^n = \frac{n!}{4!(n-4)!}$  jednačina parnosti, od kojih su  $q = n - n_0$  nezavisne.

Pošto postoji  $q$  nezavisnih jednačina parnosti onda se vektor nedoslednosti  $\eta$  može izraziti preko  $q$  nezavisnih promenljivih  $p_1, p_2, \dots, p_q$ . Vektor  $p$  naziva se vektor parnosti a  $q$  dimenzionalni prostor parnosti.

S druge strane, vektor  $\eta$  može se izraziti preko mernog vektora  $m$ , tako da je:

$$\eta = v_n^T m \quad (5)$$

gde je  $v_n^T$  unapred definisan  $n \times 1$  dimenzionalni vektor, čije pojedine komponente mogu imati vrednost nula.

Jednačina parnosti  $p_n$  je linearna kombinacija izlaza  $m_i$  iz senzora, i nezavisna je od stvarne vrednosti vektora  $x$ , tj.:

$$p_n = v_n^T m \quad (6)$$

Da bi se formirao vektor  $p$ , uvodi se matrica  $V$ , dimenzije  $q \times n$ , čiji su redovi bilo koji  $q$  linearno nezavisni nula vektori matrice  $H^T$ . Tada je:

$$p = Vm \quad (7)$$

Jedan od načina za određivanje koeficijentata matrice  $V$  dat je u [1], gde koeficijenti matrice  $V$  treba da zadovolje sledeće uslove:

$$\begin{aligned} VH &= 0 \\ VV^T &= I \\ V^T V &= I - H(H^T H)^{-1} H^T = W \end{aligned}$$

Koeficijenti matrice  $V$  određuju se na osnovu sledećih jednačina [1]:

$$V_{11}^2 = W_{11}, V_{ij} = 0, j < i, V_{ij} = \frac{W_{ij}}{V_{11}}, j = 2, \dots, n$$

$$V_{ii}^2 = W_{11} - \sum_{k=1}^{i-1} V_{ki}^2, i = 2, \dots, q \quad (8)$$

$$V_{ij} = \frac{\left( W_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} V_{ki} V_{kj} \right)}{V_{ii}}, i = 2, \dots, n, j = i+1, \dots, n$$

Drugi način određivanja koeficijentata vektora  $v_n$  je prema broju  $k$  koeficijentata vektora  $v_n$  koji nemaju vrednost nula. Može se pokazati da ako tri senzora nisu koplanarna, onda mora biti  $k \geq 4$ , a ako su koplanarna  $k = 3$ . Ako su dva senzora kolinearna postoji jednačina parnosti kod koje je  $k = 2$ . Za  $k \leq 4$  može se uzeti da je  $\|v_n\|^2 = 1$ , odnosno zbir kvadrata apsolutnih vrednosti bilo kog reda  $n$  matrice  $V$  jednak je jedan.

Zamenom (2) u (5), jednačina (5) postaje:

$$p = v_n^T \varepsilon \quad (9)$$

gde je  $\varepsilon$  šum sa Gausovom raspodelom:

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n) \quad (9a)$$

U slučaju da nema otkaza senzora, jednačina parnosti (9) ima sledeće statističke parametre (srednju vrednost i varijansu):

$$E(p) = 0; \sigma_p^2 = v_n^T v_n \sigma^2 \quad (10)$$

U slučaju neispravnosti  $j$ -tog senzora, pretpostaviće se da će se izlaz  $m_j$  povećati za konstantnu vrednost  $b_j$ , tj.:

$$m_j = h_j^T x + b_j \varepsilon_j \quad (11)$$

tako da jednačina parnosti (9) ima sledeće statističke parametre:

$$E(p) = v_j b_j; \quad \sigma_p^2 = v_n^T v_n \sigma^2 \quad (12)$$

Iz jednačine (6) vidi se da se na osnovu samo jedne jednačine parnosti može detektovati neispravan senzor, ali ne i da se izoluje. Dovoljan broj jednačina parnosti koje potpuno detektuju i izoluju neispravan senzor zavisi od arhitekture IMB.

Za arhitekturu IMB, kod koje dve merne ose senzora nisu kolinearne, skup od tri jednačine parnosti je dovoljan da se detektuje otkaz prvog senzora. Broj koeficijenata čija vrednost nije nula jednaka je ili veća od 4.

Za arhitekturu IMB kod koje su dve ili više mernih osa senzora kolinearne, ili su tri ili više mernih osa senzora kolinearne, skup od tri jednačine parnosti nije dovoljan za detekciju i izolaciju otkaza prvog senzora.

### Algoritmi

#### *Algoritam sa minimalnim brojem jednačina parnosti*

Da bi se neispravan senzor izolovao potrebno je formirati  $r \times 1$ -dimenzionalni vektor jednačina parnosti  $p_r$ , pri čemu je  $r \leq n - 3$ , gde je  $n$  maksimalan broj jednačina parnosti, tako da je:

$$p_r = Vm \quad (13)$$

Dakle, treba odrediti minimalan broj  $r$  jednačina parnosti  $p_r$  na osnovu kojih se može detektovati neispravan senzor. Logički vektor  $q_r$ , koji se može izvesti iz

vektora parnosti  $p_r$ , treba da zadovolji sledeće uslove za detekciju otkaza senzora:

$$q_i = \begin{cases} 0, & p_i \leq T_i \\ 1, & p_i > T_i \end{cases}$$

gde je:

$q_i$  –  $i$ -ta komponenta vektora  $q_r$ ,  
 $T_i$  – prag odluke vezan za jednačinu parnosti  $p_i$ .

Koeficijenti matrice  $V$  određuju se na osnovu jednačine (8). Ako svaka kolona matrice  $V$  sadrži najmanje jednu komponentu čija je vrednost različita od nule, onda je jednačina (13) pogodna za ispitivanje pogodnosti – kvaliteta različitih arhitektura IMB, za pouzdano određivanje neispravnog senzora.

Ako se pretpostavi da vektor greške  $\varepsilon$  ima raspodelu po zakonitosti izraza (9a), može se pokazati da je: – u slučaju nepostojanja greške senzora ( $b_j = 0$ ), statistički parametri jednačine parnosti  $p_r = V\varepsilon$  glase:

$$E(p_r) = 0; \quad \sigma_{p_r}^2 = VV^T \sigma^2 \quad (14)$$

a gustina verovatnoće je:

$$P(p_r, 0) = (2\pi)^{-(r-3)/2} |VV^T \sigma^2|^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2} p_r^T (VV^T \sigma^2)^{-1} p_r\right) \quad (15)$$

– u slučaju otkaza senzora  $m_j$  ( $b_j \neq 0$ ), statistički parametri jednačine parnosti  $p_r = Vb_j + V\varepsilon$  su:

$$E(p_r) = v_j b_j; \quad \sigma_{p_r}^2 = VV^T \sigma^2 \quad (16)$$

gde je  $v_j$   $j$ -ta kolona matrice  $V$ .

Gustina verovatnoće je:

$$P(p_r, b_j) = (2\pi)^{-(r-3)/2} |VV^T \sigma^2|^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}(p_r - v_j b_j)^T (VV^T \sigma^2)^{-1} (p_r - v_j b_j)\right) \quad (17)$$

Uvođenjem parametra-indeksa  $J_j$  koji predstavlja logaritamski odnos hipoteza (16) i (17) dobija se da je:

$$J_j = \ln \left[ \frac{P(p_r, b_j)}{P(p_r, 0)} \right] \quad (18)$$

U [2] je pokazano da se jednačina (18) može napisati i u obliku:

$$J_j = (v_j b_j - 0)^T (VV^T)^{-1} \sigma^{-2} (v_j b_j - 0) \quad (19)$$

Poređenje neće izgubiti na opštosti ako se jednačina (19) normalizuje za  $b_j$  i  $\sigma^2$ . Tada  $J_j$  postaje mera kvaliteta pogodnosti arhitekture IMB za detekciju i izolaciju neispravnog senzora  $m_j$ , odnosno:

$$J_j = V_j^T (VV^T)^{-1} v_j \quad (20)$$

Pošto svaka arhitektura IMB sadrži  $n$  rezervisanih senzora, formira se  $n \times 1$ -dimenzionalni vektor:

$$J^T = (J_1 \ J_2 \ \dots \ J_n) \quad (21)$$

Uvodi se koeficijent  $F_{d1}$ , tako da je:

$$F_{d1} = \min_j \{J_j\}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

Parametar  $F_{d1}$  predstavlja brojčani pokazatelj kvaliteta svakog skupa jednačina parnosti, koja zavisi od arhitekture (tipa rezervisanja) senzora IMB i orijentacije mernih osa senzora u odnosu na merni vektor. Uočava se da je  $F_{d1}$  funkcija matrice  $V$  koja je u vezi sa orijentacijom rezervisanih senzora u IMB i izborom jednačina parnosti. Minimalan broj  $r$  jednačina parnosti izračunava se sabirajući jednačinu (20) po  $j$ , tj.:

tacije mernih osa senzora u odnosu na merni vektor. Uočava se da je  $F_{d1}$  funkcija matrice  $V$  koja je u vezi sa orijentacijom rezervisanih senzora u IMB i izborom jednačina parnosti. Minimalan broj  $r$  jednačina parnosti izračunava se sabirajući jednačinu (20) po  $j$ , tj.:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n J_j &= \sum_{j=1}^n V_j^T (VV^T)^{-1} v_j = \\ &= \sum_{j=1}^n \text{trag} \left[ (VV^T)^{-1} v_j v_j^T \right] = \\ &= \text{trag} \left[ (VV^T)^{-1} \sum_{j=1}^n (v_j v_j^T) \right] \end{aligned}$$

Pošto je:  $\sum_{j=1}^n v_j v_j^T = VV^T$

sledi da je:  $\sum_{j=1}^n J_j = \text{trag} |I_r| = r \quad (23)$

Jednačina (23) pokazuje da se kod proizvoljne arhitekture IMB povećava pogodnost za detekciju neispravnih senzora ako se povećava broj jednačina parnosti. Jednačina (23) takođe ukazuje da, ako je  $r < n$ , onda se maksimalna pogodnost za detekciju neispravnog senzora dobija ako sve komponente vektora  $J$  imaju istu vrednost, tj.:

$$\max F_{d1} = \frac{r}{n} \quad (24)$$

#### Algoritam sa $n$ jednačina parnosti

Alternativni algoritam za formiranje skupa jednačina parnosti je ako se formira jedna jednačina parnosti za svaki sen-



zor koji može otkazati. To znači da treba formirati skup od  $n$  jednačina parnosti, jer IMB sadrži  $n$  senzora.

Može se pretpostaviti da se jednačina parnosti:  $p_1 = V_{1n}^T m$  (25) koristiti za detekciju otkaza senzora  $m_1$ , gde je matrica  $V_{1n}^T$  data u obliku:

$$V_{1n}^T = [V_{11} \quad V_{12} \dots V_{1n}] \quad (26)$$

Koeficijente vektora  $V_{1n}^T$  treba tako odabrati da je jednačina parnosti  $p_1$  što osjetljivija na merenje  $m_1$ , a što neosetljivija na merenja ostalih senzora. To se može ostvariti ako se uzme da je koeficijent  $V_{11}=1$  i minimizira zbir kvadrata ostalih koeficijenata, tj.:

$$C = \min \sum_{k=2}^n v_{1k}^2 \quad (27)$$

i uz uslov ortogonalnosti matrica  $H$  i  $v_{1n}$ , tj.:

$$H^T v_{1n} = 0 \quad (28)$$

Ako se definiše  $(n-1)$  – dimenzionalni vektor:

$$v_{1(n-1)}^T = (v_{12} \quad v_{13} \dots v_{1n}) \quad (29)$$

i  $3 \times (n-1)$  matricu:

$$H_{n-1}^T = [h_2 \quad h_3 \dots h_n] \quad (30)$$

gde je  $h_j$  jedinični vektor u pravcu merne ose  $j$ -tog senzora, jednačina (28) može se napisati u obliku:

$$H_{n-1}^T v_{1(n-1)} + h_1 v_{11} = 0 \quad (31)$$

tako da se problem nalaženja minimuma svodi na rešavanje linearnih jednačina:

$$\begin{pmatrix} 2I_{(n-1)} & H_{n-1} \\ H_{n-1}^T & 0_{3 \times 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{1(n-1)} \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0_{n-1} \\ -h_1 \end{pmatrix} \quad (32)$$

gde je  $\lambda$  vektor Lagranževih množitelja.

Rešenje jednačine (32) je:

$$v_{1(n-1)} = -H_{n-1} (H_{n-1}^T H_{n-1})^{-1} h_1 \quad (33)$$

čime su ujedno određene i vrednosti koeficijenata  $v_{1(n-1)}$  matrice  $V$ .

Jednačina parnosti  $p_1$  tada glasi:

$$p_1 = m_1 - h_1^T (H_{n-1}^T)^{-1} H_{n-1}^T m_{n-1} \quad (34)$$

$$\text{gde je } m_{n-1}^T = (m_2 \quad m_3 \dots m_n) \quad (35)$$

Drugi član desne strane jednačine (34) predstavlja procenu  $\hat{m}_1$ , na osnovu metode najmanjeg kvadrata, baziranu na  $(n-1)$  merenja, ali koja ne uključuju  $m_1$ , tako da se jednačina (34) može napisati kao:

$$p_1 = m_1 - \hat{m}_1 \quad (36)$$

Algoritam za određivanje koeficijenata jednačine parnosti  $p_1$ , odnosno koeficijenata matrice  $V_{1(n-1)}$ , može se koristiti i za određivanje koeficijenata preostalih  $(n-1)$  jednačina parnosti. Jednačina (36) važi i za ostale jednačine parnosti.

Ako nema otkaza senzora statistički parametri jednačina parnosti  $p_1$  dati su kao i u jednačini (10), tj.:

$$E(p_i) = 0; \quad \sigma_{pi}^2 = v_{in}^T v_{in} \sigma^2 \quad (37)$$

U slučaju otkaza važi jednačina (12), tj.:

$$E(p_i) = v_{ij} b_j; \quad \sigma_{p_i}^2 = v_{in}^T v_{in} \sigma^2 \quad (38)$$

Uvođenjem parametra-indeksa  $J_{ij}$ , koji predstavlja logaritamski odnos hipoteza, (37) i (38) slično jednačinama (18) i (19), može se dobiti da je:

$$J_{ij} = (v_{in}^T v_{in})^{-1} v_{ij}^2 \quad (39)$$

odnosno:

$$J_i^T = (J_{i1} \ J_{i2} \ \dots \ J_{in}) \quad (40)$$

Vektor  $J_i^T$  naziva se merom kvaliteta za jednačinu parnosti  $p_i$ . Pošto se želi da pogodnost za detekciju, koja je vezana za jednačinu parnosti  $p_i$ , bude visoka za otkaze vezane za merenje  $m_i$   $i$ -tog senzora, a niska za otkaze ostalih senzora, uvodi se brojčani pokazatelj kvaliteta:

$$F_{d2}^* = \frac{J_{ii}}{\max_j J_{ij}}, \quad j \neq i \quad (41)$$

Brojčani pokazatelj kvaliteta pogodnosti za detekciju i izolaciju otkaza jedne arhitekture IMB pomoću skupa od  $n$  jednačina parnosti biće:

$$F_{d2} = \min_i \left\{ \frac{J_{ii}}{\max_j J_{ij}} \right\}, \quad j \neq i \quad (42)$$

Kao jednačina (22) i jednačina (42) je striktno funkcija matrice  $V$ , tj. orijentacije i rezervisanja arhitekture IMB. U slučaju uporedne analize arhitek-

tura IMB, najbolja je arhitektura koja zadovoljava uslov:

$$F_{naj} = \max_1 \left\{ \min_i \left( \frac{J_{ii}}{\max_j J_{ij}} \right) \right\}, \quad j \neq i \quad (43)$$

### Praktična primena algoritma na 11 arhitektura IMB

Vrednosti koeficijenta  $J_i^T$  i brojčanog pokazatelja kvaliteta  $F_{d2}$  pogodnosti za detekciju neispravnih senzora izračunae se za nekoliko mogućih arhitekture IMB, gde senzori mogu biti jednoosni (SDOF) i dvoosni (TDOF), koristeći metodu sa minimalnim brojem jednačina parnosti.

#### Arhitekture IMB sa SDOF sensorima

U slučaju arhitekture IMB u obliku pravilnog dodekaedra sa šest SDOF senzora, merne ose SDOF senzora su normalne na površine dodekaedra (slika 1). Merne ose senzora 1 i 4 su u ravni  $X-Y$  i pod uglom su od  $58,28^\circ$  u odnosu na  $+X$  osu. Merna osa senzora 3 je u ravni  $X-Z$  i pod uglom je od  $31,72^\circ$  u odnosu na  $+Y$  osu. Ugao između mernih osa senzora 1 i 4, 2 i 5 i 3 i 6 iznosi  $63,44^\circ$ , odnosno  $\alpha = 58,28^\circ$  i  $\beta = 31,72^\circ$ . Transponovana matrica  $H_1^T$  tada ima vrednost:<sup>5</sup>

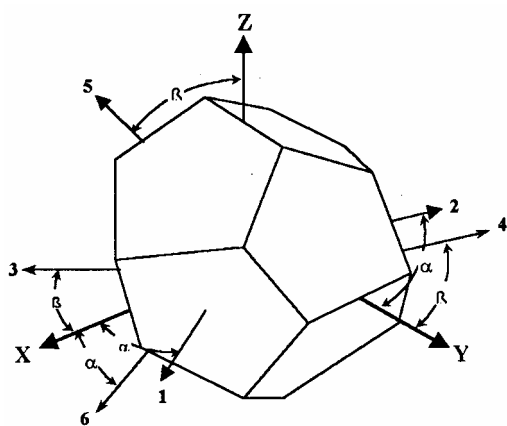
$$H_1^T = \begin{bmatrix} \sin\theta & 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 & \cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta & 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 & \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix}$$

<sup>5</sup> Arhitektura IMB predložena u [2].

gde je:  $\theta = \frac{1}{2} \arctg(2) \cong 31,71747^\circ$

$$\sin\theta = \sin\sqrt{\frac{5-\sqrt{5}}{10}} \cong 0,526,$$

$$\cos\theta = \cos\sqrt{\frac{5+\sqrt{5}}{10}} \cong 0,851$$



Sl. 1 – Arhitektura IMB sa SDOF sensorima u obliku pravilnog dodekaedra

Koristeći jednačinu (8) može se pokazati da matrica  $V_1$  ima sledeću vrednost:

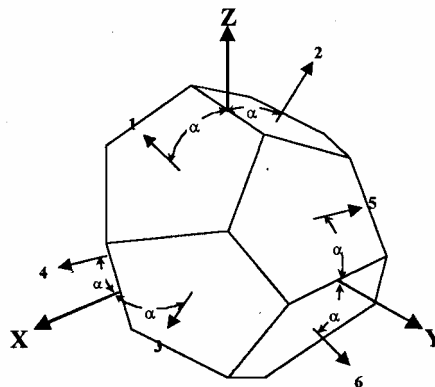
$$V_1 = \begin{bmatrix} 0,709 & -0,317 & -0,317 & -0,317 & -0,317 & -0,317 \\ 0 & 0,63 & 0,196 & 0,196 & -0,51 & 0,51 \\ 0 & 0 & 0,603 & -0,603 & -0,373 & -0,372 \end{bmatrix}$$

U slučaju orijentacije mernih osa IMB sa šest SDOF senzora u odnosu na površine pravilnog dodekaedra, pri čemu su merne ose 1. i 2. senzora u ravni  $X-Z$  i pod uglom od  $58,28^\circ$  u odnosu na  $Z$  osu, merne ose 3. i 4. senzora u ravni  $X-Y$  i pod uglom  $58,28^\circ$  u odnosu na  $X$ -osu i merne ose 5. i 6. senzora u ravni  $Z-Y$  i pod uglom  $58,28^\circ$  u odnosu na  $Y$  osu, matrice  $H_2$  i  $V_2$  biće (slika 2):<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Ovu arhitekturu IMB predložili su J. Gilmore i R. McKern sa Masačusetskog instituta.

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0,52573 & 0 & 0,85065 \\ -0,52573 & 0 & 0,85065 \\ 0,85065 & 0,52573 & 0 \\ 0,85065 & -0,52573 & 0 \\ 0 & 0,85065 & 0,52573 \\ 0 & 0,85065 & -0,52573 \end{bmatrix}$$

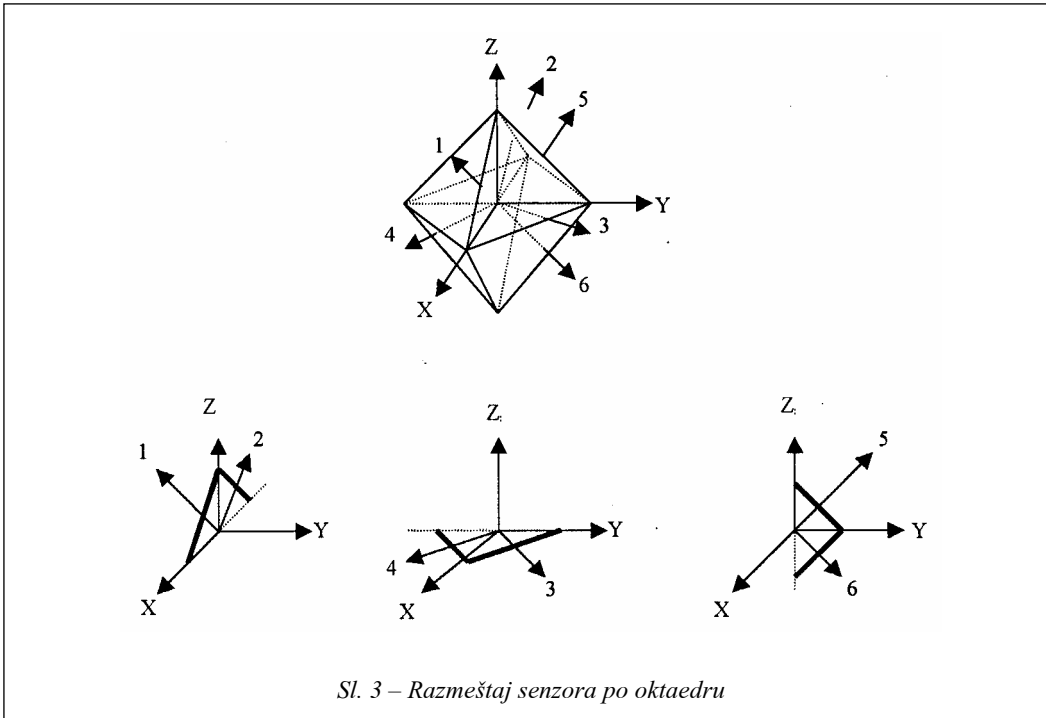
$$V_2 = \begin{bmatrix} 0,707 & -0,31623 & -0,31623 & -0,31623 & -0,31623 & -0,31623 \\ 0 & 0,63246 & 0,19544 & 0,19544 & -0,51167 & 0,51167 \\ 0 & 0 & 0,60150 & -0,60150 & -0,37175 & -0,37175 \end{bmatrix}$$



Sl. 2 – Druga varijanta arhitektura IMB u obliku pravilnog dodekaedra

Na slici 3 prikazan je pravilni oktaedar u kojem komplementarne ose senzora (1 i 2, 3 i 4 i 5 i 6) čine ugao od  $90^\circ$ , jedne sa drugom, i simetrične su u odnosu na ose aviona. Senzori 1 i 2 nagnuti su  $45^\circ$  u odnosu na  $Z$  osu aviona, senzori 3 i 4 pomereni su za  $45^\circ$  u odnosu na  $X$  osu aviona, a senzori 5 i 6 pomereni su za  $45^\circ$  u odnosu na  $Y$  osu aviona. Ovi senzori su ujedno ortogonalni u odnosu na ivice oktaedra. Za ovaj slučaj matrice  $H_3$  i  $V_3$  imaju vrednosti:<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Arhitektura IMB predložena u [3].



Sl. 3 – Razmeštaj senzora po oktaedru

$$H_3 = \begin{bmatrix} \cos 45^\circ & 0 & \cos 45^\circ \\ -\cos 45^\circ & 0 & \cos 45^\circ \\ \cos 45^\circ & \cos 45^\circ & 0 \\ \cos 45^\circ & -\cos 45^\circ & 0 \\ 0 & \cos 45^\circ & \cos 45^\circ \\ 0 & \cos 45^\circ & -\cos 45^\circ \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0,707 & 0 & 0,707 \\ -0,707 & 0 & 0,707 \\ 0,707 & 0,707 & 0 \\ 0,707 & -0,707 & 0 \\ 0 & 0,707 & 0,707 \\ 0 & 0,707 & -0,707 \end{bmatrix}$$

$$V_3 = \begin{bmatrix} 0,707 & 0 & -0,354 & -0,354 & -0,354 & 0,354 \\ 0 & 0,707 & 0,354 & 0,354 & -0,354 & 0,354 \\ 0 & 0 & 0,499 & -0,501 & -0,501 & -0,501 \end{bmatrix}$$

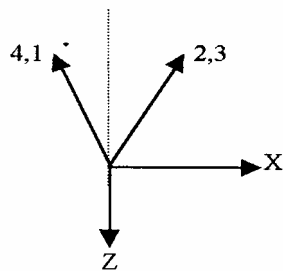
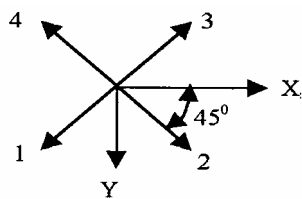
U slučaju ortogonalne arhitekture IMB sa tri SDOF senzora, kod koje su merne ose senzora međusobno ortogonalne i usmerene u pravcu osa aviona, matrice  $H_4$  i  $V_4$  imaju vrednost:

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad V_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

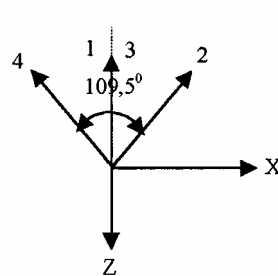
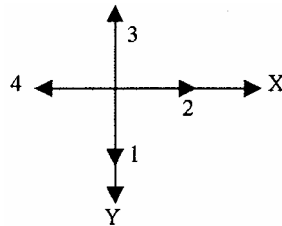
U slučaju konusne arhitekture (slika 4) IMB sa četiri SDOF senzora, sve merne ose senzora su u ravni konusa, pri čemu su merne ose SDOF senzora u pravcu avionskih osa i međusobno obrazuju konus pod uglom od  $54,75^\circ = \arccos$

$\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ , matrice  $H_5$  i  $V_5$  imaju vrednost<sup>8</sup>:

<sup>8</sup> Dato u [2].



Sl. 4 – Arhitektura IMB u obliku tetrade



Sl. 5 – Druga varijanta arhitekture IMB u obliku tetrade

$$H_5 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$V_5 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Za slučaj na slici 5, matrice  $H_6$  i  $V_6$  imaju vrednost<sup>9</sup>:

$$H_6 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{2} & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -1 \\ 0 & -\sqrt{2} & -1 \\ -\sqrt{2} & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$V_6 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

<sup>9</sup> Dato u [3].

U slučaju konusne arhitekture IMB sa pet SDOF senzora, čije su merne ose razmeštene oko konusa, čiji je centralni ugao  $109,5^\circ$  (slika 6), matrice  $H_7$  i  $V_7$  imaju vrednost<sup>10</sup>:

$$H_7 = \begin{bmatrix} 0,97204 & 0 & -0,23482 \\ -0,60075 & -0,77653 & -0,18997 \\ 0 & 0,47992 & 0,87731 \\ 0 & -0,47992 & 0,87731 \\ -0,60075 & 0,77653 & -0,18997 \end{bmatrix}$$

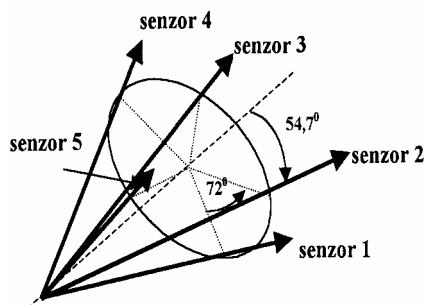
$$V_7 = \begin{bmatrix} 0,63245 & 0,51167 & 0,19543 & 0,19543 & 0,51167 \\ 0 & 0,37175 & 0,60150 & -0,60150 & -0,37175 \end{bmatrix}$$

U slučaju arhitekture IMB sa osam SDOF senzora, čije merne ose čine ugao od  $45^\circ$  sa jednom od ivica osnovne oktaedra, matrice  $H_8$  i  $V_8$  imaju vrednost<sup>11</sup>:

<sup>10</sup> Konusna arhitektura IMB koju je predložila firma Hamilton Standard, Division of United Technologies.

<sup>11</sup> Arhitekturu u obliku oktaedra prva je predložila, izradila i ispitala firma Teledyne Systems Comp.

$$H_8 = \begin{bmatrix} 0,70711 & -0,40825 & 0,57735 \\ 0,70711 & 0,40825 & -0,57735 \\ 0,40825 & 0,70711 & 0,57735 \\ -0,40825 & 0,70711 & -0,57735 \\ -0,70711 & 0,40825 & 0,57735 \\ -0,70711 & -0,40825 & -0,57735 \\ -0,40825 & -0,70711 & 0,57735 \\ 0,40825 & -0,70711 & -0,57735 \end{bmatrix}$$



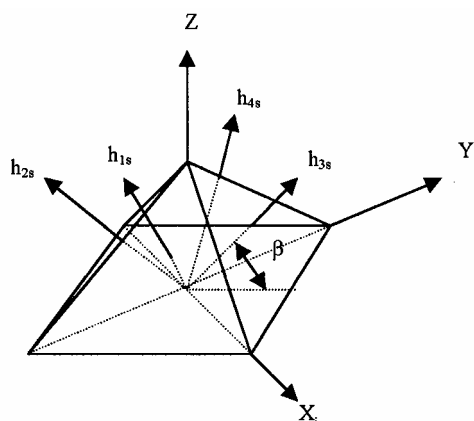
Sl. 6 – Konusna arhitektura IMB sa pet SDOF senzora

$$V_8 = \begin{bmatrix} 0,79057 & 0 & -0,15811 & 0,43198 & 0,15811 & 0,31623 & -0,15811 & -0,158 \\ 0 & 0,79057 & -0,11575 & -0,15811 & 0,31623 & 0,15811 & 0,43198 & -0,158 \\ 0 & 0 & 0,76590 & 0,06528 & -0,08278 & 0,53507 & 0,19585 & 0,278 \\ 0 & 0 & 0 & 0,63964 & -0,16322 & -0,42451 & 0,58442 & 0,206 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,68301 & -0,18301 & -0,18301 & 0,693 \end{bmatrix}$$

#### Arhitekture IMB sa TDOF sensorima

Razmatraju se sledeće arhitekture IMB: simetrična, ortogonalna i koplanarna.

Simetrična arhitektura IMB sa TDOF sensorima ima osobinu da je apsolutna



Sl. 7 – Simetrična arhitektura IMB sa TDOF sensorima

vrednost skalarnog proizvoda dva različita vektora spin osa senzora konstantna, tj.:

$$|\vec{h}_{is} \cdot \vec{h}_{js}| = K, \exists i, j, i \neq j \quad (44)$$

gde je:

$h_{is}$  – vektor  $i$ -te spin ose TDOF senzora,  
 $K$  – konstanta i za IMB sa TDOF sensorima usmerenih na stranice pravilnog poluoktaedra (slika 7) iznosi

$K = \frac{1}{2}$ , a za IMB sa TDOF sensorima usmerenih na stranice pravilnog dodekaedra je  $K = \frac{1}{\sqrt{5}}$ .

U slučaju četiri TDOF senzora, gde osam mernih osa i četiri spin ose (normalne na stranice oktaedra) leže na površini konusa sa uglom  $\arccos(-K)$ ,  $K$  je dato u (44):

$$H_9^T = \frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sqrt{3+1} & -\sqrt{3+1} & \sqrt{3-1} & -\sqrt{3-1} & -\sqrt{3-1} & \sqrt{3-1} & -\sqrt{3+1} & \sqrt{3+1} \\ -\sqrt{3+1} & \sqrt{3+1} & \sqrt{3+1} & -\sqrt{3+1} & \sqrt{3-1} & -\sqrt{3-1} & -\sqrt{3-1} & \sqrt{3-1} \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

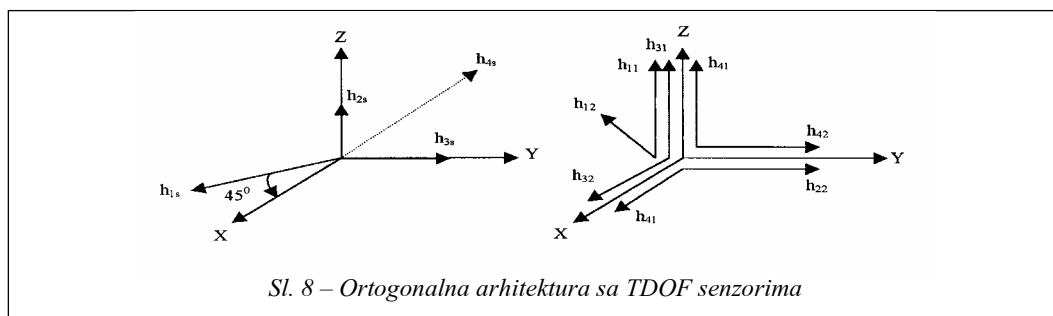
Tada je:  $V_9 = \begin{bmatrix} 0,183 & 0,683 & -0,683 & -0,183 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & -0,5 & 0 & 0 & 0,5 & -0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & -0,5 & 0 & 0 & 0,5 & -0,5 \end{bmatrix}$

U slučaju ortogonalne arhitekture IMB sa TDOF sensorima neke spin ose senzora moraju biti međusobno normalne. Kod ortogonalne arhitekture IMB sa četiri TDOF senzora, prikazanih na slici 8, tri spin ose  $\vec{h}_{2s}, \vec{h}_{3s}, \vec{h}_{4s}$  su međusobno ortogonalne, a četvrta spin  $\vec{h}_{1s}$  osa leži u ravni koja je definisana sa dve ( $\vec{h}_{3s}, \vec{h}_{4s}$ ) od preostale tri ose i pod uglom od  $45^\circ$  u odnosu na avionsku X-osu.

Matrice  $H_{10}$  i  $V_{10}$  tada imaju sledeće vrednosti:

$$H_{10}^T = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V_{10} = \begin{bmatrix} 0,707 & 0 & -0,707 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,707 & 0 & 0 & 0 & -0,707 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,707 & 0 & 0,707 \\ 0 & 0 & 0 & -0,707 & 0 & 0 & 0,707 & 0 \\ 0 & 0,707 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0,5 \end{bmatrix}$$



Sl. 8 – Ortogonalna arhitektura sa TDOF sensorima

Za ortogonalnu arhitekturu, kod koje su najmanje tri spin ose senzora međusobno ortogonalne, potrebno je formirati najmanje pet jednačina parnosti, i to: dve za detekciju i izolaciju otkaza, tri koline-

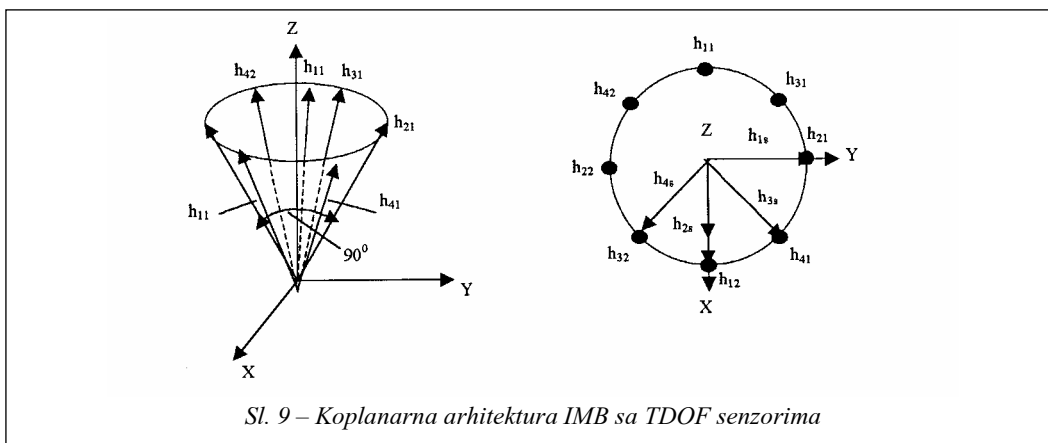
arna senzora i tri za detekciju i izolaciju otkaza koplanarnih senzora.

Kod koplanarne arhitekture IMB sa četiri TDOF senzora sve četiri spin ose TDOF senzora moraju da leže u jednoj

ravni, a osam mernih osa je simetrično razmešteno po površini konusa, čiji je ugao konusa  $90^\circ$  (slika 9). Tada matrice  $H_{11}$  i  $V_{11}$  imaju vrednost:

$$H_{11}^T = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

$$V_{11} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 & -0,5 & -0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & -0,5 & -0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,5 & -0,5 \end{bmatrix}$$



### Uporedna analiza arhitektura inercijalnog mernog bloka

Primena algoritma sa  $n$  jednačina parnosti u izračunavanju koeficijenata matrice  $V$  i koeficijenata  $J_i^T$  i  $F_{d2}$  na arhitekturu IMB sa matricama  $H_9$ ,  $H_{10}$  i  $H_{11}$  prikazana je u tabelama 1, 2 i 3. U tabeli 1 prikazane su vrednosti za koeficijente  $J_i$  samo za jednačinu parnosti  $p_8$ . I za jednačine parnosti  $p_1 \div p_7$  (tabela 1) može se pokazati da je  $F_{d2} = 3,3$ , jer su iste vred-

nosti koeficijenata  $J_j$  samo u izmenjenom redu.

Pošto je, prema (42), vrednost  $F_{d2}$  najmanja za jednačinu parnosti  $p_3$  i iznosi 1,8 (tabela 2), ta vrednost predstavlja vrednost pokazatelja kvaliteta za ortogonalnu arhitekturu  $H_7$ .

I za jednačine parnosti  $p_1 \div p_7$  može se pokazati da je  $F_{d2} = 3,7$ , jer su iste vrednosti koeficijenata  $J_j$  (tabela 3), samo u izmenjenom redu.



Tabela 1

Vrednosti koeficijenta  $V$  i  $J_j$  za arhitekturu IMB  $H_9$ 

Arhitektura $H_9$		Koeficijenti matrice $V$							
Jednačine parnosti, $p_i$									
$p_1$		1	0	-0,2	0,1464	0,2	-0,4	-0,2	0,5464
$p_2$		0	1	-0,5464	-0,2	-0,4	0,2	0,1464	-0,2
$p_3$		-0,2	-0,5464	1	0	-0,2	0,1464	0,2	-0,4
$p_4$		0,1464	-0,2	0	1	-0,5464	-0,2	-0,4	0,2
$p_5$		0,2	-0,4	-0,2	-0,5464	1	0	-0,2	0,1464
$p_6$		-0,4	0,2	0,1464	-0,2	0	1	-0,5464	-0,2
$p_7$		-0,2	0,1464	0,2	-0,4	-0,2	-0,5464	1	0
$p_8$		-0,5464	-0,2	-0,4	0,2	0,1464	-0,2	0	1
Jednačina parnosti	$F_{d2}$	Koeficijenti $J_j$							
		$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$
$p_8$	3,3	0,187	0,025	0,1	0,025	0,013	0,025	0	0,625

Tabela 2

Vrednosti koeficijenta  $V$  i  $J_j$  za arhitekturu IMB  $H_{10}$ 

Arhitektura $H_{10}$		Koeficijenti matrice $V$							
Jednačine parnosti, $p_i$									
$p_1$		1	0	0	0	-0,5	0	-0,5	0
$p_2$		0	1	-0,3536	0,3536	0	0,3536	0	0,3536
$p_3$		0	0,3536	1	0	0	-0,75	0	0,25
$p_4$		0	0,3536	0	1	0	0,25	0	-0,75
$p_5$		-0,5	0	0	0	1	0	-0,5	0
$p_6$		0	0,4041	-0,7143	0,1523	0	1	0	0,1428
$p_7$		-0,5	0	0	0	-0,5	0	1	0
$p_8$		0	0,4041	0,1428	-0,7143	0	0,1428	0	1
Jednačina parnosti	$F_{d2}$	Koeficijenti $J_j$							
		$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$
$p_1$	4,0	0,667	0	0	0	0,167	0	0,167	0
$p_2$	8,0	0	0,667	0,083	0,083	0	0,083	0	0,083
$p_3$	1,8	0	0,071	0,57	0	0	0,32	0	0,036
$p_7$	4,0	0,167	0	0	0	0,167	0	0,667	0
$p_8$	2,0	0	0,095	0,012	0,0298	0	0,012	0	0,0583

Tabela 3

Vrednosti koeficijenta  $V$  i  $J_j$  za arhitekturu IMB  $H_{11}$ 

Arhitektura $H_{11}$		Koeficijenti matrice $V$							
Jednačine parnosti, $p_i$									
$p_1$		1	0	-0,1667	-0,1667	-0,5202	0,1869	0,1869	-0,5202
$p_2$		0	1	-0,1667	-0,1667	0,1869	-0,5202	-0,5202	0,1869
$p_3$		-0,1667	-0,1667	1	0	-0,5202	0,1869	-0,5202	0,1869
$p_4$		-0,1667	-0,1667	0	1	0,1869	-0,5202	0,1869	-0,5202
$p_5$		-0,5202	0,1869	-0,5202	0,1869	1	0	-0,1667	-0,1667
$p_6$		0,1869	-0,5202	0,1869	-0,5202	0	1	-0,1667	-0,1667
$p_7$		0,1869	-0,5202	-0,5202	0,1869	-0,1667	-0,1667	1	0
$p_8$		-0,5202	0,1869	0,1869	-0,5202	-0,1667	-0,1667	0	1
Jednačina parnosti	$F_{d2}$	Koeficijenti $J_j$							
		$J_1$	$J_2$	$J_3$	$J_4$	$J_5$	$J_6$	$J_7$	$J_8$
$p_8$	3,7	0,162	0,021	0,021	0,162	0,017	0,017	0	0,6

## Zaključak

U ovom članku izložen je algoritam određivanja brojčanog pokazatelja kvaliteta proizvoljne arhitekture IMB, sa stanovišta pogodnosti za detekciju i izolaciju neispravnog senzora IMB.

Na osnovu analize vrednosti brojčanih pokazatelja arhitekture  $H_1 \div H_{11}$  IMB, koje su date u literaturi ili se nalaze u proizvodnim programima mnogih svet-

skih proizvođača INS, najbolja svojstva za primenu ima koplanarna arhitektura  $H_{11}$ , ukoliko se koristi osam jednačina parnosti, a arhitekture  $H_1$  i  $H_2$  u slučaju da algoritam FDI koristi minimalan broj jednačina parnosti (tabela 4). Ortogonalne arhitekture su prihvatljive samo u slučaju korišćenja minimalnog broja jednačina parnosti. Predloženi algoritam može se primeniti pri analizi i drugog skupa proizvoljnih arhitekture IMB.

Tabela 4

Vrednosti pokazatelja kvaliteta arhitekture IMB sa stanovišta pogodnosti za detekciju neispravnih senzora

Arhitektura IMB	Varijanta, matrica $H_i$	Pokazatelj kvaliteta arhitekture, $F_{d2}$	Rang, $F_{naj}$
Sa SDOF sensorima	6 SDOF, $H_1$	5,0	1
	6 SDOF, $H_2$	5,0	1
	6 SDOF, $H_3$	4,0	2
	3 SDOF, $H_4$	0	8
	4 SDOF, $H_5$	1	7
	4 SDOF, $H_6$	1	7
	5 SDOF, $H_7$	1,52	6
	8 SDOF, $H_8$	3,36	4
Sa TDOF sensorima	Simetrična 4 TDOF, $H_9$	3,3	4
	Ortogonalna 4 TDOF, $H_{10}$	1,8	5
	Koplanarna 4 TDOF, $H_{11}$	3,7	3

### Literatura:

- [1] Potter, E.; Suman, C.: Thresholdless redundancy management with arrays of skewed instruments, AGARD-224, Control Systems, 1977, 15-1 do 15-25.
- [2] Daly, K.; Gai, E.; Harrison, J.: Generalized Likelihood Test for FDI in Redundant Sensor Configurations, J. Guidance and Control, Vol. 2, No. 1, Jan.-Feb. 1979.
- [3] Gai, E.; Harrison, J.; Daly, K.: FDI Performance of Two Redundant Sensor Configurations, IEEE Transaction on AES, Vol. AES-15, N°3, Nov. 1979.
- [4] Satin, A.; Gates, R.: Evaluation of Parity Equations for Gyro Failure Detection and Isolation, AIAA J. Guidance and Control, Vol. 2, N°1, Jan.-Feb. 1978.
- [5] Mitrović, D. S.; Mihajlović, D.; Vasić, P. M.: Linearna algebra, Polinomi, Analitička geometrija, Građevinska knjiga, Beograd, 1973.
- [6] Бронштјейн, И. X.; Семендјев, К. А.: Справочник по математике, Наука, Москва, 1986.
- [7] Jančićević, S.: Model određivanja optimalne arhitekture inercijalnog memog bloka, doktorska disertacija, VA, novembar 2003. godine.



**Dušan Jović,**  
major, dipl. inž.  
Vazduhoplovni opitni centar,  
Batajnica

## **ODREĐIVANJE PARAMETARA POUZDANOSTI GRUPE ELEKTRONSKIH UREĐAJA VAZDUHOPLOVA PRIMENOM GRAFIČKE METODE**

UDC: 621.38.004.15 : 623.746] : 519.674

### *Rezime:*

*Pouzdanost vazduhoplova, njegovih sistema i opreme jedan je od važnijih problema koji se mora razmotriti i analizirati. Ovaj rad analizira podatke o otkazima grupe elektronskih uređaja na vazduhoplovu u periodu od nekoliko godina i opisuje proces određivanja parametara pouzdanosti navedenih elektronskih uređaja korišćenjem grafičke metode.*

*Ključne reči: pouzdanost, parametri pouzdanosti, normalna raspodela, lognormalna raspodela, grafičke metode, papir verovatnoće, histogram.*

---

### **DETERMINATION OF AVIONICS EQUIPMENT RELIABILITY PARAMETERS USING GRAPHIC METHODS**

#### *Summary:*

*Reliability of aircraft and their systems and equipment is one of the most important problems which must be considered and analysed. This analysis is based on the number and periods of failures for the last few years and it describes the determination of the parameters of aircraft avionics reliability using certain graphic methods.*

*Key words: reliability, reliability parameter, normal distribution, lognormal distribution, graphic methods, graph – paper, histogram.*

---

### **Uvod**

U suočavanju sa problemima koji se javljaju u održavanju složenih sistema poput vazduhoplova, od planiranja utroška i obnove resursa, obučavanja ljudstva, obezbeđenja odgovarajućeg alata i ispitno-merne opreme, sprovođenja propisane tehnologije održavanja [1] itd., kao zaseban izdvojio se problem pouzdanosti – pouzdanosti aviona kao celine, ali i njegovih sistema i uređaja.

U širem, praktičnom i teorijskom smislu, korene pouzdanosti kao naučne

discipline treba tražiti u zahtevima koje su u prvoj polovini dvadesetog veka postavile vojske, tradicionalno najveći potrošači državnog budžeta, svojim dobavljačima i proizvođačima. Pomenuti zahtevi odnose se, pre svega, na rad oružja–uređaja–sistema u što je moguće dužem periodu eksploatacije bez otkaza.

Dalji civilizacijski napredak omogućio je pojavu i široku primenu mnoštva uređaja koji su morali biti razmotreni kroz prizmu pouzdanosti, vodeći računa o ceni proizvoda koji je otkazao, značaju njegovog ispravnog rada i eventualnog

redundovanja, proceni veličine stoka rezervnih delova i uređaja, troškovima skladištenja, transporta i slično.

Ono što umanjuje pouzdanost elemenata – sistema na vazduhoplovu jesu ekstremni uslovi rada (ekstremni za pojam statičnih, zemaljskih uređaja), kao što su: relativno brze promene temperature, pritiska i vlažnosti okoline, aerodinamičko (kinetičko) zagrevanje, velika opterećenja (od negativnih do pozitivnih g), udari, vibracije.

Navedeni uslovi upotrebe zahtevaju niz kompenzacionih mera radi umanjenja njihovog negativnog uticaja, što svakako višestruko uvećava ionako visoku cenu uređaja koji se ugrađuju u vazduhoplove. Takođe, intenzivno upošljavaju tehnomenađzere u pronalaženju odgovarajućeg balansa na terazijama „potrebne tehničke karakteristike – cena uređaja“.

Određivanje (prognoza) pouzdanosti pojedinih uređaja može se izvršiti po MILL standardima (MIL HDBK), vodeći računa o uslovima, kao što je to urađeno za neke uređaje veze u [2, 3, 4].

Model teorijske raspodele pojave otkaza primenjen je na uzorak koji čine sledeći radio-navigacioni uređaji:

- upravljačka kutija radio-stanice UK-100;
- primopredajnik radio-stanice KONDOR;
- primopredajnik radio-stanice ER-4;
- radio-kompas VARK-01.

Određivanju pokazatelja pouzdanosti primenom grafičke metode pristupilo se na osnovu dostupnih statističkih podataka o otkazima navedenih uređaja, pri čemu se nije ulazilo u razloge (unutrašnje ili spoljne) otkaza.

## Metodologija proračuna

Procedure do kojih se u istraživanju oblasti pouzdanosti došlo, pre svega, omogućuju odbacivanje određene raspodele kao neodgovarajuće. One nikada u potpunosti ne potvrđuju određenu raspodelu kao adekvatnog predstavnika modela otkaza.

Umanjenje neizvesnosti u donošenju odluke o prihvatanju modela u direktnoj je vezi sa brojem raspoloživih podataka. Naime, što je veći broj podataka veća je verovatnoća odbijanja neadekvatnog modela. To praktično znači da se postavlja hipoteza o tome da li uzorak dolazi iz specificirane raspodele (bilo da je ona kontinualna ili diskretna) i da tu hipotezu treba potvrditi ili odbaciti.

Metodologija određivanja parametara pouzdanosti [5] na osnovu empirijskih podataka svodi se na rešavanje tri zadatka:

- prikupljanje uzorka – statističkog materijala i postavljanje hipoteze o klasi funkcije raspodele kojoj pripada slučajna veličina na bazi posmatranja uzorka;
- proveru ispravnosti postavljene hipoteze;
- određivanje nepoznatih parametara raspodele i ocenu njihove tačnosti.

Metode koje se primenjuju za utvrđivanje raspodele kojom se mogu aproksimirati prikupljeni podaci globalno se mogu svrstati u dve glavne grupe:

- grafičke metode;
- analitičke metode.

Svaka od njih ima prednosti i nedostatke: analitičke su objektivnije ali i komplikovanije, grafičke su brze i relativno jednostavne, ali manje objektivne od analitičkih.

Grafičke metode su upravo zbog pomenute jednostavnosti često korišćene u

inženjerskoj praksi za pronalaženje klase funkcije raspodele i njenih parametara, i aproksimiranje skupa određenih statističkih podataka. Međutim, baziranjem na vizuelnom ispitivanju uzorka bez ikakvih statističkih izračunavanja, raste subjektivni momenat u izboru modela, što predstavlja njihov glavni nedostatak.

Dve grafičke metode se jasno diferenciraju. Prva, u kojoj postoji mogućnost konstrukcije histograma ili funkcije kumulativne raspodele posmatranog statističkog materijala i druga, koja u osnovi ima ucrtavanje skupa statističkih podataka na tzv. papire verovatnoće.

Metodom konstrukcije histograma stvara se mogućnost upoređivanja sa funkcijom gustine pretpostavljene raspodele ili njenom kumulativnom funkcijom.

Ako se ispituje  $n$  sistema počev od vremena  $t = 0$ , onda će u bilo kom trenutku vremena  $t$  biti  $n_1$  sistema koji nisu otkazali. Ovaj metod može se razložiti na nekoliko koraka:

- uređenje skupa eksperimentalno (iskustveno) dobijenih podataka u vremenskom domenu po neopadajućem nizu;
- izračunavanje empirijske gustine otkaza  $f_c(t)$  pomoću izraza:

$$f_c(t) = \frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{n} = \frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{n \cdot \Delta t_i} \quad (1)$$

gde je  $t_i < t < t_i + \Delta t_i$ , tj. funkcija gustine jednaka je odnosu između broja otkaza u intervalu  $\Delta t_i$  i ukupnog broja sistema  $n$ , podeljeno dužinom intervala  $\Delta t_i$ .

- funkcija intenziteta otkaza brojčano je jednaka odnosu između broja otkaza u vremenskom intervalu i broja siste-

ma koji nisu otkazali na početku tog intervala, podeljenog sa dužinom intervala:

$$\lambda(t) = \frac{\frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{\Delta t_i}}{n_1(t_i)} = \frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{n_1(t_i) \cdot \Delta t_i} \quad (2)$$

- određivanje širine intervala koji nije strogo specificiran i zavisi od konkretnog slučaja, ali se optimalni broj intervala  $k$  može izračunati po formuli:

$$K = 1 + 3,3 \log(n), \quad (3)$$

gde je  $n$  veličina uzorka;

- crtanje histograma tako što se na apscisu nanose vrednosti intervala nad kojima se crta pravougaonik, čija visina odgovara vrednosti funkcije. Ukupna površina ispod histograma jednaka je jedinici;

- upoređivanje oblika histograma sa graficima funkcije gustine raspodele karakterističnih raspodela;

- određivanje najboljeg modela.

Glavni nedostatak ovog postupka je nemogućnost razlikovanja uzroka greške, tj. da li je greška posledica teorijskog modeliranja ili fluktuacije skupa statističkih podataka. Takođe, u slučaju raspolaganja suviše malim uzorkom ovaj metod postaje nepouzdan, tako da je preporučljivo da se primenjuje na veće statističke uzorke.

Metoda određivanja funkcije raspodele verovatnoće primenom papira verovatnoće može se primeniti u slučaju određivanja funkcije raspodele sa jednim ili dva parametra. U slučaju da ima više parametara svodi se na slučaj dvoparameterske raspodele. Pri ucrtavanju podataka na papir verovatnoće treba se pridržavati sledećeg redosleda:

– na osnovu skupa statističkih podataka pripremiti papir verovatnoće pretpostavljene raspodele;

– preurediti podatke u rastući niz – izvršiti sortiranje niza u neopadajući;

– ucrtati na papir verovatnoće tačke sa koordinatama, tako da se vrednosti podataka nanose na apscisu, a vrednosti funkcije na ordinatu po sledećem:

$$[t(i), (i / 0,5) / n] \quad (4)$$

ako se verovatnoća daje u apsolutnim vrednostima,

$$\text{ili kao } [t(i), 100(i / 0,5) / n] \quad (5)$$

ako se verovatnoća daje u procentima (%);

– povući pravu liniju kroz ovako dobijene tačke proizvoljno ili korišćenjem metode najmanjih kvadrata;

– proceniti gomilanje tačaka na pravoj ili oko nje – ako se tačke nalaze na pravoj ili oko nje odabrani model je korektan; ako su odstupanja sistematska model nije odgovarajući;

– sa papira verovatnoće moguće je proceniti parametre raspodele.

Može se zaključiti da je procena o tome koliko tačke slede pravu liniju subjektivna, što predstavlja nedostatak ovog metoda.

## Rezultati i analiza

Do podataka o otkazima došlo se obradom podataka iz odgovarajuće vazduhoplovno-tehničke dokumentacije i evidencije. Kao neposredni izvor informacija korišćen je obrazac – tehnički nalaz neispravnosti vazduhoplovno-tehničkog materijalnog sredstva.

Teorijski model raspodele određen je na sledeći način:

– tabelarno je prikazan statistički uzorak za svaki uređaj;

– konstruisani su histogrami za svaki skup podataka;

– podaci su uneti na odgovarajući papir verovatnoće;

– prihvaćen je (odnosno odbijen) pretpostavljeni model raspodele;

– izvršeno je izračunavanje parametara.

Podaci o vremenima otkaza  $t_i$ , vrednosti empirijske funkcije raspodele  $F(t_i)$ , širine intervala  $\Delta t_i(h)$  i vrednosti empirijske funkcije gustine otkaza  $f_e(t)$  prikazani su u tabelama, a izračunavaju se na osnovu sledećih formula:

$$F(t_i) = (i - 0,5) / n \quad (6)$$

$$f_e(t) = n_1 / (n \Delta t_i) \quad (7)$$

gde je  $n_1$  broj uređaja koji su otkazali u posmatranom intervalu.

Histogrami i funkcije raspodele na papiru verovatnoće sa unetim podacima prikazani su na slikama 1 do 8.

### Uređaj 1: Upravljačka kutija radio-stanice UK-100

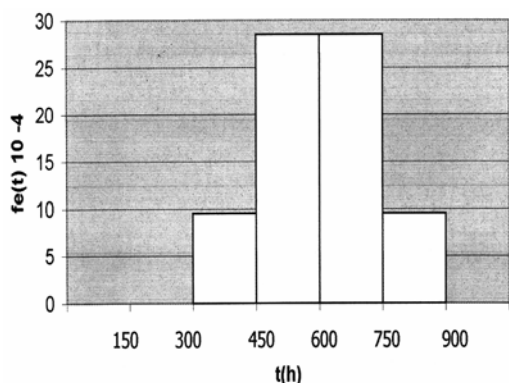
Tabela 1  
Vrednosti empirijske funkcije raspodele

i	$t_i$ [h]	$F(t_i)$
1	420	0,07
2	547	0,21
3	585	0,36
4	696	0,5
5	710	0,64
6	750	0,78
7	771	0,92

Tabela 2  
Vrednosti empirijske funkcije gustine otkaza

$\Delta t_i$ [h]	$n_i$	$f_e(t) \cdot 10^{-4}$
0–150	0	0
150–300	0	0
300–450	1	9,5
450–600	2	28,5
600–750	3	28,5
750–900	1	9,5

Na slici 2 prikazan je deo papira verovatnoće za normalnu raspodelu (u po-



Sl. 1 – Histogram – funkcija kumulativne raspodele otkaza upravljačke kutije UK-100

trebnom opsegu) na kojem su uneti podaci o vremenima otkaza upravljačke kutije UK-100 (prikazan je samo deo papira verovatnoće zbog uštede na prostoru).

Na osnovu podataka sa slike 2 vrši se određivanje parametara raspodele na sledeći način:

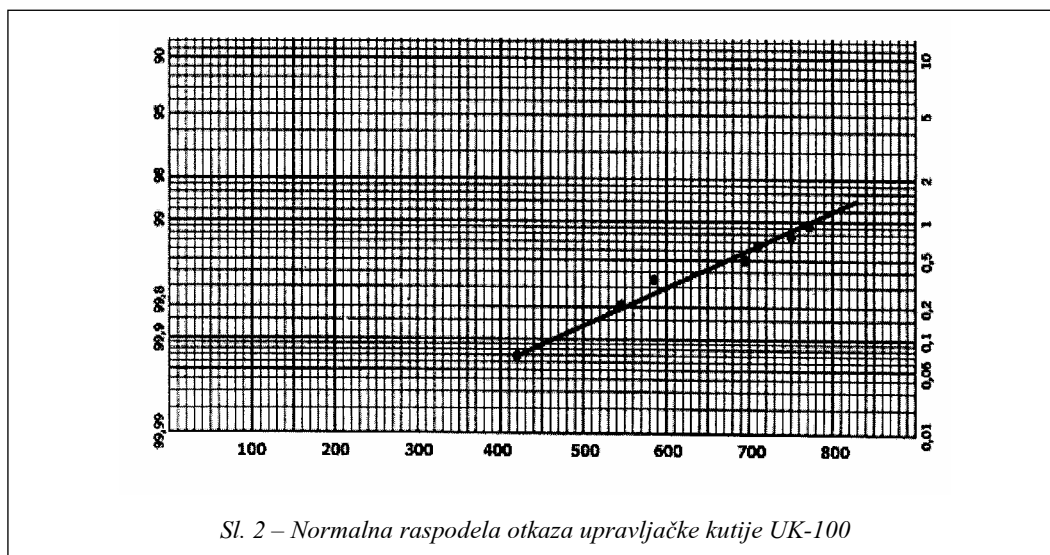
– srednja vrednost  $\mu$  određuje se tako što se na ordinati dijagrama nađe tačka 0,5, povuče se horizontalna linija do preseka sa pravom i očita vrednost na apscisi ( $\mu$ );

– standardna devijacija  $\sigma \approx 2D/5$ , gde je D razlika između vrednosti na apscisi koje ogovaraju tačkama 0,9 i 0,1 na ordinati.

Na osnovu histograma i funkcije raspodele na papiru verovatnoće može se zaključiti da upravljačka kutija otkazuje po normalnom zakonu.

Dobijena funkcija gustine otkaza je:

$$f(t) = \frac{1}{124 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t-680}{124} \right)^2} \quad (8)$$



Sl. 2 – Normalna raspodela otkaza upravljačke kutije UK-100



Uređaj 2: Primopredajnik radio-  
-stanice KONDOR

Tabela 3  
Vrednosti empirijske funkcije raspodele

i	$t_i$ [h]	$F(t_i)$
1	510	0,07
2	608	0,21
3	695	0,36
4	814	0,5
5	904	0,64
6	948	0,78
7	1013	0,92

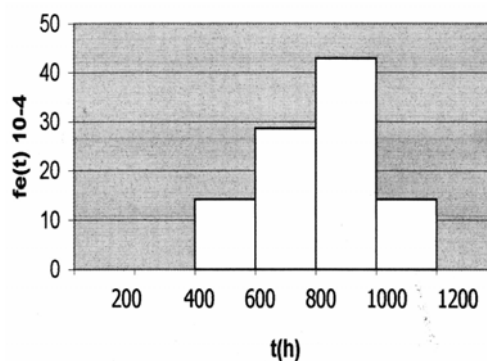
Tabela 4  
Vrednosti empirijske funkcije gustine otkaza

$\Delta t_i$ [h]	$n_i$	$f_e(t) \cdot 10^{-4}$
0–200	0	0
200–400	0	0
400–600	1	14,3
600–800	2	28,6
800–1000	3	42,9
1000–1200	1	14,3

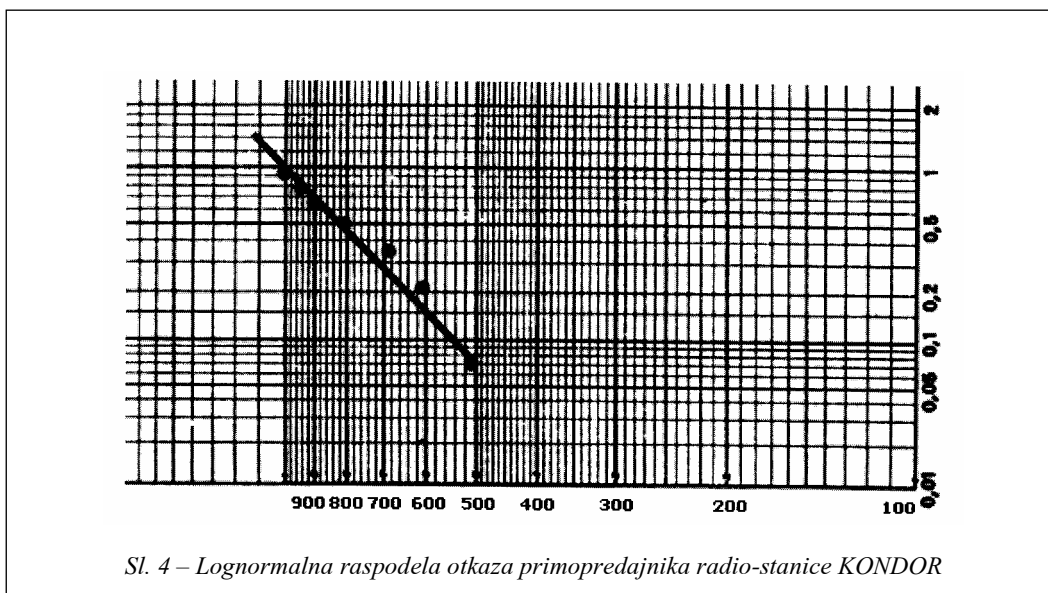
Na osnovu histograma i funkcije raspodele na papiru verovatnoće može se zaključiti da upravljačka kutija otkazuje po lognormalnom zakonu.

Dobijena funkcija gustine otkaza je:

$$f(t) = \frac{1}{192t \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln t - 840}{192} \right)^2} \quad (9)$$



Sl. 3 – Histogram – funkcija kumulativne raspodele otkaza primopredajnika radio-stanice KONDOR

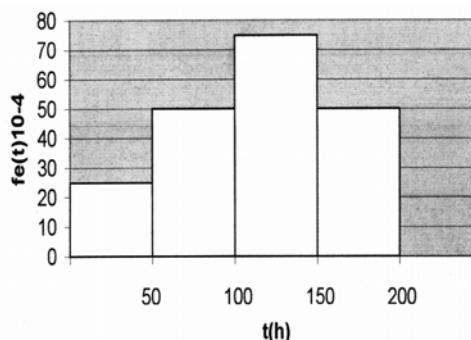


Sl. 4 – Lognormalna raspodela otkaza primopredajnika radio-stanice KONDOR

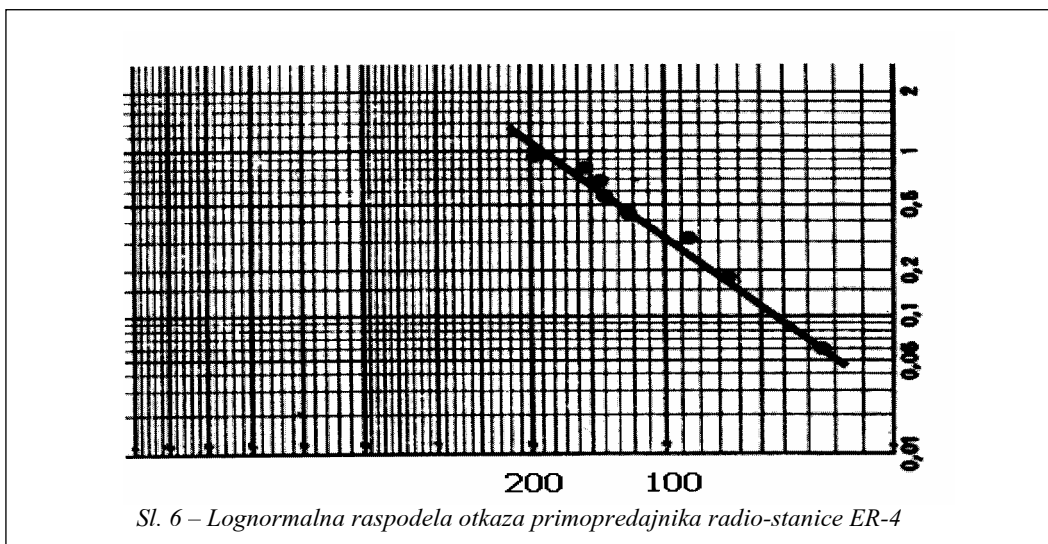
Uređaj 3. Primopredajnik radio-stanice ER-4

Tabela 5  
Vrednosti empirijske funkcije raspodele

i	t <sub>i</sub> [h]	F(t <sub>i</sub> )
1	24	0,0625
2	64	0,1875
3	86	0,3125
4	123	0,4375
5	140	0,5625
6	143	0,6875
7	156	0,8125
8	194	0,9375



Sl. 5 – Histogram – funkcija kumulativne raspodele otkaza primopredajnika radio-stanice ER-4



Sl. 6 – Lognormalna raspodela otkaza primopredajnika radio-stanice ER-4

Tabela 6  
Vrednosti empirijske funkcije gustine otkaza

Δt <sub>i</sub> [h]	n <sub>i</sub>	f <sub>e</sub> (t) · 10 <sup>-4</sup>
0–50	1	25
50–100	2	50
100–150	3	75
150–200	2	50

Funkcija gustine otkaza dobijena u ovom slučaju je:

$$f(t) = \frac{1}{52t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - 125}{52}\right)^2} \quad (10)$$

Uređaj 4. Prijemnik radio-kompasa VARK-01

Tabela 7  
Vrednosti empirijske funkcije raspodele

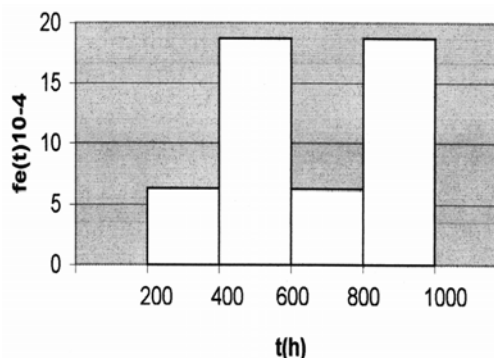
i	t <sub>i</sub> [h]	F(t <sub>i</sub> )
1	219	0,0625
2	414	0,1875
3	505	0,3125
4	578	0,4375
5	782	0,5625
6	840	0,6875
7	918	0,8125
8	920	0,9375

Tabela 8  
Vrednosti empirijske funkcije gustine otkaza

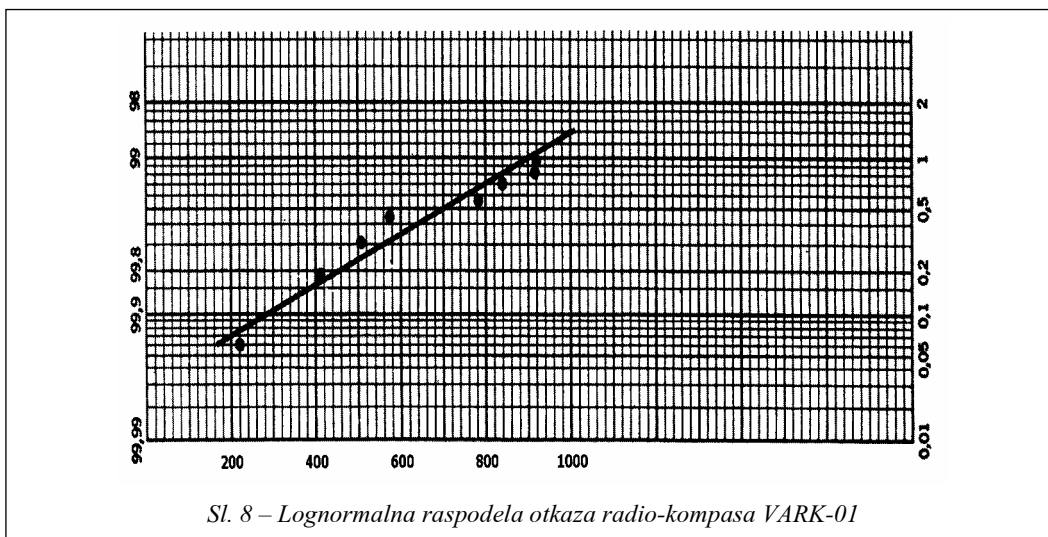
$\Delta t_i$ [h]	$n_i$	$f_e(t) \cdot 10^{-4}$
0–200	0	0
200–400	1	6,25
400–600	3	18,75
600–800	1	6,25
800–1000	3	18,75

Dobijena funkcija gustine otkaza u ovom slučaju je:

$$f(t) = \frac{1}{120 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t-740}{120} \right)^2} \quad (11)$$



Sl. 7 – Histogram – funkcija kumulativne raspodele otkaza radio-kompasa VARK-01



Sl. 8 – Lognormalna raspodela otkaza radio-kompasa VARK-01

## Zaključak

Analiza otkaza grupe elektronskih uređaja vazduhoplova, prikazana u ovom radu, ostvarena je primenom grafičke metode. Metoda je i u ovom slučaju potvrdila svoje prednosti: praktičnost, brzina i vizuelnost.

Kao statistički uzorak iskorišćeni su otkazi elektronskih uređaja različite namene: navigacionih i uređaja sredstava veze. Posmatran je period od nekoliko

godina i na osnovu obrade podataka relativno skromnog uzorka došlo se do sledećeg zaključka: od analiziranih četiri dva uređaja otkazuju po normalnom, a dva po lognormalnom zakonu. To je u izvesnom neskladu sa teorijski prihvaćenim eksponencijalnim modelom kao reprezentom otkaza elektronskih uređaja. Ovo odstupanje javlja se zbog sledećih razloga [6]:

– uzorkovani uređaji nisu statični, već su ugradnjom na avione bili izloženi

uticaju ekstremnih uslova različitih oblika ispoljavanja u različitim vremenima i režimima rada: do otkaza je dolazilo u letu, pri sletanju, ali i na zemlji; nastajali su kao posledica udara, vibracija, velikih temperaturnih razlika, visoke vlažnosti; radili su kada i njihov nosač (često i češće) pod različitim opterećenjima (broj avio-poletanja u različitim periodima veća upotrebe svakog aviona nije bio isti). Kao što je u uvodu izloženo, raznovrsnost i priroda otkaza nije bila predmet ovog rada, već je za slučajnu promenljivu korišćeno samo vreme rada do otkaza uređaja;

– vreme rada do otkaza posmatrano je na uređajima koji su starili tokom upotrebe, dolazilo je do njihovog istrošenja, kada dominaciju preuzima normalna raspodela, odnosno lognormalna, ako je uzrok otkaza zamor materijala;

– mala veličina uzorka takođe je razlog mogućeg odstupanja od teorijske eksponencijalne raspodele.

Na osnovu dobijenih zakona raspodele može se planirati preventivno održavanje i optimizirati logistička podrška za analizirane uređaje [7].

*Literatura:*

- [1] VTU SSNO, Upravljanje avionom N-62, VTUP, 1988.
- [2] Parčina, N.; Ramović, R.: Modelovanje pouzdanosti magistrala za prenos podataka elektronskih sistema vazduhoplova u specijalnim uslovima eksploatacije, Zbornik radova SYM-OP-IS, str. 453–456, 1988.
- [3] Parčina, N.; Ramović, R.: Reliability simulation of aircraft data transfer main lines, Prace Instytut Lotnicwa, str. 163–172, 1996.
- [4] Milivojević, J.; Dragić, N.; Ramović, R.: Optimizacija pouzdanosti primopredajne radiostanice „KONDOR“, Zbornik radova SYM-OP-IS, str. 317–320, 2000.
- [5] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, VINC, Beograd, 1990.
- [6] Jović, D.; Ramović, R.: Određivanje parametara pouzdanosti avionskih uređaja veze primenom grafičke metode, Zbornik radova TELFOR 2003, rad 5.3, Beograd, novembar 2003.
- [7] Muždeka, S.: Logistika, logističko inženjerstvo, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“, Vinča, TU SSNO, 1981.

Dr Čedomir Gacović,  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## ISPITIVANJE UTICAJA OBLAKA SMETNJI NA MONOIMPULSNI NIŠANSKI RADAR I PROTIVRADARSKJE RAKETE\*

UDC: 623.46 :: 621.396.96 : 621.391.82

### Rezime:

*U ovom radu razmatrane su metodologije i eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja oblaka smetnji na monoimpulsne nišanske radare i protivradarske rakete. Rezultati su pokazali ispravnost postavljenih teorijskih modela i izvršenih analiza primene oblaka smetnji tokom agresije na Jugoslaviju 1999. godine.*

*Ključne reči: nišanski radar, monoimpulsni radar, uglovna greška, oblak smetnji, ometanje, raketni sistemi, protivavionska raketa.*

---

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF JAMMING CLOUDS ON MONOPULSE TRACKING RADARS AND ANTIRADAR MISSILES

#### Summary:

*This paper considers the methods and the experimental results of the analysis of the jamming cloud influence on monopulse tracking radars and antiradar missiles. The results confirmed the value of the set theoretical models and the analyses of the application of jamming clouds carried out during the NATO aggression on Yugoslavia in 1999.*

*Key words: tracking radar, monopulse radar, angle error, jamming cloud, jamming, missile systems, anti-aircraft missile.*

---

### Uvod

Zaštita radarskih sistema od protivradarskih raketa primenom oblaka smetnji, koja je primenjena u toku agresije na Jugoslaviju 1999. godine, bila je na osnovu mnogih pokazatelja uspešna. Brojne metode zaštite bile su primenjene, uglavnom, samo na osnovu teorijskih analiza. Bilo je očigledno da je i protivnik koristio oblake smetnji za zaštitu od protivavionskih (PA) raketa, i za pomeranje nišanskih linija, odnosno ekvisig-

nalnih (ESP) pravaca nišanskih radara sa cilja. Lažno aktiviranje bojnih glava i promašaji naših PA raketa idu u prilog toj pretpostavci.

Zbog toga je doneta odluka da se u širem rejonu Niša, na vežbovnoj prostoriji 230. raketnog puka PVO, izvrši ispitivanje uticaja oblaka smetnji na RS PVO, KUB-M/M3. To je izuzetno složen sistem, sa komponentama koje se, sistemski gledano, nalaze u osnovi i najsavremenijih raketnih sistema iste namene. Osim toga, princip vođenja PA rakete ovog sistema na cilj gotovo je identičan principu vođenja protivradarskih raketa na radar.

\* Rad je prezentiran na naučno-stručnom skupu TOC KoV „Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO“, 02. 12. 2003. u Beogradu.

Upravo radi toga je izučavanje uticaja oblaka smetnji na ovaj sistem i mogućnost primene sistema u tim uslovima od velikog značaja i iz edukativnih razloga.

Ciljevi ispitivanja bili su, osim verifikacija dela teorijskih rezultata, nalaženje mogućnosti za primenu oblaka smetnji u obuci operatora radarskih stanica za rad u uslovima protivelektronske borbe (PED). Ispitivanja su vršena u okviru RS PVO KUB-M/M3 i zbog toga što je u tom sistemu primenjen savremeni monoimpulsni koncept u nišanskom radaru 1S31 i u radarskoj glavi za samonavodnje rakete 3M9.

Osnovna, početna ideja eksperimenta bila je formiranje parnog modela oblaka smetnji i ispitivanje uticaja takvog oblaka na nišanski radar i RGS rakete u različitim uslovima. Cilj je bio da se dobiju odgovori na tri osnovna pitanja, koja se odnose na: uticaj oblaka smetnji na nišanski radar 1S31 RS PVO KUB-M/M3, mogućnost primene oblaka smetnji za zaštitu od protivradarskih raketa i uticaj oblaka smetnji na rakete 3M9 RS PVO KUB-M/M3.

### **Ispitivanje uticaja oblaka smetnji na nišanski radar**

Planirano je da se eksperimenti vrše tako što bi helikopter izbacivao paketiće pasivnih dipola, formirao oblake pasivnih smetnji, koje bi zatim osvetljavao ometačkim signalima na frekvenciji nišanskog radara 1S31. Nišanski radar zahvatao bi helikopter – cilj, a pomoću televizijsko-optičkog sistema 9Š33 merilo bi se odstupanje optičke ose, odnosno ESP od cilja. Merenja bi se vršila u vari-

janti primene pasivnog oblaka smetnji, tj. bez osvetljavanja, i u varijanti primene kompletnog oblaka smetnji pri osvetljavanju signalima sa helikoptera.

Zbog troškova i složenosti organizacije navedenih eksperimenata i zbog nemogućnosti obezbeđenja predajnika osvetljenja ometačkim signalima na frekvenciji nišanskog radara, odustalo se od navedene pune varijante ispitivanja. Umesto toga eksperimenti su se vršili tako što su dve radarske stanice za osmatranje i navođenje RStON-1 RStON-2, razmeštene nedaleko jedna od druge, zbog potrebe da se izvrši sinhronizacija repeticionih frekvencija nišanskih radara (slika 1).

Nišanski radar ometač (NR<sub>OM</sub>), iz RStON-1 (radarska stanica za osmatranje i navođenje), proglašen je za ometač, a nišanski radar NR, iz RStON-2, za ispitivani nišanski radar. Radne frekvencije nišanskih radara u radarskim stanicama puka razlikuju se zbog isključenja međusobnog ometanja nesinhronim impulsnim smetnjama, ali i zbog mogućeg oštećenja



*Sl. 1 – Radarska stanica za osmatranje i navođenje*

prijemnika jednog radara predajnim signalima drugog. Za potrebe eksperimenta izvršeno je kompletno prepodešavanje NR<sub>OM</sub>, kako bi mogao preuzeti funkciju ometača radara NR. Zbog toga su radarske stanice postavljene tako da nije bilo optičke vidljivosti između njih. Postavljene su duž druge izohipse kote 369 iznad sela Čamurlije (sekcija 582 Niš 1:100 000), čime su obezbeđene iste nadmorske visine stanica (slika 4).

Na koti 322 iste sekcije, iznad sela Bajnac, formirane su dve grupe uglovnih reflektora na istoj visini. Grupe su, zavisno od eksperimenta, imale ulogu pasivnih, aktivnih ili kompletnih oblaka smetnji. Formirane su od dve vrste uglovnih reflektora u različitim kombinacijama, kao što je prikazano na slikama 2 i 3. Oni veći su formacijski reflektori dodeljeni svakom puku. Manji uglovni reflektori, sa dimenzijama jedne stranice između 8 i 15 cm, konstruisani su specijalno za ove eksperimente. Prethodna ideja da se stalni odrazi pojačavaju posipanjem dipol-reflektorima, koja je korišćena u toku rata, nije se pokazala uspešnom u ovim eksperimentima. Zbog malih dimenzija ( $\lambda/4$ ) reflektori su se gubili u travi, i nije se primećivao njihov uticaj na radarski signal. Naravno, to ne mora biti konačan odgovor na pitanje o efikasnosti dipol-reflektora. Verovatno bi se sasvim drugačiji efekti dobili u slučaju povećanja upadnih uglova radarskih signala, što bi bilo interesantno sa stanovišta zaštite od protivradarskih raketa. Karakteristike upotrebljenih uglovnih reflektora nisu snimane. Postavljeni su na osnovu teorijskih pretpostavki oblika njihovih sekundarnih dijagrama zračenja. Kompletna ispitivanja „malih“ uglovnih reflektora vrše se u VA Vojske SCG.



Sl. 2 – Grupa od 6 „velikih“ linijski postavljenih uglovnih reflektora

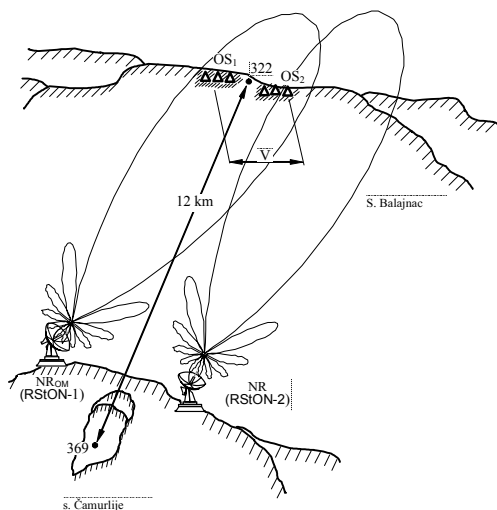


Sl. 3 – Grupa od 6 „velikih“ i 12 „malih“ uglovnih reflektora

Grupe uglovnih reflektora obeležene su belom tkaninom kako bi se mogle učiti pomoću televizijsko-optičkog vizira (TOV) 12 km udaljenih radarskih stanica (slika 4).

Merenje uglovne greške, odnosno odstupanje ESP nišanskog radara od izabranog cilja, vršilo se na sledeći način: najpre bi se jedna od dve grupe uglovnih reflektora proglasila za cilj, čime bi ona druga automatski bila ometačka. Nišanski radar NR bi se pomoću TOV-a (televizijsko-optički vizir) naveo na čaršav grupe reflektora koja je proglašena ciljem i izvršio zahvat. Zatim bi se merio položaj ESP pomoću precizne uglovne skale. Položaj pseudocentra odraza merio

bi se tek nakon 8 do 10 sekundi stabilnog zahvata. Ovo vreme proisteklo je iz uslova da vreme stabilnog zahvata bude veće ili jednako vremenu inercionog praćenja koje iznosi 3 do 4 s. Funkcije gustine verovatnoće snimale su se na osnovu 20 izvršenih zahvata iste grupe reflektora, u istim uslovima, osim u trećem eksperimentu, gde je zbog nestabilnog zahvata broj merenja povećan na 40.



Sl. 4 – Raspored radarskih stanica i oblaka smetnji u širem rejonu Niša

Odlučujući faktor da se broj merenja ograniči na 20 bio je smanjenje vremena opitovanja, odnosno rada radarskih stanica. To ne predstavlja malu veličinu, budući da je u toku ispitivanja izvršeno 1020 merenja, ne računajući ona koja su vršena radi ustanovljavanja najbolje kombinacije grupa.

U drugom slučaju bi se druga grupa reflektora proglasila za cilj, odnosno vršio bi se zahvat te grupe reflektora i merio uticaj prve grupe koja se proglašava ometačkom tačkom.

U trećem slučaju bio bi zahvaćen geometrijski centar i merio položaj pseudocentra.

Grupe uglovnih reflektora imale su ulogu parnog pasivnog oblaka smetnji, ako je bio uključen samo nišanski radar, odnosno kompletnog oblaka smetnji ako ih je, pored NR, osvetljavao predajnik NR<sub>OM</sub>. Merenja su vršena u tri varijante, i to kada su grupe uglovnih reflektora iste ili približno iste, kada je prva grupa veća od druge, kada je druga grupa veća od prve, i kombinacijom grupa. Pri tome je međusobni razmak grupa reflektora – baza uziman kao parametar. Biran, je takođe, za tri specifična slučaja na osnovu teorije o rezolucionim uglovima kanala za automatsko praćenje ciljeva po uglovnim koordinatama [2]:

- razmak pri kojem je međusobni ugao grupa reflektora  $\Theta$  posmatran sa mesta NR bio manji od rezolucionog ugla nišanskog radara  $\Theta_r$ , tj.  $\Theta < \Theta_r$ ;
- razmak pri kojem je  $\Theta \approx \Theta_r$ ;
- razmak pri kojem je  $\Theta > \Theta_r$ .

U svim merenjima servosistem za pomeranje antene nišanskog radara po mesnom uglu isključivan je nakon postavljanja na visinu oblaka smetnji.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je ovako definisani eksperiment potpuno uspeo.

Pretpostavke o mogućnosti formiranja oblaka smetnji na zemlji bile su ispravne. Jedina, mada veoma važna nepogodnost, bila je nemogućnost provere rada radara u faznom režimu, zbog nemogućnosti stvaranja pokretnih oblaka smetnji, kako je to u punoj konfiguraciji eksperimenta zamišljeno. Ipak, postavka je dobra podloga za nastavak istraživanja u ovom području.



Otklonjene su mnoge dileme koje je ekipa imala na početku eksperimenta. Eksperimenti sa imitiranjem treptećih smetnji nisu uspjeli, zbog nemogućnosti pomeranja dijagrama zračenja  $NR_{OM}$  po azimutu, brzinom kojom bi se mogle imitirati bar spore trepteće smetnje. Naime, širina propusnog opsega servosistema nišanskog radara koji „glumi“ ometač je reda nekoliko Hz, a ručno pomeranje snopa u tom ritmu je skoro nemoguće zbog relativno velike širine dijagrama zračenja na 12 km od radara, tj. na mestu oblaka smetnji. Mogućnost sofisticiranog upravljanja servosistemom ostaje da se proverí u nastavku istraživanja.

### Ispitivanje mogućnosti primene oblaka smetnji za zaštitu od protivradarskih raketa – metodika 2

U konfiguraciji prikazanoj na slici 4  $NR_{OM}$  bio bi postavljen na mesto  $OS_1$ , a  $NR$  bi ostao na istom mestu. Antena  $NR_{OM}$  bi se usmerila na  $NR$  i uključio predajnik. U nišanskom radaru  $NR$  uključio bi se režim praćenja izvora šumnih smetnji, zbog povećanog dinamičkog opsega u tom režimu i izvršio zahvat. Nakon toga bi se na opisani način proverio položaj ESP antene  $NR$ . Budući da  $NR$  ima ulogu protivradarske rakete, njegov predajnik mora biti isključen.

Varijanta nije proverena zbog opasnosti od oštećenja prijemnika  $NR$  predajnim signalima  $NR_{OM}$  velike snage. Umesto toga, ekipa se odlučila za eksperiment u kojem bi oblaci smetnji  $OS_1$  i  $OS_2$  imali posredne uloge. Raspored radarskih stanica i oblaka smetnji ostao bi isti kao na slici 4, s tom razlikom što bi  $NR_{OM}$  radio samo na predaji, a  $NR$  samo

na prijemu. Oblak smetnji  $OS_1$  proglašen je za radar – cilj, a  $OS_2$  ima svoju stvarnu ulogu – odvlačenje ESP antene  $NR$  (protivradarske rakete) od  $OS_1$  tj. radara – cilja. Imitiranje većeg signala  $OS_1$  u odnosu na signal  $OS_2$  vršen je pravilnim usmeravanjem dijagrama zračenja  $NR_{OM}$ .

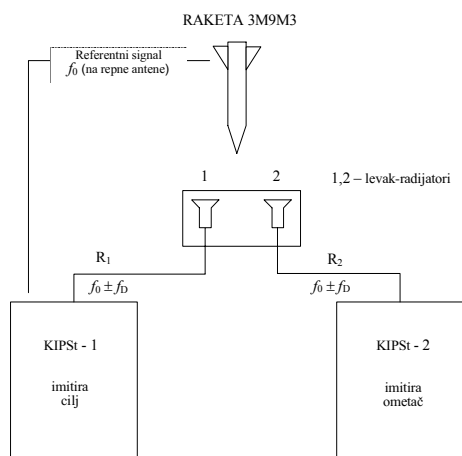
### Ispitivanje uticaja oblaka smetnji na radarsku glavu PA rakete – metodika 3

Kao i u prethodnom slučaju, predviđeno je da se eksperiment vrši tako što bi helikopter formirao oblake pasivnih dipola koje bi osvetljavao signalima na frekvenciji predajnika osvetljenja kanala vođenja rakete na cilj. Ovako definisani eksperimenti nisu se mogli izvršiti iz već opisanih razloga, koji su ovde pojačani potrebom da signali osvetljenja sa helikoptera imaju i komponentu Doplerovog pomaka [3]. Varijanta primene oblaka smetnji na zemlji ne može se ostvariti i zbog nemogućnosti uvođenja brzine u signal osvetljenja. Predajnik osvetljenja cilja  $RstON$ -a osvetljava cilj veoma stabilnim signalima na fiksnoj frekvenciji  $f_0$ , koja se može menjati samo pre lansiranja rakete.



Sl. 5 – Postavljanje levak-antena imitatora cilja i ometača ispred antene rakete 3M9M3 – pogled sa leve strane

Zbog toga je odlučeno da se eksperimenti izvedu na sledeći način:



Sl. 6 – Povezivanje kontrolno-ispitnih pokretnih stanica sa raketom 3M9M3

Raketni sistem PVO KUB-M/M3 opremljen je kontrolno-ispitnim pokretnim stanicama (KIPSt) u okviru kojih se nalazi komplet instrumenata za proveru RGS raketa. Za ovaj eksperiment stanice su smeštene jedna pored druge (slika 5) i povezane raketom po šemi prikazanoj na slici 6. Stanica KIPSt-1 imitira cilj, tako da osim glavnog čeonog kanala na frekvenciji  $f_0 \pm f_D$  (levak-antena 1) obezbeđuje i referentni signal  $f_0$  preko repne antene rakete [4].

Planirano je da se eksperiment izvede tako što bi se u prvoj varijanti menjali odnosi snaga  $R_1$  i  $R_2$ , tj.  $Z_0$  sa bazom (B) kao parametrom. Zatim bi se uz konstantan odnos  $Z_0$  menjala baza u skladu sa rezolucionim uglom ( $\Theta_r$ ) RGS rakete.

Rezultati ispitivanja PA rakete novije generacije bili su bitno drugačiji od onih koje je ekipa očekivala. Pokazalo se da su ugrađene zaštite od ometanja po

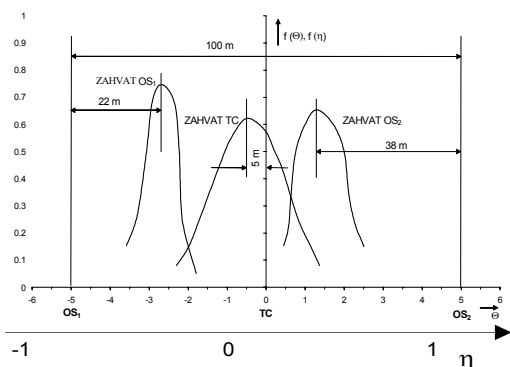
uglu znatno efikasnije nego što se pretpostavljalo na osnovu prethodnih teorijskih razmatranja. Budući da proizvođač rakete nije dao sve podatke o raketi, uključujući električne šeme pojedinih vitalnih sklopova, zaključeno je da bi eksperimente trebalo nastaviti nakon detaljnijeg proučavanja konstrukcije rakete, uz angažovanje stručnjaka iz VTI i TOC-a. Zbog toga je nakon većeg broja izvršenih merenja ( $>50$ ), konstatovano da je ova raketa izuzetno otporna na ometanje po uglovnom kanalu. Raketa se drži zahvaćenog cilja nezavisno od odnosa snaga  $Z_0$  i baze B. Do prezhvata ometača dolazi tek ako se antena ometača poklopi sa antenom cilja, i tu ostaje izvesno vreme. U suprotnom, ako se antena ometača samo prevuče preko antene cilja, raketa nastavlja da prati cilj. Ako se tome doda već navedena karakteristika ove rakete da je u stanju da za svega 0,3 s ponovo zahvati cilj po brzini, ako se desi da ga, na primer, zbog ometanja izgubi – može se zaključiti da je raketa izuzetno otporna na protivelektronska dejstva. Unutar vremena inercionog praćenja po uglu od 3 do 4 s, raketa može 10 ( $3/0,3$ ) puta da izgubi i ponovo zahvati cilj po brzini, što nije bio slučaj sa starijom raketom 3M9M, kojoj je za ponovni zahvat cilja bilo potrebno vreme od 2 do 3 s.

### Deo eksperimentalnih rezultata ispitivanja uticaja oblaka smetnji

U eksperimentu 1 koji je vršen po metodici ispitivanja 1 pri  $\Theta < \Theta_r$ , oblaci smetnji OS<sub>1</sub> i OS<sub>2</sub> su pasivni. Uglovno rastojanje oblaka smetnji OS<sub>1</sub> i OS<sub>2</sub>  $\Theta < \Theta_r$ . Na koti

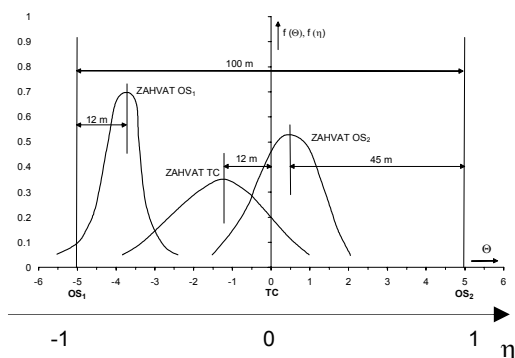
322, koja je od kote 369 udaljena 12 km, rastojanje između oblaka smetnji (baza B) jeste  $B = tg \Theta_r \cdot R = tg 0,85^\circ \cdot 12\ 000 = 178\text{ m}$ . Izabrano je rastojanje od 100 m, tj.  $B = 100\text{ m}$ . Merenja, kojih je bilo 20, vršena su u tri različite varijante, i to:  $OS_1 = OS_2$ ;  $OS_1 > OS_2$  i  $OS_1 < OS_2$ . Vrednost uglovne greške uzeta je tek nakon 8 do 10 s u stabilnom praćenju.

*Varijanta 1:  $OS_1 = OS_2$  ( $OS \rightarrow$  Sl. 3;  $OS_2 \rightarrow$  Sl. 3)*



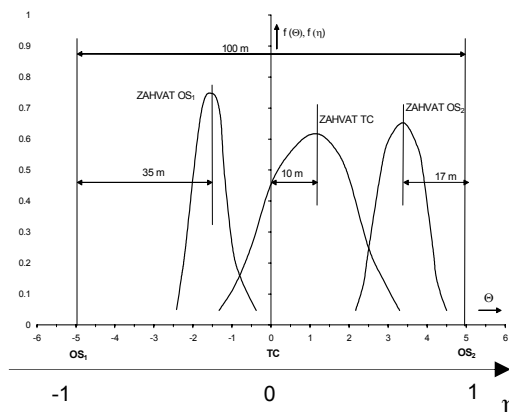
Sl. 7 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri  $OS_1 = OS_2$

*Varijanta 2:  $OS_1 > OS_2$  ( $OS_1 \rightarrow$  Sl. 3;  $OS_2 \rightarrow$  Sl. 2)*



Sl. 8 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri  $OS_1 > OS_2$

*Varijanta 3:  $OS_1 < OS_2$  ( $OS_1 \rightarrow$  Sl. 2;  $OS_2 \rightarrow$  Sl. 3)*



Sl. 9 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri  $OS_1 < OS_2$

Eksperiment 1 pokazao je značaj konfiguracije oblaka smetnji sa stanovišta ometanja monoimpulsnog radara. Svejedno je da li je radar na zemlji, a oblaci smetnji u vazдушnom prostoru, ili su oblaci neposredno na zemlji, a ometa se RGS protivradarske rakete. Takvo proširenje analize moguće je na osnovu oblaka smetnji [1]. Pitanje je samo u koju grupu treba svrstati realizovane oblake smetnji na zemlji. Odgovor na to pitanje je veoma diskutabilan. Možda je najispravnije reći da su oblaci smetnji u scenariju sa slike 4 formirani gotovo od svih modela, jer se ovde, pored signala uglovnih reflektora, superponiraju i signali stalnih odraza. Nameće se potreba da se posebno ispita struktura samih oblaka smetnji, što nije bio cilj ovih eksperimenata. Ovde se ograničilo samo na pojavni oblik, tj. na sistemski pristup uticaja oblaka smetnji.

Slučaj „Zahvat TC“ odgovara situaciji kada se ni na koji način ne može uticati na položaj optičke ose antene, odno-

sno ESP u trenutku zahvata, tako da je zahvat izvršen po težišnom centru (TC) reflektovanog signala.

Slučaj „Zahvat OS<sub>1</sub>“ odgovara situaciji kada je OS<sub>1</sub> na mestu letelice – cilja, a OS<sub>2</sub> predstavlja oblak smetnji koji je formirala letelica – cilj OS<sub>1</sub>.

Slučaj „Zahvat OS<sub>2</sub>“ odgovara obrnutoj situaciji, kada je OS<sub>2</sub> objekat zahvata, odnosno letelica – cilj, a OS<sub>1</sub> predstavlja oblak smetnji.

Funkcija gustine verovatnoće u slučaju zahvata OS<sub>1</sub> (slika 7) pokazuje da je najverovatniji položaj ESP NR-a pomaknut 22 m od cilja. To je uglovna greška, jer 10 m baze odgovara jednom podeoku na skali azimuta servosistema NR-a, u konkretnim geometrijskim odnosima radara i oblaka smetnji. Širina dijagrama zračenja predajnika osvetljenja, koji se usmerava pomoću NR je 1°, tj. identičan širini dijagrama zračenja NR-a. To znači da luk dijagrama zračenja predajnika osvetljavanja na 12 km iznosi 210 m. Do prekida osvetljenja cilja dolazi tek kada uglovna greška u praćenju cilja prelazi maksimalno dozvoljenu grešku  $\Theta_{\max} = 210/2 = 105$  m. Greška od 22 m je manja od  $\Theta_{\max}$ , tako da nema štete po proces navođenja rakete na cilj.

Kada se radi o ometanju vođenja rakete na cilj, situacija je znatno drugačija. Maksimalno dozvoljena greška  $\Theta_{\max}$  u navođenju rakete na cilj jednaka je poluprečniku zone uništenja bojne glave rakete, koji je u ovom slučaju, uz verovatnoću uništenja cilja 0,8, jednak 20 m. Prema tome,  $22 \text{ m} > \Theta_{\max} = 20 \text{ m}$  tako da je ometanje uspešno, odnosno promašaj rakete je verovatan.

Ista je situacija sa protivradarskom raketom. U ovom slučaju PRR zahvata

radar – cilj aproksimiran oblakom smetnji OS<sub>1</sub> i leti prema njemu. Zbog uticaja oblaka smetnji OS<sub>2</sub>, ESP radarske glave PRR pomaknut je 22 m u smeru OS<sub>2</sub>. Pitanje je samo koliki je poluprečnik zone uništenja bojne glave PRR. Bez obzira na razne podatke, agresija NATO na Jugoslaviju pokazala je da promašaj PRR više od 10 m ne dovodi do velikog oštećenja radara. Neka je onda  $\Theta_{\max} = 10$  m. Promašajem PRR od 22 m obezbeđena je potpuna zaštita radara.

Bitno drugačija situacija je u slučaju da se OS<sub>2</sub> proglasi ciljem. Môda funkcije gustine verovatnoće pomaknuta je 38 m od OS<sub>2</sub>. Nišanski radar NR u tim uslovima obezbeđuje osvetljenje cilja, jer je  $38 \text{ m} < \Theta_{\max} = 105 \text{ m}$ . PA raketa promašuje cilj jer je  $38 \text{ m} > \Theta_{\max} = 20 \text{ m}$ . Protivradarska raketa takođe promašuje cilj, jer je  $38 \text{ m} > \Theta_{\max} = 10 \text{ m}$ .

Zahvat TC u obavljenim eksperimentima nema veću praktičnu vrednost. Ostvaren je zbog dokazivanja teorije zahvata i praćenja složenog cilja. Složeni cilj, u ovom slučaju, formiran je od oblaka smetnji OS<sub>1</sub>, OS<sub>2</sub> i neizbežnih stalnih odraza na mestu postavljanja OS<sub>1</sub> i OS<sub>2</sub>.

Varijante 2 i 3 eksperimenta 1 potvrđuju važnost izbora konfiguracije oblaka smetnji. Čak i vizuelna promena sastava oblaka smetnji utiče na vrednosti uglovnih grešaka, što je dobro sa stanovišta praktične primene oblaka.

U varijanti 2 (slika 8) stiče se utisak kao da je kompletna slika 7 pomaknuta prema OS<sub>1</sub>, tj. OS<sub>1</sub> „vuče“ funkciju gustine verovatnoće prema sebi, jer je  $OS_1 > OS_2$ .

U varijanti 3 je obrnuto. Oblak smetnji OS<sub>2</sub> „vuče“ gustine verovatnoće

prema sebi, jer je  $OS_2 > OS_1$ . Tako, na primer, zbog lošeg izbora konfiguracije  $OS_2$  u varijanti 2 cilj  $OS_1$  se ne može zaštititi od PA rakete, a što se tiče PRR na samoj je granici, jer je môda funkcije distribucije svega 12 m udaljena od  $OS_1$ . Pri tome je možda važnije to što je  $OS_1$  „ispod“ krivulje funkcije gustine verovatnoće zahvata  $OS_1$ . Verovatnoća pogotka radara protivradarskom raketom nije nula.

U varijanti 3 (slika 9) letelica – cilj  $OS_1$  je zaštićena od PA rakete, a radar – cilj  $OS_1$  od PRR, jer je môda funkcije gustine verovatnoće na 35 m od  $OS_1$ . Međutim, cilj  $OS_2$  u ovoj varijanti je gotovo u situaciji  $OS_1$  sa slike 8. Udaljenost môde funkcije gustine verovatnoće od  $OS_2$  je svega 17 m.

Eksperiment 1 u svim varijantama pokazao je da  $OS_2$  manje „vuče“ ESP antene NR-a (RGS PA rakete ili RGS PRR). Očigledno je da su se tu umešali stalni odrazi svojim uticajem, mada se vizuelno na terenu nisu uočavale određene nehomogenosti. Možda je odgovor u činjenici da je levo od  $OS_1$  (slika 4) bilo brdo sa repetitorom, koje je moglo formirati dodatnu svetlu tačku pored oblaka smetnji  $OS_1$ . U prilog ovoj mogućnosti ide činjenica da je u pripremnom periodu eksperimenta, kada su se vršili probni zahvati stalnih odraza radi ispitivanja fona, repetitorska antena imala izvanredan odraz. Veoma lako se mogla zahvatiti i držati u režimu automatskog praćenja. Izbor radarskog položaja i položaja oblaka smetnji je, prema tome, veoma važan. Verovatno da 100 m pomaka u određenom smeru može biti odlučujuće. Rešenje bi se moglo naći u tome da svaka ra-

ketna jedinica izvrši detaljno „sondiranje“ mogućih radarskih položaja na predviđenom terenu, po metodici kojom su se i ovi eksperimenti vršili. Pokazalo se da su za to u potpunosti dovoljne sopstvene snage raketnog puka PVO. Određena deformacija dijagrama zračenja antene NR-a takođe ide u prilog potrebi snimanja položaja. U [5] je pokazano kako se dijagram zračenja NR deformiše po mesnom uglu. To se isto događa i po azimutu, mada znatno manje, što ipak treba proveriti. Sa tako snimljenim dijagramom zračenja ulazi se u proračun rezolucionog ugla  $\Theta_r$  sa znatno većom pouzdanošću, tako da se rezultati mogu predvideti sa većom tačnošću.

Eksperimentom 2, koji je vršen pri  $\Theta < \Theta_r$  dokazana je teorijska tvrdnja da se podsvetljavanjem oblaka smetnji može dodatno uticati na položaj ESP NR-a.

Nišanski radar  $NR_{OM}$ , koji radi samo na predaji, usmeren je na  $OS_2$ . Oblak smetnji  $OS_2$  izabran je za osvetljavanje zbog toga što se u eksperimentu 1 pokazao slabijim izvorom signala. Da bi se izbeglo osvetljavanje  $OS_1$ , antena  $NR_{OM}$  je pomaknuta udesno, toliko da je  $OS_2$  osvetljavala levim bokom glavne lepeze dijagrama zračenja antene  $NR_{OM}$ .

Osvetljeni oblak smetnji  $OS_2$  znatno više privlači ESP niškanskog radara NR. Môda funkcije gustine verovatnoće zahvata  $OS_1$  u 1. varijanti je sa 22 m iz eksperimenta 1 pomaknuta na 45 m od  $OS_1$ . To je duplo veća vrednost. U varijanti 2 pokazano je da funkcija gustine verovatnoće još uvek ostaje dovoljno daleko od  $OS_1$ , čak i ako se  $OS_1$  znatno poveća u odnosu na  $OS_2$ . Ako se u kombinacijama oblaka smetnji desi da je  $OS_2$ , pored toga

što je osvetljen, veći od  $OS_1$ , onda je zaštita  $OS_1$  od PA rakete ili PRR znatno poboljšana. To ide u prilog primeni imitatora radarskog zračenja za zaštitu od PRR osvetljavanjem oblaka smetnji.

U toku daljih ispitivanja u eksperimentu 3 je izabran telesni ugao oblaka smetnji  $\Theta$  jednak rezolucionom uglu  $\Theta_r$ , tj.  $\Theta = \Theta_r$ .

Cilj eksperimenta 3 bio je da se pokaže značaj poznavanja tačne vrednosti rezolucionog ugla  $\Theta_r$ . Zbog toga su oblaci smetnji formirani na isti način kao u eksperimentu 2, ali je njihovo rastojanje promenjeno u smeru iznalaženja rezolucionog ugla. Rezultati su pokazali da smo bili blizu tog ugla. Otežan zahvat, veoma kratko i nestabilno automatsko praćenje izabrane tačke, velika disperzija položaja pseudocentra odraza, osnovne su karakteristike merenja u ovom eksperimentu. Sređivanje rezultata je, ipak, pokazalo potpunu zakonomernost. Mòde funkcije gustine verovatnoće su se mogle uočavati. To dokazuje da je u ovako formiranim oblacima smetnji teško odrediti rezolucioni ugao  $\Theta_r$ , ali da on zaista postoji. Međutim, mi nismo bili u rezolucionom uglu, što se pokazalo kroz činjenicu da su se funkcije gustine verovatnoće ipak pomerale po osi  $\Theta$  u zavisnosti od vrste oblaka smetnji. U ovakvim uslovima teško je govoriti o zaštiti npr. letelice – cilja  $OS_1$  ili radara – cilja  $OS_1$ , itd.

Slučajnost zahvata svih tačaka je velika, mada sa veoma malim verovatnoćama. Ipak, uočava se da je poželjno „pojačanje“ oblaka smetnji  $OS_2$  čak i u ovakvoj situaciji. Mòda funkcije gustine verovatnoće je, doduše pomaknuta za 68 m od  $OS_1$ , ali levi krak funkcije skoro

dodiruje ovaj oblak smetnji. Verovatnoća pogotka  $OS_1$  nije nula.

Eksperiment 4 vršen je po metodici ispitivanja 1 pri  $\Theta > \Theta_r$ . Ovaj eksperiment je pokazao da slučajan izbor konfiguracije oblaka smetnji pri  $\Theta > \Theta_r$  nije pogodan za uspešnu zaštitu od NR ili PA rakete ili PRR. Ovde se još jednom pokazala inferiornost položaja oblaka smetnji  $OS_2$ . Teško je reći da li je tome dodatno doprinela moguća pretpostavka da su se „mali“ uglovni reflektori u  $OS_2$  „utopili“ u okolni teren ili je to normalno pri  $\Theta > \Theta_r$ . Naravno da razlog velikog pomeranja mòda funkcija gustina verovatnoća ulevo može biti dovoljno jak izvor signala oblaka smetnji  $OS_1$ . Pokazalo se da pri  $\Theta > \Theta_r$  ovako formiran oblak smetnji  $OS_2$  ne utiče na zahvat i praćenje  $OS_1$ . Nikakva zaštita položaja  $OS_1$  nije ostvarena, što nije slučaj ako se položaj  $OS_2$  proglašuje za cilj. Zaštita je kompletna. Očigledno da uslovi ove varijante pogoduju zahvatu težišnog centra parnog cilja  $OS_1 - OS_2$ , koji je gotovo kompletno privukao i zahvat  $OS_2$ . Iz navedenih razloga oblak smetnji  $OS_2$  je u daljim eksperimentima pojačan formiranjem konfiguracije prikazane na slici 3, dok je oblak smetnji  $OS_1$  ostao bez promene. Očekivani efekat je ostvaren, što je dobro, jer se time dokazuje da je procesom u praksi moguće upravljati.

Mòda funkcije gustine verovatnoće zahvata  $OS_1$  pomerena je prema  $OS_2$  za čitavih 50 m, što je ogromna promena u odnosu na prethodnu varijantu. U takvim uslovima samo nišanski radar NR nesmetano vrši svoju funkciju, jer je  $50 \text{ m} < \Theta_{\text{max}} = 105 \text{ m}$ . Raketa i protivradarska raketa imaju velike promašaje. In-

interesantan je slučaj zahvata OS<sub>2</sub>. Dobijena je dvomodna funkcija, gustine verovatnoće. Obe su dovoljno daleko od OS<sub>2</sub> (80 m i 48 m) tako da je zaštita OS<sub>2</sub> od PA rakete i PRR takođe ostvarena. Nišanski radar NR pri tome omogućava osvetljavanje cilja, jer je  $80 \text{ m} < \Theta_{\text{max}} = 105 \text{ m}$ .

Oblak smetnji OS<sub>2</sub> je u nepovoljnijoj situaciji, ako je pre poletanja PA rakete ili PRR došlo do prezhvata sa OS<sub>2</sub> na težišni centar TC. Oblak smetnji OS<sub>2</sub> je u tom slučaju „ispod“ krivulje „zahvat TS“, mada je môda čak 35 m daleko od OS<sub>2</sub>.

Narednim eksperimentom je imitiran rad protivradarske rakete: oblaci smetnji OS<sub>1</sub> i OS<sub>2</sub> se osvetljavaju predajnikom NR<sub>OM</sub>, a nišanski radar NR radi u režimu prijema. Ostali uslovi identični su uslovima u eksperimentu 1.

Eksperiment je prvenstveno dokazao validnost pretpostavke da se i prethodni eksperimenti mogu koristiti za analizu ponašanja protivradarskih raketa. Rezultati su očekivani pošto su nišanski radari NR<sub>OM</sub> i NR identični. U eksperimentu je praktično nišanski radar NR „pozajmio“ predajnik od niškanskog radara – ometača NR<sub>OM</sub>. Osim toga, ako se posmatra sa mesta oblaka smetnji, NR i NR<sub>OM</sub> su faktički u istoj tački.

### Zaključak

Osnovni doprinos eksperimenata koji su opisani u ovom radu je u tome što je teorija oblaka smetnji prvi put dokazana u realnim, terenskim uslovima, u organizaciji u kojoj je angažovan kompletan raketni puk PVO.

Zaključak koji proizilazi iz svih eksperimenata jeste da ometanje niškanskog radara, koji se nalazi u osnovi svih režima gađanja ciljeva u vazdušnom prostoru, nijednog trenutka nije poremetilo osvetljenje cilja predajnikom osvetljenja, što je od suštinskog značaja za vođenje PA rakete na cilj. Zbog toga se, pre svega, može očekivati primena protivradarskih raketa za fizičko uništavanje radarskih sredstava raketnog sistema. Ovim eksperimentima dokazana je pretpostavka da se znalackom primenom oblaka smetnji protivradarska raketa može skrenuti sa svoje putanje, čime se povećava verovatnoća preživljavanja radara. Posebno, istom metodologijom, dokazano je da se i PA raketa isto tako uspešno može skrenuti sa svoje putanje primenom oblaka smetnji u vazdušnom prostoru.

Dalji rad u ovoj oblasti trebalo bi da bude nastavak istraživanja na osnovu pune konfiguracije eksperimenta, uključivanjem helikoptera u eksperiment. Time bi se mogli proveriti i fazni režimi rada radara u uslovima primene oblaka smetnji.

### Literatura:

- [1] Gacović, Č.: Oblak smetnji kao reprezent ometanja monoimpulsnih radara iz više tačaka u prostoru, Naučnotehnički pregled, Vol. 1, L. 11, br. 1, 2002.
- [2] Gacović, Č.: Nišanski radari PVO u protiv elektronskoj borbi, Kumulativna naučno-tehnička informacija, VTI Beograd, 1991.
- [3] Leroy, B. V. B.: Applied ECM, Electronic Warfare, March/April 1977, Vol. 1.
- [4] Gacović, Č.: Raketni sistemi PVO u protiv elektronskoj borbi, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1989.
- [5] Gacović Č.: Praćenje niskoletećih ciljeva monoimpulsnim nišanskim radarom, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1999.
- [6] Леонов, А. И.; Фомичев, К. И.: Моноимпульсная радиолокация, Радио и связь, Москва, 1984.
- [7] Судаков, О. А.: Коррекция диаграммы направленности антенны методом фильтрации, Радиотехника и электроника, 4/1989.

**Mr Ljubiša Nedeljković,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## **AUTOMATSKI I ADAPTIVNI VF RADIO- -KOMUNIKACIONI SISTEMI**

UDC: 621.396.7 : 621.3.029.5

### *Rezime:*

*Automatski i adaptivni VF radio-sistemi razvijeni su sa ciljem da se obezbedi kvalitetniji i lakši način uspostave linka i prenosa poruka preko VF kanala. Automatska uspostava veze je robustni adaptivni VF radio-metod za automatsku uspostavu veze preko VF SSB kanala. Sadržaj ovog rada čine pregled tehnologije, principi automatske uspostave veze (linka) i analiza konvencionalnih i adaptivnih radio-sistema.*

*Ključne reči: radio-komunikacije, automatska uspostava linka, analiza kvaliteta linka.*

---

## **AUTOMATIC AND ADAPTIVE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS**

### *Summary:*

*Automatic and adaptive radio communication systems are developed to ensure better quality and easy link establishment and transmitting of messages over the HF radio channel. Automatic link establishment is a robust, adaptive HF radio method for automatic communications establishing over the HF SSB link. The overview of this technology, the principles of automatic link establishment and the analysis of conventional and adaptive radio systems are the contents of this paper.*

*Key words: radio communication, automatic link establishment, link quality analysis, handshake.*

---

### **Uvod**

Visokofrekventni radio koristi se za radio-komunikacije na velikim rastojanjima u opsegu učestanosti od 1,6 do 30 MHz. Visokofrekventne radio-komunikacije karakterišu promenljivi uslovi prostiranja radio-talasa, ograničen opseg za prenos podataka i niža ukupna pouzdanost sistema. Konstantne promene parametara jonosfere, šum i interferencija izazivaju poremećaje radio-komunikacija u VF opsegu, tako da se komunikacija često ne može ostvariti.

Pouzdanost VF radio-komunikacije zavisi od velikog broja faktora kao što su:

- radna frekvencija;
- stepen jonizacije jonosfere;
- distanca između stanica;
- ukupna procedura komuniciranja (stupanje u vezu, korekcija grešaka, itd.).

Pri manuelnom načinu rada radio-komunikacije uspostavlja vešt radio-operator koji postavlja uređaj na frekvenciju, podešava radio-uređaj i uspostavlja komunikaciju sa drugim radio-stanicama. Takođe, operator stalno mora da prati promene stanja jonosfere i da prilagođava frekvenciju uslovima prostiranja talasa. Funkcionisanje radio-sistema sa manuelnim podešavanjem umnogome zavisi od veštine radio-operatora.



Iz navedenih razloga pristupilo se automatizaciji VF radio-komunikacija sa ciljem da se dobije na brzini i kvalitetu uspostave veze i obavljanja saobraćaja.

Automatski procesi ostvaruju se pod kontrolom mikrokontrolera, a posao operatora je da programira uređaje za rad i nadgleda njihov rad. Automatika omogućuje rad operatoru na principu „pritisni i govori po najboljem VF kanalu“ („push-to-talk on the best channel“).

Automatske tehnike su i „adaptivne“ tehnike, jer prilagođavaju radio na promene tokom propagacije VF talasa.

U ovom radu su analizirane mogućnosti primene adaptivnih radio-sistema i njihov doprinos protivelektronskoj zaštiti radio-komunikacija.

### Automatski i adaptivni VF radio-sistemi

Tehnologija automatske uspostave veze (Automatic Link Establishment, ALE) razvijena je sa ciljem da se omogući automatska selekcija frekvencije i automatska uspostava veze u radio-mreži ili komunikaciji tačka – tačka, bez pomoći operatora. Adaptivni radio-komunikacioni sistem ima sposobnost da proceni komunikacione uslove i, ako je potrebno, automatski podesi svoj rad, kako bi poboljšao svoje komunikacione performanse.

Automatska uspostava veze zasniva se na sledećim odlikama:

- sposobnosti skaniranja kanala (frekvencija);
- sposobnosti selektivnog pozivanja;
- automatskom slušanju (stanica identifikuje transmisije);

- analizi kvaliteta veze kao pomoći frekvencionisanju automatske uspostave veze;

- proceni verovatnoće pojavljivanja grešaka pri prenosu podataka;

- proceni odnosa signal + šum + distorzija / šum + distorzija (SINAD);

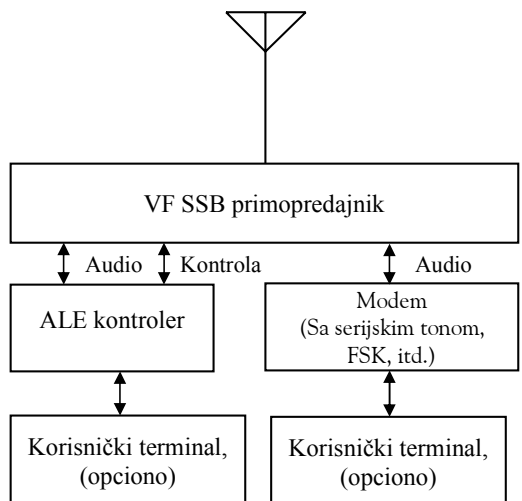
- proceni distorzije zbog višestrukog prostiranja (opciono);

- automatskom održavanju veze;

- nadgledanju zauzetosti kanala.

Automatski i adaptivni VF radio-sistem sastoji se od VF SSB radio-primopredajnika, kontrolera za automatsku uspostavu veze, ALE kontrolera, korisničkog terminala (opciono), modema za prenos podataka (opciono) i antenskog sistema.

Primopredajnik je projektovan za rad sa SSB modulacijom u donjem ili gornjem bočnom opsegu, širine 3 opsega kHz, i mora zadovoljavati odgovarajuće tehničke karakteristike. Adaptivni radio omogućuje prenos podataka, govornih poruka, slika, a može imati i mogućnost rada teleprinterom ili Morzeovom telegrafijom. Izlazna snaga predajnika zavisi od njegove namene, a



Sl. 1 – Blok-šema adaptivnog VF radio-sistema

može imati vrednosti od nekoliko desetina vati, npr. stanice koje nosi vojnik i stanice na vozilima, do nekoliko stotina vati ili nekoliko kilovata.

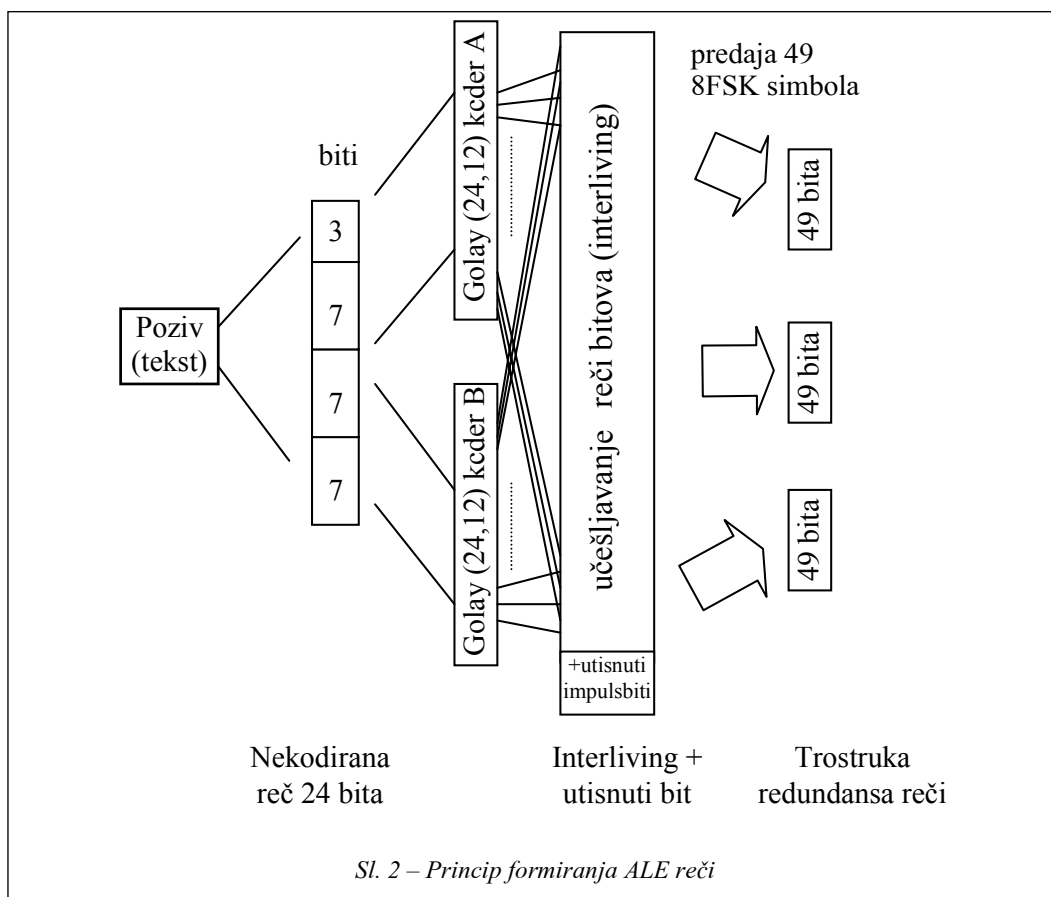
ALE kontroler je ključni uređaj u adaptivnim VF radio-sistemima. On može biti namenjen za jednu ili više radio-stanica, može biti eksterni uređaj ili inkorporiran u samom VF RU. ALE kontroler ima zadatak da automatski uspostavi vezu predajnik – prijemnik, sa jednom ili više radio-stanica, po najboljem VF kanalu.

Kontroler poseduje memoriju u koju skladišti predodređen broj kanala koji su programirani za određen broj frekvencija. Svaki kanal ima vrednost njegovog kvali-

teta. Kanali se neprekidno skaniraju (2 do 10 kanala u sekundi). Svaki kontroler ima programiranu grupu pozivnih znakova (SELF – sopstveni, NET – mrežni, GROUP – grupni i INDIVI – individualni).

ALE signali su dizajnirani za standardni VF SSB kanal. Primenjena modulacija je tipa 8FSK, sa osam ortogonalnih tonova. Svaki ton traje 8 ms u opsegu od 750 Hz do 2500 Hz na 250 Hz razmaka. Svakom tonu odgovaraju tri bita podataka, što rezultira signalizacionom brzinom od 125 Bd i bitskim protokom od 375 b/s.

Standardna reč u ALE sistemima sastoji se od 24 bita koji su razdvojeni po-



ljem 3-bitne preambule posle koje sledi polje 7-bitnih ASCII karaktera. Funkcija svake predate kodne reči, koje su dizajnirane u preambuli koda, povezana je sa osnovnim ALE mogućnostima. Postoji osam tipova reči: TO, THIS IS, THIS WAS, DATA, REPEAT, THRU, COMMAND, and FROM. Svako od polja 7-bitnih karaktera upotrebjeno je da odredi karakter individualne adrese ili kao ASCII tekst, zavisno od preambule.

ALE kontroleri zasnivaju izbor frekvencije na analizi kvaliteta linka (Link Quality Analysis, LQA). Procesom merenja kvaliteta kanala mogu se analizirati tri tipa podataka: verovatnoća greške po bitu (BER), odnos signal + šum + distorzija / šum + distorzija (SINAD) i opciono merenje vremena kašnjenja zbog pojave višestrukog prostiranja – multipata. Rezultati merenja memorišu se u matricu i na osnovu njih ALE poziva učesnike po najboljem VF kanalu.

Visoka pouzdanost automatske uspostave veze ostvarena je preko trostruke transmisije ALE podataka, interlivinga, kao i korišćenjem Golejevog koda za korekciju.

Automatizovani HF radio podleže standardu MIL-STD-188-141A, što se, u stvari, odnosi na ALE standard. Ratifikovana je nova verzija standarda poznata kao MIL-STD-188-141B iz 1998. godine. U dodacima ovom standardu, Appendix A definiše 2. generaciju ALE-a, Appendix C definiše 3. generaciju ALE sistema, Appendix D definiše VF radio-umrežavanje, Appendix F definiše tehnike protiv ometanja i interferencije.

Federalnim standardom FS-1045, koji se pojavio 1990. godine definisan je ALE sistem za potrebe vladinih organizacija SAD.

## Adaptivnost radio-sistema

Adaptivnost radio-sistema može se definisati kao proces povezan sa automatskim promenama radnih parametara i/ili konfiguracije sistema, kako bi se odgovorilo na promene i vremenski promenljive uslove prostiranja radio-talasa po kanalu i eksternom šumu.

Radi jednostavnijeg razmatranja radio-sistem se može prikazati po slojevima. Svakom sloju mogu se pridružiti odgovarajuće adaptivne tehnike. Adaptivnost radio-sistema može se prikazati po nivoima prikazanim u tabeli 1.

Tabela 1  
Adaptivne tehnike i pridruženi nivoi

Nivo	Pridodate adaptivne tehnike
Nivo sistema	Sistemski nivo upravljanja frekvencijama i kontrola
Nivo mreže	Adaptivno rutiranje Kontrola podataka Hendšejking <sup>1</sup> Razmena podataka
Nivo linka (veze)	Upravljanje frekvencijama i kontrola
Transmisioni nivo	Brzina prenosa podataka Talasni oblik signala Zaštitno kodovanje Adaptivna kontrola snage Tip antene Dijagram antene

Najniži je transmisioni nivo, koji je odgovoran za fizičko kretanje poruke od jedne do druge tačke. Iznad njega je nivo veze koji predstavlja „srce“ sistema. Ovom sloju je prvenstveno dodat sistem automatske uspostave veze. Iznad njega je mrežni nivo koji je odgovoran za or-

<sup>1</sup> Hendšejking (handshaking) u radio-komunikacijama označava proces automatske uspostave radio-veze koji obuhvata razmenu odgovarajućih komunikacionih parametara.

ganizovanje serije radio-uređaja u jednu mrežu. Najviši nivo je operator ili funkcija višeg nivoa sistema koja je odgovorna za generisanje i prijem poruka ili saobraćaj podacima.

### **Adaptivnost transmisionog nivoa**

Kad god je to moguće adaptivni sistem treba da radi maksimalnom brzinom. Međutim, ako je verovatnoća pojavljivanja greške veća od dozvoljene brzina prenosa se snižava. U VF komunikacijama bira se ona modulacija koja omogućuje maksimalnu brzinu prenosa sa prihvatljivom karakteristikom pojavljivanja grešaka.

Metodi adaptivne detekcije i korekcije grešaka omogućuju primenu odgovarajućeg stepena zaštite integriteta podataka i transmisione sigurnosti. Šema kodiranja bira se na osnovu stanja na kanalu. Robustne šeme se koriste za kola sa velikim poremećajima u VF kanalu.

Koncept adaptivne kontrole snage omogućuje da se upotrebi adekvatna snaga predajnika za ostvarivanje maksimalnog dometa bez izazivanja interferencije unutar željenog prostora. Sistem će raditi sa minimalnom snagom koja obezbeđuje zadovoljavajući prijem i time otežati detekciju komunikacije, što je značajno sa aspekta elektronske zaštite sistema.

Adaptivno podešavanje nule podrazumeva da glavni lob dijagrama zračenja antene bude usmeren u pravcu dobrog prijema. Adaptivne antene koriste tehnike podešavanja nule (null-sterring), tako da mogu pozicionirati glavni lob u pravcu željenog signala (beam steered array) i/ili da drže nulu u pravcu izvora šuma (null-steered array). Jedna od tehnika za

redukovanje efekta šuma može biti podešavanje nule u dijagramu prema neželjenom signalu, kako bi se redukovala neželjena dejstva.

### **Adaptivnost nivoa veze**

Izveštaj CCIR 899-1 (1986) sugerise tri stepena za implementaciju upravljanja VF frekvencijama, a to su: dugoročna prognoza, kratkoročna prognoza i srednjoročna prognoza. Frekvencija za specifične poruke bira se na nivou adaptivnosti veze. Primopredajnik mora pratiti promene propagacije frekvencije zasnovane na informaciji analize procene kanala u realnom vremenu (real-time-channel-evaluation – RTCE), kako bi se odredio najbolji kanal za transmisiju poruke. RTCE automatski prikuplja informacije koje omogućuju da se u prijemniku podesi skaniranje frekvencije u skladu sa prikupljenim informacijama, kroz pasivne ili aktivne tehnike monitoringa saobraćaja, sondiranja, polinga, itd. Jednom određena lista može se preformirati uzimajući u obzir efekte sledećih karakteristika: slabljenje puta, šum, interferencija, višestruko prostiranje (multipat), feding, disperzija, Doplerov pomak, zahtevi korisnika.

RTCE je proces merenja pogodnih parametara u grupi komunikacionih kanala u realnom vremenu. Koristeći tako dobijene podatke kvantitativno se opisuju stanja tih kanala i mogućnosti propuštanja date klase, ili klasa, komunikacionog saobraćaja.

Sondiranje jonosfere je proces testiranja transmisionog medija za kratkotrajne potrebe. Sondiranje pruža aktuelne informacije o karakteristikama prostiranja

preko vertikalne putanje (pravac iznad zemlje) i kose putanje (pravac duž aktuelne komunikacione putanje).

Kanal se nadgleda u pogledu zauzetosti – zagušenja (congestion) i na osnovu toga se određuje da li je moguć prenos poruka i obavljanje saobraćaja.

Analiza, aplikacija i sposobnost da se odgovori na RTCE informaciju sastavni su deo svakog adaptivnog nivoa. To implicira automatizaciju (mikroprocesorsku kontrolu) adaptivnih procesa koji su upotrebljeni u radiju ili kontroleru sistema. Sveobuhvatno upravljanje frekvencijom sistema trebalo bi da ima:

- sve označene radne frekvencije;
- više i niže nivoe snage;
- različite tipove antena;
- određeni modemi i parametre brzine prenosa podataka.

### **Adaptivnost nivoa mreže**

Rutiranje je definisano kao proces određivanja transmisionih putanja poruke kroz mrežu kako bi se omogućilo da poruka stigne u njenu destinacionu tačku.

Postoje dva važna algoritma rutiranja – deterministički i adaptivni. Deterministički, ili algoritam fiksnog rutiranja, ostvaruje rutiranje poruka zasnovano na topologiji mreže, srednjem kašnjenju poruke ili na oba kriterijuma. Strategija adaptivnog rutiranja zasnovana je na centralizovanim ili raspodeljenim šemama za slanje poruka koje su zasnovane na kriterijumima koji obično nisu fiksirani po vremenu. Putanja poruke određena je tokom njene transmisije, i prilagođava se tekućem saobraćaju ili uslovima u mreži kao što su prekidi čvora ili linka.

Adaptivno rutiranje je proces rutiranja poziva zasnovan na uslovima u mreži. Odluka o rutiranju može doći od pošiljaoca, može biti dinamička, tako da svaki čvor odlučuje o rutiranju, ili može biti zasnovana na instrukcijama datim iz centralizovane tačke kao što je kontrolna stanica mreže.

Neograničeni tok (saobraćaj) poruka u mreži može dovesti do zagušenja. Smatra se da je mreža zagušena kada se poruke čekaju duže od očekivanog kašnjenja. Zagušenje mreže može dovesti do zastoja u kojem nema toka poruka. Neočekivana razlika brzina dolaska poruka u mreži može dovesti do zagušenja.

Kontrola mrežnog toka je mehanizam za raspodelu saobraćaja podjednako među mrežnim čvorovima. Primarna namena protokola jeste da uspostavi urednu razmenu informacija među procesima i da efikasno upravlja resursima mreže. Protokoli upotrebljeni u sistemu mogu biti fiksni ili adaptivni, zavisno od stanja u kanalu.

### **Adaptivnost nivoa sistema**

Nivo sistema odnosi se na sposobnosti koje omogućuju multimedijalne komunikacije, a to su: sistemski nivo upravljanja frekvencijama, kontrola, određivanje stresnih uslova i određivanje performansi veze.

Funkcije višeg nivoa upravljanja sistemom obuhvataju: interfejs operatora, regulisanje redosleda poruka, određivanje prioriteta poruka – paketa, krajnji cilj kontrole toka poruka, kontrolu memorisanja i slanje poruka. Memorisanje i sla-

nje poruka omogućuje da se poruke zadrže dok se ne stvore povoljniji uslovi za njihovo slanje.

### Principi automatske uspostave veze

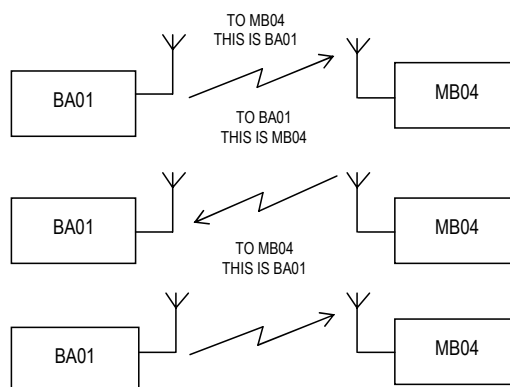
Operator bira individualne adrese za pozivanje i nakon toga uključuje sistem, koji automatski:

- selektuje najbolji programirani kanal,
- određuje raspoloživost selektivnog kanala,
- predaje sekvencu sa adresama,
- automatski prima potvrdu uspostave veze (hendšejking),
- blokira prigušivač šuma (skvelč),
- omogućava korisniku početak komunikacije,
- nadgleda aktivnosti sistema,
- po završetku komunikacije vraća sistem na mod skaniranja (posle određenog vremena ili po komandi korisnika).

Kontroler za automatsku uspostavu veze daje podatke radiju da podesi određene frekvencije i predaje ili nadgleda rad (prima na selektovanoj frekvenciji) u određenom periodu. Ako su ALE tonovi primljeni kontroler prekida produkciju reči i određuje da li je poruka, ili poziv, za njegovu stanicu ili za individualne stanice, članove mreže, grupe ili govorni poziv. Ako primljeni poziv nema adresu prijemne stanice tada kontroler daje komandu radiju da nastavi skaniranje.

Drugi korak ovog procesa jeste da se odredi ko je pozvao i da se pripremi odgovor na poziv. Zavisno od tipa poziva, pijemna stanica će odgovoriti na zahtev i, ako je potrebno, snimiti neki specifični podatak.

ALE protokol za individualni poziv rastavljen je u tri dela. TO deo poziva, sadrži pozivni znak stanice koja je pozvana (TO MB04) i pozivni znak pozivajuće stanice (TIS BA01). Poziv potvrđuje pozvana stanica (TO MB04, TIS MB04), a uspostavu veze pozivajuća stanica (TO MB04, TIS BA01).



Sl. 3 – Princip automatske uspostave veze (TO i THIS IS<sup>2</sup> su standardne ALE reči)

Pozivajuća stanica emituje poziv čija je dužina podešena sa brojem raspoloživih kanala, tako da poziv može biti primljen od pijemnika koji skanira. Ako pozivanje nije uspešno formira se drugi poziv na sledećem kanalu. U ALE sistemu može biti memorisano više takvih skanirajućih lista.

Kada se veza uspostavlja, ALE reči se kombinuju u ALE ramu, koji je podeljen u sekcije. Kompletna automatska uspostava veze sačinjena je od tri takva rama. Prvopozivajuća stanica emituje pozivni ram, zatim pozvana stanica odgovara (odzivni ram), nakon toga pozivaju-

<sup>2</sup> TO predstavlja direktnu destinaciju za individualni ili mrežni poziv, THIS IS (TIS) predstavlja identifikaciju predajnika, završetak signala i nastavak protokola.

ća stanica daje potvrdu prijema odzivnog rama i predaje odgovarajući ram pozivnoj stanici. U tom trenutku radio-kanal je uspostavljen.

Stanica se identifikuje preko pozivnog znaka koji ima maksimalno 15 karaktera, koji predstavljaju kombinaciju slova A do Z i cifara 0 do 9.

Proces koji je upotrebljen za uspostavu radio-kanala i usklađivanje komunikacionih parametara između dve stanice naziva se hendšejking (handshaking). Posle uspostave veze operator može da komunicira govorom, podacima ili porukama koje se automatski prikazuju na displeju, (Automatic Masage Display, AMD). Ove kratke poruke su memorisane i veoma se brzo predaju i ispisuju na displeju radija. Pored navedenog ALE obavlja povezivanje poruka koje mogu biti podaci tekstualne poruke (Data text Message – DMT) i blokovi podataka (Data Block Mode – DBM). Veza može biti prekinuta sa jednog dela (kraja) ili se može prekinuti u nedostatku aktivnosti jedne strane. Veza je prekinuta slanjem poruke THIS WAS (TWAS) drugoj stanici. Osnovni ALE proces je sličan za govorni poziv operatora. ALE kontroler je dizajniran da „sluša“ ove tonove i može da ih prepozna i u znatnom prisustvu šuma. Veza može biti uspostavljena i u uslovima kada su govorne komunikacije pogoršane ili su veoma loše.

Da bi se minimiziralo vreme uspostave veze, ALE procenjuje kvalitet veze preko transmisionog putanje. Sekvence unutar kojih se poziva zavisiće od aktuelnog kvaliteta radio-kanala, pa je moguće da se kvalitet radio-kanala memoriše za svakog učesnika. Informacija o kvalitetu radio-kanala obezbeđuje se tokom proce-

sa slušanja poziva koji se šalju u programiranim intervalima, i određivanjem njihovog kvaliteta prijema, LQA.

ALE radio-prijemom dobija LQA rezultate od drugih stanica. Po drugom metodu LQA rezultat dobija se putem bidirekcionog sondiranja, a po trećem metodu tokom procesa uspostave veze.

*Tabela 2*  
*Pojednostavljena LQA matrica za stanicu BA01*

Adrese	Kanali				
	01	02	04	14	20
BA02	60	33	12	01	23
MB03	10	-	40	21	45
MB04	21	00	00	86	78
MB05	-	-	29	52	63

U tabeli 2 kanali predstavljaju programirane frekvencije, a brojevi u matrici su rezultati ocene kvaliteta kanala. Na primer, ako operator želi da sa stanice BA01 pozove učesnika MB04, radio će poslati poziv po kanalu 14 koji ima najviši LQA rezultat.

Kada se želi pozvati veći broj učesnika u mreži radio bira kanal sa najboljom srednjom vrednošću LQA rezultata. Tako će za pozivanje svih učesnika u mreži biti odabran kanal 20.

### **Primena tehnike automatske uspostave veze kod taktičkih radio-uredaja**

Prema podacima firme Haris modularni tip ALE-a, koji je ugrađen u primopredajnik RF-56122r/t(E) kompatibilan je sa RU AN/PRC-138, RF-58000H ili RF-7210, i namenjen je za taktičke radio-mreže.

Tabela 3  
Osnovne karakteristike ALE

Kanali	100 simpleksnih i/ili poludupleksnih
Frekvencijski opseg	1,6 do 29,999 MHz
Modovi	USB, LSB, FSK, CW, prenos podataka i digitalizovanog govora
Skaniiranje	do 5 kanala u sekundi
Skaniрани kanali	do 100
Selektivno pozivanje	individualno, mrežno, opšti poziv
Izbor kanala	automatski ili ručno
Hendšejking	trostrani za individualni, mrežni ili opšti poziv
Ostalo	digitalno skvelč, slušanje pre predaje (samo za ALE saobraćaj) i ključ za pozivanje
Adrese	format do 15 alfanumeričkih karaktera
Sopstvene adrese	20 sopstvenih; 20 mrežnih i 200 individualnih
Signalizacija	modulacija 8FSK sa kontinualnom fazom
Simbolska brzina	125 Bd
Bitska brzina	375 bit/s
Kodiranje	Golay FEC, 2/3, interleaving
Ciklus poziva	1 s do 79 s (zavisno od tipa poziva, skaniраниh kanala i dužine pozivnog znaka)

### Karakteristike adaptivnih radio-sistema

Osobine adaptivnih sistema mogu se grupisati u osobine koje su pridružene na porastu nivoa automatizacije i one koje povećavaju sposobnosti radija da se adaptira na promene uslova prostiranja VF talasa. Potpuno adaptivni VF sistemi rade pod kontrolom mikroprocesora, sa inkorporiranom automatizacijom za sve teške funkcije koje obavlja operator radio-uređaja.

Značajne osobine adaptivnog VF radija su:

- pogodan je i ekonomičan za komunikacije na velikim rastojanjima;

- automatski bira najbolje radne frekvencije;
- automatski uspostavlja, održava i prekida vezu;
- automatski se prilagođava na uslove prostiranja talasa;
- automatizacijom je znatno olakšan rad operatora na sistemu, koji obuhvata programiranje uređaja i nadgledanje njegovog rada. Ostale funkcije se odvijaju automatski pod kontrolom mikroprocesora;
- primenom frekvencijskog skakanja sistem postaje otporan na ometanja i interferencije;
- VF radio-mreža se lako integriše sa drugim tipovima mreža primenom odgovarajućih protokola i interfejsa;
- omogućuje automatsku konekciju na komercijalne sisteme kao što su telefonska mreža, Internet, satelit, pa se time praktično eliminišu ograničenja dometa;
- omogućuje zaštitu informacija i prenosa;

- ima malu verovatnoću presretanja signala (Low Probability of Interception – LPI) koja se ostvaruju optimalnim izborom frekvencije i izlazne snage, izborom odgovarajuće brzine i modulacije signala modema, i primenom zaštitnog kodovanja.

### Uporedna analiza adaptivnih i konvencionalnih radio-sistema

Primena adaptivnih radio-sistema veoma je značajna za vojne potrebe, a mogućnosti primene u funkcionalnim sistemima sagledavaju se analizom njegovih osobina.

Automatski i adaptivni radio-sistemi imaju značajne karakteristike koje konvencionalni radio-sistemi nemaju. Sa sta-



novišta primene u funkcionalnim sistemima najznačajnije su one osobine koje obezbeđuju komunikacionu sigurnost (Communication Security – COMSEC), transmisionu sigurnost (Transmission Security – TRANSEC) i malu verovatnoću presretanja signala – LPI.

Zaštita informacija, bilo da su u pitanju govorni signali, podaci ili slika vrši se primenom odgovarajućih sistema enkripcije (šifrovanja)<sup>3</sup>, s tim da se govorni signal prethodno obrađuje u vokoderu. Zaštita prenosa prvenstveno se ostvaruje primenom frekvencijskog skakanja, gde se frekvencija radio-sistema menja rapidno u skladu sa pseudoslučajnim nizom, sa brzinom od 10 do 20 skokova u sekundi. Kod adaptivnog skakanja brzina je prilagođena uslovima prostiranja u kanalu. Za rad se biraju najbolje frekvencije iz određenog skupa frekvencija.

Primenom snažnih kodova za detekciju i korekciju grešaka, zavisno od uslova prostiranja u kanalu, znatno se eliminišu smetnje i ometanja tokom prenosa.

Interferirajuće smetnje eliminišu se primenom excision filtera.<sup>4</sup>

Analiza uslova koji su potrebni za uspostavu radio-komunikacije ukazuje na potreban kvalitet kanala za uspešnu uspostavu veze. Prema podacima u tabeli 3 može se videti da se uspostava veze kod

adaptivnih sistema 2. i 3. generacije može izvršiti i pri relativno malom odnosu signal/šum. Kod konvencionalnih radio-sistema, posebno za prenos podataka ili rad printerskom telegrafijom, za zadovoljavajući kvalitet signala na prijemu potreban je odnos S/N veći od 12 dB.

### Vreme uspostave veze

Kod konvencionalnih VF radio-sistema vreme uspostave veze zavisi od brzine otpravljanja (npr. Morzeovih znakova ili teleprinterskih signala) i propisane procedure obavljanja saobraćaja.

Tabela 4  
Verovatnoća uspostave veze u 2G i 3G ALE sistemima

Verovatnoća uspostave veze (P <sub>v</sub> )	Odnos signal/šum (dB) u radio-kanalu B=3 kHz		
	Kanal sa Gausovim šumom	Modifikovani CCIR dobar kanal	Modifikovani CCIR loš kanal
≥ 25%	-2,5	+0,5	+1,0
≥ 50%	-1,5	+2,5	+3,0
≥ 85%	-0,5	+5,5	+6,0
≥ 95%	0,0	+8,5	+11,0
Multipat (ms)	0,0	0,52	2,2
Doplerov pomak (Hz)	0,0	0,10	1,0

Podaci dati u tabeli 4 pokazuju da se uspostava veze sa ALE sistemima 2. i 3. generacije može ostvariti sa verovatnoćom ≥ 95% pri odnosu S/N = +8,5 dB.

Na primer, u slučaju konvencionalnog sistema gde se komunikacija obavlja Morzeovom telegrafijom, pri brzini otpravljanja oko 100 karaktera u minuti  $R = 1/T_i = 1/5 \cdot 10^{-2}$  elementarnih znakova/s.

<sup>3</sup> Jedan tip sistema upravljanja ključevima je javni kriptografski ključ (Public cryptography key). Prema ovom standardu svaki korisnik generiše dva ključa. Jedan je javni ključ, Y, a drugi je privatni ključ X. Ključ Y izveden je iz ključa X. Snaga takvih sistema leži u teškoći izvođenja X od Y; što je šifrovano Y ključem može da se dekriptuje samo X ključem. Ovaj sistem naziva se asimetrični sistem ključeva. Na drugoj strani je simetrični sistem ključeva, u kojem se koristi isti ključ za enkripciju i dekripciju.

<sup>4</sup> Adaptivni excision filter – tehnika obrade signala koja poboljšava transmisiju podataka. Ona potiskuje uskopojasnu interferenciju na ulazu demodulatora i redukuje efekte „koc-hannel“ interferencije.

Pretpostavlja se da se tekst u proseku sastoji od jednog dugog i dva kratka elementa, što je ukupno  $7T_i$  po karakteru a razmak između karaktera je  $3T_i$ . Trajanje poziva  $T_{\text{poz}} \cong 16,8$  s, a trajanje odziva dužim postupkom  $T_{\text{odz}} \cong 18,5$  s. Ukupno vreme uspostave veze sa jednim učesnikom iznosi  $T_u \cong 35,3$  s.

Iako je pretpostavljena velika brzina predaje znakova, vreme za uspostavu veze je relativno dugo. Kod konvencionalnih sistema se nakon uspostave veze vrši legitimisanje učesnika (provera identiteta), što traje duže od uspostave veze sa učesnikom. Na sve to treba dodati i vreme  $n \times T_u$ , gde je  $n$  broj učesnika u mreži.

Uspostava veze u adaptivnim sistemima ostvaruje se za 3 do 4 s, zavisno od stanja u kanalu. Veza se ostvaruje po najboljem VF kanalu, pa je i ostvareni kvalitet veze najbolji.

### **Vreme otpravljanja poruke**

Razmotriće se slučaj otpravljanja tekstualne poruke sa oko 2000 karaktera, što odgovara jednoj stranici teksta formata A4.

#### *Konvencionalni radio*

Morzeovom telegrafijom  $T_{\text{pred}} \approx 20$  minuta (pri brzini otpremanja 100 karaktera/min, što je praktično velika brzina otpravljanja).

Teleprinterom  $R = 50$  Bd,  $T_{\text{pred}} \approx 5$  minuta.

#### *Napredni radio-sistemi*

Terminalom, koji radi brzinom  $R = 2400$  b/s,  $T_{\text{pred}} \approx 7$  do 10 s.

Zaključuje se da je vreme predaje poruke Morzeovom telegrafijom i teleprinterom dugo, što je veoma nepovoljno sa stanovišta elektronske zaštite sistema.

Povećanjem brzine prenosa skraćuje se vreme predaje poruke, a time i vreme zračenja predajnika.

Adaptivnost radio-sistema doprinosi njegovoj elektronskoj zaštiti, jer smanjuje mogućnost presretanja, detekcije i ometanja signala.

Uspostava veze kod 3G ALE sistema vrši se na fiksnoj frekvenciji, koja je u blizini radne frekvencije. To je sinhroni način uspostave veze.

Mala verovatnoća presretanja signala zasniva se na predaji koja se vrši u širokom opsegu učestanosti, a promene se vrše po pseudoslučajnoj zakonitosti koja je poznata prijemniku.

Konvencionalni radio-sistemi predaju obavljaju na fiksnoj frekvenciji, pa se lako vrši presretanje signala. Napredni sistemi skaču sa jedne na drugu frekvenciju adaptivno, 10 do 20 skokova/s, pa je verovatnoća presretanja signala mala.

Mala verovatnoća detekcije signala (Low Probability of Detection – LPD) ostvarena je brzom predajom poruka u širokom opsegu učestanosti. Proces obavljanja saobraćaja i predaja poruka kod konvencionalnog radija relativno dugo traju, pa je verovatnoća detekcije signala veća. Kod naprednih sistema predaja poruka i procedura obavljanja saobraćaja traju kratko, pa je verovatnoća detekcije signala mala.

### **Zaključak**

Automatski i adaptivni VF radio-sistemi, ili napredni sistemi radio-komunikacija, veoma su značajni za primenu u funk-

cionalnim radio-komunikacijama. Omogućuju brze i pouzdane radio komunikacije na velikim rastojanjima. Konvencionalni sistemi radio-komunikacija imaju mnogo slabosti koje ograničavaju njihovu upotrebu, i ne zadovoljavaju potrebe u slučaju elektronskog rata. Pri promenljivim uslovima prostiranja VF radio-talasa, uticaju šuma i smetnji, pouzdan prenos govora, slika ili podataka (multimedijalni prenos) omogućuju adaptivni VF radio-komunikacioni sistemi.

Pridodate adaptivne tehnike doprinose maloj verovatnoći presretanja i maloj verovatnoći detekcije signala. Tome, pre svega, doprinose adaptivni izbor izlazne snage, izbor odgovarajuće modulacione šeme, automatsko uspostavljanje veze, velika brzina prenosa kao i prenos sa frekvencijskim skakanjem.

Naprednim sistemima radio-komunikacija upravljaju mikrokontroleri na bazi određenih protokola i standarda. Te funkcije objedinjene su u ALE kontrolerima.

Da bi sistem uspešno funkcionisao neophodna je pouzdana informacija o stanju u kanalu RTCE, na osnovu koje se bira najbolja frekvencija za radio-komunikaciju.

Adaptivni VF sistemi pogodni su za komunikacije u pokretu, u sistemima brod–brod (kopno), kopno–vazduh, kopno–kopno.

Radio-mreže bazirane na adaptivnim sistemima omogućuju integraciju sa drugim tipovima mreža, LAN, WAN i mrežama zasnovanim na TCP/IP protokolima.

Automatizacijom je povećana pouzdanost VF sistema, a obuka operatera je pojednostavljena.

Adaptivni sistemi veoma su otporni na elektronska dejstva, obezbeđuju dobru komunikacionu i transmisionu sigurnost, pa su pogodni za primenu u funkcionalnim sistemima radio-veza na većim udaljenostima.

Automatski i adaptivni sistemi primenjuju se za potrebe vladinih organizacija, vojne potrebe, za miliciju, a sve više ih koriste i radio-amateri.

#### *Literatura:*

- [1] MIL-STD-188-141A, Interoperability and Performance Standards for Medium-and High-Frequency Radio Equipment.
- [2] Federal Standard 1045A, HF Radio Automatic Link Establishment.
- [3] Radio Communications in the Digital Age: Volume one. HF Tehnology, Harris Corporation, 2000.
- [4] Sklar, B.: Digital Communications, Fundamentals and applications, Prentice-Hall, 1988.
- [5] Nedeljković, Lj.: Osnovi radio tehnike, Beograd, 2000.

**Dr Radun Jeremić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## NEKI ASPEKTI PRIMENE RAZLIČITIH METODA U ISPITIVANJU EKSPLOZIVNIH MATERIJA

UDC: 622.1/4 : 620.181.4

### Rezime:

*Eksplzivne materije, pored relativno velike osetljivosti na dejstvo spoljnih impulsa, imaju sklonost ka termičkoj dekompoziciji usled čega postoji opasnost od njihovog samozapaljenja u slučaju ispunjenja kritičnih uslova. Radi toga uspostavljen je čitav sistem ispitivanja i kontrole, čiji je cilj predviđanje ponašanja eksplozivnih materija u različitim uslovima proizvodnje, čuvanja i manipulacije, kako bi se verovatnoća akcidenata svela na minimum. Radi toga se i kod nas primenjuje veliki broj metoda zasnovanih na različitim principima. U radu su analizirane prednosti i nedostaci pojedinih metoda, i dat je kritički osvrt na pouzdanost eksperimentalnih rezultata koji se dobijaju pomoću njih.*

*Ključne reči: eksplozivne materije, stabilnost, metode ispitivanja, termička dekompozicija, samozapaljenje.*

---

## SOME ASPECTS OF APPLYING DIFFERENT METHODS IN TESTING EXPLOSIVES

### Summary:

*Apart from relatively high sensitivity to external influences, explosives have sensitivity to thermal decomposition which can cause their autoignition if critical conditions are fulfilled. This was the reason for establishing a whole system of testing and control in order to predict behaviour of explosives under different conditions of production storage and handling and reduce possibilities of accidents to the minimum. For these purposes a number of methods based on various principles are applied in our country as well. The paper analyzes advantages and disadvantages of particular methods and gives a critical report on the reliability of experimental results obtained by them.*

*Key words: explosives, stability, testing methods, thermal decomposition, autoignition.*

---

### Uvod

Eksplzivne materije (EM) spadaju u opasne materije, na osnovu čega su, prema klasifikaciji Organizacije UN, svrstane u prvu grupu opasnosti [1]. Potencijalna opasnost od ovih materija posledica je, pre svega, njihove osetljivosti na spoljne impulse i manje ili više izražene nestabilnosti. Pored ovih kategorija, pri proizvod-

nji i manipulaciji mora se uzeti u obzir i toksičnost eksplozivnih materija.

Pri skladištenju i manipulaciji sa eksplozivnim materijama opasnosti se moraju sagledati sa aspekta osetljivosti, stabilnosti i toksičnosti.

Ne postoje apsolutni pokazatelji osetljivosti eksplozivnih materija na osnovu kojih se pouzdano može proceniti minimalan impuls potreban za inicijaciju.

To je posledica složenosti fenomena inicijacije. Osetljivost ne zavisi samo od hemijske strukture eksplozivnih materija nego i od velikog broja faktora fizičke prirode, od kojih se neki odnose na fizičko stanje eksplozivnih materija, a drugi na uslove u kojima se odvija proces inicijacije. Zbog toga podaci o osetljivosti eksplozivnih materija predstavljaju samo statističke parametre na osnovu kojih se može utvrditi kolika je verovatnoća da u određenim uslovima može doći do inicijacije. Ako se spoljni uslovi ili fizičko stanje eksplozivnih materija promene, za istu jačinu impulsa verovatnoća inicijacije može se višestruko izmeniti.

Količina energije neophodna za iniciranje procesa eksplozivnog razlaganja za istu eksplozivnu materiju menja se u širokim granicama, što, pre svega, zavisi od oblika početnog impulsa i načina prenosa energije na eksplozivnu materiju. Za inicijaciju eksplozivnog razlaganja nije presudna količina energije, već koncentracija energije u vremenu i prostoru, jer se na taj način mnogo brže dostiže energetska barijera za otpočinjanje procesa razlaganja na nivou molekula eksplozivne materije.

Među različitim oblicima početnih impulsa ne postoji stroga ekvivalentnost u rezultatima njihovog dejstva na istu eksplozivnu materiju. Na primer, olovoazid je osetljiviji na mehaničko dejstvo, dok je olovostifnat osetljiviji na toplotno dejstvo.

Mnoge eksplozivne materije (baruti, raketna goriva, pirotehničke smeše, privredni eksplozivi) po svojoj prirodi su nestabilna jedinjenja, tako da pod uticajem različitih spoljnih faktora, kao što su temperatura, vlaga, svetlost i dr., vreme-

nom menjaju svoje početne karakteristike. Za proces promene početnih karakteristika uobičajen je pojam starenje eksplozivnih materija. Zato vek trajanja eksplozivnih komponenti najčešće i diktira rok upotrebe ubojnih sredstava.

Stabilnost se razmatra, uglavnom, sa aspekta sigurnosti (mogućnosti čuvanja bez opasnosti od spontanog samozapaljenja u skladištima ili neželjenog i opasnog funkcionisanja pri upotrebi) i sa aspekta pouzdanosti.

Pouzdanost eksplozivnih materija može se definisati verovatnoćom funkcionisanja u granicama projektovanih performansi i nakon određenog perioda skladištenja. Aspekt sigurnosti se više odnosi na hemijsku stabilnost, a pouzdanosti na fizičku (mehaničku) i balističku stabilnost, koje većim delom zavise i od hemijske stabilnosti.

Pod stabilnošću eksplozivnih materija podrazumeva se njihova sposobnost da u određenom vremenu u uslovima skladištenja sačuvaju svoje početne fizičke, hemijske i eksplozivne, odnosno balističke karakteristike u granicama koje će osigurati pouzdano funkcionisanje i bezbednu upotrebu ubojnih sredstava u kojima su laborisane. U tom smislu razlikuju se hemijska, fizička (mehanička) i balistička stabilnost, mada su sve one međusobno zavisne.

Za razliku od osetljivosti i stabilnosti, toksičnost eksplozivnih materija je karakteristika hemijskog sastava koja ne zavisi od spoljnih faktora, pa se na osnovu toga može i precizno definisati.

Za ispitivanje osetljivosti i stabilnosti eksplozivnih materija primenjuje se veliki broj metoda zasnovanih na različitim principima. Svaka od njih ima svoje pred-

nosti i nedostatke koji se moraju uzimati u obzir pri analizi i tumačenju rezultata.

### Ispitivanje osetljivosti eksplozivnih materija

Proces eksplozivnog razlaganja eksplozivnih materija može se inicirati različitim spoljnim impulsima (toplotni, mehanički, udarni talas, itd.), tako da se osetljivost mora ispitivati posebno za svaki od njih. Sa aspekta procene mogućnosti samozapaljenja u uslovima skladištenja svakako je najvažnije poznavanje osetljivosti EM na toplotni impuls.

#### *Ispitivanje osetljivosti EM na toplotni početni impuls*

Toplotni impuls može delovati na eksplozivne materije u obliku homogenog i lokalnog zagrevanja.

Homogeno (lagano) zagrevanje odvija se po čitavoj masi eksplozivne materije, izvorom toplote bez plamena, do neke kritične temperature (temperature samopaljenja). Dalji razvoj procesa eksplozivnog razlaganja odvija se po zakonitosti toplotne eksplozije, po kojoj dolazi do samozapaljenja usled narušene ravnoteže između oslobađanja toplote i njene razmene sa okolinom. Inicirani proces sagorevanja dalje može preći u detonaciju, zavisno od vrste eksplozivne materije i uslova u kojima je izvršeno iniciranje. Kod inicijalnih eksplozivnih materija proces, po pravilu, prelazi u detonaciju.

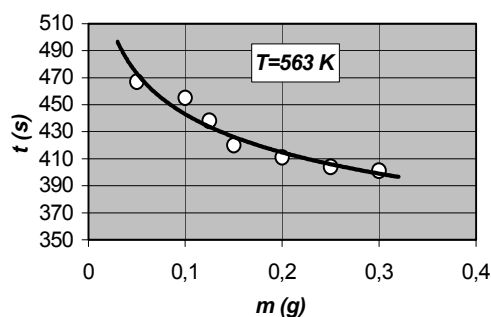
Lokalno zagrevanje (plamen, varnica, usijana žica) primenjuje se za pripalu baruta i raketnih goriva pri opaljenju projektila, kao i za pobuđivanje detonacije u

detonatorima. U tom slučaju uspostavlja se značajan gradijent temperature, pri čemu je karakteristična pojava lokalne zone razlaganja koja se kroz eksplozivnu materiju širi samorasprostrirujućim mehanizmom.

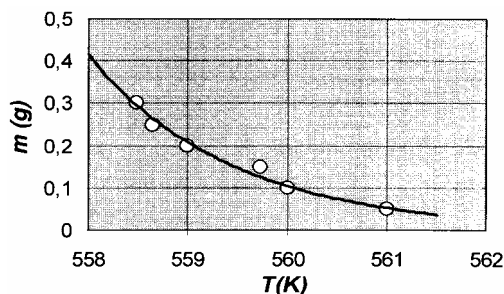
Kao mera osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls, obično, služi temperatura paljenja, odnosno vreme zadržke (period indukcije).

Rezultati ispitivanja osetljivosti eksplozivnih materija mogu varirati u širokim granicama, zavisno od uticaja različitih parametara, kao što su masa ispitivanog uzorka, granulacija, veličina kristala, prisustvo primesa, itd.

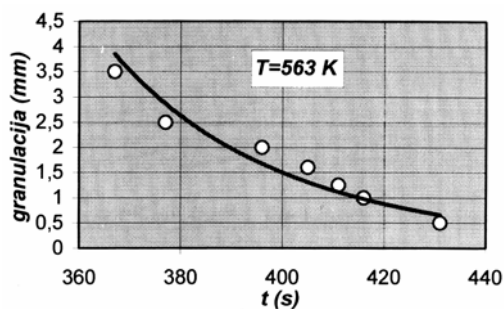
Na slikama 1 do 5 dati su neki rezultati ispitivanja EM na toplotni impuls koji potvrđuju navedenu činjenicu [2].



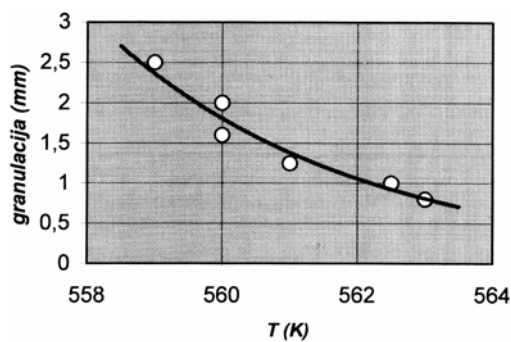
Sl. 1 – Uticaj mase uzorka na vreme zadržke za TNT



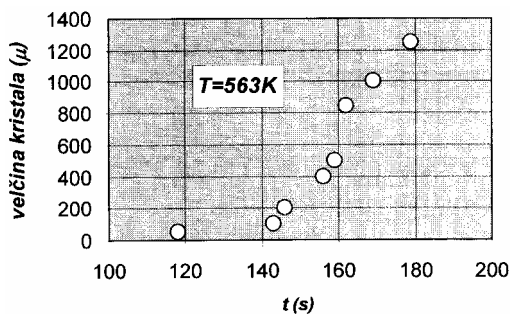
Sl. 2 – Uticaj mase uzorka na temperaturu paljenja TNT-a



Sl. 3 – Rezultati merenja uticaja granulacije uzorka TNT na vreme zadržske



Sl. 4 – Uticaj mase uzorka na vreme zadržske za TNT

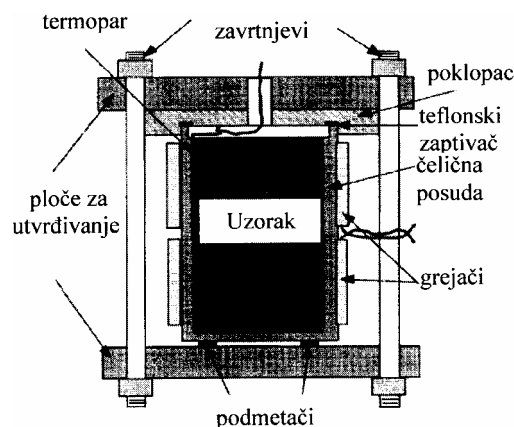


Sl. 5 – Uticaj veličine kristala na vreme zadržske kod oktogena

Osnovni nedostatak ove metode je što ne uzima u obzir uticaj mase i gasovitih produkata na mehanizam procesa termičke dekompozicije EM (ispituje se mala količina uzorka u otvorenoj epruveti). Dobijeni rezultati su relativni i ne

moгу se koristiti za predviđanje ponašanja EM u realnim uslovima.

U istu svrhu primenjuje se tzv. „cookoff“ metoda [3]. Uzorak se ispituje u zatvorenoj čeličnoj posudi (slika 6), a prati se promena temperature i pritiska u posudi pri programiranom zagrevanju ili u izotermnim uslovima, sve do paljenja, odnosno eksplozije. Ni ova metoda ne uzima u obzir uticaj mase na mehanizam procesa termičke dekompozicije, što je njen osnovni nedostatak.



Sl. 6 – Šematski prikaz „cookoff“ metode

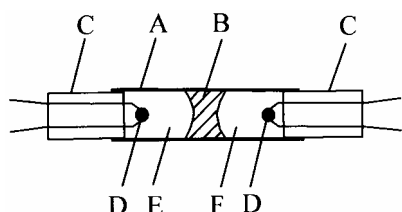
### Termohemijska ispitivanja eksplozivnih materija

U poslednjih dvadesetak godina za termohemijska ispitivanja eksplozivnih materija masovno se primenjuju različite termičke metode kojima se prate fizičke i hemijske promene u ispitivanom uzorku u funkciji temperature ili vremena. Pomoću njih se ispituje kinetika procesa dekompozicije, kompatibilnost pojedinih komponenti koje ulaze u sastav eksplozivne materije, određuje se entalpija dekompozicije i faznih prelaza, toplotni ka-

pacitet, karakteristične temperature, termička stabilnost, itd.

### Diferencijalna termalna analiza (DTA)

Princip DTA zasniva se na merenju temperaturne razlike između referentnog i ispitivanog uzorka, koja nastaje kao posledica oslobađanja ili apsorpcije toplote u ispitivanom uzorku, pri programiranom zagrevanju (slika 7).



Sl. 7 – Šema DTA ćelije:

A – cevčica od nerđajućeg čelika, B – keramički umetak, C – izolator termopara, D – termoparovi, prostor za uzorak, prostor za referentni uzorak

Masa uzorka je u granicama od 3 do 30 mg.

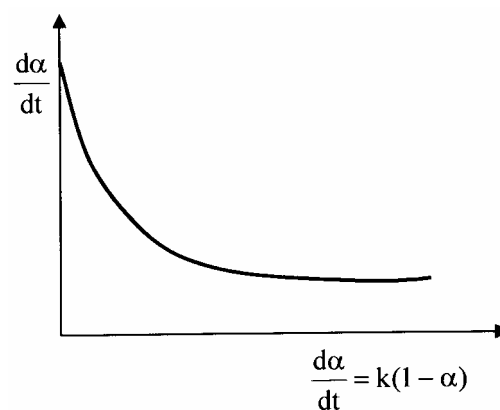
Kvalitativni podaci koji se dobijaju pomoću DTA vrlo su korisni, dok su kvantitativni rezultati nepouzdana jer termička osetljivost DTA sistema nije konstantna, a količina ispitivanog uzorka je vrlo mala. Zato se i ne mogu sa većom pouzdanošću upoređivati kvantitativni podaci različitih materijala.

Prvo uočavanje pojave oslobađanja toplote usled neke reakcije u uzorku (egzoterm) često se primenjuje kao kriterijum termičke stabilnosti. Različiti uzorci iste EM mogu se upoređivati samo ako se ispitivanje realizuje pod identičnim uslovima. Međutim, na osnovu DTA ne može se utvrditi pouzdana skala za upoređivanje relativne stabilnosti različitih EM, jer se razlikuju i njihovi mehanizmi

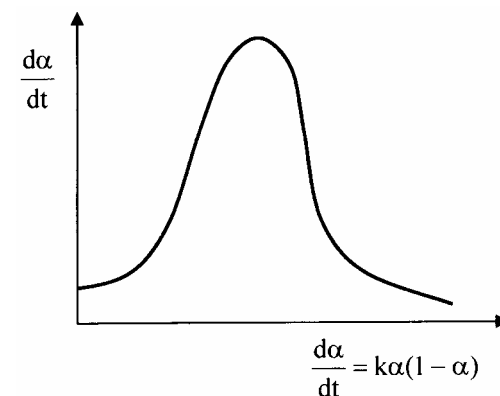
dekompozicije. Samo kod malog broja EM dekompozicija se odvija po jednostavnim kinetičkim zakonima, kao što je npr. zakon prvog reda (slika 8). Kada se takve materije zagrevaju na nekoj temperaturi, njihova brzina dekompozicije je maksimalna na samom početku. Brzina pada eksponencijalno sa vremenom kako se smanjuje količina uzorka.

Red reakcije određen je eksponentom padajuće funkcije u jednačini brzine reakcije.

Dekompozicija većine EM odvija se prema zakonima autokatalitičkih reakcija (slika 9). Na bilo kojoj temperaturi po-



Sl. 8 – Dekompozicija prema zakonu prvog reda



Sl. 9 – Autokatalitička dekompozicija



stoji određeno vreme kašnjenja pre nego što dođe do maksimalne brzine dekompozicije. Zato mnogi materijali, čija se dekompozicija odvija izrazito autokatalitički, izgledaju stabilniji nego što jesu.

Na osnovu ovakvih ispitivanja često se izvode pogrešni zaključci da se sa EM može bezbedno manipulirati na bilo kojoj temperaturi ispod prve pojave egzoterma. Ovakvo tumačenje je pogrešno i opasno, jer maksimalna bezbedna temperatura za manipulaciju sa EM zavisi od njihove mase, oblika i uslova kojima je EM prethodno bila izložena.

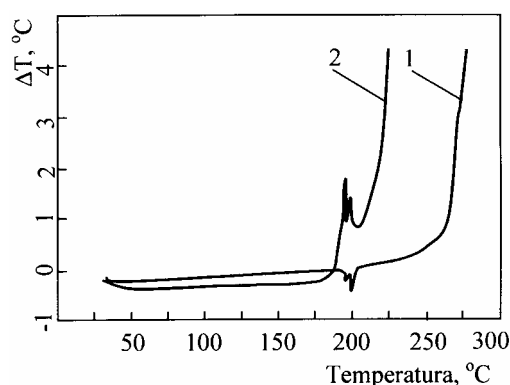
Normalna DTA ćelija je izolovana, zbog čega se ispitivanje odvija u atmosferi koju generiše sam uzorak. U takvim uslovima može doći do značajnih nehomogenosti i sekundarnih reakcija što omogućuje da se identifikuju najznačajniji problemi kompatibilnosti EM. Međutim, za EM je vrlo bitno da se ispitivanja, pored ovih uslova, sprovedu i u uslovima kontinuiranog odvođenja produkata dekompozicije, na osnovu čega se mogu identifikovati sigurnosni problemi koji proističu iz uslova čuvanja. Proces starenja EM različito se odvija u zatvorenom i otvorenom prostoru.

Postoji više metoda za određivanje kinetičkih konstanti na osnovu DTA analiza [4]. Međutim, te metode daju pogrešne rezultate kada se dekompozicija odvija autokatalitički, kao što je to slučaj kod većine EM. Zato je vrlo opasno razvijati model za predviđanje ponašanja EM baziran na kinetičkim konstantama dobijenim pomoću DTA (ili bilo koje druge metode koja se zasniva na programiranom zagrevanju uzorka).

U jednu od najznačajnijih primena DTA spada ispitivanje hemijske kompa-

tibilnosti. Radi toga se pod identičnim uslovima vrši ispitivanje čistog eksploziva i određene smeše. Na osnovu razlike u dobijenim termogramima zaključuje se o međusobnom uticaju komponenti, odnosno o hemijskoj kompatibilnosti.

Na slici 10 prikazan je problem nekompatibilnosti HMX i olova. Kriva 1 prikazuje termičku dekompoziciju HMX, čija je glavna primesa RDX, kako to prikazuje dupli endoterm nešto ispod 200°C. Kriva 2 prikazuje isti HMX sa dodatkom olovnog praha. Endoterm sada postaje egzoterm, a uzorak eksplodira na 50°C u odnosu na sam HMX.



Sl. 10 – Uticaj olova na termičku stabilnost HMX: 1 – termogram HMX; 2 – termogram HMX sa dodatkom praha olova

Ova smeša nije bezbedna, a kod sličnih sistema dolazi do samopaljenja u tehnološkim operacijama presovanja u velikim presama.

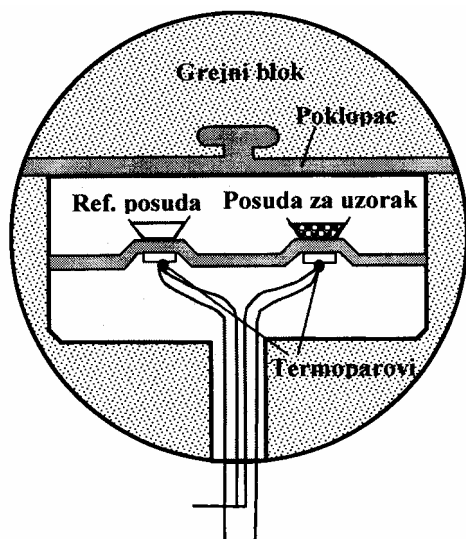
Da bi se problem hemijske kompatibilnosti potpunije ispitaio, neophodno je primeniti i druge metode.

#### *Diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (DSC)*

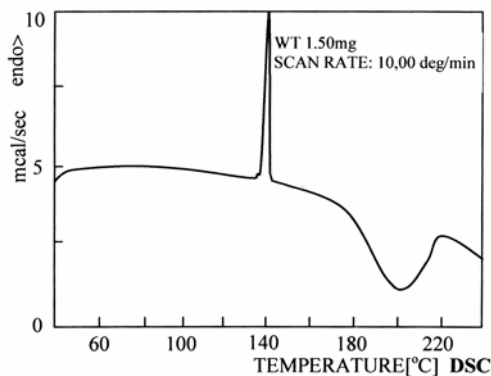
Po izgledu i načinu rada DSC je vrlo sličan DTA. Međutim, za razliku od

DTA, princip DSC se zasniva na merenju razlike u toplotnim fluksevima između referentnog i ispitivanog uzorka (slika 11).

Ako se ispitivani i referentni uzorak greju konstantnom brzinom u kontrolisanoj atmosferi, povećanje temperature u oba uzorka biće podjednako, osim ako u ispitivanom uzorku ne dođe do nekih promena prouzrokovanih zagrevanjem. U tom slučaju temperatura uzorka može biti viša ili niža od temperature referentnog uzorka, zavisno od karaktera procesa koji se odvija (egzoterman ili endoterman). Temperaturna razlika direktno je proporcionalna razlici toka toplote. Razlika u toplotnim tokovima registruje se pomoću „chromel“ termopara, a temperatura uzorka registruje se pomoću „chromel-alumel“ termopara. Dobijena toplotna promena, koja predstavlja energiju faznog prelaza ili reakcije, registruje se u obliku odgovarajuće krive (slika 12). Iznos energetske promene je proporcionalan površini ispod krive.



Sl. 11 – Šema DSC ćelije



Sl. 12 – DSC termogram pentrita [5]

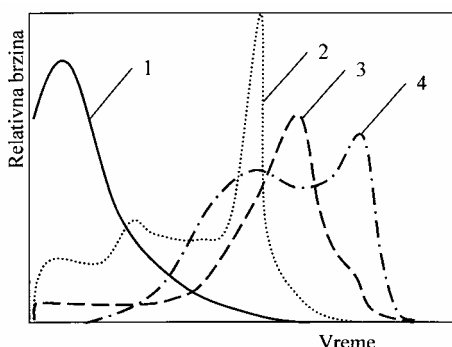
Pomoću DSC moguće je odrediti promenu entalpije, kinetičke parametre, specifičnu toplotu, temperature faznih promena, kao i utvrđivanje hemijske kompatibilnosti pojedinih komponenti u uzorku.

Do sada je publikovan veliki broj metoda za određivanje kinetičkih parametara pomoću DSC [6]. Sve te metode zasnivaju se na programiranom zagrevanju uzorka. Međutim, ni jedna od njih ne može dati dovoljno pouzdane kinetičke parametre za kompleksne reakcije kakva je termička dekompozicija eksplozivnih materija. Zbog toga je neophodno izvoditi ispitivanja pri konstantnoj temperaturi tako da se brzina toplotnih promena prati u funkciji vremena [7].

Na slici 13 prikazane su izotermičke DSC krive za nekoliko vrsta eksplozivnih materija.

Može se primetiti da se brzine termičke dekompozicije veoma razlikuju za različite materije, što znači da bi predviđanje ponašanja EM na osnovu jednostavnih kinetičkih zakona bilo pogrešno i opasno.

Brzina reakcije i količina reaktanata fundamentalni su podaci neophodni za



Sl. 13 – Izotermalne DSC krive:  
 1 – RDX/TNT (65/35), 2 – kompozitno raketno gorivo, 3 – HMX, 4 – TATB

bilo kakvu kinetičku studiju. Ove vrednosti pouzdano se mogu dobiti samo na osnovu ispitivanja u izotermalnim uslovima. Bez obzira na to, zbog vrlo male količine ispitivanog uzorka (najviše nekoliko mg) ne može se uočiti uticaj mase na proces termičke dekompozicije EM. To je i osnovni razlog što ni DSC ne može dati pouzdane kvantitativne podatke za predviđanje ponašanja EM.

#### Termogravimetrijska analiza (TGA)

Princip TGA zasniva se na praćenju promene mase uzorka pri njegovom programiranom zagrevanju. Pošto je nemoguće da termopar bude u uzorku i da se istovremeno prati promena mase, učinjen je kompromis u preciznosti merenja promene mase i promene temperature. Na taj način termopar meri samo temperaturu oko uzorka, a ne i u samom uzorku, gde se temperatura, zbog autokatalitičkih reakcija i samozagrevanja, može znatno razlikovati. Pored toga, isparljivi i gasoviti produkti dekompozicije kontinuirano napuštaju uzorak bez značajnijeg uticaja na sam mehanizam procesa, što ne odgovara realnim uslovima.

Kao i kod ostalih termičkih metoda i kod TGA se radi sa malim količinama uzorka, tako da se ne može uočiti uticaj mase na proces dekompozicije.

Kod EM brza dekompozicija na određenoj temperaturi proizvodi određen potisak na posudu za uzorak, što dovodi i do grešaka u merenju mase. Uz to, pri burnoj dekompoziciji (eksploziji) uzorka može doći do oštećenja osetljivih i skupih delova, što uslovljava da se radi sa vrlo malim količinama uzorka.

Može se konstatovati da je zajednički nedostatak DTA, DSC i TGA u ispitivanju EM vrlo mala količina ispitivanog uzorka, čime se isključuje uticaj mase na proces dekompozicije, kao i mala pouzdanost kvantitativnih rezultata. Zato su one više namenjene za relativna ispitivanja, ispitivanja kompatibilnosti i uticaj primesa i sastava na termohemijske osobine EM.

#### „Accelerating Rate“ kalorimetar (ARC)

Uređaj ARC konstruisan je za ispitivanje procesa koje prati oslobađanje toplote usled hemijskih reakcija [7]. Kao takav pogodan je za studiju dekompozicije eksplozivnih materija. Princip rada uređaja zasniva se na praćenju promene temperature i pritiska izdvojenih gasova, pri adijabatskim i izotermnim uslovima, koji nastaju usled egzotermnih reakcija pri dekompoziciji uzorka EM. Uređaj vrši i automatski proračun kinetičkih konstanti.

Što se tiče EM može se reći da ARC daje sumnjive rezultate. Problem proističe iz fundamentalne jednačine adijabat-

ske kalorimetrije na kojoj se i zasniva princip rada uređaja:

$$C_p \frac{dT}{dt} = Qf(\alpha)Ze^{-E/RT} \quad (1)$$

gde je:

$C_p$  – toplotni kapacitet,

$T$  – temperatura,

$t$  – vreme,

$Q$  – toplota reakcije,

$\alpha$  – udeo izreagovanog reaktanta u nekom vremenu,

$Z$  – predeksponencijalni faktor,

$E$  – energija aktivacije,

$R$  – gasna konstanta.

Jednačina (1) precizno opisuje temperaturno-vremenski tok dekompozicije samo ako su uslovi zaista adijabatski. U tom slučaju  $C_p$  će biti konstantan u određenom temperaturnom intervalu, stanje uzorka u bilo kom vremenu odražavaće samo jedna temperatura, a mehanizam se neće menjati sa promenom količine uzorka. Međutim, nijedan od ovih uslova nije u potpunosti ispunjen kada se ispituje čvrsti uzorak relativno velike mase, koji oslobađa znatnu količinu toplote. Eksplozivne materije oslobađaju toplotu pri dekompoziciji, imaju slabu toplotnu provodljivost, usled čega dolazi do samozagrevanja uzorka koje je najizraženije u samom centru.

Prema tome, jedna temperatura ne može opisati sistem. Ova činjenica prouzrokuje glavnu grešku kad su u pitanju EM. Dekompozicija EM je kompleksan proces čiji se mehanizam menja sa temperaturom, pritiskom i smanjenjem početne mase uzorka. To znači da  $Q$  i  $f(\alpha)$  nisu konstante, što dovodi do dodatne greške.

Može se zaključiti da ne postoji procedura za dobijanje pouzdanih kinetičkih konstanti kompleksnih reakcija dekompozicije EM pomoću ARC.

### Koncept kritične temperature odnosno kritičnog prečnika

Sa aspekta sigurnosti najvažniji kriterijum je kritična temperatura ( $T_c$ ), koja se definiše kao najniža temperatura pri kojoj kod određenog materijala može doći do samozapaljenja usled samozagrevanja. Kritična temperatura odnosi se na materijal tačno određenih fizičko-hemijskih karakteristika, oblika i dimenzija. Analogno, može da se definiše i kritični prečnik ( $D_c$ ) kao najmanji prečnik uzorka nekog materijala kod kojeg na određenoj temperaturi može doći do samozapaljenja.

Kod čvrstih materija, kod kojih se proces prenosa toplote odvija kondukcijom, vrednost kritičnih parametara može se odrediti na osnovu teorije toplotne eksplozije Frank-Kameneckog [8], prema kojoj se kriterijum samozapaljenja može predstaviti u obliku bezdimenzionalnog parametra ( $\delta$ ) i njegove kritične vrednosti:

$$\delta = \frac{\Delta H_r \rho}{4\lambda} \frac{E}{RT_0^2} D^2 A e^{-\frac{E}{RT_0}} \quad (2)$$

gde je:

$D$  – karakteristična dimenzija uzorka, odnosno prečnik posude u kojoj se uzorak nalazi,

$T_0$  – temperatura okoline,

$A$  – predeksponencijalni faktor u Arrheniusovoj jednačini,

$\lambda$  – koeficijent toplotne provodljivosti,

$\rho$  – gustina uzorka,

$\Delta H_r$  – toplota reakcije,  
 $E$  – energija aktivacije,  
 $R$  – univerzalna gasna konstanta.

Parametar  $\delta$  objedinjuje osnovne osobine sistema: brzinu i toplotu reakcije, toplotnu provodljivost i dimenzije uzorka.

Kritični uslovi nastaju kada je  $\delta = \delta_{kr}$ , jer u tom slučaju više nije moguća stacionarna raspodela temperature, pa dolazi do samozapaljenja. Kritična vrednost  $\delta$  zavisi od geometrijskog oblika posude (uzorka) i iznosi: za kuglu 3,32, za cilindar 2,00, za pločicu 0,88.

Jednačina (2) omogućuje da se odredi kritični prečnik uzorka (ili kritična temperatura) kod koje dolazi do samozapaljenja:

$$D_{kr} = \sqrt{\frac{4\lambda\delta RT_0^2 e^{\frac{E}{RT_0}}}{\Delta H_r \rho EA}} \quad (3)$$

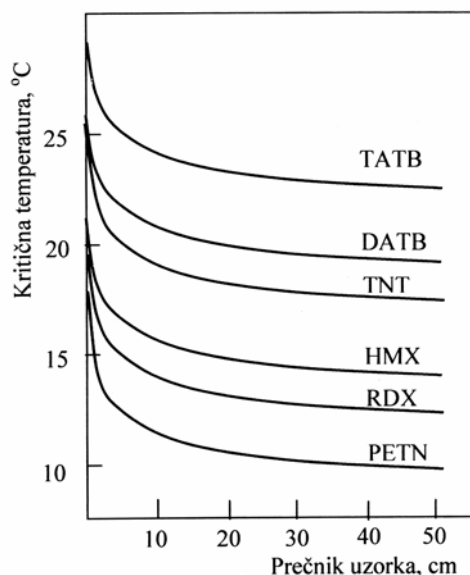
Izraz (3) predstavlja osnovu za praćenje hemijske stabilnosti baruta i raketnih goriva laborisanih u klasičnoj i raketnoj municiji, sa aspekta mogućnosti samozapaljenja po metodi mikrokalorimetrije.

Na slici 14 prikazani su eksperimentalni rezultati merenja zavisnosti kritične temperature od prečnika uzorka za nekoliko brizantnih eksploziva [9].

Eksperimentalni rezultati očigledno pokazuju koliko kritična temperatura zavisi od veličine uzorka.

### Ispitivanje hemijske stabilnosti

Eksplozivne materije su, zbog svoje relativne nestabilnosti, sklone laganoj termičkoj dekompoziciji. Ova pojava je



Sl. 14 – Zavisnost kritične temperature od prečnika uzorka za nekoliko vrsta eksploziva

posebno izražena kod pogonskih eksplozivnih materija (baruti i raketna goriva) koje u svom sastavu sadrže nitrocelulozu. Dekompozicija nitroceluloze je egzoterman autokatalitički proces, koji ima za posledicu samozagrevanje pogonskog punjenja, usled čega, u određenim kritičnim uslovima, može doći čak i do njenog samozapaljenja sa katastrofalnim posledicama, što potvrđuju i akcidenti koji su se dogodili, kako u svetu, tako i kod nas.

Logično, ovoj problematici odavno se posvećuje velika pažnja. Objavljen je veliki broj radova kao rezultat težnje istraživača da reše problem hemijske stabilnosti, i uveden veliki broj metoda za ispitivanje stabilnosti.

Metodologija i metode ispitivanja hemijske stabilnosti kod nas su propisane standardom SNO 8069/91 [10].

Metoda grejanja na 100°C sprovodi se na taj način što se uzorak greje na 100°C u

standardizovanim uslovima. Mera hemijske stabilnosti je vreme do pojave smeđih gasova azotnih oksida.

*Metilvioletna metoda na 120°C ili 134,5°C* zasniva se na merenju vremena do potpune promene boje metilvioletne hartije, usled razlaganja uzorka baruta ili RG na povišenoj temperaturi.

*Bergman-Junkova metoda na 120°C ili 132°C* sprovodi se tako da se uzorak greje određeno vreme u standardizovanim uslovima, a oslobođeni azotni oksidi se apsorbuju u odgovarajućem rastvoru. Kriterijum stabilnosti je količina azotnih oksida apsorbovanih u rastvoru koji se određuju kvantitativno.

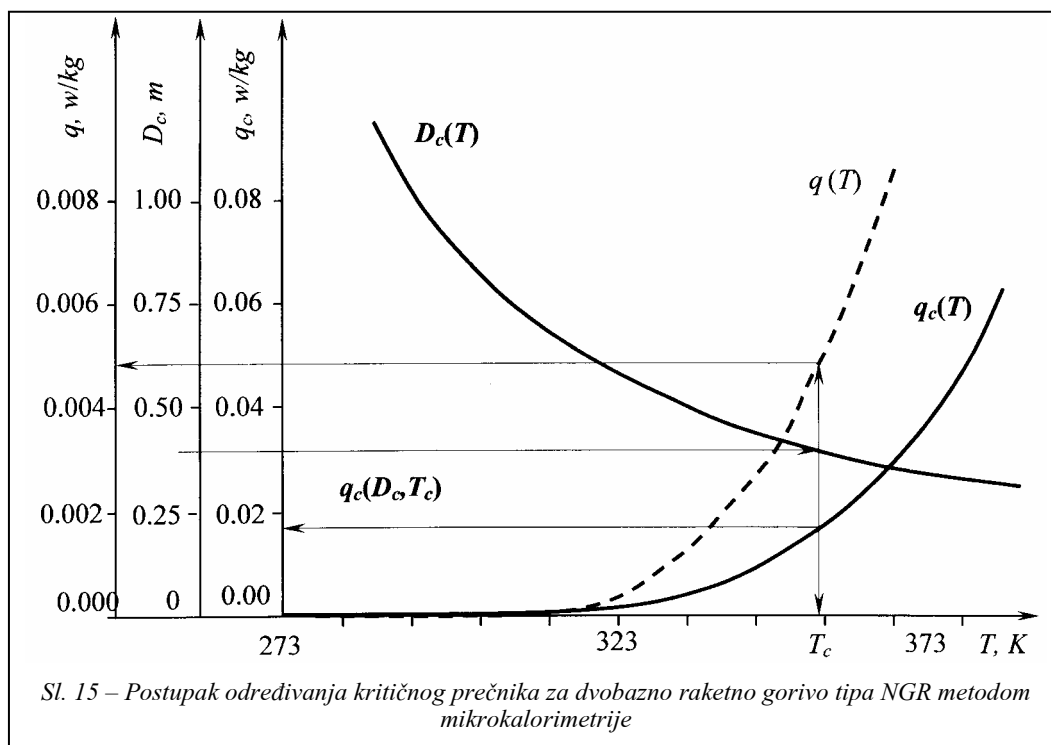
Osnovni nedostaci ove tri metode su u tome što ne uzimaju u obzir uticaj mase uzorka na brzinu procesa dekompozicije, zatim visoka temperatura ispitivanja i nepostojanje korelacije između potenci-

jalnog uzroka samozapaljenja (oslobođena toplota) i merenog parametra.

*Metoda praćenja sadržaja stabilizatora* zasniva se na periodičnom određivanju sadržaja aktivnog stabilizatora u barutima i raketnim gorivima u toku skladištenja, a kao kriterijum stabilnosti definisana je granica ispod koje količina aktivnog stabilizatora ne sme pasti.

Nedostatak ove metode jeste što ne postoji pouzdana relacija između količine stabilizatora i mogućnosti samozapaljenja, jer se ne uzima u obzir uticaj mase.

*Metoda mikrokalorimetrije* originalna je domaća metoda koja se zasniva na teoriji toplotne eksplozije. Princip se sastoji u određivanju kritičnog prečnika uzorka kod kojeg može doći do samozapaljenja. Metoda povezuje direktni uzrok samozapaljenja, količinu oslobođene toplote sa veličinom uzorka (uticaj mase)



što je njena glavna prednost u odnosu na ostale metode.

Na slici 15 prikazani su rezultati merenja kritičnog prečnika i temperature za jedan tip dvobaznog raketnog goriva [11].

Osnovni nedostatak ove metode je nepouzdanost merenja temperaturne razlike u centru ispitivanog uzorka, jer su promene vrlo male i umnogome zavise od pripreme uzorka, kao i drugih uticajnih faktora.

Pored ovih glavnih metoda postoji još nekoliko pomoćnih metoda za ispitivanje hemijske stabilnosti (metoda grejanja pod vakuumom, Holand-test, Hanzenova metoda, i dr.).

Treba naglasiti da se konačna ocena hemijske stabilnosti nekog uzorka može doneti samo na osnovu rezultata ispitivanja svih metoda i, po potrebi, pomoćnih. Pri tome, treba uzeti u obzir i uslove čuvanja realnih pogonskih punjenja, njihovu veličinu, način laboracije, itd., što podrazumeva i veliko iskustvo u ovoj oblasti.

## Zaključak

Osetljivost i stabilnost eksplozivnih materija, pored hemijske strukture, u velikoj meri zavise i od velikog broja faktora fizičke prirode, pre svega mase i uslova okoline, zatim gustine, veličine i oblika čestica i kristala, itd. Predviđanje ponašanja EM u različitim uslovima čuvanja i eksploatacije izuzetno je složeno. Radi toga se u praksi primenjuje veliki

broj metoda koje se zasnivaju na različitim principima. Svaka od njih ima prednosti i nedostatke koji se uvek moraju imati u vidu pri tumačenju rezultata. Da bi se dobila realna slika osetljivosti i stabilnosti EM neophodno je da se svaki konkretan sastav eksplozivne materije ispita pomoću različitih metoda. Sa aspekta mogućnosti samozapaljenja dominantan uticaj ispoljava efekat mase, odnosno veličina eksplozivnog punjenja koji se može uzeti u obzir jedino preko kriterijuma kritičnog prečnika ili kritične temperature. Metoda mikrokolorimetrije, koja je razvijena kod nas, zasniva se na ovom kriterijumu, zbog čega ima prednost u odnosu na ostale metode.

## Literatura:

- [1] DOD 6055.9-STD: DOD Ammunition and Explosives Safety Standards, Ministarstvo odbrane SAD, 1999.
- [2] Jeremić, R.: Istraživanje uticaja nekih parametara na osetljivost eksplozivnih materija na toplotni impuls, VTG, br. 3, 2002.
- [3] Ho, S. Y., Thermomechanical Properties of Rocket Propellants and Correlation with Cookoff Behaviour, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 20, 1995.
- [4] Mackenzie, R. C.: Differential Thermal Analysis, Academic Press, London–New York, 1970.
- [5] Stanković, M. i dr.: Ispitivanje starenih elastičnih eksploziva na bazi pentrita i poliuretanskog veziva pomoću DSC i IR, 21. simpozijum JKEM, Tara, 2001.
- [6] Stanković, M.: Termijska dekompozicija i sagorevanje nitrovanidina i nitrovanidinskih baruta, Doktorska disertacija, TMF, Beograd, 1998.
- [7] Rogers, R. N.; Rogers, J. L.: Explosives Science, Los Alamos, <http://home.att.net/~mrogers>.
- [8] Merzhanov, G. A.; Abramov, B. A.: Thermal Explosion of Explosives and Propellants, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 6, 1981.
- [9] Dobratz, B. M.: LLNL Explosives Handbook, Properties of Chemical Explosives and Explosives Simulants, Lawrence Livermore National Laboratory, 1981.
- [10] SNO 8069/91: Praćenje hemijske stabilnosti baruta i raketnih goriva, 1991.
- [11] Čolaković, M.: Probability Estimation for the Self-Ignition of the Gun powder, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 17, 1992.

Dr Milorad Radetić,  
dipl. inž.  
Vojnotehnički institut,  
Beograd

## ODREĐIVANJE OSNOVNIH PARAMETARA PRI UBRZAVANJU BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA

UDC: 623.438.3-58

### Rezime:

*Mogućnost ubrzavanja vozila ima poseban značaj kod brzohodnih guseničnih vozila specijalne namene, posebno kada su u pitanju borbena vozila. Ova mogućnost karakteriše dinamičke karakteristike vozila i ima poseban značaj za preživljavanje vozila na bojištu. Kod realizovanih vozila određivanje osnovnih parametra koji karakterišu ubrzavanje vozila uglavnom se vrši eksperimentalno, a kod vozila u razvoju proračunski. Pri proračunu se javljaju određeni problemi jer se ne mogu uzeti u obzir sve veličine koje na njih utiču. U ovom radu prikazan je postupak pomoću kojeg se na jednostavan način mogu odrediti ovi parametri računskim putem, pri čemu se dobijaju vrednosti približne realnim.*

*Ključne reči: gusenično vozilo, ubrzavanje, ubrzanje, vreme, put.*

---

### DETERMINATION OF BASIC PARAMETERS DURING HIGH-SPEED TRACKED VEHICLE ACCELERATION

#### Summary:

*The possibility of a vehicle to accelerate is very important for special-purpose high-speed tracked vehicles, especially for combat vehicles. It determines vehicle dynamic characteristics and has an important role for vehicle survivability. The determination of basic vehicle acceleration parameters is mostly carried out experimentally on realized vehicles but for vehicles in development it is determined by calculation. Some problems are present during the calculation because it is not possible to take into account all influencing parameters. The procedure for an easy calculation of these parameters is given in this paper. The values of the parameters obtained by this procedure are close to real values.*

*Key words: tracked vehicle, acceleration process, acceleration, time, distance.*

---

### Uvod

Kretanje brzohodnih guseničnih vozila specijalne namene, posebno borbena, karakterišu česte promene brzine, što određuju uslovi eksploatacije. Ako u borbenim uslovima ova vozila za kraće vreme postignu veću brzinu, koju mogu ostvariti zahvaljujući rezervi specifične snage, ona će biti manje izložena vatri protivnika, što povećava mogućnost preživljavanja na bojištu.

Pri marševskom kretanju koje se, uglavnom, ostvaruje kretanjem u koloni, vreme i pređeni put pri ubrzavanju i usporavanju svakog vozila utiču na razvučenost kolone i srednju brzinu kretanja. Kada se vozila kreću na rastojanju jedno od drugog, vozač svakog vozila, pod uslovom da vozilo ima efikasan kočioni sistem, nastoji da ostvari visoke brzine kretanja, što se manifestuje visokim prosečnim brzinama kretanja i smanjenjem rastojanja između vozila.



Može se zaključiti da je jedna od najvažnijih karakteristika ovih vozila mogućnost brze promene brzine kretanja, odnosno postizanje dobrog ubrzavanja vozila, što je sigurno značajnije od maksimalne brzine koju vozilo može da ostvari.

Za ocenu ove karakteristike merodavni su sledeći parametri: ubrzanje, vreme ubrzavanja i pređeni put pri ubrzavanju.

Navedeni parametri se kod realizovanih vozila određuju na osnovu dijagrama za čiju se izradu elementi najčešće dobijaju eksperimentalnim putem, ispitivanjem vozila u terenskim uslovima, dok se za vozila koja se nalaze u fazi razvoja određuju računskim putem, na osnovu čega se crta dijagram.

### Postupak određivanja parametara

Da bi se pojednostavio postupak proračuna pretpostaviće se da je obrtni moment motora konstantna veličina i da predstavlja srednju vrednost momenata radnog područja motora. Pod radnim područjem podrazumeva se područje između radnih tačaka koje odgovaraju maksimalnom momentu i momentu pri nominalnoj snazi, kada motor radi na spoljnoj brzinskoj karakteristici.

Srednja vrednost obrtnog momenta, u ovom slučaju, određuje se prema izrazu:

$$M_s = \frac{1 + K_d}{2} M_N \quad (1)$$

gde je:

$K_d$  – koeficijent elastičnosti motora:

$$K_d = \frac{M_{\max}}{M_N}$$

$M_{\max}$  – maksimalni obrtni moment motora,

$M_N$  – obrtni moment motora pri maksimalnoj snazi.

U slučaju jednolikog kretanja, sila vuče, koju obezbeđuje motor, služi za savladavanje otpora kretanju vozila. Ako je sila vuče koju obezbeđuje motor veća ili manja od potrebne da bi se savladali otpori kretanju, tada se vozilo kreće ubrzanim, odnosno usporenim kretanjem. U prvom slučaju rezerva snage omogućuje ubrzavanje vozila, a u drugom se na račun akumulirane kinetičke energije povećava pogonska sila do potrebne vrednosti.

Za analizu promenljivog kretanja biće primenjen Dalamberov princip po kojem se sile inercije koje deluju na telo uravnotežavaju drugim spoljašnjim silama. Primenjeno na vozilo to znači da bi inercijalna sila ( $F_{io}$ ) bila u ravnoteži sa pogonskom silom ( $F_M$ ) i silom otpora kretanja ( $R_f$ ). Ako se saberu sile koje deluju na vozilo duž uzdužne ose (slika 1) dobija se:

$$F_M = R_f + F_{io} \quad (2)$$

Sila vuče, koju obezbeđuje motor na pogonskim tačkama, može se odrediti prema izrazu:

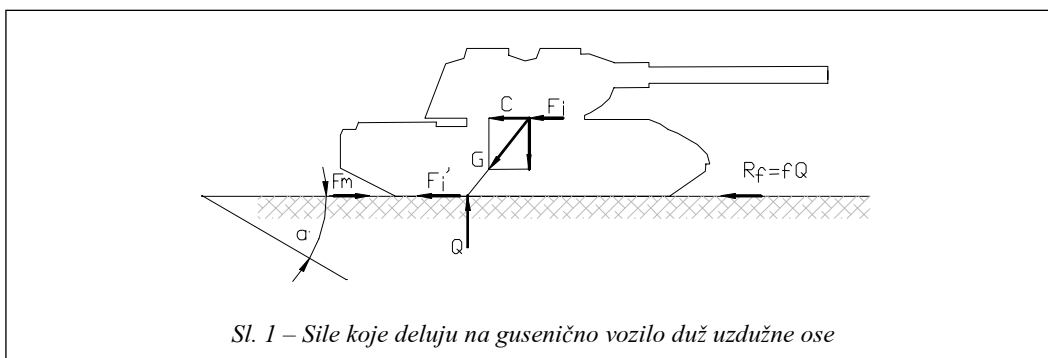
$$F_M = \frac{P_e \cdot \eta}{V_o} \quad (3)$$

Srednja vrednost ove sile ( $F_{Ms}$ ) može se odrediti prema sledećim izrazima:

$$F_M = \frac{K_d + 1}{2} \frac{\eta \cdot P_e}{V_{pt}} \quad (4)$$

odnosno:

$$F_{Ms} = \frac{M_s \eta}{r_{pt}} \quad (5)$$



Sl. 1 – Sile koje deluju na gusenično vozilo duž uzdužne ose

gde je:

$\eta$  – ukupni stepen korisnosti prenosa snage preko kinematskog lanca od motora do pogonskih točkova i hodnog uređaja, uključujući i gusenice,

$P_e$  – efektivna snaga koja ulazi u transmisiju,

$V_o$  – brzina kretanja vozila,

$V_{pt}$  – obimna brzina pogonskih točkova.

Može se usvojiti, sa dovoljnom tačnošću, da je  $V_o = V_{pv}$

$\alpha$  – ugao uspona.

Sila otpora kretanju određuje se prema izrazu:

$$R_f = f_0 Q$$

gde je:

$f_0$  – ukupni koeficijent otpora kretanju:

$$f_0 = f \cos \alpha + \sin \alpha$$

$f$  – koeficijent otpora kretanju.

Kada se vozilo nalazi na horizontalnoj podlozi, onda je  $Q = G$  i  $f_0 = f$ , tako da izraz za silu otpora glasi:

$$R_f = Gf \quad (6)$$

Sila inercije određuje se kao zbir inercijalnih sila vozila ( $F_i$ ) i inercijalnih sila elemenata transmisije i hodnog uređaja redukovanih na gusenicu ( $F_i'$ ):

$$F_{io} = F_i + F_i' = m \delta a \quad (7)$$

gde je:

$m$  – masa vozila,

$\delta$  – koeficijent uslovnog priraštaja masa rotirajućih delova,

$a$  – ubrzanje vozila, koje se može izraziti kao promena brzine u jedinici vremena:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$v$  – brzina kretanja vozila,

$t$  – vreme kretanja.

Određivanje koeficijenta  $\delta$  računskim putem veoma je složeno jer treba uzeti u obzir masu i obrtne momente svih rotirajućih i pokretnih delova u kinematskom lancu od motora do pogonskih točkova, uključujući hodni uređaj i gusenice. Međutim, postoje empirijski izrazi pomoću kojih se sa prihvatljivom greškom može odrediti ovaj koeficijent. Za transmisiju sa stepenastom promenom prenosnog odnosa:

– prema [1]

$$\delta = 1,2 + 0,002i_0^2 \quad (8)$$

– prema [2]

$$\delta = 1,2 + 0,0015i_0^2 \quad (8a)$$

gde je  $i_0$  prenosni odnos transmisije od motora do pogonskih točkova.

U slučaju prekida kinematske veze između motora i transmisije umesto  $\delta$  uzima se koeficijent  $\delta'$ , čija se vrednost prema [2] može usvojiti  $\delta' = 1,2$ . Ako se u (2) uvrste izrazi za  $F_{Ms}$ ,  $R_f$  i  $F_{i0}$  dolazi se do izraza za ubrzanje vozila:

$$a = \frac{dv}{dt} = (D - f_0) \frac{g}{\delta} \quad (9)$$

gde je  $D$  dinamički faktor vozila ( $D = F_{Ms} / G$ ).

Pošto se veličine sa desne strane izraza (9) mogu uzeti kao konstantne, jer je na početku usvojeno da je obrtni moment motora konstantan, tako će i ubrzanje  $a$ , odnosno  $dv/dt$ , biti konstantno. Prema tome, kretanje se posmatra kao jednakoubrzano.

Polazeći od izraza za brzinu kod jednakoubrzanog kretanja:

$$V = V_0 + at$$

vreme ubrzavanja u  $i$ -tom stepenu prenosa može se odrediti prema izrazu:

$$t_i = \frac{V_{2i} - V_{1i}}{\left(\frac{dV}{dt}\right)_i} \quad (10)$$

gde je:

$V_{1i}$  – brzina pri kojoj vozilo počinje da se ubrzava u  $i$ -tom stepenu prenosa,

$V_{2i}$  – brzina do koje se vozilo ubrzava u  $i$ -tom stepenu prenosa.

Da bi se nacrtao dijagram ubrzavanja potrebno je imati dijagram vuče za vozilo sa koga bi se uzeli podaci za maksimalne brzine u pojedinim stepenima prenosa, ili da se iste izračunaju. Pri prelasku iz jednog stepena prenosa u drugi dolazi do pada brzine ( $\Delta V$ ) za vreme  $\Delta t$

koje je potrebno za prelazak iz jednog stepena prenosa u drugi.

Pri promeni stepena prenosa motor je odvojen od transmisije i vozilo se kreće usled inercije. Tada je  $F_M = 0$ , a umesto koeficijenta  $\delta$  uvršćuje se koeficijent  $\delta'$ .

Ako se u izrazu (9) primeni da je  $F_M = 0$ , odnosno  $D = 0$ , dobija se da je:

$$-\frac{dV}{dt} = \left(\frac{dV}{dt}\right)^* = \frac{f_0 g}{\delta'} \quad (11)$$

Izraz (11) služi da se proračuna koliko je usporenje vozila koje je u narednim izrazima označeno kao  $(dV/dt)^*$ .

Kada je poznato usporenje vozila može se odrediti pad brzine pri promeni stepena prenosa:

$$\Delta V = \left(\frac{dV}{dt}\right)^*_i \Delta t_i$$

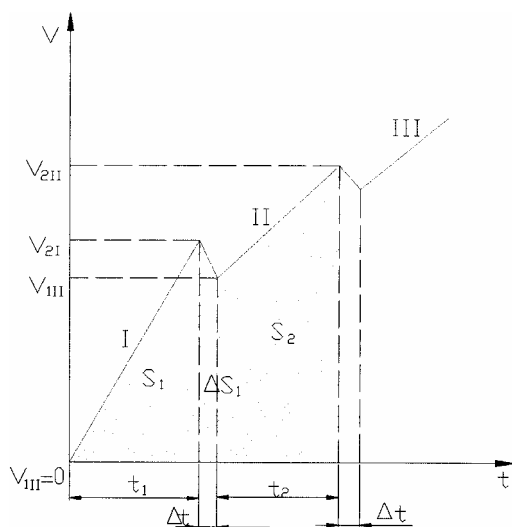
gde indeks  $i$  označava stepen prenosa, a  $\Delta t$  vreme potrebno da se izvrši promena stepena prenosa.

Prema [1, 2 i 3]  $\Delta t = 2 \div 3$  s, kada se promena stepena prenosa vrši pomoću zupčaste spojnice,  $\Delta t = 1 \div 1,5$  s za promenu stepena prenosa pomoću sinhronizera,  $\Delta t = 0,5 \div 1$  s za planetarne prenosnike kod kojih se promena stepena prenosa vrši pomoću frikcionih sklopova i za planetarne prenosnike sa automatskom promenom stepena prenosa  $\Delta t = 0,2 \div 0,5$  s.

Kada se vozilo kreće  $i$ -tim stepenom prenosa u trenutku prelaska na sledeći stepen prenosa ( $i + 1$ ), brzina vozila je  $V_{1(i+1)}$ . Ova brzina je jednaka zbiru maksimalne brzine koju je vozilo ostvarilo u prethodnom stepenu prenosa ( $V_{2i}$ ) i smanjenju brzine  $\Delta V_i$  ( $\Delta V_i < 0$ ):

$$V_{1(i+1)} = V_{2i} + \left( \frac{dV}{dt} \right)^* \Delta t \quad (12)$$

Na osnovu ovako određenih veličina može se nacrtati dijagram ubrzanja vozila (slika 2), s tim što se na apscisu nanosi vreme, a na ordinatu brzina.



Sl. 2 – Dijagram ubrzanja guseničnog vozila

Ukupno vreme ubrzanja vozila određuje se prema izrazu:

$$t_u = \sum_1^{n+1} t_i + n \Delta t \quad (13)$$

gde je:

$t_i$  – vreme ubrzanja u određenim stepenima prenosa, određena pomoću (10),  
 $n$  – broj stepeni prenosa koji se uključuje.

Na osnovu ovog dijagrama može se odrediti put ubrzanja, prema sledećem izrazu:

$$S_u = \sum_1^{n+1} S_i + \sum_1^n \Delta S_i \quad (14)$$

gde je:

$S_i$  – pređeni put u  $i$ -tom stepenu prenosa koji se određuje kao površina, koju čine linija ubrzanja, apscise i ordinata, za dati stepen prenosa,

$\Delta S_i$  – put usporenja zbog promene stepena prenosa.

### Zaključak

Jedna od značajnih dinamičkih karakteristika savremenih borbenih guseničnih vozila koja se u poslednje vreme posebno ističe je karakteristika ubrzanja vozila, tj. mogućnost da vozilo pri kretanju ili iz stanja mirovanja za što kraće vreme postigne određenu brzinu.

Kod realizovanih vozila eksperimentalno se potvrđuju vrednosti parametara ubrzanja sa kojima se ušlo u projekat, dok se kod novih vozila koja se nalaze u fazi projektovanja ovi parametri određuju proračunski uz određene pretpostavke. Za njihov proračun primenjuje se više metoda. Mada izloženi tok proračuna prilično verno opisuje ponašanje vozila u realnim uslovima, ipak treba obratiti posebnu pažnju na izbor vrednosti koeficijenata, kako bi što adekvatnije odgovarali uslovima za koje se vrši proračun.

### Literatura:

- [1] Zabrunikov, N. A.: Osnovi teorij transportnih guseničnih mašin, Mašinstroenie, Moskva, 1975.
- [2] Antonov, A. S.: Gusenične tjagači, Posebno izdanje, Moskva, 1959.
- [3] Nikitin, A. O., Sergeev, L. V.: Teorij tanka, Izdanie Akademij, Moskva, 1962.

Dr Dragoljub M. Brkić,  
dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## JEDAN POSTUPAK PODELE KOEFICIJENTA NAUČNO-STRUČNE KOMPETENTNOSTI UČESNICIMA NA ZADATKU

UDC: 355/359-051 : 519.233.6

### Rezime:

U ovom radu izložen je jedan postupak podele koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti učesnicima na obavljenom zadatku. Postupak je zasnovan na rangiranju učesnika prema njihovom doprinosu izvršenju zadatka. Radi preciznije procene udela na zadatku usvojeno je da rang učesnika može da bude ne samo ceo broj, nego i decimalni broj, a uveden je i koeficijent usklađenosti veličine učešća i dodeljenog ranga učesnicima na realizaciji zadatka. Pomoću matematičkog modela vrši se transformacija dodeljenog ranga učesnika u težinski koeficijent učešća. Razvijen je i specijalni računarski program koji je korišćen za rešavanje problema ove vrste. Primena ovog postupka ilustrovana je na jednom praktičnom primeru.

*Ključne reči:* koeficijent naučno-stručne kompetentnosti, učesnik na zadatku, rang učesnika na zadatku, koeficijent usklađenosti veličine učešća i dodeljenog ranga učesnicima na realizaciji zadatka, težinski koeficijent učešća na zadatku.

---

## ONE METHOD FOR ASSIGNING SCIENTIFIC-PROFESSIONAL COMPETENCY COEFFICIENTS TO PARTICIPANTS IN THE WORK

### Summary:

In this paper one method for assigning scientific-professional competency coefficients to participants in the work is presented. This method is based on the ranking of participants in accordance with their contribution to the work. In order to make a better assessment of the contribution to the work, it is assumed that a rank can be not only an integer, but also a decimal number, and the compatibility coefficient is also introduced. By using a mathematical model, the transformation of the ranks into the weight factors of participations was made. For this purpose, a special computer program was developed and used in solving problems of this kind. Application of this method is illustrated by one practical example.

*Key words:* scientific-professional competency coefficient, participant in the work, rank of the participant in the work, compatibility coefficient of participation and assigned rank, weight factor of participation in the work.

---

### Uvod

U institucijama, kao što je Tehnički opitni centar (TOC KoV), na izvršavanju nekog zadatka obično se angažuje veći broj izvršilaca – nosilac zadatka, njegov zamenik i veći broj drugih učesnika. Među učesnike mogu se ubrojati i rukovodioci koji daju saglasnost i oni koji overavaju završeni zadatak.

Za završeni zadatak dodeljuje se koeficijent naučno-stručne kompetentnosti  $R$  prema [2]. Zavisno od toga o kojem se izlaznom dokumentu o završenom zadatku radi (izveštaj, elaborat ili standard), stručni kolegijum, koji verifikuje završeni zadatak, koriguje dodeljeni koeficijent naučno-stručne kompetentnosti iz [2]. Ta korekcija se obavlja prema [1]. Posle izvršene korekcije koeficijenta naučno-

stručne kompetentnosti,  $R$ , potrebno je izvršiti njegovu podelu učesnicima na završenom zadatku. Ova podela koeficijenta  $R$  učesnicima trebalo bi da bude srazmerna njihovom učešću na izvršenju zadatka. Tako bi se za svakog učesnika procenilo njegovo procentualno učešće na izradi zadatka. Množenjem decimalnog broja koji odgovara procentualnom učešću sa  $R$ , dobio bi se deo koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti koji pripada određenom učesniku:

$$R_i = (p_i/100)R,$$

gde je:

$R_i$  – deo koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti  $i$ -tog učesnika,

$p_i$  – procentualni udeo  $i$ -tog učesnika,

$R$  – ukupna vrednost koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti koja se dodeljuje za završeni i verifikovani zadatak.

Količnik u zagradi gornjeg izraza,  $p_i/100$ , može se smatrati težinskim koeficijentom učešća  $i$ -tog učesnika i obeležiti sa  $w_i$ . Tako bi se deo koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti  $i$ -tog učesnika određivao po formuli  $R_i = w_i R$ . Procenjivanje procentualnog učešća pojedinaca u realizaciji zadatka u praksi je prilično teško. Mnogo je pogodnije uvođenje ranga učešća, gde bi učesnici sa nižim rangom imali veći udeo u izvršenju zadatka, nego oni sa višim rangom. Tako bi, na primer, za učesnika sa dodeljenim rangom 1 značilo da je on imao znatno veće učešće od onog učesnika kojem je dodeljen rang 5, i tako dalje. Ovi rangovi primenom određenog matematičkog modela, koji je izložen u teorijskoj osnovi ovog rada, mogu se prevesti u težinske koeficijente učešća  $w_i$ . Određivanje dela

koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti  $R_i$  koji pripada  $i$ -tom učesniku, u ovom slučaju, sprovodi se kao i u slučaju kada je poznat procentualni udeo učešća na izradi zadatka.

### Teorijska osnova za rešavanje problema

Učesnici na nekom zadatku rangiraju se prema njihovom doprinosu datom na izvršenju zadatka. Tako, na primer, rukovodilac radnog tima (grupe) ima rang  $r_1$ , njegov zamenik rang  $r_2$  i tako dalje do poslednjeg učesnika na zadatku, koji ima rang  $r_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ).

Neka je  $r_i$  rang  $i$ -tog učesnika na zadatku;  $i = 1, 2, \dots, n$ , gde je  $n$  ukupan broj učesnika. Kada se recipročna vrednost ranga  $r_i$  stepenuje koeficijentom usklađenosti veličine učešća i dodeljenog ranga učesnicima na realizaciji zadatka  $K$  ( $K \geq 0$ ) i nađe zbir svih tako dobijenih članova od 1 do  $n$ , dobija se:

$$S_n = \frac{1}{r_1^K} + \frac{1}{r_2^K} + \frac{1}{r_3^K} + \dots + \frac{1}{r_n^K} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^K} \quad (1)$$

Ako se pojedinačni članovi ovog reda podele sa ukupnim zbirom  $S_n$ , tj. izvrši normiranje (svodenje na jedinični prostor), dobiće se težinski koeficijenti učešća za pojedinačnog učesnika na realizaciji zadatka:

$$w_i = \frac{1}{r_i^K \cdot S_n} = \frac{1}{r_i^K \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^K}} \quad (2)$$

gde je  $w_i$  težinski koeficijent učešća  $i$ -tog učesnika na zadatku, tj. učesnika sa rangom  $r_i$ .

Zbir težišnih koeficijenata učešća jednak je jedinici:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3)$$

Množenjem leve i desne strane izraza (3) sa koeficijentom naučno-stručne kompetentnosti  $R$ , dobija se da je:

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot R = R \quad (4)$$

Članovi ovog reda:

$$R_i = w_i \cdot R; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

predstavljaju deo koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti  $R$ , koji je dodeljen  $i$ -tom učesniku čiji je rang  $r_i$ .

Koeficijent  $K$  nazvan je koeficijentom usklađenosti doprinosa učesnika koji ima rang  $r_i$  sa vrednošću  $R_i$  koja mu je dodeljena u odnosu na ostale učesnike. Ako se koeficijentu  $K$  dodeli vrednost jednaka nuli ( $K = 0$ ), onda se koeficijent naučno-stručne kompetentnosti  $R$  podjednako deli na sve učesnike, pa rangiranje u ovom slučaju nema nikakvog efekta. Ukoliko se koeficijentu  $K$  dodeljuju veće vrednosti, utoliko se više favorizuju učesnici sa nižim rangovima na račun učesnika sa višim rangovima.

U ovom radu usvojeno je da rang nosioca zadatka bude  $r_1 = 1$ , a rangovi svih ostalih autora  $r_i = 1,5$ ;  $i = 2, 3, \dots, N$ , gde je  $N$  – ukupan broj autora navedenih u autorskoj listi. Ako se koeficijent naučno-stručne kompetentnosti deli i na ostale učesnike koji su navedeni u autorskoj listi, onda vrednosti rangova za ostale učesnike su:

$r = 5$  – za nadležne koji su dali saglasnost za aktivnosti na zadatku (načelnik laboratorije i načelnik odeljenja),

$r = 10$  – za načelnika sektora koji je dao saglasnost,

$r = 15$  – za zamenika komandanta koji overava zadatak i

$r = 15$  – za komandanta koji overava zadatak.

U ovom radu usvojeno je da vrednost koeficijenta usklađenosti  $K$  bude jednaka jedinici ( $K = 1$ ), što se može smatrati za najadekvatniju vrednost u slučaju rangiranja učesnika na zadatku. Sve ostale vrednosti za koeficijent  $K$  ( $K \neq 0 \wedge K \neq 1$ ) mogu se smatrati pogodnim za proizvoljno podešavanje raspodele koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti  $R$  po učesnicima na zadatku.

### Praktični primer

U realizaciji jednog zadatka, čiji je izlazni dokument bio elaborat, bilo je 8 učesnika [3 autora: (nosilac zadatka i dva koautora), 3 učesnika su dali saglasnost i 2 učesnika su izvršili overu završenog zadatka]. Nadležni za ocenu koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti, prema smernicama datim u [1], utvrdili su da je polazni koeficijent naučno-stručne kompetentnosti za elaborat  $R = 6$ , a da je njegova vrednost posle korekcije  $R = 5,1$ , gde je u izrazu za korekciju usvojeno da je koeficijent originalnosti  $E_{orig} = 1$ , koeficijent složenosti  $E_{slo} = 0,8$ , koeficijent obimnosti  $E_{obim} = 0,6$  i koeficijent značajnosti  $E_{zna} = 1$  (videti priloženi obrazac za izračunavanje koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti).

Potrebno je da se odredi koeficijent naučno-stručne kompetentnosti za svakog od ovih 8 učesnika na realizaciji ovog zadatka.

<b>TEHNIČKI OPITNI CENTAR - BEOGRAD</b>			Registarski broj: TOC – b.b				
OBRAZAC ZA IZRAČUNAVANJE KOEFICIJENTA NAUČNO-STRUČNE KOMPETENTNOSTI							
Naziv projekta–zadatka: YY-001							
Ukupna vrednost koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti zadatka: $R_{31} = 6$							
Vreme izvršenja: (datum)							
$R_{elaborat} = \frac{R_{31}}{k} \cdot (E_{orig} + E_{slo} + E_{obim} + E_{zna}) = 1,5 \cdot (1 + 0,8 + 0,6 + 1) = 5,1 = R$							
$R_{izv} = \frac{R_{32}}{k} \cdot (I_{orig} + I_{slo} + I_{obim} + I_{zna}) = 1 \cdot ( \quad + \quad + \quad + \quad ) =$							
$R_{std} = \frac{R_{33}}{k} \cdot (S_{orig} + S_{obim}) = 1 \cdot ( \quad + \quad ) =$							
Red. broj	Ime i prezime učesnika na zadatku		Vid angažovanja	$r_i$	$1/r_i$	$w_i = \frac{1}{r_i \cdot S_n}$	$R_i = R \cdot w_i$
1.	11 P1		RRT	1	1	0,338	1,72
2.	12 P2		Član RT	1,5	0,666	0,225	1,15
3.	13 P3		Član RT	1,5	0,666	0,225	1,15
4.	Načelnik laboratorije:		Dao saglasnost	5	0,200	0,067	0,34
5.	Načelnik odeljenja:		Dao saglasnost	5	0,200	0,067	0,34
6.	Načelnik sektora:		Dao saglasnost	10	0,100	0,034	0,17
7.	Zamenik komandanta:		Overio	15	0,06	0,02	0,10
8.	Komandant:		Overio	15	0,06	0,02	0,10
$S_n = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} = 2,952$						$R = \sum R_i = 5,07$	
Obračun izvršio RRT: 11 P1						Načelnik sektora: N S	



*Rešenje:*

Kada se korigovani koeficijent naučno-stručne kompetentnosti  $R = 5,1$  podeli na 8 učesnika prema postupku opisanom u tački 2; za rangove učesnika  $r_1 = 1, r_2 = 1,5, r_3 = 1,5, r_4 = 5, r_5 = 5, r_6 = 10, r_7 = 15, r_8 = 15$ , i koeficijent usklađenosti  $K = 1$ , dobija se:  $R_1 = 1,72$ ; za prvog učesnika,  $R_2 = 1,15$ ; za drugog učesnika,  $R_3 = 1,15$ ; za trećeg učesnika,  $R_4 = 0,34$ ; za četvrtog učesnika,  $R_5 = 0,34$ ; za petog učesnika,  $R_6 = 0,17$ ; za šestog učesnika,  $R_7 = 0,10$ ; za sedmog učesnika i  $R_8 = 0,10$ ; za osmog učesnika.

Ako bi se koeficijentu usklađenosti  $K$  povećala vrednost tako da je  $K = 1,5$ , za iste vrednosti rangova učesnika, dobio bi se da je:

$R_1 = 2,19$ ; za prvog učesnika,  $R_2 = 1,19$ ; za drugog učesnika,  $R_3 = 1,19$ ; za trećeg učesnika,  $R_4 = 0,19$ ; za četvrtog učesnika,  $R_5 = 0,19$ ; za petog učesnika,  $R_6 = 0,07$ ; za šestog učesnika,  $R_7 = 0,03$ ; za sedmog učesnika i  $R_8 = 0,03$ ; za osmog učesnika.

Ovim bi se više nagradili direktni izvršiozi zadatka (rukovodilac radnog tima i članovi radnog tima), a manje oni koji su dali saglasnost i oni koji su overili zadatak.

U priloženom obrascu za izračunavanje koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti date su formule koje se odnose na izračunavanje koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti za elaborat, izveštaj i standard:  $R_{elaborat}$ ,  $R_{izv}$  i  $R_{std}$ . U ovim formulama figurišu odgovarajući koeficijenti naučno-stručne kompetentnosti  $R_{31}$ ,  $R_{32}$  i  $R_{33}$  čije se vrednosti uzimaju iz [2]. Korekzione koeficijente koji se odnose na originalnost, složenost, obimnost i značajnost ( $E_{orig}$ ,  $E_{slo}$ ,  $E_{obim}$ ,  $E_{zna}$ ,  $I_{orig}$ ,  $I_{slo}$ ,  $I_{obim}$ ,  $I_{zna}$ ,  $S_{orig}$ ,  $S_{obim}$ ), određuju nadležni za ocenu naučno-stručne kompetentnosti

prema uputstvu datom u [1]. U datim formulama sa  $k$  je označen ukupni broj ovih koeficijenata u formuli. Skraćenica RRT odnosi se na rukovodioca radnog tima, a RT je skraćenica za radni tim.

## Zaključak

Izloženi postupak podele koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti učesnicima na zadatku vrlo je jednostavan u idejnom smislu. Međutim, ako je broj učesnika veći, a to je u praksi najčešći slučaj, određivanje dela koeficijenta kompetentnosti za svakog od učesnika nije baš tako jednostavno zbog potrebnog izvršavanja većeg broja aritmetičkih operacija. Ova nepogodnost u izračunavanju može se prevazići izradom jednostavnog računarskog programa i pomoću računara vršiti ova izračunavanja.

Opisani postupak podele koeficijenta naučno-stručne kompetentnosti može se primeniti i na podele bilo koje celine, kada se ta celina, iz nekih razloga, ne deli na podjednake delove, već svakom delu odgovara neki rang od kojeg zavisi veličina tog dela od posmatrane celine.

Prilikom dodele vrednosti ranga ne može se u potpunosti isključiti subjektivni faktor, pa će ovakva podela od strane pojedinaca biti prihvaćena kao manje ili više nepravedna. Međutim, to je realnost koja se mora prihvatiti sa nastojanjem da se uticaj subjektivnosti učini što manjim.

## Literatura:

- [1] Uputstvo za vrednovanje internih naučno-stručnih radova, Tehnički opitni centar, Beograd, 2003.
- [2] Pravilnik o kriterijumima za sticanje naučnih zvanja u vojnim naučnim ustanovama, Službeni vojni list, broj 21, godina CXIX, Beograd, 10. avgust 2000.



**Mr Zoran Filipović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**sc Saša Tirnanić,**  
major, dipl. inž.  
**mr Gordana Mitrović,**  
dipl. inž.  
Vazduhoplovni opitni centar,  
Batajnica

## **SEDAMDESET GODINA VAZDUHOPLOVNOG OPITNOG CENTRA**

### **Uvod**

Vazduhoplovni opitni centar (VOC) nastavlja tradiciju Vazduhoplovne opitne grupe, formirane 14. decembra 1933. godine Ukazom kralja Aleksandra Karađorđevića. Tokom 70 godina postojanja ova institucija je postala poznata i priznata na polju veoma specifičnih primenjenih istraživanja, kao što su ispitivanja vazduhoplova u letu.

Ovaj veliki jubilej obeležen je Svečanom akademijom održanom 12. decembra 2003. godine u Domu garde u Topčideru uz prisustvo velikog broja zvanica. Tom prilikom izaslanik predsednika državne zajednice, ministar odbrane SCG Boris Tadić uručio je komandantu VOC-a, pukovniku Mirku Vraniću, orden „TESLA trećeg stepena“.

Predstavnik Ministarstva za saobraćaj i telekomunikacije Vlade Republike Srbije Velibor Vukašinić uručio je i sertifikat za školu opitnih i probnih pilota.

### **Istorijat VOC-a**

Vazduhoplovni opitni centar ponikao je iz Vazduhoplovne opitne grupe (VOG), koja je bila locirana na starom aerodromu „Beograd“, a za rad i smeštaj

sredstava dodeljen joj je veliki metalni hangar „C“, koji i danas postoji na tom prostoru. U njemu su bili smešteni domaći prototipovi i avioni stranih proizvođača koji su bili na ispitivanju i proceni u našem vazduhoplovstvu. Opitnu grupu činio je pilotski i tehnički sastav. Probni piloti su birani između velikog broja dobrih letaća, koji su se, pored vrhunske tehnike pilotiranja odlikovali i dobrim poznavanjem vazduhoplovne tehnike. Tehnički sastav sačinjavalo je nekoliko vazduhoplovnih inženjera i određeni broj mehaničara, laboranata, fotografa i drugih specijalista.

Prvi avion koji je zvanično ispitan bio je prelazni dvokrilac fabrike Zmaj, FP-2. Od tada pa do 1941. godine kroz VOG je prošlo preko 60 različitih tipova i varijanti aviona domaće i strane konstrukcije i proizvodnje.

Sa početkom Drugog svetskog rata prestaju aktivnosti opitne grupe. Neposredno po okončanju rata izvršena je preformacija celokupnog vazduhoplovstva, kojom su neke jedinice rasformirane, a druge preformirane u skladu sa novim potrebama. Naređenjem Generalštaba Jugoslovenske armije o preformaciji 1945. godine formiran je Vazduhoplovnotehnički centar (VTC), koji je počeo sa ra-

dom na aerodromu „Beograd“, u istim prostorijama koje je koristila opitna grupa. Već avgusta 1946. godine VTC je pretpočinjen novoosnovanom Vazduhoplovnotehničkom institutu (VTI) i promenio naziv u Odeljenje za primenjeni let (VII odeljenje VTI), sa zadatkom ispitivanja letaćkih i tehničkih sposobnosti aviona. Kako to odeljenje, koje je imalo samo 6 ljudi, nije moglo da sprovodi sva ispitivanja za kojima se u međuvremenu pojavila potreba, Komanda JRV je odlučila da ponovo formira poseban centar. Kao rezultat tih potreba, januara 1949. godine, formiran je Vazduhoplovni opitni centar (VOC).

Prekretnicu u radu VOC-a predstavlja prebaziranje na novoizgrađeni aerodrom Batajnica, juna 1951. godine, koji je i danas matična baza centra. U početku su ispitivani osposobljeni trofejavi avioni i avioni koji su stigli kao vojna pomoć. Na drugu godišnjicu oslobođenja Beograda, 19. oktobra 1946. poleteo je prvi domaći avion Aero-2, a 25. oktobra 1952. i prvi domaći mlazni avion – 451M. Pored ispitivanja niza aviona domaćih konstruktora, VOC u ovom periodu ispituje i veliki broj aviona, kako istočnog, tako i zapadnog porekla, što ga čini jedinstvenim u svetu. Od 1949. godine počinje ispitivanje jedrilica, od 1950. godine padobrana domaće proizvodnje, dok 1958. godine dolazi na ispitivanje i prvi helikopter S-55.

Rad VOC-a u periodu šezdesetih godina ogleda se u ispitivanju aviona znatno boljih performansi. U to vreme naše vazduhoplovstvo je raspolagalo sa dosta mlaznih aviona zapadnog porekla na kojima su vršene razne modifikacije, koje su proveravane u centru. Ovaj period obeležilo je ispitivanje savremenog

mlaznog školsko-borbenog aviona G-2 „galeb“, koji je poleteo 1961. godine, i mlaznog jurišnika „jastreb“, koji je poleteo 1965. godine. Avion „galeb“ sa pilotima VOC-a doživeo je svetsku premijeru 1963. godine na aerosalonu u Parizu, što ujedno predstavlja i prvo prikazivanje jednog našeg aviona u inostranstvu od 1945. godine.

Period sedamdesetih i osamdesetih godina karakteriše ispitivanje aviona visokih performansi, aviona za osnovnu obuku, jedrilica, velikog broja elektronskih uređaja i opreme vazduhoplova, kao i integracija novih vazduhoplovnih ubojnih sredstava. Ovaj period obeležilo je ispitivanje domaćih tipova vazduhoplova, mlaznog jurišnika „orao“ i mlaznog školsko-borbenog aviona G-4 „galeb“. U ispitivanju ovih aviona po prvi put su primenjene i verifikovane evolutivne metode ispitivanja u letu, ispitivanja aeroelastičnih pojava, a na avionu „orao“ ispitana je i električna komanda pravca (fly-by wire), kao priprema za budući veliki projekat nadzvučnog aviona.

Sumirajući celokupan rad od 1945. godine, u VOC-u su ispitana 203 tipa vazduhoplova, od čega 94 tipa domaćih aviona, 60 tipova stranih aviona, 14 tipova



Sl. 1 – Prototip školsko-borbenog aviona G-4 „galeb“

va helikoptera i 35 tipova jedrilica. Takođe, ispitano je i 102 tipa padobrana svih vrsta i veliki broj vrsta i tipova vazduhoplovnog naoružanja, elektro i elektronske opreme, vazduhoplovnih motora i sistema domaćeg i stranog porekla.

Za potrebe ispitivanja piloti VOC-a izvršili su preko 120 000 letova, a inženjeri sačinili preko 1600 izveštaja – elaborata o izvršenim zadacima ispitivanja.

### **Naučnoistraživački rad, usavršavanje i školovanje kadra u VOC-u**

Vazduhoplovni opitni centar organizovan je i namenjen za: završna, verifikaciona, homologaciona i razvojna ispitivanja, davanje stručne ocene o ispunjenju zahteva i standarda, realizaciju programa istraživanja u oblasti metoda i postupaka ispitivanja, izradu predloga uputstava pilotu i za opremu za metrološko obezbeđenje.

Osnovne delatnosti VOC-a su u oblasti vazduhoplovnotehničkih ispitivanja (VTI) i u oblasti naučnoistraživačkog rada i obuke (NIR).

Ispitivanje vazduhoplova u letu je samostalna oblast primenjenih istraživanja koja po svom karakteru predstavljaju multidisciplinarni proces koji podrazumeva angažovanje istraživača različitog profila, počevši od istraživača koji vodi konkretan program ispitivanja, istraživača koji je odgovoran za implementaciju određene metode za merenje veoma raznorodnih fizičkih i električnih veličina, pa do opitnih pilota koji realizuju određeno ispitivanje.

U početnoj fazi razvoja vazduhoplovstva obično je konstruktor aviona bio

i opitni pilot. On je letelicu usavršavao i, konačno, ocenjivao.

Davne 1931. godine prvi tehnički rukovodilac grupe kapetan inž. Kosta Sivčev školovan je u francuskom opitnom centru „Vilakuble“ kraj Pariza, koji se u to vreme ubrajao među najbolje u svetu, kao prvi stranac kome je dozvoljeno da upozna rad ove institucije. U to vreme u Parizu je boravio i naš već tada poznati vazduhoplovni stručnjak dr inž. Miroslav Nenadović, koji se sticajem okolnosti često nalazio na aerodromu „Vilakuble“, gde se bavio i problematikom svodenja rezultata ispitivanja performansi aviona na uslove standardne atmosfere.

Metode ispitivanja vazduhoplova koje su korišćene u VOG-u preuzete su iz francuskog opitnog centra.

Nakon Drugog svetskog rata osposobljavanje inženjera za zadatke ispitivanja u letu vršeno je, donekle, na bazi nekih nasleđenih znanja, kao i iskustava drugih sličnih ustanova u svetu, naravno u onoj meri koju su pružale oskudne informacije u stručnim časopisima i dostupnoj literaturi, kao i školovanja inženjerskog i pilotskog kadra u sličnim institucijama u svetu.

Tih godina profilisu se osnovne delatnosti VOC-a koje se ogledaju u razvoju, implementaciji, organizaciji i provođenju primenjenih istraživanja vezanih za vazduhoplovnotehnička ispitivanja i ispitivanja i delatnosti u oblasti naučnoistraživačkog rada i obuke baziranih, pre svega, na iskustvima svetski poznatih škola za obuku opitnih inženjera i pilota, kao što su „EPNER“ i Edwards.

U sklopu realizacije razvojnih projekata, pored aerodinamičkih ispitivanja,

vršeno je ispitivanje i pogonskih grupa vazduhoplova, kako na zemlji tako i u letu kao i ispitivanje integracije naoružanja (raketa, avio-bombi). Takođe, ispitivani su i razni sistemi vazduhoplova, kao što su gorivni i hidrosistemi, kočioni uređaji, kao i više vrsta zemaljske opreme (agregati za pokretanje aviona, hidroagregati, vučna vozila, zaustavne mreže, ...).

Tokom procesa ispitivanja više vrsta prototipova aviona u letu potvrđen je karakter primenjenih istraživanja, multidisciplinarnosti, kao i korišćenje savremenih mernih sistema za objektivizaciju ispitivanja.

Osnovni pravci primenjenih istraživanja odnose se na:

- utvrđivanje performansi domaćih i inostranih vazduhoplova;
- utvrđivanje stabilnosti i upravljivosti svih tipova vazduhoplova;
- utvrđivanje aerodinamičkih karakteristika i stabilnosti u letu vučnih i programiranih meta;
- utvrđivanje aerodinamičkih karakteristika svih vrsta padobrana;
- ispitivanje i istraživanje karakteristika svih vrsta nevođenih i vođenih avio-bombi, kao i raketa vazduh-zemlja i vazduh-vazduh;
- utvrđivanje balističkih parametara raketa i avio-bombi i izrada parametara nišanja i gađanja;
- utvrđivanje realnih karakteristika sredstava za pasivno ometanje (IC i protivradarskih mamaca);
- ispitivanje i istraživanje specijalne elektronske i električne opreme (intervalometri, sistemi za upravljanje i dr.);
- ispitivanje uslova nestabilnih režima rada motora u letu;

- ispitivanje pogonskih karakteristika klipno-elisne pogonske grupe (vučna sila);
- ispitivanje graničnih režima leta aviona;

- merenje spoljašnje buke vazduhoplova po standardu ICAO Annex 16.

Kriterijumi za ocenu performansi i kvaliteta leta pri ispitivanju vazduhoplova u letu baziraju se, pored domaćih JUS i SNO standarda i dokumenata PKP, i na korišćenju inostranih standarda (JAR, OSTIV, FAR, MIL).

Naučnoistraživačka delatnost je, pored vazduhoplovnotehničkih ispitivanja i istraživanja, vršena i kroz sledeće delatnosti:

- izradu vazduhoplovnih standarda i metroloških uputstava;
- izradu metoda i postupaka ispitivanja;
- izradu radova za naučno-stručne skupove;
- inventivnu delatnost (27 tehničkih unapređenja i jednog patenta).

Na postizanje vrlo dobrih rezultata tokom ispitivanja različitih vrsta vazduhoplova i njihovog uvođenja u naoružanje znatno je uticalo školovanje i stručno usavršavanje inženjerskog kadra u inostranstvu i na posle diplomskim studijama u zemlji.

Pored školovanja jednog opitnog pilota i inženjera u francuskoj školi „EPNER“ do sada je u inostranstvu stručno usavršavano 27 pripadnika VOC-a, od kojih je posebno značajno školovanje jednog inženjera u ruskoj akademiji „Žukovski“, kao i stručna obuka grupe inženjera za opto-teodolitski sistem „Skytrack“ u Švajcarskoj i za telemetrijski sistem „Loral“ u SAD. Takođe, vršene su stručne obuke za mernu opremu i

vođenu raketu vazduh-zemlja u Francuskoj i ispitivanje mlaznih motora u Velikoj Britaniji.

Tokom svog radnog veka veći broj stručnjaka VOC-a stekao je doktorska i magistarska zvanja na domaćim univerzitetima. Zahvaljujući postojećem stručnom kadru sa akademskim i naučnim zvanjima VOC je, prema Zakonu o vojnim školama i vojnim naučnoistraživačkim ustanovama, uveden u Registar vojnih naučnih ustanova i istraživačko-razvojnih jedinica.

Istraživačku Razvojnu jedinicu VOC-a organizaciono sačinjavaju: Organ za VTI i NIR, Sektor za vazduhoplovno-tehnička ispitivanja i Sektor za merenje i obradu podataka.

Dana 29. marta 2002. godine VOC je dobio Uverenje o osposobljenosti za ispitivanje vazduhoplova u letu (za 6 vrsta ispitivanja) od Saveznog ministarstva saobraćaja i telekomunikacija i time postao jedina ovlašćena institucija u našoj zemlji za ovu delatnost, kako za vojne, tako i za civilne aplikacije.

Započete su aktivnosti vezane za akreditaciju Laboratorije za etaloniranje i ispitivanje vazduhoplova u letu kroz sprovođenje procedure za implementaciju ISO 17025-2001 standarda.

Istraživačko-razvojni potencijal VOC-a, sa kadrovskog i materijalnog aspekta, obezbeđuje uslove za dalje proširenje istraživačke dimenzije rada i svestraniji nastup u zemlji i inostranstvu.

Sticanjem statusa istraživačko-razvojne jedinice i drugih civilnih ovlašćenja VOC je povećao odgovarajući stručni i naučni rejting u zemlji i ostvario pretpostavke za lakšu komunikaciju sa naučnim institucijama u zemlji i svetu.

### **Tehnička podrška ispitivanjima vazduhoplova u VOC-u**

Savremeni vazduhoplovi predstavljaju složene sisteme koje treba efikasno i u određenom roku ispitati na zemlji i u letu. Osnovna karakteristika ovakvih ispitivanja su merenja veoma raznorodnih električnih i neelektričnih (fizičkih) veličina. Broj parametara koji se mere prevashodno zavisi od vrste ispitivanja i obično su reda od nekoliko desetina do nekoliko hiljada podeljenih u različitim fazama ispitivanja. Ispitivanja na zemlji i u letu obično se vrše na više prototipova na kojima se raspodeljuju pojedine aktivnosti. Za objektivizaciju merenja koriste se veoma složeni multikanalni merni (akvizicioni) sistemi koji se sastoje od dva merna podsistema. Predajni podsistem se integriše na samom objektu ispitivanja, a prijemni podsistem se konfigurira kao posebna kompatibilna zemaljska stanica.

Na samom početku ispitivanja vazduhoplova u našoj zemlji, 1932. godine, za potrebe ispitivanja u Francuskoj je kupljena kompletna oprema najnovije generacije za postavljanje jedne fotoelektrične baze za merenje brzine aviona, kao i etaloninstrumenti za akviziciju i obradu podataka iz leta, kao što su brzinoмери, obrtomeri, barografi, pokretne vage za merenje mase i druga oprema.

Od tog perioda pa do današnjih dana poklanjana je velika pažnja osavremenjavanju ispitno-merne opreme nabavkom čitave palete mernih komponenata, uređaja i sistema kojima je bilo moguće meriti i registrovati najpre svega nekoliko parametara da bi se savremenim digitalnim mernim sistemima uspešno merilo

više stotina parametara. Uporedo sa ovom mernom opremom, koja se jednim delom integriše na samim vazduhoplovima i njenim kompatibilnim zemaljskim sistemima za obradu snimljenih podataka, posebna pažnja poklanjana je i mernim sredstvima za spoljna trajektografska merenja koordinata letećih objekata u vazдушnom prostoru.

Poslednje značajno osavremenjavanje ispitno-merne opreme izvršeno je nabavkom švajcarskog opto-teodolitskog sistema „Skytrack“, kao i američkog telemetrijskog sistema firme „Loral“. Time se VOC svrstao u red savremenih svet-skih opitnih centara.

Danas je VOC opremljen specijalnim akvizicionim sistemima za merenje, prijem i obradu telemetrijskih podataka sa letelice, mernim sistemom za trajektografska merenja i različitim avionskim mernim uređajima.

Tehničku podršku ispitivanjima vazduhoplova u letu u prvom redu predstavljaju:

- opto-teodolitski sistem;
- PCM/FM telemetrijski sistem koji se sastoji od avionskog mernog podsistema i kompatibilnog zemaljskog prijemnog sistema;
- računski centar;
- elektrolaboratorija za pripremu i integraciju ispitno-merne opreme na vazduhoplove;
- video i filmska laboratorija;
- avioni laboratorije.

Visokoprecizni optoelektronski sistem „Skytrack“ koristi se za merenje koordinata objekata u vazдушnom prostoru. Sistem raspolaže specijalnim softverom koji omogućuje ručni i potpuno automatski mod praćenja letećih objekata

u realnom vremenu ispitivanja, kao i posleletno sračunavanje njihovih brzina, ubrzanja i trajektorija. Bazična konfiguracija sistema sastoji se od dve teodolitske stanice, koje su u uslovima aplikacije međusobno razmeštene na rastojanju od 2 km do 10 km, i kompatibilne stanice za prijem, upravljanje, procesiranje i prezentaciju izmerenih podataka.



Sl. 2 – Optoteodolitski sistem „Skytrack“

Telemetrijski sistem PCM/FM, koji proizvodi američka firma „Loral“, u svojoj arhitekturi sadrži dva osnovna podsistema:

- merni podsistem, koji se integriše na samoj letelici, a sastoji se od određenog broja mernih pretvarača koji vrše konverziju neelektričnih veličina u proporcionalni električni signal, uređaja za multipleksiranje i digitalizovanje mernih signala, predajnika i više antena malog pojačanja putem kojih se vrši transfer podataka do odgovarajuće prijemne stanice;
- kompatibilnu telemetrijsku prijemnu stanicu, koja se sastoji od visoko-usmerene parabolične antene velikog pojačanja. Ona u konfiguraciji sa prijemnim podsistemom omogućuje prijem i veoma slabih signala sa letelica, telemetrijskog procesnog sistema koji obavlja



inverzan proces onom na letelici u smislu demultipleksiranja mernih parametara, memorisanja svih primljenih signala i njihovu prezentaciju na samoj stanici. Mobilna telemetrijska prijemna stanica omogućuje potpuno autonoman rad u terenskim uslovima i prijem i obradu podataka sa letelice udaljene 100 km. Stacionarna telemetrijska stanica omogućuje prijem, obradu i prezentaciju podataka sa vazduhoplova u realnom vremenu sa udaljenosti veće od 200 km.

Telemetrijski sistem je modularnog tipa i raspolaže specijalnim softverom za detaljnu posleletnu analizu izmerenih parametara.

Pored navedenih referentnih mernih sistema, VOC raspolaže i metrološkom laboratorijom II stepena – ML-35, čija je osnovna funkcija verifikacija, odnosno etaloniranje mernih uređaja i avionskih instrumenata. U tu svrhu raspolaže sa sekundarnim etalonima za neelektrične veličine (pritisak, ubrzanje, ugaone brzine) i električne veličine (električni napon, struja i frekvencija).

U savremenoj elektrolaboratoriji vrši se priprema mernih sistema, njihova integracija na objekat ispitivanja, kao i njihovo održavanje tokom perioda ispitivanja.



Sl. 3 – Avion „orao“ sa kamerama AVIA

vanja. Za tu svrhu koriste se savremeni laboratorijski elektronski instrumenti i uređaji za simuliranje neelektričnih veličina (programabilni multimetri, frekvencimetri, izvori napajanja, analizatori spektra, merači modulacije i snage, logički analizatori, itd.)

U procesu ispitivanja vazduhoplova u letu, a za snimanje karakterističnih detalja tog procesa, koriste se video i filmske kamere velikih brzina rada. Raspolaže se i sa više vrsta avionske videoopreme koja je kompatibilna sa telemetrijskim sistemom, kao i brzim filmskim kamerama (200 snimaka/s). Video i filmska laboratorija omogućuje obradu, analizu i arhiviranje snimljenog materijala.

Za potrebe ispitivanja VOC je opremljen vazduhoplovima – laboratorijama, kao što su:

- modernizovani „super galeb“ G-4M,
- „super galeb“ G-4,
- avion „utva“-75,
- helikopter H-45 „gazela“,
- helikopter Mi-8.

### Zaključak

Savremeni vazduhoplovi predstavljaju složene sisteme koje treba efikasno i u određenom roku ispitati sa osnovnim ciljem da se utvrdi kvalitet leta u opsegu proračunom datih ograničenja, performansi leta unutar projektovane anvelope i stabilnost i upravljivost u toku izvođenja zahtevanih manevara. Ispitivanja u letu mogu biti usmerena i ka istraživanju drugih fenomena koji se ne mogu ustanoviti na drugi način.

Ispitivanje u letu je od presudne važnosti, a s obzirom na to da je to poslednja faza stvaranja letelice, jer se samo u

realnim uslovima upotrebe mogu potvrditi svi inicijalni zahtevi projektovanja i verifikovati njene performanse uz maksimalno vođenje računa o bezbednosti ispitivanja. Ispitivanje u letu sprovodi se po tačno definisanom programu koji mora zadovoljiti veliki broj civilnih i vojnih vazduhoplovnih propisa. Specifičnost ove faze stvaranja letelice je u tome što obezbeđuje povratnu informaciju timu konstruktora o opravdanosti njihove procene ili daje prostor za alternativu u projektu. Pored toga, konstruktori stižu uvid u saglasnost projekta sa zadatim specifikacijama i ponašanju letelice u stvarnim uslovima aplikacije.

Vazduhoplovni opitni centar u Batajnici spada u red savremenih opitnih

centara. Pored vojnih aplikacija raspolaže i svim civilnim ovlašćenjima koja mu omogućuju tržišni nastup u zemlji i inostranstvu.

*Literatura:*

- [1] „Vazduhoplovni opitni centar 1933–2003“, monografija, VOC, 2003.
- [2] Filipović, Z.: Merenje neelektričnih veličina u procesu ispitivanja, magistarski rad, ETF Beograd, 1989.
- [3] Filipović, Z.: Savremeni sistemi za akviziciju informacija o relevantnim parametrima u procesu ispitivanja vazduhoplova u letu, Zbornik radova. VII Kongres JAD, Zagreb, 1985, 129–132.
- [4] Filipović, Z.: Ispitivanja vazduhoplova primenom savremenih PCM akvizicionih sistema, Zbornik radova sa naučnog skupa Vazduhoplovstvo '93. Beograd, 1993.
- [5] Filipović, Z.; Marković, M.; Pavlović, M.: PCM/FM Telemetrijski sistem za merenje parametara vazduhoplova i fizioloških karakteristika pilota, TELFOR, Beograd, 2002.
- [6] Živković, G.; Mitrović, G.; Filipović Z.: Merenje koordinata objekta u vazдушnom prostoru lasersko-teodolitskom metodom, Simpozijum o merenju i mernoj opremi, Beograd, oktobar 1998.

**Branislav Lučić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**Aleksandar Kovačević,**  
major, dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## ISPITIVANJE KVALITETA SREDSTAVA NVO I TEHNIČKIH PROIZVODA

– prikaz naučno-stručnog skupa –

Tehnički opitni centar Koptene vojske, referentna vojna naučnoistraživačka ustanova, organizovala je povodom 30. godišnjice svoga postojanja i rada naučno-stručni skup pod nazivom „*Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO i tehničkih proizvoda, metode merenja i metrološko obezbeđenje*“. Cilj održavanja ovog skupa bio je da se široj stručnoj javnosti prikažu dugogodišnja iskustva u ispitivanju složenih tehničkih sistema, podsystema, komponenta i proizvoda, stečena na ispitivanjima sredstava naoružanja i vojne opreme. Skup je održan 2. i 3. decembra 2003. godine u Domu vazduhoplovstva u Zemunu.

U Programskom odboru manifestacije bile su visoke starešine iz Ministarstva odbrane i Generalštaba Vojske SCG, profesori sa Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, predstavnici Privredne komore i Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Srbije, Zavoda za standardizaciju i nacionalnog akreditacionog tela JUAT.

Održavanje ovogodišnjeg skupa pomogli su: MC Company, Tecom electronic, UNIS Elkos TIM, Tele DAN i Rhode & Schwarz – predstavništvo Beograd.

Skup je otvorio predsednik Programskog odbora, general-major Milan Zarić, zamenik načelnika GŠ Vojske SCG. Program rada sačinjavali su uvodna plenarna

sednica, dve sekcije po tematskim oblastima i završna plenarna sednica. U okviru uvodne plenarne sednice izloženo je 6 radova po pozivu, i to:

– *Novi pravci testiranja savremenih sistema naoružanja*, general-potpukovnika dr Ivana Đokića, pomoćnika NGŠ za logistiku;

– *Projektovanje kvalitetnih promena u funkciji tehničke modernizacije Vojske*, general-majora dr Miluna Kokanovića, načelnika Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ;

– *Akreditacija i sertifikacija u Srbiji i Crnoj Gori*, dr Miloša Jelića predsednika JUAT-a;

– *Mini istorija kvaliteta u 20. veku i pogled u budućnost*, pukovnika dr Jugoslava Radulovića načelnika VKK u MO;

– *Faktori odbrambenih tehnologija u funkciji stabilnog razvoja zemlje*, profesora dr Momčila Milinovića sa Mašinskog fakulteta u Beogradu;

– *Sinteza problema optimizacije upravljanja pri praćenju, merenju ili definisanju efektivnog delovanja objekta*, pukovnika dr Branka Đedovića iz Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ.

Radovi izloženi na plenarnoj sednici izazvali su posebno interesovanje svih učesnika skupa, kojih je ove godine bilo

oko 170. Takođe, po sekcijama su se odvijale vrlo intenzivne aktivnosti, uz učešće velikog broja diskutanata. Opšti je zaključak da su svi radovi kvalitetno urađeni, kao i da su se svi izlagači vrlo dobro pripremili, tako da su izlaganja tekla u skladu sa planiranim vremenom.

Zajedno sa radovima po pozivu, 63 autora i koautora prihvaćeno je ukupno 55 radova koji su svrstani u sledeće tematske oblasti skupa:

- Ispitivanje sredstava NVO i tehničkih proizvoda (23 rada);
- Propisi, standardi i metode ispitivanja (14 radova);
- Sistem kvaliteta i akreditacija laboratorija (8 radova);
- Metrologija (4 rada).

Svi radovi odštampani su u zborniku (i na CD-u) koji je uručen učesnicima, zajedno sa propagandnim filmom o Tehničkom opitnom centru.

Najveći broj radova prezentirali su domaćini skupa, pripadnici Tehničkog opitnog centra KoV – 21, a zatim stručnjaci iz Vojne kontrole kvaliteta Ministarstva odbrane – 9, Vojne akademije – 6, iz civilnih organizacija – 5, Vojnotehničkog instituta – 3, Uprave za školstvo i obuku GŠ – 2, Vazduhoplovnog opitnog centra – 2, Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ – 2, Mašinskog fakulteta iz Beograda – 2, JUAT-a – 2 i Sektora za logistiku GŠ – 1 rad.

Na osnovu dvodnevnog izlaganja radova na naučno-stručnom skupu iskazan je poseban značaj konkretnih pitanja i oblasti koji treba da se razreše u narednom periodu sprovođenja reforme Vojske i njenih naučno-stručnih institucija, kadra i opreme neophodnih za obavljanje visokostručnih zadataka ocene kvaliteta sredstava NVO, a to su:

- zadaci sertifikacije institucija, stručnih i naučnih kadrova, izbor i formiranje odgovarajućih međunarodno priznatih kriterijuma;

- praćenje i modernizacija razvoja metoda provere i merne opreme;

- standardizacija, metrologija i usvajanje međunarodnih vojnih i civilnih standarda za ocenu kvaliteta proizvoda NVO, kao i civilnih proizvoda;

- potreba i interes za stalnim održavanjem tematskih skupova i periodičnim održavanjem generalnih skupova iz oblasti naoružanja i vojne opreme, kao i njihovo organizaciono i institucionalno objedinjavanje.

### **Trideset godina Tehničkog opitnog centra KoV**

Tehnički opitni centar (TOC) KoV formiran je 22. marta 1973. godine, a u njegov sastav ušli su ranije formirana dva poligona – Nikinci (osnovan 1951. godine) i Prevlaka (osnovan 1960. godine). Kako je TOC KoV 2003. godine obeležio značajan jubilej, 30 godina postojanja i uspešnog rada, to je bio i povod za organizaciju naučno-stručnog skupa pod nazivom „*Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO i tehničkih proizvoda, metode merenja i metrološko obezbeđenje*“. Skup je održan u vreme sprovođenja reforme Vojske SCG, kao i zahteva koji nameću potrebu da u naučno-tehničkom pogledu TOC KoV obezbedi kontinuitet naučnog rada, a znanje i iskustvo, koje poseduju njegovi pripadnici, integriše u evropske i svetske tokove odbrambenih tehnologija, i time zadrži kontinuitet u razvoju savremene i moderno opremljene vojske.

U proteklih 30 godina TOC KoV je formirao svoju laboratorijsko-poligonsku i kadrovsku bazu, izvršavajući vrlo složene zadatke ispitivanja sredstava NVO za potrebe KoV, a zatim i za potrebe RV i RM naše vojske.

Koncepcija izgradnje ustanove od samog početka bila je usmerena na razvoj i opremanje savremenih laboratorija, opremanje, edukaciju i kadrovsko jačanje stručne baze ispitivača sistema NVO koja su tih godina intenzivno razvijana za potrebe oružanih snaga.

Prvu dekadu razvoja od 1973. do 1983. godine karakteriše tehničko-tehnološki razvoj laboratorija i poligona, i njihovo opremanje sa tada najsavremenijom ispitnom opremom. U tom periodu razvijeno je 25 ispitnih laboratorija, namenjenih za ispitivanje sastavnih delova, podsklopova i sklopova borbenih sistema NVO jedinstvenih u zemlji. Laboratorije su opremljene najmodernijom opremom koja i danas čini okosnicu ispitivanja i ocenjivanja kvaliteta sredstava NVO. Takve su, na primer, laboratorije za klimo-mehanička ispitivanja, za elektromagnetske smetnje i parazitna zračenja, za ispitivanje izvora električne energije svih tipova, za metrološko potvrđivanje merne opreme, ispitivanje borbenih i neborbenih vozila, ispitivanje optoelektronskih sredstava, sredstava veze i elektronike i dr.

Znatno su prošireni poligonski sadržaji i izgrađeni savremeni vatreni položaji za ispitivanje svih tipova i vrsta klasične i raketne municije i naoružanja, sistema PVO i drugih sredstava. Nabavljeni su savremeni meri uređaji, na poligonu u Nikincima, za merenje i snimanje svih unutrašnjih i spoljnobalističkih parametara

gađanjem. Na poligonu Prevlaka izgrađene su i opremljene kinoteodolitske stanice za potrebe ispitivanja najsavremenijih sistema PVO i dr.

Razvoj i opremanje laboratorija i poligona izveli su stručnjaci TOC KoV na osnovu stečenog znanja i iskustava u praćenju savremenih svetskih dostignuća nauke i vojne tehnike.

Od samog početka postojanja ustanove učinjeni su značajni naponi da se kvalitet kadra strukturno promeni. Na početku je bilo 560 zaposlenih, od kojih sa visokom stručnom spremom 100 (18%), da bi danas broj zaposlenih iznosio 430, a 137 (ili 32%) sa fakultetskom diplomom.

Permanently usavršavanje i školovanje kadra na najpoznatijim školama i univerzitetima u zemlji i inostranstvu značajno je poboljšalo kvalitet ustanove. Do raspada SFRJ preko 30 istraživača iz TOC KoV školovalo se i usavršavalo u Francuskoj, Engleskoj, SAD, Švajcarskoj, Nemačkoj i SSSR-u. Pored sticanja znanja mnogi od njih stekli su i zvanja specijalista, magistara i doktora tehničkih nauka, a što je, takođe, važno, svoja iskustva su obogaćivali naučnim saznanjima i praksom u razvoju vojne tehnike najrazvijenijih zemalja. Stečena znanja uspešno su prenosili na generacije mladih istraživača i stručnjaka koji su u međuvremenu dolazili u TOC, i sa njima gradili i razvijali specifičnost ustanove koju danas ona ima. Nažalost, raspadom SFRJ i uvođenjem sankcija našoj zemlji taj kontinuitet je prekinut sa evidentnim posledicama zbog lišavanja mogućnosti praćenja aktuelnih tokova tehnološkog razvoja savremenog sveta.

Zahvaljujući jakoj kadrovskoj bazi, razvoju metodologije rada i ostvarenim

rezultatima za 10 godina postojanja, 10. aprila 1983. godine TOC KoV je promovisan u vojnu naučnoistraživačku ustanovu u oblasti ispitivanja i ocenjivanja sredstava vojne tehnike. Tim činom stvorene su nove obaveze, a delatnost ustanove proširena je na oblast naučnoistraživačkog rada koji se u kontinuitetu odvija pune dve decenije. Rezultati tog rada od posebnog su značaja, kako za TOC, tako i za našu vojsku. Realizacijom projekata i zadataka NIR-a usavršene su metode ispitivanja i ocenjivanja sredstava NVO, realizovani savremeni projekti koncipiranja ispitnih laboratorija jedinstvenih u zemlji, definisani kriterijumi ocene kvaliteta i, što je najznačajnije, edukacijom stvoren specifičan kadar u oblasti ispitivanja i ocenjivanja kvaliteta izuzetno složenih sistema i specifičnih proizvoda. U tom pogledu TOC KoV je jedinstvena institucija u zemlji, osposobljena da kvalifikovano i stručno ispita i oceni najsavremenije i najsloženije borbene sisteme.

Od svog osnivanja TOC KoV je započeo sa primenom svetski priznatih standarda za ispitivanje proizvoda specijalne namene. U početku su primenjivani dostupni standardi NATO, GOST i drugi MIL standardi na osnovu zahteva naručioaca iz zemlje i inostranstva, prema kojima su uspešno verifikovani proizvodi naše namenske industrije koji su izvoženi u mnoge zemlje sveta.

Poseban značaj u razvoju ustanove dat je naučnoistraživačkom radu u oblasti razvoja novih metoda ispitivanja, izrade standarda i definisanja kriterijuma za ocenu kvaliteta sredstava NVO. U oblasti ispitivanja klasičnog i raketnog naoružanja razvijeno je i uspešno primenjeno preko 250 standardizovanih metoda, u oblasti

elektronike, pored sopstvenih standarda, uspešno se koriste MIL-STD, kao i u oblasti mototehničkih i inženjerskih sredstava. Aktuelni problemi u ovoj oblasti danas su vezani za razvoj savremenih metoda i standarda u oblasti ispitivanja ABH-sredstava, grupe intendantskih sredstava i pouzdanosti i trajnosti proizvoda – sredstava. Poseban problem javlja se u oblasti harmonizacije standarda sa standardima Evropske unije i NATO. Ovi problemi uglavnom su posledica višegodišnje izolacije naše zemlje i nedostupnosti aktuelnih standarda i savremenim svetskim laboratorijama, izostanka naučnotehničke saradnje sa razvijenim svetom, kao i nedostatkom savremene materijalne baze. Delimično, stvoreni su uslovi da se ove barijere uklone, i da se znanjem i iskustvom postojećeg kadra nastavi razvoj u ovoj oblasti.

Sa svoje tri metrološke laboratorije prvog stepena TOC čini vrh ne samo vojne metrologije u oblastima kojima se bavi, već raspolaže i kadrom koji danas spada u grupu vodećih metrologa u našoj zemlji. U ovim laboratorijama izrađeni su mnogi standardi narodne odbrane i radovi koji su izlagani na najvećim naučno-stručnim skupovima i seminarima u oblasti metrologije u zemlji i inostranstvu. Značajan doprinos u NIR-u sektor metrologije dao je u edukaciji metrološkog kadra Vojske, organizaciji i formiranju novih metroloških laboratorija drugog stepena i nadzoru metrološkog sistema Vojske.

Od osnivanja ustanove, pored razvoja, posebna pažnja usmerena je na organizaciju rada koja obezbeđuje kvalitet prema najvišim standardima. Naime, TOC KoV je od samog osnivanja započeo sa primenom svetski priznatih standarda za ispitivanje

proizvoda, stvarajući paralelno sopstvenu organizaciju rada u sistemu kvaliteta. Godine 1997. doneta je odluka da se postojeći sistem kvaliteta usaglasi sa standardima serije JUS ISO-9000, da bi krajem 2001. godine bio i zvanično sertifikovan sistem kvaliteta TOC-a, čime je on ujedno postao prva vojna organizacija sa zvanično priznatom organizacijom rada prema svetskim standardima iz oblasti ispitivanja i ocenjivanja naoružanja i vojne opreme, etaloniranja i pregleda merne opreme i ispitivanja kvaliteta tehničkih proizvoda za potrebe civilnog tržišta. Sertifikovani sistem kvaliteta je garancija visokog kvaliteta usluga koje TOC pruža korisnicima iz vojske i civilnih struktura, a uskoro i inostranim partnerima.

Aktivnosti u razvoju sistema kvaliteta se nastavljaju, a sada je u toku realiza-

cija projekta prilagođavanja sistema svetskim standardima JUS ISO 9000/2000 i akreditacija laboratorija na nacionalnom nivou. Završetak ovog projekta očekuje se u 2004. godini.

Proteklih godina TOC se pokazao i uspešnim organizatorom naučno-stručnih skupova. Povodom 25 godina postojanja i rada, 1998. godine organizovana su dva naučno-stručna skupa koja su obuhvatila protivgradne raketne sisteme i ispitivanje upotrebnoeg kvaliteta mototehničkih sredstava i ocenu generalnog remonta.

S obzirom na postojeći kadar, stečena iskustva i resurse, TOC ima ambiciju da postane institucija nacionalnog karaktera u oblasti kvaliteta, koja će biti osposobljena za pružanje usluga i inostranim partnerima.

## PARTNER 2004

– Prvi sajam naoružanja i opreme –

U organizaciji *Beogradskog sajma* i JP „*Jugoimport – SDPR*“ od 04. do 07. februara održan je Prvi sajam naoružanja i vojne opreme u našoj zemlji, pod nazivom *PARTNER 2004*. Ovakvom manifestacijom namenska industrija Srbije i Crne Gore dobila je mogućnost da predstavi svoje proizvodne programe i potencijale, i na taj način aktivno se uključi u vrlo jaku utakmicu na svetskom tržištu u ovoj vrlo profitabilnoj oblasti.

Sajam je, pred velikim brojem posetilaca, otvorio načelnik GŠ Vojske SCG general-pukovnik Branko Krga, naglasivši da manifestacija *PARTNER 2004* odslikava našu privrženost principima saradnje, uspostavljanju novih odnosa i uključivanju u različite oblike integracija.

Na ovoj specifičnoj izložbi predstavljene su mogućnosti naših istraživačko-razvojnih potencijala i proizvodnih kapaciteta proizvođača naoružanja i vojne opreme. To je bila prilika da se domaćoj i inostranoj javnosti predstavi tridesetak najvećih preduzeća koja se bave poslovima iz ovih oblasti u našoj zemlji.

Preduzeće *Jugoimport SDPR* predstavilo je proizvodne programe sledećih preduzeća odbrambene industrije Srbije i Crne Gore: *Zastava Namenska* – Kragujevac, *Prvi partizan* – Užice, *Sloboda* – Ča-

čak, *Krušik* – Valjevo, *Milan Blagojević* – Lučani, *Prva iskra* – Barič, *FKS* – Jagodina, *Elektronska industrija* – Niš, *IMPA* – Zemun, *INEX UKUS* – Beograd, *JUMCO* – Vranje, *Brodotehnika* – Beograd, *Prva petoletka* – Trstenik, *Utva* – Pančevo, *DMB* – Rakovica, *LPO* – Ada, *Moma Stanojlović* – Batajnica, *Teleoptik žiroskopi* – Zemun, *FADIP* – Bečej, 4. jul – Mojkovac i *BELOM* – Beograd.

Pored ovih proizvođača na sajmu su se predstavili i konstruktori sredstava NVO, kao što je to Vojnotehnički institut, ali i institucije koje ih ispituju i testiraju – Tehnički opitni centar KoV i Vazduhoplovni opitni centar.

Sa svojim atraktivnim proizvodima i štandovima na sajmu su se predstavili i firme *Termovent* – Brza Palanka, *EDePro* – Beograd, 14. oktobar – Kruševac, *Pupin telekom* – Beograd, *Proizvodnja Mile Dragić* – Zrenjanin, *IRITEL* – Beograd, *Gepard* – Novi Sad i *Trajal* – Kruševac.

Dominantno mesto u izložbenom prostoru zauzimao je samohodni top-haubica Nora B-52, kalibra 155 mm, a veliku pažnju posetilaca privlačili su nova automatska puška M-21 kalibra 5,56 mm sa potcevnim bacačem granata kalibra 40 mm, pešadijski mitraljez 12,7 mm M-02, različito pištoljsko naoružanje (*Zastava*),



raketa 122 mm G-2000 (*EDePro*), minobacačke mine kalibra 60, 82 i 120 mm i ručne bombe M-84 i M-75 (*Krušik*), projektili za tenkovske topove kalibra 105 i 125 mm (*Sloboda*), kao i pokretna kuhinja – prikolica (*Termovent*).

Predstavljeni programi modernizacije oklopnih borbenih sredstava (*14. oktobar*) ukazali su na mogućnosti domaćih preduzeća i u ovoj, takođe, veoma konkurentnoj oblasti. Prezentirani su i proizvodni programi iz oblasti telekomunikacija (*Pupin telekom* u saradnji sa izraelskom kompanijom *Tadiran Communication*), mikroelektronike (*IRITEL*), kao i proizvodnje brizantnih eksploziva (*Prva iskra*).

Veoma atraktivni bili su štandovi na kojima su prikazane različite uniforme, zaštitni prsluci, šlemovi, sredstva za maskiranje i druga specijalna oprema (*Mile Dragić*), vojna i specijalna obuća (*Gepard*), zaštitna odeća i zaštitne maske najnovije generacije (*Trajal*).

*Vojnotehnički institut* prikazao je svoje razvojne programe (makete): prve domaće bespilotne letelice IBL-2004, mo-

dernizovani školski avion „lasta“, sistem „bumbar“, kao i uređaje za detekciju i analizu bojnih otrova, optoelektronske uređaje, prenosni sistem za identifikaciju kretanja (elektronsko obezbeđenje) i drugo.

Ovogodišnji Prvi sajam naoružanja i oprema *PARTNER 2004* nije imao samo izložbeni karakter, već je to bila prilika da se na jednom mestu nađu dosadašnji, a i budući saradnici, da razmene iskustva i sačine sporazume koji će biti značajni za predstojeći period.

S obzirom na to da je naša namenska industrija veoma uvažena u svetu, i da u okviru svojih mogućnosti i dalje prati svetske trendove, sistemi i sredstva predstavljeni na sajmu, kao što je to pešadijska puška za novi milenijum M-21, predstavljaju prvi korak u povratku industrije naoružanja Srbije i Crne Gore na svetsko tržište.

Ovogodišnji organizatori i učesnici sajma očekuju da će ova manifestacija postati tradicionalna i da će poprimiti međunarodni karakter.