

Direktor

Pukovnik  
SLAVOLJUB JOVANČIĆ

UREDIVAČKI ODBOR

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

General-potpukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

General-major  
MILAN UZELAC, dipl. inž.

General-major  
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)

Pukovnik  
SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

dr DRAGOLJUB BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr ILUJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik  
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

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

\* \* \*

Glavni i odgovorni urednik

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

Sekretar redakcije

**Zora Pavličević**  
(tel. 641-795, vojni 22-431)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.

Pretplata tel.-fax: 3612-506, žiro-račun: 40818-  
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.

Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štampa-  
rija – Beograd, Generala Ždanova 40b.

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

# 1

GODINA L • JANUAR–FEBRUAR 2002.



## SADRŽAJ

<b>Dr Vasilije Mišković,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Dr Siniša Borović,</b> general-potpukovnik u penziji redovni profesor, dipl. inž.	STATISTIČKI MODELI PROGNOZIRANJA POTRAŽNJE REZERVNIH DELOVA .....	5
<b>Dr Miljko M. Erić,</b> pukovnik, dipl. inž. Profesor <b>dr Miroslav L. Dukić,</b> <b>Ivan Pokrajac,</b> poručnik, dipl. inž.	PRIMENA METODE MUSIC ZA ODREĐIVANJE SMERA DOLASKA RADIO-SIGNALA KORIŠĆENJEM ANTEN- SKIH NIZOVA ADCOCK .....	14
<b>Mr Panto Maslak,</b> potpukovnik, dipl. inž. <b>Mr Lajoš Tot,</b> dipl. inž.	ISPITIVANJA UTICAJA SREDNJEG MASENOG UDELA AZOTA U NITROCELULOZI I VELIČINE ČESTICA MO- DIFIKATORA NA BRZINE SAGOREVANJA DVOBAZ- NIH RAKETNIH GORIVA .....	28
<b>Sc Miroslav Stojanović,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Đuro Bulajić,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Vladimir Rakić,</b> dipl. inž.	REALIZACIJA INFORMACIONOG SISTEMA ORGANA POZADINE .....	36
<b>Mr Sretko Ilić,</b> dipl. inž. <b>Docent dr Dragan Nikolić</b>	UTICAJ OKSIDACIJE AKTIVNOG UGLJA SUMPORNOM KISELINOM I IMPREGNACIJE BAKAR-SULFATOM NA SORPCIONU SPOSOBNOST GASNOG FILTRA ZA ZA- ŠTITU OD DEJSTVA AMONIJAKA .....	42
<b>Dejan Živković,</b> dipl. inž. <b>Gradimir Basarić,</b> dipl. inž. <b>Dr sc med. Stojan Jovelić,</b> pukovnik	OPŠTE VIBRACIJE NA SEDIŠTU PILOTA KOD DVA TI- PA HELIKOPTERA .....	50
<b>Dragan Petković,</b> major, dipl. inž.	ADAPTIVNI DIGITALNI FILTRI .....	61
<b>Mr Mirko Borisov,</b> potpukovnik, dipl. inž.	UTVRĐIVANJE I OTKLANJANJE DEFORMACIJA SADR- ŽAJA GEOGRAFSKIH KARATA .....	73

<b>Dejan Stojković,</b> poručnik	UPRAVLJANJE RIZIKOM PROJEKTA .....	82
<b>Dr Slavko Pokorni,</b> pukovnik, dipl. inž.	SAVREMENI AVIONSKI RADARI ZAPADNIH ZEMALJA	90

---

### PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

---

Peta generacija radio-elektronskih sistema za oružje visoke preciznosti – M. K. ....	101
Avion Su-35 naslednik Su-30 – S. V. ....	102
Letelice sa tilt-rotorom – S. V. ....	104
Klasa savremenih malih priobalnih podmornica – M. K. ....	105
Kosmički sistemi za višekratnu upotrebu – M. K. ....	106
Hemijsko-biološki detektori – M. K. ....	107

---

### TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

---

Protivavionski sistem malog dometa Tunguska-M1 – V. R. ....	109
Protivavionski sistem Pancir-S1 – V. R. ....	110
Prenosni protivtenkovski sistem Metis-M – V. R. ....	111
Protivtenkovska vođena raketa Kornet-E – V. R. ....	111
Protivtenkovska vođena raketa Konkurs-M – V. R. ....	112
Vođeni artiljerijski projektil 152/155 mm Krasnopolj-M – V. R. ....	113
Mornarički protivavionski sistem Kaštan – V. R. ....	114
Vođeni artiljerijski projektil 122 mm Kitolov-2M – V. R. ....	115
Kliver – postolja oružja na kupoli tenka – V. R. ....	116
Bojne glave Aerojet za rakete TOW 2A – M. K. ....	117
Uspešan test projektila AARGM – S. V. ....	117
Testiranje rakete Brahmos – S. V. ....	117
Modifikovana puška SA-80 – M. K. ....	118
Finsko borbena vozila 8x8 – S. V. ....	118
Dopuna zaliha raketa Tomahawk – M. K. ....	119
Lokid Martin pobednik programa JSF – S. V. ....	119
Modifikovani avioni Tornado GR4 – M. K. ....	119
Modernizacija indijskih aviona IL-38 – S. V. ....	120
Ispitivanje novog transportnog helikoptera u Iranu – S. V. ....	120
Bespilotna letelica X-47A – S. V. ....	121
Bespilotne borbene letelice sa rotorom – S. V. ....	121
Italija nabavlja bespilotne letelice Predator – S. V. ....	121
USAF počinje da ispituje Predator B – S. V. ....	122
Nova verzija helikoptera Činuk – S. V. ....	122
Avion EA-18 umesto EA-6B Prowler – S. V. ....	122
Novi korejski školsko-borbena aviona – S. V. ....	123
Modifikovani avion Prowler i dalje u upotrebi – S. V. ....	123
Ugovorena proizvodnja aviona A400M – S. V. ....	124
USAF rashoduje školske avione T-3A Firefly – S. V. ....	124
Završetak generalnog remonta nosača aviona Nimitz – M. K. ..	124
Novi radar FOPEN – S. V. ....	125

**Dr Vasilije Mišković,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija VJ, Odsek logistike,  
Beograd  
**Dr Siniša Borović,**  
general-potpukovnik u  
penziji  
redovni profesor, dipl. inž.

## STATISTIČKI MODELI PROGNOZIRANJA POTRAŽNJE REZERVNIH DELOVA

UDC: 62-7.001.26 : 519.22

### *Rezime:*

*Potražnja i obezbeđenje rezervnih delova predstavlja jedan od ključnih faktora uspešnosti sistema održavanja, a zavisi od mogućnosti prognoziranja potražnje. Postoji više grupa modela prognoziranja potražnje, a jednu čini grupa statističkih modela. U ovom radu prikazana su dva statistička modela, jedan kada ne postoje podaci o potražnji rezervnih delova u prošlosti i jedan kada ti podaci postoje. Jedan model je eksperimentalno primenjen i na osnovu dobijenih efekata može se zaključiti da daje veoma dobre rezultate.*

*Ključne reči: rezervni deo, potražnja, model, prognoza.*

---

## STATISTICAL MODELS OF SPARE PART REQUIREMENT PREDICTION

### *Summary:*

*Spare part supply is one of the key parts of effective system maintenance. A successful spare part providing depends on the possibility to predict requirements. There are several kinds of prediction models and the statistical one is one of them. In this article we present two statistical models. One model is applicable if there is no data about spare part requirements in the past. Another model is used if such data exists. The first model was experimentally verified and, considering the experimental results, we can conclude that the proposed model gives very good results.*

*Key words: spare part, requirement, model, prediction.*

---

### **Uvod**

Dobro organizovan, funkcionalan i uspešan sistem snabdevanja rezervnim delovima predstavlja jedan od osnovnih preduslova za uspešan i efikasan rad sistema održavanja. Pored toga što je nezamisliva realizacija održavanja u tehnološkom smislu, bez određenog asortima-

na i količine rezervnih delova, i u logističkom smislu postojanje određenih zaliha rezervnih delova u sistemu održavanja predstavlja jedan od osnovnih faktora njegove uspešnosti. Uticaj zaliha rezervnih delova na uspešnost održavanja može da se ispolji na dva načina. Prvi način je da ako nema rezervnog dela nema ni realizacije održavanja, odnosno neposto-

janje rezervnog dela za sredstvo u otkazu blokira rad sistema za održavanje. Drugi način ispoljavanja uticaja je čekanje na rezervni deo, što znatno produžava logističko vreme održavanja, a samim tim i ukupno vreme održavanja, odnosno, što se tiče samog sredstva, povećava se vreme u otkazu. Znači, postojanje potrebnog asortimana i količine rezervnih delova znatno utiče, a ponekad i presudno, na uspešno funkcionisanje sistema održavanja. Radi toga je veoma važno da se unapred, ukoliko je to moguće, obezbedi potreban asortiman i količina rezervnih delova.

U sistemu snabdevanja rezervnim delovima uvek se nameće nekoliko osnovnih, u suštini oprečnih problema. Prvi problem predstavlja asortiman rezervnih delova neophodnih za uspešno funkcionisanje sistema održavanja i kako ga odrediti. Drugi problem je koliko rezervnih delova, po količini i asortimanu, treba obezbediti da bi sistem održavanja sa zadovoljavajućom verovatnoćom bio podržan. Treći problem je kako smanjiti troškove rezervi rezervnih delova. Uočljivo je da će verovatnoća zadovoljenja potreba da raste sa povećanjem asortimana i količine rezervnih delova, ali je isto tako jasno da će se u tom slučaju povećavati i troškovi.

Rešavanje ovog problema zasniva se na primeni različitih metoda i modela upravljanja zalihama, koji omogućavaju da se dobiju optimalne vrednosti potrebnog nivoa zaliha, veličine narudžbe, ciklusa naručivanja, itd., ali i načina funkcionisanja sistema, odnosno politike ili strategije upravljanja zalihama. To znači da postoje metode i modeli pomoću kojih je moguće ne samo odrediti optimalne

vrednosti različitih parametara u sistemu, nego i jasno definisati politiku ili strategiju operativnog upravljanja zalihama.

Izbor i primena metoda za optimizaciju parametara i promenljivih u sistemu zaliha i modela za odlučivanje i upravljanje zalihama, najprimerenijih posmatranom sistemu, neće dati posebno dobre rezultate, ukoliko ulazne veličine nisu dobro određene. U slučaju snabdevanja rezervnim delovima, osnovnu ulaznu veličinu predstavlja potražnja rezervnih delova. Ako se zna da bez poznavanja „slike“ potražnje rezervnih delova nije moguće izvršiti ni izbor metoda i modela upravljanja zalihama, tada ova saznanja još više dobijaju na značaju.

Poznavanje potražnje rezervnih delova, radi primene u metodama i modelima upravljanja zalihama, uvek je orijentisano ka budućnosti. Poznavanje budućih stanja zasniva se na predviđanju – prognoziranju, a od uspešnosti prognoziranja zavisi mera tačnosti ulaznih veličina za odlučivanje i upravljanje. Postoje različite metode i modeli prognoziranja. U ovom radu je prikazana primena statističkih metoda za prognoziranje potražnje rezervnih delova. Primena statističkih metoda za prognoziranje potražnje rezervnih delova prikazana je više sa stanovišta praktične primene nego sa teorijskog aspekta.

Prikazana su dva statistička modela za prognoziranje, koji mogu praktično da se koriste i za rešavanje nekih drugih klasa vojnih problema, kada se radi o kvantitativnoj prognozi. Statistički modeli imaju široku primenu, tako da je veoma teško unapred navesti za koje sve klase vojnih problema mogu biti primenjeni. Zbog toga se ostavlja da svako ko rešava

konkretan problem prepozna da li su ovi modeli i metode primereni klasi rešava-nog problema.

### **Osnovni pojmovi o naučnom prognoziranju**

Naučno prognoziranje jedan je od osnovnih ciljeva naučnog istraživanja. Prognoziranje razvoja, pojava i procesa jedna je od osnova neophodnih za uspešno i pravovremeno odlučivanje.

Specifičnost naučnog prognoziranja je u tome što je okrenuto ka budućnosti. Budućnost je uvek povezana sa elementima neodređenosti i neizvesnosti, koji ne dozvoljavaju da se tačno „pogodi“ buduća situacija. Osnovni zadatak naučnog prognoziranja predstavlja raspoznavanje tendencije i logike razvoja prognoziranog procesa ili pojave, što omogućuje, u konačnom bilansu, da se smanji negativan uticaj neodređenosti i neizvesnosti neke buduće situacije na rezultate donetih odluka.

Razvoj operacionih istraživanja, i drugih metoda za optimizaciju i podršku odlučivanju, omogućava da se izaberu optimalne varijante odluka. Međutim, ma koliko metode koje pomažu u donošenju odluka, bile dobre, one će biti od male koristi ako se koriste netačni ulazni podaci. Zadatak naučnog prognoziranja jeste da se donosiocima odluke obezbedi tačnija, pouzdanija i preciznija informacija. Na taj način harmonično povezivanje savremenih metoda za optimizaciju, pomoć u odlučivanju i upravljanju, sa metodama i modelima naučnog prognoziranja i njihova primena, uz iskustvo i umešnost vojnih stručnjaka, omogućava efikasno rešavanje složenih vojnih zada-

taka. Radi toga je neophodno definisati pojedine termine, uslovno, jer kod nas još ne postoji jasno definisana terminologija.

*Prognoziranje* – istraživački proces na osnovu čijeg rezultata se dobijaju mogući podaci o budućem stanju prognozirano objekta.

*Prognoza* – konačni rezultat prognoziranja.

*Sistem prognoziranja* – sistem koji sadrži matematičke, logičke i heurističke elemente, na čiji ulaz dolazi, do vremena u kojem se vrši prognoza, postojeća informacija o prognoziranom objektu, a na izlazu se daju podaci o budućem stanju tog objekta.

Po svom sadržaju prognoze mogu biti kvalitativne i kvantitativne. Kvalitativne se mogu dobiti logičkim rasuđivanjem i kvantitativnom prognozom procesa i pojava, koji utiču na prognozirani proces. Kvantitativna prognoza je povezana sa verovatnoćom sa kojom će nastati neko zbivanje u budućnosti, i sa nekim količinskim karakteristikama tog zbivanja (matematičkim očekivanjem, disperzijom, itd.). Pri kvantitativnom prognoziranju razlikuju se tačkaste i intervalne prognoze. Tačkaste prognoze podrazumevaju ocenu matematičkog očekivanja prognoziranog parametra u zadatom budućem trenutku. Intervalna prognoza određuje razmere oblasti u kojoj će se sa zadatom verovatnoćom naći vrednost prognoziranog procesa.

*Interval posmatranja* – odsečak vremena, i (ili) granice promena drugih nezavisno promenljivih, u kojem postoje podaci o ponašanju prognozirane veličine pre sadašnjeg trenutka.

*Interval preticanja* – odsečak vremena od trenutka stvaranja prognoze do budućeg trenutka za koji se radi prognoza.

*Vreme prognoziranja* – trenutak u budućnosti za koji se radi prognoza.

U zavisnosti od intervala preticanja, prognoze mogu biti kratkoročne, srednjoročne i dugoročne. Koje prognoze pripadaju nekoj od ovih klasa zavisi od trajanja samog procesa za koji se pravi prognoza.

*Modeli vojnog prognoziranja* mogu se klasifikovati po različitim obeležjima, a u zavisnosti od vrste prognoziranog objekta mogu biti: modeli procesa oružane borbe, modeli logističke podrške, modeli funkcionisanja tehničkih sredstava, modeli razvoja proizvodnje, ekonomski modeli, demografski modeli, socijalni modeli, modeli političke situacije, itd. U zavisnosti od karaktera toka prognoziranog procesa modeli se mogu klasifikovati na modele evolutivnog i modele revolucionarnog razvoja, kao i modele koji uključuju i jedan i drugi razvoj. Oni se, takođe, klasifikuju po načinu njihovog opisa – opisni (književni) i matematički modeli. Prema matematičkom opisu modeli mogu biti analitički, numerički, simulacioni ili kombinovani, a u zavisnosti od prisustva neodređenosti dele se na determinističke ili stohastičke. Postoje i klasifikacije modela prema drugim obeležjima.

*Metode prognoziranja* su heurističke, matematičke, metode fizičkog modelovanja i kombinovane metode.

Heurističko prognoziranje vezuje se za eksperte, a u vojsci se koristi za ocenu borbene situacije, razmatranje taktike dejstva sopstvenih i protivničkih snaga, prognoziranje namera protivnika, analizu

plana operacije, donošenje odluke za plan dejstva, itd.

Metod fizičkog modelovanja obuhvata razne vežbe jedinica, ispitivanja naoružanja i vojne tehnike, itd.

Matematičke metode prognoziranja imaju svoje etape u primeni, a to su:

- izbor (ili) građenje modela prognoziranog procesa;

- proračun (eksperimenti na modelu) istraživanog procesa za zadati trenutak u budućnosti;

- analiza rezultata prognoziranja i ocena tačnosti dobijenih rezultata.

Matematičke metode dele se na metode modelovanja i metode ekstrapolacije (statističke metode).

Kombinovane metode podrazumevaju primenu svih navedenih metoda, i pri rešavanju kompleksnih zadataka najčešće se primenjuju. Jasno je da je pri rešavanju problema povezanih sa opštevojnom situacijom nezaobilazna logička analiza pri prognoziranju.

## Opis problema

Problem primene statističkih metoda za prognoziranje potražnje rezervnih delova ima različita ishodišta i različite oblike. Najpre, postavlja se pitanje mere urednosti sistema zaliha za koji se vrši prognoziranje. Urednost sistema može se posmatrati prema postojećim podacima o funkcionisanju sistema u prošlosti na osnovu kojih se može prognozirati funkcionisanje u budućnosti. Postojanje takvih podataka omogućava razvoj novih ili primenu postojećih modela prognoze koji imaju relativno veliku pouzdanost i preciznost. Međutim, i kada takvi podaci



ne postoje (nisu prikupljani) to ne znači da prognoza nije potrebna ili da se prognoziranje ne vrši, ali svakako da je preciznost i pouzdanost prognoze znatno manja nego u prethodnom slučaju. To znači da prvi problem može biti postojanje podataka (kao i njihova ažurnost i tačnost) o funkcionisanju sistema (posmatrane pojave, procesa i sl.) u prošlosti.

Drugi problem predstavlja složenost razvoja posmatrane pojave ili procesa. Pojava ili proces čiji se razvoj prognozira (u konkretnom slučaju potražnja rezervnih delova) može da bude manje ili više složena; moguće je postojanje opšte tendencije razvoja, postojanje cikličnih sezonskih i slučajnih kolebanja. U zavisnosti od složenosti razvoja zavisi i složenost samog modela i metode prognoziranja koja se primenjuje.

Rezervni delovi su po asortimanu izuzetno brojni, tako da relativno složene sredstvo poseduje oko 5000 stavki sastavnih delova. Sastavni delovi imaju različite intenzitete otkaza, tako da praktično svaka stavka ima svoju sliku potražnje. Obrada ovolikog broja podataka i prognoza potražnje za svaku stavku posebno na prvi pogled predstavlja nepremostiv problem.

Razmatrani problem je relativno složen, ali se primenom navedenih modela i metoda za njegovo rešavanje ostvaruju značajni efekti.

### **Model prognoze u relativno uređenim sistemima**

Pod relativno uređenim sistemima, u ovom radu, podrazumevaju se oni sistemi kod kojih postoje podaci o posma-

tranoj pojavi i njenom razvoju u prošlosti. Njihovo postojanje omogućava da se razviju novi ili primene postojeći modeli prognoze koji imaju relativno veliku preciznost i pouzdanost. Poznavanje velikog broja relevantnih faktora omogućava dobijanje prognoze relativno velike pouzdanosti i preciznosti, ali istovremeno uzimanje u obzir velikog broja ovih faktora na posmatranu pojavu (u ovom slučaju potražnju rezervnih delova) zahteva i primenu složenog matematičkog aparata.

Potražnja rezervnih delova može se posmatrati kao vremenska (dinamička) serija, jer se formira pod uticajem različitih dugotrajnih i kratkotrajnih faktora i različitih slučajnih uticaja. Veoma retko se dešava da se srednje karakteristike potražnje ne menjaju u vremenu. Naime, one se uglavnom menjaju zbog promene uticaja pomenutih faktora i slučajnih uticaja. Posmatranjem potražnje rezervnih delova kao vremenske serije, omogućava se primena statističkih metoda za analizu i prognozu vremenskih serija. Vremenske serije se najčešće razmatraju kao složene pojave koje su sastavljene od četiri komponente:

- osnovne tendencije razvoja pojave;
- cikličnih kolebanja;
- sezonskih kolebanja;
- slučajnih kolebanja.

Osnovna tendencija razvoja pojave izražava se funkcijom i kao takva se naziva trend, a pod osnovnom tendencijom razvoja pojave podrazumeva se njena dugotrajna evolucija. Ciklična kolebanja obuhvataju dugotrajne uticaje koji se ponavljaju, a sezonska kolebanja obuhvataju kratkotrajne uticaje na pojavu koji se ponavljaju (najčešće zavise od vremena u kojem se pojava odvija, po čemu su i do-

Izbor krive rasta prema izmeni pokazatelja zasnovanih na srednjem priraštaju

Pokazatelj	Karakter izmene pokazatelja u vremenu	Tip rasta krive	
$\bar{u}_t$	približno jednaki	prava	$y_t = a_0 + a_1 t$
$\bar{u}_t$	linearno se menjaju	parabola	$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$
$\bar{u}_t^{(2)}$	linearno se menjaju	parabola	$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$
$\bar{u}_t / \bar{y}_t$	približno jednaki	eksponencijalna	$y_t = ab^t$
$\bar{u}_t / \bar{y}_t$	linearno se menjaju	logaritamska parabola	$y_t = ab^t(c)^{-t^2}$
$\log \bar{u}_t$	linearno se menjaju	modifikovana eksponencijalna	$y_t = k + ab^t$
$\log \bar{u}_t / \bar{y}_t$	linearno se menjaju	kriva Gomperca	$y_t = k(a^b)^y$
$\log \bar{u}_t / \bar{y}_t^2$	linearno se menjaju	logistička kriva	$y_t = k/(1 + be^{-at})$

bila naziv sezonska). Slučajna kolebanja obuhvataju uticaje koji nemaju jasno izraženu zavisnost od nekih faktora. Sva ova kolebanja često su veoma izražena, tako da otežavaju uočavanje osnovne tendencije razvoja pojave.

Analiza i prognoza razvoja vremenske serije obuhvata primenu niza metoda i postupaka radi dobijanja prognozirane vrednosti. Prognoza može da bude tačkasta ili intervalna: tačkasta prognoza podrazumeva određivanje jedne vrednosti koju pojava može da poprimi u vremenu za koje se prognoza vrši, a intervalna prognoza obuhvata interval u kojem se vrednost prognozirane pojave može naći i povezana je sa verovatnoćom da se vrednost prognozirane pojave nađe upravo na tom intervalu.

Analiza i prognoza razvoja vremenske serije obuhvata primenu sledećih metoda i postupaka:

- proveru hipoteze o postojanju tendencije;
- izbor krive rasta;
- određivanje parametara krive rasta;
- ekstrapolaciju trenda.

Ovi postupci u ovom radu samo su naznačeni, jer su standardni slučajevi dobro opisani u najširoj literaturi iz ovog područja.

Za proveru hipoteze o postojanju tendencije najčešće se koriste metoda provere razlike srednjih nivoa i metoda Forestera–Stjuarta.

Metoda provere razlike srednjih nivoa sastoji se u tome da se vremenska serija podeli na dva dela, tako da se nivoi svakog od njih razmatraju kao dva uzorka. Nakon toga izračunavaju se srednji nivoi svakog od ovih delova i proverava razlika nivoa, odnosno utvrđuje se da li postoji ili ne signifikantna razlika između srednjih nivoa prvog i drugog dela vremenske serije. Hipoteza o značajnoj razlici izvodi se testom t-Studenta.

Prva navedena metoda ne daje uvek pouzdane rezultate, dok je metoda Forestera–Stjuarta pouzdana i jednostavna, a jedan broj autora preporučuje upravo njevu primenu. Nakon utvrđivanja postojanja tendencije razvoja pojave, neophodno je izabrati krivu rasta.

Izbor krive rasta predstavlja verovatno ključni element u celom postupku, jer su greške pri izboru najkrupnije greške u metodologiji statističkog prognožiranja. Krivom rasta iskazuje se (opisuje) zakonitost razvoja pojave u vremenu. Za izbor krive rasta moguća je primena metode zasnovane na karakteristikama priraštaja, a sastoji se od tri koraka: izravna-

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima

Period	Prognozirana vrednost	Stvarna vrednost	Prognozirana vrednost za naredni period
1	-	$x_1$	$y_2 = x_1$
2	$y_2$	$x_2$	$y_3 = (y_2 + x_2)/2$
3	$y_3$	$x_3$	$y_4 = (y_3 + x_3)/2$
4	$y_4$	$x_4$	$y_5 = (y_4 + x_4)/2$
.	.	.	.
.	.	.	.
i	$y_i$	$x_i$	$y_{i+1} = (y_i + x_i)/2$
.	.	.	.
.	.	.	.
n	$y_n$	$x_n$	$y_{n+1} = (y_n + x_n)/2$

vanja vremenske serije, određivanja srednjih priraštaja i određivanja niza izvedenih osobina priraštaja.

Različita kolebanja često su veoma izražena, tako da otežavaju uočavanje osnovne tendencije razvoja pojave, što uslovljava nužnost eliminacije tih kolebanja, odnosno primene postupka izravnivanja vremenske serije, a može se obaviti pomoću više metoda:

- izravnavanjem vremenske serije pomoću pokretnih sredina;
- adaptivnim pokretnim sredinama;
- eksponencijalnim srednjim vrednostima dinamičke serije.

Smanjenje uticaja cikličnih i sezonskih kolebanja omogućava lakše uočavanje tipa krive koja izražava osnovnu tendenciju razvoja pojave. Postoji više metoda za izbor krive razvoja pojave ili procesa. Uglavnom, preporučuje se da se postupak izbora krive rasta započne vizuelnom metodom, čime se znatno sužava izbor moguće krive. Međutim, ova metoda je prilično nepouzdana, pa se u opštem slučaju preporučuje metoda zasnovana na karakteristikama priraštaja, koja se može primeniti i u drugom koraku. Ova metoda se izvodi u tri etape:

- izravnavanjem vremenske serije,
- određivanjem srednjih priraštaja,
- određivanjem niza izvedenih osobina priraštaja.

U zavisnosti od karaktera izmene pokazatelja zasnovanih na srednjem priraštaju, vrši se izbor krive koja najviše odgovara dobijenim podacima.

U tabeli 1 data je preporuka za izbor krive rasta prema izmeni pokazatelja zasnovanih na srednjem priraštaju [2].

Metoda ocene parametara krive rasta zavisi od izabrane krive rasta. Najčešće se primenjuju metoda najmanjih kvadrata, metoda tri sume i metoda tri tačke, ali se sve češće primenjuju iterativne metode, čiju je praktičnu primenu omogućio razvoj računarske tehnike. Dobijanjem krive rasta, odnosno funkcije rasta, određena je teorijska vrednost pojave u vremenu. Ovu vrednost nužno je korigovati indeksima sezonskog i cikličnog odstupanja - kolebanja.

Najčešće primenjivana metoda prognoze je metoda ekstrapolacije trenda, koja daje tačkaste prognoze. Verovatnoća da će pojava u budućnosti poprimiti baš tu vrednost teži nuli. Pored toga, potrebno je znati da trend u svakom momentu karakteriše neki srednji nivo vremenske serije, a da u budućnosti treba očekivati variranje vrednosti oko trenda. Zbog toga je važno da se odredi interval vrednosti u kojem će se sa određenom verovatnoćom vrednosti posmatrane pojave nalaziti u budućnosti.

Sve metode prognoze imaju nedostatke i ograničenu primenu. Pre svega,

izbor krive kojom se opisuje osnovna tendencija razvoja pojave (trend) sadrži relativno značajnu dozu subjektivizma. Ne postoji čvrsta osnova za tvrdnju da je izabrana kriva najbolji opis trenda ili bar da je jedino moguć, a naročito ne za tvrdnju da je to najbolja kriva za ekstrapolaciju trenda. Mogući su slučajevi kada je oblik krive izabran pogrešno. Tada izabrana kriva tendenciju razvoja pojave karakteriše samo za period koji je obuhvaćen posmatranjem. Ekstrapolacija takvog trenda dovodi do grešaka koje se ne mogu unapred oceniti. Pored toga, potrebno je naglasiti da se metoda ekstrapolacije trenda zasniva na pretpostavkama da razvoj pojave sa dovoljno osnova može da se okarakteriše trendom, i da opšti uslovi koji su postojali u razvoju pojave u prošlosti u budućnosti neće pretrpeti značajne promene.

### **Model prognoze u relativno neuređenim sistemima**

Relativno neuređenim sistemima smatraju se oni kod kojih ne postoje podaci o posmatranoj pojavi i njenom razvoju u prošlosti. I pored toga što navedeni podaci ne postoje, postoji potreba za prognozom potražnje rezervnih delova radi donošenja odluka i upravljanja zalihama. To se, prevashodno, odnosi na period prelaska iz stanja neuređenog u stanje uređenog sistema. U ovom slučaju prognoza ima ograničen karakter. Naime, može se vršiti prognoziranje za duži period, jer se prognoza svodi samo na navedeni relevantni interval.

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima, koji je vrlo jednostavan, prikazan je u tabeli 2. Model ne uzima u obzir složenost razvoja pojave, jer

ona nije ni poznata. Kao što se vidi, od momenta početka praćenja pojave i formiranja prognoze, na prognozu više utiču noviji podaci, a što su stariji imaju manji uticaj. Ovaj model prognoze ima relativno spor odziv na promene, što znači da je pogodniji za prognozu pojava koje imaju stabilniji razvoj. Kao veoma jednostavan, sigurno je da model ne uzima u obzir mnogo faktora, i da postoji veliki broj primedbi koje mu se mogu uputiti.

Međutim, kako praktično na početku prognoziranja ne postoje nikakvi podaci o pojavi, to se ovaj model svrstava u retke koji se mogu primeniti u ovako nametnutim uslovima. Sistem u kojem ne postoji praćenje stanja sigurno je neuređen i po većini drugih elemenata, a ne samo u vezi sa praćenjem stanja, pa se moglo očekivati da primena ovog modela daje određene efekte.

Ovaj model prognoze potražnje rezervnih delova je eksperimentalno primenjen u kombinaciji sa isto tako jednostavnim modelom upravljanja zalihama u priručnom skladištu rezervnih delova jedne radionice, u periodu od dve godine. Primena modela omogućila je da se vrednost zaliha (novčani iznos) smanji za oko 60% u odnosu na početno stanje, a istovremeno da se koeficijent snabdevenosti poveća dva puta. Ovaj primer pokazuje da su efekti primene na neuređenim sistemima veći nego što se moglo očekivati.

### **Problemi primene prikazanih modela**

Osnovni problem primene prikazanih modela jeste u tome što svaki rezervni deo ima svoj intenzitet otkaza, odnosno da je za svaki deo potrebno sprovesti

kompletan postupak. Ako je broj sastavnih delova prosečno složenog sredstva, kao što je već navedeno oko 5000, a uz postojanje velikog broja sredstava, sprovođenje postupka prognoze ekstrapolacijom trenda bio bi praktično neizvodljiv i uz primenu najsavremenije informatičke tehnologije. Primena drugog modela, koji je relativno jednostavan, uz primenu računarske tehnike, nema nekih posebnih ograničenja, ali su i rezultati neprecizni i nepouzdan. Ovaj model je primenljiv prvenstveno u neuređenim sistemima.

Međutim, analiza pokazuje da u većini slučajeva od 80 do 90% sastavnih delova sredstva u VJ ima duži vek trajanja od samog sredstva, odnosno da u toku životnog veka sredstva ovi sastavni delovi uopšte ne otkazuju, a da 10 do 15% sastavnih delova ima samo retke slučajne otkaze (postoptimalna analiza normativa rezervnih delova), odnosno otkazi su slučajnog karaktera.

Preostaje da se ovaj postupak primeni na 2 do 4% sastavnih delova po sredstvu, što ne predstavlja veliki problem uz automatizaciju postupka. Određivanje rezervnih delova na koje treba primeniti postupak ekstrapolacije trenda moguće je pomoću drugog modela. Sprovođenjem postupka po drugom modelu za postojeće podatke dobija se prognoza. Za one rezervne delove za koje prognoza u dužem vremenskom periodu teži nuli, nema potrebe vršiti prognozu ekstrapolacijom trenda, pa ni prognozu uopšte.

## Zaključak

Prognoza potražnje rezervnih delova obavlja se neprestano u svim skladiš-

tima, radionicama i na svim nivoima snabdevanja. Bez prognoze potražnje nije moguće vršiti bilo kakvo planiranje ni odlučivanje, jer predstavlja ulazni podatak za određivanje nivoa zaliha, veličine narudžbe, ciklusa naručivanja, itd. Pitanje koje se postavlja jeste – kolika je pouzdanost i preciznost prognoze i kakvi su efekti. Prognoziranje „po osećaju“ nije za odbacivanje, ukoliko ne postoji ništa bolje, ali se u tom slučaju mora prihvatiti da postoji mnogo promašaja koji izazivaju bespotrebno nagomilavanje nekih rezervnih delova, a istovremeno i hroničnu nestašicu drugih rezervnih delova. To znatno povećava troškove, a ne omogućava zadovoljavajuću snabdevenost rezervnim delovima.

Ponudeni modeli su primenljivi, drugi prikazani model je čak i eksperimentalno proveren i dobijeni su veoma dobri rezultati. Pored prikazanih, postoje i drugi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova, a njihova valjanost uvek može da se oceni. Sigurno je da su jedni modeli bolji od drugih u primeni u konkretnim slučajevima, ali je sigurno i to da je primena bilo kojih verifikovanih metoda i modela bolja od prepuštanja sistema stihijskom funkcionisanju.

### Literatura:

- [1] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1981.
- [2] Vukadinović, S., Popović, J., Teodorović, D.: Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.
- [3] Paket rezervni delovi, KTOB, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [4] Čujev, J. V., Mihajlov, J. B.: Prognoziranje u vojsci (prevod sa ruskog), VIZ, Beograd, 1980.

**Dr Miljko M. Erić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojnotehnički institut VJ,  
Beograd  
**Profesor**  
**dr Miroslav L. Dukić,**  
Elektrotehnički fakultet,  
Beograd  
**Ivan Pokrajac,**  
poručnik, dipl. inž.  
VP 4522, Batajnica

## PRIMENA METODE MUSIC ZA ODREĐIVANJE SMERA DOLASKA RADIO- -SIGNALA KORIŠĆENJEM ANTENSKIH NIZOVA ADCOCK

UDC: 621.391.883 : 621.396.677.6] : 519.86

### Rezime:

*Analiziran je problem procene smera dolaska radio-signala metodom MUSIC korišćenjem antenskih nizova ADCOCK. Formulisan je matematički model signala na antenskom nizu ADCOCK. Izvedene su relacije između vektora prostiranja ADCOCK i vektora prostiranja ukupnog antenskog niza (niza od koga se ADCOCK-ov niz formira). Definisana je kriterijumska funkcija algoritma MUSIC i funkcija neodređenosti antenskog niza ADCOCK. Prikazani su rezultati simulacije, kao i rezultati praktične verifikacije mogućnosti primene metode MUSIC na antenske nizove ADCOCK.*

*Ključne reči: radio-izvidanje, radio-goniometrisanje, digitalna obrada signala, antenski nizovi.*

---

## APPLICATION OF THE MUSIC METHOD FOR DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION USING THE ADCOCK ANTENNA ARRAYS

### Summary:

*The MUSIC based Direction of Arrival estimation using the ADCOCK antenna arrays is considered. Starting from signal model formulation, the cost function of the MUSIC algorithm and the ambiguity functions for the ADCOCK antenna array have been formulated. Some simulation results and some preliminary results of the verification in practice are presented.*

*Key words: radio-reconnaissance, direction finding, digital signal processing, antenna arrays.*

---

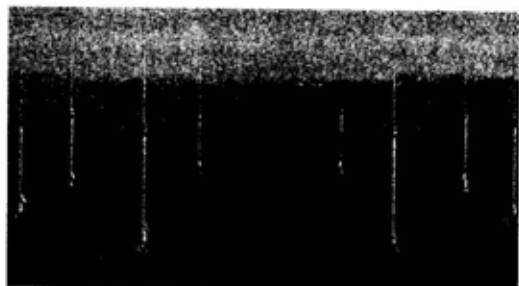
### Uvod

Antenski nizovi ADCOCK koriste se u kombinaciji sa WWAT-ovom metodom za goniometrisanje [1], koju je predložio Watson-Watt 1926. godine. Uprkos tome što se radi o relativno staroj metodi, ova metoda za goniometrisanje i danas se često koristi. Antenski nizovi ADCOCK izrađuju se u stacionarnim, polustacionarnim i mobilnim varijantama, kako za potrebe radio-goniometara

za VF frekvencijski opseg, slika 1 [2], tako i za VVF/UVF opseg (naročito za mobilne varijante goniometara), slika 2 [2].

Antenski nizovi ADCOCK su nizovi ekvidistantne kružne geometrije sa  $L = 4n$  antena u nizu, ( $n$  – prirodan broj), sa adapterom ADCOCK na izlazu, koji obavlja linearnu transformaciju signala neposredno sa izlaza  $L$  antena, slika 3.

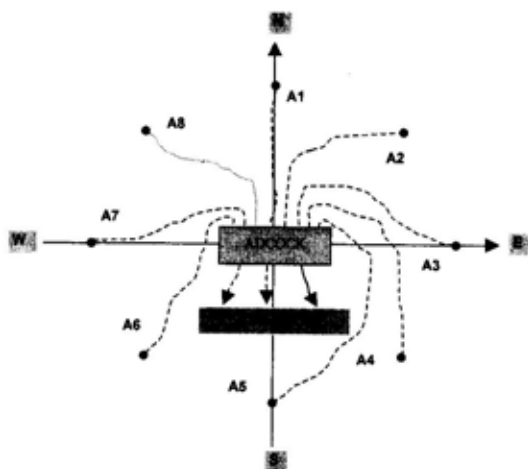
Rezultat te transformacije su tri signala na izlazu adaptera ADCOCK:  $[u^{NS}(t)]$



Sl. 1 – Fotografija polustacionarnog ADCOCK antenskog niza AK 1205 firme Telefunken za VF frekvencijski opseg



Sl. 2 – Fotografija mobilnog ADCOCK antenskog niza AK 1206 firme Telefunken za VVF/UVF opseg



Sl. 3 – Antenski niz ADCOCK od  $L = 8$  antena

$u^{EW}(t)$   $u^{\Sigma}(t)$ ]. Prva dva signala [ $u^{NS}(t)$   $u^{EW}$ ] međusobno su u kvadraturi. Dovođenjem ovih signala (direktno ili nakon translacije na nisku međufrekvenciju) na x, odnosno y pločice osciloskopa direktno se realizuje procena pravca. Treći signal koristi se kao dodatni signal za jednoznačno određivanje smera. Antenski nizovi ADCOCK spadaju u kategoriju antenskih nizova sa malim otvorom, kako bi se zadovoljile neke pretpostavke vezane za matematički model na kojem se zasniva WWAT-ova metoda koja daje trenutnu (*instantaneous*) procenu smera, i to je jedan od razloga njene rasprostranjenosti. S obzirom na to da se kod WWAT-ove metode ključna transformacija signala antenskog niza vrši u adapteru, ADCOCK osnovni tehnički problem kod radio-goniometra na bazi WWAT-ove metode povezan je sa postupkom kalibracije prijemnih kanala. WWAT-ova metoda ne omogućava određivanje elevacije već samo azimuta dolaska signala. Ukoliko se izvor radio-signala i antenski niz ne nalaze u istoj ravni, tada dolazi do tzv. visinske greške koja se uzima u obzir kroz korekzione tabele.

U ovom radu prezentovana je teorijska osnova primene metode MUSIC (Multiple Signal Classification) [3, 4], na antenske nizove ADCOCK. Metoda MUSIC spada u kategoriju metoda tipa „subspace“ i predstavlja temelj čitave jedne klase algoritama za digitalnu obradu signala. Omogućava procenu parametara viševremenski i spektralno preklapljenih signala koji su istovremeno aktivni u istom kanalu (vremenskom intervalu i frekvencijskom podopsegu), što klasične metode za goniometrisanje ne omogu-

čavaju, pri čemu je posebno važna procena smera dolaska signala (azimuta i elevacije). Na osnovu ove metode u VTI VJ u proteklom periodu uspešno je razvijen radio-goniometar za VVF/UVF opseg [5, 6], koji je usvojen kao sredstvo NVO. U sklopu teorijskog razmatranja ove metode, u [4, 5] razraden je postupak za *automatsku identifikaciju informacionih kanala*, što predstavlja jedan od ključnih problema automatizacije procesa pretraživanja i analize radio-frekvencijskog spektra. Na osnovu određenog postupka predložena je procedura za razvrstavanje emisija sa frekvencijskim skakanjem, [7, 8]. Takođe, formulisano je nekoliko originalnih algoritama tipa MUSIC za združenu procenu parametara multikorisničkih asinhronih signala DS CDMA [9, 10, 11, 12]. Stečena su prilično značajna, kako teorijska, tako i praktična iskustva vezana za ovu metodu.

Koliko je autorima poznato, u dostupnoj literaturi nema radova koji su vezani za primenu metode MUSIC na antenske nizove ADCOCK, niti su poznata tehnička rešenja goniometara na bazi primene metode MUSIC korišćenjem antenskih nizova ADCOCK.

U čemu se sastoji problem primene metode MUSIC na antenske nizove ADCOCK? U svim teorijskim radovima, koji su vezani za metodu MUSIC, polazi se od pretpostavke da iza svake antene postoji prijemni kanal koji, u suštini, predstavlja *IQ demodulator/down konvertor*. Teorijski je poznato da se povećanjem broja antena u nizu poboljšavaju performanse metode MUSIC (kao i svih ostalih metoda za procenu smera) u pogledu tačnosti procene smera, kao i u pogledu rezolucionih svojstava. U praksi je relativ-

no teško obezbediti prijemni sistem sa proizvoljno velikim brojem prijemnih kanala. Kod ADCOCK antenskih nizova posredstvom ADCOCK adaptera koristi se antenski niz od  $L = 4n$  antena, a prijemni sistem je trokanalni. Ključ za primenu metode MUSIC na antenske nizove ADCOCK predstavlja, u teorijskom smislu, definisanje analitičkih relacija između transfer-funkcija (*array manifold*), ili između vektora prostiranja (*steering vectors*) ukupnog antenskog niza (niza od  $L = 4n$  antena) i antenskog niza ADCOCK (ekvivalentnog troelementnog antenskog niza) [13, 14].

Osnovni motivi za istraživanje ovog tehničkog problema proistekli su iz praktičnih razloga i potreba. Postavlja se problem realizacije konceptijski i tehnološki savremenog tehničkog rešenja radio-goniometra na osnovu metode MUSIC ili multifunkcionalnog rešenja (MUSIC + WWAT) koje bi se zasnivalo na korišćenju raspoložive (preostale) antenske infrastrukture ADCOCK (antene, umerene kablovske sekcije, adapter ADCOCK). Pored toga, od posebnog je interesa dogradnja novih funkcionalnih mogućnosti u odnosu na rešenje koje se zasniva na WWAT-ovoj metodi, kao što je mogućnost određivanja elevacije, što je od posebnog interesa sa aspekta realizacije tzv. *single station radio-goniometara za VF frekvencijski opseg*.

### **Matematički model signala na antenskom nizu ADCOCK**

Kružni antenski niz od  $L = 4n$  antena (bez adaptera ADCOCK) uslovno se može smatrati ukupnim antenskim nizom. Pod pojmom *antenski niz AD-*



COCK u radu se podrazumeva ukupni antenski niz + adapter ADCOCK.

Matematički model signala, na ukupnom antenskom nizu od  $L$  antena, može se izraziti na sledeći način:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ \vdots \\ x_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}(\theta, \varphi) & a_{12}(\theta, \varphi) & \cdots & a_{1K}(\theta, \varphi) \\ a_{21}(\theta, \varphi) & a_{22}(\theta, \varphi) & \cdots & a_{2K}(\theta, \varphi) \\ a_{31}(\theta, \varphi) & a_{32}(\theta, \varphi) & \cdots & a_{3K}(\theta, \varphi) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{L1}(\theta, \varphi) & a_{L2}(\theta, \varphi) & \cdots & a_{LK}(\theta, \varphi) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ \vdots \\ n_L(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adapter ADCOCK obavlja linearnu transformaciju signala sa izlaza ukupnog antenskog niza. Matematički model signala na antenskom nizu ADCOCK (odnosno signala na izlazu adaptera ADCOCK), može se predstaviti u sledećem obliku:

$$\begin{bmatrix} x^{NS}(t) \\ x^{EW}(t) \\ x^{\Sigma}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1^{NS}(\theta, \varphi) & a_2^{NS}(\theta, \varphi) & \cdots & a_K^{NS}(\theta, \varphi) \\ a_1^{EW}(\theta, \varphi) & a_2^{EW}(\theta, \varphi) & \cdots & a_K^{EW}(\theta, \varphi) \\ a_1^{\Sigma}(\theta, \varphi) & a_2^{\Sigma}(\theta, \varphi) & \cdots & a_K^{\Sigma}(\theta, \varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_K(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n^{NS}(t) \\ n^{EW}(t) \\ n^{\Sigma}(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

ili u matricnom obliku na sledeći način:

$$\mathbf{x}^{ADCOCK}(t) = \mathbf{A}^{ADCOCK} \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}^{ADCOCK}(t), \quad (3)$$

gde je:  $\mathbf{x}^{ADCOCK}(t) \in C^{3 \times 1}$  – vektor signala na izlazu antenskog niza ADCOCK,

$\mathbf{A}^{ADCOCK} \in C^{3 \times K}$  – matrica odziva antenskog niza ADCOCK na  $K$  superponiranih radio-signala,

$\mathbf{s}(t) \in C^{K \times 1}$  – vektor kompleksnih anvelopa radio-signala u koordinatnom početku,

$\mathbf{n}^{ADCOCK}(t) \in C^{3 \times 1}$  – vektor šuma na antenskom nizu ADCOCK.

Kolone matrice  $\mathbf{A}^{ADCOCK}$  su **vektori prostiranja** antenskog niza ADCOCK koji imaju opšti oblik:

$$a_i^{ADCOCK}(\theta, \varphi) = [a_i^{NS}(\theta, \varphi) a_i^{EW}(\theta, \varphi) a_i^{\Sigma}(\theta, \varphi)]^T \quad (4)$$

gde simbol  $T$  označava transpoziciju.

$$a_i^{NS}(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^{L/4} [a_{mi}(\theta, \varphi) - a_{(L/2+m)i}(\theta, \varphi)] - \sum_{m=L/4+2}^{L/2} [a_{mi}(\theta, \varphi) - a_{(L/2+m)i}(\theta, \varphi)] \quad (5)$$

$$a_i^{EW}(\theta, \varphi) = \sum_{m=2}^{L/2} [a_{mi}(\theta, \varphi) - a_{(L/2+m)i}(\theta, \varphi)] \quad (6)$$

$$a_i^{\Sigma}(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^L a_{mi}(\theta, \varphi) \quad (7)$$

Jednačine (5), (6) i (7), u suštini, modeliraju transformaciju transfer-funkcije (*array manifolda*) ukupnog antenskog niza u transfer funkciju (*array manifolda*) antenskog niza ADCOCK, koju obavlja adapter ADCOCK. Transfer-funkcija (*array manifolda*) antenskog niza predstavlja kontinuum svih mogućih vektora prostiranja antenskog niza, i zavisi od frekvencije, geometrije antenskog niza, azimuta i elevacije.

Jasno je, dakle, da antenski niz ADCOCK ima stepen slobode 2, za razliku od ukupnog antenskog niza koji ima stepen slobode  $L-1$ . To znači da se antenskim nizom ADCOCK mogu prostorno razdvojiti najviše do  $K=2$  signala koja se vremenski i spektralno preklapaju.

### Formulacija kriterijumske funkcije metode MUSIC za antenski niz ADCOCK

Kriterijumska funkcija metode MUSIC, primenjena na antenski niz ADCOCK, ima oblik:

$$P_{MUSIC}^{ADCOCK}(\theta, \varphi) = \frac{\alpha^{ADCOCK}(\theta, \varphi)^* \alpha^{ADCOCK}(\theta, \varphi)}{\left| \alpha^{ADCOCK}(\theta, \varphi)^* E_n^{ADCOCK} \right|^2} \quad (8)$$

gde je  $E_n^{ADCOCK}$  matrica potprostora šuma, koja se dobija na poznati način iz kovarijacione matrice signala antenskog niza ADCOCK, koja se može proceniti na osnovu  $N$  raspoloživih vremenskih realizacija vektora  $x^{ADCOCK}(n\Delta t)$  na sledeći način:

$$R_x^{ADCOCK} = 1/N \sum_{n=1}^N x^{ADCOCK}(n\Delta t) x^{ADCOCK}(n\Delta t)^*$$

Simbol \* označava konjugovano-kompleksnu transpoziciju. Nepoznati smerovi dolaska  $\{\theta_k, \varphi_k\}$ ,  $k = 1, K$  određuju se kao argumenti od  $K \leq 2$  maksimuma funkcije  $P_{MUSIC}^{ADCOCK}(\theta, \varphi)$ .

### Karakteristike neodređenosti antenskog niza ADCOCK

Karakteristike neodređenosti predstavljaju značajnu karakteristiku bilo kog antenskog niza, jer predstavljaju kvalitativnu meru potencijalnih rezolucionih svojstava pri razdvajanju prostorno bliskih predajnika. S druge strane, na osnovu funkcije neodređenosti može se predvideti nivo i pozicija neželjenih (*spurious*) pikova pri proceni smera bilo kojom metodom, koji nisu algoritamski specifični već su posledica karakteristika neodređenosti (geometrije) antenskog niza.

Funkcija neodređenosti tipa I definisana je kao kvantitativna normalizovana mera kolinearnosti dva vektora prostiranja za različite normalizovane frekvencije, azimute i elevacije [15].

Karakteristike neodređenosti antenskog niza dominantno su određene njegovom geometrijom. Linearni antenski nizovi poseduju neodređenost i po azimutu i po elevaciji, i zbog toga nisu pogodni za praktičnu primenu. Karakteristike neodređenosti ovakvih nizova mogu se teorijski predvideti, odnosno analitički izraziti. Planarni antenski nizovi (kakav je antenski niz ADCOCK) omogućavaju jednoznačno određivanje azimuta i elevacije u polulopti. Prostorni antenski nizovi omogućavaju jednoznačno određivanje azimuta i elevacije u čitavoj sferi. Funkcija neodređenosti tipa I predstavlja veoma koristan alat za procenu karakteristika neodređenosti neuniformnih antenskih nizova (linearnih, planarnih ili prostornih), zbog toga što se karakteristike neodređenosti ovakvih antenskih nizova teško mogu izraziti u analitičkom obliku.

Funkcija neodređenosti tipa I antenskog niza ADCOCK može se izraziti na sledeći način:

$$\chi^{\text{ADCOCK}'_y} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i, \theta_j, \varphi_j) = \frac{\alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i) * \alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_j, \varphi_j)}{\| \alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i) \| \| \alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_j, \varphi_j) \|} \quad (9)$$

gde je:  $f_c$  – centralna frekvencija,  $f_A$  – karakteristična (granična) frekvencija antenskog niza za koju je ispunjen Nikvistov kriterijum za prostorno uzorkovanje talasnog fronta signala,  $\theta_p$ ,  $\varphi_i$  – azimut i elevacija, a  $\| \cdot \|$  – označava normu a vektora.

Ukoliko su vektori prostiranja kolinearni za različite skupove parametara

$\{f_c / f_A, \theta_p, \varphi_j\}$ , po tim parametrima poseduju neodređenost koja se manifestuje kao višeznačna procena smera pri primeni bilo koje metode za goniometrisanje.

Funkcija neodređenosti tipa II, [16], antenskog niza ADCOCK može se izraziti na sledeći način:

$$\chi^{\text{ADCOCK}''_y} (\omega_c / \omega_A, \theta_i, \varphi_i) = \frac{\alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i) * \hat{E}_s^{\text{ADCOCK}} \hat{E}_s^{\text{ADCOCK}'} \alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i)}{\| \alpha^{\text{ADCOCK}} (f_c / f_A, \theta_i, \varphi_i) \|} \quad (10)$$

gde  $E_s^{\text{ADCOCK}}$  predstavlja matricu potprostora signala, koja se dobija na način opisan u [16].

Na osnovu funkcije neodređenosti tipa II može se predvideti nivo neželjenih pikova pri proceni smera, u situaciji kada na antenski niz dolazi više signala istovremeno.

## Rezultati simulacije

Analiziran je antenski niz ADCOCK od  $L = 8$  antena, prema slici 3.

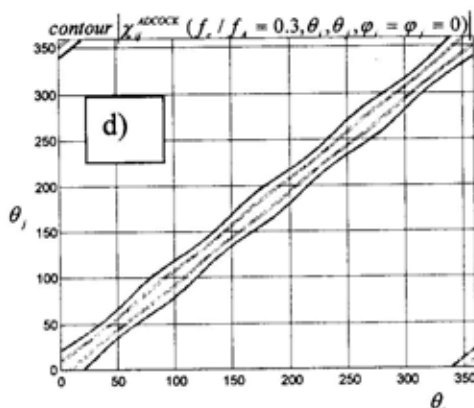
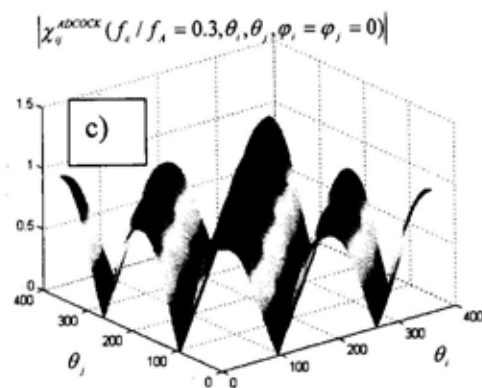
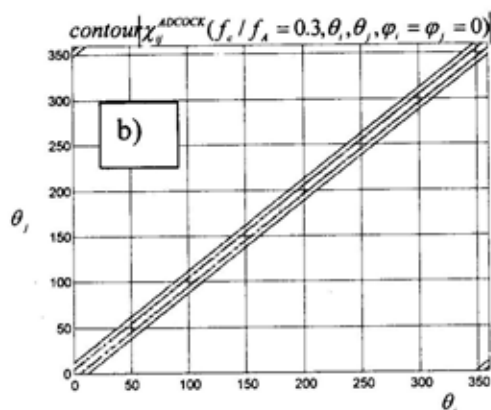
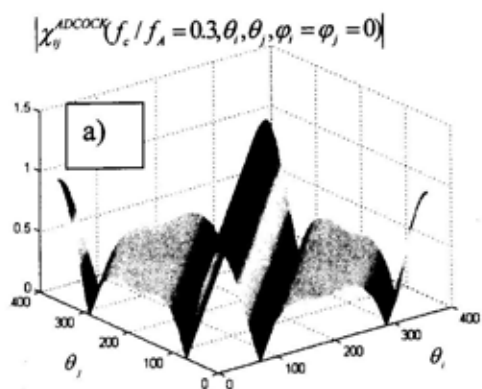
Na slikama 4a i 4c prikazane su funkcije neodređenosti, a na slikama 4b i 4d konture funkcija neodređenosti tipa I po azimutu za elevaciju od  $0^\circ$  za ukupni, odnosno antenski niz ADCOCK respektivno. U svim primerima, konture su ra-

čunate za vrednosti funkcije neodređenosti u opsegu od 0,95 do 1.

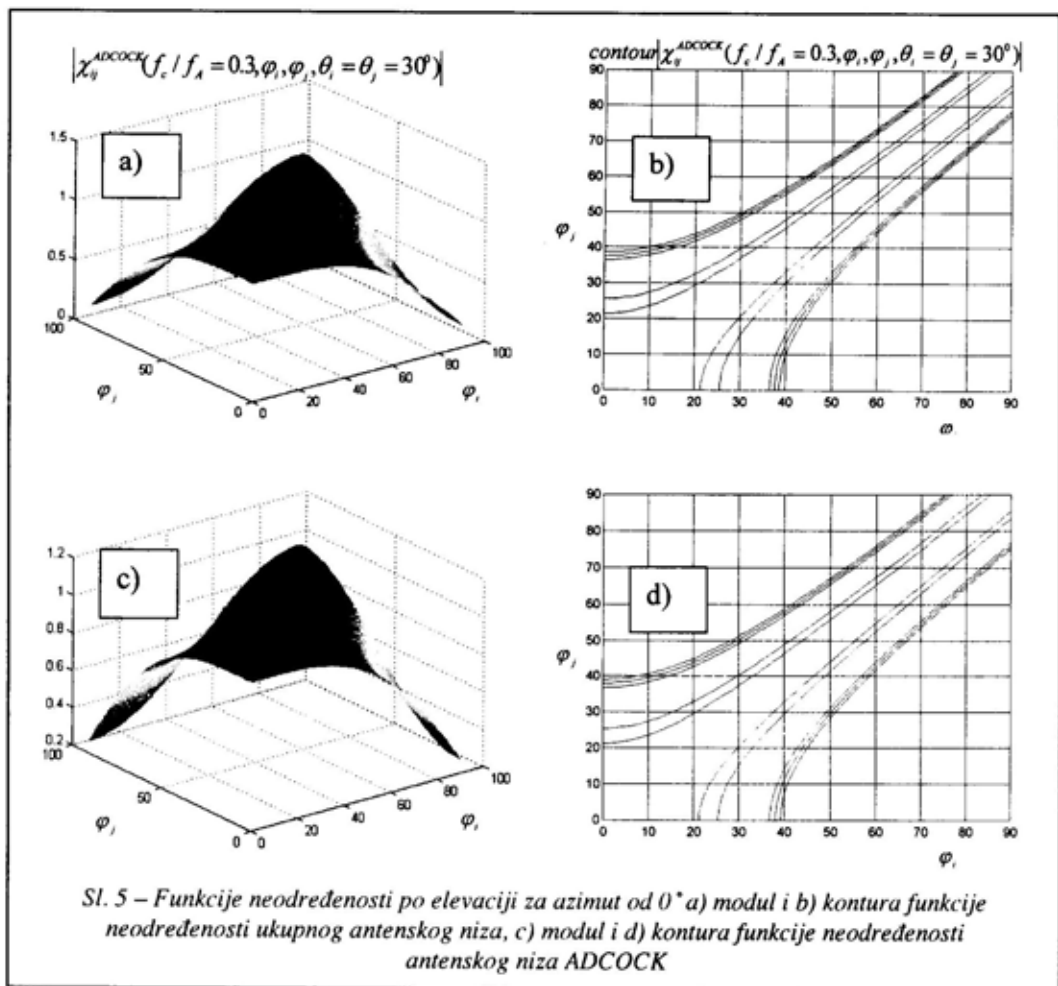
Na slikama 5a i 5c prikazane su funkcije neodređenosti, a na slikama 5b i 5d konture funkcija neodređenosti tipa I po elevaciji za azimut od  $30^\circ$  za ukupni odnosno antenski niz ADCOCK respektivno.

Sa slika 4 i 5 može se zaključiti da antenski niz ADCOCK ima neznatno lošije karakteristike neodređenosti od ukupnog antenskog niza.

Na slikama koje slede prikazani su uporedni rezultati procene smera WWAT-ovom metodom i metodom MUSIC dobijeni simulacijom. U prvom primeru na antenski niz ADCOCK od 8 antena dolazi sinusni signal na normalizovanoj centralnoj frekvenciji  $f_c / f_A = 10/32$



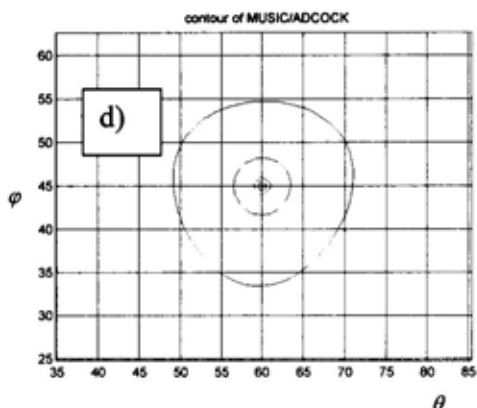
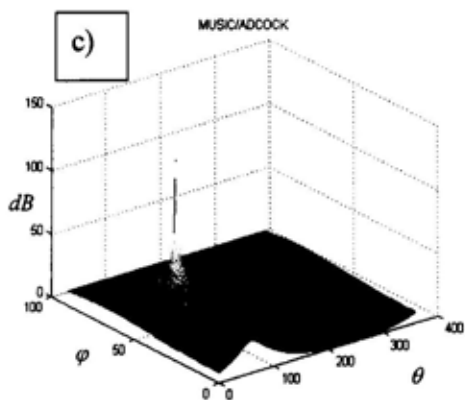
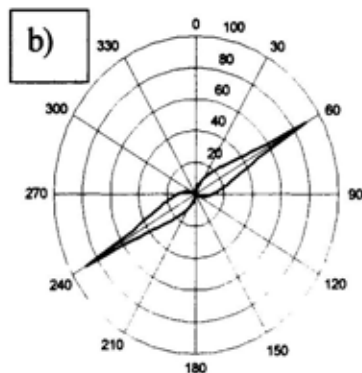
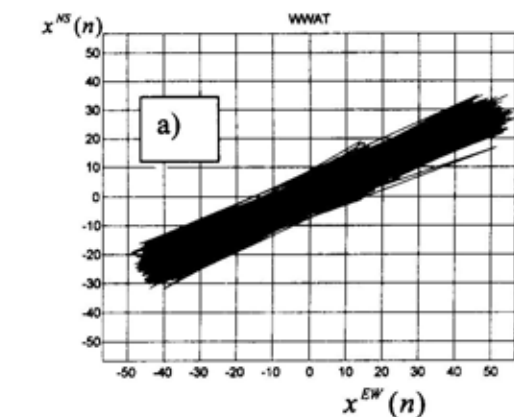
Sl. 4 – Funkcije neodredenosti po azimutu za elevaciju od 0 stepeni: a) modul i b) kontura funkcije neodredenosti ukupnog antenskog niza, c) modul i d) kontura funkcije neodredenosti antenskog niza ADCOCK



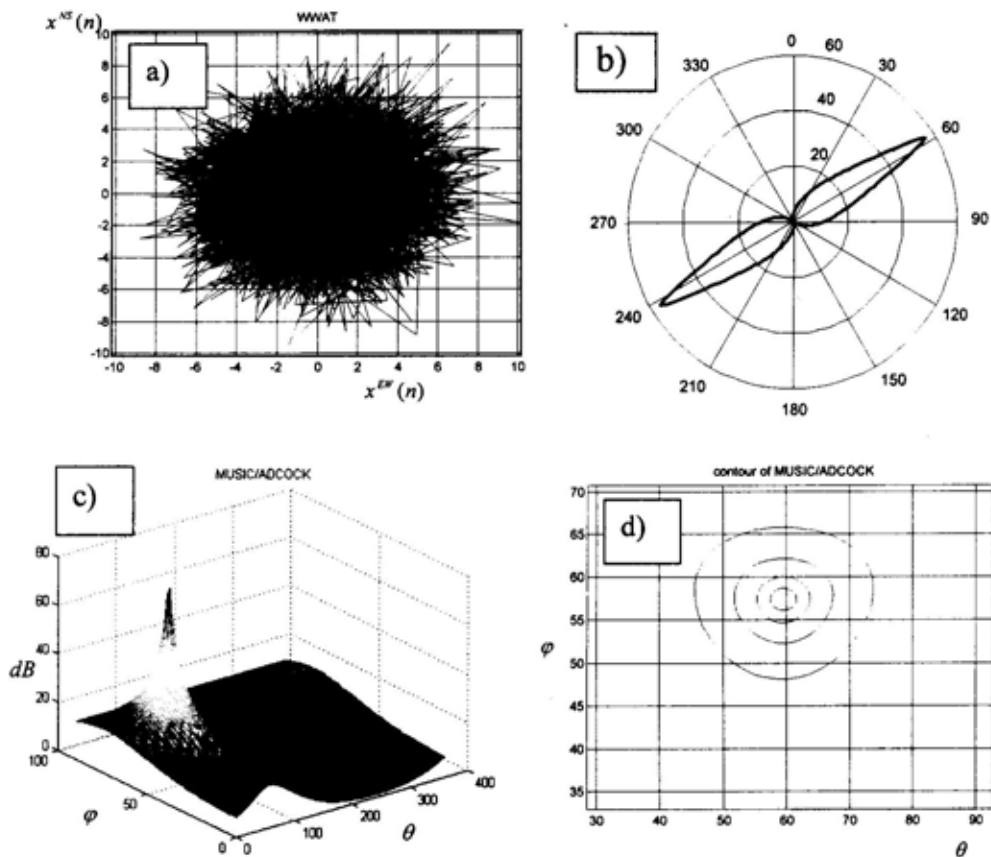
pod azimutom od  $60^\circ$  i elevacijom od  $45^\circ$ . Odnos signal/šum je 20 dB, a broj uzoraka signala  $N = 8192$ . Na slici 6a prikazana je procena pravca WWAT-ovom metodom, a na slici 6b procena pravca metodom MUSIC. Na slici 6c data je procena azimuta i elevacije, a na slici 6d kontura azimuta i elevacije korišćenjem metode MUSIC.

U drugom primeru simuliran je identični scenario kao u prethodnom slučaju, s tim što je odnos signal/šum  $-10$  dB. Na slici 7a prikazana je procena

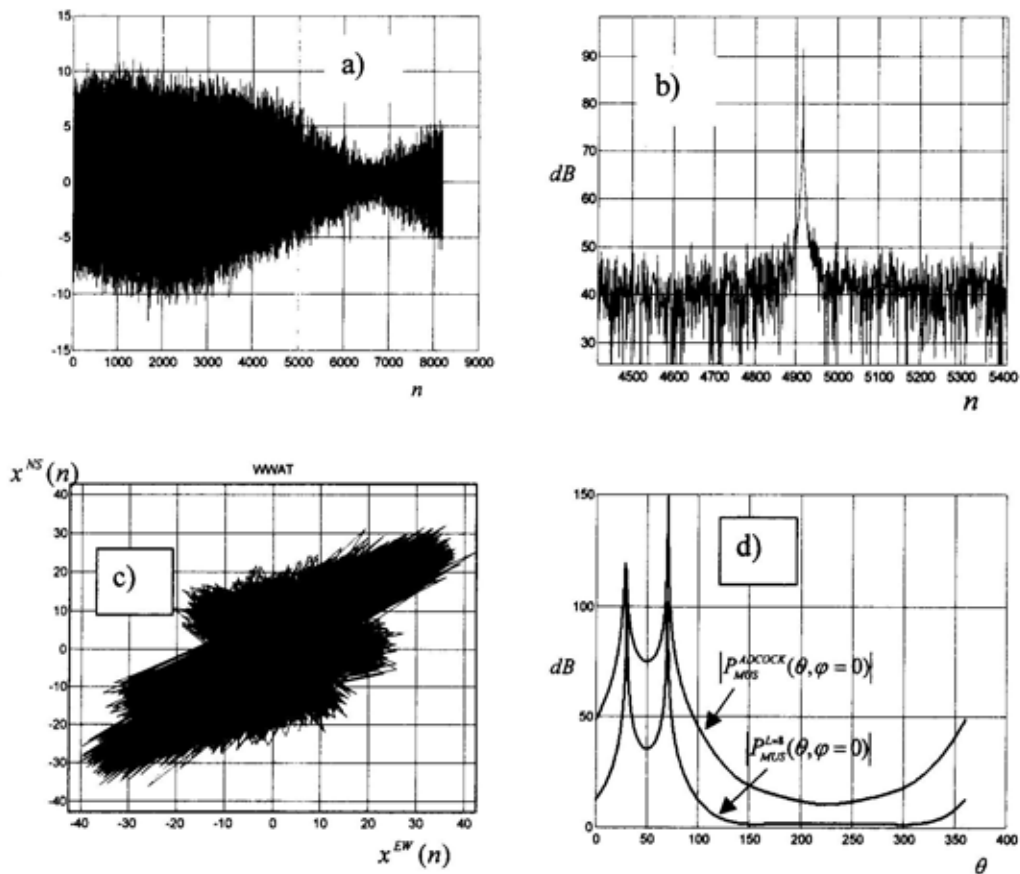
pravca WWAT-ovom metodom, a na slici 7b procena pravca metodom MUSIC. Na slici 7c data je procena azimuta i elevacije, a na slici 7d kontura procene azimuta i elevacije korišćenjem metode MUSIC. Sa slike se vidi da pri lošem odnosu signal/šum reda  $-10$  dB MUSIC metoda daje još uvek korektnu procenu azimuta, s time što postoji greška u određivanju elevacije od oko  $10^\circ$ . U isto vreme WWAT-ova metoda ne daje nikakav smislen rezultat.



Sl. 6 – a) Procena pravca WWAT-ovom metodom, b) polarni prikaz procene pravca metodom MUSIC korišćenjem  $x^{NS}(t)$  i  $x^{EW}(t)$  signala, c) procena azimuta i elevacije metodom MUSIC, d) kontura procene azimuta i elevacije metodom MUSIC

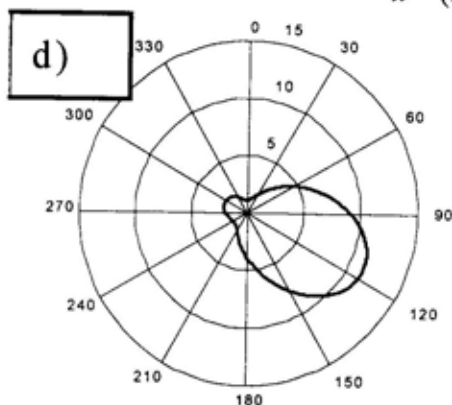
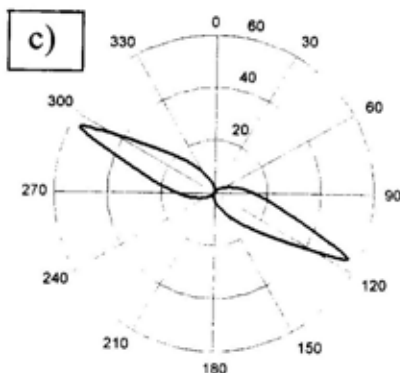
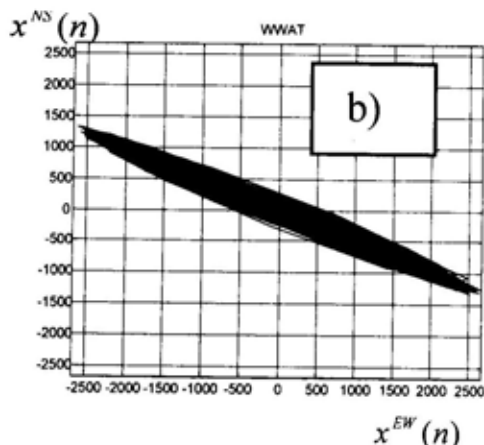
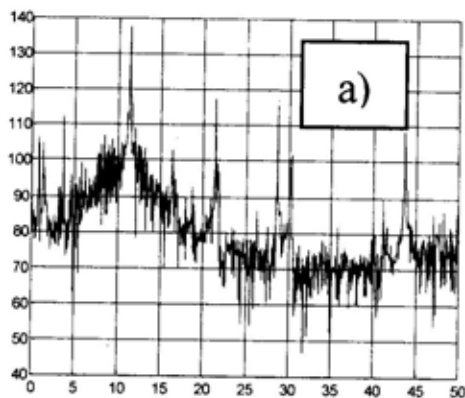


Sl. 7 – a) Procena pravca WWAT-ovom metodom, b) polarni prikaz procene pravca MUSIC metodom korišćenjem  $x^{NS}(t)$  i  $x^{EW}(t)$  signala, c) procena azimuta i elevacije metodom MUSIC, d) kontura procene azimuta i elevacije metodom MUSIC



Sl. 8 – a) Uzorci signala na referentnoj anteni, b) amplitudski spektar signala na referentnoj anteni, c) procena pravca dolaska WWAT-ovom metodom, d) procena smeru dolaska metodom MUSIC





Sl. 9 – a) Amplitudski spektar signala na referentnoj anteni, b) procena pravca dolaska WWAT-ovom metodom, c) polarni prikaz procene pravca dolaska metodom MUSIC, d) polarni prikaz procene smera dolaska metodom MUSIC

U trećem primeru simuliran je sledeći scenario. Na antenski niz ADCOCK dolaze dva sinusna signala na normalizovanoj centralnoj frekvenciji  $f_c/f_A = 0,5$  pod azimutima  $30^\circ$ , odnosno  $70^\circ$  i elevacijama od  $0^\circ$ . Normalizovane frekvencije sinusnih signala su 0,1 i 0,0001. Broj uzoraka signala je  $N = 8192$  (frekvencijski pomak sinusoida je manji od rezolucione ćelije FFT), a odnos signal/šum 10 dB. Na slici 8a prikazan je vremenski oblik signala, a na slici 8b amplitudski spektar signala na referentnoj anteni. Na

slici 8c prikazana je procena pravca dolaska signala WWAT-ovom metodom, a na slici 8d prikazani su rezultati procene smera dolaska signala metodom MUSIC. Sa slike 8d vidi se da, za razliku od WWAT-ove metode, metoda MUSIC daje korektnu procenu smera za oba superponirana signala.

### Rezultati praktične provere

Praktična provera mogućnosti primene metode MUSIC na antenske nizove

ADCOCK realizovana je u VF frekven-  
cijskom opsegu korišćenjem antenskog  
niza ADCOCK od 8 antena.

Na slici 9 prikazani su rezultati pro-  
cene smera dolaska radio-signalna na nor-  
malizovanoj centralnoj frekvenciji  
 $f_c/f_A=0,32$ . Na slici 9a prikazan je ampli-  
tudski spektar na referentnoj anteni, a na  
slici 9b procena pravca dolaska radio-  
signalna dobijena WWAT-ovom meto-  
dom. Na slici 9c prikazana je procena  
pravca dolaska signalna metodom MUSIC  
korišćenjem  $x^{NS}(t)$  i  $x^{EW}(t)$  signalna, a na  
slici 9d procena smera dolaska signalna  
tom metodom. Rezultati procene su upo-  
ređivani sa rezultatima dobijenim na re-  
alnom radio-goniometru na bazi  
WWAT-ove metode. Rezultati su se po-  
klapali unutar par stepeni (pri određiva-  
nju smera kod WWAT-ove metode uvek  
postoji subjektivna greška operatora).

Pri proceni smera metodom MUSIC  
(sl. 6d) dobijena je nešto šira lepeza od  
očekivane. Detektor na bazi Risanenovog  
MDL kriterijuma [17] detektovao je da  
postoje dva superponirana signala. Pret-  
postavka je da se radi o dva jonosferska  
talasa sa bliskim elevacijama dolaska na  
antenski niz.

## Zaključak

U radu je prikazan teorijski osnov  
primene metode MUSIC za određivanje  
smera dolaska signalna korišćenjem an-  
tenskih nizova ADCOCK. Formulisan je  
matematički model signalna na antenskom  
nizu ADCOCK. Izvedene su jednačine  
koje modeliraju transformaciju prenosne  
karakteristike (*array manifolda*) ukupnog  
antenskog niza u prenosnu karakteristiku

antenskog niza ADCOCK koju vrši  
adapter ADCOCK, što je jedan od dopri-  
nosa ovog rada. Ove jednačine predsta-  
vljavaju ključ za primenu metode MUSIC  
na antenske nizove ADCOCK.

Rezultati simulacije i praktične veri-  
fikacije pokazuju sledeće:

- antenski niz ADCOCK ima nešto  
lošije karakteristike neodređenosti i po  
azimutu i po elevaciji u odnosu na ukup-  
ni antenski niz. To znači da su potenci-  
jalne performanse ekvivalentnog troele-  
mentnog ADCOCK antenskog niza, u  
pogledu rezolucionih svojstava i neželje-  
nih pikova, neznatno lošije od istih ka-  
rakteristika ukupnog antenskog niza od  $L$   
 $= 4n$  antene. Drugim rečima, na osnovu  
funkcije neodređenosti može se teorijski  
i praktično očekivati da rezultati tačnosti  
procene smera metodom MUSIC, koriš-  
ćenjem ADCOCK antenskih nizova, budu  
neznatno lošiji od rezultata procene sme-  
ra metodom MUSIC, korišćenjem ukup-  
nog antenskog niza od  $L = 4n$  antena;

- stepen slobode antenskog niza  
ADCOCK jednak je 2, što znači da se  
primenom metode MUSIC mogu pro-  
storno razdvojiti do  $K = 2$  signala koja se  
preklapaju vremenski i spektralno, za raz-  
liku od WWAT-ove metode koja omo-  
gućava procenu smera samo jednog dola-  
zećeg signala. Stepenn slobode ukupnog  
antenskog niza je  $L-1$ ;

- metoda MUSIC, primenjena na  
antenske nizove ADCOCK, daje bolje  
rezultate procene od WWAT-a pri loši-  
jem odnosu signal/šum. Analiza tačnosti  
procene smera biće predmet daljih istra-  
živanja;

- primenom metode MUSIC na an-  
tenske nizove ADCOCK moguće je, po-

red azimuta, proceniti i elevaciju dolaska signala, što WWAT-ova metoda ne omogućava. Ova mogućnost je od posebnog interesa sa aspekta realizacije tzv. single station goniometra za VF frekvenzijski opseg;

– rezultati praktične provere pokazuju da je matematički model na kojem se zasniva primena metode MUSIC na antenske nizove ADCOCK korektan.

Rad predstavlja teorijsku osnovu za realizaciju tzv. single station goniometra za VF frekvenzijski opseg korišćenjem postojeće ADCOCK antenske infrastrukture, modifikaciju postojećih radio-goniometara na bazi WWAT-a, kao i za realizaciju novih tehnološki modernijih multifunkcionalnih rešenja radio-goniometra (WWAT + MUSIC).

*Autori rada izražavaju zahvalnost svim pripadnicima EI i PED, a naročito pripadnicima VP 4522 Batajnica, što su proteklih godina, nesebično, radi napretka struke, pomogli da MUSIC metoda uspešno izade iz laboratorije. Njima je posvećen ovaj rad, u uverenju da će im biti od koristi.*

#### Literatura:

- [1] Watson, D. W., Wright, H. E.: Radio Direction Finding, Van Nostrand Reinhold Company LTD, 1971.
- [2] Prospekti materijal firme Telefunken
- [3] Schmidt, R.: Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation, IEEE Trans, on Ant. and Prop., Vol. AP-34, No. 3., March 1986.

- [4] Erić, M., Obradović, M.: Metode za prostorno-frekvenzijsku analizu signala, VII simpozijum TELFOR, Beograd, novembar 1999.
- [5] Monografija 50 godina Vojnotehničkog instituta, VTI VI, 1998, str. 84.
- [6] Publikacija JANES, 1999.
- [7] Erić, M.: Prostorno-frekvenzijska analiza radio-frekvenzijskog spektra, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1999.
- [8] Erić, M., Skender, M.: Automatic Band Segmentation Based on Spatio-Frequency Processing Using MUSIC Algorithm, 50-th Vehicular Technology Conference – VTC'99, September 19–22, Amsterdam, The Netherlands.
- [9] Erić, M., Dukić, M., Obradović, M.: Frequency hopping signal separation by spatio-frequency analysis based on the MUSIC method, Sep. 06, 2000 – Sep. 08, 2000, IEEE 6<sup>th</sup> International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA 2000), Parsippany, NJ, USA.
- [10] Erić, M., Obradović, M.: Subspace-based joint time-delay and frequency-shift estimation in asynchronous DS-CDMA systems, Electronics Letters, 3<sup>rd</sup> July 1997, Vol. 33. No.14.
- [11] Erić, M., Parkvall, S., Dukić, M., Obradović, M.: An algorithm for joint direction of arrival, time-delay and frequency-shift estimation in asynchronous DS-CDMA systems, Fifth IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, IEEE ISSSTA '98, Sun City, South Africa, pp. 595–598.
- [12] Erić, M., Parkvall, S., Obradović, M.: MUSIC type algorithm for joint modulation phase-shift, time-delay and frequency-shift estimation in asynchronous DS-CDMA systems, Fifth IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, IEEE ISSSTA '98, Sun City, South Africa, pp. 102-105.
- [13] Erić, M., Dukić M.: Procena smera dolaska radio signala MUSIC metodom korišćenjem antenskih podnizova, IX simpozijum TELFOR, Beograd, novembar 1999.
- [14] Erić, M., Dukić, M., Pokrajac, I.: Procena smera dolaska radio-signala MUSIC metodom korišćenjem ADCOCK antenskih nizova, IX simpozijum TELFOR, Beograd, novembar 1999.
- [15] Erić, M., Zejak, A., Obradović, M.: Ambiguity Characterization of Arbitrary Antenna Array: Type I Ambiguity, Fifth IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, IEEE ISSSTA '98 Sun City, South Africa, pp. 399–403.
- [16] Erić, M., Zejak, A., Obradović, M.: Ambiguity Characterization of Arbitrary Antenna Array: Type II Ambiguity, Fifth IEEE International Symposium on Spread-Spectrum Techniques and Applications, IEEE ISSSTA '98, Sun City, South Africa, pp. 955–958.
- [17] Wax, M., Ziskind, I.: Detection of the Number of Coherent Signals by the MDL Principle, IEEE Trans. On Acoustics, Speech and Signal Processing, VOL. 37., NO.8, 1989.

Mr Panto Maslak,  
potpukovnik, dipl. inž.  
Mr Lajoš Tot,  
dipl.inž.  
Vojnotehnički institut VJ,  
Beograd

## ISPITIVANJA UTICAJA SREDNJEG MASENOG UDELA AZOTA U NITROCELULOZI I VELIČINE ČESTICA MODIFIKATORA NA BRZINE SAGOREVANJA DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA

UDC: 621.45.07-6 : 541.128

### Rezime:

Istraživana je katalitička aktivnost balističkih modifikatora: baznog olovo-stearata, kalcijum-karbonata, kobalt (III)-oksida i čađi, za različite masene udele azota u nitrocelulozi, kao komponenti dvobaznog raketnog goriva, kao i uticaj veličine čestica balističkih modifikatora na brzinu sagorevanja dvobaznih raketnih goriva. Kao mera katalitičke aktivnosti korišćen je koeficijent katalitičke aktivnosti, koji predstavlja odnos brzine sagorevanja referentnog modela dvobaznog raketnog goriva sa modifikatorima i brzine sagorevanja referentnog modela dvobaznog raketnog goriva bez balističkih modifikatora. Prikazani su eksperimentalni rezultati ispitivanja brzina sagorevanja dvobaznog raketnog goriva. Izvedeni su odgovarajući modeli zavisnosti brzina sagorevanja od pritiska u raketnom motoru.

*Cljučne reči:* dvobazno raketno gorivo, katalitička aktivnost, brzina sagorevanja.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE MASS AVERAGE RATIO OF NITROGEN IN NITROCELLULOSE AND THE PARTICLE SIZE ON BURNING RATES OF DOUBLE BASE PROPELLANTS

### Summary:

The investigation described in this paper concerns the experimental phenomenological study of catalytic activity of ballistic catalysts: basic lead-stearate, calcium carbonate, cobalt trioxide and carbon black for different mass portions of nitrogen in nitrocellulose as components of a double base propellant, as well as the influence of the dimensions of ballistic catalyst particles on the double base propellants burning rate. The catalyst activity ratio is used as a measure of catalyst activity, and it represents the ratio of the burning rate of a double base propellant with catalysts referent model to the burning rate of a double base propellant without ballistic catalysts referent model. The paper gives the experimental results of the double base propellant burning rate. The appropriate models of the burning rate dependence on the pressure within the rocket motor are derived.

*Key words:* double base propellant, catalyst activity, burning rate.

### Uvod

U toku proizvodnje opitnih modela dvobaznih raketnih goriva dodavani su balistički modifikatori u osnovne sastave,

što omogućava da se reguliše nivo brzine sagorevanja ovih pogonskih materija, i da se istovremeno smanje vrednosti temperaturnog koeficijenta i eksponenta pritiska u zakonitosti brzine sagorevanja [1,

2, 3, 4], pri čemu se dobija stabilna tačka rada raketnog motora.

Pored balističkih modifikatora, osnovni sastav, stepen nitracije nitroceluloze i veličina čestica balističkih modifikatora imaju znatan uticaj na reakciju sagorevanja dvobaznih raketnih goriva. U radu su ispitivana četiri modaliteta nitroceluloze sa stepenom nitracije od 12,0% do 13,2% azota.

Iz eksperimentalno dobijenih rezultata brzine sagorevanja u standardnom eksperimentalnom motoru izvedeni su matematički modeli zakonitosti brzine sagorevanja opitnih modela dvobaznih raketnih goriva, i određeni odgovarajući koeficijenti katalitičke aktivnosti u funkciji udela azota u nitrocelulozi kao komponenti dvobaznih raketnih goriva.

### Rezultati eksperimentalnih istraživanja

Modeli dvobaznih raketnih goriva (DRG) izrađivani su tehnologijom ekstrudovanja [5, 6,] koja obuhvata izradu „jake smeše“ (smeša nitroceluloze, nitroglicerina, stabilizatora i plastifikatora), doziranje balističkih modifikatora i homogenizaciju barutne mase, želatinizaciju nitroceluloze nitroglicerinom na diferencijalnim i homokinetičkim valjcima i ekstrudovanje cilindričnih barutnih blokova spoljnog prečnika 32 mm, unutrašnjeg prečnika 16 mm i dužine 125 mm, čija površina sagorevanja ostaje približno konstantna tokom sagorevanja u standardnom eksperimentalnom motoru.

Nitroceluloza (NC) je korišćena u obliku četiri modaliteta koji se razlikuju po sadržaju azota i viskozitetu, a či-

Tabela 1

Karakteristike nitroceluloze u osnovnim sastavima

Karakteristika	Nitroceluloza			
	NC1	NC2	NC3	NC4
Azot u NC (mas.%)	12,0	12,35	12,68	13,2
Viskozitet po Hopleru (mPas)	30,40	43,79	27,78	32,13
Finoća (cm <sup>3</sup> )	80	80	80	80
Oznaka referentnog (osnovnog sastava)	DB10	DB20	DB30	DB40
Toplotni potencijal osnovnog sastava (J/g)	4172,6	4259,0	4389,0	4617,2

je su osnovne karakteristike prikazane u tabeli 1.

Nitroglicerina je korišćen kao energetski želatinizator nitroceluloze. Dietilftalat je korišćen kao plastifikator nitroceluloze. Simetrična dimetildifenilurea (centralit I), korišćen je kao stabilizator DRG. Sastavi referentnih (osnovnih) modela DRG (opitni modeli bez balističkih modifikatora) su identični osim masenog udela azota.

Za izradu opitnih modela iz tabele 2, na bazi osnovnih sastava DB10, DB20 i DB30, kao balistički modifikatori korišćeni su:

- bazni olovo-stearat (PbS), beli prah, specifične površine 38.000 cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>;
- kalcijum-karbonat (WS), beli prah, srednjeg prečnika čestica ispod 0,044 mm;
- čađ, crni prah, srednjeg prečnika čestica većeg od 0,045 mm,
- kobalt (III)-oksid, (CO<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) crni prah, prečnika čestica ispod 0,005 mm.

Za izradu opitnih modela prikazanih u tabeli 3, na bazi osnovnih sastava DB10 i DB40, korišćena je acetilenska

Tabela 2  
Sastavi opitnih modela na bazi DB10, DB20 i DB30

Oznaka DRG	Osnovni sastav	Maseni udeli balističkih modifikatora na 100 delova referentnog (osnovnog) sastava				
		PbS	WS	CO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	čad	mas. %N <sub>2</sub>
NS-8128	DB10	2	1	1	1	12,00
NS-8129	DB20	2	1	1	1	12,35
NS-8130	DB30	2	1	1	1	12,68
NS-8138	DB10:DB30 (50:50)	2	1	1	1	12,34
NS-8139	DB20:DB30 (50:50)	2	1	1	1	12,51

Tabela 3

Sastavi opitnih modela na bazi osnovnih sastava DB10 i DB40

Oznaka DRG	Osnovni sastav	Maseni udeli balističkih modifikatora na 100 delova referentnog (osnovnog) sastava				
		PbS	WS	CO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	čad	mas. % N <sub>2</sub>
NS-8251	DB10	2	1	1	1	12,00
NS-8252	DB10:DB40 90:10	2	1	1	1	12,12
NS-8253	DB10:DB40 40:60	2	1	1	1	12,72
NS-8247	DB10:DB40 80:20	2	1	1	1	12,24
NS-8250	DB10:DB40 60:40	2	1	1	1	12,48
NS-8249	DB10:DB40 50:50	2	1	1	1	12,60
NS-8254	DB10:DB40 10:90	2	1	1	1	13,08
NS-8248	DB10:DB40 20:80	2	1	1	1	12,96
NS-8245	DB10	2	1	1	1	12,00

čad sa prečnikom čestica manjim od 0,045 mm i kobalt trioksid sa srednjim prečnikom čestica manjim od 0,001 mm.

Iz eksperimentalno dobijenih rezultata izvedeni su matematički modeli zakonitosti brzine sagorevanja,  $V = bP^n$ , sa odgovarajućim kvadratom koeficijenta korelacije ( $r^2$ ) koji su prikazani u tabeli 4.

Kao mera efikasnosti balističkih modifikatora korišćen je koeficijent katalitičke aktivnosti [3],  $K_v$ , tj. odnos brzine

sagorevanja DRG sa balističkim modifikatorima (katalizovana DRG) i brzine sagorevanja odgovarajućih referentnih modela bez modifikatora (nemodifikovana DRG):

$$K_v = \frac{V_k}{V_o}$$

gde je:

$V_k$  – brzina sagorevanja katalizovanog DRG;

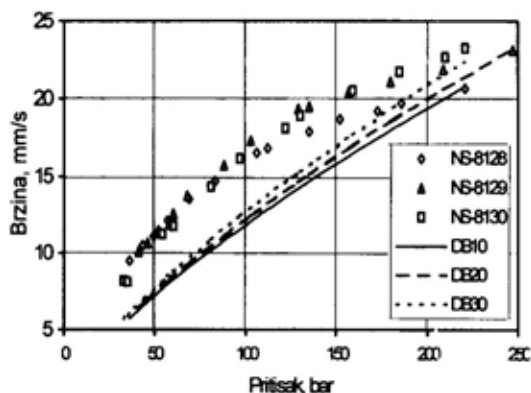
$V_o$  – brzina sagorevanja nekatalizovanog DRG.

Sem toga, imajući u vidu ulogu balističkih modifikatora (regulisanje nivoa brzine sagorevanja i istovremenog sma-

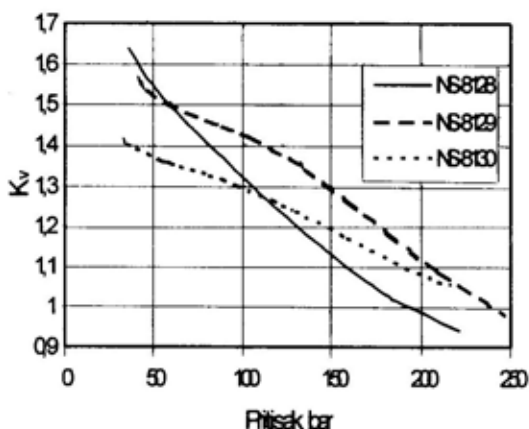
Tabela 4

Parametri u zakonitosti brzine sagorevanja DRG

Oznaka DRG	$V = b \cdot P^n$			
	b (mm/s)	n (-)	$r^2$ (-)	Interval pritiska (bar)
NS-8128	1,440	0,527	0,998	36–100
	4,010	0,302	0,995	100–221
NS-8129	1,163	0,580	0,996	41–129
	5,110	0,273	0,998	129–247
NS-8130	0,902	0,627	0,997	33–130
	2,900	0,385	0,998	130–221
NS-8138	1,215	0,570	0,997	40–125
	4,487	0,297	0,999	125–234
NS-8139	0,828	0,652	0,992	55–127
	3,809	0,334	0,984	127–207
NS-8251	1,676	0,535	0,951	67–154
	21,522	0,025	0,600	154–234
NS-8252	1,012	0,652	0,998	58–124
	16,140	0,081	0,967	141–194
NS-8245	2,696	0,440	0,995	81–150
	29,045	-0,036		150–207
NS-8248	1,977	0,497	0,976	119–148
	7,576	0,227	0,850	148–186
NS-8254	0,652	0,740	0,999	46–108
	4,047	0,353	0,988	123–223
NS-8247	1,517	0,553	0,998	65–134
	12,940	0,115	0,966	134–191
NS-8249	1,649	0,538	0,989	70–152
	7,800	0,222	0,957	152–260
NS-8250	0,989	0,640	0,993	47–143
	10,270	0,166	0,998	143–242
NS-8253	1,029	0,643	0,993	57–128
	6,938	0,248	0,980	142–231



Sl. 1 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130, na bazi čistih jakih smeša DB10, DB20 i DB30



Sl. 2 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130

njenja eksponenta pritiska i temperaturnog koeficijenta) [3, 5, 7], kao mera njihove efikasnosti korišćena je i vrednost eksponenta pritiska (n) modifikovanih DRG, tabela 4.

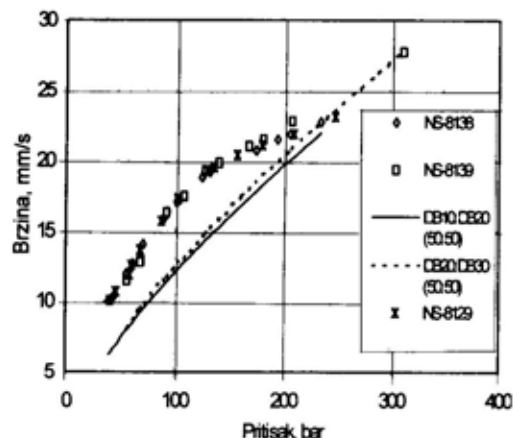
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130, na bazi čistih jakih smeša (DB10, DB20 i DB30), tabela 2, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja za pomenute jake smeše, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1, prikazane su na slici 1.

Određene vrednosti koeficijenta katalitičke aktivnosti za sastave NS-8128, NS-8129 i NS-8130 prikazane su na slici 2.

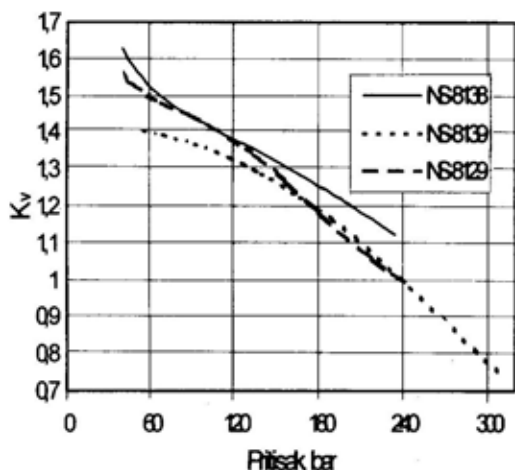
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8138 i NS-8139 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB20 (u masenom odnosu 50:50) i DB20:DB30 (u masenom odnosu 50:50) i NS-8129 na bazi čiste jake smeše DB20, tabela 2, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], za pomenute mešavine jakih smeša, prikazane su na slici 3.

Određene vrednosti koeficijenta katalitičke aktivnosti za sastave NS-8138, NS-8139 i NS-8129 prikazane su na slici 4.

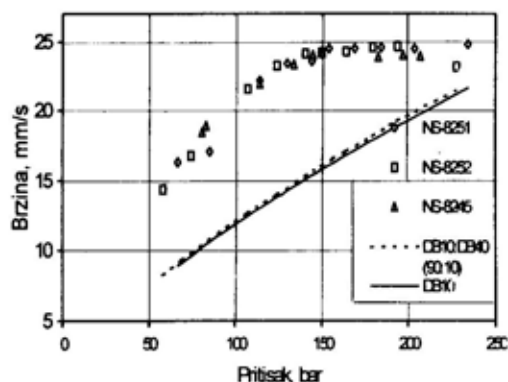
Eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8251 i NS-8245 (na bazi čiste jake smeše DB10) i NS-8252 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (u masenom odnosu 90:10) tabela 3, sa odgovarajućom teorij-



Sl. 3 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8138 i na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB20 (50:50) i DB20:DB30 (50:50) i NS-8129 na bazi jake smeše DB20



Sl. 4 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8138, NS-8139 i NS-8129



Sl. 5 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8251 i NS-8245 (na bazi jake smeše DB10) i NS-8252 na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (90:10)

ski izračunatom brzinom sagorevanja za pomenute jake smeše, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], prikazane su na slici 5.

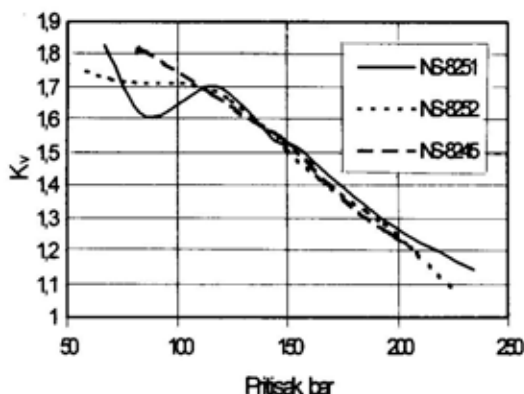
Određene vrednosti koeficijenata katalitičke aktivnosti za sastave NS-8251, NS-8245 i NS-8252 prikazane su na slici 6.

Ekperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja, za sastave NS-8248 i NS-8254, na bazi mešavine jakih smeša

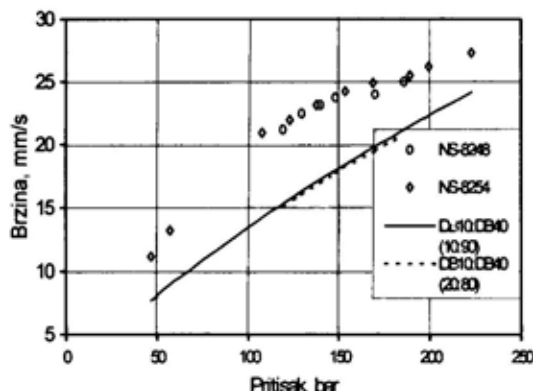
DB10:DB40 (u masenom odnosu 10:90 odnosno 20:80), tabela 3, sa odgovarajućim teorijski izračunatim brzinama sagorevanja, korišćenjem vrednosti toplotnih potencijala iz tabele 1 [3], za pomenute mešavine jakih smeša, prikazane su na slici 7.

Određene vrednosti koeficijenata katalitičke aktivnosti za sastave NS-8248 i NS-8254 prikazane su na slici 8.

NS-8138 i NS-8139, identičnog sastava samo različitog srednjeg sadržaja azota. Određene vrednosti koeficijenata

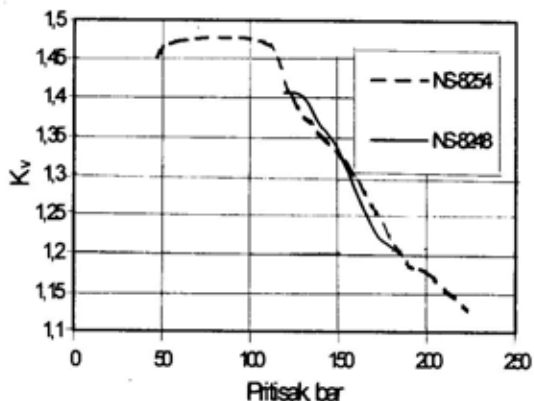


Sl. 6 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8251, NS-8245 i NS-8252

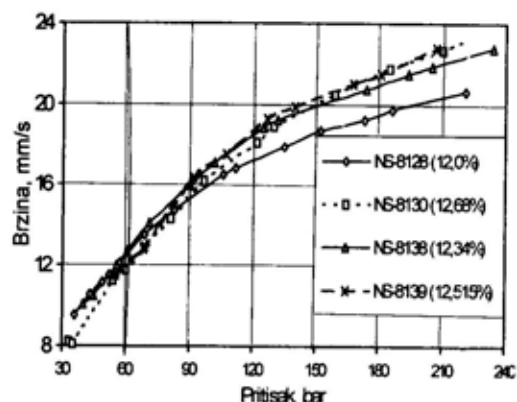


Sl. 7 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za NS-8248 i NS-8254, na bazi mešavine jakih smeša DB10:DB40 (10:90 odn. 20:80)





Sl. 8 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8248 i NS-8254



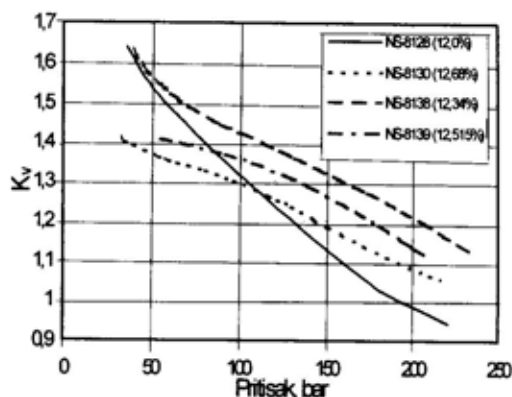
Sl. 9 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139

katalitičke aktivnosti za sastave NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139, date su na slici 10.

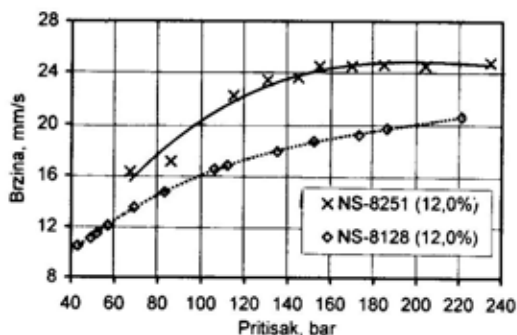
Na slikama 11 i 12 prikazane su eksperimentalno određene vrednosti brzine sagorevanja sastava identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica.

Odnosi brzina sagorevanja sastava sa finijim česticama modifikatora prema brzinama sagorevanja sastava sa krupnijim česticama, na pritisku od 120 bara (u području „super brzina“) iznose: 1,275

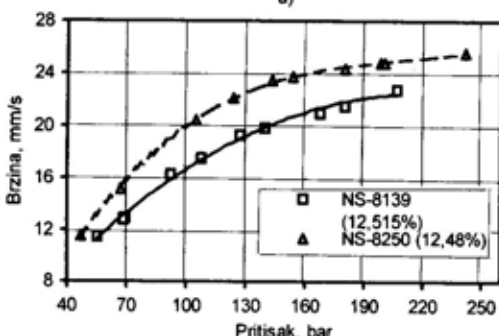
za sastave NS-8251 i NS-8128, 1,127 za sastave NS-8250 i NS-8139 i 1,232 za sastave NS-8253 i NS-8130. Odnos brzi-



Sl. 10 – Zavisnosti koeficijenta katalitičke aktivnosti od pritiska za sastave NS-8128, NS-8130, NS-8138 i NS-8139

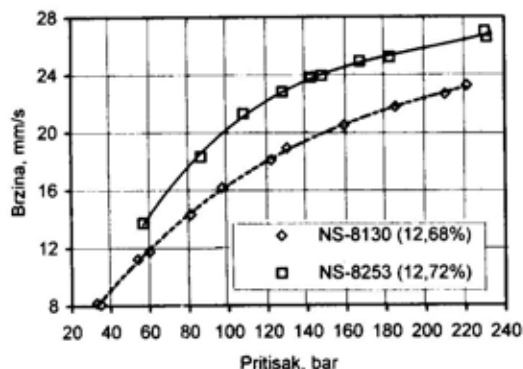


a)



b)

Sl. 11 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8251, NS-8128, NS-8250 i NS-8139, identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica



Sl. 12 – Zavisnosti brzine sagorevanja od pritiska za sastave NS-8130 i NS-8253, identičnog sadržaja balističkih katalizatora, a različite veličine čestica

na sagorevanja sastava NS-8129 (12,35% N<sub>2</sub>) prema NS-8128 (12,0% N<sub>2</sub>) iznosi 1,098. Analizom navedenih odnosa brzina sagorevanja uočava se da je uticaj veličine čestica modifikatora dominantniji od uticaja masenog udela azota u ugrađenim nitrocelulozama u ispitivanim opitnim modelima.

### Analiza rezultata eksperimentalnih ispitivanja

Rezultati ispitivanja (slika 2) pokazuju da najveću katalitičku aktivnost balističkih modifikatora (u intervalu pritiska od 60 do 220 bara) ima sastav NS-8129. Iz tabela 2 i 4 i sa slika 1 i 3 vidi se da sa porastom masenog udela azota dolazi do pomeranja plato-efekta ka području većih pritisa. Takođe, vidi se da je eksponent pritiska najveći kod sastava NS-8130 (sastav sa najvećim srednjim masenim sadržajem azota).

Sa slike 4 vidi se da najveću katalitičku aktivnost balističkih modifikatora ima sastav NS-8138. Iz tabele 4 i sa slike 3 može se uočiti da sastavi NS-8129 i

NS-8138 imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja, što navodi na zaključak da barutni sastavi identičnog sastava (bez obzira na način dobijanja takvog srednjeg sadržaja azota) imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja.

Najveći eksponent pritiska ima sastav NS-8139 (sastav sa najvećim srednjim masenim sadržajem azota).

Sa slike 6 vidi se da je katalitička aktivnost balističkih modifikatora sastava NS-8251 i NS-8245 u intervalu pritisa od 110 do 200 bara veoma slična. Iz tabele 4 i sa slike 5 vidi se da pomenuti sastavi imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja (u oblasti platoa), što navodi na zaključak da barutni sastavi identičnog sastava (bez obzira na način dobijanja takvog srednjeg sadržaja azota) imaju vrlo slične zakonitosti brzine sagorevanja. Na osnovu dobijenih zakonitosti brzine sagorevanja, za NS-8251 i NS-8245, može se videti i odlična reproduktivnost rezultata pomenutih ispitivanja. Ista ispitivanja važe i za sastave NS-8248 i NS-8254 (u području pritisa od 120 do 180 bara).

Sa porastom srednjeg sadržaja azota iznad 12,34%, tabela 4, dolazi do porasta eksponenta u zakonitosti brzine sagorevanja, kao i do pomeranja pritiska početka plato-oblasti ka višim pritiscima.

Najmanju katalitičku aktivnost u intervalu pritisa od 100 do 220 bar, slika 10, pokazuje sastav sa najmanjim srednjim sadržajem azota. Sastav sa 12,34% azota u intervalu pritisa od 50 do 220 bar pokazuje najveću katalitičku aktivnost.

Na osnovu zakonitosti brzine sagorevanja, tabela 4, za sastave NS-8251, NS-8247, NS-8249 i NS-8254 jasno se

vidi da sa porastom srednjeg masenog udela azota (u oblasti platoa) dolazi do porasta eksponenta pritiska.

Sa slika 11 i 12 vidi se znatan porast brzine sagorevanja pri korišćenju balističkih modifikatora manjih veličina čestica ( $\text{CO}_2\text{O}_3$  ispod 0,005 mm, odnosno ispod 0,001 mm).

## Zaključak

Na osnovu eksperimentalnih rezultata iznetih u ovom radu može se konstatovati sledeće:

– katalitička aktivnost u opitnim modelima DRG, posmatrana preko  $K_v$ , raste sa porastom udela azota u nitrocelulozi. Plato-efekat balističkih modifikatora pomera se ka većem nivou pritiska sa povećanjem stepena nitracije nitroceluloza ugrađenih u opitne modele;

– uzimajući u obzir kvalitet opitnih modela, posmatrano preko koeficijenta  $n$ , u zakonitosti sagorevanja, uočava se da nitroceluloza sa manjim stepenom nitraci-

je, ispod 12,5%, uslovljava uvećanje brzine gorenja uz smanjenje koeficijenta  $n$  za ispitivane tipove balističkih modifikatora;

– uticaj masenog udela azota na brzinu sagorevanja nije uslovljen načinom dobijanja srednjeg udela azota u nitrocelulozi;

– uočava se da je uticaj veličine čestica modifikatora dominantniji na brzinu sagorevanja od uticaja masenog udela azota u ugrađenim nitrocelulozama u ispitivanim opitnim modelima.

## Literatura:

- [1] Preckel, R. F.: Plateau Ballistics in nitrocelulose Propellants, AIAA Journal, Vol 3, Feb. 1965, pp. 346–347.
- [2] Kubota, N.: Determination of plateau burning effect of catalyzed dable-base propellants, 17th Symposium on combustion institute, Pittsburgh, Pa., 1979, pp. 1435–1441.
- [3] Maslak, P.: Usporedno ispitivanje različitih balističkih modifikatora u dvobaznim barutima, magistarski rad, Beograd, 1990.
- [4] Kubota, N.: Role of aditives in Combustion waves and effects on stable combustion limit of double-base propellants, Propellants and Explosives, 3, 1978, pp. 163–168.
- [5] Maslak, P.: Novi sastavi dvobaznih raketnih baruta, TI-636, 1984.
- [6] Opšti tehnološki postupak proizvodnje ekstrudovanih dvobaznih raketnih goriva i pogonskih punjenja, TP 5000.
- [7] Maslak, P.: Katalitička aktivnost jedinjenja olova i bakra u reakciji sagorevanja dvobaznih raketnih goriva, ITI-13, 1985.

Sc Miroslav Stojanović,  
pukovnik, dipl. inž.  
**Đuro Bulajić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**Vladimir Rakić,**  
dipl. inž.  
VP 2130, Beograd

## REALIZACIJA INFORMACIONOG SISTEMA ORGANA POZADINE

UDC: 681.324 : 681.3.06] : 355.41

### Rezime:

*U radu su prikazani rezultati realizacije informacionog sistema organa pozadine jedinice. Kroz realizaciju ovog zadatka izvršeno je fizičko povezivanje računara u mrežu i obezbeđenje logičkog funkcionisanja sistema na tri nivoa (komandni, upravni i izvršni nivo), projektovanje softverskih aplikacija uz korišćenje modernih softverskih alata, edukacija profesionalnih vojnih lica (PVL) za rad na personalnim računarima (PC) i održavanje informatičke opreme.*

*Ključne reči: organ pozadine, računarska mreža, topologija računarske mreže, HUB.*

---

## LOGISTIC INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT

### Summary:

*We presented the results of the realization of the logistic information system. While fulfilling this task we connected computers physically and secured logical functioning of the system on three levels (command, management and execution level). We designed software, using modern software development tools and worked on the education of professional military officials for PC using and basic maintenance of computer equipment.*

*Key words: logistic management, computer network, net topology, HUB.*

---

### Uvod

U jedinicama Vojske Jugoslavije (VJ) uočljiv je napredak u razvoju stručnog uvođenja informatičkih tehnologija i standardizacije opreme (hardvera) i korisničkih programskih paketa (softvera).

U saradnji sa Upravom informatike i katedrom TOB-a VTA pripadnici jedinice pristupili su realizaciji računarske mreže organa pozadine jedinice.

Mreža omogućava praćenje relevantnih podataka, procesa i aktivnosti u jedinici. Zadatak je realizovan sveobuhvatno, što se ogleda u paralelnom radu na uspostavljanju računarske mreže, pro-

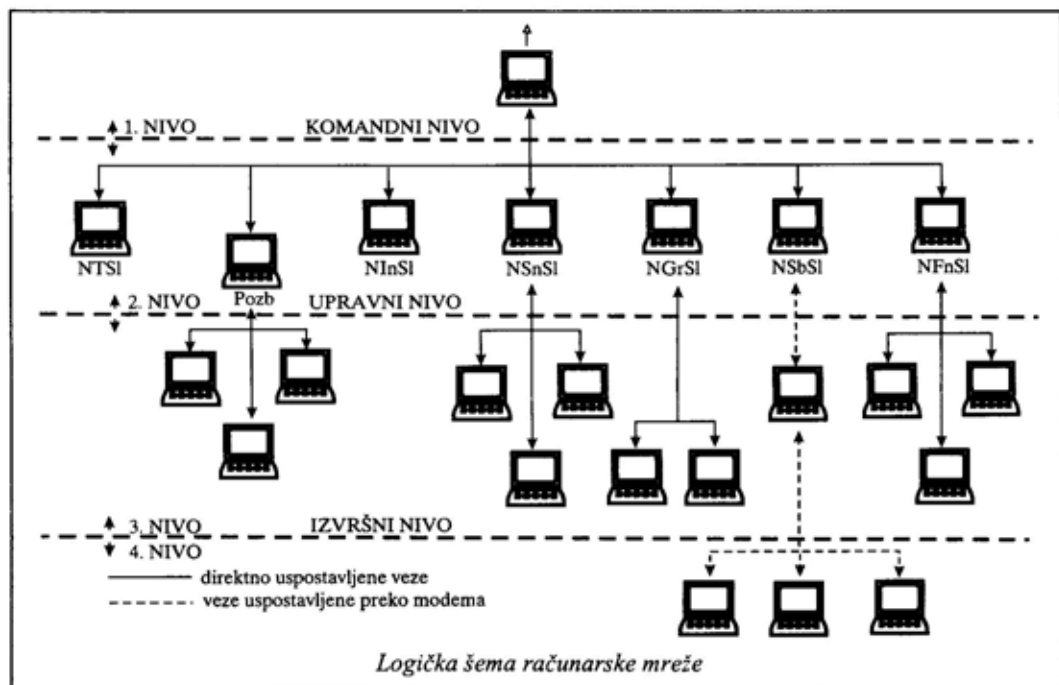
jektovanju dela potrebnog softvera, obuke kadra, kao i u održavanju informatičke opreme.

Uvođenje računarske mreže realizovano je korišćenjem vlastitih resursa i potpunijim iskorišćenjem postojeće informatičke opreme.

Realizacija postavljenog zadatka je, usled složenosti, izvršena kroz više faza:

– prva faza realizacije obuhvata povezivanje postojećih personalnih računara u mrežu i uspostavljanje interne elektronske pošte u organu pozadine jedinice;

– u drugoj fazi realizovana je izrada softverskih aplikacija uz korišćenje sa-



vremenih programerskih alata (VISUAL C++, MS ACCESS) i savremenih baza podataka (kao što je MS SQL Server) koje obezbeđuju višekorisnički rad na mreži, visok stepen zaštite podataka i realizaciju prava pristupa svakog korisnika po jedinim grupama podataka;

- u trećoj fazi realizovana je edukacija kadrova za rad na personalnim računarima u mrežnom okruženju i korišćenje potrebnih softverskih paketa. Edukacija je obavljena u malim grupama, uz korišćenje savremene metode vizuelnog učenja, pomoću multimedijalnog softvera koji koristi animacije. Posle realizovane obuke za početnički nivo sprovedeni su i napredni kursevi obuke;

- četvrta faza predviđa doradu softverskih aplikacija (nakon opitovanja) i proširenje mreže na nivo jedinice.

Kroz sve faze realizacije vršeno je i osnovno održavanje računarske opreme

(ugradnja novih komponenti, otklanjanje manjih kvarova na hardveru, reinstalacije...) čime je ostvarena velika ušteda.

### Formiranje tima i planiranje aktivnosti

Realizacija zadatka sprovedena je na bazi sopstvenih resursa i kadrova iz sastava jedinice. S tim u vezi formirana je ekipa koju čini pet oficira i četiri vojnika. Ekipa je sačinila potrebnu dokumentaciju, naređenja, vremenski dijagram aktivnosti, troškovnik, program interne škole računara u skladu sa važećim uputstvima za rad, kao i pregled računarske opreme na kojoj su vršeni zahvati iz domena osnovnog održavanja.

Za realizaciju je korišćena postojeća informatička oprema uz minimalna ulaganja u softver i hardver.

## Hardverska realizacija računarske mreže

Pri projektovanju računarske mreže posebna pažnja je usmerena na njenu fleksibilnost, obezbeđivanje stabilnog i pouzdanog rada, sigurnost i zaštitu informacija, kao i mogućnost njene kasnije lake nadogradnje. Vodilo se računa i o odnosu cena – performanse računarske mreže. Sistem je osmišljen kao otvoren, tako da su moguće nadogradnje i instalacije dodatnih softverskih i hardverskih komponenti.

Na slici je prikazana logička šema računarske mreže organa pozadine jedinice. Računarska mreža je zamišljena kao hijerarhijska, sa linijskim tipom komandovanja, podeljena na tri nivoa. Prednosti hijerarhijske organizacije ispoljavaju se u vidu jednostavne kontrole i strogo određenim pravima i dužnostima. Mana ovakve organizacije, u poređenju sa drugim tipovima organizacije, jeste u sporijem informisanju usled dugih informacionih tokova. Organizovana je tako da računari jedne grupe sa hijerarhijski nižeg nivoa mogu da komuniciraju sa njima odgovarajućim nadređenim računarnom sa višeg nivoa, ili između sebe u okviru iste grupe, dok komunikacija nije moguća između računara koji pripadaju različitim grupama u okviru istog hijerarhijskog nivoa. Komunikacija se odvija dvosmerno, što obezbeđuje povratne informacije učesnicima. Prava pristupa i ograničenja su programski određena i ograničena.

Topologija realizovane računarske mreže bazirana je na složenoj strukturi zvezde. Za izbor ove vrste topologije računarske mreže presudan faktor je bila

težnja za postizanjem što veće pouzdanosti njenog rada. Još jedan od razloga za primenu ove topologije je tendencija širenja računarske mreže, a samim tim i obezbeđivanje njenog kasnijeg lakog proširenja sa što manje hardverskih zahvata.

Odgovarajući na niz postavljenih zahteva i poštujući ograničenja u pogledu dozvoljene dužine grana računarske mreže za različite tipove kablova, opredelili smo se za računarsku mrežu realizovanu preko HUB-a i izbor UTP kablova (10BaseT) (nasuprot koaksijalnih kablova BNC). Pri izboru načina realizacije računarske mreže uzelo se u obzir i jednostavnost postavljanja i održavanja računarske mreže realizovane preko HUB-a.

Na izbor HUB-a uticalo je nekoliko činjenica. Vodilo se računa da održavanje mreže bude što jednostavnije, ali da se postigne što veća sigurnost njenog rada, kao i da se zadovolje zahtevi za brojem korisnika u budućnosti. Pored toga, uzet je u obzir i odnos cena – performanse realizovane mreže preko HUB-a. Izabran je HUB sa 32 priključka. Namerno nije odabran veći broj HUB-ova sa manjim brojem priključaka, jer bi se time povećao broj uređaja u računarskoj mreži, što bi dovelo do otežavanja i povećavanja cene održavanja mreže. Proširenja mreže zahtevala bi i dodavanja novih HUB-ova, što bi finansijski i u pogledu tehničkih zahteva dodatno opteretilo računarsku mrežu, a ne bi dovelo do poboljšanja performansi.

U cenu jednog priključka uračunata je cena HUB-a i UTP kabla utrošenog za realizaciju grane. Sa finansijske tačke gledišta, uzimajući u obzir trenutni broj računara, u skladu sa planovima razvoja,

izabran je jedan HUB sa potrebnim brojem priključaka. Primena HUB-ova za realizaciju računarske mreže sa većim brojem priključaka postavlja pitanje pouzdanosti rada računarske mreže, jer usled otkaza (neispravnosti HUB-a) dolazi do ispada velikog broja računara iz mreže, kao i do mogućnosti prestanka funkcionisanja kompletne računarske mreže. Problem je rešen jednim rezervnim HUB-om.

Računarska mreža organa pozadine jedinice može se podeliti na dva segmenta.

Prvi segment obuhvata dvadeset računara, što pokriva načelnika i referenta OOPP, komandu pozb i četiri službe organa pozadine jedinice, povezanih preko HUB-a koji je centralno postavljen u odnosu na prostorni raspored umreženih računara. Za centralno postavljenje HUB-a, u odnosu na raspored umreženih računara, opredelili smo se zbog specifičnog rasporeda računara i njihove međusobne udaljenosti.

Drugim segmentom mreže obuhvaćene su preostale dve službe. Veza sa njima je, zbog njihove prostorne udaljenosti, ostvarena preko modema.

### **Zaštita podataka u računarskoj mreži**

Pri projektovanju i razvoju računarske mreže posebna pažnja je posvećena zaštiti od neautorizovanog pristupa podacima. Zaštita podataka u računarskoj mreži realizovana je hardverski i softverski.

Poverljivi podaci se čuvaju na prenosivim hard-diskovima. Modemske veze između delova mreže su lokalne, i ne dozvoljava se pristup računara iz lokalne mreže nekim globalnim mrežama kao što

je Internet. Veza sa Internetom ostvaruje se preko radne stanice koja nije u stalnoj vezi sa lokalnom računarskom mrežom i na njoj nema poverljivih podataka.

Prava pristupa u okviru lokalne mreže regulišu se bezbednosnim sistemom Windows 2000 security. Bezbednosni sistem Windows 2000 omogućuje da se konfiguriraju prava pristupa kao u definisanom hijerarhijskom sistemu računarske mreže (slika).

### **Izrada softverskih aplikacija**

U drugoj fazi realizovana je izrada softverskih aplikacija uz korišćenje savremenih programerskih alata (VISUAL C++, MS ACCESS) i savremenih baza podataka (kao što je MS SQL Server) koje obezbeđuju i višekorisnički rad na mreži, visok stepen zaštite podataka i realizaciju prava pristupa svakog korisnika pojedinim podacima.

Realizacija informacionog sistema je, u pogledu softverske podrške, postavila sledeće zahteve:

- rad u računarskoj mreži,
- multikorisnički rad,
- zaštita podataka,
- logička organizacija u skladu sa hijerarhijskom strukturom komandovanja,
  - lokalna funkcionalnost aplikacije i u uslovima prekida veze sa serverom,
  - mogućnost pristupa podacima iz različitih tipova baza podataka koje se koriste u VJ.

Zbog zahteva za multikorisničkim radom u računarskoj mreži, uz primenu zaštite podataka i zahteva za mogućnost organizovanja mreže, u skladu sa višim i nižim nivoima komandovanja, upotrebljena je

baza podataka MS SQL Server 2000. Za razvoj softvera korišćen je Microsoft Visual C++ 6.0 koji podržava ove zahteve.

Primenom ovakvog pristupa u realizaciji softvera realizovan je program Persevid za vođenje personalnih podataka (PVL – radna karta PkPo).

Pojedine službe i organi u okviru organa pozadine jedinice imaju potrebe za specifičnim softverom koji rešava probleme vezane samo za njihov okvir delatnosti, i koje radi toga nije potrebno razvijati u mrežnom okruženju. Za razvoj softvera, koji spada u ovu grupu, korišćen je Microsoft Access 2000 zbog efikasnosti pri razvoju programa za prethodno navedene potrebe. Primenom ovakvog pristupa realizaciji softvera realizovani su programi:

- PUNS, za praćenje utroška novčanih sredstava, koji se koristi u finansijskoj službi organa pozadine brigade,
- PRADOK, za vođenje radioničke dokumentacije.

U fazi razvoja su i programi namenjeni za:

- vođenje operativne evidencije (o/e) na osnovu podataka dobijenih iz POMAK-a (automatizovano praćenje i vođenje materijalnog knjigovodstva) za imajuće stanje i iz programskog paketa OMORIKA za sledujuće stanje,
- praćenje planiranja (godišnji planovi rada, mesečni planovi rada, nedeljni planovi rada),
- praćenje realizacije planskih aktivnosti izvršnih organa pozadine jedinice.

### **Realizacija obuke**

U trećoj fazi realizovana je edukacija kadrova (PVL) za rad na personalnim računarima u mrežnom okruženju, i ko-

rišćenje potrebnih softverskih paketa. Edukacija je vršena u malim grupama i korišćenjem savremene metode vizuelnog učenja pomoću multimedijalnog softvera koji koristi animacije. Posle realizovane obuke za početnički nivo sprovedeni su i napredni kursevi obuke.

Izvršena je obuka kadrova u korišćenju programskih paketa:

- EXCEL 2000 i WORD 2000 – predviđeno je 30 sati obuke za 40 slušalaca,
- ACCESS 2000 – 50 sati obuke za 10 slušalaca,
- osnove C++ – 50 sati obuke za 10 slušalaca,
- osnovne mrežne komunikacije, primer, mreža organa pozadine – 10 sati obuke za 20 slušalaca,
- osnove Internet komunikacije – 10 sati obuke za 20 slušalaca.

Pri realizaciji računarske mreže stečena su dragocena iskustva u praktičnom rešavanju problema koji su se pojavljivali. Unapređenje znanja iz oblasti programiranja je, pored sprovedenih kurseva, u najvećoj meri ostvareno kroz praktičnu realizaciju potrebnog softvera. Nova iskustva i znanja sticana su u rešavanju problema koji su se povremeno javljali na pojedinim računarima. Pošto su računari i ostala informatička oprema iz sastava jedinice održavani sopstvenim snagama, ostvarena je znatna ušteda sredstava, a pored toga je i njihovim korisnicima pokazano kako da takve i slične probleme prevaziđu ako se ponovo susretnu sa njima.

### **Zaključak**

Realizacija informacionog sistema organa pozadine za nivo brigade omogućava kvalitativno i kvantitativno praćenje



procesa i planskih aktivnosti u funkciji donošenja pravovremene i relevantne odluke za komandni nivo jedinice. Navedenim sistemom omogućuje se praćenje, u realnom vremenu, svih aktivnosti u jedinici.

Ugradnja zaštite podataka, kao i nivo pristupa, omogućavaju tajnost, sigurnost i pouzdanost celog sistema. Pojedine vrste podataka imaju, uz fizičku zaštitu, i adekvatna softverska rešenja zaštite.

Obuka kadra, PVL i njihovo stručno usavršavanje takode je bitan faktor u realizaciji postavljenog zadatka, u podizanju stručnih sposobnosti PVL, a samim tim i borbene gotovosti.

Održavanje PC i ostale računarske opreme u sopstvenoj režiji, na nivou brigade, omogućava znatne uštede novčanih sredstava.

Uvođenje i standardizacija informacionog sistema u VJ, posebno u pozadinskim jedinicama, u direktnoj su funkciji poboljšanja borbene gotovosti.

*Literatura:*

- [MSCE00] MCSE Training Kit – Microsoft Windows 2000 Network Infrastructure Administration, Microsoft Corporation, 2000
- [Kom98] Brian Komar, TCP/IP, Kompjuter biblioteka Čačak, 1998.
- [Mul98] Scott Muller, Nadgradnja i popravka PC, prevod 8. izdanja, CET biblioteka Beograd, 1998.

Mr Sretko Ilić,  
dipl.inž.  
Trayal Korporacija, Kruševac  
Docent dr Dragan Nikolić,  
Rudarsko-metalurški fakultet,  
Kosovska Mitrovica

## UTICAJ OKSIDACIJE AKTIVNOG UGLJA SUMPORNOM KISELINOM I IMPREGNACIJE BAKAR-SULFATOM NA SORPCIONU SPOSOBNOST GASNOG FILTRA ZA ZAŠTITU OD DEJSTVA AMONIJAKA

UDC: 614.894.29.001.76 : 661.53

### Rezime:

*U radu je istraživana mogućnost poboljšanja kvaliteta aktivnog uglja (AU) za upotrebu u sredstvima za ličnu zaštitu respiratornih organa od dejstva amonijaka. Uzorci komercijalnih AU oksidovani su različitim količinama rastvora sumporne kiseline, masenih koncentracija 10% i 15%. Na uzorke AU tretirane kiselinom deponovan je zatim bakar-sulfat, metodom dvostruke impregnacije rastvorom bakar-sulfata do početne vlažnosti uzorka. Impregnisani AU ispitani su u sloju u gasnom filtru prečnika 105 mm, čije su visine imale vrednosti od 29 mm do 41 mm, a uslovi su bili: ulazna koncentracija amonijaka  $-3,5 \text{ mg/dm}^3$  (zapreminska koncentracija 0,5%), protok gasne smeše vazduh-amonijak  $-30 \text{ dm}^3/\text{min}$ , relativna vlažnost 70% i ambijentna temperatura. Proboj je detektovan kvalitativno, pomoću indikatorskog papirića sa fenolfstaleinom. AU impregnisani novim postupkom obezbedio je u sloju visine 29 mm vreme proboja 108 min, a 160 min u sloju visine 41 mm.*

*Ključne reči: amonijak, gasni filter, aktivni ugalj, oksidacija površine, sumporna kiselina, impregnacija, bakar-sulfat, sorpciona sposobnost, vreme proboja.*

---

## STUDY OF THE EFFECTS OF ACTIVATED CARBON OXIDATION WITH SULPHURIC ACID AND IMPREGNATION WITH COPPER SULPHATE ON THE PROTECTION CAPACITY OF GAS FILTERS AGAINST AMMONIA

### Summary:

*The objective of this paper has been the study of the possibility to enhance the properties of activated carbon (AC) for using it in respiratory protective devices for ammonia removal from the air. The commercial AC samples were oxidized with different amounts of 10% and 15% sulphuric acid solutions. The acid treated AC samples were loaded with copper sulphate, with twofold impregnation by the incipient wetness method. The impregnated AC was tested in a packed bed in the gas filter with a diameter of 105 mm and a bed depth ranging from 29 mm to 41 mm under the following test conditions: inlet concentration of ammonia was  $3,5 \text{ mg/dm}^3$ , flow rate of  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  at 70% relative humidity and ambient temperature. The breakthrough was detected qualitatively by the phenolphthalein indicator paper. The new impregnated AC reached the breakthrough time of 108 min for a 29 mm bed depth, and 160 min for a bed depth of 41 mm.*

*Key words: ammonia, gas filter, activated carbon, surface oxidation, sulfuric acid, impregnation, copper sulphate, protection capacity, breakthrough time.*

## Uvod

Amonijak ( $\text{NH}_3$ ) bezbojan je alkalni gas, manje gustine od vazduha, oštrog mirisa, lako rastvorljiv u vodi. U dodiru sa plamenom gori, uz nastanak azota i vode. Deluje kao nadražljivac sluzokože. Pri većim koncentracijama izaziva opetotine sluzokože i pluća, a može da dovede i do akutnog edema pluća. Simptomi dejstva amonijaka su kašalj, teškoće u disanju, bol u grudima, očima, stomaku i povraćanje. Posle izlaganja niskim koncentracijama nastupa brz oporavak [1,2]. Efekti na zdravlje industrijskih radnika pri hroničnom izlaganju malim koncentracijama ovog gasa još uvek nisu dokumentovani [3].

Molekul amonijaka ima slaba bazna svojstva i adsorbuje se hemisorpcijom na kiselim i baznim površinskim centrima AU [4]. U gruboj aproksimaciji kao mera sadržaja kiselih (baznih) centara na površini AU može da se upotrebi pH vrednost vodenog ekstrakta AU, koja se u literaturi označava kao pH vrednost AU i određuje se u definisanim uslovima [5]. Aktivni ugljevi sa pH vrednošću većom od 9 poseduju povećan broj baznih površinskih oksida i zbog toga imaju mali adsorpcioni kapacitet u odnosu na amonijak iz gasne faze [4]. Povećanje adsorpcionog kapaciteta AU u odnosu na amonijak postiže se oksidacijom njegove površine, dejstvom različitih oksidansa (azotna kiselina, sumporna kiselina, vodonik-peroksid, kalijum-persulfat) iz tečne faze. To dovodi do povećanja sadržaja kiselih površinskih centara (oksida), sa većim afinitetom prema amonijaku, ali takode i prema metalnim jonima iz vodenih rastvora njihovih soli, koje se zbog toga bolje deponuju na

površini AU koji je prethodno tretiran oksidansom [4]. Dodatno povećanje adsorpcionog kapaciteta AU za amonijak postiže se impregnacijom AU solima prelaznih metala (Cu, Co, Ni) koji su poznati po tome što grade komplekse sa amonijakom (aminski kompleksi) [6].

Kod nas se kao impregnansi za aktivne ugljeve za zaštitu od amonijaka upotrebljavaju soli bakra (sulfat ili hlorid) [7-10].

Zahtevi, ispitivanje i označavanje gasnih i kombinovanih filtera, namenjenih za upotrebu u sredstvima za zaštitu respiratornih organa, u Evropskoj Uniji rešeni su standardom [11]. Gasni filter za zaštitu od amonijaka prema ovom standardu označava se zelenom bojom, tipom K i klasama 1, 2 i 3. Sorpciona sposobnost (zaštitna moć) ovih gasnih filtera ispituje se na  $(294 \pm 1)$  K, pri protoku gasne smeše vazduh-amonijak od  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$  i pri ulaznim koncentracijama amonijaka  $0,7 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ,  $3,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$  i  $7,0 \text{ mg}/\text{dm}^3$  za filtre klase K1, K2 i K3. Najveći dopušteni otpor protoku vazduha od  $30 \text{ dm}^3/\text{min}$ , sorpcioni kapacitet filtra i najkraće vreme proboja za utvrđenu probojnu koncentraciju amonijaka prema standardu [11], dati su u tabeli 1.

Kod nas problem još nije rešen na adekvatan način, tj. stari jugoslovenski standard [12] još uvek nije zamenjen standardom ekvivalentnim sa [11], a laboratorije za ispitivanje filtera (cedila) kod domaćeg proizvođača sredstava za zaštitu respiratornih organa, Trayal Korporacije iz Kruševca, nisu opremljene aparaturom za ispitivanje zaštitne moći gasnog filtra tipa K u uslovima koji su potrebni prema tabeli 1.

Uslovi ispitivanja zaštitne moći za pojedine klase gasnog filtra tipa K i zahtevi koje ovi filtri moraju da ispune prema [11]

Tip i klasa filtra	Otpor protoku vazduha 30 dm <sup>3</sup> /min, (Pa)	Zaštitna moć				
		Uslovi ispitivanja			Zahtevi	
		Ulazna koncentracija (mg/dm <sup>3</sup> )	Ulazna zapreminska koncentracija (%)	Probojna koncentracija (cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Sorpcioni kapacitet, (g)	Najkraće vreme proboja, (min)
K1	100	0,7	0,1	25	1,05	50
K2	140	3,5	0,5	25	4,2	40
K3	160	7,0	1,0	25	12,6	60

## Eksperimentalni rad

Za eksperimentalni rad korišćena su dva tipa komercijalnih AU, oznaka KCS i K-81/B (K-91A), dobijenih iz karbonizovane ljuske kokosovog oraha, aktivacijom vodenom parom na 1223 K u Korporaciji Trayal. Specifična površina ovih aktivnih ugljeva, određena po internoj metodi proizvođača iz izoterme adsorpcije benzena, iznosi 1250 m<sup>2</sup>/g, zapremina mikropora 0,48 cm<sup>3</sup>/g, a indeks adsorpcije benzena pri relativnom pritisku 0,17 je 40,3%.

Granulometrijski sastav izabranih AU određen je mehaničkim prosejavanjem svakog uzorka AU pre impregnacije na nestandardnoj seriji laboratorijskih sita od tkane mreže od žice, nazivnih veličina otvora 355 μm, 500 μm, 1,00 mm, 1,25 mm, 1,60 mm i 2,00 mm.

Vodeni ekstrakt ispitivanih AU za određivanje pH vrednosti dobijen je potapanjem uzorka AU mase 4,0 g u 100 ml destilovane vode bez ugljenik(IV)-oksida i zagrevanjem na grejnoj ploči, tako da ključa 5 min. Posle toga uronjen je termometar u rastvor i suspenzija ostavljena kratko vreme da se istalože čestice AU. Pre nego što se ohladi na 333 K odlicen je sloj bistre tečnosti iznad taloga. Dekantovani deo je ohlađen na sobnu

temperaturu i izmerena mu je pH vrednost. Izabrani AU imali su pH vrednost između 9 i 9,5. To ukazuje na prisustvo baznih površinskih oksida na njihovoj površini.

Sadržaj vlage u ispitivanim AU određen je po internoj metodi u Korporaciji Trayal.

Postupak impregnacije izabranih AU sastojao se u oksidaciji uzoraka u višku rastvora sumporne kiseline i zatim, posle stabilizacije na ambijentnoj temperaturi, dvostruke impregnacije prelivanjem rastvorom bakar-sulfata, do pojave vlažnosti uzorka.

AU je pre impregnacije prosejan kroz laboratorijsko sito nazivne veličine otvora 355 μm.

Za impregnaciju je upotrebljavana sumporna kiselina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), zapreminske mase 1,84 g/cm<sup>3</sup>, rastvor masene koncentracije oko 96%, proizvođača Zorka iz Šapca, čistoće „pro analysi“ i bakar-sulfat pentahidrat (CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O), relativne molekulske mase M<sub>r</sub> = 249,68 g/mol, istog proizvođača i stepena čistoće.

Oksidacija AU sumpornom kiselinom izvođena je tako što je 1000 g AU potapano u različite količine rastvora sumporne kiseline masenih koncentracija

Postupak oksidacije površine ispitivanih AU sumpornom kiselinom i impregnacije rastvorom bakar-sulfata

Oznaka AU	Oznaka IAU	Postupak impregnacije			
		Oksidacija sumpornom kiselinom		Ukupan dodatak CuSO <sub>4</sub> (Cu)	
		Koncentracija rastvora H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% m/m)	Dodatak rastvora H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/1000 g AU)	g/1000 g AU	% (m/m)
KCS	KCS-K1	10	900	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)
KCS	KCS-K2	10	450	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)
K-81/B	K-81/B-K1	10	450	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)
K-81/B	K-81/B-K2	10	2220	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)
K-81/B	K-81/B-K3	15	600	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)
K-91/A	K-91/A-K			130,4 (51,9)	11,5 (4,6)
K-91/A	K-91/A-KP	10	1980	2 x 142,2 (2 x 56,6)	22,0 (8,8)

10% i 15%. Posle 3 h kontakta AU i sumporne kiseline dekantovan je višak rastvora kiseline, a tretirani uzorci AU ostavljeni su da se stabilisu 6 h na vazduhu i sobnoj temperaturi. Dodatak i koncentracija rastvora sumporne kiseline za pojedine uzorke AU, kao i njihove oznake, dati su u tabeli 2.

Oksidovani uzorci AU impregnisani su, zatim, prelivanjem rastvorom bakar-sulfata, metodom dvostruke impregnacije do početne vlažnosti AU. Za prvu impregnaciju uzorka AU, mase 1000 g, rastvoreno je 222,5 g bakar-sulfata pentahidrata u 400 cm<sup>3</sup> do 500 cm<sup>3</sup> destilovane vode, tako da je dobijen rastvor sa (2 ± 0,2) mol Cu/l. Dodatkom (670 ± 50) g ovog rastvora (u zavisnosti od koncentracije) dodavana je uvek ista količina od 142,2 g ili 0,89 mol CuSO<sub>4</sub> (56,6 g Cu) na 1000 g AU, pri jednoj impregnaciji. Nakon odležavanja od 3 h uzorak je su-

šen u električnoj sušnici na 378 K, u intervalu od 2 h. Posle hlađenja uzorka u eksikatoru iznad kalcijum-hlorida postupak impregnacije je ponovljen na isti način.

Oznake impregniranih AU (IAU) i dodaci bakra posle dvostruke impregnacije dati su u tabeli 2. Sadržaj CuSO<sub>4</sub> (Cu) u impregnisanom AU određen je približno, proračunom iz dodate količine bakar-sulfata pentahidrata, i nije eksperimentalno proveravan.

Kvalitet dobijenog impregniranog AU proveravan je određivanjem sadržaja vlage i pH vrednosti, otpora protoku vazduha i sorpcione sposobnosti sloja IAU u filtru (cedilu) prečnika 105 mm, napunjenog u pogonu Trayala, po internom tehnološkom postupku punjenja.

Otpor protoku vazduha od 30 dm<sup>3</sup>/min određen je kao razlika pritiska ispred i iza filtra kada protok vazduha, u smeru strujanja vazduha pri udisanju,

Osnovne karakteristike ispitivanih AU, pre i posle postupka impregnacije

Oznaka IAU	Granulometrijski sastav						Sadržaj vlage, (%)		pH
	Klasa veličine granula d, (mm)						AU	IAU	
	d>2,00	2,00≥d>1,60	1,60≥d>1,25	1,25≥d>1,00	1,00≥d>0,500	d≤0,500			
	Granulometrijska frakcija (%)								
KCS-K1	33,1	42,2	20,1	2,5	1,4	0,7	6,7	10,8	2,5
KCS-K2	27,3	42,4	25,1	3,4	1,4	0,4	6,4	11,6	2,2
K-81/B-K1	0,1	4,3	33,7	23,3	37,9	0,7	6,9	7,2	2,5
K-81/B-K2	0,2	1,6	12,6	16,7	57,7	11,2	7,2	13,1	1,7
K-81/B-K3	0,2	4,0	34,4	24,3	36,1	1,0	6,5	13,9	1,9
K-91/A-K	0,2	4,2	33,1	23,9	37,7	0,9	6,8	10,9	

prolazi kroz filter horizontalno. Razlika pritisaka merena je na ambijentnoj temperaturi i pri atmosferskom pritisku.

Sorpciona sposobnost određena je za ulaznu koncentraciju amonijaka 3,5 mg/dm<sup>3</sup>, odnosno zapreminsku koncentraciju 0,5%, što prema [11] odgovara klasi 2 gasnog filtra tipa K. Relativna vlažnost gasne smeše amonijak-vazduh bila je 70%, protok gasne smeše 30 dm<sup>3</sup>/min. Ulazna koncentracija amonijaka u gasnoj smeši proveravana je pre početka i posle završenog određivanja proboja filtra, barbotiranjem stabilisane gasne smeše kroz dve ispiralice sa 50 ml sumporne kiseline, koncentracije 0,05 mol/l. Višak kiseline posle apsorpcije amonijaka određen je titracijom rastvorom natrijum-hidroksida, koncentracije 0,1 mol/l, uz metilcrveno kao indikator.

Proboj sloja IAU u filtru detektovan je kvalitativno pomoću filter-papira nato-

pljenog rastvorom fenolftaleina, koji porumeni u dodiru sa amonijakom.

### Rezultati i diskusija

Rezultati određivanja granulometrijskog sastava ispitivanih uzoraka AU pre impregnacije, sadržaja vlage pre i posle postupka impregnacije i temperaturnog tretmana, kao i pH vrednosti posle impregnacije, prikazani su u tabeli 3.

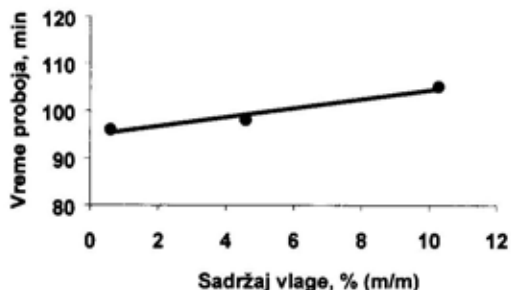
Zbog prisustva baznih površinskih oksida izabrani AU su u vodeni ekstrakt, pre postupka oksidacije sumpornom kiselinom, oslobađali OH jone. Njihova pH vrednost pre impregnacije bila je zbog toga oko 9 do 9,5. Iz tabele 3 se vidi da je opisanim tretmanom AU pH vrednost svih uzoraka IAU smanjena na vrednost manju od 3. Najmanja pH vrednost postignuta je za IAU K-81/B-K2 (1,70), tretiran sa 2200 g 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/1000 g AU.

Tabela 4

Uticaj sadržaja vlage u IAU K-91/A-K na vreme proboja amonijaka

Oznaka IAU	Otpor protoku vazduha 30 dm <sup>3</sup> /min (Pa)	Sadržaj vlage u IAU, (% (m/m))	Vreme proboja, (min)
K-91/A-KP1	94	10,3	105
K-91/A-KP2	96	4,6	98
K-91/A-KP3	100	0,6	96

Rezultati određivanja sadržaja vlage pokazuju da IAU posle impregnacije i sušenja na 378 K, 2 h, zadržavaju više vlage nego što je bilo u polaznim AU. Zbog mogućnosti rekristalizacije soli upotrebljene za impregnaciju u porama IAU u prisustvu vode, u literaturi [6] se predlaže povećanje temperature sušenja, uz prethodno vakumiranje uzorka. Prema rezultatima dobijenim u ovom radu, prikazanim u tabeli 4, prisustvo ove vlage pozitivno utiče na vreme proboja sloja IAU K-91/A-KP. Najduže vreme proboja ima sloj IAU K-91/A-KP1 (prečnik 105 mm, visina 29 mm) sa sadržajem vlage 10,3% (m/m). Sa slike 1 vidi se da vreme proboja amonijaka (ulazna koncentracija 3,5 mg/dm<sup>3</sup>, protok gasne smeše vazduh-amonijak 30 dm<sup>3</sup>/min i relativna vlažnost 70%) raste linearno sa povećanjem sadržaja vlage u uzorku IAU.



Sl. 1 – Zavisnost vremena proboja amonijaka od sadržaja vlage

Rezultati određivanja vremena proboja amonijaka u sloju IAU u gasnom filtru, prečnika 105 mm i visine 29 mm (ulazna koncentracija amonijaka 3,5 mg/dm<sup>3</sup>, protok gasne smeše vazduh-amonijak 30 dm<sup>3</sup>/min i relativna vlažnost 70%) i otpor ovog sloja IAU protoku vazduha 30 dm<sup>3</sup>/min, prikazani su u tabeli 5.

Iz tabele 5 vidi se da produženje vremena proboja, kao pozitivan trend, prati nepoželjno povećanje otpora protoku vazduha. Srednje vrednosti otpora protoku vazduha, za po dva uzorka odgovarajućeg IAU, daju niz vrednosti od 54 Pa (K-91/A-K) do maksimalne vrednosti 145 Pa (K-81/B-K2). Poređenje rezultata iz tabele 3 i 5 jasno pokazuje zavisnost otpora sloja AU protoku vazduha od granulometrijskog sastava AU. Uzorci KCS-K1 i KCS-K2 sa najkrupnijim granulama (95% granula ima klasu veličine iznad 1,25 mm sa 33,1% odnosno 27,3% granulometrijskog sastava iznad 2,00 mm) pružaju daleko manji otpor (61 Pa odnosno 59 Pa) od IAU iz grupe K-81/B-K (K-81/B-K1, K-81/B-K2 i K-81/B-K3) sa 95% granulometrijskog sastava klase veličine 1,60 mm  $\geq d > 0,500$  mm, koji imaju otpore u slojevima navedenih dimenzija: 93Pa, 145 Pa i 116 Pa. U grupi IAU K-81/B-K najveći otpor protoku vazduha pružaju uzorci K-81/B-K2 (148 Pa i 140 Pa, srednja vrednost 145 Pa), koji su imali najveće učešće sitnijih granulata (74% otpada na frakciju klase veličine 1,25 mm  $\geq d > 0,500$  mm a 11,2% granulometrijskog sastava ima klasu veličine  $d \leq 0,500$  mm.

Zanimljivi rezultati dobijeni su za otpor protoku vazduha za parove IAU vrlo bliskog granulometrijskog sastava, ko-

Tabela 5

Rezultati određivanja otpora sloja IAU protoku vazduha i vremena proboja amonijaka

Oznaka IAU	Otpor protoku vazduha 30 dm <sup>3</sup> /min, (Pa)	Vreme proboja, (min)
KCS-K1-1	58	45
KCS-K1-2	64	45
KCS-K2-1	60	52
KCS-K2-2	58	48
K-81/B-K1-1	88	71
K-81/B-K1-2	98	76
K-81/B-K2-1	148	79
K-81/B-K2-2	140	80
K-81/B-K3-1	116	110
K-81/B-K3-2	116	107
K-91/A-K-1	54	35
K-91/A-K-2	54	33
K-91/A-KP	94	105

ji su tretirani različitim količinama sumporne kiseline (tabele 2 i 5), kao što su KCS-K1 i KCS-K2, K-81/B-K1 i K-81/B-K3, odnosno K-91/A-K i K-91/A-KP. Kod svih parova uočava se porast otpora za uzorke koji su tretirani većom količinom koncentrovanog rastvora sumporne kiseline. Kod uzorka K-81/B-K1, koji je tretiran sa 450 g 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/1000g AU, srednja vrednost otpora je 93 Pa, a kod uzoraka K-81/B-K3, približno istog granulometrijskog sastava, koji je tretiran sa 600 g 15% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/1000 g AU, otpor je porastao za 20% (srednja vrednost 116 Pa). Prema tabeli 5 najmanji otpor protoku vazduha pruža sloj IAU K-91/A-K, visine 29 mm (54 Pa), koji pre impregnacije nije oksidovan sumpornom kiselinom (tabela 2). Iz tabele 3 vidi se da ovaj IAU ima granulometrijski sastav približno jednak sastavu K-81/B-K1 i K-81/B-K2, ali

mu je otpor manji od otpora KCS-K2 sa najkrupnijim granulama.

Prema tome, otpor protoku vazduha u sloju istih dimenzija raste u nizu: K-91/A K(54 Pa) < K-81/B-K1 (93 Pa) < K-91/A-KP (94 Pa) < K-81/B-K3 (116 Pa). Po istom redosledu poredane su i vrednosti vremena proboja amonijaka kroz slojeve ovih IAU visine 29 mm: K-91/AK (34 min) < K-81/B-K1 (74 min) < K-91/A-KP (105 min) < K-81/B-K3 (108 min). Rezultati dobijeni za K-81/B-K3 predstavljaju optimum postignut u ovom radu. Poređenjem dobijenih rezultata sa zahtevima za filter klase K2 iz tabele 1, vidi se da dobijene vrednosti otpora protoku vazduha i vremena proboja premašuju zahtevane. Zbog velike razlike dobijene i zahtevane vrednosti vremena proboja, velika je verovatnoća da će zahtevi biti ispunjeni i u uslovima propisanim evropskim standardom.

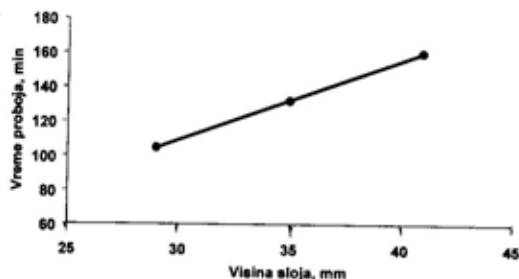
Slično kao granulometrijski sastav ponaša se i visina sloja IAU u gasnom filtru: povećanje visine sloja IAU kao rezultat daje povećanje otpora protoku vazduha, na jednoj strani, i produženje vremena proboja amonijaka, na drugoj. Rezultati određivanja ove zavisnosti za IAU K-91/A-K sa 10,3% (m/m) vlage, za visine sloja: 29 mm, 31 mm i 41 mm, prikazani su u tabeli 6. Ostali parametri siste-

Tabela 6

Uticaj visine sloja IAU na vreme proboja amonijaka

Visina sloja IAU (mm)	Otpor protoku vazduha 30 dm <sup>3</sup> /min, (Pa)	Vreme proboja (min)
29	94	105
35	114	132
41	126	160





Sl. 2 – Zavisnost vremena proboja amonijaka od visine sloja IAU

ma ostali su nepromenjeni. Linearna zavisnost vremena proboja amonijaka od visine sloja IAU prikazana je na slici 2.

Kao što je i očekivano, sa porastom visine sloja IAU raste i otpor protoku vazduha i vreme proboja. Povećanjem visine sloja sa 29 mm na 41 mm vreme proboja povećava se sa 105 min na 160 min (34%), a otpor protoku vazduha sa 94 Pa na 126 Pa (25%).

## Zaključak

Rezultati ovog rada pokazuju da oksidacija ispitivanih aktivnih ugljeva sumpornom kiselinom, pre impregnacije bakar-sulfatom, povoljno utiče na njihove zaštitne karakteristike na dejstvo amonijaka.

Optimalni rezultati dobijeni su za aktivni ugalj komercijalne oznake K-81/B, tretiran sa 600 g rastvora sumporne kiseline, masene koncentracije 15%, na 1000 g AU i zatim dva puta impregnisan

sa 142,2 g bakar-sulfata i sušen na 378 K. Sloj ovog IAU sa sadržajem vlage 10%, visine 29 mm, pruža otpor od 116 Pa protoku vazduha 30 dm<sup>3</sup>/min. Srednje vreme proboja amonijaka iz gasne smeše sa vazduhom koncentracije 3,5 mg/dm<sup>3</sup> za sloj ovog IAU istih dimenzija je 108 min, što premašuje zahteve evropskog standarda [11] za gasni filter klase K2.

## Literatura:

- [1] Ristić, D.: Protivnuklearna, protivhemijska i protivbiološka zaštita, VIZ, Beograd, 1977.
- [2] Nikolić, D.: Zaštita od toksičnih materija i efekata dejstva NHB oružja, ŠC ABHO, Kruševac, 1996.
- [3] Hollness, D. L.; Purdham, J. T. and Nethercott, J. R.: Acute and Chronic Respiratory Effects of Occupational Exposure to Ammonia, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1989, 50(12) pp. 646–650.
- [4] Bracilović, D.: Ispitivanje adsorpcije jona metala na ugljeničnim materijalima, Magistarski rad, TMF, Beograd, 1974.
- [5] Smišek, M., Černý, S.: Active Carbon, Elsevier Publishing Company, Amsterdam – London – New York, 1970.
- [6] Brunko, T. G.; Lazerko, G. A.; Morozova, A. A.; Ermolenko, I. N.: Poglošćenie ammiaka voloknistimi ugolnimi sorbentami s solevoju dobavkoj, *Izd. AN SSSR*, 1978, No 1, 67–71.
- [7] Ilić, S. i sar.: Komparativna analiza uticaja impregnanata za zaštitu od dihlorida ugljene kiseline, *Bilten ABHO, ŠC ABHO, Kruševac*, 1999, 10.
- [8] Nikolić, D.: Praktikum za izvođenje laboratorijskih vežbi iz Zaštite od NHB dejstva, ŠC ABHO, Kruševac, 1996.
- [9] Nikolić, D., Biočanin, R.: Optimizacija zaštitne moći i pada pritiska u sorpcionim filterima, *Bilten ABHO, ŠC ABHO, Kruševac*, 1999, 10.
- [10] Nikolić, D.: Zaštita životne sredine, Univerzitet u Prištini, Rudarsko-metalurški fakultet, Kosovska Mitrovica, 2001.
- [11] Respiratory Protective Devices, Gas Filters and Combined Filters, Requirements, Testing, Marking, European Standard EN 141 : 2001.
- [12] Sredstva za ličnu zaštitu, Zaštita organa za disanje, Zaštitna maska za uklanjanje gasova, para i čestica, *JUS Z. B1.002* : 1984.

Dejan Živković,  
dipl. inž.  
Gradimir Basarić,  
dipl. inž.

Institut za medicinu rada ZPM VMA,  
Beograd

Dr sc med. Stojan Jovelić,  
pukovnik

Institut za vazduhoplovnu medicinu  
ZPM VMA,  
Beograd

## OPŠTE VIBRACIJE NA SEDIŠTU PILOTA KOD DVA TIPA HELIKOPTERA

UDC: 613.644 : 358.432 : 623.746.174

### Rezime:

*U ovom radu opisano je merenje opštih vibracija na sedištu pilota kod dva tipa helikoptera (po jedna letelica) sa turbomlaznim motorima, kao i trećinsko-oktavna analiza ubrzanja opštih vibracija u sve tri ose. Iz dobijenih rezultata sledi da su nivoi ubrzanja kod prvog tipa helikoptera najveći u trećinsko-oktavnom opsegu sa centralnom frekvencijom od 16 Hz. Maksimalne vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija izmerene su za režime lebdjenja ( $0,977 \text{ m/s}^2$ ) i horizontalnog leta pri brzini od  $250 \text{ km/h}$  ( $0,950 \text{ m/s}^2$ ), a dopušteno vreme neprekidnog izlaganja za ove nivoje ubrzanja iznosi približno 5 sati. Kod drugog tipa helikoptera nivoi ubrzanja su maksimalni u trećinsko-oktavnom opsegu sa centralnom frekvencijom od 6,3 Hz. Najveće vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija izmerene su za režime zaokreta ( $0,737 \text{ m/s}^2$ ) i horizontalnog leta pri brzini od  $200 \text{ km/h}$  ( $0,621 \text{ m/s}^2$ ), a dopušteno vreme neprekidnog izlaganja za ove nivoje ubrzanja iznosi približno tri sata. Nivoi ubrzanja u pravcu x i y ose su kod oba tipa helikoptera, u svim režimima i svim trećinsko-oktavnim opsezima, bili daleko ispod graničnih vrednosti ubrzanja za vreme izlaganja od 24 časa. S obzirom na to da je neprekidno dnevno trajanje leta pilota u ispitivanim režimima u oba helikoptera ispod navedenih intervala, može se konstatovati da nivoi opštih vibracija ne utiču bitno na radnu sposobnost pilota.*

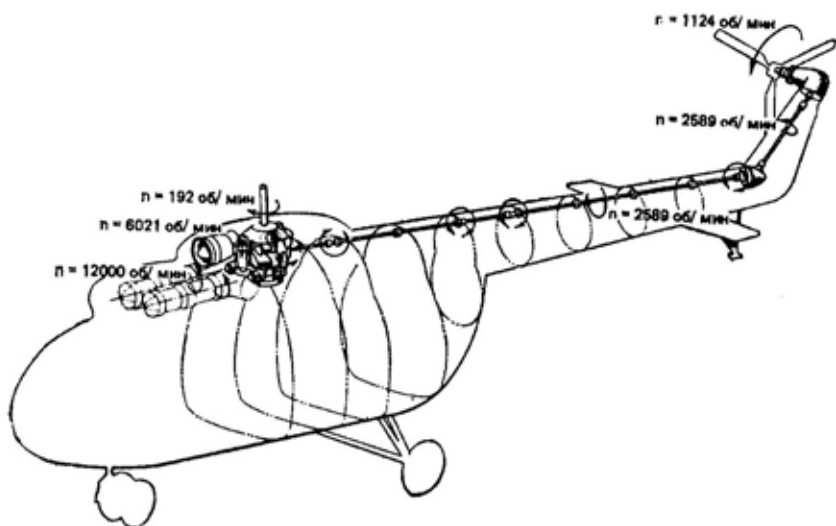
*Ključne reči: opšte vibracije, ekspozicija, piloti helikoptera, radna sposobnost.*

## WHOLE BODY VIBRATION ON HELICOPTER PILOT SEAT FOR TWO TYPES OF HELICOPTERS

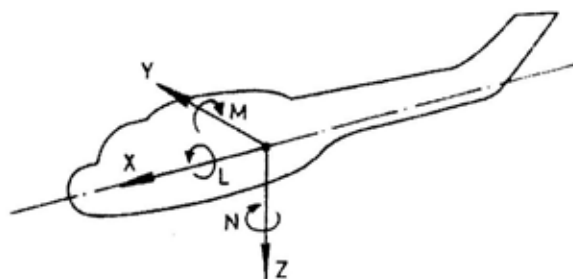
### Summary:

*The aim of the work was to measure the whole body vibration on helicopter pilot seats in two types of helicopters with jet engines and to accomplish the third octave analysis of whole body vibration acceleration in all three axes. The results of measurement on the first type of helicopters showed that the highest acceleration levels were in third octave band with the mid frequency of 16 Hz. The highest whole body vibration acceleration values were for the following regimes: the regime of levitation and the regime of horizontal flight with a speed of  $250 \text{ km/h}$ . The permissible exposure time periods for these acceleration levels were around 5 hours. The results of measurement on the second type of helicopters showed that the highest acceleration levels were in the third octave band with the mid frequency of 6,3 Hz. The highest whole body vibration acceleration values were for the following regimes: the regime of turning point and the regime of horizontal flight with a speed of  $200 \text{ km/h}$ . The permissible exposure time periods for these acceleration levels were around 3 hours. The acceleration levels in X or Y axes for both types of helicopters, in all regimes and all third octave bands, were very far below from the exposure levels for 24 hours. Since the pilots' continuous exposure in the investigated regimes of flights is below these mentioned time periods, we can conclude that the whole body vibration levels do not have significant effects on the pilots' working ability.*

*Key words: whole body vibration, exposure, helicopter pilots, working ability.*



a)



b)

Sl. 1 – Osnovni izvori vibracija kod helikoptera:  
a) – transmisija helikoptera; b) – komponente sile i momenta glavnog rotora

## Uvod

Osnovni izvori vibracija unutar helikoptera su sile i momenti koji nastaju na glavnom rotoru (prenose se preko šarnira na glavčinu i trup helikoptera – slika 1), inercione i elastične sile trupa i ostalih sklopova, kao i interakcija navedenih sila. Značajne izvore vibracija predstavljaju i repni rotor, reduktori i pogonska grupa, kao i sistem za transmisiju. Svi navede-

ni sklopovi tokom leta međusobno reaguju i tako definišu formu i intenzitet vibracija. Spoljašnji izvori vibracija jesu turbulencije vazduha, kao i jaki udari vetra.

Opšte vibracije se preko sedišta prenose na telo pilota koji upravlja helikopterom. Širenje vibracija kroz telo zavisice ne samo od mesta prenosa vibracija, u ovom slučaju sedišta pilota helikoptera, nego i od strukture tkiva i fizičkih parametara vibracija. Od mesta prenosa vi-

bracije se rasprostiru na sve strane u vidu talasnog kretanja, izazivajući naizmenično skupljanje i rastezanje čestica tkiva. Kod većine serijski proizvedenih helikoptera najintenzivnije vibracije javljaju se u oblasti niskih frekvencija (do 30 Hz), tako da zalaze u oblasti rezonantnih frekvencija većine ljudskih organa. Naime, niskofrekventne vibracije se dalje prostiru, a rezonancija se javlja kao posledica podudaranja frekvencije oscilovanja izvora i tkiva organizma. Pri projektovanju i izradi helikoptera prethodno navedena činjenica je od velikog značaja, sa stanovišta zaštite od vibracija [1-5].

U ovom radu opisano je merenje opštih vibracija na sedištu pilota kod dva tipa helikoptera (po jedna letelica) sa turbomlaznim motorima, kao i trećinsko-oktavna analiza ubrzanja opštih vibracija u sve tri ose.

### Materijal i metode merenja

Ubrzanja opštih vibracija snimana su kod dva tipa helikoptera (po jedna letelica) – prvi tip ima dva turbomlazna motora, a drugi jedan turbomlazni motor. Vibracije su snimane u toku reprezentativnih i najvažnijih faza leta, a u sklopu redovnih letачkih zadataka. Snimanje je obavljeno pomoću mernog lanca koji se sastojao od: dva troosna akcelerometra, tip 4231 i magnetofona 7006 (sa jednom Direct Unit tip ZE 0299 i tri Vibration UNIT ZM 0060). Prvi akcelerometar bio je fiksiran za sedište pilota (prva pozicija), a drugi za metalnu pločicu, koja je postavljena na gornjoj površini podmetača za sedenje, ispod sedalnog dela pilota (druga pozicija). Time je vršena procena atenuacije ubrzanja vibracija.

Vibracije su snimane u periodu od 65 minuta kod prvog tipa helikoptera, a kod drugog tipa helikoptera u periodu od 55 minuta. Snimljena ubrzanja opštih vibracija u navedenim pozicijama su kasnije, u laboratoriji, reprodukovana na digitalni frekventni analizator (tip 2131), sa kojim je izvršena trećinsko-oktavna analiza u pojasevima sa centralnim frekvencijama od 1,6 Hz do 80 Hz. Svi uređaji su proizvodi firme Brüel & Kjaer iz Danske.

Na osnovu dobijenih vrednosti ubrzanja (u dB) sa digitalnog frekventnog analizatora, tip 2131, izvršeno je preračunavanje pomoću sledeće formule:

$$a = a_o \times 10^{L/20} \quad (\text{m/s}^2),$$

što je obezbedilo dobijanje vrednosti ubrzanja vibracija u  $\text{m/s}^2$ . Dopuštena vremena izlaganja proračunavana su uz pomoć računara i odgovarajućeg programa.

Za normiranje dobijenih rezultata korišćene su granične vrednosti za ubrzanje, koje definiše kriterijum štetnog dejstva opštih vibracija na čoveka koji pri radu sedi, i odnosi se na zaštitu radne sposobnosti od zamora, iz međunarodnog standarda ISO 2631/1 – 1985 [5-7].

### Rezultati merenja i diskusija

Nivoi ubrzanja opštih vibracija, koji su dobijeni pomoću akcelerometra fiksnog na sedištu pilota prvog tipa helikoptera (prva pozicija) bili su praktično isti, posmatrano za sve tri ose, kao i nivoi ubrzanja koji su dobijeni pomoću akcelerometra postavljenog u drugoj poziciji (u ovoj poziciji se između pločice sa akce-

lerometrom i sedišta nalazi tanko jastuče koje nema dobru sposobnost prigušenja vibracija). Kako je signal koji je poticao od akcelerometra fiksiranog na sedištu bio mnogo korektniji od signala koji je poticao od drugog akcelerometra (javljale su se nagle promene u signalu zbog pomeranja pilota), on je korišćen za analizu. U tabeli 1 prikazane su upravo vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija ( $a_z$ ) izmerene pomoću akcelerometra u prvoj poziciji. Može se uočiti da su izmereni maksimalni nivoi ubrzanja bili u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 16 Hz. Maksimalne vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija izmerene su za režime lebdenja ( $0,977 \text{ m/s}^2$  u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 16 Hz) i za režim horizontalnog leta pri brzini od 250 km/h ( $0,950 \text{ m/s}^2$  u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 16 Hz). Proračunata dopuštena vremena izlaganja za ove režime su: 284 minuta – za režim lebdenja i 300 minuta (5 sati) – za režim horizontalnog leta pri brzini od 250 km/h.

Jastuče na kojem sedi pilot drugog tipa helikoptera je deblje nego kod prvog tipa helikoptera. Nivoi ubrzanja opštih vibracija, dobijeni pomoću dva akcelerometra postavljena u navedenim pozicijama, u ovom slučaju znatno se razlikuju, što ukazuje na to da jastuče ima dobru sposobnost prigušenja vibracija. Izmernene vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija ( $a_z$ ) na obe pozicije na sedištu pilota drugog tipa helikoptera prikazani su u tabeli 2 i tabeli 3. Može se uočiti da su izmereni maksimalni nivoi ubrzanja

bili u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 6,3 Hz. Najveće vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija izmerene su za režime zaokreta helikoptera ( $0,737 \text{ m/s}^2$  na prvoj poziciji, a  $0,531 \text{ m/s}^2$  na drugoj poziciji, i to u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 6,3 Hz) i za režim horizontalnog leta pri brzini od 200 km/h ( $0,802 \text{ m/s}^2$  na prvoj poziciji, a  $0,621 \text{ m/s}^2$  na drugoj poziciji, u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 6,3 Hz). Proračunata dopuštena vremena izlaganja su: za režim zaokreta 239,50 minuta i za režim horizontalnog leta pri brzini od 200 km/h – 194,50 minuta. Navedena su dopuštena vremena izlaganja samo za drugu poziciju, jer su od interesa upravo ovi nivoi vibracija koji se prenose na kičmeni stub pilota.

Ubrzanja opštih vibracija u smeru X i Y ose su kod posmatranih helikoptera daleko manja od navedenih ubrzanja opštih vibracija u pravcu Z ose, a njihov uticaj na radnu sposobnost pilota helikoptera je znatno manji. Činjenica je da je i kod ovih osa uočeno da su najviši nivoi ubrzanja, takođe, bili u trećinsko-oktavnim opsezima sa centralnim frekvencijama od 16 Hz i 6,3 Hz, sukcesivno, ali i da su sve vrednosti bile u opsegu dopuštenih vrednosti izlaganja, tj. da dopuštaju neprekidno viščasovno izlaganje bez uticaja na pojavu zamora i opadanje radne sposobnosti pilota helikoptera.

Na slici 2 i slici 3 grafički su prikazane trećinsko-oktavne analize opštih vertikalnih vibracija za neke režime leta posmatranih helikoptera.

Vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija ( $a_v$ ) na sedištu pilota prvog tipa helikoptera

Centralne frekvencije trećinskoo-ktaavnih pojaseva (Hz)	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim zapanjanja motora	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim korekcije	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim lebdjenja	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim uspinjanja	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim spuštanja	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim sletanja	$a_v$ ( $m/s^2$ ) horizontalni let (200 km/h)	$a_v$ ( $m/s^2$ ) horizontalni let (100 km/h)	$a_v$ ( $m/s^2$ ) horizontalni let (250 km/h)	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za ubrzanje	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za usporavanje	$a_v$ ( $m/s^2$ ) za režim zaokreta
1,6	0,013	0,043	0,136	0,039	0,062	0,178	0,045	0,041	0,054	0,039	0,048	0,052
2,0	0,030	0,047	0,132	0,033	0,041	0,126	0,037	0,040	0,042	0,040	0,035	0,039
2,5	0,013	0,051	0,127	0,037	0,048	0,216	0,035	0,033	0,031	0,041	0,035	0,036
3,15	0,018	0,074	0,146	0,103	0,060	0,229	0,081	0,069	0,085	0,093	0,083	0,064
4,0	0,017	0,048	0,128	0,059	0,075	0,178	0,058	0,041	0,062	0,047	0,060	0,072
5,0	0,016	0,027	0,072	0,048	0,045	0,180	0,043	0,036	0,041	0,047	0,040	0,038
6,3	0,013	0,028	0,074	0,055	0,054	0,166	0,050	0,048	0,039	0,050	0,052	0,047
8,0	0,025	0,033	0,088	0,059	0,054	0,148	0,058	0,055	0,044	0,059	0,053	0,055
10,0	0,123	0,033	0,147	0,170	0,120	0,124	0,126	0,142	0,105	0,133	0,113	0,123
12,5	0,077	0,082	0,414	0,592	0,395	0,140	0,406	0,410	0,338	0,559	0,128	0,477
16,0	0,060	0,257	0,977	0,804	0,785	0,313	0,944	0,891	0,950	0,876	0,825	0,825
20,0	0,092	0,162	0,461	0,506	0,501	0,157	0,495	0,476	0,497	0,444	0,491	0,587
25,0	0,032	0,025	0,099	0,148	0,124	0,085	0,105	0,098	0,076	0,117	0,102	0,132
31,5	0,020	0,028	0,085	0,123	0,096	0,067	0,099	0,073	0,082	0,085	0,080	0,104
40,0	0,067	0,026	0,059	0,060	0,057	0,069	0,055	0,057	0,052	0,052	0,052	0,064
50,0	0,044	0,051	0,105	0,134	0,093	0,062	0,098	0,105	0,097	0,095	0,076	0,108
63,0	0,065	0,087	0,181	0,183	0,136	0,068	0,135	0,122	0,136	0,130	0,094	0,123
80,0	0,049	0,074	0,153	0,123	0,101	0,067	0,113	0,104	0,120	0,107	0,093	0,084

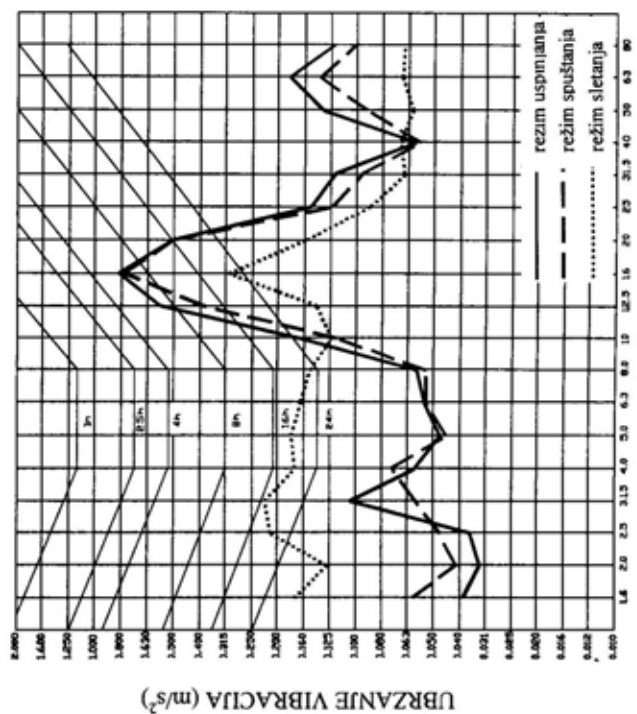
Vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija ( $a_z$ ) na sedištu pilota drugog tipa helikoptera

Centralne frekvencije trećinsko-oktavnih pojaseva (Hz)	$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim zapaštanja motora	$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim zapaštanja rotora	$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim lebdjenja		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim zaokreta		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim autorotacije		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim ubrzanja i uspinjanja		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim usporavanja	
			I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija
1,6	0,024	0,087	0,098	0,062	0,159	0,042	0,092	0,036	0,295	0,030	0,066	0,034
2,0	0,039	0,094	0,082	0,028	0,157	0,030	0,088	0,032	0,200	0,027	0,058	0,028
2,5	0,083	0,117	0,065	0,017	0,141	0,025	0,079	0,029	0,140	0,022	0,056	0,021
3,15	0,032	0,079	0,057	0,014	0,143	0,024	0,069	0,028	0,119	0,019	0,034	0,014
4,0	0,033	0,070	0,049	0,011	0,114	0,022	0,063	0,028	0,129	0,021	0,037	0,013
5,0	0,040	0,112	0,117	0,017	0,110	0,024	0,110	0,030	0,112	0,023	0,045	0,018
6,3	0,172	0,347	0,617	0,452	0,737	0,531	0,653	0,484	0,661	0,501	0,507	0,285
8,0	0,034	0,133	0,065	0,037	0,089	0,051	0,125	0,040	0,091	0,047	0,082	0,038
10,0	0,042	0,071	0,065	0,040	0,093	0,043	0,117	0,043	0,051	0,047	0,095	0,045
12,5	0,038	0,157	0,089	0,080	0,116	0,074	0,145	0,060	0,060	0,046	0,116	0,056
16,0	0,042	0,155	0,085	0,035	0,140	0,080	0,160	0,072	0,100	0,062	0,120	0,045
20,0	0,158	0,216	0,457	0,282	0,582	0,359	0,292	0,211	0,462	0,285	0,327	0,202
25,0	0,012	0,062	0,115	0,050	0,111	0,103	0,114	0,075	0,076	0,062	0,135	0,076
31,5	0,063	0,126	0,143	0,089	0,188	0,132	0,080	0,040	0,146	0,120	0,168	0,099
40,0	0,102	0,202	0,351	0,269	0,372	0,339	0,237	0,207	0,320	0,234	0,292	0,184
50,0	0,068	0,150	0,146	0,071	0,211	0,193	0,135	0,110	0,150	0,095	0,327	0,065
63,0	0,065	0,112	0,209	0,127	0,335	0,221	0,160	0,138	0,180	0,141	0,168	0,098
80,0	0,069	0,115	0,099	0,089	0,186	0,112	0,112	0,100	0,104	0,062	0,095	0,056

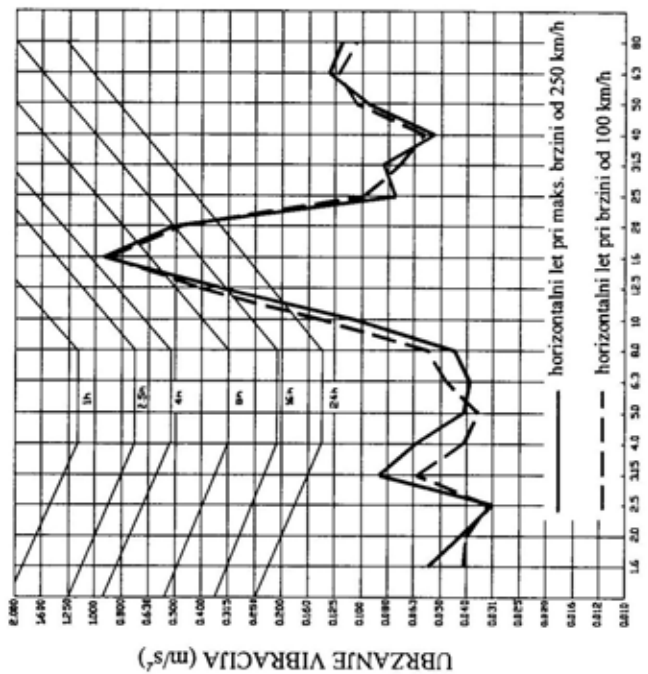
Vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija ( $a_z$ ) na sedištu pilota drugog tipa helikoptera

Centralne frekvencije trećinsko-oktavnih pojaseva (Hz)	$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim brzine od 100 km/h		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim brzine od 150 km/h		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim brzine od 200 km/h		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim spuštanja u autorotaciji		$a_z$ ( $m/s^2$ ) za režim sletanja	
	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija	I pozicija	II pozicija
	1,6	0,158	0,060	0,193	0,058	0,168	0,071	0,282	0,065	0,417
2,0	0,116	0,039	9,133	0,050	0,151	0,080	0,184	0,059	0,380	0,060
2,5	0,112	0,030	0,140	0,035	0,132	0,048	0,120	0,044	0,221	0,058
3,15	0,100	0,025	0,122	0,028	0,132	0,045	0,108	0,048	0,138	0,053
4,0	0,088	0,025	0,084	0,026	0,108	0,046	0,077	0,035	0,110	0,047
5,0	0,178	0,114	0,135	0,127	0,095	0,044	0,054	0,033	0,074	0,047
6,3	0,620	0,562	0,650	0,592	0,802	0,621	0,653	0,447	0,624	0,351
8,0	0,140	0,049	0,136	0,082	0,080	0,066	0,040	0,040	0,168	0,068
10,0	0,047	0,041	0,050	0,044	0,080	0,052	0,042	0,040	0,161	0,065
12,5	0,075	0,054	0,105	0,062	0,347	0,080	0,063	0,057	0,170	0,079
16,0	0,116	0,076	0,211	0,082	0,372	0,057	0,085	0,068	0,153	0,064
20,0	0,340	0,278	0,372	0,327	0,473	0,355	0,343	0,299	0,507	0,235
25,0	0,114	0,054	0,135	0,077	0,178	0,106	0,094	0,083	0,100	0,074
31,5	0,087	0,077	0,188	0,127	0,223	0,115	0,170	0,123	0,216	0,111
40,0	0,327	0,193	0,351	0,195	0,355	0,229	0,295	0,245	0,234	0,157
50,0	0,071	0,027	0,119	0,079	0,170	0,120	0,178	0,151	0,091	0,088
63,0	0,130	0,117	0,202	0,157	0,299	0,172	0,186	0,153	0,144	0,135
80,0	0,071	0,049	0,080	0,052	0,099	0,089	0,108	0,061	0,088	0,047



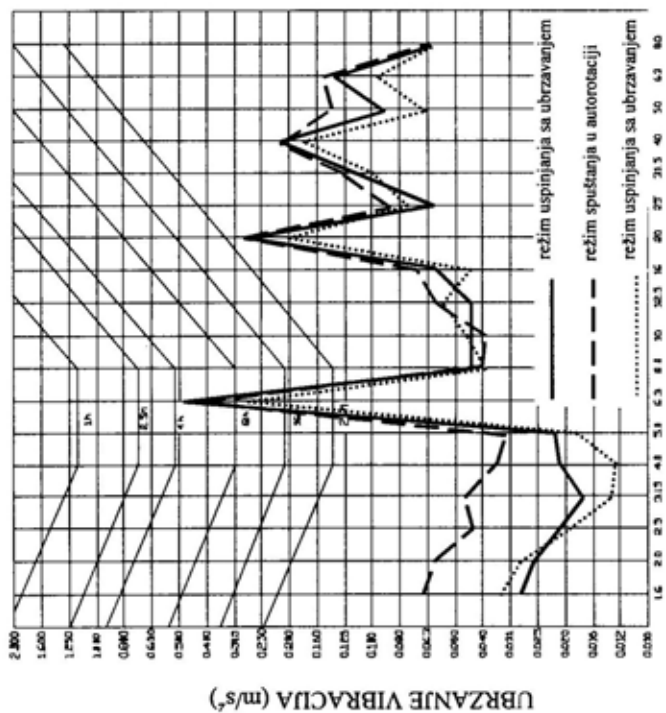


CENTRALNE FREKVENCIJE TREĆINSKO-OKTAVNIH POJASEVA (Hz)

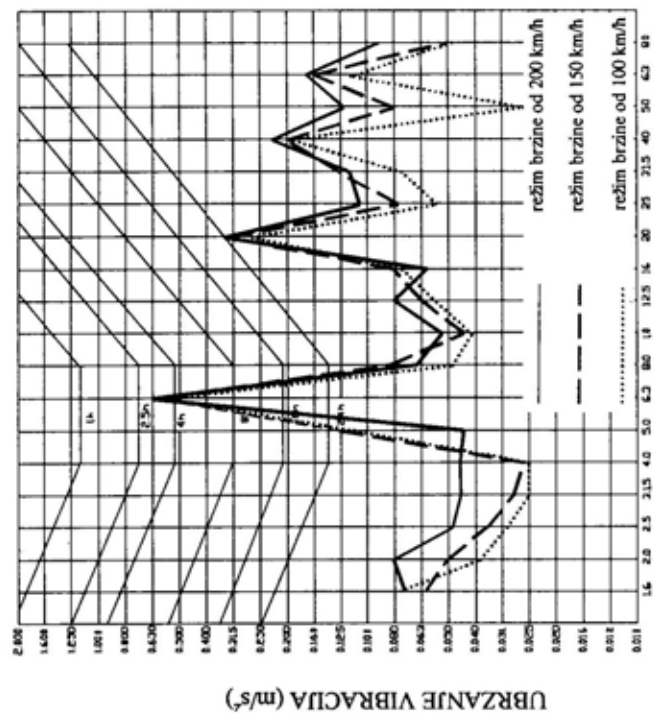


CENTRALNE FREKVENCIJE TREĆINSKO-OKTAVNIH POJASEVA (Hz)

Sl. 2 – Trećinsko-oktavná analiza ubrzanja *a*, na sedištu pilota prvog tipa helikoptera



CENTRALNE FREKVENCIE TREĆINSKO-OKTAVNIH POJASEVA (Hz)



CENTRALNE FREKVENCIE TREĆINSKO-OKTAVNIH POJASEVA (Hz)

Sl. 3 – Trećinsko-oktavna analiza ubrzanja  $a_z$  na sedištu pilota drugog tipa helikoptera



Sl. 4 – Pilot u položaju helikopterske povijenosti

Rezultati ukazuju na to da su posmatrane vibracije najizrazitije u oblasti niskih frekvencija. Takve niskofrekventne vibracije, većih amplituda, mogu uzrokovati promene na pojedinim ljudskim organima, a najčešće na kičmenom stubu. Poznato je da se bol u slabinskom delu kičme, koji se opaža kod pilota helikoptera, može javiti usled ekspozicije vibracijama, ali i kao posledica prinudnog sedećeg položaja pilota helikoptera (položaj „helikopterske povijenosti“ – slika 4).

Podaci dobijeni studijskim ispitivanjem ukazali su na srazmerno malu ulogu vibracija u nastajanju tranzitornog bola u leđima pilota helikoptera, što se može objasniti frekventno-amplitudnim karakteristikama izmerenih vibracija i srazmerno malom dnevnom i ukupnom ekspozicijom. Ono što je svakako važno jeste da je predominantna centralna frekvencija (16 Hz) trećinsko-oktavnog poja-

sa sa amplitudnim vrednostima ubrzanja iznad rezonantne učestanosti od 4 Hz za kičmeni stub.

Može se zaključiti da se ne isključuje nepovoljan uticaj vibracija na kičmeni stub pilota, posebno u genezi hroničnog bola, što zahteva dalja istraživanja. Činjenica je da ekcesivno i dugotrajno izlaganje vibracijama može dovesti do zamora i poremećaja fiziološkog stanja pojedinih čulnih organa, pa i opadanja radne sposobnosti pilota helikoptera. Zato iznalaženje novih i usavršavanje postojećih načina atenuiranja vibracija i ubuduće treba da ima značajnu ulogu [3, 4].

Razvoj materijala, kao što su: kompoziti, kevlar, fiber-glas, karbon, epoksidne smole i elastomeri, omogućio je nove koncepcije u projektovanju i gradnji vitalnih sistema helikoptera. Na taj način se, pored poboljšanja performansi letelica, postiže i smanjenje intenziteta vibracija i produžava eksploatacioni vek helikoptera. Elastomeri i kompoziti omogućili su i razvoj polukrutih glava glavnih rotora, što smanjuje komponente inercionih sila, a samim tim i intenzitet vibracija, postizući istovremeno povećanje korisnog dejstva rotora. Za smanjenje intenziteta vibracija razvijeno je i više mehaničkih sistema koji su dobili naziv „gasitelji vibracija“.

Mere za smanjenje intenziteta vibracija nisu zaobišle ni pogonske grupe helikoptera. Razvoj savremenih turbomlaznih motora male specifične mase, sa dobrom mehaničkom ili elektronskom regulacijom, omogućio je usklađivanje rada motora sa zahtevima rotora, što dovodi do smanjenja inercionih sila i njihovog uticaja na spektar vibracija. Razvijeni su i novi mehanički si-

stemi i sklopovi transmisije, što dovodi do smanjenja još jednog značajnog i kompleksnog faktora koji stvara vibracije kod helikoptera.

Primena savremenih računarskih sistema omogućuje optimalno sagledavanje i simulaciju kompleksnih pojava i procesa koji se javljaju u toku leta helikoptera. To pruža priliku timu konstruktora da pre izrade prototipa helikoptera predvide kakav bi mogao biti spektar vibracija, i da još u fazi projektovanja preduzmu odgovarajuće tehničke mere i tako utiču na njih. Značajnu pažnju svakako treba obratiti i na sedište pilota, koje je najčešće izrađeno od grubog materijala, pa je neophodno razmotriti mogućnost ugradnje prigušivača, amortizera i sl. [2, 3, 4].

## Zaključak

U svim režimima leta kod prvog tipa helikoptera, osim režima zapuštanja motora, maksimalne vrednosti ubrzanja opštih vertikalnih vibracija javljaju se u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 16 Hz. Izmerene vrednosti ubrzanja su takvih nivoa (izuzev kod zapuštanja, korekcije i sletanja) da praktično dozvoljavaju neprekidno izlaganje pilota helikoptera posmatranim vibracijama u periodu do 5 sati, a da pri tome ne dolazi do pojave značajnog dejstva zamora na radnu sposobnost pilota.

U svim režimima leta kod drugog tipa helikoptera maksimalne vrednosti ubr-

zanja opštih vertikalnih vibracija javljaju se u trećinsko-oktavnom pojasu sa centralnom frekvencijom od 6,3 Hz. Izmerene vrednosti ubrzanja su takvih nivoa da dozvoljavaju neprekidno izlaganje pilota helikoptera posmatranim vibracijama u periodu do 3 sata, a da pri tome ne dolazi do pojave značajnog dejstva zamora na radnu sposobnost pilota.

Navedeni periodi odnose se prevažno na horizontalni let, jer su drugi režimi u toku leta kratkotrajni.

Ubrzanja opštih vibracija u smeru X i Y ose su kod posmatranih helikoptera bila daleko manja od navedenih ubrzanja opštih vibracija u pravcu Z ose.

S obzirom na to da je neprekidno dnevno trajanje leta pilota u ispitivanim režimima u oba helikoptera ispod navedenih intervala, može se konstatovati da nivoi opštih vibracija ne utiču bitno na radnu sposobnost pilota.

## Literatura:

- [1] Pejić, P.: Vojni helikopteri, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1993.
- [2] Nikodinić, D.: Vibracije helikoptera, Glasnik RV i PVO, br. 5, 1985.
- [3] Jovelić, S., Rudnjanin S.: Sedište pilota helikoptera – zdravstveno-ergonomski aspekt, Glasnik RV i PVO, br. 2, 1991.
- [4] Jovelić, S.: Specifičnosti nastanka bola u ledima pilota helikoptera i mere prevencije, doktorska disertacija, Beograd, VMA, 2000.
- [5] Izakson, A. M.: Sovetskoe vertoleto-stroenie, Mašinstroenie, 1981.
- [6] ISO 2631/1. Evaluation of human exposure to whole body vibration – part 1: General requirements. Geneva: International Standard Organization, 1985.
- [7] ISO 10326-1. Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration – Part 1; Basic requirements. Geneva: International Standard Organization, 1992.

### Rezime:

*Rad opisuje osnove funkcionisanja adaptivnih filtara. U uvodnim razmatranjima obrađene su osnove matematičke obrade diskretnih signala i z-transformacije kod adaptivnih filtara. Izložen je Wienerov problem filtracije. Predstavljeni su CCL petlja i Widrow-Hoffov LMS algoritam i razmotrena brzina konvergencije adaptivnih filtara. Praktično je realizovana CCL petlja sa osvrtom na brzinu konvergencije.*

*Ključne reči: adaptivni filter, diskretni signal, CCL petlja.*

---

## ADAPTIVE DIGITAL FILTERS

### Summary:

*The paper describes the basis of adaptive filter functioning. The first considerations deal with the mathematical processing of discrete signals and the Z-transform in adaptive filters. The Wiener's filter processing problem was exposed. The Correlation Canceler Loop (CCL) was presented as well as the Widrow-Hoffs adaptive Least Mean Squares (LMS) step-by-step procedure. The convergency rate of adaptive filters was considered as well. The CCL simulations were obtained pointing out the convergency rate.*

*Key words: adaptive filter, discrete signal, Correlation Canceler Loop.*

---

## Uvod

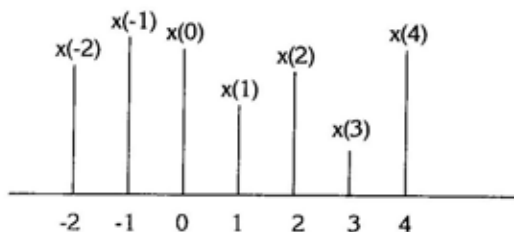
Radi realizacije željenog ponašanja objekta upravljanja, u sistemima automatskog upravljanja vrši se obrada različitih signala, kako referentnih, tako i neželjenih signala – šumova i smetnji. Generalno uzevši, može se reći da je signal realizacija nekog procesa, odnosno funkcija jedne ili više nezavisno-promenljivih veličina koje sadrže karakteristike i stanja sistema, odnosno pojave koje reprezentuju.

U skladu sa tim odakle potiče nezavisno promenljiva, odnosno funkcija koja se posmatra, signali se mogu razvrstati u nekoliko velikih grupa:

- analogni signali,
- diskretni signali,
- digitalni signali,
- digitalni signali u kontinualnom

(realnom) vremenu.

Signali koji su razmatrani u ovom radu pripadaju grupi diskretnih signala. To su, u stvari, nizovi realnih brojeva, gde se svakom celom broju iz odabranog



Sl. 1 – Grafička interpretacija diskretnog signala

segmenta diskretizacije pridružuje odgovarajući realni broj funkcije argumenta.

Grafički prikaz diskretnog signala, prikazan je na slici 1.

Kao što se kod kontinualnih sistema upravljanja njihovo dinamičko ponašanje opisuje diferencijalnim jednačinama, tako se kod diskretnih sistema koriste diferentne jednačine pri opisu stanja sistema.

Opšti oblik diferentne jednačine diskretnog sistema, reda  $M$ , može se predstaviti jednačinom:

$$y(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i) - \sum_{i=1}^N a_i y(n-i), \quad n > 0. \quad (1)$$

Ovakvim opisom diskretnih sistema, preko diferentnih jednačina, moguće je odrediti prenosnu funkciju, njene polove i nule, kao i način realizacije sistema.

Diferentna jednačina (1) može se predstaviti u opštijem obliku:

$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = f(n), \quad n > 0, \quad (2)$$

pri čemu je:

$$f(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i).$$

Ovde se niz  $y(n)$  naziva rešenjem diferentne jednačine.

Rešenje diferentne jednačine, a time i ponašanje diskretnog sistema, može se dobiti primenom rekurentnih formula ili z-transformacijom, kao i metodom analognom rešavanju diferencijalnih jednačina.

Z-transformacija predstavlja jednu od najvažnijih metoda u postupku analize i sinteze linearnih diskretnih signala. Kako su povučene neke paralele upoređenja između kontinualnih i diskretnih sistema, treba istaći da z-transformacija kod diskretnih sistema ima isti značaj kao Laplaceova transformacija za kontinualne sisteme. Iako se sada, u skladu sa dominantnom primenom računara, pri analizi i sintezi sistema standardno koristi i metoda prostora stanja, z-transformacija je, ipak, još uvek u nekim oblastima efikasna i korisna, što se naročito odnosi na sintezu filtera.

Diskretizacija kontinualnog kauzalnog signala  $f(t)$ , može se uraditi korišćenjem jediničnog impulsa,  $i(t)$ :

$$i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t-kT) \quad (3)$$

tako da se dobija niz (povorka) odbiraka koja je data izrazom:

$$f^*(t) = f(t)i(t). \quad (4)$$

Jednačina (4) može se napisati i u sledećem obliku:

$$f^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)\delta(t-kT) \quad (5)$$

odakle se dobija kompleksni lik povorke odbiraka:

$$F^*(s) = \text{Laplace} [f^*(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)e^{-kTs} \quad (6)$$

U ovom radu izložen je problem filtracije signala i neki aspekti realizacije ovog problema, sa posebnim osvrtom i težištem na adaptivnim filtrima i njihovoj implementaciji.

### Postavka problema filtracije

Wienerov problem filtracije grafički je prikazan na slici 2.

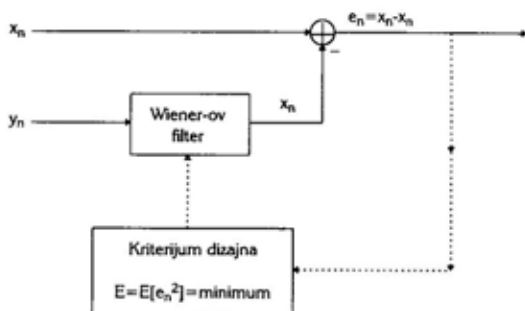
Opšte rešenje problema ne sadrži apriorna ograničenja u odnosu na Wienerov filter. Uopšteno posmatrano, potreban je konačan broj težina kako bi se postigla najniža greška proračuna. Međutim, u adaptivnim primenama unapred se mora insistirati na konačnom broju težina filtra, što je, takođe, važno i zbog pojedinačne adaptacije algoritma ka svakoj težini. Očigledno, beskonačan broj težina u filtru ne može se adaptirati.

Pretpostavlja se da je optimalni Wienerov filter onaj sa  $M+1$  težinom:

$$h = \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ \vdots \\ h_M \end{bmatrix} \rightarrow H(z) = h_0 + h_1 \frac{1}{z} + \dots + h_M \frac{1}{z^M} \quad (7)$$

Filter obrađuje signal  $y_n$  tako da proračunava:

$$\hat{x}_n = \sum_{m=0}^M h_m y_{n-m} = h_0 y_n + h_1 y_{n-1} + h_2 y_{n-2} + \dots + h_M y_{n-M} \quad (8)$$



Sli. 2 – Wienerov problem filtracije

Težine  $h_m$  odabrane su po optimalnom kriterijumu minimalne greške najmanjih kvadrata, odnosno:

$$\varepsilon = E [e_n^2] = \min; \quad e = x_n - \hat{x}_n \quad (9)$$

Kriterijum minimizacije vodi ka jednačinama koje određuju optimalne težine, pa se može pisati:

$$E [e_n x_{n-m}] = 0, \quad 0 \leq m \leq M, \quad (10)$$

ili, ekvivalentno:

$$E [e_n y(n)] = 0 \quad (11)$$

To daje normalne jednačine:

$$E [(x_n - \hat{x}_n) y(n)] = E [(x_n - h^T y(n)) y(n)] = 0$$

$$E [y(n) y(n)^T] h = E [x_n y(n)] \quad (12)$$

ili, drugačije napisano:

$$R h = r, \quad R = E [y(n) y(n)^T], \quad r = E [x_n y(n)] \quad (13)$$

Optimalne težine tada su date izrazom:

$$h = R^{-1}r, \quad (14)$$

a odgovarajuća minimalna vrednost estimacione greške računa se prema izrazu:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= E[e_n^2] = E[e_n(x_n - h^T y(n))] = E[e_n x_n] \\ \varepsilon &= E[x_n^2] - h^T E[y(n)x_n] = E[x_n^2] - r^T R^{-1}r \end{aligned} \quad (15)$$

Normalne, a posebno ortogonalne jednačine imaju uobičajenu interpretaciju otklanjanja korelacije. Signal  $x_n$  može se izraziti sledećom jednačinom:

$$x_n = e_n - \hat{x}_n = e_n + h^T y(n). \quad (16)$$

Dati signal sastoji se od dva dela. Prvi deo, s obzirom na ortogonalnost jednačina, u potpunosti je nekorelisan sa  $y(n)$ , dok drugi deo jeste u korelaciji sa  $y(n)$ .

U stvari, filter od  $x_n$  otklanja sve što je u korelaciji sa sekundarnim ulazom,  $y(n)$ , a ono što ostaje ( $e_n$ ), inače nije u korelaciji sa  $y(n)$ . Tako se Wienerov filter nalazi u ulozi otklanjanja korelacije i, ukoliko su primarni signal –  $x_n$  i sekundarni signal –  $y(n)$  u bilo kakvoj korelaciji, filter će ukloniti sve pomenute korelacije iz izlaznog signala –  $e_n$ .

Teškoća sa ovim rešenjem jeste što statističke veličine  $R$  i  $r$  moraju biti poznate ili bar unapred procenjene, što se može učiniti metodama blok-procesiranja ili adaptivnog procesiranja. Osnovne prednosti blok-procesiranja jesu da je ono zasnovano na jednom, fiksnom uzorku

podataka i da njihova dužina mora biti vrlo kratka. Zbog toga su ovakve metode najpogodnije u aplikacijama sa ograničenom dostupnošću podataka, kao, na primer, u parametarskoj spektralnoj estimaciji zasnovanoj na jednom bloku podataka.

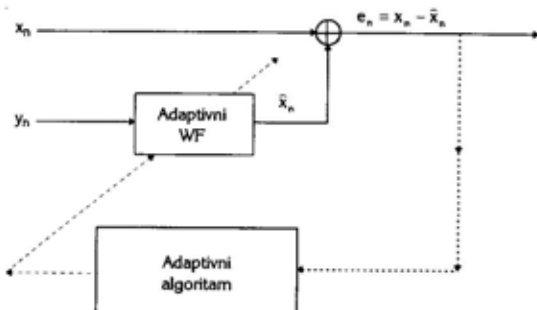
Međutim, dostupnost podataka nije najznačajnija. U promenljivom okruženju, čak i sa više prikupljenih podataka, možda neće biti ispravno koristiti ih, zbog toga što stacionarnost tada ne bi bila valjana za duži blok podataka. Ipak, i u ovakvim slučajevima se još uvek mogu koristiti metode blok-procesiranja, ali se optimalni filteri moraju iznova dizajnirati sa promenom okruženja, tako da filter uvek odgovara podacima koje obrađuje.

S druge strane, u nekim aplikacijama se ne zna koliko često treba redefinisati filtere, pa se koristi adaptivna implementacija koja obezbeđuje redefinisavanje optimalnog procesora na automatski način, tako da oni neprekidno „prate“ okruženje.

Kao primeri mogu se navesti problemi sa prijemom signala na radarima i antenama, uz prisustvo ometanja, zatim otklanjanje šuma i eha, linearno predviđanje i spektralna estimacija, kao i sistem – identifikacija i kontrola.

Postoji više različitih adaptivnih algoritama, kao što su: *Widrow-Hoffov* algoritam najmanjih srednjekvadratnih vrednosti (*Least Mean Square – LMS*), klasičan rekurentni algoritam najmanjih kvadrata (*Recursive Least Squares – RLS*), zatim brzi RLS algoritam, kao i adaptivni rešetkasti algoritam. Na slici 3 prikazana je tipična adaptivna implementacija Wienerovog filtera.





Sl. 3 – Adaptivni Wienerov filter

Adaptivni algoritam neprekidno nadgleda izlazni signal greške  $e_n$  i pokušava da minimizira izlaznu snagu,  $E[e_n^2]$ , ili ekvivalentno pokušava da ukloni korelaciju između  $e_n$  i sekundarnog ulaza  $y_n$ . Za svako  $n$  pri filtraciji se koriste trenutne vrednosti težina. Izračunati izlaz  $e_n$ , koristi se, zatim, u adaptivnom delu algoritma radi izmene težina u smeru njihovih optimalnih vrednosti. Vremenom, sa obradom ulaznog signala,  $x_n$ , kao i signala  $y_n$ , filter lagano „uči“ statistiku ovih ulaza, pa tako i težine idu ka optimalnim vrednostima koje su date Wienerovim rešenjem kroz jednačinu (14).

gencije, došlo do promene statistike, filter bi odgovorio ponovnim podešavanjem svojih težina novim optimalnim vrednostima, i tako redom. Drugim rečima, adaptivni filter će pratiti nestacionarne promene ulazne statistike, sve dok se te promene dešavaju dovoljno sporo za filter, tako da on konvergira između tih promena.

Za svaku adaptivnu implementaciju postoje tri bitne osobine o kojima treba voditi računa, a to su:

- učenje ili brzina konvergencije algoritma,
- složenost proračuna algoritma,
- numerička preciznost i stabilnost algoritma.

Brzina konvergencije je bitna s obzirom na to da određuje maksimalni ritam promena nestacionarnih ulaza koje se korisno mogu pratiti filtrom. Složenost proračuna odnosi se na broj operacija koje su neophodne pri ažuriranju stanja filtra od jednog do sledećeg trenutka.

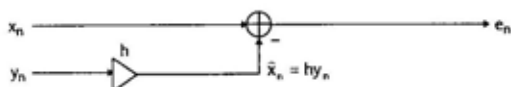
Tabela 1

Algoritam	Brzina	Složenost	Stabilnost
Najmanje srednjekvadratne vrednosti (LMS)	spor	jednostavan	stabilan
Najmanji kvadrati, rekurentni, klasični (RLS)	brz	složen	stabilan
Najmanji kvadrati, rekurentni, brzi (brzi RLS)	brz	jednostavan	nestabilan
Rešetkasti	brz	jednostavan	stabilan

Jasno je da ulazna statistika mora ostati nepromenjena, bar onoliko dugo koliko je filtru potrebno za „učenje“, kao i za konvergenciju ka svojoj optimalnoj konfiguraciji. Ukoliko bi, nakon konver-

U tabeli 1 prikazana je raznolikost kriterijuma upotrebe pomenutih algoritama u odnosu na navedene osobine.

Treba napomenuti da je očito da, uprkos vrsti algoritama koji su ponuđeni,



Sl. 4 – Jednostavan filtar sa jednim težinskim koeficijentom

nijedan adaptivni filtar ne može dati bolje rešenje nego što to čini teorijsko Wienerovo rešenje. Zato treba, pre svega, najpre teoretski odrediti valjanost optimalnog filtra pre nego što se krene na aplikativno korišćenje.

### Petlja uklanjanja korelacije (Correlation Canceler Loop – CCL)

Radi ilustracije osnovnog principa rada adaptivnih filtara razmatran je najjednostavniji mogući filtar sa samo jednim težinskim koeficijentom na slici 4.

Težinski koeficijent  $h$ , mora biti optimalno odabran, tako da daje najbolju moguću estimaciju signala u obliku:

$$\hat{x}_n = hy_n. \quad (17)$$

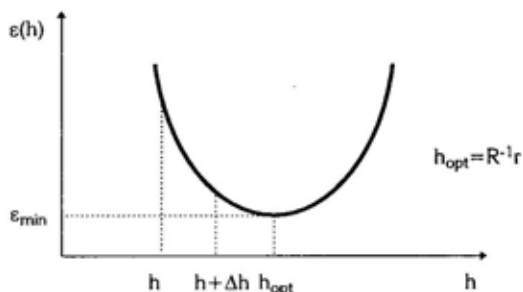
Estimaciona greška izražena je na sledeći način:

$$\begin{aligned} \varepsilon(h) &= E[e_n^2] = E[(x_n - hy_n)^2] = \\ &= E[x_n^2] - 2hE[x_n y_n] + E[y_n^2] \end{aligned}$$

$$\varepsilon(h) = E[x_n^2] - 2hr + h^2R \quad (18)$$

Uslov minimizacije definisan je izrazom:

$$\frac{\partial \varepsilon(h)}{\partial h} = 2E\left[e_n \frac{\partial e_n}{\partial h}\right] = -2E[e_n y_n] = -2r + 2Rh = 0 \quad (19)$$



Sl. 5 – Greška filtra –  $\varepsilon$

Jednačina se rešava iterativno, koristeći gradijentno-opadajuću metodu.

Zavisnost greške  $\varepsilon$ , od parametra filtra  $h$ , jeste parabola prikazana na slici 5.

Kao što se može videti sa slike, apsolutni minimum se pojavljuje za optimalnu vrednost  $h_{opt}$ .

U adaptivnoj verziji, parametar filtra  $h$  jeste vremenski zavisan  $h(n)$ , i popravlja se iz jednog trenutka ka sledećem prema izrazu:

$$h(n+1) = h(n) + \Delta h(n), \quad (20)$$

pri čemu je  $\Delta h(n)$  korekcionni izraz koji mora biti pravilno odabran radi obezbeđivanja konvergencije vremenski promenljive težine  $h(n)$ , ka svojoj optimalnoj vrednosti, odnosno:

$$h(n) \rightarrow h = R^{-1}r, \text{ za } n \rightarrow \infty. \quad (21)$$

Sada je operacija filtracije data u još uvek linearnoj, ali i vremenski neinvarijantnoj formi:

$$\hat{x} = h(n)y_n. \quad (22)$$

Izračunavanje estimacije za sledeći trenutak trebalo bi obaviti sa novom težinom, odnosno:

$$\hat{x}_{n+1} = h(n+1)y_{n+1}, \quad \text{itd.} \quad (23)$$

Najjednostavniji način odabira korekcionog izraza  $\Delta h(n)$ , jeste gradijentno-opadajući metod. Suština ove metode je u tome da se zahteva pomeranje osobina indeksa bliže minimumu nego u prethodnom trenutku, za promenu od  $h$  u  $h+\Delta h$ . Tako  $\Delta h$  mora zadovoljiti sledeći uslov:

$$\varepsilon(h + \Delta h) \leq \varepsilon \quad (24)$$

Uz ovakav zahtev ponavljanje postupka vodiće ka sve izraženijem smanjenju vrednosti za  $\varepsilon$ , sve dok se ne dostigne njena najmanja vrednost.

Pretpostavljajući da je  $\Delta h$  dovoljno malo, navedeno se može proširiti na sledeći izraz:

$$\varepsilon(h) + \Delta h \frac{\partial \varepsilon(h)}{\partial h} \leq \varepsilon(h). \quad (25)$$

Ako se  $\Delta h$  odabere kao negativni gradijent  $-\mu(\partial \varepsilon / \partial h)$ , tada će nejednakost (25) zasigurno biti zadovoljena. Dakle, izraženo matematički, za:

$$\Delta h = -\mu \frac{\partial \varepsilon(h)}{\partial h}, \quad (26)$$

biće:

$$\varepsilon(h) + \Delta h \frac{\partial \varepsilon(h)}{\partial h} = \varepsilon(h) - \mu \left| \frac{\partial \varepsilon(h)}{\partial h} \right|^2 \leq \varepsilon(h). \quad (27)$$

Adaptivni parametar  $\mu$  mora biti dovoljno mali da opravda zadržavanje samo prvog člana reda u Taylorovom razvoju.

Primenjujući ovu ideju na primeru malog adaptivnog filtra odabira se korekcionni izraz  $\Delta h(n)$ , u skladu sa jednačinom (26), tako da je:

$$h(n+1) = h(n) + \Delta h(n) = h(n) - \mu \frac{\partial \varepsilon(h(n))}{\partial h}. \quad (28)$$

Ukoliko se u jednačinu (29) ubaci izraz za gradijent ( $\partial \varepsilon / \partial h = -2r + 2Rh$ ), može se dobiti:

$$\begin{aligned} h(n+1) &= h(n) - \mu [-2r + 2Rh(n)] = \\ &= (1 - 2\mu R)h(n) + 2\mu r. \end{aligned} \quad (29)$$

Ova diferentna jednačina može se rešiti u zatvorenoj formi. Na primer, korišćenjem z-transformacije, uz bilo kakve početne uslove  $h(0)$ , može se dobiti:

$$h(n) = h + (1 - 2\mu R)^n (h(0) - h). \quad (30)$$

U izrazu (30) ispunjen je uslov da je  $h=R^{-1}r$ , odnosno, to je optimalna vrednost. Bez obzira na početni uslov  $h(0)$ , težinski koeficijent  $h(n)$  će konvergirati ka svojoj optimalnoj vrednosti  $h$ , ukoliko se obezbedi takav adaptivni parametar  $\mu$ , koji će zadovoljiti sledeću nejednakost:

$$|1 - 2\mu R| < 1. \quad (31)$$

S obzirom na to da  $\mu$  mora biti pozitivno (zbog negativnog gradijenta), proizilazi da se izraz (31) sužava na zadovoljenje uslova:

$$0 < \mu < 1/R. \quad (32)$$

Da bi se odabrao adaptivni parametar  $\mu$ , mora se posedovati apriorno znanje

o veličini  $R=E[y_n^2]$ . Ovakav izbor parametra  $\mu$  garantovaće konvergenciju, dok će brzina konvergencije zavisiti od toga koliko je broj  $1-2\mu R$  blizak jedinici. Pri odabiru parametra  $\mu$  mora se voditi računa da on bude dovoljno mali da garantuje konvergenciju, ali ne i previše mali, jer bi tada konvergencija bila isuviše spora.

### Widrow-Hoffov adaptivni algoritam najmanjih kvadrata (Least Mean Squares – LMS)

Prethodno je prikazan iterativni način rešavanja originalnog Wienerovog problema filtracije. Sa praktičnog stanovišta ova reformulacija se još uvek ne može izračunati, pošto adaptacija težinskih koeficijenata zahteva apriorno poznavanje korelacije statističkih veličina  $R$  i  $r$ , datih jednačinom (13).

U Widrow-Hoffovom LMS algoritmu prethodno izloženi adaptivni algoritam zamenjen je onim koji je moguće izračunati. Gradijent koji se pojavljuje u jednačini (28) glasi:

$$h(n+1) = h(n) - \mu \frac{\partial \varepsilon(h(n))}{\partial h} \quad (33)$$

i zamenjen je trenutnim gradijentom. Prema tome, izraz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon(h(n))}{\partial h} &= -2E[e_n y_n] = -2r + 2Rh(n) = \\ &= -2E[x_n y_n] + 2E[y_n^2]h(n) \end{aligned} \quad (34)$$

zamenjuje se izrazom:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial h} = -2e_n y_n = -2x_n y_n + 2y_n^2 h(n) \quad (35)$$

Tako se dobija algoritam sa podesivim težinskim koeficijentima:

$$h(n+1) = h(n) + 2\mu e_n y_n. \quad (36)$$

Algoritamski predstavljeno, zahtevani proračuni obavljaju se kroz sledeće korake:

- u trenutku  $n$  dostupna je težina  $h(n)$ ;
- izračunava se izlaz filtra  $\hat{x}_n = h(n)y_n$ ;
- izračunava se estimaciona greška  $e_n = x_n - \hat{x}_n$ ;
- izračunava se naredni težinski koeficijent filtra, prema izrazu;  $h(n+1) = h(n) + 2\mu e_n y_n$ ;
- prelazi se na sledeći trenutak  $n \rightarrow n+1$ .

Može se zapaziti i sledeće:

1. Izlazna greška  $e_n$ , putem povratne veze, koristi se za kontrolu adaptacije težinskih koeficijenata filtra.

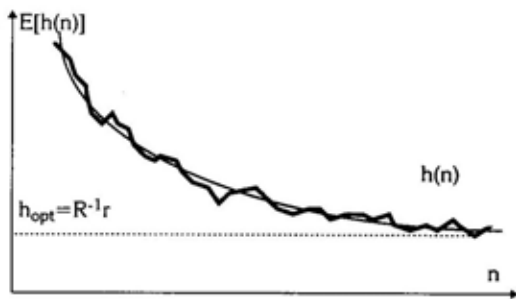
2. Filtar „pokušava“ da ukloni korelaciju sekundarnog signala od izlaza  $e_n$ , što se lako uočava kroz činjenicu da, ukoliko težina  $h(n)$  manje-više dostigne svoju optimalnu vrednost, tada je  $h(n+1) \approx h(n)$ , pa je, slično, i adaptivna jednačina data izrazom  $e_n y_n \approx 0$ .

3. U praksi težina  $h(n)$  nikada ne dosegne teoretsku optimalnu vrednost:  $h=R^{-1}r$ . Umesto toga, težina se stabilizuje oko ove vrednosti i neprekidno varira oko nje.

4. Aproksimacija učinjena na početku razmatranja LMS algoritma poznata je kao stohastička aproksimacija i znatno usložava matematičke aspekte problema.

Diferentna jednačina:

$$\begin{aligned} h(n+1) &= h(n) + 2\mu e_n y_n = \\ &= h(n) + 2\mu(x_n - h(n)y_n)y_n \end{aligned} \quad (37)$$



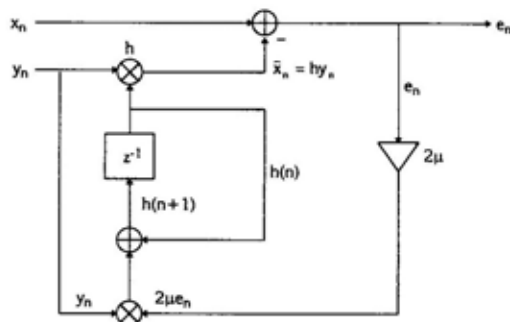
Sl. 6 – Konvergencija krive  $h(n)$  i  $E[h(n)]$

čini težinu  $h(n)$  zavisnom od slučajne promenljive  $y_n$ , i to izrazito nelinearno, što znatno otežava rad, čak i sa osrednjem ponašanjem  $h(n)$ .

5. Pri razmatranju osrednjenog ponašanja težine  $h(n)$  koriste se sledeće tipične aproksimacije:

$$\begin{aligned} E[h(n+1)] &= E[h(n)] + 2\mu E[x_n y_n] - 2\mu E[h(n) y_n^2] \\ E[h(n+1)] &= E[h(n)] + 2\mu E[x_n y_n] - 2\mu E[h(n)] E[y_n^2] \\ E[h(n+1)] &= E[h(n)] + 2\mu r - 2\mu E[h(n)] R \end{aligned} \quad (38)$$

Ovde je, u poslednjem izrazu, očekivanje  $E[h(n)]$  izvučeno kao činilac, s



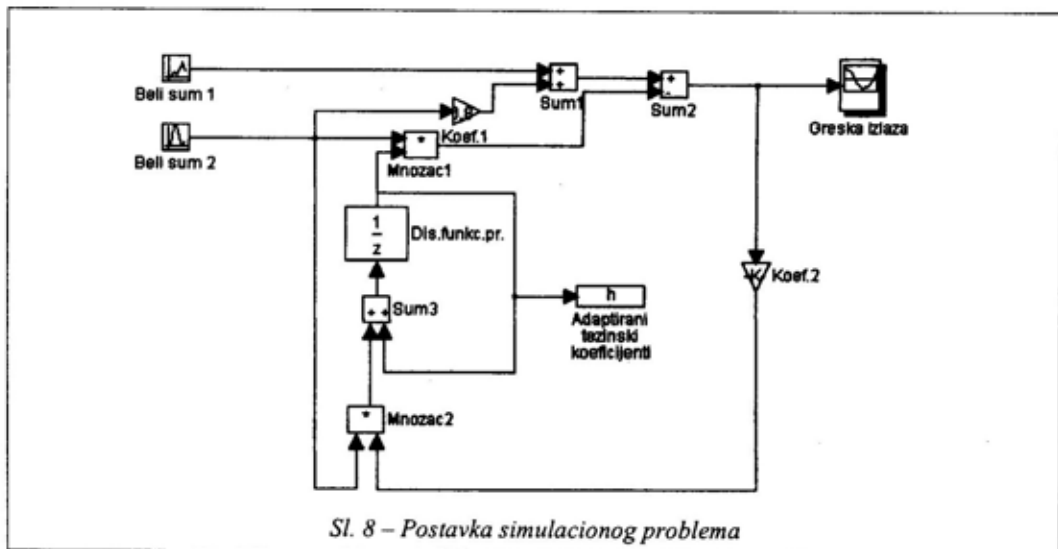
Sl. 7 – Realizacija CCL petlje

obzirom na nezavisnost  $h(n)$  od  $y_n$ . Sa ovom aproksimacijom, srednje očekivane  $E[h(n)]$  zadovoljava diferentnu jednačinu.

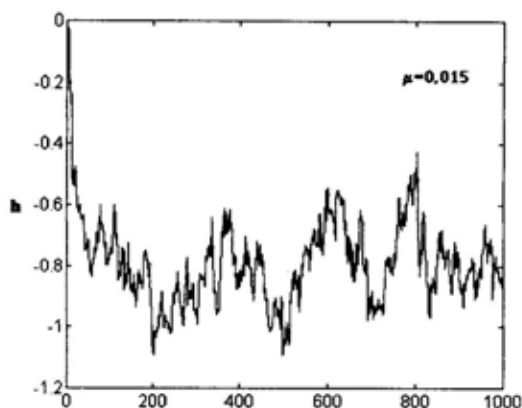
Težina  $h(n)$  će varirati oko teoretske očekivane krive konvergencije, dok konvergira ka svojoj optimalnoj vrednosti  $h_{opt}$ , kao što je prikazano na slici 6.

Nakon konvergencije adaptivna težina  $h(n)$  neprekidno varira oko Wienerovog rešenja – optimalnog  $h$ . Mera ovih odstupanja izražena je veličinom  $E[(h(n)-h)^2]$ .

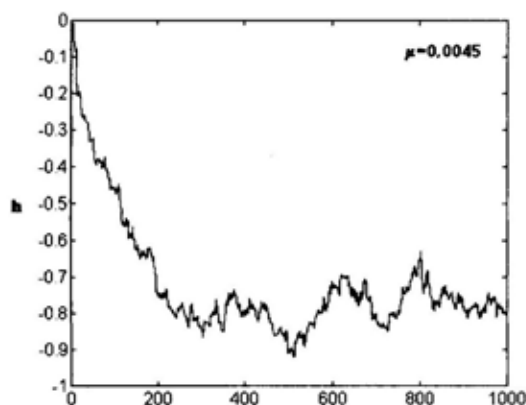
Za postizanje visoke preciznosti konvergiranih težina (mala variranja), za-



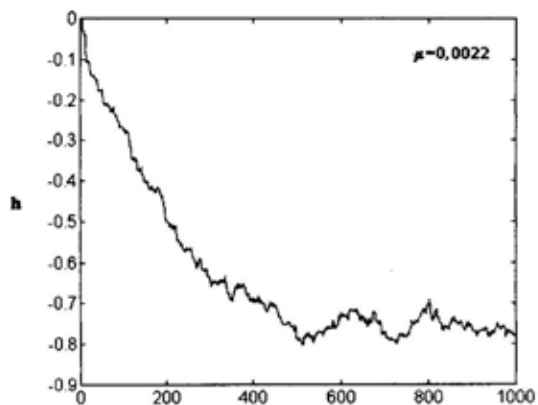
Sl. 8 – Postavka simulacionog problema



Sl. 9 – Prva iteracija težinskog koeficijenta –  $h$ , za  $\mu=0,015$



Sl. 10 – Druga iteracija težinskog koeficijenta –  $h$ , za  $\mu=0,0045$



Sl. 11 – Treća iteracija težinskog koeficijenta –  $h$ , za  $\mu=0,0022$

hteva se što manje  $\mu$  ali to u isto vreme usporava stepen konvergencije, odnosno smanjuje brzinu konvergencije.

Sledi primer CCL petlje, koja je realizovana kao na slici 7. Kao što se može videti sa slike, filterski deo je strogo odvojen od kontrolne petlje povratne veze koja obavlja adaptaciju težine filtra. To je najjednostavniji mogući adaptivni filter koji može formirati elementarne blokove mnogo složenijih adaptivnih filtera višeg reda.

Ovakva realizacija CCL petlje, koja se može naći u vojnim telekomunikacionim uređajima, konkretno – u adaptivnim antenama i radarima, izložena je u simulacionom problemu koji je prikazan na slici 8.

Simulacija je rađena u programskom paketu MATLAB for WINDOWS. Na ulaz sistema dovodi se signal  $x_n = -0,8y_n + u_n$ . Zapaža se deo signala  $x_n$ , koji je u korelaciji sa sekundarnim signalom  $y_n$  (tj. sa  $-0,8 y_n$ ), kao i drugi deo koji sa  $y_n$  nije korelisan ( $u_n$ ).

Teoretsko rešenje glasi:

$$r = E[x_n y_n] = E[-0,8 y_n y_n] + E[u_n y_n] = -0,8 E[y_n y_n] = -0,8 R. \quad (39)$$

Kako je  $h = R^{-1}r$ , sledi:

$$h_{opt} = -0,8 \quad (40)$$

Filter će, najpre, ukloniti iz  $y_n$  deo signala koji se odnosi na  $y_n$ , i kada se doigne optimalna težina, na izlazu će se dobijati samo odgovarajući signal, a to je  $u_n$ .

Treba pomeniti da je u simulacionom primeru prikazano kako adaptivni parametar  $\mu$  utiče na ponašanje težinskog koeficijenta  $h$  i njegovu konvergenciju ka optimalnoj vrednosti  $h_{opt} = -0,8$  koja odgovara teoretskom rešenju Wienerovog problema filtracije, što se jasno može videti na slikama 9, 10 i 11.

## Brzina konvergencije

Osobine konvergencije LMS algoritama, pa tako i algoritama izloženih u ovom radu, biće razmotrene u skladu sa sledećom jednačinom:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial h} = -2E[e_n y(n)], \text{ gde je: } y(n) = \begin{bmatrix} y_n \\ y_{n-1} \\ \vdots \\ y_{n-M} \end{bmatrix}. \quad (41)$$

Može se dobiti:

$$h(n+1) = (1 - 2\mu R)h(n) + 2\mu r. \quad (42)$$

Pri tome je matrica  $R$  definisana izrazom:

$$\begin{aligned} R &= E[y(n)y(n)^T] \\ R_{ij} &= E[y_i(n)y_j(n)] = E[y_{n-1}y_{n-j}] = \\ &= R_{yy}(i-j), \quad i, j \in [0, M] \end{aligned} \quad (43)$$

Rešenje diferentne jednačine težinskih koeficijenata je:

$$h(n) = h + (1 - 2\mu R)^n (h(0) - h). \quad (44)$$

Konvergencija zahteva da veličina  $1 - 2\mu R$  ima vrednost manju od jedinice, za svaku vrednost promenljive  $\lambda$  koju

može uzeti  $R$ . To je garantovano i za maksimalnu vrednost promenljive  $\lambda$ :

$$0 < \mu < 1 / \lambda_{max}. \quad (45)$$

Ukoliko je  $\mu$  odabrano na polovini intervala (oko  $0,5 / \lambda_{max} = 1/2 \lambda_{max}$ ), tada će stepen konvergencije da zavisi od najsporijeg, konvergirajućeg izraza oblika  $(1 - 2\mu R)^n$ , što znači da izraz  $1 - 2\mu\lambda$  mora biti što bliže jedinici. To je moguće za minimalnu vrednost  $\lambda = \lambda_{min}$ .

Dakle, za  $\mu \approx 1/2 \lambda_{max}$  može se izraziti najsporiji konvergirajući izraz:

$$[1 - 2\mu\lambda_{min}]^n = [1 - \lambda_{min} / \lambda_{max}]^n. \quad (46)$$

Aproksimativni izraz određuje i konstantu efektivnog vremena (u sekundama) za vreme  $t = nT$ , gde je  $T$  period uzorkovanja, prema izrazu:

$$\left[1 - \frac{\lambda_{min}}{\lambda_{max}}\right]^n = e^{-\frac{t}{\tau}}, \text{ gde je: } \tau = T \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}. \quad (47)$$

Dakle, odnos  $\lambda_{max} / \lambda_{min}$  kontroliše brzinu konvergencije.

Konvergencija je brža što je više ispunjen uslov  $\lambda_{max} / \lambda_{min} \approx 1$ , i obratno.

Treba istaći da velika brzina konvergencije neće biti moguća za izrazito autokorelativni signal  $y_n$ . U takvim situacijama, kada se zahteva velika brzina konvergencije koju LMS algoritam za ovakve signale realno ne može postići, pribegava se kombinaciji sa drugim algoritmima (na primer brzi RLS ili adaptivni rešetkasti algoritam). Treba spomenuti i mogućnosti ubrzavanja konvergencije,

koje počivaju na metodi koja je nalik Newtonovom načinu rešavanja sistema jednačina

$$f(h) = \frac{\partial \varepsilon}{\partial h} = 0.$$

Implementacija ove metode traži apriorno poznavanje vrednosti za  $R$ , koje nije dostupno.

I pored toga, neki algoritmi, zasnovani na sličnim metodama, imaju znatno veću brzinu konvergencije.

### Zaključak

Problem filtracije signala, koji je razmotren u ovom radu, vrlo je važan u mnogim naučno-tehničkim oblastima, kao što su: telekomunikacioni uređaji, rada-

ri, antene, telefonske mreže, uklanjanje „dubova“ (udvojene slike) na TV ekranu, itd.

Od čitavog niza adaptivnih filtera koji se navode u literaturi, pažnja je bila usmerena na jednostavnije primere. Bez obzira na to, predstavljeni filteri mogu se upotrebiti u sistemima koji moraju obezbediti željeno ponašanje objekta upravljanja (regulacije) i što brži odziv, kako na upravljačke signale, tako i na signale smetnje, što otvara mogućnosti primene na borbenim sistemima koji se nalaze u VJ.

#### Literatura:

- [1] Orfanidis, S.: Optimum signal processing – An introduction, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- [2] Stojić, M.: Digitalni sistemi upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [3] Obradović, M.; Milosavljević, M.: Digitalna obrada signala, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1988.
- [4] Debeljković, D.: Stohastički linearni sistemi automatskog upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1985.



Mr Mirko Borisov,  
potpukovnik, dipl. inž.  
Vojnogeografski institut VJ,  
Beograd

## UTVRĐIVANJE I OTKLANJANJE DEFORMACIJA SADRŽAJA GEOGRAFSKIH KARATA

UDC: [528.91+65.011.56] : [513.75/.76+528.165]

### Rezime:

*U radu je analizirana deformacija sadržaja geografskih karata i postupak njenog otklanjanja. Pošto geografske karte služe za prikazivanje i proučavanje geoprostornih podataka i njihovih metričkih karakteristika, neophodno je da budu tačne i da se otklone sve eventualne deformacije.*

*Ključne reči: geografska karta, automatizacija, model transformacije, deformacija, tačnost.*

### IDENTIFYING AND ELIMINATING DEFORMATIONS OF GEOGRAPHIC MAPS

#### Summary:

*The article deals with the analysis of deformations of geographic map contents and the procedure of eliminating deformations. Geographic maps are used for visualizing and studying geospatial data and for identifying metric features. For that reason the accuracy analyses are very important as well as the elimination of all possible deformations of the maps.*

*Key words: geographic map, automation, model of transformation, deformation, accuracy.*

### Uvod

Za državnu teritoriju Savezne Republike Jugoslavije postoje geografske karte razmere: 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:300000, 1:500000, 1:1000000 i 1:1500000. Njihov osnovni sadržaj zasniva se na topografsko-fotogrametrijskom premeru zemljišta izvršenom od 1947. do 1967. godine. Sve karte su povremeno ažurirane, a njihove glavne karakteristike odnose se na istu topografsku i matematičku osnovu. One su urađene po sistemu izvedenih karata i date u komfornoj (Gaus-Krigerovoj ili Lambertovoj) kartografskoj projekciji, sa Griničkim meridijanom kao početnim.

Primenjena su ista ili slična kartografsko-redakcijska rešenja, odnosno sve karte su izrađene u jedinstvenom geodetsko-kartografskom sistemu, čime je znatno olakšano njihovo korišćenje.

Budući da su mnoge topografske karte stare i preko dvadeset godina njihove dimenzije su prilično deformisane, što čini određenu teškoću pri upotrebi. S druge strane, na nekim tematskim kartama čine se namerne deformacije, radi efektnijeg prikaza određenih objekata i pojava.

Primenom novih tehnologija, utvrđivanje, otklanjanje ili unošenje deformacija sadržaja geografskih karata moguće je

potpuno ili delimično automatizovati. Sadržaj karata se iz analognog oblika digitajzerima pretvara u digitalni i registruje na nosioce pogodne za dalju obradu i korišćenje. Posebnim kompjuterskim programima iz digitalizovanih podataka uklanja se uticaj deformacije kartografskih podloga, a sadržaj transformiše u željeni koordinatni sistem.

### **Dosadašnja rešenja i postupci**

Pri ispitivanju tačnosti karte koriste se pravougla koordinate, pa se i tačnost definiše odstupanjem lokacije pojedinih tačaka od njihovog stvarnog položaja po koordinatama lokalnog ili državnog koordinatnog sistema. Kao mera tačnosti uzima se srednja kvadratna greška položaja tačaka. Ova greška se računa iz razlika koordinata tačaka određenih numeričkim metodama i koordinata istih tačaka očitanih sa lista karte. Poznato je da se grafička tačnost kreće od 0,1 do 0,2 mm, odnosno, ispod ove vrednosti zanemarljivi su svi preostali izvori grešaka.

Prema uputstvima za izvođenje radova na topografskim kartama, izdanja Vojnogeografskog instituta, dimenzije reprodukcijiskih originala situacije kontrolišu se u odnosu na teorijske dimenzije karte sračunate iz pravougljih koordinata temena. Dužine strana i dijagonala reprodukcijiskog originala situacije mere se na koordinatografu ili invarnim lenjirom, i upoređuju sa teorijskim dimenzijama, a dozvoljena odstupanja se kreću u sledećim granicama:

- za severnu i južnu stranu  $\pm 0,3$  mm;
- za istočnu i zapadnu stranu  $\pm 0,4$  mm;
- za dijagonale  $\pm 0,5$  mm.

Ako su odstupanja reprodukcijiskog originala situacije veća od dozvoljenih, ona se fotografskim putem dovode u teorijske dimenzije. Dimenzije ostalih reprodukcijiskih originala kontrolišu se u odnosu na izmerene dimenzije reprodukcijiskog originala situacije, a dozvoljena odstupanja su:

- za severnu i južnu stranu  $\pm 0,2$  mm,
- za istočnu i zapadnu stranu  $\pm 0,3$  mm.

Na reprodukcijiskom originalu situacije kontrolišu se i tačnost konstrukcije i iscrtavanja pravougla koordinatne mreže. Kontrola se vrši upoređivanjem izmerenih vrednosti odsečaka i rastojanja između susednih linija mreže sa njihovim stvarnim vrednostima. Dozvoljena odstupanja su  $\pm 0,2$  mm. Kada se ustanovi da linije mreže odstupaju više nego što je dozvoljeno, one se ponovo nanose.

### **Primena automatizacije u otklanjanju deformacija karte**

Primena automatizacije pretpostavlja digitalnu interpretaciju sadržaja geografskih karata. Pri tome se sadržaj karte može prikazati u vektorskom ili rasterskom obliku. Budući da vektorizacija oduzima dosta vremena, a i najveći deo grafičkih ulazno-izlaznih jedinica koje se danas primenjuju u praksi predviđen je za rasterske podatke, prednost se daje podacima u rasterskom obliku.

Da bi se iz digitalizovanih, odnosno skeniranih podataka smanjio uticaj deformacije kartografskih podloga, potrebno je za određeni broj digitalizovanih tačaka, čiji je tačan položaj poznat, utvrditi odstupanja i ako se ona nalaze izvan do-

zvoljenih granica, odrediti koeficijente transformacije i preslikati ukupan sadržaj karte. U tu svrhu mogu se upotrebljavati različiti modeli transformacija, a kriterijumi za izbor najpovoljnijeg su sledeći:

- maksimalna ili srednja kvadratna odstupanja položaja tačaka ne smeju preći unapred zadate iznose,

- broj tačaka koje treba identifikovati pri preslikavanju sadržaja jedne karte ne sme biti veliki, zbog vremena potrebnog za ukupnu transformaciju.

Tačnost transformacije najviše zavisi od rasporeda deformacija papira čitavog lista karte, odnosno veličine područja koje se transformiše istim koeficijentima. To znači da bi se, kada postoji potpuno pravilno (jednolično) deformisan list geodetskog plana ili geografske karte, na primer usukan za konstantan iznos, samo promenom razmere dobila kartografska podloga oslobođena deformacija.

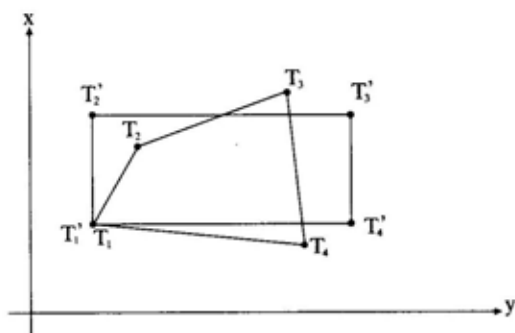
Pretpostavimo, što je mnogo verovatnije, nepravilnu deformaciju podloge. U tom slučaju bi se potpuna eliminacija deformacije podloge postigla tek kada bi se svaka tačka transformisala posebnim koeficijentima. Budući da je to praktično nemoguće ostvariti i da se, s druge strane, na određenim manjim delovima karte može pretpostaviti jednolika deformacija, onda se sa istim koeficijentima transformacije može preslikavati veći deo lista karte.

Postavlja se pitanje mogu li se transformacije, koje se najčešće koriste u geodeziji, tj. transformacija po sličnosti i afina transformacija, i u ovom zadatku sa uspehom primenjivati. Transformacija po sličnosti može se uspešno primeniti jedino uz pretpostavku potpuno jednolike de-

formacije papira, što će očitno retko biti slučaj.

Za primenu afine transformacije pretpostavka je afina deformacija. Budući da se afinom transformacijom paralelni pravci preslikavaju opet u paralelne pravce, i da odnos tri tačke na jednom pravcu ostaje sačuvan, to bi za uspešnu primenu afine transformacije bilo nužno da je, na primer, pri deformaciji pravougle koordinatne mreže sačuvana paralelnost te mreže i dužinski odnosi duž koordinatnih linija. Sigurno je da će deformacije podloga često biti nepravilne, pa se afinom transformacijom neće dobiti zadovoljavajući rezultati, tj. odstupanja datih i transformisanih koordinata neće biti u dozvoljenim granicama. Poznato je da afinom transformacijom nije moguće odrediti četvorougao preslikati u neki drugi četvorougao. Međutim, ako se četvorougao dijagonalom podeli u dva trougla, moguće je afino svaki trougao zasebno preslikati u odgovarajući drugi trougao i na taj način dovesti do poklapanja dati i transformisani četvorougao. Da bi se to postiglo svaki trougao mora se transformisati posebnim koeficijentima. U praktičnoj primeni afine transformacije, za odstranjivanje deformacija podloga, to znači da bi za svaku digitalizovanu tačku trebalo ustanoviti u kojem se trouglu nalazi. Ovakav postupak zahteva dodatno vreme računanja, pa afina transformacija nije pogodna za dati zadatak.

Prema tome za odstranjivanje deformacija kartografskih podloga, naročito onih koje poseduju samo četiri referentne (temene) tačke, trebalo bi upotrebiti transformaciju kojom je moguće dati četvorougao dovesti do poklapanja s poželj-



Sl. 1 – Projektivna transformacija

nim (teorijskim) četvorouglo. Takođe, trebalo bi imati u vidu da mnogi reprodukcijски originali geografskih karata imaju samo četiri referentne tačke, a to su temena (krstići) originala. Zbog toga bi najviše odgovarala projektivna transformacija. Osnovna svojstva projektivne transformacije su:

- svaka tačka jedne ravni prevodi se u odgovarajuću tačku druge ravni i obrnuto;

- svaki pravac jedne ravni prelazi u odgovarajući pravac druge ravni i obrnuto;

- promena razmere je fleksibilna (Helmertova transformacija ima uniformnu razmeru, afina transformacija ima konstantne razmere duž ose x i y);

- incidencija tačke i pravca ostaje sačuvana (korespondentna tačka leži na korespondentnom pravcu).

Na slici 1 prikazan je stvarni (deformisani) četvorougao, tj. okvir lista karte, određen tačkama  $T_i = (x_i, y_i)$  i teorijski četvorougao definisan tačkama  $T'_i = (x'_i, y'_i)$

Projektivna transformacija definisana je sledećim jednačinama:

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + a_0}{c_1x + c_2y + 1}, \quad y' = \frac{b_1x + b_2y + b_0}{c_1x + c_2y + 1} \quad (1)$$

Budući da u tim jednačinama ima osam nepoznatih parametara-koeficijenata  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_1$  i  $c_2$ , za njihovo određivanje potrebno je formirati osam jednačina oblika:

$$Ax = b, \quad (2)$$

gde je:

A – matrica koeficijenata,

x – vektor transformacionih parametara,

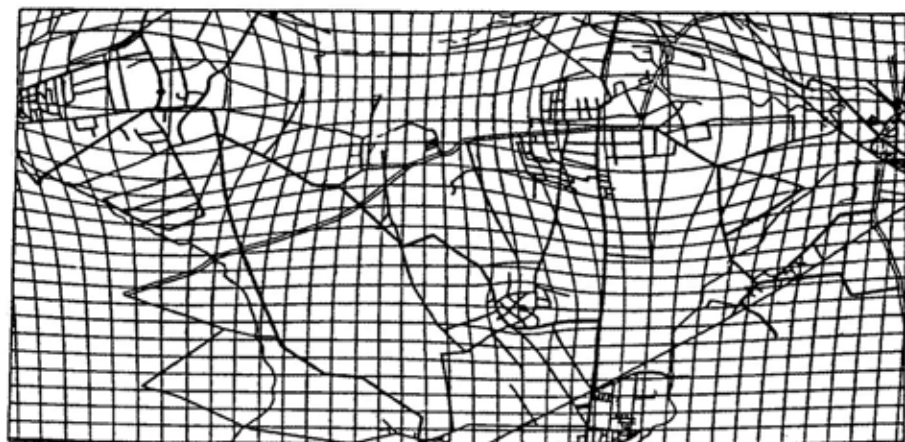
b – vektor teorijskih koordinata.

U razvijenom matričnom obliku jednačina (2) poprima sledeći oblik:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & -x_1x'_1 & 0 & 0 & 0 & -y_1x'_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & -x_2x'_2 & 0 & 0 & 0 & -y_2x'_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & -x_3x'_3 & 0 & 0 & 0 & -y_3x'_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & -x_4x'_4 & 0 & 0 & 0 & -y_4x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1y'_1 & 1 & x_1 & y_1 & -y_1y'_1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_2y'_2 & 1 & x_2 & y_2 & -y_2y'_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_3y'_3 & 1 & x_3 & y_3 & -y_3y'_3 \\ 0 & 0 & 0 & -x_4y'_4 & 1 & x_4 & y_4 & -y_4y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ c_1 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \\ x'_4 \\ y'_1 \\ y'_2 \\ y'_3 \\ y'_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Za rešavanje ovog sistema linearnih jednačina postoje različite metode, od kojih je Gaus-Jordanov algoritam najprikladniji, pa su mnogi programi za transformaciju tako i sačinjeni.

Osim projektivnom transformacijom navedeni zadatak može se rešiti i drugim modelima transformacije. Analiza nekoliko takvih modela transformacija, s obzirom na tačnost i potrebno vreme, sprovedena je u istraživačkom projektu *Model i organizacija geoprostornih podataka za razmeru 1:50000* koji se radi u Vojnotehničkom institutu. Rezultati te analize pokazali su da je projektivna transformacija jedna od najprikladnijih, pogo-



Sl. 2 – Namerno deformisana kartografska mreža (Lichtner 1983)

tovo za kartografske originale koji pose-  
duju samo temena kao referentne tačke.

#### *Namerne deformacije tematskih karata*

Da bi se postigao određeni efekat u  
izradi određenih tematskih karata defor-  
macije se namerno stvaraju. Reč je o de-  
formacijama koje se ne odnose na geo-  
metrijske deformacije usled fizičkih pro-  
mena materijala izazvanih proteklom vre-  
menom, oštećenjima ili spoljnim uticaji-  
ma, kao ni neizbežne deformacije koje  
nastaju pri preslikavanju Zemljine površi  
na ravan, već o namerno izvedenim de-  
formacijama. Na prvi pogled to se čini  
besmislenim, jer se po pravilu uvek teži  
da deformacije budu što manje. Među-  
tim, pri izradi nekih tematskih karata ili  
planova svrsishodna je namerna defor-  
macija topografske osnove (slika 2). Bit-  
na pretpostavka za takav postupak je od-  
ricanje od jedinstvene razmere i tačnog  
geometrijskog prikaza pojedinih objekta-  
ta. Medusobni položaj prikazanih objekta-

ta neće se promeniti takvom namerno  
uvedenom deformacijom.

Kada tema i s njom povezana inter-  
pretacija karte dopuštaju uvođenje na-  
merne deformacije, takav postupak treba  
realizovati samo onda kada je to nužno  
za ostvarivanje određenih ciljeva. To  
može biti potrebno zbog nekoliko razlo-  
ga, od kojih su najčešći:

- sadržaj karte treba da stane na  
ograničeni format prikladan za rukovanje;
- površina potrebna za prikaz obje-  
kata u delovima karte s velikom gusti-  
nom prikaza treba da bude prikladna,
- prikaz jedne teme treba ostvariti  
pomoću površinskih, a ne tačkastih i li-  
nijskih kartografskih znakova.

Namerna deformacija kartografskih  
mreža nije novi postupak u kartografiji,  
što je naročito izraženo kod planova gra-  
dova. Kada je to potrebno, na njima su  
središta gradova prikazana u krupnijoj  
razmeri od ostalog dela, a razmera se od  
središta grada prema rubovima kontinu-  
alno smanjuje. Na taj način za prikaz gu-  
sto naseljenih delova u središtu grada na

Transformation Model Warp Area 

Pt #	Control (w <sub>c</sub> )		Input (i <sub>n</sub> )		Weight		Residual (w <sub>r</sub> )		SSE
	x	y	x	y	x	y	x	y	
1	508264.4160	508264.4160	0.3643	0.5950	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	518757.3120	507258.8600	15.3329	0.3847	1.0000	1.0030	0.0000	0.0000	0.0000
3	599380.1440	528149.0500	0.4224	22.4441	1.0000	1.0079	0.0000	0.0000	0.0000
4	519208.2240	520483.4500	16.2051	22.2410	1.0000	1.0009	0.0000	0.0000	0.0000

Sl. 3 – Izveštaj za projektivnu transformaciju

raspolaganju je više mesta po jedinici površine nego u rubnim područjima, gde obično ima manje objekata koje treba prikazati. Takav prikaz ne utiče na kartu kao orijentaciono sredstvo u gradu, a za celovit i čitljiv prikaz u nekoj prikladnoj jedinstvenoj razmeri trebalo bi koristiti veći format.

### Rezultati ispitivanja i analiza

Prvi korak pri izradi karte je raster-ska digitalizacija (skeniranje) geografske karte, najčešće pomoću skenera. Listovi karte skeniraju se rezolucijom 100 μm. Na taj način se skenirana geografska karta razlaže u skup rasterskih tačkica. Sve

one zajedno čine dvodimenzionalni raster, tj. slikovnu matricu piksela  $R^{NM}$ :

$$r \in R^{NM}; \quad R^{NM} = \{(i, j)\} \\ |1 \leq i \leq N; 1 \leq j \leq M\}, \quad (4)$$

gde je:

r – tačka (piksel) rasterske slike;

N – broj reda;

M – broj kolone;

i, j – celobrojne promenljive.

Pre eliminacije deformacija izmeren je usuh papira i astralona određenog broja listova topografske karte razmere 1:50000. Kao ilustrativni primer izabrana je topografska karta u razmeri 1:50000, list Bijeljina 4, a rezultati ispi-

Tabela 1

Utvrđivanje deformacija kartografskih podloga

Ivica topografske karte		Severna	Južna	Istočna	Zapadna	Dijag. 1	Dijag. 2
		Δ = Mereno – Teorijsko (mm)					
Izvorni dokument							
List karte		-0,39	-0,36	-0,35	-0,73	-0,77	-0,62
Reprodukcijски originali	situacija	-0,31	-0,32	-0,09	-0,22	-0,51	-0,22
	hidrografija	-0,34	-0,32	-0,03	-0,17	-0,42	-0,14
	izohipse	-0,32	-0,37	-0,05	-0,27	-0,52	-0,14
	vegetacija	-0,32	-0,37	-0,07	-0,24	-0,42	-0,20
	maska šuma	-0,33	-0,42	-0,08	-0,37	-0,57	-0,42
	maska voć.	-0,50	-0,40	-0,08	-0,38	-0,42	-0,40

Transformation Model   
 Warp Area

Pt #	Control (wu)		Ispet (in)		Weight		Residual (wu)		SSR
	x	y	x	y	x	y	x	y	
1	599084.4180	568924.4180	0.3648	0.8050	1.0000	1.0000	0.7927	-2.5803	0.0000
2	618737.3120	557256.6000	15.8329	0.3647	1.0000	1.0000	3.786-	-0.7171	0.0000
3	609390.1440	529148.0500	0.6324	22.4441	1.0000	1.0000	-0.3226	-3.6711	0.0000
4	619288.2240	525463.4500	18.2651	22.2410	1.0000	1.0000	0.6515	0.9660	0.0000

Sl. 4 – Izveštaj za Helmertovu transformaciju

tivanja prikazani su u tabeli 1. Na osnovu rezultata mogu se uočiti određene nepravilne deformacije, tj. vrlo mala odstupanja istočne ivice u odnosu na ostale strane reprodukcijских originala.

Merene vrednosti dobijene su očitavanjem referentnih tačaka na skeniranim kartografskim podlogama (list karte i reprodukcijски original). Mogući izvori grešaka su:

- greška sadržaja;
- greška usled deformacija podloge;
- greška usled detaljnosti pozicionih jedinica (npr.: glavna jedinica – metar, podjedinica – milimetar, položajna jedinica – 1);

- greška očitavanja (veličina piksela za list karte je 100  $\mu\text{m}$ , a za reprodukcijски original 50  $\mu\text{m}$ );

- greška procesa skeniranja (deklarirana tačnost korišćenog skenera tipa OPTRONICS 5040 obuhvata: aksijalnu grešku  $\pm 12 \mu\text{m}/\text{m}$ , periferijsku grešku  $\pm 25 \mu\text{m}/\text{m}$ , ortogonalnu grešku  $\pm 12 \mu\text{m}/\text{m}$  i grešku ponavljanja  $\pm 25 \mu\text{m}/\text{m}$ .

Posle transformacije, odnosno odstranjivanja deformacije podloga, mesta referentnih tačaka karte ponovo su očitavana digitajzerom. Izveštaji o tome prikazani su na slici 3 za projektovanu transformaciju, slici 4 za Helmertovu transformaciju i slici 5 za afinu transformaciju. Čitanja su obavljana u državnom pravougloj koordinatnom sistemu. Na osnovu očitanih vrednosti koordinata i istinitih vrednosti sračunata su odstupanja.

Pored toga, očitane su koordinate svih tačaka preseka pravouglo mreže i

Tabela 2

Standardne greške modela transformacije koordinatne mreže

Topografska karta / Model transformacije	Broj ispitanih tačaka	List karte (mm)					Original karte (mm)				
		$\delta_x$	$v_{x_{\max}}$	$\delta_y$	$v_{y_{\max}}$	$\delta_{xy}$	$\delta_x$	$v_{x_{\max}}$	$\delta_y$	$v_{y_{\max}}$	$\delta_{xy}$
Helmertova	192	0,15	-0,35	0,11	0,35	0,19	0,10	-0,26	0,08	0,22	0,13
Afina	192	0,11	-0,29	0,07	0,23	0,14	0,09	0,25	0,07	0,16	0,12
Projektivna	192	0,10	-0,28	0,08	0,23	0,13	0,09	0,22	0,10	0,23	0,13

Transformation Model Warp Area 

Pt #	Control (wa)		Input (in)		Weight		Residual (wu)		SSE
	x	y	x	y	x	y	x	y	
1	69984.4180	655974.4181	0.3818	0.3950	1.0000	1.0000	0.7745	2.1923	0.0000
2	618737.3120	6517251.8930	15.5329	1.3847	1.0000	1.0000	-0.7742	-2.1815	0.0000
3	699380.1440	629118.0000	0.6324	22.4441	1.0000	1.0000	-0.7718	-2.1832	0.0000
4	619289.2240	629453.4580	18.2657	22.2419	1.0000	1.0000	0.7710	2.1824	0.0000

Sl. 5 – Izveštaj za afinu transformaciju

sračunata odstupanja od teorijskih vrednosti. Na osnovu dobijenih odstupanja sračunate su maksimalne greške  $v_x$  i  $v_y$ , kao i standardne greške  $\delta_x$ ,  $\delta_y$  i  $\delta_{xy}$  uklapanja i prikazane u tabeli 2.

Greške su približno istih veličina i na ostalim listovima karte. Standardna greška  $\delta_{xy}$  uklapanja mreže sa reprodukcijskog originala kreće se od 0,12 do 0,13 mm, što iznosi od 6 do 6,5 m u prirodi, dok se standardna greška  $\delta_{xy}$  pravougule mreže na listu karte kreće od 0,13 do 0,19 mm, što iznosi od 6,5 do 9,5 m u prirodi. To potvrđuje da ispitani listovi karte imaju pravilan apsolutni položaj u okviru korišćenog koordinatnog sistema i da ne postoji zakošenje, rotacija ili translacija iscrtane mreže, odnosno, da nije narušena homogenost sadržaja topografske karte 1:50 000.

Položajna tačnost ostalih podataka na karti nije kontrolisana. S obzirom na to da je broj ispitanih tačaka pravougule mreže prilično gust, a sadržaj topografske karte pozicioniran u odnosu na mrežu, velika je verovatnoća dobre tačnosti i ostalog sadržaja.

## Zaključak

U članku su analizirana različita rešenja u smanjenju deformacija kartografskih podloga i njihove transformacije u teorijski okvir. Primenjene su Helmertova transformacija radi kontrole odstupanja i projektivna transformacija za preslikavanje u teorijske vrednosti. Razlike između transformisanih i teorijskih koordinata pokazuju da grubih grešaka nema. Međutim, neka temena karte posle izvršene Helmertove transformacije još prilično odstupaju od teorijskog položaja, dok temena karte dobijena projektivnom transformacijom pokazuju da je njihov položaj preslikan u matematički definisani položaj, tj. da je usuh duž okvira potpuno eliminisan.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da projektivna transformacija donosi bolje rezultate za otklanjanje deformacija kartografskih podloga, pogotovo ako postoje samo četiri referentne tačke, kao što je slučaj sa većinom kartografskih originala. Kada je u pitanju veći broj tačaka za izabrane modele transformacije, to dovodi do beznačajnih kom-



penzacija grešaka; odnosno, povećanjem broja identičnih tačaka ne povećava se znatno ni tačnost podataka, ni preciznost rada. Zbog toga pri merenju pojedinih tačaka karte može doći do odstupanja i posle transformacije, što ukazuje na to da ne postoji model apsolutno tačnog uklapanja, što zbog modela transformacije, što zbog postojanja nekontrolisanih slučajnih i sistematskih grešaka koje ometaju povećanje tačnosti, odnosno preciznosti merenja.

*Literatura:*

[1] Bentley Systems: MicroStation 95, User's Guide, Alabama, 1995.

- [2] Borisov, M.: Opšta geografska karta SR Jugoslavije 1:1 000 000, magistarski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 1996.
- [3] Kobayashi, K., Mori, C.: Relations between the Coefficients in the Projective Transformation equations and the Orientation Elements of a Photograph, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 63, No. 9, 1997, pp. 1121-1127.
- [4] Lichtner, W.: Kompjuterska deformacija kartografskih mreža i prikaza objekata u izradi tematskih karata, predavanja, Zagreb, 1983.
- [5] Nestorov, I., Damjanović, P.: Otklanjanje deformacija skeniranih geodetskih podloga, II Jugoslovenski seminar o primeni CAD tehnologija, Novi Sad, 1995, str. 303-309.
- [6] Frančula, N.: Primena automatizacije u transformaciji sadržaja planova starih koordinatnih sustava u Gaus-Krigerovu projekciju, savetovanje Kartografska dokumentacija u društveno političkim zajednicama, Dubrovnik, 1977, str. 215-227.
- [7] VGI: Uputstvo za izvođenje radova na drugom izdanju topografskih karata, Beograd, 1982.

Dejan Stojković,  
poručnik,  
Vojna akademija VJ,  
Odesek logistike,  
Beograd

## UPRAVLJANJE RIZIKOM PROJEKTA

UDC: 368.025.6 : 65.012.4

### Rezime:

*Upravljanje rizikom projekta predstavlja specifičan proces u ukupnoj primeni koncepta upravljanja projektom i obuhvata: identifikaciju rizika, kvantifikaciju i analizu rizika, planiranje odgovora na rizik i praćenje i kontrolu reakcija na rizik. U okviru ovog rada prikazan je celokupan postupak upravljanja rizikom na projektu.*

*Ključne reči: upravljanje, rizik, projekat, upravljanje projektom, upravljanje rizikom projekta.*

---

## PROJECT RISK MANAGEMENT

### Summary:

*The risk management is a specific process in the application of the complete project management concept. The project risk management consists of risk identification, analysis and estimation of risk, planing of the response to the risk and control of the risk. In this paper the complete project risk management approach is presented.*

*Key words: management, risk, project, project management, project risk management.*

---

### Uvod

S obzirom na to da se projekti realizuju u budućnosti, a da je budućnost neizvesna i puna rizika, javlja se potreba za upravljanjem rizikom projekta. Na taj način poboljšava se ukupni sistem upravljanja projektom i smanjuju neželjeni efekti tokom realizacije projekta.

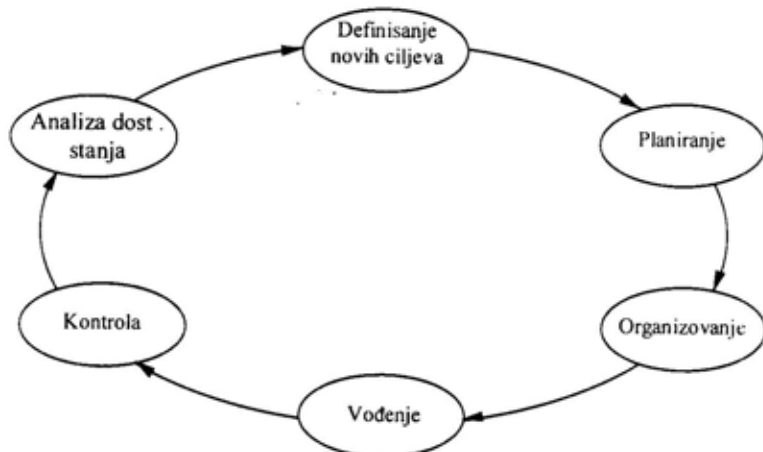
Upravljanje rizikom projekta danas je nezaobilazan deo opšteg koncepta upravljanja projektom pomoću kojeg se teži postizanju što veće verovatnoće dostizanja željenih ciljeva projekta. Predstavlja naučno zasnovan i u praksi proven koncept kojim se uz pomoć odgo-

rajućih metoda i tehnika vrši proces identifikacije, paralizuje uticaja i planiranja reagovanja na određene faktore rizika koji nastaju u toku realizacije projekta.

Cilj upravljanja rizikom projekta je da, što je više moguće, smanji uticaje koji mogu negativno uticati na tok projekta, kao i da se iskoriste sve mogućnosti za uspešnije i racionalnije izvođenje projekta.

### Upravljanje projektom

Pod projektom se podrazumeva skup logički međusobno povezanih aktivnosti, koje čine celinu i kojima je svrha



Sl. 1 – Faze procesa upravljanja

zajednička, a realizuju se u budućnosti, kako bi se postavljeni ciljevi ostvarili u predviđenom vremenu i sa predviđenim troškovima. Karakteristike projekta su:

- vrlo je složen i zahteva veliki broj aktivnosti i učesnika,
- sadrži sve elemente poslovnog procesa,
- odvija se u budućnosti,
- imanentni su mu rizik i neizvesnost,
- jedinstven je, odnosno neponovljiv,
- vremenski je ograničen i jednokratn,
- sadrži konačne ciljeve koje treba postići,
- u njemu učestvuju ograničeni ljudski i materijalni resursi,
- zahteva koordinaciju u realizaciji i njime se mora upravljati kako bi se efikasno realizovao.

Složenost projekata, ogromni troškovi realizacije i veliki broj učesnika u njima izazvali su potrebu za upravljanjem projektima. Upravljanje je, kao fenomen, prisutno još iz vremena drevnih

civilizacija. Tokom vremena se razvijalo, prilagođavalo čoveku i njegovim potrebama, tako da danas predstavlja neophodnost savremenog sveta. Neophodno je radi efikasnog funkcionisanja i razvoja svakog preduzeća, socijalnog sistema, za efikasnije odvijanje svakog složenijeg posla i poduhvata.

U domaćoj i inostranoj literaturi nalaze se brojne definicije upravljanja, što je posledica različitih teorijskih i metodoloških pristupa. U opštem smislu pod upravljanjem se podrazumeva kontinualno dejstvo upravljačkih akcija kojim se uticajem na parametre sistema, sistem prevodi iz jednog stanja u drugo. U delu Principi kibernetike A. T. Lerner definiše upravljanje kao dejstvo na objekat koje poboljšava funkcionisanje ili razvoj datog objekta, a koje je izabrano iz mnoštva mogućih dejstava, na osnovu za to raspoloživih informacija [1]. P. Jovanović navodi da je upravljanje skup radnji koje obezbeđuje vođenje procesa sa ciljem postizanja optimalnih rezultata [2].

Jedan od najvažnijih zadataka pri određivanju upravljanja svakim sistemom jeste i definisanje cilja sistema i cilja upravljanja sistemom. Cilj sistema je novo, željeno stanje u koje sistem treba prevesti, a cilj upravljanja sistemom je izbor i realizacija upravljačkih akcija kojima se sistem prevodi u novo stanje, odnosno kojim se dostiže cilj sistema. Sistem obično ima više ciljeva koji su međusobno konfliktni, a koje treba realizovati u većem ili manjem obimu. Postoje i specifični slučajevi u kojim nije zadat cilj sistema kao novo, željeno stanje, već je obično cilj da se održi sistem, uprkos poremećajima u postojećem stanju.

Proces upravljanja se karakteriše, pored ostalog, i velikom složenošću. Radi efikasnog proučavanja ovog problema celovit proces upravljanja deli se na pojedinačne procese, faze ili funkcije upravljanja, kako se često nazivaju u literaturi. Danas se, najčešće, pominju sledeće faze:

- analiza dostignutog stanja ostvarenjem ciljeva iz prethodnog perioda;
- definisanje novih ciljeva svih nivoa menadžmenta (strateških, funkcionalnih i operativnih);
- planiranje radnih aktivnosti i očekivanih rezultata kao posledicu;
- organizovanje pod kojim se podrazumeva strateška podela rada, izbor izvršilaca i delegiranje odgovornosti za posao i ekonomiju, operativna dodela poslova;
- vodenje izvršavanja radnih aktivnosti;
- kontrola izvršenja izabranog plana na svim menadžment-nivoima.

Faze predstavljaju neprekidan proces i stalno se ponavljaju, pa ih je bolje

prikazati u kružnom toku nego u pravolinijskom (slika 1) [3].

Iz potrebe za proučavanjem upravljanja kao složenog procesa, za proučavanjem upravljačkih problema i fenomena vezanih za efikasno izvršavanje određenih poslova i zadataka nastao je *menadžment* kao posebna naučna disciplina multidisciplinarnog karaktera. Pojedinačne specijalizovane discipline menadžmenta kao što je *project management* usmerene su na upravljanje pojedinačnim procesima, poduhvatima ili funkcijama radi njihovog efikasnijeg izvršavanja.

Koncept upravljanja projektima nastao je u SAD pri realizaciji složenih vojnih projekata, a u Jugoslaviji je postao poznat šezdesetih godina, kada su angažovane strane konsultantske kuće na realizaciji nekih naših projekata.

*Upravljanje projektom (Project management)* predstavlja naučno zasnovan i u praksi potvrđen koncept kojim se, pomoću odgovarajućih metoda, organizacije, planiranja i kontrole vrši usklađivanje svih potrebnih resursa i koordinacija obavljanja potrebnih aktivnosti da bi se određeni projekat realizovao na najefikasniji način [2].

Koncept upravljanja projektom zasniva se na uspostavljanju i korišćenju takve organizacione forme koja omogućava najuspešnije realizaciju projekta, odnosno najefikasnije korišćenje raspoloživih metoda, resursa i ljudi za postizanje optimalnih rezultata u realizaciji projekta.

Osnovne karakteristike koncepta upravljanja projektom su [4]:

- definisanje i korišćenje odgovarajuće (najpogodnije) organizacije za upravljanje realizacijom projekta, gde ona ima osnovnu ulogu;

Gradacija rizika u zavisnosti od verovatnoće nastajanja rizičnog događaja i mogućih posledica

Mogućće posledice Verovat. rizič. događ.	Zanemarljive	Značajne	Ozbiljne	Velike	Veoma velike
Mala	zanemarljiv rizik	mali rizik	srednji rizik	veliki rizik	veoma veliki rizik
Srednja	mali rizik	srednji rizik	veliki rizik	veoma veliki rizik	veoma veliki rizik
Velika	srednji rizik	veliki rizik	veoma veliki rizik	veoma veliki rizik	veoma veliki rizik

– formiranje i korišćenje odgovarajućeg informacionog sistema za upravljanje realizacijom projekta zasnovanog na računaru i odgovarajućim softverskim paketima;

– formiranje i korišćenje odgovarajućeg informacionog sistema za upravljanje realizacijom projekta zasnovanog na računaru i odgovarajućim softverskim paketima;

– korišćenje tehnika mrežnog planiranja i gantograma u planiranju, praćenju i kontroli realizacije projekta.

## Pojam rizika

Svaka ljudska aktivnost, poduhvat i zadatak uključuje i određeni rizik. U opštem smislu pod rizikom se podrazumeva nešto neočekivano, nepredviđeni događaji, odnosno rizik predstavlja mogućnost ostvarenja nepredviđenih i neželjenih posledica. Takvo određenje je sasvim opravdano imajući u vidu da ni planiranje, usmeravanje i vođenje budućih događaja nije garant da će se planirani ciljevi i ostvariti.

U literaturi se javlja više definicija rizika. Kerzner H. definiše rizik kao verovatnoću da neki poduhvat ili projekat pretrpi neuspeh i posledice koje proističu

iz tog neuspeha. Po jednoj koncepciji Kerzner određuje rizik kao funkciju verovatnoće nastanka rizičnog događaja i posledice koje njegovom realizacijom nastaju:

$$Rizik = f(\text{verovatnoća, posledice})$$

Povećanje verovatnoće nastajanja rizičnog događaja ili posledica koje ti događaji izazivaju utiču na to da je i ukupan rizik veći. Po drugoj koncepciji Kerzner determiniše rizik kao funkciju rizičnog događaja i strategije upravljanja rizikom:

$$Rizik = f(\text{rizični događaj, strategija})$$

U tom slučaju dobro upravljanje rizikom podrazumeva da se identifikuje rizični događaj i obezbedi adekvatna strategija upravljanja kako bi se izbegle ili umanjile posledice koje bi nastale realizacijom identifikovanog rizičnog događaja [5].

Rizik se u projektu karakteriše sa tri ključna faktora: rizičnim događajem, verovatnoćom rizika i veličinom uloga.

*Rizični događaj* predstavlja pojavu, aktivnost ili događaj koji može da ostvari štetan uticaj na realizaciju projekta i izazove nepovoljne i neželjene posledice. *Verovatnoća rizika* predstavlja verovat-

Gradacija rizika u zavisnosti od tehnologije, fleksibilnosti i veličine projekta

Kriterijum	Tehnologija	Niska				Visoka			
	Fleksibilnost	mala		velika		mala		velika	
	Veličina projekta	mali	veliki	mali	veliki	mali	veliki	mali	veliki
Oktant		A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)	G (7)	H (8)
Gradacija rizika		mali		mali ka srednjem		srednji		veliki	

noću nastanka rizičnog događaja, *dok veličina uloga* predstavlja veličinu gubitaka koji može da nastane ako se realizuje rizični događaj i ostvari štetan uticaj na projekat.

U teoriji postoje različite gradacije i definicije neizvesnosti i rizika. Jedna od veoma poznatih definicija koja se koristi u poslovnom odlučivanju razlikuje tri tipa [2]: izvesnost, rizik i neizvesnost.

Pod *izvesnošću* se podrazumeva situacija kod koje se mogu tačno odrediti sve potrebne veličine i sva moguća rešenja. Pod *rizikom* se podrazumeva takva situacija u budućnosti kod koje postoji više varijanti rešenja sa poznatom verovatnoćom pojavljivanja. Pod *neizvesnošću* se podrazumeva takva situacija u budućnosti kod koje postoji više varijanti rešenja sa nepoznatom verovatnoćom pojavljivanja. Primeri gradacije rizika u zavisnosti od primenjenih kriterijuma prikazani su u tabelama 1 i 2 [2].

### Koncept upravljanja rizikom projekta

Da bi se ostvarili planirani ciljevi realizacije projekta neophodno je da se upravlja svim njegovim delovima, područjima i aspektima, pa prema tome i rizikom projekta. Upravljanjem se povećava

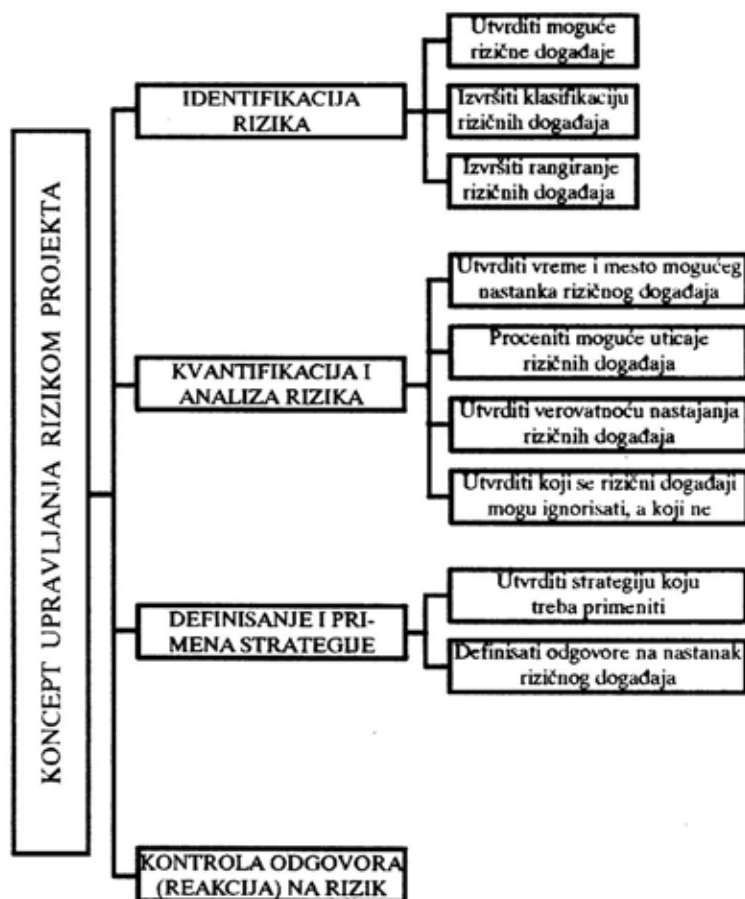
verovatnoća dostizanja planiranih ciljeva projekta, a smanjuje mogućnost nastajanja nepoželjnih događaja i posledica koje mogu nastati.

*Upravljanje rizikom projekta* obuhvata skup upravljačkih metoda i tehnika koje se koriste da bi se smanjila mogućnost ostvarenja neželjenih i štetnih događaja i posledica i time povećale mogućnosti ostvarenja planiranih rezultata [2].

Na osnovu stavova Instituta za upravljanje projektom Kerzner u svom delu navodi tri definicije upravljanja rizikom projekta [5]:

- upravljanje rizikom je formalni proces kojim se faktori rizika sistematično identifikuju i izbegavaju;
- upravljanje rizikom je formalna i sistematična metoda koja obuhvata identifikaciju i kontrolisanje događaja koji potencijalno mogu da izazovu neželjene promene;
- upravljanje rizikom je umetnost i nauka identifikacije, analize i pružanje odgovora na faktore rizika kroz čitav životni ciklus projekta.

Upravljanje rizikom projekta može se prikazati kroz sledeće potprocese: identifikaciju rizika, kvantifikaciju i analizu rizika, definisanje i primenu strategije upravljanja rizikom, kontrolu i sprovođenje odgovora na rizik.



Sl. 2 – Koncept upravljanja rizikom projekta

Koncept upravljanja rizikom projekta prikazan je na slici 2.

Identifikacija rizika predstavlja prvu fazu u ukupnom procesu upravljanja rizikom projekta. U ovoj fazi potrebno je utvrditi koji rizici mogu uticati na realizaciju projekta. Upravljanje rizikom projekta je kontinualni proces koji se obavlja konstantno tokom njegove realizacije, što znači da se sve faze procesa upravljanja rizikom izvršavaju neprekidno tokom realizacije projekta. Dakle, identifi-

kacija rizika ne podrazumeva samo utvrđivanje rizika i rizičnih događaja pre početka izvođenja projekta, već konstantnu identifikaciju rizika na projektu tokom celokupnog njegovog trajanja.

Identifikacija rizika treba da obuhvati i rizike koji nastaju i u okviru unutrašnjeg domena projekta, kao i rizike koji su prouzrokovani okruženjem i spoljnim faktorima realizacije projekta. Pod identifikacijom rizika obično se podrazumeva utvrđivanje događaja koji mo-

gu negativno uticati na realizaciju projekta. Međutim, u okviru projektnog okruženja identifikacija rizika obuhvata utvrđivanje rizika koji mogu prouzrokovati nepovoljne događaje na projektu, kao i utvrđivanje rizika koji mogu doneti pozitivne rezultate u realizaciji projekta. Ako se ne identifikuje i ne sagleda rizik i sa ove druge strane, strane koja može doneti pozitivne rezultate, ne može se postići efikasna ukupna realizacija projekta.

Faza *kvantifikacije i analize rizika* na projektu obuhvata kvantifikovanje i ocenu pojedinačnih rizika, kao i rizičnih događaja skupa i interakcije između njih. U okviru ove faze vrši se vrednovanje identifikovanih rizika, kvantifikacija uticaja rizičnog događaja, utvrđivanje verovatnoće njihovog nastajanja, utvrđivanje opsega mogućih vrednosti, definisanje vremena i prostora u kojem se rizični događaji mogu dogoditi, kao i analiza osetljivosti na promenu projektnih parametara.

Kvantifikaciju i analizu rizika karakteriše primena određenih metoda i tehnika u skladu sa opštim karakteristikama projektnog izvođenja posla i procesa upravljanja rizikom projekta. Postoji veliki broj različitih metoda i tehnika koje mogu da se koriste u procesu kvantifikacije i analize projekta, kao na primer:

- mrežna analiza,
- analiza troškova životnog ciklusa projekta,
- analiza očekivanog uticaja rizika,
- analiza verovatnoće,
- simulacija,
- tehnika stabla odlučivanja,
- „delfi“ tehnika,
- analiza troškova ukupnog rizika, i druge.

Kao izlaz iz faze kvantifikacije i analize rizika projekta dobija se:

– lista rizičnih događaja koje treba uzeti u razmatranje u fazi definisanja strategije upravljanja rizikom projekta i za njih definisati odgovarajuće strategije, planove, postupke i ostale akcije kako bi se sprečili negativni efekti ili iskoristile povoljne okolnosti,

– lista rizičnih događaja za koje rukovodstvo projekta treba da primeni strategiju prihvatanja dešavanja ili njihovog ignorisanja.

*Definisanje i primena strategije upravljanja rizikom* predstavlja treću fazu u ukupnom procesu upravljanja rizikom projekta. U okviru ove faze definišu se strategije proaktivnog i reaktivnog delovanja na utvrđeni, kvantifikovani i analizirani rizik projekta. Definisanje strategije podrazumeva unapred pripremljene reakcije u slučaju pojave pozitivnih faktora koji utiču na realizaciju projekta, kao i definisanje preventivnih akcija i odgovora na rizične događaje koji donose negativne posledice po projekat. Moguće strategije su: ignorisanje rizika, smanjivanje rizika, prebacivanje rizika i kontingencijsko planiranje.

*Ignorisanje rizika* predstavlja takvu strategiju kod koje se uočava mogući rizični događaj, ali se ne preduzima nikakva akcija.

*Smanjenje rizika* predstavlja takvu upravljačku strategiju kod koje se vrše određene izmene u projektu radi smanjenja mogućnosti ostvarenja rizičnog događaja i njegovog uticaja na projekat.

*Prebacivanje rizika* predstavlja takvu strategiju kod koje se nastoji da se



oslobodi ili smanji rizik u projektu tako što će se deo rizika ili ceo rizik prebaciti na drugu stranku ili drugu osobu.

*Kontingencijsko planiranje* je posebna strategija za postupanje u uslovima neizvesnosti rizika, koje uvažava specifičnosti svake pojedinačne situacije.

Poslednju fazu predstavlja kontrola odgovora (reakcija) na rizik tokom izvođenja projekta. Zbog specifičnosti procesa upravljanja rizikom nije moguće kontrolisanje rizičnih događaja. U ovom slučaju se, radi smanjenja rizika i posledica koje oni donose, vrši prethodno planiranje reakcija i odgovora na rizične događaje, kako bi se moguće štete svele na objektivno mogući minimum. Zbog toga se u ovoj fazi obavlja kontrola sprovođenja odgovora ili reakcija na rizik, kako bi se utvrdilo da li su planirani odgovori adekvatni i da li treba uvoditi nove odgovore. Na taj način se uz pomoć kontrole reakcija na rizik mogu uvoditi novi odgovori na rizik, u skladu sa realnim odvijanjem projekta. Time se celokupni proces upravljanja rizikom pretvara u kontinualan proces, u kojem se prethodno navedene faze procesa upravljanja rizikom stalno ponavljaju i tako obezbeđuje efikasna zaštita od rizičnih događaja.

## Zaključak

Svi projekti prolaze kroz različite probleme tokom svoje realizacije, jer se

realizuju u jednom budućem periodu, gde se ne mogu sa sigurnošću predvideti svi mogući neželjeni događaji, što podrazumeva da su projektu imanentni rizik i neizvesnost.

Dostizanje projektnih ciljeva i uspešna realizacija projekta umnogome zavisi od adekvatnog upravljanja rizikom projekta. To nije nezavisan proces koji se na projektu odvija mimo ostalih događaja, već integralni deo upravljanja projektom u celini. Uspešna primena koncepta upravljanja projektom podrazumeva osmišljavanje i adekvatnog koncepta upravljanja rizikom projekta koji bi odgovarao konkretnom tipu projekta, mogućnostima i ograničenjima.

## Literatura:

- [1] Lerner, A. T.: Principi kibernetike, Tehnička knjiga, Beograd, 1970.
- [2] Jovanović, P.: Upravljanje projektom, FON, Beograd, 1999.
- [3] Rajkov, M.: Upravljanje preduzećem, FON, Beograd, 1991.
- [4] Grupa autora: Upravljanje projektima i korišćenje CA Super Project 2, Institut za bakar, Bor, 1998.
- [5] Kerzner, H.: Project Management – a Systems approach to planning, scheduling and controlling, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- [6] Ansoff, H. I.: Strategic management, The Macmillan Press, London, 1984.
- [7] Kaufman, A.: The Science of Decision Making, World University Library, London, 1968.
- [8] Lazić, J.: Uvod u teoriju i praksu rukovođenja, KIZ „Centar“, Beograd, 1997.
- [9] Stanković, B.: Upravljanje rizikom od hemijskih udesa, Institut za kvalitet rada i životne sredine, Niš, 1996.

### **Uvod**

Savremeni borbeni avioni sve češće dobijaju višenamenski karakter, koji zavisi od njegovog sistema za upravljanje vatrom, čiji je ključni element avionski radar, koji kod savremenih aviona preuzima sve više funkcija.

U članku su prikazani režimi rada i funkcija, kao i osnovne karakteristike i tendencije razvoja savremenih avionskih radara. U tabelama su navedeni podaci o većem broju avionskih radara proizvođača iz zapadnih zemalja, čija je proizvodnja, odnosno upotreba u toku.

S obzirom na to da su numerički podaci preračunavani iz anglosaksonskih mernih jedinica u međunarodni sistem jedinica, pri proračunu je obavljeno zaozračivanje vrednosti. Neke podatke proizvođači nisu objavili, pa ih nema u tabelarnom pregledu.

### **Višefunkcionalnost radara**

Jedinstvena klasifikacija radara ne postoji. Pod avionskim radarima obično se podrazumevaju: izviđački i navigacioni radari, radari za upravljanje vatrom i za bombardovanja, meteorološki radari,

radari za let na malim visinama, višenamenski radari, itd.

Savremeni avionski radari, za razliku od ranijih, obavljaju veliki broj različitih funkcija koje se, uslovno, mogu svrstati u dve grupe. Prva grupa funkcija avionskog radara, koja se odnosi na okruženje aviona, obuhvata navigaciju, identifikaciju, rano upozoravanje na opasnost iz vazdušnog prostora, meteorološko osmatranje, merenje visine, i slično. Druga grupa funkcija odnosi se na zadatke koje obavlja avion i obuhvata pretraživanje i osmatranje (uključujući mapiranje terena i izvidanje), praćenje ciljeva, upravljanje vatrom naoružanja aviona, praćenje pogodaka, rekonstrukciju putanje projektila, obeležavanje (ozračavanje) ciljeva, itd. Nekada je za svaku od ovih raznovrsnih funkcija postojao poseban radar, tako da jedan avion nije mogao imati sve ove radare. Međutim, u savremenim uslovima, zahvaljujući napretku digitalne i računarske tehnologije, kao i tehnika obrade signala i minijaturizacije koju je donela tehnologija integrisanih kola, veći broj ovih funkcija integriše se u jednom radaru. Zbog toga je razvoj višenamenskih avionskih radara već postao praksa.

Režimi rada avionskih radara su: vazduh–vazduh (v–v); vazduh–zemlja (v–z) i vazduh–more (v–m). Glavne funkcije radara, odnosno modovi u funkciji pojedinih režima, prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1

Režimi rada i funkcije avionskih višenamenskih radara

Režimi rada radara	
vazduh–vazduh	vazduh–zemlja (more)
Merenje daljine u toku pretraživanja – osmatranja – otkrivanja (Range While Search).	Mapiranje terena (kartografija):
Pretraživanje po brzini (Velocity Search).	– realnim snopom zračenja (Real Beam Mapping),
Praćenje u toku skeniranja (Track While Scan).	– Doplerovim izoštravanjem snopa (Doppler Beam Sharpening),
Praćenje pojedinačnog cilja (Single Target Track).	– sa sintetizovanjem otvora antene (Synthetic Aperture).
Prepoznavanje ciljeva (Target Recognition).	Selekcija pokretnih ciljeva na zemlji (Ground Moving Target Indication).
Bliska manevarska borba (više modova).	Praćenje pokretnih i nepokretnih ciljeva na zemlji (Fixed and Moving Target Track).
Obezbeđenje leta na maloj visini:	Merenje udaljenosti do zemlje (Air-to Ground Ranging).
– izbegavanje prepreka (Terrain Avoidance),	Pretraživanje površine mora (Sea Surface Search).
– praćenje terena (Terrain Following).	

U članku su ukratko objašnjeni samo neki važniji delovi radara, kod kojih dolazi do značajnih promena. Konfiguraciju avionskog radara čini primopredajnik (uključujući i antenu), procesor signala uz koji figurira i računar, pokazivač i upravljačka jedinica.

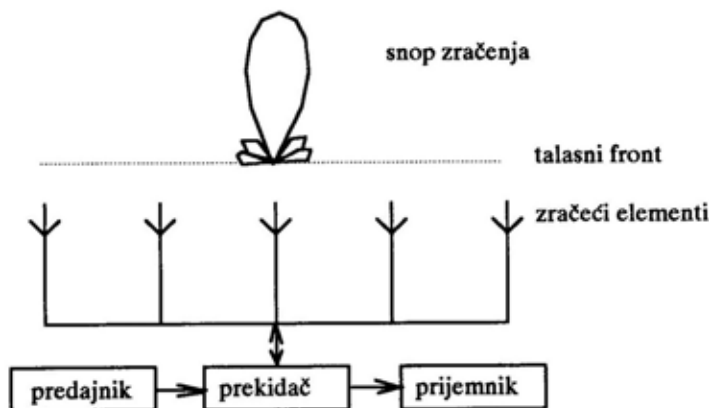
### Antena avionskog radara

Antena ima veliki uticaj na taktičko-tehničke karakteristike radara. Njen oblik i dimenzije zavise od namene radara, a težnja da avionski radari budu višenamenski,

u principu, zahteva više različitih zasebnih antena. S druge strane, antene su, bez obzira na to da li se radi o reflektor-anteni ili savremenoj faziranoj antenskoj rešetki (FAR), do sada uglavnom pasivnoj (jedi-no kod švedskog avionskog radara Erleye radi se o aktivnoj FAR), lako uočljiv cilj za protivnički radar, jer na avionu obično predstavlja veliku i nepoželjnu radarsku refleksnu površinu. Zbog toga su mnoga istraživanja posvećena upravo smanjenju broja zasebnih antena potrebnih za obavljanje različitih funkcija, pa se razvijaju višenamenske antene koje koriste isti izvor zračenja za formiranje složenog dijagrama zračenja. U toku su ispitivanja više različitih tipova antena na više aviona.

Razvoj mikroprocesorske tehnologije omogućio je ne samo projektovanje novih antena, odnosno realizaciju već ranije poznatih ideja koje se bez primene računara nisu mogle praktično ostvariti, već su postali i sastavni deo funkcionisanja antene. FAR i antene sa veoma niskim nivoom bočnih snopova ostale bi i dalje samo teorija da se moralo ostati na klasičnom načinu projektovanja bez primene računara. Takođe, bez primene računara, mnoge odavno teorijski poznate metode formiranja i obrade signala, tehnika proširenog spektra, promene oblika impulsa i slično, ostale bi i dalje samo teorija, bez praktične realizacije. To se odnosi i na takozvane radare sa antenom sa sintetizovanim otvorom (Synthetic Aperture Radar – SAR).

Antene „prednjih“ radara, izuzev onih koje koriste tehniku SAR, imaju malu moć razlaganja na terenu. Zbog toga se „prednji“ radar ne koristi za izviđanje i osmatranje vojnih aktivnosti na tak-



Sl. 1 – Formiranje snopa zračenja antenskom rešetkom

tičkoj dubini protivnika. Naime, širina snopa zračenja višenamenskih „prednjih“ radara sa paraboličnom antenom zavisi od prečnika antene i od talasne dužine. Prečnik parabolične antene najčešće se kreće od 0,6 do 0,8 m, jer glavno ograničenje za veličinu antene predstavlja smeštajni prostor u nosu aviona. Rešenje je pronađeno u korišćenju radara sa bočno usmerenim snopom, sa uzdužno postavljenim antenama dužine do šest metara. Tako je bočni radar (Sideways Looking Radar – SLR or Side Looking Airborne Radar – SLAR) uspešno pokrio nedostatke i ograničenja pojedinih vrsta i tipova radara za radarsko izviđanje. SLAR je impulsno nekoherentni radar, čiji je antenski snop u toku pravolinijskog leta aviona, usmeren bočno. Širina snopa zračenja po vertikali iznosi 10 do 30°, a po azimutu oko 1°. Bočnim zračenjem prekriva se širok pojas površine tla.

Iz tabelarnog pregleda može se uočiti da se sve ređe koristi reflektor antena, a sve više antenske rešetke, koje mogu biti sa mehaničkim i elektronskim

skeniranjem, a ove poslednje mogu biti pasivne i aktivne.

Najjednostavnija antenska rešetka zasnovana je na napajanju iz jednog izvora visokih frekvencija na više pojedinačnih zračećih elemenata, koji su obično razmešteni na istim rastojanjima u istoj ravni. Signali koje zrače pojedini elementi rešetke superponiraju se u prostoru tako što, zavisno od faznog odnosa između zračećih elemenata, dolazi do njihovog sabiranja ili oduzimanja. Pogodnim upravljanjem faznom razlikom moguće je postići sabiranje signala svih elemenata u željenom pravcu (slika 1). To je, u opštem slučaju, pravac normalan na ravan u kojoj su smešteni zračeći elementi, ali je moguće formirati snop zračenja u pravcima i do 60° u odnosu na normalu. Isti princip važi i za signale koji se reflektuju i iz prostora dolaze na antenu.

Antenske rešetke sa elektronskim skeniranjem odavno se koriste za formiranje radarskog snopa zračenja u oblasti dugih talasa. U mikrotalasnom području često su u upotrebi antenske rešetke sa mehaničkim

skeniranjem i kod zemaljskih i avionskih radara.

Glavna prednost antenske rešetke jeste što omogućava precizniju raspodelu amplituda i faza pojedinih zračećih elemenata, što omogućava bolje oblikovanje snopa zračenja, a posebno bočnih snopova dijagrama zračenja. Postizanje niskog nivoa bočnih snopova zračenja često je od suštinskog značaja za dobre karakteristike radara u operativnim uslovima.

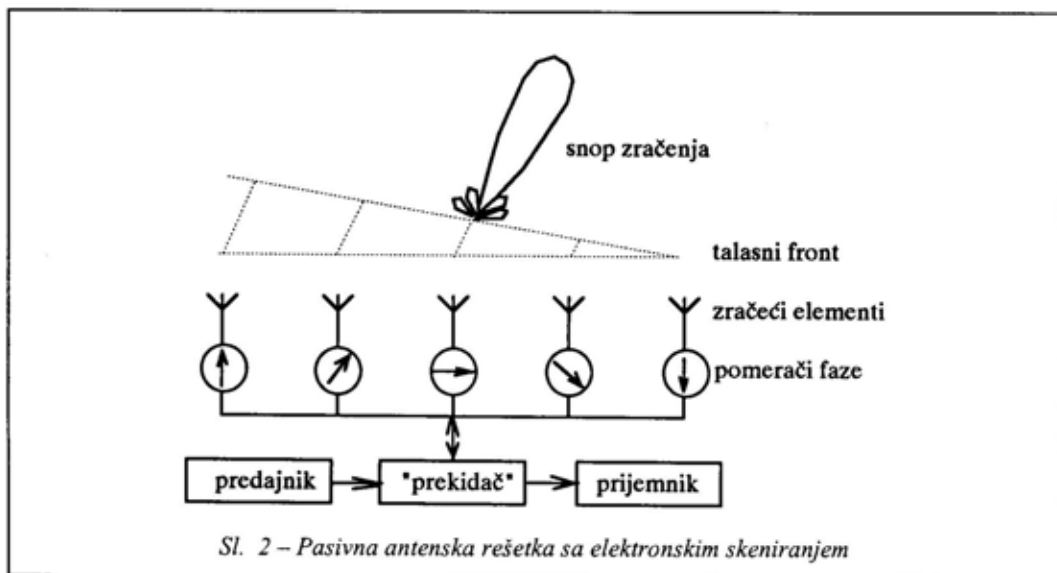
Projektanti radara odavno su uočili prednost elektronskog skeniranja snopa zračenja radara, koje sve više potiskuje mehaničko skeniranje. Razvijena su dva metoda elektronskog skeniranja, i to frekventno i fazno.

Kod antenske rešetke sa faznim skeniranjem (pošto su elementi za pomeranje faze pasivni naziva se pasivna fazirana antenska rešetka, slika 2) moguća je promena položaja snopa zračenja i po azimutu i po elevaciji. Razvoj mikrotalasnih sklopova sa relativno malim gubicima, koji

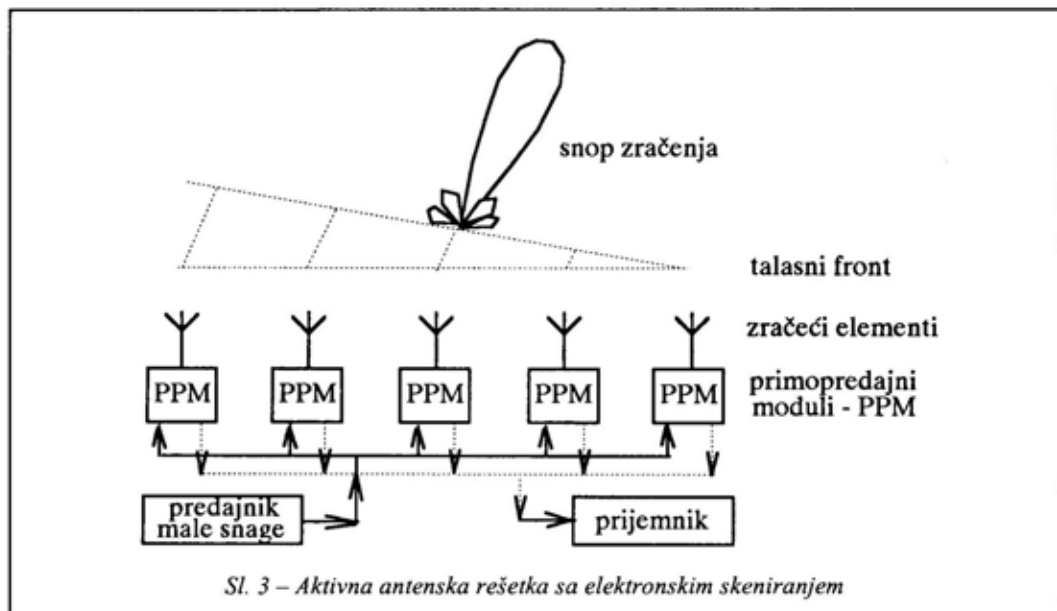
moгу da unose precizan fazni pomak u predajni transmisioni kanal, omogućio je praktičnu realizaciju antena sa faznim skeniranjem. Brzi pomerači faze na bazi PIN dioda ili ferita pružaju mogućnost promene pravca snopa zračenja za vrlo kratko vreme. Prema tome, skeniranje je praktično bezinerciono. Pomeranje snopa zračenja radara može se prilagoditi tekućim operativnim potrebama i nema nedostatke mehaničkog skeniranja.

Ovim tipom antene može se direktno zameniti antena sa mehaničkim skeniranjem, a da ostali deo radara (kao što su predajnik velike snage i dvokanalni ili trokanalni prijemnik) ostane isti.

Osobina koja definiše antenu „aktivnom“ jeste ugradnja pojačivačkih sklopova kao sastavnih elemenata antene. Kod ovog tipa antene svaki zračeći element direktno je povezan sa izvorima napajanja, radi zračenja energije, i osetljivim pojačavačem, radi prijema signala koji dolazi iz prostora na antenu. Prema tome, svaki zračeći element je direktno



Sl. 2 – Pasivna antenska rešetka sa elektronskim skeniranjem

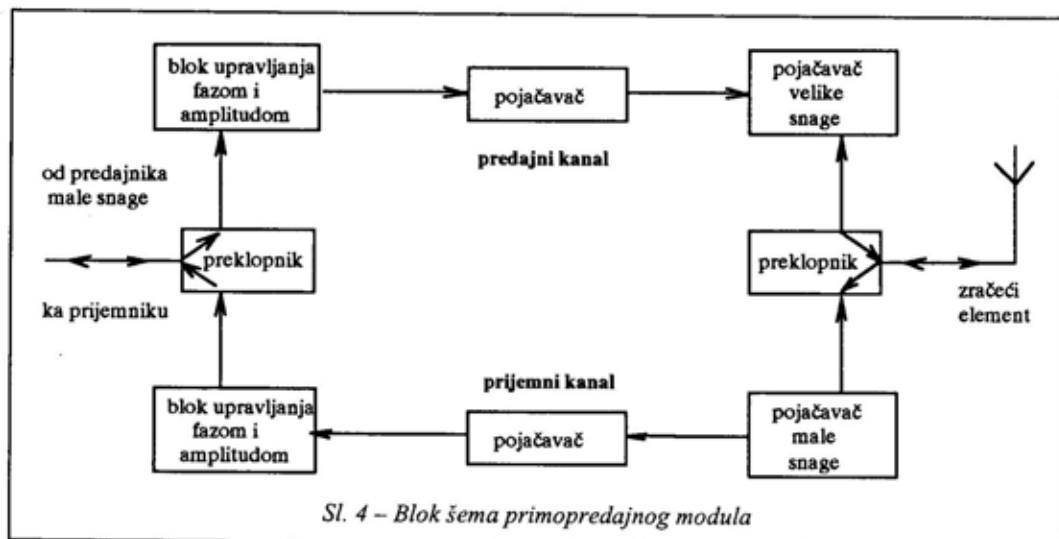


Sl. 3 – Aktivna antenska rešetka sa elektronskim skeniranjem

povezan na primopredajni modul (slika 3). Svaki primopredajni modul sadrži pojačavač snage u predaji, niskošumni pojačavač u prijemu i sklop za upravljanje fazom i amplitudom. Primopredajni modul sadrži osnovne visokofrekventne elemente radara male snage i može se smatrati aktivnom antenom sastavljenom od velikog broja minijaturnih radara. Pogodnom raspodelom signala sa velikog broja primopredajnih modula, u prostoru dolazi do superponiranja signala radi formiranja snopa zračenja velike snage u željenom pravcu. Ovakvim pristupom otklanja se potreba za jednim snažnim predajnikom, kao što je npr. cev sa progresivnim talasom. Slično tome, na prijemu se, kombinujući signale iz velikog broja niskošumnih pojačavača, mogu formirati snopovi sa velikim pojačanjem. Elektronsko skeniranje postiže se upravljanjem fazama signala u primopredajnim modulima. Tipičan sastav primopredajnog modula prikazan je na slici 4.

Praktična primena radara sa aktivnom antenom zavisi od napretka u oblasti visokofrekventne poluprovodničke tehnologije i mikrotalasnih sklopova, kao i brze obrade signala. Pored toga, razvoj sklopova na bazi galijum-arsenida i silicijuma omogućio je izradu kompaktnih sklopova sa znatnom snagom i koeficijentom iskorišćenja.

Do sada je ovaj pristup najčešće korišćen kod zemaljskih radara velikog dometa za rano upozorenje, pri otkrivanju objekata u vazдушnom prostoru. U Velikoj Britaniji je takav pristup primenjen kod radara u razvoju, pod oznakom ME-SAR, a Švedska i Izrael usvojili su ga u razvoju radara za rano upozorenje. Poseban interes pokazan je za primenu ove tehnike na višim radnim frekvencijama, posebno u opsegu od 10 GHz, gde radi veliki broj avionskih i zemaljskih uređaja. Na ovim višim frekvencijama javlja se više tehničkih problema koje treba rešiti, ali su već postignuti značajni rezulta-



Sl. 4 - Blok šema primopredajnog modula

ti kod radara sa aktivnim antenama koji su u razvoju: u SAD za avion F-22 i u Japanu za avion FS-X. Sada je već jasno da će ova vrsta sklopova predstavljati osnovu avionskih radara.

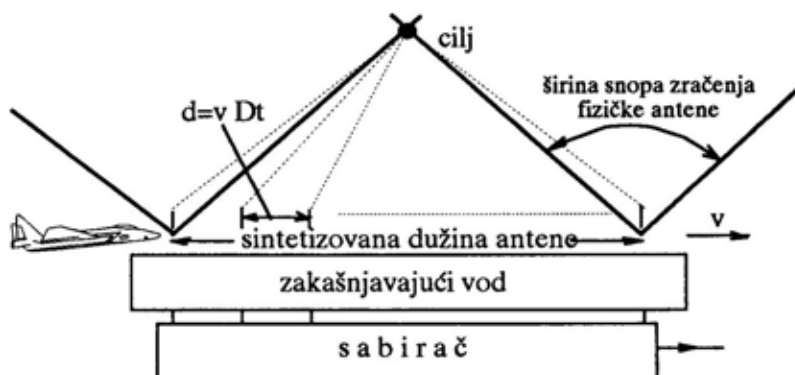
Za dobijanje visokih rezolucija razdvajanja pri mapiranju terena koristi se antena sa sintetizovanim otvorom, odnosno veštački formirana linijska antenska rešetka, s tim što se za njeno formiranje u većini slučajeva koristi samo jedan zračni element i kretanje noseće platforme (slika 5). Ovaj element ozračava objekat, na primer Zemljinu površinu pri mapiranju terena i kretanju platforme, odnosno aviona. U prijemnik radara dolaze reflektovani signali različite Doplerove frekvencije od površine koja je bila ozračena radarskim snopom. Obradom ovih signala dobija se ekvivalentna (sintetizovana) antena velikog otvora, dužine nekoliko stotina metara.

Bitno je napomenuti da uzdužna rezolucija kod SLAR zavisi od dimenzija antene, pa antena mora biti velika, što ne važi za SAR. Poprečna rezolucija kod

SLAR i SAR je ista i zavisi od dužine impulsa.

### Procesor signala radara

Američki analitičari smatraju da je povećanje cene aviona dovelo do potrebe za višenamenskim taktičkim avionom. Međutim, višenamenski avion je zahtevao povećanje obima elektronske opreme, što nije bilo moguće na račun ostalog prostora u avionu. Naime, sistemi v-v zahtevaju veliku brzinu obrade podataka (brzina približavanja cilja iznosi i preko 1800 m/s). Takođe, od radara se zahtevao fleksibilan (promenjiv) talasni oblik, kako bi se omogućilo otkrivanje ciljeva pod svim uglovima i na svim visinama. Sistemi v-z opet zahtevaju veliki memorijski prostor za skladištenje i obradu podataka, radi mapiranja terena sa visokom rezolucijom. Ovi zahtevi su kontradiktorni pa je bila neophodna nova tehnologija. Nagli razvoj digitalne tehnologije početkom sedamdesetih godina upravo je to omogućavao. Jedan od prvih višenamen-



Sl. 5 – Princip formiranja antene sa sintetizovanim otvorom

skih lovaca bio je F/A-18 Hornet, na šta je ukazivala i oznaka F/A – fighter/attack. U ovom objedinjavanju ključan je bio programabilni digitalni procesor signala radara AN/APG-65. Prethodni radar AN/APG-63 takođe je imao digitalnu obradu signala, ali sa hardverskim procesorom (hard-wired logic) sa fiksnim repertoarom režima rada.

### Avionski radar sa aktivnom FAR (za avion F-22)

Ilustrativan primer savremenih tendencija u razvoju avionskog radara je AN/APG-77 koji je, za potrebe američkog savremenog lovačkog aviona F-22, razvila firma Nortrop Gruman (Northrop Grumman) u saradnji sa firmom Rajteon (Raytheon) iz Luisvila (Louisville), a čiji podaci nisu prikazani u tabeli. Broj zasebnih antena kod ovog radara sveden je na minimum. To je prvi američki radar koji ima aktivnu faziranu antensku rešetku. Prečnik antene iznosi oko 1 m, a sastoji se od oko 1500 poluprovodničkih primopredajnih modula, na osnovu mo-

nolitnih integrisanih visokofrekventnih kola. Moduli su dužine oko 70 mm i debljine svega nekoliko milimetara.

Maksimalna daljina otkrivanja velikih ciljeva u vazдушnom prostoru ovim radarom iznosi 270 do 300 km, a ciljeva veličine krilatih raketa 150 km. Zemaljske pokretne ciljeve može da otkriva na daljini do 70 km. Sektor osmatranja je  $\pm 60^\circ$ , a u uslovima bliske vazdušne borbe smanjuje se na  $\pm 30^\circ$ . Pilot može da menja sektor osmatranja, po vertikali, u granicama od 10 do 60°. Ako cilj uđe u zonu osmatranja na udaljenosti manjoj od 18 km, radar ga automatski zahvata i započinje praćenje. Može da prati 20 ciljeva istovremeno. Mogućnosti ovog radara u otkrivanju malih ciljeva ilustruje podatak da može da otkriva ciljeve reda veličine francuske krilate rakete Apaš. Ovaj radar je i pouzdaniji od svojih prethodnika. U poređenju sa avionskim radarima na lovačkim avionima četvrte generacije, radar AN/APG-77 ima za 25% veće srednje vreme između otkaza. Okvirna cena ovog radara iznosi oko 3 miliona dolara.



Zemlja proizvođač: SAD (Northrop Grumman ESSD)

AN/APG-66 (V)	v-v/v-z/ upravlj. vatrom/ osmatranje	9,7-9,9	150	3209/32 0/21500	0,15- 20/0,18- 4	FAR	vrete- nast/1	3,3/4,6	±60/±60	118	566	na 16 različitih aviona u 21 RV-u, MTBF 250h
AN/APG-6B	upravlj. vatrom		300	5976/-		FAR	vretenast/ 1	3/4	±60/±60	172	566	za F-16 C i D/MTBF>300 h
AN/APN-241	navigacija/ meteorol.	9,3-9,41	510	950/9,5/ 116	promenj./ promenj.	ravna	fan/2	2,7/4,0	270/ ±10/-25	59		za C-130H i J/MTBF >1000h
AN/APY-1/2 (AWACS)	AEW/AEW& C/osmatranje/ ostalo	2-4	395			FAR				456		na skoro 70 aviona AWACS širom sveta

Zemlja proizvođač: SAD (Northrop Grumman Norden Systems)

AN/APG-76	v-z/MTI/ osmatr./ ostalo	12-18	>150	7352/400 /13000		FAR	1,4x50/ -	2,2/3,6-6,8	±60/ ±30	334		za višenamenske lov. avione za dejstvo u svim uslovima
AN/APY-3 (JSTARS)	izvidanje/ osmatr./ ostalo					FAR		±60/ 200		1905		višenamenski/prae- nije iza horizonta/SEAD

Zemlja proizvođač: SAD (Rockwell Collins Air Transport Div.)

FMR-200X	meteorol.	9,33	do 590	200/1,6/ 150	0,1-9/1- 20	FAR	ovalan/1	3,7/3,1	do ±90/ ±45	32	72	doplerovski/meteo- rol./pravac i brzina vetra
WXR-700C	meteorol.	5,44	590	145/1,1/ 240	0,16- 9,0/1-20	FAR	kružni/1	5,4/5,4	±40/ ±145	30	72	doplerovski/meteo- rološki
WXR-700X	meteorol.	9,33	590	160/1,2/ 150	0,18- 1,44/1- 20	FAR	kružni/1	3,5/3,5	±40/ 160	30	72	doplerovski/odredi- vanje pravca i brzine vetra u prednjoj polusferi

Zemlja proizvođač: Škotska (GEC-Marconi Avionics Ltd. Radar Systems Div.)

Blue Kestrel 5000		I		1770/-/-		planarna rešetka				93	4LRU	radar sa kompresijom impulsa
Blue Kestrel 6000		I				planarna rešetka				116	4LRU	koherentni radar
Seaspray 2000	osmatranje	I		1700-/ /100000		planarna rešetka				74	4LRU	osmatranje u priobalju
Seaspray 3000	otkrivanje	I	veliki	1850/-/-		planarna rešetka				83	6LRU	za otkrivanje na velikim daljinama ozračav. ciljeva

Pregled karakteristika avionskih radara zapadnih zemalja

Oznaka	Namena	Frek. opseg (GHz)	Doimet (km)	Snaga ul./izl./vršna (W)	Frekv. pon./traj./impulsa (kHz/hs)	Antena	Oblik dij. zrač./broj snopova	Širina dij. zrač. (az./elev.)	Zona skenir. (az./elev.)	Masa (kg)	Zapremina (dm <sup>3</sup> )	Napomena
Zemlja proizvođač: Francuska (Thomson - CSF Radar Systems & Centre Mesures)												
Ocean Master	osmatranje	X		4900/-						70		otkriv. malih ciljeva u svim uslovima na moru
RDY	v-v/v-z	X				ravna sa prerezima	-/1					za više ciljeva/programab. proces
SLAR 2000	izvidanje	X	145	4900/-					radarska slika i selekcija pokretnih ciljeva (MTI)/predaja signala u realnom vremenu			
Zemlja proizvođač: Nemačka (Daimler-Benz Aerospace AG, Airborne Systems Div.)												
AN/APG-65GY	v-v/v-z	X							prepoznavanje ciljeva/visoka otpornost na smetnje/praćenje više ciljeva			
European Fighter	otkrivanje/praćenje								vođenje više projektila/praćenje više ciljeva/prepoznavanje ciljeva			
Ocean Master	v-v/v-z								otkrivanje i praćenje brodova i podmorn./traženje i spašavanje			
Tornado	v-v/v-z								navigacija i upravljanje vatrom/nosni radar za praćenje jednog cilja			
Zemlja proizvođač: SAD (Carrwright Electronics Inc.)												
AN/DPQ-9	praćenje pogodaka	2,4	0,054	112/4/10200/250	dipol	-rmi/6	120/120	360/360	11,3	10		praćenje pogodaka/rekonstr. trajektorije
Zemlja proizvođač: SAD (Hughes Aircraft Co.)												
AN/APG-65	upravljanje vatrom/osmatranje	X	> 110	4900/-						254	170	doplerovsko izoštravanje snopa za mapiranje terena
AN/APG-70	upravljanje vatrom/osmatranje/praćenje	X	> 110		suvisoka	planar. rešetka				266	245	modernizacija AN/APG-63 SAR za mapiranje terena
AN/APG-73	v-v/upravljanje vatrom/osmatranje/praćenje	X	> 110			planar. rešetka				227	167	modernizacija AN/APG-65/višenamenski, sa više talasnih oblika
AN/APQ-181	izvidanje/osmatranje	Ku				planar. rešetka				952	1487	višenamenski, LPI/mapiranje
ASARS-2	izvidanje	X										mapiranje sa SAR

Seaspray 4000		I	1850/-/-	planarna rešetka		95	6LRU	radar sa kompresijom impulsa		
Zemlja proizvođač: Švedska (Ericsson Microwave Systems AB)										
Erleye	AEW/ AEW&C	3,1-3,3	435	sr. do visoka/ 4-2000	aktivna FAR	0,79	300/9	1496	3085	upravljanje snagom/potpuno prekrivanje
PS-05/A	v-v/v-z/ izvidanje	X	-/ 1000/ 10000	0,8- 2000/ 0,1-40	proraz. talasov.	vretenasti/ 4				impulsno-doplerov za avion Gripen
Zemlja proizvođač: Velika Britanija (Racal-Thorn Defense)										
Searchwater	AEW/osmatranje	9,5-10	435	promenj./ visoka/ 4-2000	parab. reflektor	3	360/±10			za priobalni pojas/v-v u gornjoj i donjoj polusferi
Super Marec	AEW/ meteorol./ ostalo		>185							jeftinija varijanta radara Super Searcher
Super Searchwater	AEW/ meteorol./ ostalo	9,5-10	>280	800/100 /85000	ravna ploča/ reflektor	1	360/±10	<100		za priobalni pojas, male mase, jeftin

Legenda: Značenje oznaka frekventnih opsega: I = 8 - 10 GHz, X = 8 - 12 GHz, Ku = 12 - 18 GHz;  
 Značenje skraćenica: v-v (vazduh-vazduh); v-z (vazduh-zemlja); AEW (Airborne Early Warning) - rano upozoravanje iz vazduha;  
 AEW&C (Airborne Early Warning and Control) - rano upozoravanje i komandovanje iz vazduha; MTI (Moving Target Indication) -  
 selekcija pokretnih ciljeva; LRU (Line Releaceable Unit) - zamjenjivi sklopovi; LPI (Low Probability of Interception) - skrivенost rada;  
 SEAD (Suppression of Enemy Air Defenses) - neutralisanje protivvazdušne odbrane protivnika; FAR - fazirana antenska rešetka;  
 SAR (Synthetic Aperture Radar) - radar sa antenom sa sinteticizovanim otvorom; MTBF (Mean Time Between Failure) - srednje vreme  
 između otkaza.

## Zaključak

Za donošenje odluke o dejstvu kao i za samo dejstvo, pilotu su potrebne informacije, koje treba da mu obezbedi elektronika u koju spada i avionski radar, čija uloga sve više raste, i koji poprima višenamenski karakter.

Za avionske radare se, obično, postavljaju sledeći taktičko-tehnički zahtevi: male dimenzije; mala masa; mala potrošnja električne energije; visok nivo integracije različitih ali zavisnih funkcija i parametara; visoka pouzdanost; visok stepen automatizacije rada; jednostavno održavanje.

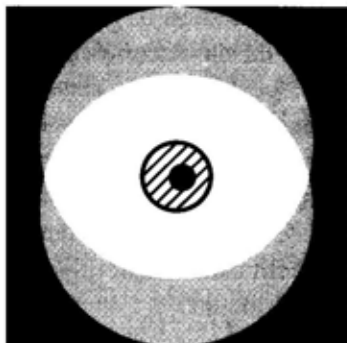
Glavna prednost radara jeste da može da otkriva ciljeve u svim vremenskim uslovima, a osnovni nedostatak, sa vojnog stanovišta, što svojim radom (aktivnim zračenjem elektromagnetnih talasa) otkriva svoje prisustvo.

Interesantno je zapaziti da, nasuprot očekivanju, nema mnogo novih avionskih radara, a ni novih firmi koje ih proizvode, najverovatnije zbog toga što je

razvoj ovakvih sistema, pogotovo višenamenskih, veoma skup. Takođe, interesantno je da se isto toliko radi na modernizaciji postojećih radara koliko i na razvoju novih. Naime, ugradnjom novog radara i novog naoružanja kojim se tada može upravljati, avioni druge generacije ostvaruju mogućnosti koje imaju avioni četvrte generacije. Modernizacija postojećih radara retko se uočava po spoljnjem izgledu kućišta radara, jer se nove tehnologije ugrađuju tako da se uklope u postojeći prostor, a povećanje broja funkcija, u istom prostoru nije problematično, s obzirom na trendove minijaturizacije. Međutim, poboljšanje performansi, koje je ponekad i neverovatno u odnosu na ranije mogućnosti, može se uočiti tek na osnovu tehničkih podataka.

### Literatura:

- [1] Herskovitz, D.: A Sampling of Airborne Radar Systems, *Journal of Electronic Defense*, january 1998, supplement str. 24-29.
- [2] Watkins, D. C.: Active Antenna Radars, *Military Technology*, 5/1996, str. 10-15.
- [3] *Jane's Avionics 1989-90*.
- [4] Iljin V., Kudišin I.: Istrebitelj Lohkid-Martin F-22, Raptor, Avijacija i kosmonavtika, str. 7-21.



## prikazi iz inostranih časopisa

### PETA GENERACIJA RADIO- -ELEKTRONSKIH SISTEMA ZA ORUŽJE VISOKE PRECIZNOSTI\*

Zadaci savremenih sistema oružja postali su toliko raznoliki da se ne mogu realizovati putem jednostavnih hardverskih rešenja. U vezi s tim nametnula se potreba za razvojem koncepta nove vojne elektronike. Međutim, često je značajniji racionalan izbor odgovarajuće opreme.

Analiza zahteva za vojnu radio-elektroniku, uključujući i sisteme koji se koriste za oružje visoke preciznosti, pokazuje da se oni mogu zadovoljiti samo sveobuhvatnom integracijom hardvera i softvera. Jedan takav primer predstavlja koncept pete generacije vojnih radio-lokatorskih sistema.

Koncept pete generacije ovih sistema zahteva zasebne računarske procesore, signale i podatke, i zajedničke elemente hardvera za sve informacione kanale. Kao rezultat, rekonfiguracija je potrebna ne samo na nivou distribuiranog kompjuterskog sistema, već i na nivou informacionih senzora. To omogućava efikasno upravljanje oružjem, izlazne informa-

cije u obliku pogodnom za donošenje odluke, efikasnu upotrebu sistema oružja, operativnih procena, kao i izgradnju „pametnih“ sistema za podršku.

Prema tom konceptu, peta generacija radio-elektronskih sistema, namenjenih za opremanje oružja visoke preciznosti, mora obezbediti integraciju signala i podataka putem hardvera, multisenzorske mogućnosti, funkcionalnu autonomiju, modularnu izradu informacionih senzora, „pametne“ operacije, otvorenu arhitekturu i mogućnost komercijalizacije.

Otvorena arhitektura omogućava korišćenje raznih inovacija za razvoj elektronskih garnitura za sisteme oružja visoke preciznosti. Važno je da se raspoloživi moduli i komponente mogu koristiti bez njihovog usklađivanja sa kompletom unutrašnjeg sistema.

Komercijalni pristup pomaže stvaranje interfejsa otvorene arhitekture korišćenjem prethodnog iskustva, smanjenje proizvodnog rizika, zbog primene postojećih tehnologija, i zavisnosti od specifičnog proizvođača. Izbor komercijalnih komponenata radio-elektronskih garnitura visokopreciznog oružja zavisi od raspoloživih resursa, tehničkog nivoa zasnovanog na savremenim istraživanjima i

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2001.

kompetentnosti u razvoju i proizvodnji tih sistema.

Novorazvijeni radio-elektronski sistemi moraju da poseduju sledeća svojstva: koherentnost; multisenzorne, multifunkcionalne i sintetičke mogućnosti; integraciju radarskih i raznih drugih senzora; otpornost na ometanje; prostorno-vremensku i polarizovanu obradu signala; modifikaciju karakteristika složenog signala; veliku brzinu obrade signala; uočavanje i identifikaciju radarskih ciljeva i dr.

Sistemi koje je razvila firma Radar MMS, po svojim mogućnostima potpuno zadovoljavaju zahteve koncepta pete generacije elektronske opreme u sadašnjem stanju razvoja naoružanja.

Kao osnovnu komercijalnu komponentu sistema otvorene arhitekture za oružje visoke preciznosti radar MMS izabrao je serijski proizvedeni protivbrodski raketni radarski vođeni sistem ARG-35E. Taj sistem je korišćen za razvoj linije proizvoda za opremanje različitih tipova visokopreciznog oružja. Jedna komponenta te linije je raketni sistem ARG-54E.

Značajna osobina sistema ARG-35E je njegova potpuna autonomija i funkcionalnost koja mu omogućava operacije uz minimalne informaciono-komandne interakcije sa upravljačkim sistemom na platformi. Sistemska višerežimska upotreba, savremena konfiguracija i funkcionalna rešenja obezbeđuju mu veliku preciznost u određivanju cilja i mogućnosti selekcije i klasifikacije. Upotreba složenih signala široke osnove, njihova koherentna akumulacija i Doplerovo filtriranje, algoritamski principi obrade signala i režima operacija čine sistem

ARG-35E potpuno unikatnim. Rezultati testova su pokazali da navedene osobine garantuju visoke performanse sistema ARG-35E u realnim uslovima upotrebe. Mali gabariti (masa manja od 35 kg) osnovnih koherentnih sistema i nove tehnologije mogu da se koriste i za modernizaciju flote krstarećih raketa opremljenih starijim sistemima vođenja.

M. Krbavac



## AVION Su-35 NASLEDNIK Su-30\*

Tenderi za nabavku novih borbenih aviona, koje su nedavno objavili Južna Koreja, Brazil i neke druge zemlje, ponovo su skrenuli pažnju na ruski višenamenski borbeni avion Su-35, koji se svrstava u 4++ generaciju, a nedavno je predstavljen na internacionalnom avio-salonu u Seulu. Avion je namenjen za ostvarivanje prevlasti u vazдушnom prostoru, izvođenje udara po najraznovrsnijim objektima na kopnu i moru primenom vođenih i nevođenih sredstava i za taktičko izviđanje iz vazдушnog prostora.

Izrađuje se u jednosedoj i dvosedoj (Su-35UB) verziji, a opremljen je i uređajem za dopunu goriva u vazдушnom prostoru. Predstavlja još jednu radikalnu modernizaciju osnovnog tipa Su-27, koju realizuje fabrika u Komsomolsku na Amuru (Komsomolsk-on-Amur Aviation Production Association – KnAAPO).

KnAAPO je započeo proizvodnju prvih aviona još 1992. godine, da bi već 1996. bili uvršteni u sastav Ruskog vazduhoplovstva. Izrađeno je samo nekoli-

\* Prema podacima iz časopisa *Nezavisimoye Voennoye Obozreniye*, 2. oktobar 2001.

ko aviona koji se, uglavnom, koriste za ispitivanje, a dvoseda varijanta Su-35UB proizvodi se od 2000. godine.

Dužina aviona je 22,18 m, visina 6,34 m, a raspon krila 14,7 m. Poletna masa sa preopterećenjem iznosi 38 800 kg, dok je maksimalna poletna masa 34 000 kg. Najveći dozvoljeni Mahov broj je 2,1. Maksimalna brzina na malim visinama je 1400 km/h, dolet 3400 km, a sa jednom dopunom u vazduhu 6000 km. Dozvoljeno g preopterećenje je 9. Praktični vrhunac leta je 17200 m. Dužina zaleta sa punim opterećenjem iznosi 1000 m, a dužina sletanja 700 m. Pogonska grupa sastoji se od dva AL-31FP (2x122 kN na DS) turboventilatorska motora sa dopunskim sagorevanjem i vektorisanim potiskom. Vektorski kontrolisani izduvnik motora uključen je u avionski fly-by-wire sistem.

Maksimalna masa korisnog tereta iznosi 8000 kg. Ubojna sredstva mogu biti postavljena na 12 podvesnih tačaka. U zavisnosti od zadataka moguće su različite kombinacije vođenih raketa vazduh-vazduh tipa R-27R1, R-27EhR1, R-27T1, R-27EhT1, RVV-AE, R-73Eh; vođenih raketa vazduh-površina Kh-59MEh, Kh-31A (P), Kh-29T (TE, L), KAB-500Kr, KAB-1500Kr(L); zatim nevođenog oružja, počevši od avio-bombi od 500 kg, 250 kg (32 kom.), B-8M1 i B-13L lansera nevođenih raketnih zrna. U asortiman verovatno mogu biti uključene i nove protivpodmorničke rakete Kh-59MK sa aktivnim radarskim tragačem (domet do 285 km), koje se nalaze u fazi testiranja. Avion ima ugrađen i top GSh-301 (b/k 150 zrna). Pretpostavlja se da će biti moguća i integracija vođenih ubojnih sredstava zapadnog porekla.



*Višenamenski borbeni avion Su-35*

U vazduhoplov je instaliran radarski sistem Bars u koji su uključeni radar za osmatranje prednje i zadnje polusfere, centralna procesorska jedinica i IFF uređaj. Višenamenski, višedomni koherentni radar funkcioniše u X-opsegu i snabdeven je antenom sa faznom rešetkom.

Antena ima visok stepen efikasnosti i nizak nivo bočnih snopova. Daljina otkrivanja ciljeva, kao što su lovci, iznosi oko 120 do 150 km u prednjoj i preko 60 km u zadnjoj polusferi. Grupa oklopnih vozila može biti detektovana na 40 do 50 km, a brod klase razarača na 120 do 150 km. Broj ciljeva koji može istovremeno da se prati je 15, uz istovremeno dejstvo po četiri cilja ili dva ukoliko radar funkcioniše u modu vazduh-zemlja.

Smatra se da su mogućnosti avionike veoma velike, tako da u uslovima savremene borbe Su-35 efikasno može da komanduje grupom drugih borbenih aviona, da dejstvuje u okviru veće grupe, pouzdano razmenjujući podatke o situaciji sa ostalim zainteresovanim korisnicima i u situaciji intenzivnog elektronskog ometanja.

Avion Su-35 očekuje se na tržištu u periodu 2004–2005, a prema mnogim pokazateljima mogao bi da bude značajan izvozni artikal do momenta pojave novog ruskog lovca pete generacije.

S. V.



## LETELICE SA TILT-ROTOROM\*

Mada je sudbina letelica sa tilt-rotorima neizvesna, čitav koncept je dobio novi zamah sa novim projektima, a neke letelice treba da polete i u narednim mesecima.

Zapadne kompanije, poput Agusta Westland, Bell Helicopter Textron, Boeing i Eurocopter uključene su u ovakve projekte ne bi li se izašlo u susret vojnim i komercijalnim potrebama za letelicama nove kategorije. Najveći naponi ulažu se da bi se premostila široko rasprostranjena sumnjičavost po pitanju bezbednosti letenja koju pruža tilt-rotor. Naime, sumnja se javila nakon gubitka tri predserijska konvertiplana Boeing Bell V-22 Osprey i pogibije 30 vojnika tokom jednog od udesa.

Operacije u Avganistanu jasno su ilustrovale prednosti vazduhoplova kao što je Osprey, sa mogućnošću da poleti i sleti kao helikopter i zatim krstari režimima leta kao što to čine klasični avioni. U situacijama kada se nosač aviona koristi kao baza za helikoptere koje koriste specijalne snage ispoljava se mnoštvo nedostataka kao što su mali dolet bez dopune gorivom u vazдушnom prostoru, zatim nedovoljna brzina leta i mala nosivost korisnog tereta u uslovima kada je zona dejstva prilično udaljena.

Kao odgovor na te potrebe i sve obimnije angažovanje američkih kopnenih snaga, razumljivi su koraci koji se čine da oružane snage SAD budu prve koje će operativno koristiti hibride aviona i helikoptera, i iskoristiti sve prednosti takvog sistema. Boeing predviđa da bi vrednost posla na ovakvim projektima u narednih 40 godina mogla da dostigne iznos od 5 milijardi USD.



*Letelica MV-22 Osprey*

Osim što može da leti dalje, brže i da nosi više korisnog tereta nego klasični helikopteri, letelica V-22 Osprey poseduje još jednu značajnu karakteristiku: njena maksimalna brzina silaženja iznosi 7,1 m/s sa progresivnom brzinom kretanja manjom od 75 km/h. U poređenju sa klasičnim helikopterima, kod kojih brzina silaženja maksimalno iznosi 4 m/s, vidljiv je prostor u kojem V-22 bolje ispunjava operativne zahteve. Tako Osprey može da krstari na srednjim visinama zaštićen od protivdejstva PVO, a zatim da se brzo spusti kako bi iskrcao ili ukrcao ljudstvo ili teret, odnosno izvukao oborenog pilota.

Stručnjaci Boeinga najavili su ubrzane radove na uklanjanju uočenih mana

\* Prema podacima sa Interneta [www.janes.com](http://www.janes.com)



i konstruktivnih propusta koji su doveli do udesa, i najavili nastavak ispitivanja najkasnije u aprilu 2002.

S druge strane, kompanija Bell/Agusta Aerospace Company's (BAAC's) priprema svoj vazduhoplov BA609 sa tilt-rotorom za svoj prvi let. Bilo je planirano da prototip poleti tokom decembra 2001. sa fabričkog letelišta Arlington u Teksasu. Iako prevashodno namenjen civilnom tržištu, BA609 nesumnjivo ima i vojne potencijale. U američkim oružanim snagama smatraju da bi BA609 eventualno mogao da bude priprema za letenje na Ospreyu, ali je zainteresovana i američka Obalska straža u svrhu akcija traganja i spasavanja.

S. Vlačić



## **KLASA SAVREMENIH MALIH PRIOBALNIH PODMORNICA\***

Mornarički projektni biro Malahit iz Sankt Peterburga vodeći je proizvođač podmornica u Rusiji. On je prvi razvio nuklearne podmornice i među prvima je opremio podmornice novim tipovima sistema naoružanja i koristio titanove i aluminijumske legure za konstrukciju trupa podmornice. Od 1970. godine Malahit je glavni proizvođač sredstava za dubinsko ronjenje za okeanska istraživanja, a i danas glavni projektant savremenih višenamenskih nuklearnih podmornica Rusije.

Koristeći ogromno iskustvo u razvoju minijaturnih podmornica i podmornica male klase (Pirana, Triton i dr.) za rusku mornaricu, Malahit je, zajedno sa predu-

zećima nacionalne industrije, pripremio preliminarne projekte familije eksportnih višenamenskih konvencionalnih priobalnih podmornica male klase, sa deplasma-  
nom od 160 do 1000 m<sup>3</sup> (varijante P-130, P-170, Pirana-T, P-550, P-750).

Ove podmornice projektovane su za izvršenje sledećih zadataka:

- patroliranje u priobalnim plitkim vodama;
- borbu protiv neprijateljevih plov-  
nih sredstava, individualnih površinskih  
sredstava i podmornica;
- polaganje mina;
- prikupljanje obaveštajnih podataka;
- sprečavanje aktivnosti neprijate-  
ljevih pomorskih snaga u priobalnim zo-  
nama odgovornosti;
- suprotstavljanje neprijateljevim po-  
morskim snagama u priobalnim zonama;
- podršku bezbednoj navigaciji i in-  
dustriji u ekonomskim zonama na moru;
- čuvanje nacionalnih pomorskih  
granica i ekskluzivnih ekonomskih zona;
- desantiranje specijalnih snaga,  
njihovu podršku i evakuaciju;
- raketiranje neprijateljevih obalskih  
instalacija i fiksnih objekata na moru;
- evakuaciju ljudstva i imovine iz  
zona zahvaćenih lokalnim sukobima.

Podmornice male klase izvršavaju svoje zadatke u plitkim morima, uskim vodenim zonama, samostalno ili u grupi podmornica, površinskih brodova i pomorske avijacije, ili u sadejstvu sa stacionarnim sistemima za osmatranje.

Navedene varijante podmornica male klase, koje se razlikuju u aplikaciji i borbenoj upotrebi, odlikuju se sledećim zajedničkim osobinama:

- mali deplasma i dimenzije;

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2001.

– velika brzina i manevarska sposobnost;

– nizak signal postignut korišćenjem titanove legure i stakloplastike kao strukturnih materijala za izradu trupa, i smanjen šum, elektromagnetno i magnetno polje;

– velika vatrena moć pošto te podmornice mogu nositi krstareće rakete, torpeda 533 mm i 400 mm i mine za prikriveno polaganje podvodnim diverzantima;

– mali broj članova posade;

– visok stepen automatizacije pogona, upravljanja, borbenih i tehničkih sistema;

– intenzivna upotreba savremenih elektronskih, navigacionih, izviđačkih i komunikacionih sistema;

– kratak period proizvodnje i niska cena.

Potencijalni korisnici podmornica male klase mogu odabrati sledeće opcije:

– dizel-električna podmornica male klase;

– modifikovana podmornica tipa Pirana (Pirana-T, P-130, P-170), sa posadom od 4 člana;

– po zahtevu kupca, istovremeno s konstrukcijom i isporukom podmornica Pirana, ili njihovih modernizovanih verzija, može se raditi na maloj podmornici pojačanog pogona sa dizel-električnim, vazdušno-nezavisnim pogonom, sa deplasmanom od 600 do 1000 m<sup>3</sup>, povećanom dubinom ronjenja, niskim signalom, visokim maksimumom brzine ronjenja, velikom izdržljivošću, savremenim naoružanjem i elektronskom opremom.

Vazdušno-nezavisni pogon može sadržati vodoničko-kiseoničke elektromehaničke generatore spojene u modu-

larni blok sa dizel generatorima ili gasno-turbinskim generatorima.

Proizvođač nudi sledeće kooperativne projekte:

– isporuka 2 do 4 podmornice;

– održavanje u lukama kupca posle isporuke;

– snabdevanje projektnom dokumentacijom;

– organizacija proizvodnje u brodogradilištima kupca uz angažovanje ruskih stručnjaka;

– trenaz posada u Rusiji;

– izgradnja i opremanje podmorničkih baza;

– snabdevanje opremom za remont i skladišnim objektima.

M. Krbavac



## KOSMIČKI SISTEMI ZA VIŠEKRAATNU UPOTREBU\*

Ruska istraživačka i proizvodna asocijacija Munja radi na novim kosmičkim sistemima, među kojima su i kosmički sistemi za višekratnu upotrebu Maks i Bajkal.

Sistem Maks je sposoban da nosi korisni teret u orbitu na svim inklinacijama, i izvršava višefunkcionalni orbitalni monitoring. Ovaj sistem brzo prikuplja i šalje informacije, nije skup za upotrebu i ne zahteva specijalnu zaštitu od krhotina.

Bajkal, kao višekratno upotrebljiva potisna raketa (prvi stepen), koji je Munja razvila u kooperaciji sa Državnim istraživačkim i proizvodnim kosmičkim centrom Khrunichev, namenjen je za sla-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2001.

nje kosmičkih brodova na osnovne orbite u širokom dijapazonu inklinacija. Kao i Maks ni Bajkal ne iziskuje dodelu teritorije za izdvajanje prvog stepena. Potisna raketa se sastoji od jedinstvene raketne jedinice (za jednu ili više upotreba), sistema za ponovni ulazak u Zemljinu orbitu i prizemljenje koji obezbeđuju bespilotni let posle odvajanja od drugog stepena i prizemljenje na aerodromu.

Asocijacija Munja danas projektuje seriju civilnih trokrilaca nosivosti od 500 kg do 450 t.

Munja-1 je najmanji od aviona trokrilaca i ima šest sedišta. Dobila je zlatnu medalju na svetskoj izložbi inovacija, pronalazaštva i novih tehnologija Eureka '93 u Briselu, a demonstriran je i na avio izložbi u Le Bourget 1995. godine.

Munja-1000 (Hercules) dvotrupni je transportni avion, najveći od trokrilaca. Namenjena je da nosi spoljašnje terete velikih razmera i mase do 400 t, ili za putničke module kapaciteta do 1200 ljudi. Može da se koristi i za nošenje aerokosmičkih sistema.

Tehnologije korišćene u kosmičkom brodu Buran dalje su razvijane u supersonične rakete izvedene iz raketa PVO kojima je prošao vek upotrebe, što je efikasan put za korišćenje ovakvih borbenih raketa.

M. Krbavac



## HEMIJSKO-BIOLOŠKI DETEKTORI\*

U poslednje vreme u velikom broju medija se sugeriše da se hemijsko-bio-

ki detektori postave na mestima za koja se pretpostavlja da mogu biti cilj napada sredstvima za masovno uništenje, kao što su podzemne stanice i aerodromske zgrade. Treba znati da postoji velika razlika između hemijske i biološke detekcije, kao i agensâ koji se bitno razlikuju po svom karakteru.

Ciljevi detekcije su identifikacija agensâ i upozoravanje na pojavu i količinu hemijskog ili biološkog aerosola. Zajednička karakteristika hemijskih i bioloških detektora jeste da oni pokazuju štetnost agensâ uzimanjem uzoraka iz okoline. Detektori kontinualno uzimaju uzorke okolnog vazduha, koristeći različite tehnologije za identifikaciju i kvantifikaciju prisutnih agensâ u strujanju vazduha. Drugi sistemi projektovani su za otkrivanje štetnih agensâ na zemlji ili u vodi.

Kod biološke detekcije treba da se pokaže i identifikuje agens koji je prisutan i specifičan. Precizna identifikacija nužna je mnogo pre pojave individualnih oboljenja od zaraznih bakterija ili virusa. Veliki su zahtevi za smanjenje vremena detekcije sistema radi minimiziranja izlaganja agensima. Danas postoje ručni biodetekcioni sistemi, posebno u SAD, koji mogu dati rezultate za oko 15 minuta od momenta ulaska agensâ u jedinicu uzorka.

Neki savremeni sistemi koriste imunizacione tehnike koje oponašaju stvaranje antitela u ljudskom organizmu radi zaštite od bolesti, dok drugi koriste genetske analize formirajući precizne baze podataka za specifične bolesti koristeći DNK probe. Proces nazvan PCR (Polymerase Chain Reaction) omogućava mnogo veće osetljivosti detektora (za 108 puta) putem povećanja sekvenci.

\*Prema podacima sa Internet [www.janes.com](http://www.janes.com), 16. oktobar 2001.

Masovnim korišćenjem spektrometrije, nove tehnike će omogućiti brzu analizu i identifikaciju šireg spektra agensâ. Ispitivanja i DNK probe koriste traku koja je smeštena u čitaču i upoređuje podatke sa bazom podataka koja sadrži sve opštepoznate i identifikovane opasne agense. Baza podataka u ovim sistemima može brzo da se dogradi uključivanjem novih opasnih agensâ ili drugih agensâ koji nisu štetni za ljude ali mogu poremetiti lanac ishrane.

Svi ovi sistemi moraju obraditi uzorke agensâ i vizuelno prikazati rezultat, bilo u formi promene boje na uzorku papira ili prezentujući podatke na ekranu. Postoje, međutim, i druge tehnologije za detekciju. U SAD, gde su postignuta najznačajnija istraživanja u oblasti biodetekcije, u razvoju su sistemi za izvidanje oblaka radi identifikacije bioloških ili hemijskih agensâ namenjenih za napad na

odbrambene snage u borbenoj zoni ili civilnog stanovništva. Ti sistemi imaju prioritet u razvoju detektora sa uzorcima usmerenim ka rubu oblaka, radi davanja preciznih podataka o gustoći, veličini i vrsti agensâ.

Za davanje tačnih upozorenja o hemijskom ili biološkom napadu koriste se dve tehnologije. Najveći izazov predstavlja čisto biološki napad, jer se, za sada, senzori, koji bi trebalo da brzo uključe detektore i daju upozorenje, aktiviraju prilično kasno u ciklusu događaja. Drugim rečima, ljudi će oboleti pre nego što se ustanovi napad, a inkubacioni period traje obično više dana.

Brojni slučajevi antraksa koji su proteklih nedelja zabeleženi u SAD, pokazaće koji se od načina oslobađanja spora aerosolnih antraksa javljaju istovremeno ili je to deo kontinuirane kampanje.

M. Krbavac





## tehničke novosti i zanimljivosti

### PROTIVAVIONIJSKI SISTEM MALOG DOMETA TUNGUSKA-M1\*

Sistem je namenjen za zaštitu oklopno-mehanizovanih jedinica od dejstva niskoletućih aviona, ofanzivnih helikoptera, kao i bespilotnih letelica i pojedinih vrsta krstarećih raketa.

Sistem Tunguska-M1 sastoji se od 6 samohodnih protivavionskih topovskih sistema SPAAG) self. propelled anti-aircraft gun) i tri vozila za popunu municijom. Svako vozilo za popunu nosi 8 raketa zemlja-vazduh i 2856 metaka 30 mm. Vreme popune ne prelazi 20 minuta.

Prednosti ovog sistema su:

- uništenje različitih ciljeva u vazдушnom prostoru (aviona, helikoptera, vođenih raketa);

- uništenje ciljeva koji se lansiraju iz podmornica ili sa brodova, zbog malog vremena reakcije;

- pogađanje pokretnih ciljeva topovskim naoružanjem i sa kratkih zastanaka raketama;

- operativnost u bilo kojim vremenskim uslovima danju i noću, protiv ciljeva na zemlji i moru, kao i protiv neprijateljeve žive sile;

- automatizovane sekvence uništavanja;

- kooperativnost dejstva koja se ostvaruje sa komandnog mesta.

Da bi se podržala operativna raspoloživost topovskog naoružanja, sistem Tunguska-M1 ima tri vozila za tehničku podršku.

Sistem Tunguska M-1 poseduje integrisani sistem za upravljanje koji je otporan na radarsko i optičko ometanje. Optronički sistem sastoji se od optičkog nišana sa ugrađenim vodenjem i LOS sistemom za stabilizaciju i lokalizatorom rakete, a obezbeđuje praćenje cilja na dometima većim od 16 km i vodenje rakete na dometu do 10 km.

Radar za praćenje obezbeđuje akviziciju cilja na dometu od 16 km, i simultano prenosi raketi signale za vodenje.

Sistem Tunguska-M1 ima dvostepenu raketu zemlja-vazduh 9M311 čija je maksimalna brzina 900 m/s, sa kontejnerom ima masu 57 kg, a pri lansiranju 42 kg. Masa bojne glave iznosi 9 kg, a njen kalibar je 76/152 mm.

Protivavionski top kalibra 30 mm 2A38 ima vek trajanja cevi od 8000 metaka, poseduje sistem punjenja rednikom, masa topa je 230 kg, a kumulativna

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

brzina gađanja iznosi 5000 metaka u minuti. Početna brzina projektila je 960 m/s.

Sistem Tunguska-M1 ima 8 raketa i 1904 metka 30 mm. Domet uništenja cilja je od 200 do 10 000 m, a gađanje se može vršiti iz pokreta (topom) ili sa kratkih zastanaka (raketama).

V. R.



## PROTIVAVIONIJSKI SISTEM PANCIR-S1\*

Sistem Pancir-S1 namenjen je za zaštitu jedinica koje su u pokretu, kao i vitalnih vojnih i industrijskih ciljeva (objekata) od bilo koje opasnosti iz vazdušnog prostora uključujući i „pametna oružja“.

Njegove prednosti ogledaju se u samostalnosti na bojištu, integrisanom raketnom i topovskom naoružanju, otpornošću na radarsko i optičko ometanje u širokom opsegu, gađanju iz pokreta, sposobnosti dejstva u svim vremenskim uslovima, kao i koordiniranom izvršenju baterijskih zadataka.

Takođe, ima sposobnost uništavanja konvencionalnih projektila i nosača inteligentne municije, može da uništava i ciljeve na zemlji, ima potpuno automatizovane sekvence uništavanja, može da gađa plotunski sa dve rakete na jedan cilj, može istovremeno da gađa dva cilja, a oklopna zaštita obezbeđuje ljudstvo i važne komponente sistema.

Radar za osmatranje radi u decimetarskom opsegu talasnih dužina a koristi se za detekciju ciljeva u vazdušnom pro-

storu i automatski meri azimut, elevaciju, domet i radijalnu brzinu 20 ciljeva simultano.

Radar za praćenje funkcioniše u dvostrukom opsegu (mm, cm) i obezbeđuje automatsku akviziciju cilja i praćenje pomoću tri tačke, lokalizuje raketu, otkriva kod i prenosi komande vođenja raketi.

Sistem Pancir-S1 opremljen je integrisanim raketno-topovskim naoružanjem koje je upravljano jednostavnim radarsko-optroničkim sistemom.

Raketa zemlja-vazduh 57E6 je dvo-stepena i ima maksimalnu brzinu 1300 m/s, sa kontejnerom ima masu 85 kg, a pri lansiranju 71 kg. Masa bojne glave iznosi 20 kg, a kalibar je 90/170 mm.

Protivavionski top 30 mm 2A38 ima masu 230 kg, početnu brzinu projektila 960 m/s, kumulativnu brzinu gađanja od 5000 metaka/minuti, a sistem punjenja je preko redenika.

Sistem ima 8 do 12 raketa spremnih za gađanje i 1400 metaka 30 mm. Daljina detekcije aviona je 36 do 38 km, a daljina praćenja 24 do 30 km.

Zona dejstva rakete po dometu iznosi 1000 do 18 000 m, a po visini 5 do 10 000 m. Zona dejstva topa po dometu je 200 do 4000 m, a po visini do 3000 m.

Maksimalna brzina ciljeva koje prate iznosi 1000 m/s.

Sistem vođenja rakete je radarski, CLOS sa lokalizacijom rakete IC ili radarskim sistemima. Vreme reakcije sistema je 4 do 6 sekundi, a opslužuje ga posada od tri člana.

V. R.

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.



## PRENOSNI PROTIVTENKOVSKI SISTEM METIS-M\*

Metis-M je raketni sistem srednjeg dometa, jednostavne konstrukcije, pouzdan i lak za upotrebu.

Namenjen je za uništavanje postojećih i budućih tenkova, uključujući i one koji su opremljeni eksplozivnim reaktivnim oklopom, lakih oklopnih vozila, ljudstva u zaštićenim objektima, betonskih bunkera i ostalih „tačkastih“ ciljeva u dnevnim i noćnim uslovima, kao i u nepovoljnim vremenskim prilikama.

Osnovne komponente sistema su: vatrena jedinica (lanser, vodena raketa, termalni nišan), oprema za održavanje i oprema za obučavanje.

Raketa Metis-M ima dve različite bojne glave:

– tandem-kumulativnu namenjenu za uništavanje oklopnih sredstava sa reaktivnim oklopom,

– aerosolnu koja omogućava udarne i zapaljive efekte uporedive sa artiljerijskim projektilima velikog kalibra.

Sistem sa raketom Metis-M uporediv je sa ručnim lanserom granata u pogledu mase, ukupnih dimenzija, jednostavnosti konstrukcije i lakoće upotrebe, ali i ukupne borbene sposobnosti. Zbog tih svojstava sistem se može koristiti za specijalne snage u urbanim dejstvima, na ispresecanom zemljištu, kao i u planinskim uslovima.

V. R.

### Osnovne karakteristike sistema Metis-M



Domet pri gađanju danju i noću (m)	80 – 1500
Sistem vođenja	poluautomatski pomoću žice
Temperaturni opseg primene	-50 do +50°C
Masa (kg):	
lansera	10
raketa u kontejneru	13,8
termalni nišan	6
pakovanje I	24,3
pakovanje II	28,6
Prečnik rakete (mm)	130
Dužina rakete sa kontejnerom (mm)	980

## PROTIVTENKOVSKA VOĐENA RAKETA KORNET-E\*

Kornet-E predstavlja treću generaciju protivtenkovskih vođenih raketa sa atraktivnim prednostima i visokom verovatnoćom pogađanja – uništenja cilja na većim rastojanjima.

Primenjuje se za uništavanje savremenih i poboljšanih tenkova opremljenih eksplozivnim reaktivnim oklopom, za uništavanje fortifikacija, ciljeva u vazdušnom prostoru koji se kreću manjim brzinama, površinskih ciljeva na vodi i ostalih ciljeva u dnevnim i noćnim uslovima, u nepovoljnim vremenskim uslovima, kao i u uslovima radarskog i optičkog ometanja.

Osnovne komponente sistema su: lanser sa nišanskom jedinicom i jedini-

Sistem omogućava gađanje sa unapred pripremljenih i „slučajnih“ položaja, uključujući i one na vodi i u rovovima. Može se ugraditi na različite vrste vozila. Sistem nose dva vojnika u pakovanjima: pakovanje I – lanser sa raketom ili sa termalnim nišanom, pakovanje II – dve rezervne rakete. Može se prenositi bilo kojim vozilom ili spuštati iz vazduha.

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

com za vođenje, kao i termalnim nišanom, vodene rakete, oprema za održavanje i oprema za obučavanje.

Postoje dve vrste bojnih glava: tandem-kumulativna (koja može da uništi savremene i poboljšane tenkove zaštićene eksplozivnim reaktivnim okloпом) i glava sa aerosolnim eksplozivom (sa udarnim i zapaljivim efektima).

Modularna konstrukcija omogućava ugradnju lansera rakete Kornet-E na različite vrste vozila točkaša pomoću jednostavnog adaptera.

#### Osnovne karakteristike sistema Kornet-E

Prečnik rakete (mm)	152
Dužina cevi lansera (mm)	1210
Brzina gađanja	2 – 3 rakete/min
Domet (m):	
danju	100 – 5500
noću	100 – 3500
Vođenje	poluautomatsko lasersko
Temperaturni opseg primene	-20 do +60°C
Masa (kg):	
lansera na tronošću	20
termalnog nišana	11
kontejnera sa raketom	29
Posada (članova)	2-3

Ugradnja sistema Kornet-E na vozila obezbeđuje veliku brzinu gađanja, konstantnu raspoloživost vatre, kao i pogadjanje jednog cilja sa dve rakete istovremeno. Primeri ugradnje su šasije ruskog borbenog vozila pešadije BMP-3 (16 raketa, uključujući 12 u automatskom punjaču), oklopnog transportera BTR-80 (12 raketa, 8 u automatskom punjaču), kao i američkog vozila HUMMER (9 raketa, 4 u automatskom punjaču).

V. R.



## PROTIVTENKOVSKA VOĐENA RAKETA KONKURS-M\*

Protivtenkovska vođena raketa Konkurs-M je mobilni oružani sistem velike preciznosti i velikog dometa sa poluaktivnim vođenjem.

Primenjuje se za uništavanje savremenih tenkova zaštićenih eksplozivnim reaktivnim okloпом, lakih oklopnih vozila, utvrđenih otpornih tačaka, pokretnih i stacionarnih malogabaritnih ciljeva, uključujući i one koji se kreću po vodi u dnevnim i noćnim uslovima, kao i u nepovoljnim vremenskim uslovima.

Osnovne komponente sistema su: vatrena jedinica (sastoji se od lansera sa termalnim nišanom i vodene rakete), oprema za održavanje i oprema za obučavanje.

Sistem za poluautomatsko vođenje omogućava vođenje rakete na cilj sa velikom preciznošću. Komande za vođenje prenose se do rakete preko žičane veze otporne na vodu. Nišandžija treba jedino da „drži“ končanicu nišana na cilju sve do udara rakete.

#### Osnovne karakteristike sistema Konkurs-M

Domet (m):	
danju	75– 4000
noću	75–3500
Sistem vođenja	poluautomatski sa žičanom vezom
Temperaturni opseg primene	-50 do +50°C
Masa (kg):	
lansera	22
termalnog nišana	11
rakete u kontejneru	26,5
Prečnik rakete (mm)	135
Dužina rakete sa kontejnerom (mm)	1263

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.



Oružani sistem može se ugraditi na bilo koje točkaško ili gusenično vozilo, omogućava gađanje sa organizovanog ili neorganizovanog vatrenog položaja, sa položaja na peskovitom i stenovitom zemljištu, na vodenoj površini, kao i na planinama 3000 metara iznad nivoa mora.

V. R.



## VOĐENI ARTILJERIJSKI PROJEKTIL 152/155 mm KRASNOPOLJ-M\*

Vodeni artiljerijski projektil Krasnopolj-M namenjen je za uništavanje stacionarnih i pokretnih oklopnih ciljeva i inženjerskih konstrukcija prvim pogotkom bez potrebe za korekcijom vatre.

Za razliku od konvencionalnih standardnih artiljerijskih projektila, koji se koriste za dejstvo po površinskim ciljevima, Krasnopolj-M obezbeđuje uništenje individualnih (pojedinačnih) ciljeva, kao što su tenkovi, samohodna oruđa, lanseri, borbena vozila pešadije, višecevni raketni lanseri i bunkeri.

Uništava ciljeve koji se kreću brzinom od 30 m/s, uključujući i mornaričke, kao i razasute ciljeve.

### Osnovne karakteristike projektila Krasnopolj-M

Dometa (km)	22
Vodjenje	poluautomatsko
Verovatnoća pogađanja	0,9
Dužina projektila (mm)	960
Masa projektila (kg)	50
Masa bojne glave/ekspoloziva (kg)	20/6,5
Način dejstva	napad iz gornje polusfere (obrušavanjem)

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

Artiljerijski projektil Krasnopolj-M ima iste dimenzije kao i konvencionalni artiljerijski projektil (nevođeni) 152 ili 155 mm, kompatibilan je sa standardnim automatskim punjačem municije, dva do tri puta smanjuje vreme procedure gađanja, jedan i po do dva puta povećava brzinu gađanja, i dva puta povećava brzinu punjenja samohodnih haubica.

Sklop laserskog označivača-daljinomera 1D20 namenjen je za izvidanje, određivanje daljine, merenje uglovnih koordinata i označavanje (iluminaciju) cilja za municiju sa laserskim vođenjem.

### Osnovne performanse laserskog označivača-daljinomera 1D20

Talasna dužina (μm)	1064
Maksimalni domet otkrivanja cilja (km)	20
Maksimalni domet za označavanje stacionarnog cilja (m)	7000
Maksimalni domet za označavanje pokretnog cilja (m)	5000
Masa sklopa	30

Sa ubedljivim borbenim prednostima Krasnopolj-M sposoban je da pogada brzinom većom od pet projektila u minuti, plotunskom vatrom iz višecevnih oružja protiv otpornih ciljeva označenih laserskim označivačem-daljinomerom.

Primena projektila Krasnopolj-M za tri do četiri puta smanjuje angažovanje artiljerijskih oruđa, a potrošnju municije za 10 do 150 puta. Cena vatrene zadatka smanjuje se za 6 do 12 puta. Može da gađa na distance od 10 do 12 km bez balističkih podataka i podataka o vremenu (na bazi topografskih podataka).

Karakteristike	Krasnopolj	Copperhead
Kalibar (mm)	152	155
Dužina (mm)	1300	1370
Masa (kg):		
projektila	50	62
bojne glave	20,5	22,5
Domet (km)	22	16
Vodenje:		
inicijalna faza	slobodan let	slobodan let
srednja faza	inicijalno vođenje	inercijalno vođenje
konačna faza	lasersko poluautomatsko	lasersko poluautomatsko
tip bojne glave	razorna/rasprskavajuća	kumulativna/rasprskavajuća
Ciljevi koje uništava	oklopni transporteri i fortifikacije	oklopni transporteri
Način dejstva	obrušavanje iz gornje polusfere	napad iz gornje polusfere uz lasersko označavanje

V. R.



## MORNARIČKI PROTIVAVIONI SISTEM KAŠTAN\*

Sistem Kaštan namenjen je za zaštitu površinskih brodova od niskoletućih protivbrodskih raketa, kao i uništavanje manjih mornaričkih ciljeva i ciljeva na zemlji.

Prednosti ovog sistema su:

- pouzdano uništavanje različitih vrsta ciljeva u vazдушnom prostoru (protivbrodskih raketa, aviona, helikoptera);
- mogućnost uništavanja malih mornaričkih i zemaljskih ciljeva;
- velike borbene performanse – efikasno odvratanje tri istovremeno dolazeće protivbrodske rakete;

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

– automatizovane sekvence uništavanja;

– visoka borbena efikasnost;

– modularna konstrukcija koja obezbeđuje raspoloživost različitih modifikacija kako bi se ispunili različiti zahtevi na brodovima.

Komponente sistema Kaštan podrazumevaju jedno komandno mesto sa šest vatrenih položaja, zavisno od vrste ratnog broda. Veliki brodovi mogu se, takođe, opremiti ovim sistemom, koji ima osmatrački radar i sistem za označavanje cilja, kao i interfejse između komandnog mesta i broda. Sistem Kaštan poseduje integrisani radarsko-optički kontrolni sistem velike preciznosti. Osmatrački radar radi u santimetarskom opsegu talasnih dužina i omogućava detekciju ciljeva na visini od 40 km, kao i označavanje cilja. Optronički sistem se sastoji od televizijskog tragača cilja i lokalizatora rakete zemlja–vazduh. Radar omogućava automatsku akviziciju cilja, praćenje i vođenje rakete.

Raketa brod–vazduh je dvostepena sa busterom, maksimalne brzine 900 m/s, masa sa kontejnerom iznosi 60 kg, a masa bojne glave je 9 kg. Kalibar rakete je 76/152 mm.

Topovsko naoružanje sistema Kaštan sastoji se od automatskog topa GHh-6-30K kalibra 30 mm sa masom od 229 kg. Kumulativna brzina gađanja topa iznosi 10 000 metaka u minuti, a početna brzina projektila je 880 m/s.

Sistem Kaštan ima 8 raketa spremnih za gađanje, 32 rakete u spremniku (skladištu) kao i 1000 metaka kalibra 30 mm. Od optičkih i upravljačkih komponenti sistem poseduje osmatrački radar,

radar za vođenje, IC lokalizator raketa, kao i TV sistem. Domet detekcije cilja iznosi 40 km, uništavanje ciljeva raketom je na rastojanjima 1550 do 8000 m, a visina dejstva je 5 do 3500 m. Uništavanje ciljeva topom je na udaljenostima 500 do 4000 m, a po visini 5 do 300 metara. Vreme reakcije PA sistema iznosi 6 do 8 sekundi.

V. R.



## VOĐENI ARTILJERIJSKI PROJEKTIL 122 mm KITOLOV-2M\*

Vođeni artiljerijski projektil Kitolov-2M namenjen je za uništavanje stacionarnih i pokretnih oklopnih ciljeva i fortifikacija prvim pogotkom bez potrebe za korekturom vatre.

Osnovne karakteristike projektila  
Kitolov-2M

Domet (km)	12 do 14
Vođenje	poluautomatsko
Verovatnoća pogađanja cilja	0,8 do 0,9
Dužina projektila (mm)	1200
Masa projektila (kg)	28
Masa bojne glave/eksploziva (kg)	12/5,5
Način dejstva projektila	iz gornje polusfere (obrušavanjem)

Za razliku od konvencionalnih projektila koji se ispaljuju na višestruke ciljeve (zaprečno gađanje protiv pokretnih ciljeva i gađanja protiv površinskih ciljeva), Kitolov-2M omogućava uništavanje pojedinačnih ciljeva (samohodnih oružja, lansera, oklopnih transportera, višecevnih raketnih bacača, bunkera). Takođe,

obezbeđuje pogađanje grupnih ciljeva sa istih vatrenih položaja.

Sklop lancerskog označivača-daljnomera 1D20 namenjen je za izvidanje, određivanje daljine, merenje uglovnih koordinata i označavanje (iluminaciju) cilja za municiju sa laserskim vođenjem.

Kitolov-2M može da gađa brzinom većom od tri projektila u minuti, plotunskom vatrom iz višecevnih oružja protiv otpornih ciljeva označenih laserskim označivačem – daljinomerom.

Primena projektila Kitolov-2M za tri do šest puta smanjuje angažovanje artiljerijskih oruđa, smanjuje potrošnju municije za 10 do 100 puta, a cenu vatrene zadatka za dva do tri puta. Može da gađa na distance od 6 do 7 km bez balističkih podataka i podataka o vremenu.

Usporedne karakteristike projektila  
Kitolov

Karakteristike	Kitolov-2	Kitolov-2M
Kalibar (mm)	120	122
Artiljerijski sistem	samohodni sistem NONA	top D30, samohodna haubica 2S1
Dužina (mm)	1225	1225
Masa (kg):		
projektila	25	27
bojne glave	10	12
eksploziva	5	5,5
Domet (km)	9	12
Vrsta bojne glave	razorna/rasprskavajuća	razorna/rasprskavajuća
Vođenje:		
inicijalna faza	slobodan let	slobodan let
konačna faza	lasersko poluaktivno	lasersko poluaktivno

V. R.



\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.

## KLIVER – POSTOLJE ORUŽJA NA KUPOLI TENKA\*

Postolje oružja na kupoli tenka sa topovsko-raketnim naoružanjem, pod nazivom Kliver, projektovano je za ugradnju na laka borbena vozila (na primer, na borbena vozila pešadije i oklopne transportere), male brodove, kao i na stacionarne položaje.

Namenjeno je za uništenje savremenih i budućih tenkova opremljenih eksplozivnim reaktivnim oklopom, fortifikacija, protivničke žive sile, površinskih brodova, letelica koje se kreću malom brzinom, u dnevnim i noćnim uslovima i u nepovoljnim vremenskim uslovima, kao i pod radarskim i optičkim ometanjem.

Naoružanje ima sledeće komponente:

- protivtenkovsku raketu treće generacije Kornet,
- automatski top 30 mm 2A72,
- mitraljez 7,62 mm.

Protivtenkovska raketa Kornet danju ima domet od 100 do 5500 m, a noću od 100 do 3500 m i dve vrste bojnih glava (kumulativnu – koja može da uništi tenkove opremljene eksplozivnim reaktivnim oklopom i aerosolnu – koja ima izražen udarni i zapaljivi efekat).

Automatski top 30 mm 2A72 ima brzinu gađanja od 350 do 400 metaka u minuti i domet veći od 4000 m, dok je domet mitraljeza 1500 m.

Automatizovani sistem za upravljanje vatrom je dvoosno stabilisan i omogućava raketama i nevođenim projektilima veliku tačnost pogađanja sa zastanka, u pokretu ili pri plovljenju.

Poluautomatsko lasersko vođenje obezbeđuje izvršenje borbenih zadataka i u uslovima radarskog i optičkog ometanja.

Jedinica (sklop) za nišanje i vođenje sastoji se od termalnog displeja, kontrolnog panela, jedinice za nišanje i vođenje sa ugrađenim laserskim daljimerom i termalnim tragačem.

### *Karakteristike jedinice za nišanje i vođenje*

Povećanje optičkog nišana	12x, 4 i 1x
Elevacija	-15 do +60°
Azimit	± 10°
Minimalna brzina vođenja po azimutu-elevaciji	ne manja od 0,02°
Maksimalna brzina vođenja	10°/s
Tačnost merenja	30°/s

U municijskom kompletu nalaze se četiri rakete spremne za lansiranje, 30 projektila 30 mm i 2000 metaka 7,62 mm.

Količina rezervne municije zavisi od vrste vozila na kojem se ugrađuje postolje.

Brzina gađanja topa 30 mm je 300 do 400 metaka/min, uz mogućnost jedinačne paljbe. Masa topa je 84 kg, a vek upotrebe cevi 6000 metaka. Početna brzina projektila iznosi od 960 do 1100 m/s (zavisno od vrste projektila), a upravljanje oruđem je električnim putem.

Uglovi nišanja oružja po elevaciji su od -10° do +50°, a po azimutu -360° do +360°.

Ciljevi koji se prate mogu se kretati po zemlji brzinom većom od 70 km/h i leteti brzinom većom od 700 km/h.

Temperaturni opseg rada je -50° do +60°C.

Masa kupole iznosi 1500 kg.

V.R.

\* Prema prospektu KBP, IDEF 2001.



## BOJNE GLAVE AEROJET ZA RAKETE TOW 2A\*

Firma Aerojet primila je 5,9 miliona dolara od kompanije Raytheon za proizvodnju dodatne 2251 sekcije bojnih glava za armijske iz cevi lansirane, optički praćene i žicom vođene rakete TOW 2A. Aerojet je nedavno isporučio poslednjih 1113 sekcija bojnih glava za TOW 2A poručenih u januaru 2000. godine.

Aerojet izrađuje osnovna i pomoćna raketna punjenja i objedinjava ih u sekcije bojnih glava za TOW 2B. Za razliku od rakete za direktno dejstvo 2A, raketa 2B leti iznad cilja i uništava ga otkrivajući dve obrušavajuće eksplozivne bojne glave.

Aerojet je nedavno započeo razvoj eksplozivnih probojnih bojnih glava za novu armijsku raketu „opali i zaboravi“ TOW, koja, takode, napada oklopne ciljeve, ali je vođena infracrvenim tragačem umesto žicom. Aerojet je prilagodio bojne glave 2B i razvio modul pogona za sistem „opali i zaboravi“ za novu fabriku u Socorro.

U prošloj dekadi Aerojet je isporučio više od 16 000 primeraka bojnih glava za TOW 2A i 41 000 za TOW 2B.

M. K.



## USPEŠAN TEST PROJEKTILA AARGM\*\*

Američka mornarica na svojim poligonima uveliko obavlja testiranje nove protivradarske rakete AARGM (Advan-

\* Prema podacima iz Defence Systems Daily, 29. juli 2001.

\*\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, oktobar 2001.

ced Anti-Radiation Guided Missile), za koju se pretpostavlja da predstavlja dalju evoluciju rakete HARM (High Speed Anti-Radiation Missile). Namena rakete biće uništenje neprijateljeve PVO (Destruction of Enemy Air Defences), a njeno suzbijanje kako je to dosad definisano (Suppression of Enemy Air Defences). Projektil AARGM opremljen je novim višemodnim tragačem, koji kombinuje pasivno vođenje na izvor radarskih talasa i aktivne senzore koji rade u milimetarskom opsegu i spregnuti su sa GPS/INS.

Kao glavna prednost nove rakete navodi se mogućnost dejstva po protivničkim radarima koji se nakon otkrivanja isključuju.

Uvođenje rakete u operativnu upotrebu američke mornarice očekuje se 2005. godine.

S. V.



## TESTIRANJE RAKETE BRAHMOS\*

Juna 2001. godine Indija i Rusija su zajednički testirale novu protivbrodsku raketu Brahmos, koja predstavlja verziju postojeće rakete Yakhont. Ova raketa, sa brzinom leta preko 2 Maha i bojnom glavom mase 500 kg, ima domet 280 km. Nagovešteno je da će domet postepeno biti povećavan, posebno u verziji namenjenoj za lansiranje iz vazdušnog prostora. Podvarijanta namenjena za lansiranje sa kopna mogla bi da dobije i nuklearnu bojnu glavu. To je samo jedan od zajed-

\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, avgust 2001.

ničkih rusko-indijskih odbrambenih projekata.

S. V.



## MODIFIKOVANA PUŠKA SA-80\*

Modifikovano pešadijsko oružje SA-80 uspešno je završilo seriju testova, za koje u Ministarstvu odbrane Velike Britanije tvrde da su bili najstrožiji ikad održani za jedno pešadijsko oružje u svetu.

Familija pešadijskog oružja SA-80 sastoji se od dva oružja: individualnog – standardne puške i lakog oružja za podršku pešadije koje je opremljeno dvonošcem.

Od uvođenja u upotrebu 1986. godine, oružje SA-80 je pretrpelo neke izmene najviše radi poboljšanja pouzdanosti, mada su mnoge tehničke karakteristike, posebno tačnost i usavršeni optički nišan, bili vredni pohvala. I mnogi drugi originalni problemi bili su zadovoljavajuće rešeni. Međutim, juna 2000. godine odlučeno je da se izvede potpun program modifikacije vredan 92 miliona funti, sa ciljem da oružje može maksimalno da ostvari svoje mogućnosti i bude jedno od najboljih u svetu.

Modifikovano oružje, poznato pod oznakom SA-80A2, bilo je podvrgnuto oštrim testovima u različitim uslovima upotrebe, od pustinje u Kuvajtu do arktičkih tundri na Aljasci i džungle Bruneja.

Ispaljeno je preko 3 miliona zrna municije. Prosečan broj metaka između zastoja ili neispravnosti od 25 000 komada ostvaren je za individualno oružje, a za lako oružje za podršku blizu 13 000

komada. Obe varijante lako su nadmašile projektovani životni ciklus oružja od oko 10 000 metaka. U poređenju sa ostalim poznatim pešadijskim naoružanjem, ovo oružje se pokazalo veoma pogodnim.

Modifikovano oružje uvođeće se u upotrebu za frontovske jedinice od decembra 2001. godine, u ukupnoj količini od 200000 komada i trajaće do februara 2006. godine. Zalihe od 10 000 komada modifikovanog oružja već su spremne za isporuku.

M. K.



## FINSKO BORBENO VOZILO 8 x 8\*

Firma Patria i odbrambene snage Finske potpisale su ugovor o daljem razvoju i izradi dva prototipa novog borbene vozila pešadije – točkaša 8x8, poznatog i kao oklopno modularno vozilo (Armoured Modular Vehicle – AMV). Prototipovi će se koristiti za ispitivanja u terenskim uslovima i biće opremljeni kupolama sa topom 30 mm, koje proizvode različiti proizvođači.

Prvi prototip, koji je finansiran sredstvima kompanije, ispituje se od novembra 2001, a početak serijske proizvodnje očekuje se 2005. godine.

Patria AMV 8x8 bi po svojoj pokretljivosti van puteva trebalo da se približi nivou mogućnosti savremenih guseničara, zadržavajući nižu cenu eksploatacije. Sa korisnim teretom od 10 tona, AMV 8x8 će posedovati dobru oklopnu zaštitu koja će predstavljati dobru platformu i za teže oružane sisteme.

S. V.



\* Prema podacima iz Defence Systems Daily, 19. oktobar 2001.

\* Prema podacima sa Interneta: [www.defense-data.com](http://www.defense-data.com)

## DOPUNA ZALIIHA RAKETA TOMAHAWK\*

Kongres SAD je obavešten da Velika Britanija želi da kupi 48 krstarećih raketa Tomahawk Block IIIC radi povećanja operativnih rezervi i pojačanja podmorničkih borbenih mogućnosti.

Otkako je postala jedini kupac ove vrste raketa koje se lansiraju iz podmornica Velika Britanija ih je koristila za vreme sukoba na Kosovu, a u poslednje vreme i protiv Talibana u Avganistanu.

Cena odobrenih količina raketa iznosi 87 miliona dolara.

M. K.



## LOKID MARTIN POBEDNIK PROGRAMA JSF\*\*

Oktoobra 2001. godine zvanično je saopšteno da je na konkursu za novi borbeni avion američkih oružanih snaga, poznatiji kao JSF, pobedila firma Lockheed Martin (Lokid Martin). To je najskuplji vojni program ikada pokrenut, a procenjuje se da njegova vrednost iznosi 200 milijardi dolara. Kompanija Lokid Martin je sa modelom X-35 odnela ubedljivu pobedu nad Boeingovim konkurentom X-32. Ukupni troškovi razvojne faze iznosiće oko 19 milijardi dolara, od čega će Pratt i Whitney dobiti ugovor vredan 4 milijarde dolara za izgradnju specifične pogonske grupe.

Prvi operativni primerci aviona Joint Strike Fighter, koji je i zvanično prei-

\* Prema podacima iz Defence Systems Daily, 18. oktobar 2001.

\*\* Prema podacima sa [www.flug-revue.rotor.com](http://www.flug-revue.rotor.com)

menovan u F-35, treba da budu isporučeni krajem fiskalne 2008. godine. F-35 će biti izrađivan u tri varijante, i to za specifične potrebe američkog vazduhoplovstva, mornarice, morskog korpusa i britanskih oružanih snaga. Ostale zemlje koje su zainteresovane za učešće u programu su Holandija, Belgija i Norveška. Po sadašnjim procenama serijska letelica će koštati 40 miliona dolara (varijanta za USAF) po primerku, ili oko 50 miliona dolara ukoliko se radi o mornaričkoj, odnosno morsknoj varijanti.

S. V.



## MODIFIKOVANI AVIONI TORNADO GR4\*

Firma Bae systems isporučila je za potrebe vazduhoplovnih snaga Velike Britanije stoti uspešno modifikovani avion Tornado GR4.

Program osavremenjavanja GR4 teče od 1997. godine. To je usavršeni avion GR1, a modifikacijom su obuhvaćene jurišne, trenažne i izviđačke varijante. Pojačane su mogućnosti postojećeg GR1 i uvedena strukturna poboljšanja u sistem avionike koja omogućavaju progresivno uvođenje najnovijeg naoružanja i sistema.

Osavremenjavanje sadrži poboljšanja dometa sistema oružja, uključujući toplotne i laserske sisteme osmatranja koji omogućavaju korišćenje laserski vođenih bombi za betonske piste. Prilagođen je za automatsko i ručno upravljanje, ima IC sistem za prednje osmatranje i

\* Prema podacima iz Defence Systems Daily, 17. oktobar 2001.

noćni osmatrački nišan kompatibilan sa displejima kokpita, čime se obezbeđuju potpune mogućnosti pri noćnim letovima. Na avionu su usavršeni sistemi za navigaciju i signalizaciju, što je rezultat uvođenja laserskog inercijalnog navigacionog sistema, integralnog globalnog sistema pozicioniranja i sistema za blisku signalizaciju na zemlji.

Tokom realizacije ovog programa uvedeni su novi proizvodni metodi, sa ciljem da se izradi savremeni avion. Prva konverzija aviona GR4 trajala je 12 meseci, dok je narednih 100 kompletirano za 32 nedelje, zahvaljujući uvođenju novih postupaka u procesu rada. Nove metode fleksibilne proizvodnje omogućile su ugradnju 50 dodatnih modifikacija uz originalnu specifikaciju. Istovremeno je smanjena cena ljudskog rada, kao i vreme ukupnih radova na avionu.

Planira se da se program GR4 završi do maja 2003. godine.

M. K.



## **MODERNIZACIJA INDIJSKIH AVIONA IL-38\***

Pet protivpodmorničkih aviona IL-38 indijskog ratnog vazduhoplovstva biće u narednom periodu modernizovano u ruskim zavodima. Model nadograđenog aviona prezentovan je tokom moskovskog avio-salona MAKS 2001. Suštinski pomak biće zamena protivpodmorničkog sistema Berkut sa sistemom Novella (eksportni naziv Sea Snake – morska zmija). Sistem Novella je potpuno digita-

lizovan i ima manje dimenzije i masu od prethodnika. Sadrži radar, TV i termalni podsistem, IC senzor, radio-hidroakustički sistem, MAD i uređaj za elektronsko izviđanje. Istovremeno, avion će biti opremljen i uređajima za samozaštitu koji podrazumevaju dispنزere IC i radar-skih mamaca, signalizator ispaljenja rakete i aktivni ometač. Predviđa se da će zahvaljujući ovoj nadogradnji vek upotrebe aviona biti produžen za 15 godina.

S. V.



## **ISPITIVANJE NOVOG TRANSPORTNOG HELIKOPTERA U IRANU\***

Novi iranski transportni helikopter, izrađen u kompaniji Panha, poleteo je avgusta 2001. godine. Prema rečima iranskog ministra odbrane, helikopter je namenjen za civilnu i vojnu upotrebu. Kako se pretpostavlja, i ovaj helikopter je kopija starijih američkih tipova. Istovremeno je objavljeno da je ista fabrika iranskom ratnom vazduhoplovstvu isporučila dva helikoptera Šabaviz 2-75 (kopija Bell 205) i jedan primerak jurišnog helikoptera Model 2091. Model 2091 se ranije nije pominjao, a procenjuje se da se u ovom slučaju radi o kopiji helikoptera Bell AH-1J. Ministarstvo odbrane je saopštilo i podatak da se helikopteri iz fabrike Panha isporučuju od 1997. godine.

S. V.



\* Prema podacima iz časopisa Aerospace News, 29. avgust 2001.

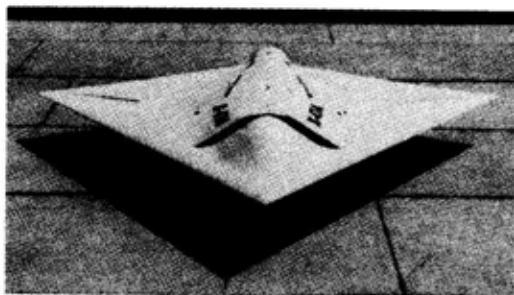
\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, oktobar 2001.



## BESPILOTNA LETELICA X-47A\*

Firma Northrop Grumman je jula 2001. godine službeno predstavila demonstrator koncepta buduće borbene letelice, nazvan X-47A, namenjene za upotrebu sa nosača aviona. Čitav program ima za cilj dokazivanje projektovanih aerodinamičkih karakteristika i praktične upotrebljivosti ovakve letelice sa palube nosača aviona. Dvadeset letova biće izvedeno u prvoj fazi radi početnih ispitivanja pogodnosti X-47A za izvršavanje osnovne namene – neutralisanja neprijateljeve PVO. Prvi let je planiran za kraj 2001. godine i biće izvršen sa poligona China Lake u Kaliforniji.

S. V.



*Bespilotna letelica X-47A*



## BESPILOTNE BORBENE LETELICE SA ROTOROM\*\*

Američka armija planira da započne rad na ispitivanju potencijala novih bespilotnih borbenih letelica sa rotorom tzv. UCAR (unmanned combat armed rotorcraft) tokom 2002. godine. Za ove potrebe zatraženo je 13 miliona USD, a budu

\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, septembar 2001.

\*\* Prema podacima sa Interneta: [www.janes.com](http://www.janes.com).

li odobrena sredstva biće proučeno nekoliko koncepata. Jedna od mogućnosti predviđa da takva letelica lebdi iznad zemlje i dejstvuje koordinirano sa helikopterima u kojima se nalazi ljudska posada, kao što su npr. AH-64 Apache ili RAH-66 Comanche. UCAR bi, takođe, mogao da deluje individualno ili udružen sa ostalim vrstama bespilotnih platformi.

Armija će primarno proučavati letelice čiji je razvoj već u toku, kao što je, na primer, A160 Hummingbird.

S. V.



## ITALIJA NABAVLJA BESPILOTNE LETELICE PREDATOR\*

General Atomics Aeronautical Systems Inc. (GA-ASI) i italijansko ratno vazduhoplovstvo nedavno su sklopili ugovor o isporuci bespilotnih letelica Predator. Ugovor predviđa isporuku šest letelica, jedne zemaljske stanice i jednog terminala podataka, kao i rezervne delove. Predviđena je i mogućnost kupovine dodatnog kontingenta letelica čiji broj za sada nije preciziran, ali se pretpostavlja da se radi o tri letelice. Sve letelice biće opremljene radarom GA-ASI Links sa sintetičkim otvorom rešetke.

Ukupna vrednost posla mogla bi da dostigne 63 miliona dolara, a prva isporuka se očekuje za sedam do devet meseci.

S. V.



\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, oktobar 2001.

## USAF POČINJE DA ISPITUJE PREDATOR B\*

USAF je započeo ispitivanje nove varijante bespilotne letelice Predator B, proizvođača General Atomics Aeronautical System. Testiranja se izvode na prvom od dva naručena prototipa.

Cilj ispitivanja jeste da se potvrde očekivane eksploatacione performanse, mogućnost nošenja predviđenog korisnog tereta, mogućnost lansiranja ubojnih sredstava i efikasnost u izvršavanju ostalih namenskih zadataka. Naročito je važno da se utvrdi da li će operatori biti u mogućnosti da novim sistemom upravljaju pomoću istih zemaljskih sredstava i opreme koja se trenutno primenjuje na Predatorima RQ-1.

Turboelisno pogonjeni Predator B može da postigne brzine od oko 400 km/h, a vreme maksimalnog ostajanja u vazдушnom prostoru iznosi 24 sata. Procenjeno je da masa korisnog tereta iznosi 340 kg, a spoljašnjeg 1360 kg.

S. V.



## NOVA VERZIJA HELIKOPTERA ČINUK\*\*

Sa Boingovog fabričkog letelišta u Filadelfiji juna 2001. godine poleteo je prvi primerak najnovije verzije američkog transportnog helikoptera CH-47. Prvi let nove varijante, označene kao CH-47F, trajao je pet minuta. Helikopter CH-

47F Chinook (Činuk) je redizajnirani CH-47D, i namenjen je za izvršavanje transportnih zadataka za potrebe američkog armijskog vazduhoplovstva. Cilj celokupnog programa jeste da se smanje eksploatacioni troškovi i troškovi održavanja i produži upotrebnost ovog helikoptera u narednih 20 godina.

CH-47F karakterišu novi, snažniji motori Honeywell T55-GA-14A-714 i unapređena avionika. Proces modernizacije biće drugi po redu u dosadašnjoj upotrebi Činuka. Prvi je sproveden nadogradnjom verzija A/B/C u varijantu D krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina.

S. V.



## AVION EA-18 UMEMO EA-6B PROWLER\*

Boeing je uspešno izvršio preliminarne demonstrativne letove nove varijante aviona Hornet namenjene elektronskom ratovanju. To je EA-18 koji treba da bude osnova novog koncepta nazvanog Airborne Electronic Attack (AEA) Aircraft. Tokom prvih letova preuređeni F/A-18F je nosio tri kontejnera sa opremom za elektronsko ometanje ALQ-99 i dva podvesna rezervoara goriva. Avion EA-18 jedna je od opcija koja se razmatra kao eventualna zamena za avione EA-6B Prowler, koja treba da počne od 2008. godine.

S. V.



\* Prema podacima sa Interneta: [www.janes.com](http://www.janes.com)  
\*\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly, avgust 2001.

\* Prema podacima sa Interneta: [www.flug-revue.com](http://www.flug-revue.com)

## NOVI KOREJSKI ŠKOLSKO-BORBENI AVION\*

Južnokorejski supersonični školsko-borbeni avion T-50 Golden Eagle (zlatni orao) prvi put je predstavljen na zvaničnoj ceremoniji oktobra 2001. godine u mestu Sachun. Nosilac projekta je KAI (Korea aerospace industry), a obilatu tehnološku pomoć pružila je firma Lockheed Martin. Prvi let je planiran za sredinu 2002, a serijska proizvodnja se očekuje 2005. godine.

Korejsko vazduhoplovstvo ima nameru da kupi 94 aviona T-50 i njegovih jednosedih jurišnih derivativa A-50.



*Školsko-borbeni avion T-50*

Supersonični T-50 imaće izdržljivost i manevaribilnost kao najsavremeniji borbeni avion, kako bi obuka i priprema za prelazak na operativne letelice kao što su F-16 ili, u budućnosti, F-22 ili JSF, bile što uspešnije. Letelica T-50 poseduje i digitalni fly-by-wire sistem, upravljačku palicu sa bočne strane, reprogramabilni sistem za simuliranje karakteristika različitih letelica, utrostručen

elektrosistem, autonomni uređaj za kisonik i savremen kokpit (HUD, HDD, HOTAS).

S. V.



## MODIFIKOVANI AVION PROWLER I DALJE U UPOTREBI\*

Northrop Grumman je novembra 2001. godine izveo prvi uspešan let aviona EA-6B Prowler ICAP III (Increased Capability III). Ova letelica jedna je od dva prototipa koji će biti podvrgnuti programu ispitivanja u okviru ugovora sa američkom mornaricom vrednog 200 miliona USD.

Verzije Prowlera koje se danas koriste ometaju protivničke radare emitovanjem zaslepljujućih signala u širokom frekventnom opsegu. Sa ICAP III napravljen je korak napred, jer se ometanje sada fokusira na frekvencije na kojima radi ometani radar. Novi sofisticirani softver omogućava sistemu za ometanje da menja frekvenciju ometanja onoliko brzo koliko je menja i protivnički radar radi izbegavanja ometanja.

ICAP III uključuje i sistem za ometanje širokog spektra komunikacija, kao i drugu opremu novijeg datuma. Namera je da se svi postojeći avioni Prowler podignu na ovaj standard, kako bi mogli da budu operativni 2005. godine. U dogledno vreme ICAP III bi trebalo da postane polazna platforma koja bi obezbedila lakši prelazak na vazduhoplove koji će do

\* Prema podacima sa Interneta: [www.flug-revue.com](http://www.flug-revue.com)

\* Prema podacima iz časopisa Air International, januar 2002.

2015. godine zameniti EA-6B. To će, verovatno, biti avion EA-18 Growler.

S. V.



## UGOVORENA PROIZVODNJA AVIONA A400M\*

Decembra 2001. godine, na sastanku ministara odbrane osam evropskih zemalja, potpisan je ugovor o proizvodnji novog transportnog aviona Airbus A400M, koji će zameniti dotrajalu flotu evropskih transportnih aviona. Posao, koji se procenjuje na 18 milijardi evra, predviđa izradu 196 aviona ovog tipa. Nemačka je poručila 73, Francuska 50, Španija 27, Velika Britanija 25, Turska 10, Belgija 7, Portugal tri i Luksemburg jednu letelicu. Prvi let prototipa A400M planira se 2006. godine, a prva isporuka 2008. godine. Proizvodna linija biće locirana u Sevilji u Španiji.

S. V.



*Airbus A400M*



\* Prema podacima sa Interneta: [www.defense-data.com](http://www.defense-data.com)

## USAF RASHODUJE ŠKOLSKE AVIONE T-3A FIREFLY\*

USAF trenutno razmatra tri opcije rešavanja problema prizemljenih školskih aviona T-3A Firefly.

Po jednoj varijanti avioni bi bili prodati, po drugoj bi bili konzervirani i uskladišteni na aerodromu Hondo u Tekساسu, odnosno akademiji USAF u Koloradu, ili bi bili prodati u delovima.

Seriju od 110 aviona USAF je kupio 1994. godine od britanskog proizvođača Slingsby Aviation (originalna oznaka aviona je T-67 Firefly) po ceni od 32,4 miliona dolara. Zbog učestalih otkaza motora i tri katastrofe u kojima je poginulo šest letičača, USAF je krajem 1997. godine prizemljio sve avione ovog tipa. Oktobra 1999, nakon dužeg ispitivanja u bazi Edwards, T-3A je definitivno odbačen kao letelica za školovanje pilota USAF.

S. V.



## ZAVRŠETAK GENERALNOG REMONTA NOSAČA AVIONA NIMITZ\*\*

Brodogradilište Njuport predalo je Mornarici SAD nosač aviona na nuklearni pogon Nimitz (CVN68) posle uspešnog trogodišnjeg kompleksnog generalnog remonta i ponovne popune nuklearnim gorivom. Nimitz je napustio brodogradilište juna 2001. i proveo trodnevna ispitivanja na moru pre ponovnog vraća-

\* Prema podacima iz časopisa *Combat aircraft*, Vol. 3 No 4.

\*\* Prema podacima iz časopisa *Defence System Daily*, 29. jun 2001.

nja u Norfolk u Virdžiniji, a u septembru se upućuje u matičnu luku San Dijego u Kaliforniji. To je bila prva ponovna popuna nuklearnim gorivom u 50-godišnjem životnom veku ovog broda.

Nuklearnim gorivom popunjena su oba brodska reaktora, a izvršena je i znatna modernizacija broda. Temeljno su modernizovani svi nivoi brodske nadgradnje i instalacija i ugrađene nove antene i radari sa povećanim mogućnostima.

Radovi održavanja i remonta izvršeni su ispod brodske vodene linije, uključivši i novo farbanje.

Nimitz je prvi brod u svojoj klasi koji je prošao jedan takav zahvat u svom životnom ciklusu. Drugi brod iz te klase, Dwight D. Eisenhower (CVN69), stigao je u brodogradilište Njuport krajem maja, i nalazi se u fazi preliminarnog snimanja tehničkog stanja broda.

M. K.

## NOVI RADAR FOPEN\*

Američka armija započela je ispitivanja novog radara firme Lockheed Martin, sposobnog za osmatranje i detekciju kroz gusti sloj vegetacije. Ovaj radar, tzv. FOPEN (*foliage penetrating*), može da detektuje ciljeve manjih razmera koji se kreću zaklonjeni vegetacijom, čime se popunjava dosadašnja praznina i nedostatak informacija prouzrokovan pojedinim manjkavostima sistema za nadgledanje bojišta iz vazdušnog prostora – JSTARS.

Testiranje radara nastaviće se sa namerom da se prvi primerci za trupno ispitivanje dostave Komandi američkih snaga u Evropi do kraja 2002. godine.

Početna ispitivanja u vazdušnom prostoru izvedena su sa aviona RC-12 sa udaljenosti od 20 do 25 km od osmatrane površine.

S. V.



\* Prema podacima iz časopisa JDW, 28. avgust 2001.

## VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Balkanska 53  
Telefoni: (011) 36-12-506, lok.: 23-495  
Telefaks: (011) 36-12-506

## NARUDŽBENICA

Pretplaćujemo se na časopis za 2002. godinu:

primeraka

# VOJNOTEHNIČKI

(stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 560,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963

Pretplatne cene važe do 31. 03. 2002. godine.

Broj primeraka časopisa upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun broj **40818-637-9-6319 RC SMO Topčider – za VIZ (sa pozivom na broj za časopis)** i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac ..... tel: .....

Mesto ..... Ulica ..... br. ....

Dana .....

M. P.

Potpis naručioca

.....

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: prpratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U prpratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički priloz originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

*Tehničko uređenje*  
Branko Marković

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 140,00 dinara  
Tiraž 1100 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)