

Direktor

Pukovnik  
SLAVOLJUB JOVANČIĆ

UREĐIVAČKI 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.

General-major  
dr MILAN SUNJEVARIĆ, 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 ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik  
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

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

\* \* \*

Glavni i odgovorni urednik

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

Sekretar redakcije

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

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.

Pretplata tel.-fax: 3612-506, žiro-račun:  
40818-845-0-1445 RC SMO Topčider – za VIZ,  
poziv na broj 054/963.

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

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

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



# 6

GODINA L • NOVEMBAR–DECEMBAR 2002.

*Čitaocima  
i saradnicima  
čestitamo  
novu  
2003.  
godinu*

*Redakcija*



## SADRŽAJ

	SVEČANOST POVODOM JUBILEJA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA – S. J. ....	545
Miloš Pejanović, potpukovnik, dipl. inž. Dr Svetomir Minić, pukovnik, dipl. inž.	METODOLOGIJA RAZVOJA INFORMACIONIH SISTE- MA U VOJSCI JUGOSLAVIJE .....	549
Mr Andreja Andrić, dipl. inž. Mr Nedeljko Ostojić, potpukovnik, dipl. inž. Janko Grandić, major	INTELIGENTNI EDUKATIVNI SISTEM IZ OPŠTE TAK- TIKE.....	557
Sladan Svrzić, pukovnik, dipl. inž. Sr Dragan Čosović, potpukovnik, dipl. inž.	UPOREDNI PREGLED STANDARDA ZA DIGITALNE TRANKING SISTEME FUNKCIONALNIH MOBILNIH RADIO-VEZA .....	567
Mr Slobodan Janičijević, pukovnik, dipl. inž.	ANALIZA POUZDANOSTI RAZNIH ARHITEKTURA INERCIJALNOG MERNOG BLOKA .....	589
Goran Dimitrijević, potporučnik, dipl. inž. Dr Bojan Zrnić, major, dipl. inž.	RAČUNARSKI MODEL ZA ANALIZU RADA OSMA- TRAČKOG RADARA .....	598
Mr Toplica Pantić, pukovnik, dipl. inž.	MOGUĆNOST PRIMENE METODA TEORIJE MASOV- NOG OPSLUŽIVANJA U OPSLUŽIVANJU NADZVUČNE AVIJACIJSKE ESKADRILE .....	612
Dr Mirjana Anđelković-Lukić, dipl. inž.	FIZIČKO-HEMIJSKE I DETONACIONE KARAKTERISTI- KE NITRAMINSKIH EKSPLOZIVA – RDX, HMX I CL-20 .....	623
Pavle Galić, pukovnik, dipl. inž.	KONCEPCIJA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI BEZBEDNO- STI DRUMSKOG SAOBRAĆAJA .....	631
Dr Slavko Pokorni, pukovnik, dipl. inž.	BESPILOTNE LETELICE ZAPADNIH ZEMALJA .....	642

---

**PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA**

---

Sistemski pristup projektovanju automatskog topa – M. K. ....	652
Upravljanje „rezervama naoružanja“ na borbenim avionima generacije 4+ – M. K. ....	655
Povećanje vatrenog dometa raketne artiljerije – M. K. ....	657
Budući američki i evropski borbeni komplet za vojnike pešadije – S. A. ....	660
Raketni sistemi PVO srednjeg dometa – M. K. ....	663
Borbeni raketni čamci – M. K. ....	664

---

**TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Borbena provera automata Bizon – M. K. ....	667
Automati serije 100 – M. K. ....	668
Pentagon isprobava odbrambene rakete – M. K. ....	669
Borbeni avion MiG-29 OVT – S. V. ....	670
Testiranje digitalnog sistema veze MIDS na F-18 – M. K. ....	670
Završna faza logističkog ispitivanja lovca F-22 Raptor – M. K....	671
Helikopteri Bell za trenažnu flotu vazduhoplovstava SAD i Velike Britanije – M. K. ....	672
Privremena suspenzija letova aviona F-14 – M. K. ....	672

## **Svečanost povodom jubileja VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA**

*Svečanost kojom je obeleženo pedeset godina osnivanja i redovnog publikovanja VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA, održana je 6. novembra 2002. godine u Svečanoj sali Centralnog kluba Vojske Jugoslavije. Ovom, za časopis i Vojnoizdavački zavod, značajnom događaju prisustvovali su brojne zvanice i gosti iz struktura Vojske Jugoslavije, kao i sa tehničkih fakulteta Univerziteta u Beogradu i Nišu, saradnici i čitaoci.*

*Na početku svečanosti pročitana je Ukaz predsednika SR Jugoslavije dr Vojislava Koštunice, kojim je časopis VOJNOTEHNIČKI GLASNIK odlikovan Ordenom Vojske Jugoslavije trećeg stepena, povodom 50 godina rada i doprinosa na stručnom i naučnom osavremenjavanju Vojske Jugoslavije. Glavnom i odgovornom uredniku časopisa, orden je uručio izaslanik predsednika SR Jugoslavije i zastupnik načelnika Generalštaba Vojske Jugoslavije general-potpukovnik Branko Krga, koji je tom prilikom održao kraći govor: „Poštovane dame i gospodo, uvaženi gosti, u ime pripadnika Generalštaba Vojske Jugoslavije, i svoje lično ime, najsrdačnije vas pozdravljam i Redakciji čestitam dobijanje Ordena Vojske Jugoslavije trećeg stepena, povodom jubileja – pedeset godina izlaženja VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA, jednog od naših najstarijih i najpoznatijih vojnih časopisa.*

*Posle pola veka kreativnog i sadržajnog rada ostala su iza brojnih redakcija zaista impresivna dela. Očevidno je stalno napredovanje časopisa, budući da je vremenom prerastao u ugledni stručni i naučni glasnik, čiji napisi obuhvataju izuzetno značajno područje vojnotehničkih nauka. Ovim povodom potrebno je napomenuti da je u proteklom periodu, prepunom izazova, VOJNOTEHNIČKI GLASNIK na najbolji način ispunio svoju ulogu i značajno afirmisao Vojsku Jugoslavije, kako u stručnom, tako i u naučnom pogledu.*

*Stvaranje tehnički savremeno opremljene, borbene osposobljene i efikasne vojne sile, kakvoj težimo, nije moguće bez novih naučnotehničkih i stručnih dostignuća, a naš današnji slavljениk VOJNOTEHNIČKI GLASNIK u toj sferi ima zapaženo mesto i ulogu.*

*Očekujem da će se na njegovim stranicama, i ubuduće, nalaziti aktuelne teme koje će doprineti našim nastojanjima da ostvarimo postavljene ciljeve u vojnotehničkim naukama i logističkoj podršci Vojske Jugoslavije u najširem značenju. To je važno s obzirom na to da se naša država opredelila za ulazak u program 'Partnerstvo za mir' i druge međunarodne integracije, i da je u toku reorganizacija Vojske.*

*Uveren sam da će Redakcija, pored svih poznatih teškoća, nastaviti sa radom koji je učinio časopis korisnim, priznatim i poznatim izvan Vojske Jugoslavije.*

*Redakciji VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA još jednom čestitam zasluženi orden visokog ranga i pedesetogodišnjicu uspešnog rada, sa željom da časopis redovno izlazi i da ubuduće predstavlja nezaobilaznu literaturu u obrazovanju i obuci pripadnika Vojske Jugoslavije“.*

*O ostvarenjima VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA u proteklih pedeset godina i njegovoj programskoj orijentaciji na svečanosti su govorili i predsednik Uređivačkog odbora VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA i načelnik Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ VJ, general-major dr Milun Kokanović i glavni i odgovorni urednik, pukovnik Stevan Josifović.*

*U drugom delu svečanosti dodeljene su zahvalnice povodom pedesetogodišnjice osnivanja ovog stručnog i naučnog časopisa Vojske Jugoslavije, koje je dobitnicima uručio general-major dr Milun Kokanović.*

*Sektor za logistiku dodelio je zahvalnicu VOJNOIZDAVAČKOM ZAVODU, izdavačkoj ustanovi u okviru koje svoju publicističku delatnost ostvaruje i VOJNOTEHNIČKI GLASNIK, a Uređivački odbor časopisa dodelio je priznanja pojedincima i institucijama koji su značajno doprineli dosadašnjem razvoju i ugledu časopisa.*

*U ime VOJNOIZDAVAČKOG ZAVODA priznanje je primio pukovnik Slavoljub Jovančić, direktor ove izdavačke kuće.*

*Zahvalnice su dodeljene bivšim dugogodišnjim članovima i predsednicima Uređivačkog odbora, general-potpukovnicima u penziji mr Vladanu Šljiviću, dr Jugoslavu Kodžopeljiću i dr Siniši Boroviću. Takođe, priznanja su uručena i nekadašnjim glavnim i odgovornim urednicima, pukovnicima u penziji Nikoli Zoriću, mr Tomislavu Štuliću i Miroslavu Čojbašiću, kao i uvaženom profesoru dr Jovanu Todoroviću sa Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dugogodišnjem članu Uređivačkog odbora časopisa.*

*Priznanja su uručena i dugogodišnjim najangažovanijim autorima stručnih i naučnih radova, pukovnicima dr Svetomiru Miniću iz Tehničke uprave GŠ, dr Vasiliju Miškoviću iz Vojne akademije – Odsek logistike i dr Vladi Radiću iz Uprave za istraživanje, razvoj i proizvodnju Sektora za vojnoprivrednu delatnost Saveznog ministarstva za odbranu. Pored toga, zahvalnice su dodeljene i stalnim saradnicima Redakcije – prevodiocu Jasni Višnjić, lektoru Dobrili Miletić i tehničkom sekretaru Zori Pavličević.*

*Priznanja su uručena i: Vojnoj akademiji – Odseku logistike, Vojnotehničkom institutu, Tehničkom opitnom centru KoV, Novinsko-izdavačkom centru „Vojska“ i Vojnoj štampariji.*

*Svim zvanicama i gostima uručen je svečani broj VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA koji je svojim sadržajem i formom posvećen jubileju, a u kojem su na prigodan način predstavljene institucije i organizacione celine Tehničke službe VJ koje su sve proteklo vreme nesebično podržavale i potpomagale časopis.*



САВЕЗНА РЕПУБЛИКА ЈУГОСЛАВИЈА

ПОВЕЉА О ОДЛИКОВАЊУ

ПОВОДОМ 50 ГОДИНА РАДА И ДОПРИНОСА  
НА СТРУЧНОМ И НАУЧНОМ ОСАВРЕМЕЊАВАЊУ  
ВОЈСКЕ ЈУГОСЛАВИЈЕ

ОДЛИКУЈЕМ

Часопис „ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК”

ОРДЕНОМ ВОЈСКЕ ЈУГОСЛАВИЈЕ  
ТРЕЋЕГ СТЕПЕНА

У БЕОГРАДУ, УКАЗ БРОЈ 1/2-01-0004/2002-38 од 4. новембра 2002. ГОДИНЕ

ПРЕДСЕДНИК

ВОЈИСЛАВ КОШТУНИЦА

*Za ovu priliku, u predvorju Svečane sale Centralnog doma VJ, postavljena je izložba izdanja VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA, koja je na vrlo slikovit način posetiocima predstavila njegovu delatnost i ostvarenja u proteklih pedeset godina.*

*Svečanost je svojim umetničkim umećem ulepšao mešoviti hor umetničkog ansambla VJ „Stanislav Binički“, na čemu im se i ovom prilikom najtoplije zahvaljujemo.*

*Povodom jubileja časopisa čestitke su poslali: zastupnik načelnika Generalštaba VJ, zamenici načelnika GŠ za KoV, RV i PVO i RM, načelnici samostalnih uprava GŠ, Sektor za vojnoprivrednu delatnost SMO, Vojna akademija VJ, Vojnotehnički institut, Tehnički opitni centar KoV, tehnički remontni zavodi VJ, Vojna akademija – Odsek logistike, Tehnička služba beogradskog i podgoričkog korpusa.*

*Redakcija časopisa i Uređivački odbor zahvaljuju se na upućenim čestitkama a svima koji su na bilo koji način pružali podršku VOJNOTEHNIČKOM GLASNIKU i učestvovali u njegovom kreiranju i unapređivanju u proteklom periodu izražavamo veliku zahvalnost.*

*Glavni i odgovorni urednik  
pukovnik  
Stevan Josifović*

**Miloš Pejanović,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Uprava za organizaciju, mobilizaciju  
i vojnu obavezu GŠ VJ,  
Beograd  
**Dr Svetomir Minić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Tehnička uprava GŠ VJ,  
Beograd

## METODOLOGIJE RAZVOJA INFORMACIONIH SISTEMA U VOJSCI JUGOSLAVIJE

UDC: 681.32 : 001.83] : 355.1 (497.1)

### Rezime:

*U radu su prikazane metode za razvoj distribuiranih objektno orijentisanih informacionih sistema, sa posebnim osvrtom na komponentne sisteme. Prikazani su neki metodološki pristupi i standardi u razvoju vojnih informacionih sistema.*

*Ključne reči: metode, alati, objekti, softverske komponente.*

---

## METHODS OF DEVELOPMENT OF THE YUGOSLAV ARMY INFORMATION SYSTEMS

### Summary:

*This paper presents methods for development of object - oriented information systems with specific emphasis on component systems as well as some methodological approaches and standards of military information systems development.*

*Key words: methods, tools, objects, components of software.*

---

### Uvod

U razvoju informacionih sistema, važnu ulogu ima izbor odgovarajuće metodologije i alata. Metodologije predstavljaju skup postupaka, dok su alati<sup>1</sup> sredstva u procesu razvoja informacionih sistema. Veliki sistemi, kao što je, na primer, vojna organizacija, potrebno je da imaju standardizovane postupke i metodologije za razvoj informacionih sistema. Postoje različiti metodološki pristupi u njihovom razvoju: sistemski integralni pristup razvoju (od projektovanja i implementacije do održavanja) i razvoj informacionih sistema kao tehničko-tehnološke strukture (standardna

mreža računara i servisa). Kombinacija ovih pristupa vodi efikasnom rešenju u razvoju informacionih sistema, pri čemu treba imati u vidu koncert „otvorenih sistema“ koji omogućavaju da različiti informatički standardi i servisi mogu da funkcionišu na tim sistemima, uključujući operativne sisteme, baze podataka, računarske komunikacije i korisničke interfejse. Brz tehnološki razvoj, posebno pojava Internet tehnologije, uzrokuje određene promene u navedenim metodološkim pristupima, što je od velikog značaja u definisanju metodoloških postupaka za razvoj savremenih informacionih sistema u vojnoj organizaciji. U ovom radu prikazani su trendovi, neke od mogućnosti i pristupi u razvoju savremenih informacionih sistema.

<sup>1</sup> Na primer: dijagrami toka podataka, dijagrami objekti-veze, dijagrami klasa, Use Case, itd.



## Metodologije razvoja informativnih sistema

Osnovni problem u razvoju složenijih informativnih sistema je savladavanje njihove složenosti. Pri tome se analiziraju dva aspekta: podela celokupnog razvoja na faze i dekompozicija sistema.

Podela razvoja na faze može se posmatrati kroz poznati konvencionalni životni ciklus informativnih sistema: 1. planiranje razvoja, 2. analizu i specifikaciju zahteva, 3. projektovanje, 4. implementaciju i 5. održavanje. To je „detaljna“ metodologija projektovanja i potrebno je razmotriti kada na njoj treba insistirati. Radi toga često se uvodi „prototipski razvoj“ odnosno korisnik, može vrlo brzo da vidi softver koji „radi spolja“, gde osnovni problemi nisu rešeni. Sa tog aspekta prototipovi su odbacivi ili nadgradivi. Za razvoj prototipova danas postoji veliki broj alata. Prototipski razvoj je primenjiv pri razvoju velikih i složenih sistema kod pojedinačnih aplikacija. Ovakav razvoj karakteriše nešto lošiju dokumentaciju.

Kada je moguće prototipski razvoj treba automatski prevesti u aplikaciju, odnosno kada je specifikacija izvršiva na računaru, tada je to operacionalni ili transformacioni pristup. Transformacioni pristup omogućava najjeftinije održavanje informativnih sistema. Ovakva „izvršiva specifikacija“ u veštačkoj inteligenciji naziva se „automatsko programiranje“, odnosno podizanje programskih jezika na viši nivo.

Do sredine osamdesetih godina dominantni su bili metodološki pristupi zasnovani na specifikaciji funkcija sistema,

a krajem osamdesetih pojavile su se objektnoorijentisane metode za razvoj informativnih sistema. Ove metode polaze od činjenice da sistem predstavlja skup međusobno povezanih objekata. Model sistema zasnovan je na specifikaciji objekata sistema. Svako stanje sistema određeno je stanjima objekata posmatranog sistema. Funkcije sistema realizovane su kao operacije nad objektima sistema koje mogu da menjaju stanje tih objekata. Izmene u sistemu predstavljaju izmene nad objektima sistema.

Radi savladavanja složenosti pristupa se dekompoziciji sistema na manje i lakše savladive celine ili podsisteme. Pristup može biti konvencionalni ili objektni. Konvencionalni pristup obuhvata funkcionalnu dekompoziciju i odvajanje apstrakcije podataka od proceduralnih apstrakcija (modeli podataka kao kontekst za funkcionalnu dekompoziciju). Funkcionalna dekompozicija opisuje ulazno-izlazne karakteristike bez obzira na suštinu sistema i daje „algoritamske apstrakcije“, a ne apstrakcije podataka. Baze podataka i datoteke su nusproizvod, odnosno „privatno vlasništvo“ programa bez kojeg nemaju smisla. Funkcije se često menjaju i nestabilna su osnova projektovanja, što uzrokuje teško održavanje. Odvajanje apstrakcije podataka od proceduralnih apstrakcija predstavlja odvojene baze podataka od programa. Baze podataka su nezavisni resurs. Izdvaja se model podataka i projektuje baza podataka, nakon čega se izrađuju programi nad tom bazom podataka. Kod složenijih sistema mogu nastati određeni problemi u odvajanju programa i baze podataka.



Zbog toga se pristupa objektnoj dekompoziciji uvođenjem koncepta objekta. Objektno orijentisani pristup proističe iz koncepta apstraktnog tipa podataka. To znači da projekat treba da bude apstraktan. Tip podataka je skup vrednosti i skup operacija nad njima. Za razliku od funkcionalnog pristupa gde su datoteke ulaz i izlaz, a sistem čista funkcija koja se realizuje algoritamski, objektni pristup podrazumeva da objekat (apstraktni tip podataka) sadrži i apstrakcije podataka i proceduralne apstrakcije koje su „učaurene“ i predstavljaju njegove unutrašnje karakteristike. Realni sistem predstavlja skup objekata i operacija nad objektima. Razvojem informacionih sistema želi se postići da tipovi podataka budu bliski realnom sistemu, odnosno da se dobije formalna specifikacija koja će omogućiti što manju „semantičku prazninu“.

Pojedinačne metodologije koriste skup alata, tehnika i aktivnosti za rešavanje problema u razvoju informacionih sistema. Najznačajniji savremeni alati su: dijagrami toka podataka (strukturna sistem analiza – SSA), dijagrami objekti – veze, objektni dijagrami (dijagrami klasa), dijagrami slučajeva korišćenja (Use Case), dijagrami tragova događaja (scenarija), dijagrami promene stanja, Petrijeve mreže itd.

U razvoju informacionih sistema, razmatra se mogućnost da baza podataka nije samo statički već i dinamički odziv na ažuriranje. Tada se govori o aktivnim sistemima, gde se njihova stanja proširuju sa ulazima i izlazima, a dinamika opisuje preko pravila integriteta. Sistem se opisuje neproceduralno, a ne algoritamski.

Aplikativno najpogodniji je objektni pristup. Kod različitih pristupa postoji problem izbora metoda projektovanja, odnosno stvaranja optimalnog metodološkog pristupa razvoja informacionih sistema. Takođe, postoji problem razvoja zbog parcijalne automatizacije u uslovima masovnog uvođenja personalnih računara. U takvim uslovima često se pristupa razvoju informacionih sistema kao infrastrukture i definisanju standarda, ne čekajući globalni projekat. Nakon izvesnog vremena postoji mogućnost da dođe do redundanci i haosa, zbog čega je potrebno ostvariti kontrolu i upravljati razvojem. Koordinacija nad lokalnim podsystemima, pored standarda, podrazumeva rečnik podataka, što znači postojanje „informacionog sistema o informacionim sistemima“. Rečnik podataka može se dobiti primenom poznatih metodoloških pristupa i alata kao što su objektni i funkcionalni pristup. Ovakvom decentralizacijom dobijaju se federativni sistemi sa bazama podataka distribuiranim na specifičan način. Metodologija je sadržana u rečniku podataka, ali ne znači da mora biti nametnuta. Ovakav pristup u razvoju informacionih sistema zahteva dosta znanja.

Postoje različite objektnoorijentisane metode koje predlažu različite pristupe objektnoorijentisanoj analizi i projektovanju informacionih sistema. Među njima su najpoznatije OMT metod (Object Modeling Technique), Boochov metod i OOSE metod (Object-Oriented Software Engineering).

U OMT metodu posmatraju se tri različita modela: objektni, dinamički i funkcionalni, koji predstavljaju različite poglede na sistem i međusobno su komplementarni. Ovaj metod daje pred-

nost pristupu u kome analiza sistema započinje definisanjem entiteta i formiranjem objektnog modela. Ovakav pristup naziva se pristup orijentisan podacima (data driven approach).

U Boochovom metodu definisani su različiti dijagrami: dijagram klasa, dijagram objekata, dijagram interakcije objekata i dijagram prelaza stanja. Njima su predstavljene statičke i dinamičke karakteristike sistema. U ovom metodu posebno je naglašen onaj deo procesa razvoja sistema koji se odnosi na projektovanje i implementaciju sistema.

U OOSE metodu definisane su tri vrste objekata. To su objekti entiteta (entity objects), interfejs objekti (interface objects) i upravljački objekti (control objects). Za opis dinamike sistema uvedeni su slučajevi korišćenja (Use Cases). Ovaj metod daje prednost pristupu u kome definisanje zahteva i analiza sistema započinju definisanjem slučajeva korišćenja i formiranjem modela slučajeva korišćenja. Ovaj pristup naziva se pristup orijentisan slučajevima korišćenja (Use Case approach).

Uvidom u navedene objektnoorijentisane metode dolazi se do zaključka da sve te metode imaju jedan zajednički skup elemenata koji se koristi u modeliranju sistema. Zbog toga su razvijeni elementi modela objedinjenog jezika modeliranja (Unified Modeling Language – UML), koji je nastao sredinom devedesetih,<sup>2</sup> prvenstveno objedinjavanjem OMT metode, Boochove metode i OOSE metode. Analizom koncepata obuhvaćenih u

objektnoorijentisanim metodama došlo se do skupa modela i elemenata modela koji se koriste pri analizi, projektovanju i dokumentovanju elemenata sistema.

### **Razvoj distribuiranih objektnoorijentisanih vojnih informacionih sistema**

Informacioni sistemi koji imaju karakteristike distribuiranog hardvera, i/ili distribuiranog upravljanja, i/ili distribuiranih podataka, predstavljaju distribuirane informacione sisteme. Distribuirani informacioni sistemi<sup>3</sup> obično se dele na: snažno spregnute sisteme (multiprocesorski sistemi), umereno spregnute sisteme (lokalna računarska mreža – LAN sa klijentserver arhitekturom), slabo spregnute sisteme (potpuno autonomni računari sa mogućnošću komuniciranja LAN i WAN).

U užem smislu, može se reći da su samo umereno spregnuti pravi distribuirani sistemi. Osnovni tehnološki razlog za razvoj distribuiranih informacionih sistema je povoljniji odnos cena – performans za mrežu mikror računarskih sistema, nego za veliki sistem.

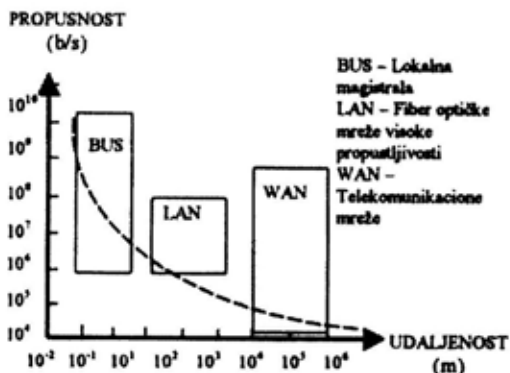
Pored toga, primena je važna u deljenju resursa. U tom smislu postoji težnja da se u razvoju postigne povećanje propusnosti ovih sistema i smanjenje vremena odziva.

Odnos između propusnosti i udaljenosti resursa prikazan je na slici 1.

Referentni model za povezivanje otvorenih sistema zasnovan je na konceptu hijerarhijske organizacije komunikacione arhitekture u sedam diskretnih slojeva. Time se ceo problem komuni-

<sup>2</sup> Prva verzija UML data je 1995. godine pod nazivom Unified Method autora G. Booch-a i J. Rumbaugh-a. Novije verzije prihvatile su i vodeće svetske kompanije u proizvodnji softvera kao što su ORACLE, IBM, Digital Equipment, Microsoft i drugi.

<sup>3</sup> Na osnovu modela ENSLOW-a.



Sl. 1 – Propusnost u distribuiranim informacionim sistemima

ranja razdvaja na manje, zaokružene celine. Svaki sloj obezbeđuje višem sloju definisani servis, dok najviši sloj svoj servis pruža korisničkoj aplikaciji koja je izvan OSI<sup>4</sup> okruženja.

Objektno orijentisani distribuirani informacioni sistemi zasnovani su na konceptu objekta (apstraktnog tipa podataka). U suštini, to su računarske mreže sa informacionim sistemima koji imaju karakteristike distribuiranih resursa. Razvoj globalne računarske mreže bazirane na Internet tehnologiji i klijent-server arhitekturi, kao i njena masovna upotreba, bitno utiču na redefinisane standarda za razvoj objektnoorijentisanih distribuiranih informacionih sistema.

U odnosu na ukupne troškove razvoja informacionih sistema klasičnom metodologijom, troškovi razvoja softvera su veći od troškova razvoja hardvera. To znači da faktički dolazi do napuštanja takvog pristupa razvoju. Pored toga, različite softverske aplikacije u takvom sistemu ne komuniciraju međusobno ili je to

<sup>4</sup> ISO/OSI referentni model je, pre svega, namenjen za telekomunikacione mreže, zbog čega se ne koristi u LAN (IEEE802)

minimalno izraženo. To znači da cena razvoja i održavanja softvera ostvaruje veliki skok.

Prelazak sa strukturalnog i modularnog programiranja u objektnoorijentisano programiranje reducira cenu softvera. Pored toga, softverske komponente se integrišu sa aplikacijama, a aplikacije u celoviti sistem. Pri tome je potrebno da softverske komponente pri pojavi „događaja“ međusobno komuniciraju i sa drugim softverskim komponentama, koristeći postojeće mehanizme i otvorene (open) interfejsse. Sve kompleksniji hardver i softver uzrokuje složeniju komunikaciju između različitih komponenti.

Novi trendovi u poslovanju – Internet poslovanje, postavili su nove zahteve pred Web servere. Oni moraju na neki način podržati transakcije u novom okruženju. Proširivanje uloge Web servera vodi njihovoj evoluciji u kompleksnije aplikativne servere.

Najopštije, transakciju možemo definisati kao interakciju (uobičajeno dva aktera) koja menja stanje sistema. Potreba za modelovanjem poslovnih i drugih realnih sistema u kojima se najveći deo dinamike sistema odvija kroz mnoštvo transakcija, uslovlila je pravljenje mehanizma koji će ih u projektovanim IS na pravi način podražavati.

Transakcije se mogu izvršavati direktno ili svrstavajući se u red čekanja. U direktnim se uspostavlja sinhronizovana komunikacija između klijenta i servera, čime se dobija utisak da je uspostavljena direktna veza.

Tipičan primer ovakvog izvršavanja transakcija uočava se u CGI aplikacijama koje podržavaju Web serveri. Noviji pri-

stup koji se oslanja na CORBA<sup>5</sup> model i Object Request Broker (ORB) još jedan je primer direktnog izvršenja transakcija.

Transakcije koje se mogu kompletno izvršiti na jednom čvoru mreže nazivaju se lokalnim transakcijama. Priroda distribuiranih sistema uslovila je pojavu distribuiranih transakcija, za čije je izvršenje potrebno više čvorova mreže. One su kompleksnije i teže za implementaciju. Za izvršenje je potrebna saradnja sa nekim alatom za koordinaciju distribuiranih transakcija (DTS – eng. distribution transaction coordinators). Jedan takav servis definisala je OMG, i to je Object Transaction Service (OTS). Drugo popularno rešenje daje JavaSoft u vidu Java Transaction Servicea (JTS).

Implementacija logike posla aplikacije zahteva od razvojnih timova da brinu o upravljanju deljivim resursima servera (kao što je memorija ili procesorsko vreme). Takve transakcije nazivaju se programirane (eng. Programmatic transactions). Aplikacije koje ih koriste su teške i skupe za održavanje. To je jedan od razloga zašto je razvoj komponentnih modela postao popularan i doživeo veliki napredak poslednjih godina. Komponente kojima je implementiran mehanizam izvršavanja transakcija na ovaj način se mogu koristiti u pravljenju novih aplikacija. Komponentni model omogućava lakše izmene i održavanje. S druge strane, skraćuje se vreme potrebno za implementaciju, jer postoje različite gotove komponente koje se mogu iskoristiti.

<sup>5</sup> CORBA (Common Object Request Broker Architecture) jeste konceptualno „softverska magistrala“ (softvere bus) koja dozvoljava aplikacijama da komuniciraju međusobno, u zavisnosti od toga ko projektuje i razvija platforme na kojima se izvršavaju, jezik na kojem je pisan program i gde se izvršava.

Ovakav pristup implementaciji transakcija naziva se deklarativnim pristupom. Programeri su oslobođeni brige o realizaciji mehanizama za kontrolu izvršenja transakcija. Trenutno su najpopularniji komponentni modeli COM+ (eng. Component Object Model), EJB (eng. Enterprise Java Beans) i CORBA.

Microsoftovo rešenje COM definiše standardni interfejs za binarne objekte u Windowsu. Izvršni kod ovako napisanih objekata mogu izvršavati i drugi objekti. Kako se radi o izvršnom kodu, na taj način mogu komunicirati objekti napisani u različitim programskim jezicima. Komunikacija se vrši preko utvrđenog interfejsa koji je, u stvari, kolekcija naziva virtuelnih funkcija. Dublje upuštanje u funkcionisanje COM modela je izvan okvira ovog rada, pa će se zadržati na zaključku da je na ovaj način omogućeno korišćenje već napisanih i testiranih izvršnih modula koji obavljaju neke složene poslove. ActiveX kontrole zasnovane su na COM tehnologiji. To su komponente koje imaju omotač koji browseru omogućava da ih prikaže.

CORBA je industrijski standard za distribuirane aplikacije koji je definisao OMG (Object Management Group). OMG<sup>6</sup> pokušava da pretvori u stvarnost ideju o mogućnosti da se komponente softvera mogu koristiti ako su već jednom napisane ili da se mogu kupiti gotove od drugih proizvođača. Ovaj standard definiše interfejs koji bi trebalo da omogućiti da komponente pisane u različitim jezicima međusobno saraduju. To je ostvareno definisanjem seta metoda koje

<sup>6</sup> OMG (Object Management Group) formirana je 1989. godine.

su vidljive za ostale komponente. Od početka je zamišljeno da komponente mogu da budu postavljene na različite čvorove u mreži. Bez obzira na to da li su na istom serveru ili su distribuirane kroz mrežu, komponente komuniciraju zahvaljujući uslugama ORB (eng. Object Request Broker). ORB ima mehanizam za poziv udaljenih procedura (RPC), kojima za komponente potpuno maskira mrežu i sve komunikacione tehnologije, čime omogućava da se pozivi funkcija vrše kao da su lokalni bez obzira na to gde se nalaze. Ni klijent ni server na taj način više ne moraju brinuti o lokaciji, jeziku na kojem je komponenta pisana, niti o načinu na koji se vrši transport podataka kroz mrežu.

ORB može biti implementiran kroz proces na hostu kojem klijent pristupa, kao proces na nekom centralnom računaru kroz koji klijent i server komuniciraju ili kao servis operativnog sistema. U komunikaciji se koristi IIOP protokol (eng. Internet Inter-ORB Protocol).

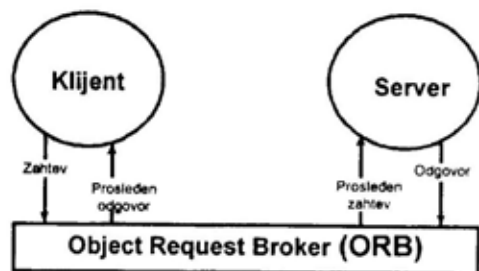
Klijent i server CORBA, komponente slobodno komuniciraju kroz mrežu i pozivaju udaljene funkcije. To je upravo ono što je neophodno za ostvarenje koncepta aplikativnog servera kao srednjeg sloja u kome izvršenje posla aplikacije zavisi od ispunjenja zahteva upućenog

serveru koji je zadužen za logiku aplikacije. CORBA, dakle, predstavlja model koji potpuno podržava ideju troslojne arhitekture, koja po prirodi ima aplikaciju distribuiranu između klijenta, aplikativnog servera i servera baze podataka.

EJB je relativno nov model koji je vrlo brzo postao veoma popularan. EJB je Java program spakovan kao komponenta koja se koristi na strani servera. Za razliku od JavaBeanova koji se koriste prvenstveno za interpretaciju korisničkog interfejsa u okviru browsera, EJB pristupa Java klasama i kroz mrežu pruža usluge izvršavanja transakcija i obezbeđivanja sigurnosti.

U organizacionim naukama vojna organizacija se posmatra kao dinamički skup entiteta (ljudi i sredstava) između kojih se u toku dinamike aktivnosti formiraju i razrešavaju specifični odnosi (relacije) koji su organizovani na specifičan način i sa jasnim ciljem. Zato je veliki značaj razvoja vojnih informacionih sistema u obezbeđenju informacija za funkcionisanje vojne organizacije. U ovom radu nisu detaljnije razmatrani vojna organizaciona struktura i funkcije. Na primer, u ovom području američka vojska ima standard (dokument) za razvoj svojih tehničkih sistema i informacionih sistema pod nazivom „Joint Technical Architecture“ (JTA).

JTA treba da obezbedi efikasno izvršavanje vojnih operacija sa različitim snagama, bilo gde u svetu i u bilo kojem trenutku. Kao kritična potreba javlja se mogućnost sistema informacionih tehnologija u obezbeđenju sadejstva i razmene informacija. Proučavanjem konflikata i



Sl. 2 – Klijent-server komunikacija kroz ORB

operacija došlo je do nove vizije u američkom ministarstvu za odbranu (DoD). Kao konceptualni obrazac javlja se „Joint Vision 2010 (JV 2010)“. JTA je ključni dokument ministarstva za odbranu u ostvarenju JV 2010. Obezbeđuje osnovu za neprekidnu i dobro povezanu međuoperabilnost sistema DoD, definiše područja servisa, interfejsa i standarde (JTA elemente) primenjive u svim DoD podsistemima, pri čemu su primenjivi u upravljanju, razvoju i lociranju novih ili postojećih sistema kroz DoD.

JTA sadrži dva glavna dela: JTA jezgro, koje sadrži minimalni skup JTA elemenata primenjivih u svim DoD podsistemima za obezbeđenje međuoperabilnosti i JTA dodatak<sup>7</sup> koji sadrži dodatne JTA elemente primenjive u specifičnim funkcionalnim domenima (familijama sistema).

JTA je komplementaran i konzistentan sa drugim DoD programima i inicijativama u razvoju „efektiva“ i međuoperabilnih informacionih sistema. To je „otvoreni“ dokument koji sadrži razvojne tehnologije i objedinjene bazične standarde. Stalno ga usavršavaju i otvoren je za pristup svim zainteresovanim. Ovaj dokument predstavlja primer jednog savremenog integralnog pristupa u razvoju tehničkih sistema, uključujući i informacione sisteme.

<sup>7</sup> Na primer, verzija 3.1. ovog dokumenta uključuje dodatak za C4ISR domene (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance), zatim Combat Support domain, Modeling and Simulation domain i Weapon Systems domain.

## Zaključak

Posledica ubrzanog razvoja tehnologije i porasta informacija jeste uticaj na metodološke pristupe i koncepte u razvoju informacionih sistema. U poslednje vreme došlo je do razvoja računarskih mreža i Internet tehnologije, što je od velikog značaja i za Vojsku Jugoslavije. Potrebno je obratiti pažnju na značaj TCP/IP protokola i telekomunikacione infrastrukture sa multiservisnim sposobnostima, koji će predstavljati jezgro budućih distribuiranih informacionih sistema. Zbog postojanja sopstvene telekomunikacione infrastrukture, vojni informacioni sistemi će se, verovatno, bazirati na takvoj osnovi.

Navedena razmatranja pokazuju da je osnova uspešnog razvoja vojnih informacionih sistema praćenje i uvođenje savremenih metodoloških pristupa, tehnika i alata.

### Literatura:

- [1] John Robert Beishline, Ph. D. Colonel, General Staff Corps, U. S. Army, MILITARY MANAGEMENT for NATIONAL DEFENSE, Vojno delo, Beograd, 1952.
- [2] VJINFO2001, zbornik radova sa seminara o primeni informatike u Vojsci, Beograd, april 2001.
- [3] OMB Unified Modeling Language Specification, Version 1.3, June 1999.
- [4] Arun Rai, T. Ravichandran and Subhashish Samaddor, How to anticipate the Internet's global diffusion, communications of the ACM, October 1998/vol. 41. № 10.
- [5] Harlan McGhan, Mike O'Connor, PicoJava: A Direct Execution Engine For Java Bytecode, Computer, October 1998.
- [6] Communications of the ACM, October 1998/vol. 41. № 1.
- [7] Joint Technical Architecture ver. 3.1, Department of Defense, March 2000.
- [8] Pejanović, M.: Internet tehnologija kao okruženje za razvoj informacionih sistema, Vojnotehnički glasnik, 6/2000.
- [9] Pejanović, M., Minić, S.: Automatizovani sistemi za podršku odlučivanju u vojnoj organizaciji, SYM-OP-IS 2000, Beograd.
- [10] Pejanović, M., Minić, S.: Metodološki pristupi u razvoju vojnih informacionih sistema, SYM-OP-IS 2001, Beograd.



**Mr Andreja Andrić,**  
dipl. inž.  
RistanCASE, Gornji Milanovac  
**Mr Nedeljko Ostojić,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
**Janko Grandić,**  
major  
Vojna akademija VJ, Beograd

## INTELENTNI EDUKATIVNI SISTEM IZ OPŠTE TAKTIKE

UDC: 007.52 : 681.3.06] : 355.42

### Rezime:

*U ovom radu predstavljen je razvijeni inteligentni edukativni softverski sistem za raspoređivanje jedinica na taktičkom nivou. Namenjen je za potrebe nastavnika i studenata Vojne akademije VJ, u okviru predmeta opšta taktika. On studentima omogućava crtanje taktičkih znakova na skeniranoj topografskoj karti, u skladu sa postavljenim zadatkom. Sistem može da analizira situaciju na terenu i registruje greške u radu studenata, upozorava ih, predlaže ispravke i podstiče na traženje boljih rešenja. Takođe, ovaj sistem omogućava nastavnicima da kreiraju zadatke koji obuhvataju raspored protivničkih snaga, minskih polja, prepreka i sl. U radu su prikazana neka iskustva stečena u akviziciji znanja, projektovanju i vrednovanju ovog softverskog sistema.*

*Ključne reči: veštačka inteligencija, softverski sistem, opšta taktika, geometrijska prezentacija.*

---

## INTELLIGENT EDUCATIONAL SYSTEM APPLIED IN GENERAL TACTICS

### Summary:

*In this paper we present an intelligent educational software system developed for training in positioning of military combat units on the tactical level. It is intended for use by the teachers and students of the Military Academy in Belgrade. It offers to a student a possibility to draw tactical signs on a scanned topographic map, according to a previously obtained assignment. The system is equipped with an analysis tool which can detect student's mistakes, warn him, propose corrections, and stimulate him to seek for better solutions. It also offers to a teacher a possibility to design assignments which include the placement of enemy units, obstacles, mine-fields, etc. We are also presenting here some experience gained in knowledge acquisition, design and evaluation of this software system.*

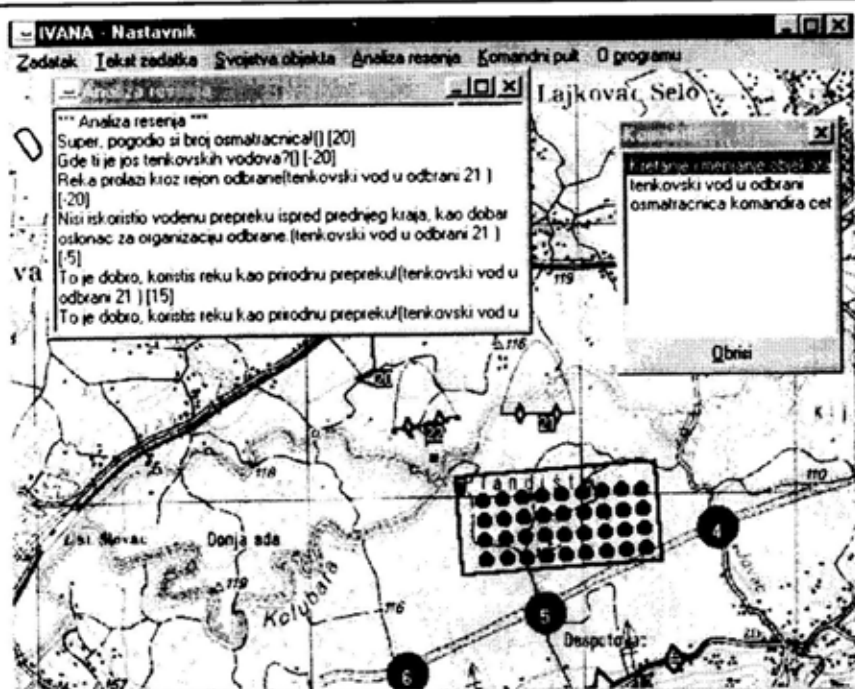
*Key words: artificial intelligence, software system, general tactics, geometrical presentation.*

---

### Uvod

Taktika i srodne grane ratne veštine razmatraju probleme za koje je karakteristična vrlo „rasplinuta“ priroda. Takođe, analiza borbene situacije na terenu obu-

hvata veliki broj međusobno uslovljenih faktora, od kojih mnogi, u trenutku donošenja procene, mogu da budu i nepoznati. Upravo zbog toga računarska podrška podučavanju iz ove oblasti predstavlja pravi izazov. S druge strane, izazovi sa-



Sl. 1 – Izgled ekrana u toku rada sa programom IVANA

vremenog doba zahtevaju izuzetno kvalitetan i školovan rukovodeći kadar u vojsci. Pri tome, savremeni trendovi zahtevaju smanjivanje brojnog stanja u VJ i istovremeno podizanje nivoa stručnosti. Neophodne su i uštede u vremenu i materijalnih resursa u procesu školovanja budućih oficira.

Cilj ovog rada je da predstavi realizovani inteligentni edukativni sistem iz oblasti opšte taktike, namenjen studentima Vojne akademije VJ za potrebe vežbi iz predmeta opšta taktika. Autori su želeli da iznesu i neka od iskustava koja su stekli u toku projektovanja i razvoja ovog softverskog sistema, kao i u procesu vrednovanja programa studenata Vojne akademije. Sistem je razvijen u toku školske 2000/2001. godine u saradnji sa Katedrom taktike Vojne akademije

VJ, uzimajući u obzir potrebe i uslove realizacije nastave na ovoj katedri.

### Namena i mogućnosti programa

Ideja programa je stvaranje konformnog okruženja u rešavanju taktičkih zadataka. Program IVANA (akronim od inteligentni vojni analitičar) koriste i nastavnici i studenti. Nastavnici kreiraju zadatke, a studenti ih rešavaju. U toku rešavanja, student, na zahtev, dobija od sistema analizu tekuće situacije, u formi spiska primedbi, sugestija, pohvala i slično. Na taj način on rešava zadatak samostalno, ali može i da koriguje svoje rešenje na osnovu povratne informacije od sistema. Sistem je jednostavan za upotrebu, i snabdeven je kvalitetnim grafičkim interfejsom. Analiza situacije sprovodi se



na osnovu baze znanja, zasnovane na pravilima i ograničenjima koje nastavnik kreira uz svaki zadatak. Na slici 1 prikazan je tipičan izgled ekrana u toku rada.

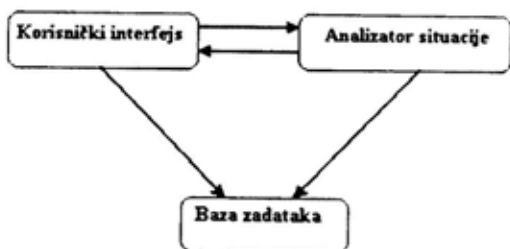
Sistem je organizovan u tri celine koje čine: korisnički interfejs, analizator situacije i baza zadataka.

Korisnički interfejs obuhvata sledeće funkcionalnosti:

- učitavanje scenarija,
- snimanje tekuće pozicije,
- prikazivanje karte i objekata na njoj,
- postavljanje, editovanje i brisanje objekata na karti,
- prikazivanje rezultata zaključivanja.

Analizator situacije obavlja analizu situacije koristeći činjenice i pravila, a rezultat analize vraća korisniku, preko korisničkog interfejsa, a svodi se na naročito projektovan interpreter pravila i skup matematičkih funkcija za ispitivanje međusobnih odnosa među geometrijskim objektima.

Baza zadataka predstavlja organizovan skup kataloga i datoteka koji sadrže informacije relevantne za svaki zadatak, koji je određen sledećim informacijama: kartom, tekstom zadatka, informacijama o rasporedu objekata na karti, informacijama o objektima koji su dostupni za raspoređivanje, pravilima za izdavanje primedbi i sugestija za zadatak.



Sl. 2 – Šema opšte organizacije sistema

Šema opšte organizacije sistema prikazana je na slici 2.

Detalji o projektovanju i implementaciji sistema IVANA mogu se naći u literaturi [1].

## Akvizicija znanja

Proces akvizicije znanja pokazao je da su pravila dobijena od eksperta za taktiku vrlo razumljiva i očigledna, ali i izuzetno teška za formalizovanje. Pojedina pravila bila su opšteg karaktera, a neka su predstavljala posledice svakodnevne vojne prakse. U svakom slučaju, nije postojao način da se identifikuju pravila čija važnost ne bi bitno zavisila od složeno isprepletenih uslova konfiguracije terena, vremenskih uslova, rasporeda jedinica i drugih objekata. U stvari, mnoge od ekspertskih procena oslanjale su se na osećaj eksperta za teren. Iako je on jako dobar u predstavljanju svog rezonovanja, pokazalo se da izgradnja baze znanja sa opštevažećim pravilima taktike uopšte nije dobra ideja. Nakon konsultovanja podataka iz literature iz oblasti predstavljanja terena i algoritama za raspoređivanje jedinica [2, 3, 4], i smatrajući je nedovoljno generalnom za naše potrebe, autori su napustili pokušaj izgradnje jedinstvene baze taktičkog znanja i odlučili da pokušaju da opreme sistem zasebnim bazama znanja za svaki taktički zadatak. U stvari, nikakvo eksplicitno taktičko znanje nije ugrađeno direktno u sistem. Naprotiv, inženjer znanja je, kroz niz sastanaka sa domenskim ekspertom, uspeo da prikupi izvesnu količinu „metaznanja“ o taktičkim pravilima, tako da je bio u stanju da formuliše tip informacije potreban za predstavljanje terena i procenu situacije.

Priroda problema zahteva sposobnost za snalaženje u prostoru, za šta dostupni softverski alati za razvoj ekspertskih sistema opšte namene nemaju adekvatnu podršku. Zbog toga je sačinjena specijalna mašina za rezonovanje u prostoru [5], zasnovana na pravilima i ograničenjima [6], [7], koja je u stanju da ispita konfiguraciju terena, raspored jedinica i ostale relevantne parametre.

### Preslikavanje između objekata na terenu i geometrijskih objekata

Analiza situacije zasnovana je na teoriji prostornog rezonovanja. Pri tome svaki objekat na karti (jedinica, šuma, minsko polje, reka...) predstavljen je jednim od tri tipa geometrijskih objekata (tačkasti, linijski i poligonalni objekti). U tabeli 1 uz pomoć primera prikazano je preslikavanje između objekata na terenu i geometrijskih objekata. Naravno to nije jedino moguće preslikavanje, jer sve zavisi od konkretnih potreba pojedinog zadatka.

Tabela 1

Preslikavanje između objekata na terenu i geometrijskih objekata

Objekat na terenu	Tip geometrijskog objekta
vod u odbrani	poligonalni objekat
vod u napadu	linijski objekat
veće naseljeno mesto	poligonalni objekat
manje naseljeno mesto	tačkasti objekat
reka	linijski objekat
vis	tačkasti objekat
jezero	poligonalni objekat
most	tačkasti objekat

Geometrijska reprezentacija reke predstavljena je na slici 3. Ovu internu reprezentaciju korisnik ne vidi, ali je ovde prikazana radi jasnoće izlaganja. Ko-



Sl. 3 – Geometrijska reprezentacija reke

risnik vidi samo reku koja je prikazana na karti, ali ne vidi i objekat koji je nacrtan „ispod“ nje.

Primer većeg naseljenog mesta prikazan je na slici 4.

Bilo koja vrsta terena koja je zbog nekog razloga bitna za konkretni zadatak (npr. šuma, minsko polje, tenkoprohodan teren, itd.) može na ovaj način da se markira otvorenom ili zatvorenom linijom.

Među objektima mogu da se jave različite relacije: obuhvatanje, presek, delimično obuhvatanje, disjunktnost, itd. Ove relacije predstavljaju činjenice o objektima i njihovim međusobnim vezama.



Sl. 4 – Geometrijska reprezentacija većeg naseljenog mesta

Predstavljanje činjenica prikazano je u tabeli 2.

Tabela 2  
Predstavljanje činjenica pomoću geometrijskih objekata i njihovih međusobnih relacija

Činjenica	Predstavljanje činjenice
reka protiče kroz rejon odbrane	jedna od linija koje učestvuju u reprezentaciji reke seče poligon koji predstavlja jedinicu u odbrani
rejon odbrane obuhvata vis	tačka koja predstavlja vis je unutar oblasti koju omeđuje poligon koji predstavlja jedinicu u odbrani
jedinica u odbrani oslanja se na naseljeno mesto	oblasti koje omeđuju poligoni koji predstavljaju naseljeno mesto i jedinicu u odbrani imaju zajedničkih tačaka

Sada je jasno da veliki broj relacija među objektima na karti mogu da se predstave pomoću relacija između geometrijskih objekata. Situacija na karti može da generiše vrlo veliki broj ovakvih činjenica. Odgovor na pitanje „Koje

od ovih činjenica su važne, a koje ne?“ dobija se od domenskog eksperta, u procesu akvizicije znanja.

Pravila zaključivanja koriste ove činjenice kao premise i zaključuju o situaciji na karti. Primeri ovih pravila su sledeći:

AKO – jedinica se nalazi ispred protivničke jedinice.

I – iza jedinice je prirodna prepreka.

ONDA – jedinici je onemogućen manevar po dubini.

AKO – jedinica je vod.

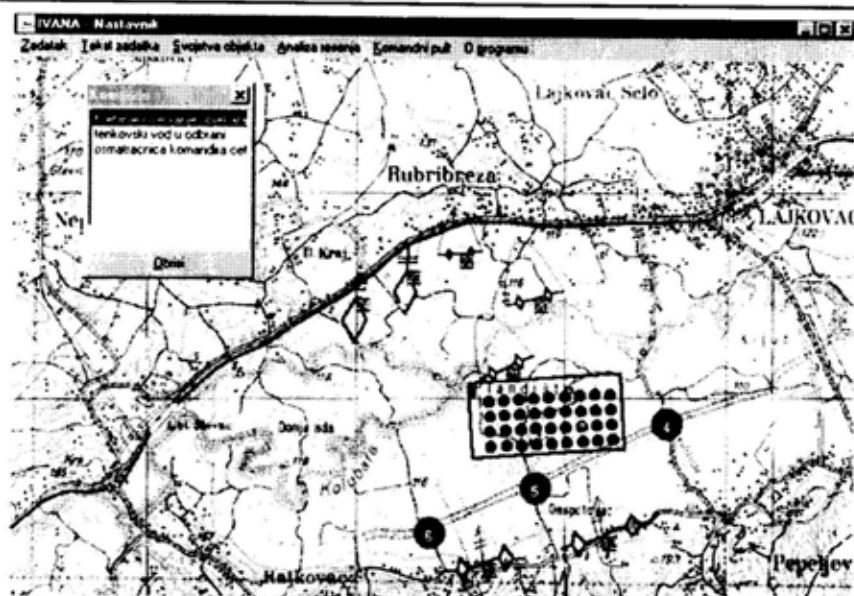
I – front jedinice je veći od 400 m.

ONDA – jedinica brani preširok front, itd.

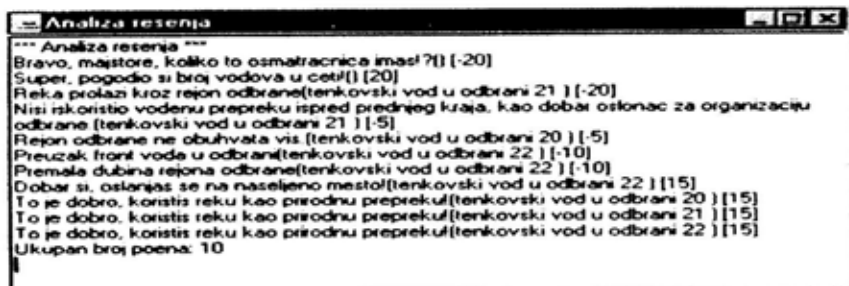
Pomoću opisanih činjenica i pravila formira se znanje sistema o konkretnom taktičkom zadatku.

### Primer rada sa sistemom

Razmatraće se problem u kojem se očekuje napad „plavog“ jačine jednog tenkovskog bataljona. To je bio prvi za-



Sl. 5 – Prvi raspored „crvenog“



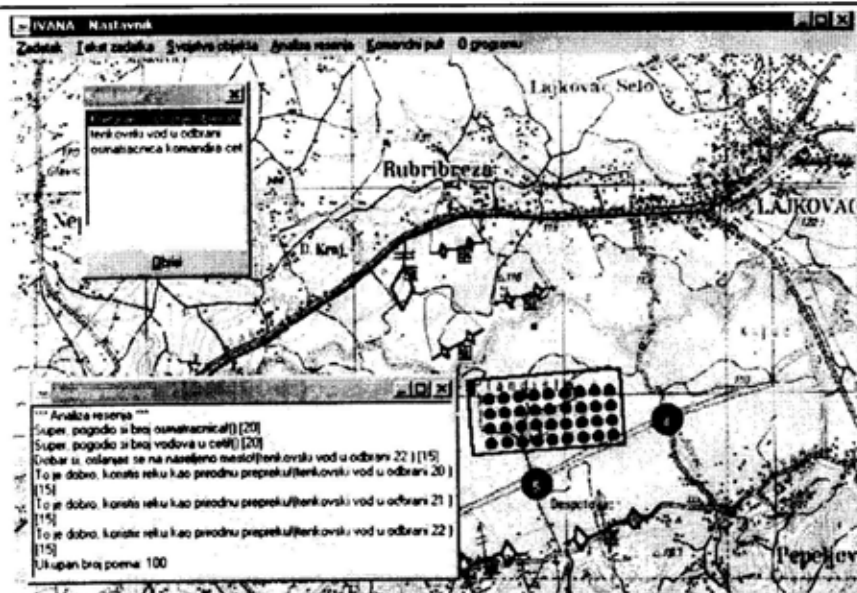
Sl. 6 – Odziv sistema

datak koji je program trebalo da savlada. Zadatak studenta je da rasporedi jednu tenkovsku četvu u odbrani, rasporedi vodove i osmatračnicu komandira čete. Na slici 5 prikazano je jednu moguće rešenje, a na slici 6 odziv sistema.

Valja skrenuti pažnju na duhovitu formulaciju primedbi koje sistem daje, što ima za cilj da poboljša pažnju studenta i da rad sa programom učini zabavnijim. Razmotriće se sada primedbe jedna po jedna. Prvo, rasporedene su dve osmatračnice komandira čete umesto jedne. Broj

vodova u četi je ispravno izabran, ali vod br. 21 nije iskoristio prirodnu prepreku (reku) ispred prednjeg kraja, što mu onemogućava manevar po dubini. Još gore, reka protiče kroz region odbrane, onemogućavajući kontrolu naznačene teritorije. Pravci napada se, na ovom nivou, ne vide na karti, ali se očekuje da ih studenti poštuju, a sistem pokazuje izvesnu toleranciju oko preciznosti rasporeda.

Linija reiona odbrane voda br. 20 ucrtana je blizu tt 116, ali je ne obuhvata, što slabi odbrambenu poziciju ove jedinice.



Sl. 7 – Novi raspored jedinica i odgovor sistema

Širina fronta voda br. 22 je premala – manja od 300 m, itd. Na slici 7 prikazan je novi raspored, sačinjen nakon nekoliko korekcija.

Ovaj put sve primedbe su pohvalnog karaktera, i poštovana je struktura tenkovske čete, iskorišćene su prirodne prepreke i naseljena mesta, dobro orijentisane jedinice, i sl.

Jedinice se lako raspoređuju. Na primer, tenkovski vod se raspoređuje jednim „klikom“, bilo gde na karti, uz prevlačenje miša. „Klik“ pozicionira centar fronta jedinice, a prevlačenje određuje orijentaciju i veličinu crteža. U toku prevlačenja slika jedinice se skalira i rotira sa svakim pokretom kursora. Slika jedinice može i da se razvlači, da bi se postiglo praćenje terena.

U završnoj fazi razvoja sistema studenti su bili pozvani da volonterski isprobaju rad u ovom okruženju. Odziv i interesovanje studenata bili su izvanredni, a njihovi predlozi dragoceni.

### **Vrednovanje programskog rešenja**

Studenti su dali čitav niz korisnih sugestija u pravcu poboljšanja korisničkog interfejsa, koje su autori uvažili i ugradili u sistem. Takođe, tom prilikom otkriven je izvestan broj grešaka i problema u radu, koji su autorima promakli, a koji su zahvaljujući zapažanjima i ispravljani.

Posebno interesantne sugestije studenata, odnosno budućih korisnika, date su u vezi korisničkog interfejsa. Naime, u verziji koja je isprobana, selektovanje objekata na karti se nije obavljalo direkt-

no na samoj karti, u režimu „kretanje i menjanje objekata“, nego je postojao odvojen režim „kretanje“, u kojem je bilo moguće samo pokretati kartu. Na komandnom pultu nalazio se i spisak rednih brojeva raspoređenih objekata, pa se jedinica (ili drugi objekat) mogla selektovati samo korišćenjem tog spiska. Motivacija za to nalazi se u jednostavnijoj implementaciji. Međutim, tokom upotrebe ovaj sistem se pokazao inferiornim zbog potrebe da korisnik često izlazi kursorom van karte kako bi obuhvatio spisak sa rednim brojevima i zbog neprirodnosti situacije da se obraćanje objektima na karti izvodi uz obavezan izlazak izvan karte. Takođe, predloženo je da se objekat selektuje „klikom“ u kupon sa rednim brojem prikazanim uz objekat. Na taj način objekat se fokusira, i moguće je sa njim dalje raditi. Ovo rešenje je prihvaćeno, tako da se pažnja ne preusmerava od karte do komandnog pulta.

Drugi zanimljiv problem u vezi sa korisničkim interfejsom bio je sledeći potez studenta nakon što postavi jedinicu na karti.

Pretpostavljeno je da student postavi tenkovski vod na kartu, i odmah poželi da još malo dotera položaj jedinice i pokuša da „uhvati“ za njen kupon i da je prevuče na drugo mesto. Međutim, ispušteno je iz vida da je uključen režim raspoređivanja tenkovskih vodova i, umesto da rezultat bude premeštanje jedinice, pojavi se novi vod, čiji se centar poklapa sa prethodnim. Ne preostaje drugo nego da se nepoželjni vod premesti ili obriše, a da se na komandnom pultu izabere režim „kretanje i menjanje objekata“. Ovaj problem može da se reši tako što se, čim se otpusti levi taster miša, pri raspoređiva-

nju, režim automatski prebacuje na „kretanje i menjanje objekata“.

Tada nastaje sledeći problem: student postavi tenkovski vod i odmah poželi da rasporedi sledeću jedinicu. Međutim, ne događa se ništa, pošto nije selektovan tip jedinice za raspoređivanje. Rešenje problema zavisi od toga kako tipičan student pristupa rešavanju taktičkog zadatka. Ukoliko on prvo raspoređuje veći broj jedinica, pa ih posle doteruje i „profinjuje“ njihov položaj, praćenje terena i slično, onda je prvi način optimalan. Uz to, prvo rešenje favorizuje globalniji pristup situaciji na terenu i doživljaj situacije na karti kao celine.

Ako on prvo rasporedi jednu jedinicu, koncentriše se na nju, i doteruje najpre njen položaj pa tek onda razmatra druge elemente borbenog rasporeda – drugo rešenje je bolje.

Autori su se opredelili za drugo rešenje, jer se posmatranjem rada studenata nedvosmisleno pokazalo da je mnogo češća situacija da korisnik postavi objekat, zatim ga malo dotera, pa tek onda pređe na raspoređivanje, nego da sukcesivno raspoređuje grupe objekata istog tipa.

Takođe, studenti su predložili da bi kursor trebalo da menja oblik kad se nađe iznad nekog relevantnog područja, što su autori uvažili. Pokazalo se da studenti često vole da maksimiziraju prozor sa kartom i da, posmatrajući spisak primedbi, popravljaju svoja rešenja. Ovakvo ponašanje iznedrilo je potrebu da forma u kojoj se prikazuju rezultati analize bude prikazana u režimu *stay-on-top*.

Interesantno je da su studenti u početku bili pomalo iznenađeni činjenicom da program vraća samo primedbe. Izgledalo im je da, kako god se rasporede je-

dinice – rešenje nije dobro. Istini za volju, u tom periodu sistem je zaista imao tendenciju da ispoljava „grubu tutorsku notu“, bez namere da ponekad i pohvali studente. A studenti, očigledno, žele da budu i pohvaljeni. Pošto su autori zapazili ovakvu reakciju, dodali su i pozitivne ocene i pohvale.

Postoji i drugi, suptilniji razlog za uvođenje pohvala. Naime, zanimljivo je da su studenti vodili igru na taj način da minimiziraju broj primedbi ili da ih, po mogućnosti, potpuno eliminišu. Razlike u težini pojedinih primedbi nisu ni pokušavali da uoče. Iako, u stvari, nije poenta zadatka, kako je nastavnik istakao, da se on reši tako da nema nijednu jedinu primedbu, jer nijedan raspored nije bez slabih tačaka. Na taj način su, tokom igre, studenti postepeno smanjivali broj primedbi i smanjivali količinu teksta u prozoru za komentare tutora. Drugim rečima, semantika primedbi sve više je gubila na značaju. Ova tendencija stvorila je potrebu da se uvedu dve nove činjenice: pohvale, koje će kompenzovati „kritizerski“ stav tutora i ublažiti njegov ton, i poentiranje. Svaka primedba, pohvala ili sugestija nosi izvestan broj pozitivnih ili negativnih poena (može i nula), tako da je pružena pomoć studentima da razlikuju težine ovih reakcija i, sa druge strane, njihova pažnja preusmerena je sa minimiziranja broja primedbi, na maksimiziranje broja pozitivnih poena.

### **Performanse i mogući pravci daljeg rada**

Tokom rada, raspoređivanje jedinica i drugih objekata teklo je vrlo brzo i lako. Zajedno sa opštim primedbama autori su



koristili sistem bodovanja koji nije bio predviđen u inicijalnim zahtevima za sistem. Na primer, za svaki značajniji propust u svom rešenju student dobija negativne poene, što stvara mogućnost da student prepozna i eventualno sam ispravi grešku, što se zatim nagrađuje pozitivnim poenima. Ovo bodovanje je u vezi sa motivacijom studenata koju treba stimulirati. Jedna od najvećih prednosti korišćenja računara u edukaciji uopšte je njihova mogućnost multimedijalne komunikacije sa korisnikom. Iskustvo u igranju računarskih igara treba da bude dublje istraženo, da bi se ostvario bolji koncept edukativnog programa koji bi bio atraktivan i lak za korišćenje, i da bi se efikasno ugradio u nastavni proces.

Formulacija primedbi potpuno zavisi od nastavnikove intuicije i inventivnosti. Ove primedbe pokatkad imaju duhovitu formulaciju, što poboljšava pažnju studenata. Sugestije su uvek praćene objašnjenjem zašto određeno rešenje jeste ili nije dobro. Ovo objašnjenje formulirano je kao kratka rečenica, ali je moguće ugraditi i delove iz udžbenika ili, još bolje, referencu na neko poglavlje ili stranicu iz udžbenika. Poslednje rešenje smatra se najprihvatljivijim, zbog toga što u nastavnom procesu nije poželjno studentu pružiti sve „na tanjiru“. Mnogo je bolje dati mu mogućnost da sam reši zadatak ili da potraži rešenje u literaturi. Svi ovi elementi čine program vrlo konformnim i lakim za korišćenje.

Nekoliko taktičkih zadataka je do sada razvijeno, a bilo bi poželjno da se načini mnogo veći broj. U ovom skupu zadataka može se uvesti određena hijerarhija „lekcija“, tako da student može da pređe na sledeću lekciju tek kada je uspe-

šno savladao prethodnu. Svaka lekcija trebalo bi da bude složenija i zahtevnija od prethodne.

Veštački tutor u okviru sistema IVANA koji zaključuje o studentovom napretku, u budućnosti može biti personalizovan u vidu animiranog lika (kao Microsoft Office Assistant). Sistem bi u budućnosti mogao da se prilagođava različitim profilima studenata i da bude osetljiv na njihova individualna interesovanja i mogućnosti. Takođe, mogao bi da se izmeni tako da reaguje „u realnom vremenu“, a ne „na zahtev“.

Treba zapaziti da ova metodologija reprezentovanja znanja može da ima mnogo širu oblast primene. Površina na koju se objekti „stavljaju“ uopšte ne mora da bude topografska karta. To može da bude, na primer, fotografija pejzaža. Veština koja se ovde uči je, u stvari, raspoređivanje nekih objekata na „osetljivu“ površinu ili identifikovanje specifičnih regiona na crtežu, dijagramu ili na karti. Na ovaj način isti softver može da se koristi u izučavanju anatomije ili u sticanju veštine u tumačenju radarskih snimaka.

Planirano je da se sprovede studija efikasnosti primene ovog programa u nastavnom procesu. Studenti će biti podeljeni u dve grupe. Prva grupa će koristiti sistem IVANA tokom školske godine, dok će druga grupa raditi na klasičan način. Na kraju godine ispitaće se rezultati i biće moguće doneti određene zaključke.

## Zaključak

U ovom radu prikazan je projekat inteligentnog edukativnog sistema iz opšte taktike, nazvan IVANA, koji je na-

menjen studentima Vojne akademije VJ. Prikazan je i primer upotrebe, kao i neka iskustva u vrednovanju i analizi performansi sistema.

Prema mišljenju nastavnika katedre taktike na Vojnoj akademiji program IVANA predstavlja značajno poboljšanje u nastavnom procesu, jer učenje čini mnogo efektivnijim i atraktivnijim. Upotreba ovog programa omogućava znatne uštede u kartama i drugom materijalu za izradu taktičkih zadataka. Takođe, predložena je ideja o širem opsegu primene ovog programa izvan vojnog domena.

Rad sadrži retka i dragocena iskustva autora u saradnji sa studentima Vojne akademije, dakle sa populacijom budućih korisnika. Kroz zajednički rad informatičara i nastavnika taktike na ovom projektu došlo se do spoznaje da je primena informacionih tehnologija u oblasti nastave taktike kod nas moguća i poželjna, ne samo zato što bi u velikoj meri doprinela atraktivnosti ovog predmeta, nego i zato što bi pomogla pri rešavanju nekih aktuelnih problema koji prate ovu oblast, zbog visokog nivoa složenosti i multidisciplinarnosti.

Autori planiraju da sistem dograde većim brojem lekcija i da se sprovede istraživanje o efikasnosti primene ovakvog nastavnog sredstva. Grupa koja prati nastavu iz taktike podelila bi se u dve ili vi-

še grupa. Jedna od njih, kontrolna grupa, pratila bi nastavu na dosadašnji način, dok bi druge grupe imale pristup sistemu IVANA, „inteligentnom tutoru“. Na kraju, sumirali bi se rezultati i poznatim metodama izveli određeni zaključci o efikasnosti primene ovakvog sredstva u nastavnom procesu. Na osnovu istraživanja obavljenih na katedri vojne andragogije Vojne akademije u Beogradu [8], očekuje se pozitivan odgovor na pitanje o efikasnosti primene ovakvog sredstva u nastavnom procesu.

#### Literatura:

- [1] Andrić, A.: Inteligentni edukativni sistem iz opšte taktike, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2002.
- [2] Petty, M. D.: Terrain Representation and Reasoning in Computer Generated Forces, Technical Report IST-TR-96-50, Version 2, Institute for Simulation and Training, December 2. 1996.
- [3] Petty, M. D.; Mukherjee, A.: The Sieve Overlap Algorithm for Intervisibility Determination, 1997. Spring Simulation Interoperability Workshop, 97S-SIW-038.
- [4] Kewley, R. H. Jr.; Embrechts, M. J.: Fuzzy Genetic Decision Optimization for Positioning of Military Combat Units, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1998.
- [5] Stell, J. G.: Part and Complement: Fundamental Concepts in Spatial Relations, Proceedings 7th International Symposium on AI and Mathematics, Florida, January 2002.
- [6] Baumgartel, H.: Distributed Constraint Processing for Production Logistics, IEEE Intelligent Systems, 2000., January–February 2000., pp. 40–48.
- [7] Kolbe, T.; Plumer, L.; Cremers, A.: Identifying Buildings in Aerial Images Using Constraint Relaxation and Variable Elimination, IEEE Intelligent Systems, 2000., January–February 2000., pp. 33–39.
- [8] Damnjanović, P.: Didaktičko-metodički aspekti uloge očiglednosti u misaonoj aktivizaciji studenata, Novi glasnik br. 3-4, 1999. str. 57–65.



**Sladan Svrzić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
VP 7833 Zemun  
**Sc Dragan Čosović,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
VP 4578 Beograd

## UPOREDNI PREGLED STANDARDA ZA DIGITALNE TRANKING SISTEME FUNKCIONALNIH MOBILNIH RADIO-VEZA

UDC : 621.396.6 : 006.7

### Rezime:

Za izgradnju funkcionalnih sistema mobilnih radio-veza danas se koriste trunking sistemi analognih i digitalnih mobilnih radio-veza. Zbog niza prednosti, trunking sistemi digitalnih mobilnih radio-veza sve više potiskuju analogne trunking sisteme. Digitalni trunking sistemi proizvode se i grade na terenu, na osnovu određenih standarda. Najpoznatiji i najzastupljeniji standardi u svetu su EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN. U radu su opisane i karakteristike navedenih standarda, kao i njihov uporedni pregled i analiza.

*Ključne reči:* digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza, standardi EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL, iDEN, analiza standarda.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STANDARDS FOR DIGITAL TRUNKED MOBILE RADIO SYSTEMS

### Summary:

For building Private Mobile Radio (PMR), analogous and digital trunked mobile radio systems are used today. Due to many advantages, trunked systems of digital mobile radio are gradually pushing out analogous trunked systems. Digital trunked systems are produced and built in the field, according to specific standards. The most famous and spread standards of the world are: „EDACS“, „TETRA“, „APCO 25“, „TETRAPOL“ and „IDEN“. A short description and characteristics of the above mentioned standards are given in the paper, as well as their comparative analysis.

*Key words:* digital trunked mobile radio systems, standards „EDACS“, „TETRA“, „APCO 25“, „TETRAPOL“, „IDEN“, standards analysis.

### Uvod

U poslednje vreme konvencionalne sisteme<sup>1</sup> mobilnih radio-veza (MRV) ma-

sovno zamenjuju sistemi trunking MRV. To su, u stvari, radijalno-čelijski sistemi UHF MRV u kojima se vrši automatska komutacija raspoloživih saobraćajnih radio-kanala baznih radio-stanica, kako bi se ostvarivale veze između mobilnih učesnika međusobno, i mobilnih učesnika sa drugim učesnicima iz sistema i van njega. Oni spadaju u klasu sistema MRV

<sup>1</sup> Kod konvencionalnih sistema MRV koristi se otvoreni radio-kanal koji je striktno dodeljen jednoj grupi učesnika, gde svi učesnici prate radio-saobraćaj koji se odvija u simpleksu (direktni režim rada) ili semidupleksu (režim rada sa repertorom). Dok taj kanal zauzimaju dva učesnika, svi drugi učesnici (koji imaju podešene radio-terminale za rad po tom kanalu) moraju da čekaju na oslobađanje kanala za komuniciranje.

koji su, pre svega, orijentisani na formiranje različitih funkcionalnih i korporativnih radio-mreža, u kojima se predviđa postojanje virtuelnih mreža i aktivna primena režima rada mobilnih korisnika po različitim grupama.

Njih, za sada, uglavnom koristi policija i ostale specijalizovane službe za društvenu bezbednost i zaštitu, kompanije koje se bave zemaljskim automobilskim i železničkim transportom, veliki proizvođači i distributeri svih vrsta energenata (nafte, gasa, električne energije, itd.), aerodromi i velike luke, itd. Postoje i, namenski specijalno urađeni, sistemi ove vrste MRV za ekskluzivnu primenu u vojne svrhe, kao i sistemi koji se mogu koristiti za pružanje usluga u javnoj mobilnoj telefoniji i prenosu podataka.

Za funkcionalne i javne trunking sisteme MRV definisan je čitav niz različitih standarda koji se međusobno razlikuju po primenjenim metodama za obradu i prenos govornih signala (analognih i digitalnih), po tipovima mrežnog pristupa (FDMA – frekventni multipleks, TDMA – vremenski multipleks, CDMA – kodni multipleks), po načinu dodeljivanja i određivanja saobraćajnog radio-kanala (sa decentralizovanim i centralizovanim upravljanjem), po tipu kontrolnog kanala (izdvojen i distribuiran) i po drugim karakteristikama.

Danas su u svetu još uvek široko rasprostranjeni neki ranije proizvedeni analogni trunking sistemi MRV, kao što su SMART TRUNK, zatim sistemi sa standardom MPT-1327 (ACCESSNET, ACTIONET i drugi),<sup>2</sup> sistemi proizvođača MO-

TOROLA (STARTSITE, SMARTNET, SMARTZONE) i sistemi sa distribuiranim kontrolnim kanalom (LTR i MULTI-NET proizvođača F. F. JOHNSON Co i ESAS proizvođača UNIDEN). Neke od ovih sistema danas koriste službe za državnu bezbednost i zaštitu.

Tranking sistemi MRV koji se zasnivaju na digitalnim standardima još nisu široko primenjeni pre svega zbog veoma visoke cene opreme.<sup>3</sup> Međutim, bez obzira na to, u svetu se konstantno širi krug korisnika digitalnih trunking sistema MRV, što se objašnjava čitavim nizom nezaobilaznih prednosti u odnosu na analogne trunking sisteme, kao što su: bolja spektralna efikasnost, povećani kapacitet veza u sistemu i izjednačavanje kvaliteta prenosa govornih signala u cejoj servisnoj zoni bazne radio-stanice.

Digitalni trunking sistemi MRV, u odnosu na analogne, obezbeđuju čitav niz značajnih prednosti koje su postignute uspešnom realizacijom zahteva za povišenu operativnost veza, zbog zaštićenosti veza, pružanja širokih mogućnosti za integrisani (sa govorom ili samostalni) prenos signala podataka, mnogo šireg spektra usluga veze (uključujući specifične usluge veze za realizaciju specijalnih potreba službi društvene bezbednosti i zaštite), kao i zbog mogućnosti realizacije veza između učesnika različitih mreža (mobilnih i stacionarnih).

Razvoj svetskog tržišta trunking sistema MRV danas se karakteriše široko rasprostranjenom implementacijom digitalnih tehnologija. Vodeći svetski proizvođači opreme za analogne trunking

<sup>2</sup> O trunking sistemu MRV ACCESSNET proizvođača ROHDE & SCHWARTZ Bick Mobilfunk i otvorenom standardu MRT-1327, na kome je ovaj sistem zasnovan, isti autori su objavili opširan tekst koji je kao specijalni dodatak bio štampan uz Novi glasnik br. 1 od 2000. godine.

<sup>3</sup> Procenjuje se da su investicije za izgradnju digitalnih trunking sistema MRV desetak puta veće od investicija za analogne sisteme.

sisteme MRV uveliko najavljuju prelaz na digitalne standarde, podrazumevajući pri tom, bilo proizvodnju principijelno potpuno nove opreme, bilo adaptaciju analognih sistema na sisteme digitalnih veza.

Za izgradnju i funkcionisanje digitalnih trunking sistema MRV više standarda donele su različite institucije ili svetski proizvođači.

Medutim, najpopularniji standardi za digitalne trunking MRV, koji su do danas dobili međunarodni značaj i na osnovu kojih su u mnogim zemljama izgrađeni digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza, su:

– EDACS, koji je razvila firma L. M. ERICSSON iz Švedske,

– TETRA, koji je razvio Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI),

– APCO-25, koji je razvilo Međunarodno udruženje oficijelnih predstavnika veze organa i službi za opštu bezbednost i zaštitu (APCOI),

– TETRAPOL, koji je razvila firma MATRA COMMUNICATIONS iz Francuske,

– iDEN, koji je razvila firma MOTOROLA iz SAD.

Svi navedeni standardi odgovaraju (istina, neki manje, neki više) navedenim savremenim zahtevima koji se postavljaju pred digitalne trunking sisteme MRV. Oni dozvoljavaju da se izgrade mreže digitalnih MRV različitih konfiguracija: od najprostijih, jednočelijskih mreža lokalnog značaja, do veoma kompleksnih višćelijskih mreža regionalnog ili nacionalnog nivoa. Sistemi MRV, izgrađeni na osnovu navedenih standarda, obezbeđuju

različite režime digitalnog prenosa i komutacije govornog signala (individualni poziv, grupni poziv, difuzni poziv i slično) i signala podataka (komutacijom paketa, prenos podataka komutacijom kola, prenos kratkih poruka i slično), kao i mogućnost organizacije veze sa drugim različitim sistemima veza preko standardizovanih interfejsa (sa digitalnom mrežom integrisanih službi – ISDN, sa javnom telefonskom mrežom – PSTN, sa funkcionalnim, kućnim ATC-PABX i drugim). U sistemima digitalnih trunking MRV primenjuju se najsavremeniji načini za konverziju analognih signala govora, koji koincidiraju sa zaista efektivnim metodama primenjenim pri kodovanju informacija radi zaštite od različitih vrsta smetnji (zaštitno kodovanje). Svi sistemi navedenih standarda dozvoljavaju svojim korisnicima mogućnost korišćenja dupleksne radio-veze. Proizvođači radio-opreme za ove sisteme, obezbeđuju njihovu uskladenost sa standardom MIL STD 810 za različite klimatske i mehaničke uticaje.

Danas je najperspektivniji standard TETRA (TErestrial Trunked Radio), koji je razvio Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI) kao otvoreni standard za svetsko tržište, i ima realne šanse da u funkcionalnim primenama dostigne isti uspeh kao i GSM standard za javni globalni sistem mobilne telefonije.

Da bi se na adekvatan način mogao ostvariti uporedni pregled navedenih standarda i potkrepila izrečena tvrdnja, u daljem tekstu članka ukratko su prikazani neki od sistema digitalnih trunking MRV koji po njima funkcionišu.

## Digitalni trunking sistem MRV tipa EDACS

Jedan od prvih standarda za digitalne trunking MRV bio je standard EDACS (Enhanced Digital Access Communication System). Mada je u početku standard predviđao samo analogni prenos govora, kasnije je razrađena i specijalna modifikacija sistema za digitalni prenos koji je dobio naziv EDACS Aegis.

Sistem EDACS je u skladu sa zatvorenim protokolom firme Ericsson, koji odgovara zahtevima za bezbednost korišćenja trunking sistema mobilnih radio-veza, koji je razradio niz proizvođača opreme za MRV, zajedno sa organima za javnu bezbednost i zaštitu (Dokument APS 16).

Digitalni sistemi MRV EDACS izrađuju se za frekventne opsege 138–174 MHz, 403–423 MHz, 450–470 MHz i 806–870 MHz, sa razmakom frekvencija od 30 kHz, 25 kHz i 12,5 kHz.

U sistemima EDACS primenjuje se frekventna raspodela kanala veze (FDMA) uz korišćenje izdvojenog radio-kanala upravljanja sa velikom brzinom prenosa (9600 bit/s), koji je namenjen za razmenu digitalnih informacija između radio-stanica i uređaja za upravljanje radom sistema. Ovakvo rešenje obezbeđuje visoku operativnost veze, tako da vreme uspostave kanala veze u sistemima sa jednom radio-zonom ne prelazi 0,25 sekundi. Brzina prenosa informacija u saobraćajnom radio-kanalu takođe iznosi 9600 bit/s.

Kodiranje govora u sistemu vrši se putem kompresije impulsno-kodnih nizova čija je brzina 64 kbit/s. Ovi impulsno-kodni nizovi dobijaju se pomoću analogno-digitalne konverzije govornih signala, koja se obavlja frekvencijom odabiranja

od 8 kHz i formiranjem kodnih reči sa 8 bita. Algoritam kompresije, koji primenjuje metod adaptivnog višenivojskog kodovanja (razrađen u firmi Ericsson), obezbeđuje dinamičku adaptaciju prema individualnim karakteristikama govora učesnika i formira digitalni niz male brzine, koji se nakon toga podvrgava kodovanju otpornom na smetnje, tako da brzina digitalnog protoka na kraju ovog procesa iznosi 9,2 kbit/s. Formirani niz dalje se deli na pakete, pa se u svaki paket dopunski uključuju signali sinhronizacije i upravljanja. Na takav način formira se rezultujući digitalni niz koji se predaje u saobraćajni kanal veze brzinom od 9600 bit/s.

U osnovne funkcije standarda EDACS, koji omogućuju potrebne specifičnosti službama javne bezbednosti i zaštite, spadaju različiti režimi poziva (grupni, individualni, hitni, statusni), dinamičko upravljanje prioritetom poziva (u sistemu se može koristiti do 8 nivoa prioriteta), dinamička modifikacija grupa učesnika (pregrupisanje) i distanciono isključenje radio-stanica (pri gubljenju ili krađi mobilnog radio-uređaja).

Sistemi MRV po standardu EDACS obezbeđuju mogućnost rada radio-uređaja kako u digitalnom tako i u analognom režimu, što dozvoljava korisnicima da na određenoj etapi razvoja sistema mogu iskoristiti i starije tipove radio-uređaja. Takođe, moguće je prolazno šifrovanje informacija od izvora do prijema. Međutim, u vezi sa zatvorenim protokolom, može se primeniti ili standardni algoritam zaštite, koji predlaže firma Ericsson, ili da se sa njom usaglasi mogućnost korišćenja sopstvenih softversko-hardverskih modula, koji realizuju originalne algoritme. Pri tome, oni moraju biti kom-

patibilni sa sistemskim protokolom koji je primenjen u sistemu EDACS.

Danas u svetu postoji veliki broj izgrađenih radio-mreža po standardu EDACS među kojima postoje i višeceljske radio-mreže, koje koriste službe javne bezbednosti i zaštite različitih zemalja. Recimo, samo u Rusiji je realizovano oko deset radio-mreža ovog standarda, koje koriste državne strukture i organi javne bezbednosti i zaštite.

### **Digitalni trunking sistem MRV tipa TETRA**

TETRA standard za digitalne trunking MRV koji se sastoji od niza specifikacija, razrađenih od strane Evropskog instituta za telekomunikacione standarde ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Projektovan je kao jedini opšteevropski digitalni standard za trunking MRV.

Međutim, zbog sve većeg interesovanja za ovaj standard i u drugim regionima sveta, teritorija njegove primene nije ograničena samo na Evropu. Zbog toga, danas skraćenica TETRA ima značenje koje asocira na to da se radi o svezemaljskom trunking sistemu (Terrestrial Trunked RAdio).

Standard TETRA je razrađen na osnovu tehničkih rešenja i preporuka standarda za javnu mobilnu telefoniju GSM, ali je prvenstveno orijentisan na izgradnju funkcionalnih sistema veza koji efikasno i ekonomično podržavaju zajedničko iskorišćenje mreža MRV od strane različitih grupa korisnika, obezbeđuju tajnost informacija i visoku zaštitu veza. Posebna pažnja u standardu je posvećena interesima različitih službi

javne bezbednosti i zaštite. TETRA je otvoren standard, što znači da se u sistemu može zajedno koristiti oprema različitih proizvođača. Pristup TETRA specifikacijama je slobodan za sve zainteresovane zemlje koje stupe u udruženje „Memorandum o razumevanju TETRA“ (MoU TETRA). Udruženje okuplja projektante, proizvođače, ispitne laboratorije i korisnike iz različitih zemalja.

Standard TETRA se sastoji iz dva dela. Prvi deo standarda – TETRA V+D (TETRA Voice+Data), predstavlja deo standarda za integrisani prenos govora i podataka, dok drugi deo standarda – TETRA PDO (TETRA Packet Data Optimized), predstavlja deo standarda koji opisuje specijalnu varijantu trunking sistema koji je orijentisan samo na prenos podataka.

Standard TETRA daje specifikacije za radio-interfejs, kao i za različite interfejsne između TETRA radio-mreže i javne ili funkcionalne digitalne mreže sa integrisanim uslugama (ISDN), javne telefonske mreže (PSTN), javne ili funkcionalne mreže za prenos podataka, funkcionalne ATC (PABX), itd. Takođe, standard sadrži opis svih osnovnih i dopunskih usluga kao i opis interfejsa za lokalno i spoljnje centralizovano upravljanje mrežom.

Radio-interfejs standarda TETRA predviđa da se rad odvija u standardnoj frekvencijskoj raspodeli nosilaca sa korakom od 25 kHz. Neophodni, minimalni dupleksni razmak između predajne i prijemne frekvencije radio-kanala iznosi 10 MHz.

Za sistem MRV standarda TETRA mogu se koristiti različiti podopsezi frekvencija u okviru opsega od 150 do 900 MHz s tim, što je u zemljama Evrope za službe javne bezbednosti i zaštite defini-

san podopseg 380–385/390–395 MHz, dok je za komercijalne organizacije predviđen podopseg 410–430/450–470 MHz i 870–876/915–921 MHz.

U sistemu standarda TETRA V+D koristi se tehnika pristupa sa vremenskom raspodelom kanala TDMA (Time Division Multiple Access). Na jednom paru fizičkih frekvencija (jednom radio-nosiocu) organizuju se četiri nezavisna vremenska – saobraćajna (komunikaciona) radio-kanala koji formiraju osnovni TDM ram (slika 1).

Osnovni TDM ram ima dužinu 56,67 ms i sadrži četiri intervala (time slots). U svakom od njih predaje se informacija jednog vremenskog (komunikacionog) radio-kanala. Vremenski interval ima dužinu 510 bita, od kojih su 432 informaciona (dva bloka po 216 bita). Preko dotičnog radio-nosioca saopštenja se predaju u multiramovima dužine 1,02 s. Multiram sadrži 18 osnovnih TDM ramova, od kojih se jedan obavezno koristi kao kontrolni.

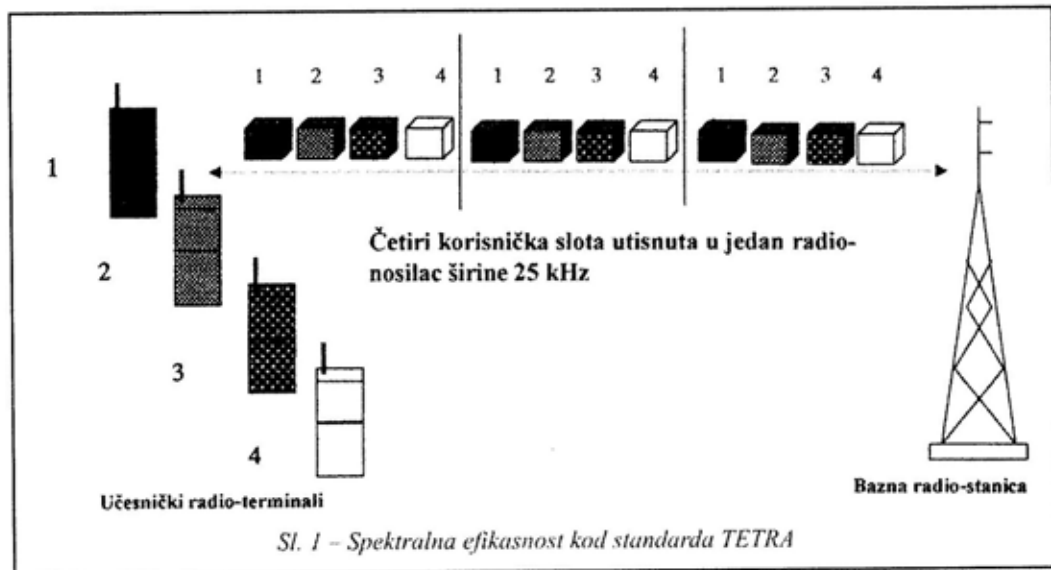
U sistemima standarda TETRA koristi se diferencijalna fazna modulacija tipa

$\pi/4$  – DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) sa brzinom modulacije od 36 kbit/s. Za analogno/digitalnu konverziju signala govora po standardu koristi se KODEK (CODEC) koji primenjuje adaptivni CELP (Code Excited Linear Prediction) algoritam. Brzina digitalnog protoka na izlazu KODEKA iznosi 4,8 kbit/s.

Formirani digitalni podaci sa izlaza govornog KODEKA podvrgavaju se *blokovskom* i *simbolskom* kodovanju, premeštanju redosleda i šifrovanju, posle čega se dobijaju formirani saobraćajni (informacioni) kanali.

Propusna moć jednog saobraćajnog kanala iznosi 7,2 kbit/s, dok brzina ukupnog digitalnog informacionog protoka podataka na jednom radio-nosiocu iznosi 28,8 kbit/s. (Pri tome, ukupna brzina prenosa simbola u radio-kanalu, na račun dopunskih službenih informacija i kontrolnog rama u multiramu, odgovara brzini modulacije i iznosi 36 kbit/s).

Sistem MRV standarda TETRA može raditi u režimima: tranking veze, sa otvorenim kanalom i režimu direktne veze.





U režimu trunking veze teritorija koja se opslužuje sistemom TETRA prekriva se zonama pokrivanja njegovih baznih primopredajnih radio-stanica (BRS). Kada je u pitanju organizacija kanala za upravljanje, standard TETRA dozvoljava izgradnju sistema, bilo sa izdvojenim frekventnim radio-kanalom upravljanja, bilo sa dodeljenim (raspoređenim) kanalom upravljanja.

Pri radu trunking mreže sa izdvojenim kanalom upravljanja BRS obično nude mobilnim učesnicima nekoliko frekventnih radio-kanala, od kojih je jedan obavezno radio-kanal upravljanja, koji je specijalno namenjen za razmenu službenih informacija između BRS i mobilnih učesnika. Pri radu trunking mreže sa dodeljenim kanalom upravljanja službene informacije se prenose, bilo u specijalno izdvojenom vremenskom radio-kanalu (jedan od četiri kanala, organizovanih na jednom radio-nosiocu), bilo u kontrolnom TDM ramu multirama (18. primami TDM ram).

Kada je u pitanju organizacija saobraćajnih radio-kanala za prenos saopštenja u režimu trunking veze, može ih dodeljivati BRS mobilnim učesnicima na jedan od sledećih načina:

- kao trunking saopštenja (message trunking), pri čemu se kanal zauzima u trenutku uspostavljanja veze i oslobađa tek po njenom okončanju;

- kao trunking predaje (transmission trunking), kada se kanal zauzima samo za vreme jednog ciklusa (perioda predaja/prijem), posle čega se oslobađa. Za sledeći ciklus predaja/prijem u istoj vezi može biti dodeljen novi kanal;

- kao trunking kvazi predaje (quasi-transmission trunking), kada se kanal, kao kod trunkinga predaje, oslobađa posle jedne transakcije predaja/prijem, ali

sa nekim kašnjenjem, što omogućava smanjenje broja signala upravljanja.

U režimu rada sa otvorenim kanalom formirana grupa mobilnih učesnika ima mogućnost uspostavljanja veze po tipu „tačka – više tačaka“ bez bilo kakve procedure uspostavljanja. Svaki učesnik koji je u sastavu grupe može u svakom momentu koristiti taj kanal. U režimu sa otvorenim kanalom radio-stanice rade u dvofrekventnom simpleksu.

U režimu neposredne (direktne) veze između mobilnih radio-terminala uspostavlja se dvojna ili višestruka veza po vremenskim radio-kanalima (koji nisu povezani sa kanalom upravljanja mreže) i bez prenosa signala preko baznih primopredajnih radio-stanica. To znači da mobilni radio-terminali za posebne korisnike mogu da funkcionišu i van zone pokrivanja BRS (tuneli, rudnici, nenaseļeni predeli i slično).

U sistemu standarda TETRA mobilni radio-uređaji mogu raditi u tzv. režimu „dvojnog nadgledanja“ (Dual Watch), pri kome se obezbeđuje prijem saopštenja od učesnika, koji rade kako u režimu trunkinga tako i u režimu direktne veze.

U sistemu standarda TETRA po delu TETRA V+D podržavaju se dva osnovna vida prenosa informacija: prenos govora i prenos podataka.

Pri tome je veoma važno da se govor i podaci mogu prenositi istovremeno sa jednog mobilnog radio-terminala, po različitim saobraćajnim, vremenskim (logičkim) radio-kanalima.

Za prenos govora koriste se službe govorne veze (teleslužbe) koje obezbeđuju sledeće režime:

- govorna veza sa individualnim pozivom učesnika;

- višestruka govorna veza, koja pretpostavlja grupni poziv učesnika;
- cirkularna veza sa difuznim pozivom.

Svi režimi govorne veze predviđaju mogućnost prenosa, otvorenih govornih informacija, i govora zaštićenog pomoću određenih algoritama šifrovanja.

Za prenos signala podataka po delu standarda TETRA V+D opisuju se sledeće vrste prenosa podataka:

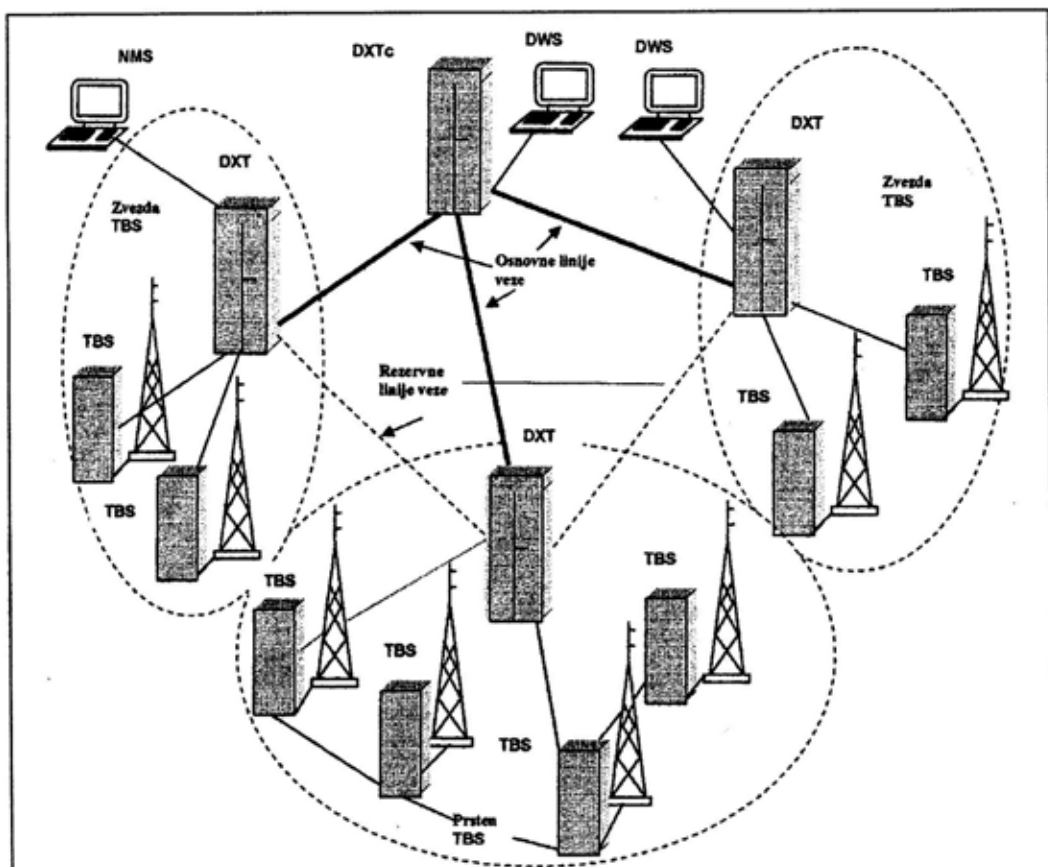
- prenos podataka sa komutacijom kola (vodova);

- prenos podataka sa komutacijom paketa;
- prenos kratkih saopštenja (dužine do 2048 bita).

Opšti izgled arhitekture TETRA radio-mreže prikazan je na slici 2.

U okviru digitalnih trunking sistema MRV koje su zasnovane na standardu TETRA korisnicima se nudi veliki broj usluga od kojih su neke bazne – osnovne, dok su ostale dopunske i dodatne.

Osnovne usluge služe za opsluživanje mreže i zovu se mrežne procedure.



Sl. 2 – Opšti izgled arhitekture radio-mreže TETRA:

TBS – TETRA bazna radio-stanica, DXT – TETRA komutacioni kontroler, DXTc – glavni TETRA komutacioni radio-kontroler, NMS – sistem za upravljanje i nadzor radio-mrežom, DWS – dispečerska radna stanica



Ove usluge se obezbeđuju standardizovanim servisima TETRA, i njihov izbor za konkretnu mrežu vrši operator – imalac sistema veza.

U osnovne usluge – mrežne procedure spadaju:

- registracija mobilnih učesnika i roaming (procedura „vezivanja“ učesnika za jednu ili nekoliko baznih radio-stanica i obezbeđenje mogućnosti premeštanja iz jedne u drugu zonu pokrivanja bez gubitka veze);

- ponovno uspostavljanje veze (obezbeđenje mogućnosti zamene bazne radio-stanice mreže koju koristi učesnik u slučaju pogoršanja uslova veze);

- identifikacija učesnika (provera identiteta učesnika);

- isključenje/uključenje učesnika (procedura isključenja/uključenja učesnika iz mreže/u mrežu na osnovu njegove inicijative);

- isključenje učesnika od strane operatora mreže (procedura blokiranja rada učesničkog terminala od strane operatora mreže);

- upravljanje protokom podataka (obezbeđenje mogućnosti da mreža prepoji na sebe protok podataka koji je usmeren određenom učesniku).

Po standardu TETRA sistem mobilnih radio-veza specijalnim korisnicima može nuditi niz dopunskih usluga, koje je ETSI u standard uključio po zahtevima asocijacije evropskih policija (Schengen Group).

U dodatne usluge sistema digitalnih trunking MRV po standardu TETRA, spadaju sve one funkcije koje se, inače, već uspešno koriste u stacionarnim digitalnim mrežama automatske telefonije (definisanje spojnog puta, identifikacija pozivajućeg učesnika, preusmeravanje poziva, povratni poziv, poziv na čekanju i mnoge druge).

Kada je u pitanju zaštita prenošenih informacija, u digitalnim trunking sistemima MRV koje rade po standardu TETRA, obezbeđuju se dva njena nivoa, i to:

- standardni nivo, pri kojem se koristi šifrovanje u radio-interfejsu (obezbeđuje se isti nivo zaštite informacije kao i kod višecelijske mreže koja radi po GSM standardu);

- visoki nivo, pri kojem se koristi prolazno šifrovanje (od izvora informacije do prijemnika informacije).

Pri standardnom nivou zaštite primenjuju se različiti mehanizmi za zaštitu radio-interfejsa kao što su identifikacija, sa jedne strane samih korisnika i, sa druge strane, infrastrukture mreže, a zatim razmena pseudonima (umesto jedinstvenih identifikacionih brojeva učesnika) i specifično šifrovanje informacija, što u ukupnom rezultatu dovodi do značajnog doprinosa tajnosti saobraćaja.

Visok nivo zaštite informacija je kao po pravilu neophodna potreba (i privilegija) nekih specijalnih imalaca (ili grupa korisnika) sistema. Prolazno šifrovanje obezbeđuje zaštitu prenošenog govora i signala podataka u bilo kojoj tački ostvarene veze između mobilnih učesnika i učesnika stacionarnih mreža (znači, ne samo na radio-delu spojnog puta). Po standardu TETRA definiše se samo interfejs za primenu prolaznog šifrovanja, čime se, u stvari, obezbeđuje mogućnost za iskorišćenje originalnih algoritama kriptozastite informacija.

Na osnovu podataka organizacije TETRA MoU, standard TETRA prihvatili su skoro svi vodeći proizvođači opreme za sisteme MRV. Najpoznatiji digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza u kojima se primenjuje standard TE-

TRA, su: ACCESSNET-T (proizvođač ROHDE & SCHWARZ iz Nemačke), NOKIA TETRA (proizvođač NOKIA iz Finske), DIMETRA (proizvođač MOTOROLA iz SAD) i ELETTRA (proizvođač OTE MARCONI iz Velike Britanije).

Danas su već realizovani, ili je njihova realizacija u toku, projekti za izgradnju velikih digitalnih trunking sistema MRV ovog standarda u Velikoj Britaniji, Finskoj, Norveškoj, Švedskoj, Nemačkoj, Austriji, Danskoj, Mađarskoj, Singapuru i tako dalje.<sup>4</sup>

### **Digitalni trunking sistem MRV tipa APCO 25**

Standard APCO 25, za digitalne funkcionalne MRV, razradilo je Međunarodno udruženje oficijelnih predstavnika za telekomunikacije u organima javne bezbednosti i zaštite (Association of Public safety Communications Official International), koje objedinjava one korisnike sistema veza, koji se nalaze u različitim službama javne bezbednosti i zaštite SAD, Australije, Srednje i Južne Amerike.

Rad na stvaranju standarda započeo je krajem 1989. godine, a poslednji dokumenti za ovaj standard utvrđeni su i potpisani u avgustu 1995. godine na međunarodnoj konferenciji i izložbi APCO u Detroitu. Danas standard poseduje sva osnovna dokumenta, koji određuju principe izrade radio-interfejsa i drugih interfejsa, protokole šifrovanja, metode kodovanja govora itd., za proizvodnju i izgradnju funkcionalnih sistema digitalnih trunking MRV.

<sup>4</sup> Što se tiče Jugoslavije, autorima ovog članka je prisutna informacija da javna preduzeća EPS i NIS već imaju izradene koncepcije za izgradnju svojih novih sistema mobilnih radio-veza, koji će biti zasnovani na standardu TETRA.

Tokom 1996. godine doneto je rešenje o podeli svih specifikacija standarda na dve etape realizacije, koje su bile označene kao faza I i faza II. Sredinom 1998. formirani su funkcionalni i tehnički zahtevi za obe faze standarda, koji su posebno naglasili nove mogućnosti faze II i njene razlike u odnosu na fazu I.

Osnovni, polazni principi za razradu standarda APCO 25, sadržali su zahteve za:

- obezbeđenje postepenog prelaska na digitalnu opremu za radio-veze (to jest, mogućnost zajedničkog rada, u početnoj etapi, baznih radio-stanica ovog standarda za digitalne veze sa analognim učesničkim radio-uređajima koje se sada koriste);

- obezbeđenje otvorene arhitekture sistema, radi stimulacije konkurencije među postojećim proizvođačima radio-opreme;

- obezbeđenje mogućnosti uzajamnog rada različitih podsistema službi javne bezbednosti i zaštite, pri uzajamnom delovanju i provođenju zajedničkih preventivnih mera.

Sistemska arhitektura standarda podržava kako trunking, tako i konvencionalne sisteme radio-veza, u kojima učesnici međusobno rade bilo u režimu direktne veze, bilo preko retranslatora – mobilnih radio-stanica. Osnovni funkcionalni blok sistema APCO 25 čini radio-podsystem, koji predstavlja funkcionalnu radio-mrežu, izgrađenu na osnovu jedne ili više baznih radio-stanica. Pri tome, svaka od baznih radio-stanica mora da podržava zajednički radio-interfejs (CIA – Common Radio Interface), kao i druge standardizovane interfejse (međusistemske interfejs, interfejs sa PSTN – javna telefonska komutaciona mreža, sa portom za

prenos podataka, sa mrežom za prenos podataka i mrežnim upravljanjem).

Standard APCO 25 predviđa mogućnost rada u svakom od standardnih podopsega frekvencija koji se koriste u sistemima MRV, i to: 138–174, 406–512 ili 746–869 MHz. U standardu se, kao osnovni metod za raspodelu kanala veze, primenjuje višestruki pristup sa frekventnom raspodelom radio-kanala (FDMA), mada je na zahtev firme Ericsson, kroz fazu II, u standard uključena i mogućnost za korišćenje višestrukog pristupa sa vremenskom raspodelom radio-kanala (TDMA).

Fazom I standarda definisan je razmak nosećih frekvencija od 12,5 kHz, dok je kroz fazu II u standard uključen i razmak od 6,25 kHz. Pri tome, za rad sa razmakom nosećih frekvencija od 12,5 kHz koristi se četvorostruka frekventna modulacija digitalnih signala C4FM, koja definiše digitalni protok po kanalu od 4800 simbola u sekundi. Za rad sa razmakom nosećih frekvencija od 6,25 kHz koristi se digitalna modulaciona tehnika po metodi CQPSK (Continuous Quaternary Phase Shift Keying). Ovakva kombinacija metoda modulacije digitalnih signala omogućuje da se mogu koristiti jednaki radio-prijemnici, za radio-opremu po obe faze standarda, koji se tada doopremaju različitim pojačavačima snage (za opremu po fazi I potrebni su jednostavniji pojačavači snage, ali sa visokim koeficijentom korisnog dejstva, dok su za opremu po fazi II potrebni selektivni pojačavači snage visoke linearnosti). Pri tome, kod ovih prijemnika demodulator uspešno obavlja demodulaciju signala modulisanih kako po C4FM, tako i po CQPSK metodi.

Za kodovanje i dekodovanje govornih signala (analogno/digitalna konverzija) u ovom standardu se koristi KODEK tipa IMBE (Improved MultiBand Excitation), koji se inače koristi i u sistemu satelitskih veza Inmarsat. Brzina kodovanja pri konverziji je 4400 bit/s, ali se posle zaštitnog kodovanja signala, radi otpornosti na smetnje brzina informacionog protoka povećava na 7700 bita/s. Na kraju se, usled formiranja primarnog rama za prenos po radio-kanalu i dodavanja službenih informacija, brzina informacionog protoka govornih signala podiže na 9600 bita/s. To znači da se govorna informacija kroz radio-kanal prenosi u obliku primarnih ramova dužine trajanja 180 ms, pri čemu se grupišu dva takva rama.

U standardu APCO 25 definisan je moćan sistem za identifikaciju učesnika, koji omogućuje da se u jednoj mreži mobilnih radio-veza može adresirati više od 2 miliona radio-uređaja i do 65 hiljada grupa korisnika. Pri tome, u skladu sa funkcionalnim i tehničkim zahtevima, vreme potrebno za uspostavu kanala veze u radio-podsystemu ne sme biti duže od 500 ms (u režimu direktnog rada 250 ms, a u režimu rada preko retranslatora 350 ms).

Po ovom standardu svi digitalni trunking sistemi MRV moraju da obezbede četiri nivoa kriptozastite informacija. Koristi se protočna metoda šifrovanja informacija (bit po bit) uz primenu nelinearnih algoritama za formiranje šifrujućeg niza. Ako se koristi specijalni režim rada za prenos šifrovane informacije OTAR (Over-The-Air-Rekeying), tada se i ključevi za šifrovanje mogu prenositi po radio-kanalu.

Bez obzira na to što APCO predstavlja međunarodnu organizaciju čija se predstavništva nalaze u Kanadi, Australiji, karipskom regionu itd., osnovnu ulogu za implementaciju tog standarda u praksi imaju američke firme koje podržava vlada SAD. U članstvo zajedničkog – društvenog sektora ove asocijacije ulaze FBI, Ministarstvo odbrane SAD, Federalni komitet za vezu, policije iz niza država SAD, tajna služba i mnoge druge državne organizacije. Sa druge strane, vodeći proizvođači opreme po standardu APCO 25 su poznate firme iz ove oblasti telekomunikacija, kao što su MOTOROLA (glavna firma za razvoj standarda), E. F. Johnson, Transcrypt, Stanlite Electronics i drugi. MOTOROLA je već proizvela i postavila svoj prvi sistem zasnovan na standardu APCO 25 koji je dobio naziv ASTRO.

### **Digitalni trunking sistem MRV tipa TETRAPOL**

Aktivnosti na izgradnji standarda za funkcionalne digitalne trunking radio-veze TETRAPOL počele su 1987. godine, kada je firma Matra Communications sklopila ugovor sa francuskom žandarmerijom da projektuje i uvede u eksploataciju funkcionalnu mrežu digitalnih radio-veza pod nazivom RUBIS. Navedena mreža digitalnih radio-veza bila je puštena u eksploataciju 1994. godine. Po podacima firme Matra, danas ta radio-mreža obuhvata više od polovine teritorije Francuske i opslužuje više od petnaest hiljada učesnika. Iste godine firma Matra je organizovala forum Tetrapol, pod čijim okriljem su razradene specifikacije

Tetrapol PAS (Publicly Available Specifications), koje određuju standard za digitalne trunking MRV.

Standard TETRAPOL opisuje digitalni trunking sistem MRV koji radi sa izdvojenim kanalom upravljanja i primenjuje metodu frekventne raspodele kanala. Standard dozvoljava izgradnju, kako jednočelijskih, tako i višecelijskih radio-mreža različite konfiguracije, takođe omogućuje direktnu vezu između mobilnih učesnika na fiksnim kanalima, bez korišćenja infrastrukture mreže i retranslacije signala.

Sistemi digitalnih MRV standarda TETRAPOL imaju mogućnost rada u opsegu frekvencija od 70 do 520 MHz. Opseg se, u skladu sa standardom, sastoji od dva podopsega: prvi – do 150 MHz (VHF) i drugi – preko 150 MHz (UHF). Veći deo radiointerfejsa za sistem jednog i drugog podopsega je zajednički, a razlika se javlja jedino u korišćenju različitih metoda kodovanja za zaštitu od smetnji. U UHF podopsegu u radio-kanalu se preporučuje dupleksni razmak između prijemne i predajne frekvencije od 10 MHz.

Frekventni razmak između susednih kanala može iznositi 12,5 ili 10 kHz. U budućnosti se predlaže da razmak između radio-kanala bude 6,25 kHz. U sistemima sa standardom TETRAPOL podržava se širina podopsega od 5 MHz, što omogućuje da se u mreži koristi 400 (pri razmaku 12,5 kHz) ili 500 (pri razmaku od 10 kHz) radio-kanala. Pri tome, u svakoj radio-zoni može se koristiti od 1 do 24 radio-kanala.

Brzina predaje informacija u kanalu veze iznosi 8000 bit/s. Predaja informacija se organizuje po primarnim ramovi-

ma dužine 160 bita sa trajanjem od 20 ms. Ramovi se objedinjuju u superramove dužine 4 s (200 ramova). Informacija se podvrgava složenoj obradi, uključujući i bitsko kodovanje, premeštanje, (interliving), skremblovanje, diferencijalno kodovanje i završno formatiranje rama.

U sistemima MRV standarda TETRAPOL koristi se GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulacija sa  $VT=0,25$  (proizvod propusnog opsega niskofrekventnog filtera i vremenskog trajanja bitskog intervala).

Za analogno/digitalnu konverziju govora u standardu se primenjuje KODEK sa algoritmom koji koristi metod analize preko sinteze tipa RPELTP (Regular Pulse Code Excited Linear Prediction). Brzina konverzije signala govora iznosi 6000 bit/s. U standardu su definisana tri osnovna režima radio-veze: tranking, direktne veze i retranslacije.

U tranking režimu (ili mrežnom režimu) uzajamni rad mobilnih učesnika odvija se pomoću baznih radio-stanica (BRS), koje iz svog kapaciteta raspoređuju i komutiraju radio-kanale za vezu između učesnika. Pri tome, signali upravljanja se emituju u posebnom, za svaku baznu radio-stanicu, specijalno izdvojenom frekventnom radio-kanalu (kontrolni kanal). U režimu direktne veze razmena informacija između mobilnih učesnika vrši se direktno bez učešća baznih radio-stanica. U režimu retranslacije veza između učesnika se odvija preko retranslatora, koji ima fiksne kanale predaje i prijema informacija.

U tranking radio-sistemima MRV standarda TETRAPOL podržavaju se dva osnovna oblika razmene informacija: prenos govora i prenos podataka.

Službe prenosa govora omogućavaju ostvarivanje sledećih vrsta veza (poziva): difuzni poziv, poziv za uspostavu otvorenog kanala, grupni poziv, individualni poziv, višestruki poziv sa korišćenjem spiska učesnika i hitni poziv.

Službe prenosa podataka nude niz usluga prikladnog nivoa, koje se podržavaju memorisanim funkcijama u radio-terminalima, kao što su: razmena poruka između učesnika po protokolu X.400, pristup centralizovanim bazama podataka, pristup stacionarnim mrežama u skladu sa TCP/IP protokolom, predaja poruka putem faksimila, razmena fajlova, predaja signala ličnog poziva, predaja kratkih poruka, predaja statusnih poruka, podrška režima predaje podataka o lokaciji objekta (koji su dobijeni od GPS prijemnika) i prenos video signala.

U standardu TETRAPOL predviđene su standardne mrežne procedure koje obezbeđuju savremeni nivo opsluživanja učesnika: dinamičko pregrupisanje, identifikaciju učesnika, roming, prioritetni poziv, upravljanje predajnikom učesnika, upravljanje „profilom“ učesnika (distanciona promena parametara koji su memorisani u učesničkom radio-terminalu prilikom programiranja), itd.

Sistemi standarda TETRAPOL nude korisnicima i niz dopunskih usluga, koje zajedno sa redovnim servisnim uslugama omogućavaju efikasnu realizaciju specifičnih tranking radio-mreža za službe javne bezbednosti i drugih državnih organa. Zbog toga što je od samog početka standard TETRAPOL bio orijentisan da zadovolji specifične zahteve organa državne bezbednosti i zaštite, u njemu su predviđeni različiti mehanizmi za zaštitu

veza, usmereni da spreče moguće neregularnosti kao što su: neautorizovani (nelegalni) pristup u sistem, preslušavanje govora po ostvarenim vezama, stvaranje namernih smetnji i analiza radio-saobraćaja konkretnih učesnika, itd.

U različite mehanizme za zaštitu veza u ovom sistemu spadaju automatska rekonfiguracija mreže, upravljanje pristupom u sistem, prolazno šifrovanje informacija, identifikacija učesnika, korišćenje vremenski promenljivih identifikatora učesnika, imitacija aktivnosti učesnika, distanciono isključivanje radio-terminala i dostavljanje kriptičkih ključeva po radio-kanalu.

Tranking sistemi digitalnih MRV zasnovani na standardu TETRAPOL široko su rasprostranjeni u Francuskoj (žandarmerija, policija i nacionalna železnica). Navedeni standard koristi se i u nekoliko država Evrope (policija u Madridu i Kataloniji, jedinice bezbednosti i zaštite Češke Republike, aerodromske službe u Frankfurtu, berlinsko transportno preduzeće).

Takođe, postoje podaci o izgradnji nekoliko sličnih sistema u dve zemlje Jugoistočne Azije, a poznato je da se i policija Meksika i Tajlanda interesuje za izgradnju sistema MRV po ovom standardu.

### **Digitalni tranking sistem MRV tipa iDEN**

Tehnologiju proizvodnje i izgradnje digitalnih tranking sistema MRV tipa iDEN (integrated Digital Enhanced Network) razvila je firma MOTOROLA, početkom devedesetih godina. Prvi komercijalni funkcionalni sistem MRV na bazi

ove tehnologije izradila je već 1994. godine u SAD kompanija NEXTEL. Prema statusu, iDEN se može okarakterisati kao korporativni standard sa otvorenom arhitekturom. To znači da kompanija MOTOROLA za sebe zadržava sva prava po pitanju modifikacije sistemskog protokola, kada različitim proizvođačima radio-opreme daje licence za proizvodnju komponenti iz arhitekture sistema.

Navedeni standard razrađen je da bi se mogli realizovati integrisani sistemi, koji će omogućiti ostvarivanje svih vrsta MRV, kao što su: dispečerska radio-veza, mobilna telefonska radio-veza, radioprenos tekstualnih poruka i paketa podataka. Pri tome je tehnologija ovog standarda prvenstveno orijentisana na izgradnju korporativnih radio-mreža velikih organizacija ili komercijalnih sistema služnih delatnosti za firme i privatna lica.

Pri organizaciji dispečerskih mreža MRV po standardu iDEN pretpostavlja se mogućnost grupnog i individualnog poziva a, takode, i režim signalizacije propuštenih poziva pri kojem se, u slučaju da je učesnik nedostupan, pozivi pamte u sistemu, a zatim predaju učesniku kada ponovo postane dostupan. Ukupan broj mogućih grupa učesnika u sistemu iDEN je 65 535, tako da ne postoji potreba da sistem ima mogućnost dinamičkog pregrupisanja. Vreme potrebno za uspostavljanje veze pri organizaciji grupnog poziva u semidupleksnom režimu nije veće od 0,5 sekundi.

Sistem iDEN omogućuje da se telefonska radio-veza može organizovati kako po tipu „mobilni učesnik – mobilni učesnik“, tako i po tipu „mobilni – učesnik PSTN“. Pri tome se telefonska



radio-veza obavlja u potpunom dupleksu. U ovom sistemu postoji mogućnost organizacije elektronske pošte.

Učesnici u sistemu MRV iDEN imaju mogućnost da preko svojih radio-terminala primaju i predaju tekstualne poruke, kao i signale podataka (brzinom 9,6 kbit/s primenom komutacije kola i brzinom do 32 kbit/s primenom komutacije paketa). To dozvoljava da se može organizovati veza faksimila i elektronske pošte, kao i uzajamni rad sa fiksnim mrežama za prenos podataka kao što je Internet. Pri paketskom prenosu podataka podržan je TCP/IP protokol.

U digitalnom trunking sistemu MRV iDEN primenjuje se višestruki pristup sa vremenskom raspodelom kanala (TDMA), pri čemu se na jednom frekventnom radio-kanalu (po jednom radio-nosiocu) organizuje 6 vremenskih – saobraćajnih radio-kanala. To se postiže organizacijom šestokanalnog vremenskog multipleksa sa primarnim ramom od 90 ms, u okviru kojeg svaki vremenski kanal prenosi sopstvenu informaciju i traje 15 ms.

Za analogno/digitalnu konverziju govornih signala koristi se KODEK koji radi po algoritmu tipa SELP (Self Excited Linear Prediction). Brzina prenosa informacije u jednom vremenskom kanalu iznosi 7,2 kbit/s, a ukupna brzina digitalnog protoka po jednom radio-nosiocu iznosi 64 kbit/s, na račun primene zaštitnog kodovanja od smetnji i pridruživanja upravljačke informacije. Ovako veliku brzinu prenosa informacije u okviru širine frekventnog opsega radio-kanala od 25 kHz moguće je postići zbog primene 16-tostruke kvadraturne amplitude modulacije digitalnih signala tipa M16-QAM.

Za ovaj standard koristi se opseg frekvencija 805-821/855-866 MHz koji je inače standardan u Americi i Aziji. Treba primetiti da se primenom iDEN standarda postiže najveća spektralna efikasnost, u odnosu na sve druge pomenute digitalne trunking sisteme MRV, pošto dozvoljava da se u okviru širine opsega od 1 MHz organizuje ukupno 240 vremenskih – informacionih radio-kanala. Zbog toga su širine zona pokrivanja baznih radio-stanica (radio-čelija) u ovom sistemu znatno manje u odnosu na sisteme MRV po drugim standardima. Time se objašnjava i mala snaga u učesničkim radio-terminalima, koja iznosi 0,6 W za ručni radio-uređaj i 3 W za prevozni radio-uređaj.

U arhitekturi sistema iDEN prisutne su karakteristike koje se pojavljuju, kako kod trunking, tako i kod čelijskih sistema MRV, što potvrđuje orijentaciju ovog standarda za opsluživanje (servisiranje) velikog broja korisnika i za podršku veoma gustog saobraćaja. Pri izgradnji komercijalnih sistema za opsluživanje većeg broja različitih organizacija i preduzeća, po standardu iDEN može se realizovati do 10 000 virtuelnih radio-mreža, a u okviru svake od tih mreža može biti do 65 500 korisnika koji se, po potrebi, mogu objedinjavati u maksimalno 255 grupa. Pri tome, svaka od navedenih grupa može koristiti resurse kompletne integrisane zone radio-veze koju obezbeđuje izgrađeni sistem.

Prvi komercijalni sistem izgradila je kompanija NEXTEL 1994. godine, a danas ima opštenacionalni karakter (kako po teritorijalnom tako i po kvantitativnom principu), pošto trenutno u njemu postoji oko 5500 lokacija baznih radio-stanica i



oko 2,7 miliona učesnika. Pored ovog operatora, još jedan operator u SAD, kompanija SOUTHERN Co, za potrebe provajdinga izgradila je svoj sistem digitalnih MRV zasnovan na iDEN standardu. Pored toga, manje mreže (uslovno rečeno) digitalnih MRV po iDEN standardu izgrađene su i u Kanadi, Brazilu, Meksiku, Kolumbiji, Argentini, Japanu, Singapuru, Kini, Izraelu i drugim zemljama.

Ukupan broj učesnika u digitalnim trunking sistemima MRV po iDEN standardu danas u svetu prevazilazi 3 miliona.

### **Uporedni pregled prikazanih standarda za digitalne trunking MRV**

Pregled opštih i tehničkih karakteristika digitalnih trunking sistema MRV koji se grade po specifikacijama standarda EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN, prikazan je u tabeli 1, a pregled funkcionalnih mogućnosti sistema digitalnih MRV navedenih standarda u tabeli 2. Zdrženi pregled nekih od specifičnih (dodatnih) usluga, koje su prvenstveno namenjene različitim službama državne bezbednosti i zaštite, prikazan je u tabeli 3. Pri tome, zbog nedostatka podataka, ovde nije uzet u obzir standard iDEN.

Na osnovu prikazanih uporednih pregleda moguće je sprovesti uporednu analizu razmatranih standarda za digitalne trunking MRV.

### **Analiza tehničkih karakteristika i funkcionalnih mogućnosti prikazanih standarda**

Razmatrajući tehničke karakteristike i funkcionalne mogućnosti predstavljenih

standarda digitalnih trunking MRV, može se primetiti da svi standardi imaju visoke tehničke performanse (u skladu sa odgovarajućom klasom koju imaju sistemi mobilnih radio-veza). Oni omogućavaju izgradnju radio-mreža sa različitim konfiguracijama, obezbeđuju raznovrsne režime za prenos signala podataka, omogućavaju vezu sa PSTN i drugim stacionarnim mrežama veza. Standardi omogućuju da se u njihovim sistemima digitalnih MRV mogu koristiti dupleksni radio-uređaji u svojstvu učesničkih radio-terminala. U uređajima za digitalne MRV koriste se zaista efikasne metode analogno/digitalne konverzije govornog signala i zaštitnog kodovanja informacija, radi otpornosti na smetnje. Svi navedeni standardi obezbeđuju veoma visoku operativnost radio-veze.

Međutim, ipak se može primetiti da EDACS ima nešto manju spektralnu efikasnost u odnosu na druge standarde. Pored toga, mnogi stručnjaci smatraju da se zbog nekorišćenja digitalnih metoda modulacije, o ovom standardu može govoriti kao o standardu u kome se prenos već formiranih digitalnih signala govora vrši po analognom kanalu veze. Kada su u pitanju funkcionalne mogućnosti, standard EDACS u određenoj meri ustupa mesto preostalim standardima, prvenstveno zbog toga što je on bio razrađen nešto ranije od drugih standarda.

Sa druge strane, standardi TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN specificiraju široki spektar standardnih korisničkih usluga veze, koje su po nivou u potpunosti međusobno samerljive. Kao po pravilu, spisak potrebnih korisničkih usluga veze definiše se tek pri projektovanju konkretnog digitalnog trunking sistema MRV.

Pregled opštih i tehničkih karakteristika digitalnih trunking sistema MRV

R. br.	Karakteristika standarda MRV	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL	iDEN
1.	Tvorac standarda	ERICSSON (Švedska)	ETSI	APCO	MATRA COMMUNICATIONS (Francuska)	MOTOROLA (SAD)
2.	Status standarda	Korporativni	Otvoreni	Otvoreni	Korporativni	Korporativni sa otvorenom arhitekturom
3.	Glavni proizvođači radio-uređaja	ERICSSON	NOKIA, MOTOROLA, ALCATEL, R&S, OTE	MOTOROLA, E. F. JOHNSON Inc., TRANSCRYPT, ADILIMITED	MATRA COMMUNICATIONS, NORTEL, CS TELECOM	MOTOROLA
4.	Mogući poddijapazon radnih frekvencija, u MHz	138-174; 403-423; 450-470; 806-870;	Teoretski 150-900; Izdvojeno u Evropi za službe državne bezbednosti i zaštite 380-385/390-395	138-174; 406-512; 746-869;	70-520	805-821/ 855-866
5.	Frekventni razmak između radio-nosilaca (radio-kanala) u kHz	25; 12,5 (za prenos podataka)	25	12,5; 6,25	12,5; 10,0	25
6.	Efektivna širina frekventnog opsega jednogovornog kanala, u kHz	25	6,25	12,5; 6,25	12,5; 10,0	4,167
7.	Vrsta modulacije	FM	$\pi/4$ -DQPSK	C4FM (12,5 kHz) CQPSK (6,25 kHz)	GMSK (BT=0,25)	M16-QAM
8.	Metod i brzina analognog/digitalne konverzije govornih signala	Adaptivno višeni-vojsko kodovanje (konverzija brzine 6 kbit/s i kompresija do 9,2 kbit/s)	ACELP (4,8 kbit/s)	IMBE (4,4 kbit/s)	RPCELP (6 kbit/s)	VSELP (7,2 kbit/s)
9.	Brzina prenosa informacije saobraćajnom kanalu, kbit/s	9600	7200 (28 800 pri korišćenju sva četiri saobraćajna kanala na jednom radio-nosiocu)	9600	8000	9600 (do 32 000 pri paketskom prenosu podataka)
10.	Vreme potrebno za uspostavu kanala veze, u sek.	0,25 s (u jednozonskoj radio-mreži)	min. 0,2 s za individualni i min. 0,1 s za grupni poziv	0,25 s u režimu direktne veze; 0,35 s u režimu retranslacije; 0,5 s u radio-podsystemu	manje od 0,5 s	manje od 0,5 s
11.	Metod raspodele saobraćajnih kanala	FDMA	TDMA (uz korišćenje frekventne raspodele višezonskim radio mrežama)	FDMA	FDMA	TDMA
12.	Tip kontrolnog kanala	Izdvojeni	Izdvojeni ili dodeljeni (u zavisnosti od konfiguracije mreže)	Izdvojeni	Izdvojeni	Izdvojeni ili dodeljeni (u zavisnosti od konfiguracije mreže)
13.	Mogućnosti za kriptozastitu informacija	Standardni algoritam proizvođača za prolazno šifrovanje	1) Standardni algoritam 2) Prolazno šifrovanje	4 nivoa kriptozastite informacija	1) Standardni algoritmi 2) Prolazno šifrovanje	Nema podataka

Pregled funkcionalnih mogućnosti digitalnih sistema MRV

R. br.	Funkcionalne mogućnosti sistema MRV	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL	iDEN
1.	Ostvarenje osnovnih vrsta poziva (individualni, grupni, difuzni)	+	+	+	+	+
2.	Povezivanje sa PSTN	+	+	+	+	+
3.	Prenos podataka i povezivanje sa centralizovanim bazama podataka	+	+	+	+	+
4.	Režimi direktne veze	+	+	+	+	Nema podataka
5.	Automatska registracija mobilnih učesnika	+	+	+	+	+
6.	Personalni poziv	-	+	+	+	+
7.	Povezivanje na stacionarne mreže za prenos podataka sa IP	+	+	+	+	+
8.	Prenos statusnih poruka	+	+	+	+	+
9.	Prenos kratkih poruka	+	+	+	+	+
10.	Mogućnost sprezanja sa GPS radi određivanja lokacije	+	+	Nema podataka	+	Nema podataka
11.	Faksimil veza	-	+	+	+	+
12.	Mogućnost uspostave otvorenog kanala	-	+	Nema podataka	+	-
13.	Višestruki distup uz korišćenje spiska učesnika	-	+	+	+	+
14.	Mogućnost realizacije standardnog režima retranslacije signala	Nema podataka	+	+	+	Nema podataka
15.	Mogućnost rada u režimu „dvojnog nadgledanja“	-	+	Nema podataka	+	Nema podataka

Tabela 3

Pregled specifičnih (dodatnih) usluga digitalnih sistema MRV

R. br.	Specijalne usluge veze	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL
1.	Prioritet u dostupu	+	+	+	+
2.	Sistem prioriteta poziva	+	+	+	+
3.	Dinamičko pregrupisanje	+	+	+	+
4.	Selektivno preslušavanje	+	+	+	+
5.	Distanciono slušanje	-	+	Nema podataka	+
6.	Identifikacija pozivajućeg učesnika	+	+	+	+
7.	Poziv sankcionisan od dispečera	+	+	+	+
8.	Prenos šifro ključeva po radio-kanalu (OTAR)	-	+	+	+
9.	Imitacija aktivnosti učesnika	-	-	-	+
10.	Distanciono isključivanje učesnika	Nema podataka	+	+	+
11.	Autentifikacija učesnika	Nema podataka	+	+	+

## **Analiza resursa radio-frekventnog spektra iz okvira prikazanih standarda**

Mogućnost iskorišćenja što većih resursa iz postojećeg radio-frekventnog spektra, za izgradnju sistema radio-veza, predstavlja najvažniji kriterijum za izbor konkretnog sistema. Najperspektivniji su oni standardi koji omogućavaju projektovanje i izgradnju sistema digitalnih MRV u što širem frekventnom opsegu.

Na tom planu standard EDACS omogućuje realizaciju sistema u podopsezima 138–174, 403–423, 450–470 i 806–870 MHz, pri čemu postoje praktični pokazatelji o realizaciji i radu mreža digitalnih MRV u svim od navedenih podopsega.

Po standardu TETRA teoretski se obezbeđuje izuzetno širok opseg radio-frekventnog spektra za rad sistema digitalnih MRV 150–900 MHz. U vezi sa tim, proizvođači opreme, ipak, u osnovi predlažu korišćenje radio-uređaja koji rade samo u podopsezima izdvojenim u Evropi za rad sistema TETRA, 380–385/390–395 i 410–430/450–470 MHz, mada se već danas privode kraju projekti za rad sistema u podopsegu 800 MHz.

Standard APCO 25, u vezi da odgovarajućim funkcionalnim i tehničkim potrebama, omogućuje svojim sistemima digitalnih MRV rad na bilo kom od frekventnih podopsega propisanih za MRV.

Standard TETRAPOL ograničava gornju frekvenciju podopsega radio-frekventnog spektra svojih sistema digitalnih MRV, na nivou od 520 MHz.

Po standardu iDEN, sistemi digitalnih MRV mogu da funkcionišu samo u podopsegu frekvencija od 800 MHz, što ograničava mogućnost njihove primene

kod čitavog niza potencijalnih korisnika (imalaca sistema). Međutim, neke zemlje su upravo ovaj podopseg predvidele za ovu namenu. Tako je u Rusiji deo podopsega 800 MHz širine 815–820/860/865 MHz u kojem mogu raditi sistemi digitalnih MRV iDEN, definisan baš za tranking sisteme MRV.

## **Analiza mogućnosti realizacije specijalnih zahteva u digitalnim tranking sistemima MRV za potrebe službi državne bezbednosti i zaštite**

Zbog toga što su se, u krajnjoj meri, prva četiri od pet razmatranih standarda razrađivali sa velikim uvažavanjem interesa službi državne bezbednosti i zaštite, svi oni obezbeđuju ispunjavanje velikog broja postavljenih zahteva koji su karakteristični za specijalne sisteme veza, što se jasno uočava u tabeli 3. Svi prikazani standardi za digitalne MRV obezbeđuju visoku operativnost veza (vreme pristupa u svakom sistemu nije veće od 0,5 sekundi) i predviđaju mogućnost povećanja otpornosti na otkaze u radio-mreži veza, na račun formiranja fleksibilne arhitekture.

Svi standardi predviđaju da se može realizovati zaštita prenošenih informacija i to:

– u sistemima TETRA i TETRAPOL predviđa se korišćenje kako standardnih algoritama za kriptozastitu informacija, tako i originalnih algoritama korisnika u vezi od „tačke-do tačke“, za račun primene prolazne kriptozastite;

– u sistemu EDACS moguće je koristiti standardni Ericssonov algoritam ili se može posebno dogovoriti primena

sopstvenih podsistema za kriptozastitu prenošenih informacija;

– u vezi sa funkcionalnim i tehničkim zahtevima, u sistemima APCO 25 obavezno je obezbediti četiri nivoa kriptozastite informacija (od kojih se samo jedan može koristiti u sistemima, koji se isporučuju za eksport).

Kada se pogledaju specijalne usluge, koje svaki od standarda nudi za potrebe organizacija državne bezbednosti i zaštite, može se zaključiti da standardi TETRA, APCO 25 i TETRAPOL međusobno imaju samerljiv nivo ponuđenih usluga, koji je nešto viši nego kod standarda EDACS.<sup>5</sup>

### **Analiza ekonomske efikasnosti prikazanih standarda**

U današnje vreme oprema za izgradnju trunking sistema digitalnih MRV znatno je skuplja u odnosu na opremu trunking sistema analognih MRV. Mada, kao po pravilu, vrednost zaključenih ugovora predstavlja komercijalnu tajnu, treba shvatiti da se za izgradnju bilo kog od navedenih sistema digitalnih MRV, koji će opsluživati više stotina učesnika, mora da odvoje novčana sredstva čija se vrednost izražava u milionima dolara. Sudeći po reklamnim informacijama svetskih proizvođača, cena učesničkih radio-terminala, koji rade po standardu za digitalne radio-veze, može da se kreće od 800 do 4000 dolara, pri čemu se konkretna vrednost definiše u zavisnosti od opremljenosti modulima ili programske podrške za kriptozastitu prenošenih informacija.

<sup>5</sup> Bez obzira na to što se zbog nedostatka podataka ne može izvršiti uporedna analiza standarda iDEN po ovom kriterijumu, to ne znači da se i sistemi digitalnih MRV tog standarda ne mogu koristiti za sisteme sa specijalnim namenama.

Upoređivanje ekonomske efikasnosti sistema digitalnih MRV različitih standarda ne treba vršiti odvojeno od kategorije sistema mobilnih radio-veza. Kako se navodi u publikacijama, za izgradnju mreže MRV sa ne baš velikim operativnim saobraćajnim opterećenjem, širokim teritorijalnim obuhvatom i ukupno 10 radio-kanala (10 radio-nosilaca), optimalna varijanta je (u tom smislu i cena izgradnje) korišćenje sistema u kojem je zastupljena FDMA, kao što su EDACS, APCO 25 (faza I) i TETRAPOL. To se objašnjava suštinskim većim prečnikom radio-zone pokrivanja kvalitetnim radio-signalima kod sistema sa FDMA nego kod sistema sa TDMA. Po ocenama, koje su date u tehničkom izveštaju standarda TETRAPOL PAS, cena bazne opreme jedne višecelijske mreže digitalnih MRV na principu TDMA biće za 30–50% viša, u poređenju sa cenom iste takve radio-mreže sa frekventnom raspodelom radio-kanala (pri jednakoj ceni jedinice opreme).

Međutim, za izgradnju mreža digitalnih MRV sa intenzivnim radio-saobraćajem i više od 15 saobraćajnih radio-kanala u jednoj radio-zoni, preporučuje se korišćenje sistema sa vremenskom raspodelom kanala, čiji su predstavnici TETRA i iDEN.

Treba istaći, da je standard APCO 25 (Faza II) univerzalan, pošto daje mogućnost za izgradnju sistema digitalnih MRV sa frekventnom i sa vremenskom raspodelom saobraćajnih radio-kanala.

### **Analiza statusa standarda otvoren/zatvoren**

Prilikom izbora standarda, po kome će se graditi digitalni trunking sistem

MRV, svaki korisnik treba da ima u vidu da li je navedeni standard otvoren ili predstavlja korporativno rešenje proizvođača (zatvoren).

Korporativni, odnosno zatvoreni standardi EDACS i TETRAPOL predstavljaju specifičnost sopstvenih stvaralaca. Zbog toga je nabavka potrebne radio i druge opreme za izgradnju sistema, moguća samo u ograničenom krugu proizvođača. Kod standarda iDEN postoji mogućnost da se proizvode neke od komponenti iz sistema, međutim sve konce za izgradnju masovnih trunking mreža digitalnih MRV po tom standardu, u svojim rukama, i dalje čvrsto drži kompanija MOTOROLA.

Otvoreni standardi TETRA i APCO 25 stvaraju mogućnost za postojanje konkurentne sredine, odnosno privlače veći broj proizvođača bazne opreme, učesničkih radio-terminala, ispitne opreme da proizvode kompatibilnu radio-opremu, što obavezno dovodi i do smanjenja njihove cene. Svaka proizvođačka firma ili organizacija koja pristupi u odgovarajuće udruženje MoU TETRA, odnosno APCO, ima potpuno otvoren i kompletan pristup specifikacijama standarda.

Prema tome, oni potencijalni korisnici koji za svoj budući digitalni trunking sistem mobilnih radio-veza odaberu otvoreni standard TETRA ili APCO 25, neće zavisiti samo od jednog proizvođača i mogu menjati isporučioce opreme.

Otvorene standarde za izgradnju digitalnih trunking sistema MRV podržali su državni organi, organi bezbednosti i zaštite i slične strukture, kao i velike kompanije i vodeći svetski proizvođači pojedinih komponenti radio-opreme i opreme čvornih kontrolera (radio-trunking kontrolera).

Može se primetiti da će sa velikom verovatnoćom u perspektivi svetskim tržištem digitalnih trunking sistema MRV dominirati otvoreni standardi (prvenstveno TETRA<sup>6</sup> i APCO 25).

## Zaključak

U poređnom analizom došlo se do određenih zaključaka koji su istaknuti u analizi pojedinih kriterijuma. Međutim, treba imati na umu da je praktično nemoguće definisati potpuno precizne kriterijume po kojima bi se izvršio izbor najboljeg standarda. Kako je to u praksi, u velikom broju slučajeva, izbor varijante za izgradnju nekog sistema veze (posebno sistema veze za potrebe državnih organa) određuje se ne samo na osnovu tehničkih karakteristika sistema, već i drugim faktorima, među kojima prvo mesto zauzimaju cena realizacije i ekonomska efikasnost projekta. Pored toga, određenu ulogu u izboru sistema često imaju i političke konotacije, tradicija u saradnji sa proizvođačem radio-opreme, mogućnost kupovine opreme na kredit i mnogi drugi faktori.

Zbog toga, uporedna analiza prikazanih standarda digitalnih trunking sistema MRV provedena je samo u formi diskusije, na osnovu nekoliko faktora, koji uključuju ne samo tehničke već i druge aspekte za izgradnju tih sistema veza.

Mada nema mnogo publikovanih podataka, jasno je da će primena ovih sistema (možda specifično dopunjenih) biti veoma interesantna i za primene u vojsci.

<sup>6</sup> Autori ovog članka posebno su izdvojili standard TETRA i detaljno ga prikazali u tekstu koji je objavljen kao specijalni dodatak u Novom glasniku br. 2-3/2002. godine.

*Literatura:*

- [1] Ovčinnikov, A. M.; Vorobev, S. V.; Sergeev S. I.: Otkritie standarti radiosvjazi, Moskva, 2000.
- [2] ACCESSNET – T Digital Trunked Radio Network from Rohde & Schwarz, Rohde & Schwarz BICK Mobilfunk GmbH, 2000.
- [3] TETRA Terrestrial Trunked Radio for Profesional Cellular Systems, Rohde & Schwarz BICK Mobilfunk GmbH, 2000.
- [4] Svrzić S.; Čosović D.: Analogni trunking sistemi mobilnih radio-veza, Novi glasnik 1/2000 – specijalni prilog.
- [5] Članci i prospektni materijal firme NOKIA, 1997–2000.
- [6] Članci i prospektni materijal firme MOTOROLA, 1997–2000.
- [7] Članci i prospektni materijal firme SIMOCO, 1997–2000.
- [8] Tetra News br. 2/99 Information for the Tetra MoU Group Nexus Media UK.
- [9] Mobilne radio-komunikacije, Centar za telekomunikacije FTN, Novi Sad, jun 2000.



*Rezime:*

Najvažniji i po dimenziji najveći deo inercijalnog navigacijskog sistema (INS) predstavlja inercijalni merni blok (IMB). U članku se analizira pouzdanost pet mogućih arhitektura IMB sa stanovišta pouzdanosti pojedinih komponenti (senzora-žiroskopa i akcelerometara, procesora, unutrašnje i spoljašnje magistrale podataka, bloka za napajanje, generatora taktnih impulsa i programabilnih brojača), njihovom pojedinačnom doprinosu smanjenju pouzdanosti IMB i primene redundanse tih komponenti radi povećanja pouzdanosti IMB.

*Ključne reči:* inercijalni navigacijski sistem, inercijalni merni blok, analiza pouzdanosti, redundovani senzori.

---

RELIABILITY ANALYSIS OF MISCELLANEOUS ARCHITECTURES  
OF THE INERTIAL MEASUREMENT UNIT

*Summary:*

The most important and utmost per dimension unit of the inertial navigation sistem (INS) is the inertial measurement unit (IMU). This paper analyzes reliability of five possible IMU architectures from the point of view of particular system components reliability (sensor-gyro and accelerometer, processor, internal and external data bus, power supply, clock function and programmable counters), their individual contribution to of reliability decreasing IMU and implementation redundancy of this system components in order to increase IMU reliability.

*Key words:* Inertial navigation system, inertial measurement unit, reliability analysis, redundant sensors.

---

**Uvod**

Vojni vazduhoplovi zahtevaju pouzdane i tačne podatke, a jedan od najvažnijih sistema na avionu je INS, jer njegove izlazne podatke koriste drugi sistemi: radar, autopilot, prikazivači u kabini – HUD (Head Up Display), HDD (Head Down Display), nadšlemni sistem HMD (Helmet Mounted Display), sistem nao-

ružanja, itd. Poznato je da je glavna prednost INS-a nad drugim navigacijskim sistemima u njegovoj autonomnosti, odnosno nezavisnosti od drugih sistema na avionu i na zemlji.

Iskustvo u radu prvih INS-a, čija je arhitektura IMB bila u obliku triade (ose tri žiroskopa i tri akcelerometra su orijentisane u pravcu avionskih osa), pokazalo je da od svih delova INS najmanju pou-

zdanost ima IMB. U slučaju otkaza bilo kog žiroskopa ili akcelerometra, INS je gubio svoju funkciju. Zato se posebna pažnja poklanjala analizi pouzdanosti raznih arhitektura IMB sa stanovišta njegovog kontinualnog rada i posle otkaza redundantnih komponenti (FT – Fault Tolerance).

Mnogi proizvođači INS-a su duži period tragali za najpogodnijom arhitekturom IMB sa stanovišta pouzdanosti. U razvojnim fazama pojavile su se sledeće arhitekture IMB [7], [8]:

- dvostruka tetrada, razvijana u firmi Honeywell/Litton i primenjena u avionu ATF;

- dvostruka konusna ortogonalna triada (heksada), razvijana u firmi Honeywell;

- trostruka ortogonalna triada, primenjena u avionu Boeing 757/767.

U ovom članku analizirane su razne arhitekture IMB sa stanovišta pouzdanosti i izvršeno je njihovo upoređenje sa klasičnim, prvim IMB u obliku triade.

Rezultati prikazani na slikama 2, 5, 8, 9, 10 i 11 dobijeni su simulacijom u programu Mathcad 7 Professional na računaru PC II, u kojoj je primenjena analitička metoda ispitivanja pouzdanosti pojedinih arhitektura IMB i poklapaju se sa rezultatima datim u [1], [7] i [8].

Pretpostavljeno je da su iste komponente IMB korišćene u svim analiziranim arhitekturama IMB, kao i da je pouzdanost pojedinih komponenti zasnovana na njihovom konstantnom intenzitetu otkaza, odnosno eksponencijalnoj raspodeli otkaza.

U zaključku je predložena optimalna arhitektura IMB sa stanovišta pouzdanosti.

## Intenzitet otkaza IMB i njegovih komponenti

U [7] i [8] predloženo je da se IMB sastoji od osam komponenti: kanala žiroskopa, kanala akcelerometra, unutrašnje magistrale podataka, spoljašnje magistrale podataka, kanala procesora, bloka za napajanje, generatora taktnih impulsa i programabilnih brojača.

Povećanje pouzdanosti IMB postiže se redundantanjem (rezerviranjem) pojedinih komponenti. Ovim se postiže da IMB može kontinualno da nastavi rad i nakon otkaza redundantnih komponenti. Redundovanje kanala žiroskopa i akcelerometara, kao najnepouzdanijih komponenti, najčešće se koristi da bi se obezbedila FT osobina.

Kada je intenzitet otkaza,  $\lambda$ , komponenti i sistema konstantan, za period normalne eksploatacije, pouzdanost komponenti odnosno sistema data je formulom:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{m}} \quad (1)$$

gde je:

$\lambda$  – intenzitet otkaza,

$m$  – srednje vreme rada između otkaza komponenti odnosno sistema,

$t$  – vreme.

Intenziteti otkaza svih komponenti IMB preuzeti su iz [1], gde su izračunati na osnovu pouzdanosti raznih mašinskih i elektronskih elemenata i delova, koji čine komponente IMB, datih u priručniku MIL-HDBK-217E. Pošto komponente mogu raditi u vazдушnom prostoru pod raznim uslovima, različiti su i intenziteti njihovog otkaza. Zbog pojednostavljenja računanja i obima rada, pri proračunu

Intenzitet otkaza komponenti IMB

pouzdanosti IMB i njegovih komponenti sve vrednosti intenziteta su prikazane za uslove rada na zemlji.

Nakon testiranja (14 000 000 radnih sati) laserskog žiroskopa (RLG) tipa GG1342 firme Honeywell, izračunato je da srednje vreme između otkaza (MTBF) iznosi 227 000 časova. Koristeći faktor 1,6 poboljšanja u uslovima rada na zemlji, MTBF je 365 000 časova, pa je dobijeno da je intenzitet otkaza ovog žiroskopa 2,7 otkaza/milijon sati rada.

Za akcelerometar ser. br. 34079318 firme Honeywell proračunato je da je MTBF 838 644 časova, a u uslovima rada na zemlji intenzitet otkaza treba da bude 1,2 otkaza/milijon časova rada.

Intenziteti otkaza ostalih komponenti IMB prikazani su u tabeli 1.

### Modeli pouzdanosti komponenti IMB

#### Pouzdanost bloka za napajanje

Pretpostavićemo da je blok za napajanje rezervisan – čine ga dva bloka, koji u smislu pouzdanosti čine paralelnu konfiguraciju, pa je njegova pouzdanost data formulom:

$$R_{2bn} = 1 - (1 - R_{bn})^2 = R_{bn}^2 + 2R_{bn}(1 - R_{bn}) \quad (2)$$

gde je  $R_{bn}$  – pouzdanost jednog bloka za napajanje.

#### Pouzdanost dve paralelne unutrašnje magistrale

Analogno pouzdanosti bloka za napajanje, pouzdanost dve paralelne unutrašnje magistrale podataka je:

Komponente IMB	Broj otkaza na milion časova rada	Napomena
Laserski žiroskop	2,7	Kanal žiroskopa
Pobuda žiroskopa	0,2	
Elektronika žiroskopa	0,4	
A/D RAM	0,3	
A/D konvertor	0,2	
Sklop za visoki napon	0,4	
<b>Ukupno</b>	<b>4,2</b>	
Akcelerometar	1,2	Kanal akcelerometra
Elektronika akcelerometra	0,3	
A/D RAM	0,3	
A/D pretvarač	0,2	
Sklop za niski napon	0,6	
<b>Ukupno</b>	<b>2,6</b>	
Modul I/O	0,5	Unutrašnja magistrala podataka
Analogni transorb.	0,2	
Digitalni transorb.	0,1	
<b>Ukupno</b>	<b>0,8</b>	
1553B magistrala podataka	1,7	Spoljašnja magistrala podataka
Procesor	2,6	Kanal procesora
Blok za niski napon	0,6	
<b>Ukupno</b>	<b>3,2</b>	
Blok za napajanje	1,9	
Sat (Clock)	0,1	
Programabilni brojači	1,0	

$$R_{2um} = R_{um}^2 + 2R_{um}(1 - R_{um}) \quad (3)$$

gde je  $R_{um}$  – pouzdanost jedne unutrašnje magistrale podataka.

#### Pouzdanost dve paralelne spoljašnje magistrale

Pretpostavićemo da je pouzdanost dve paralelne spoljašnje magistrale podataka (1553B):

$$R_{2sm} = R_{sm}^2 + 2R_{sm}(1 - R_{sm}) \quad (4)$$

gde je  $R_{sm}$  – pouzdanost jedne spoljašnje magistrale podataka.

### *Pouzdanost programabilnih brojača*

Programabilni brojači generišu vremenske signale koje koriste senzori radi sinhronizacije svojih izlaznih signala. Najmanje su potrebna dva brojača radi sinhronizacije izlaznih podataka od senzora.

Pouzdanost sinhronizacije sa tri brojača, koji su rezervisani po modelu „2 od 3“ prema [9] je:

$$R_{3pb} = R_{pb}^3 + 3R_{pb}^2(1 - R_{pb}) \quad (5)$$

gde je  $R_{pb}$  – pouzdanost jednog programabilnog brojača.

Pouzdanost sinhronizacije sa četiri brojača, od kojih dva treba pouzdano da rade, prema modelu „2 od 4“ [9] iznosi:

$$R_{4pb} = R_{pb}^4 + 4R_{pb}^3(1 - R_{pb}) + 6R_{pb}^2(1 - R_{pb})^2 \quad (6)$$

### *Pouzdanost proverom parnosti*

Radi obezbeđivanja FT procesiranja signala od senzora sa dva procesora primenjuje se provera, pomoću programabilnih brojača, njihovih izlaznih signala metodom parnosti, skr. SCP (self-checking pair), radi utvrđivanja slaganja njihovih izlaznih signala bit-to-bit.

Bilo kakvo neslaganje prouzrokuje izbacivanje oba procesora iz sistema.

Sistem za utvrđivanje otkaza, ili FOS (fail-operational system), formira se od dva nezavisna kola za proveru parnosti (SCP) ili ukupno od četiri procesora. Analogno tome, udvostručeni FOS može se sačiniti od tri SCP ili ukupno od šest procesora.

Hardver od dva SCP izvršice svoju funkciju bez otkaza procesora ili otkaza bilo kojeg procesora pojedinačno. Takođe, izvršice funkciju ako otkazu dva procesora koji rade u paru. Tada je pouzdanost sa dva SCP data modelom „2 od 4“, [9]:

$$R_{2scp} = R_{pr}^4 + 4R_{pr}^3(1 - R_{pr}) + 2R_{pr}^2(1 - R_{pr})^2 \quad (7)$$

gde je  $R_{pr}$  – pouzdanost jednog procesora.

Pouzdanost hardvera od tri SCP je tada:

$$R_{3scp} = R_{pr}^6 + 6R_{pr}^5(1 - R_{pr}) + 15R_{pr}^4(1 - R_{pr})^2 + 12R_{pr}^3(1 - R_{pr})^3 + 3R_{pr}^2(1 - R_{pr})^4 \quad (8)$$

gde je  $\binom{6}{5} = 6$ ,  $\binom{6}{4} = 15$ ,  $\binom{4}{3} = 4$  i  $\binom{3}{2} = 3$

### *Pouzdanost redundovanih senzora*

Za merenje inercijalnih brzina zahtevaju se minimalno tri žiroskopa. Pouzdanost žiroskopa u arhitekturi triade je:

$$R_{3z} = R_z^3 \quad (9)$$

gde je  $R_z$  – pouzdanost jednog žiroskopa.

Pouzdanost konfiguracije tetrade žiroskopa je po modelu „3 od 4“ i prema [9] iznosi:

$$R_{4z} = R_z^4 + 4R_z^3(1-R_z)R_{zBIT1} \quad (10)$$

gde je  $R_{zBIT1}$  – pouzdanost da je otkaz jednog žiroskopa otkriven ugrađenim sistemom za testiranje.

Pouzdanost konfiguracije heksade sa 6 žiroskopa je po modelu „3 od 6“ i prema [9] iznosi:

$$R_{6z} = R_z^6 + 6R_z^5(1-R_z)R_{zBIT1} + 15R_z^4(1-R_z)^2R_{zBIT2} + 20R_z^3(1-R_z)^3R_{zBIT3} \quad (11)$$

gde je  $R_{zBIT1,2,3}$  – verovatnoća softverske detekcije i izolacije jednog, dva ili tri žiroskopa od 6 žiroskopa.<sup>1</sup>

Analogno, i za akcelerometre važe gornje formule, tako da je za konfiguraciju triade:

$$R_{3a} = R_a^3 \quad (12)$$

za konfiguraciju tetrade:

$$R_{4a} = R_a^4 + 4R_a^3(1-R_a)P_{aBIT1} \quad (13)$$

za konfiguraciju heksade:

$$R_{6a} = R_a^6 + 6R_a^5(1-R_a)P_{aBIT1} + 15R_a^4(1-R_a)^2P_{aBIT2} + 20R_a^3(1-R_a)^3P_{aBIT3} \quad (14)$$

gde je  $R_{aBIT1,2,3}$  – verovatnoća softverske detekcije i izolacije jednog, dva ili tri akcelerometra od 6 akcelerometara.

<sup>1</sup> U simulaciji je pretpostavljeno da je  $R_{zBIT1} \cdot R_{zBIT2} = R_{zBIT3} = R_{zBIT1} = R_{zBIT2} = R_{zBIT3} = 1$

## Pouzdanost raznih arhitektura IMB

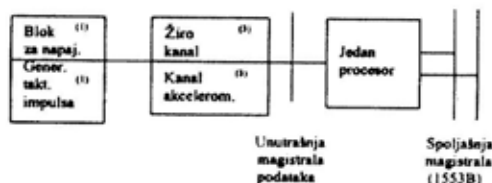
### Pouzdanost arhitekture IMB u obliku triade

Pouzdanost arhitekture IMB sa jednom triadom (slika 1) data je formulom:

$$R_t = R_{bn} \cdot R_s \cdot R_{3z} \cdot R_{3a} \cdot R_{um} \cdot R_{pr} \cdot R_{sm} \quad (15)$$

gde je:

- $R_{bn}$  – pouzdanost bloka za napajanje;
- $R_s$  – pouzdanost generatora taktnih impulsa;
- $R_{3z}$  – pouzdanost triade žiroskopa;
- $R_{3a}$  – pouzdanost triade akcelerometara;
- $R_{um}$  – pouzdanost unutrašnje magistrale podataka;
- $R_{pr}$  – pouzdanost procesora;
- $R_{sm}$  – pouzdanost spoljašnje magistrale podataka.



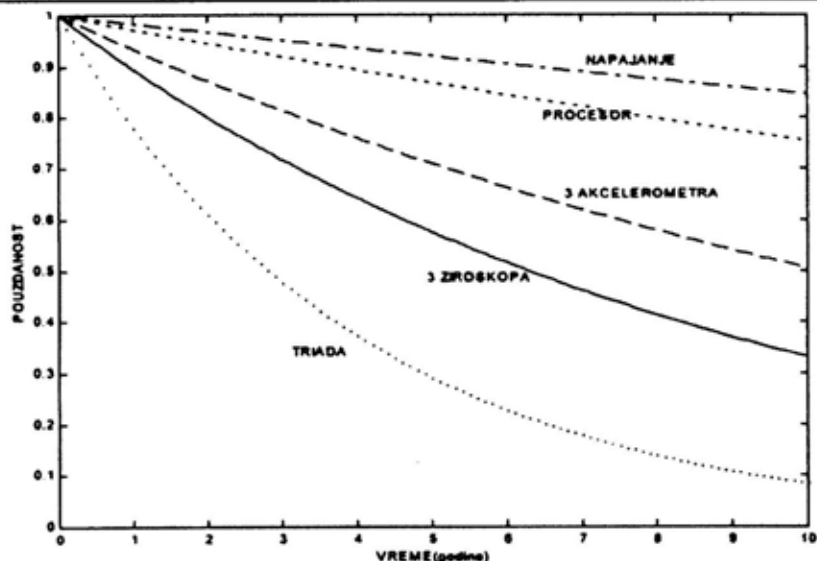
Sl. 1 – Arhitektura IMB-triada

Pouzdanost IMB u obliku triade i doprinos pojedinih njenih komponenti prikazan je na slici 2.

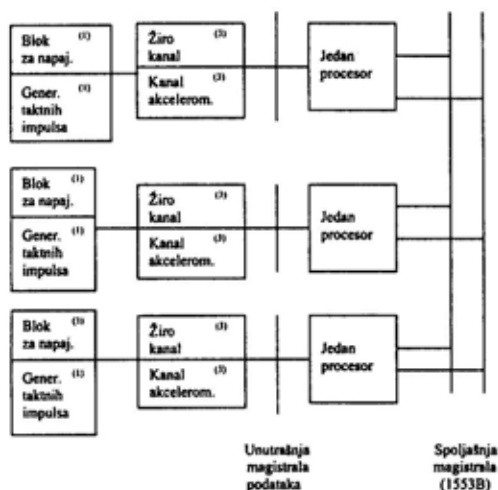
### Pouzdanost arhitekture IMB u obliku trostruke triade

Arhitektura IMB u obliku trostruke triade prikazana je na slici 3.

Pouzdanost trostruke triade (da funkcionišu bar dve triade i bar jedna spoljašnja magistrala podataka) jeste:



Sl. 2 – Pouzdanost triade i njenih komponenti



Sl. 3 – Arhitektura IMB – trostruka triada



Sl. 4 – Arhitektura IMB-tetrad

$$R_{3t} = [R_t^3 + 3R_t^2(1 - R_t)] \cdot R_{2sm} \quad (16)$$

gde je  $R_{2sm}$  – pouzdanost dvostruke spoljašnje magistrale podataka (1553B).

*Pouzdanost arhitekture IMB u obliku tetrade*

Pouzdanost arhitekture IMB sa jednom tetradom (slika 4) data je formulom:

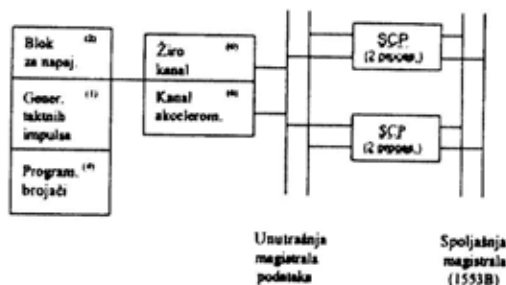
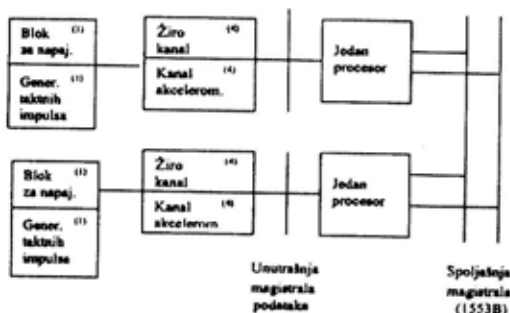
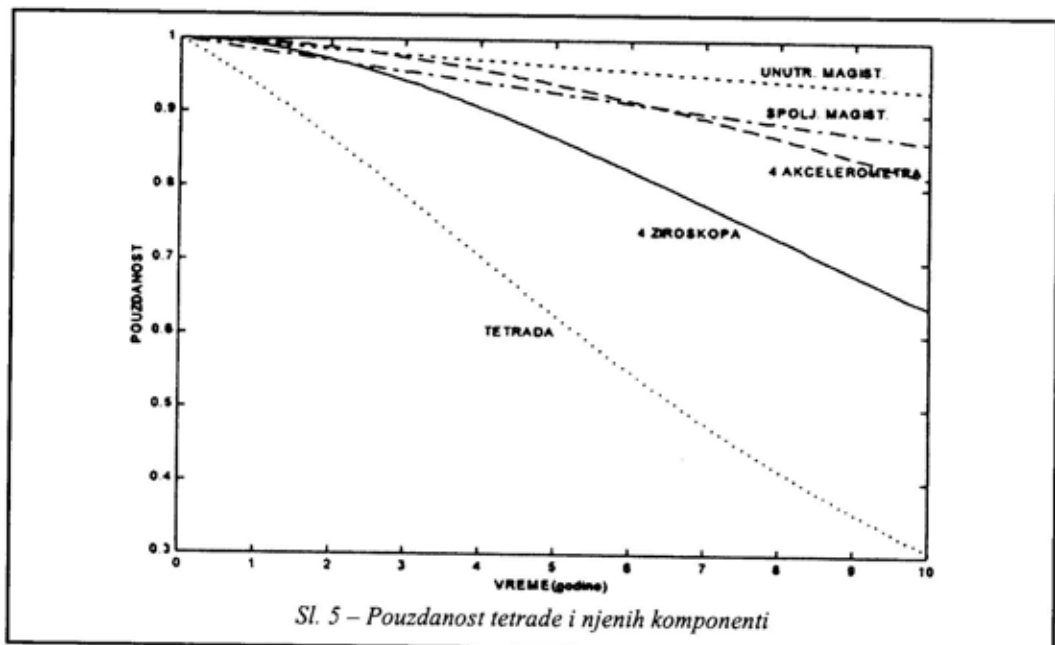
$$R_q = R_{bn} \cdot R_s \cdot R_{4z} \cdot R_{4a} \cdot R_{um} \cdot R_{pr} \cdot R_{sm} \quad (17)$$

gde je:

$R_{4z}$  – pouzdanost tetrade žiroskopa;

$R_{4a}$  – pouzdanost tetrade akcelerometara.

Pouzdanost IMB u arhitekturi tetrade sa doprinosom njenih komponenti prikazana je na slici 5.



### Pouzdanost arhitekture IMB u obliku dvostruke tetrade

Arhitektura IMB u obliku dvostruke tetrade prikazana je na slici 6.

Pouzdanost dvostruke tetrade (da funkcioniše bar jedna tetrada i bar jedna spoljašnja magistrala podataka) jeste:

$$R_{2q} = [R_q^2 + 2R_q(1 - R_q)] \cdot R_{2sm} \quad (18)$$

### Pouzdanost arhitekture IMB u obliku heksade

Arhitektura heksade prikazana je na slici 7.

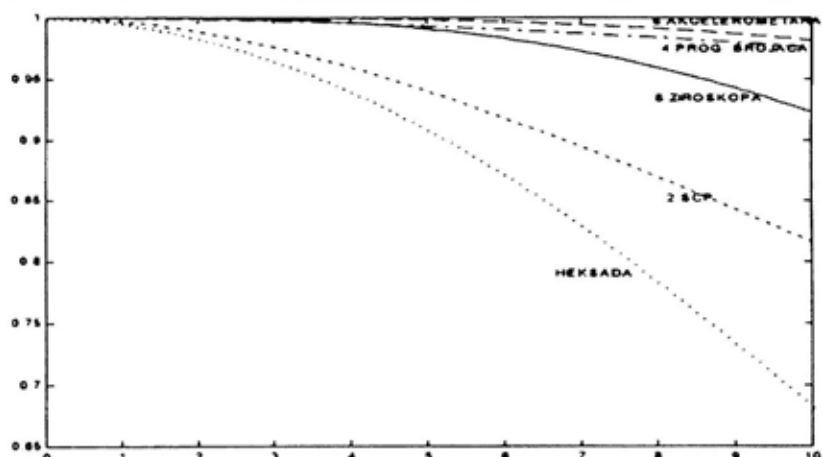
Pouzdanost arhitekture IMB sa jednom heksadom data je formulom:

$$R_h = R_{2bn} \cdot R_s \cdot R_{6z} \cdot R_{6a} \cdot R_{2sm} \cdot R_{2scp} \cdot R_{4pb} \cdot R_{2sm} \quad (19)$$

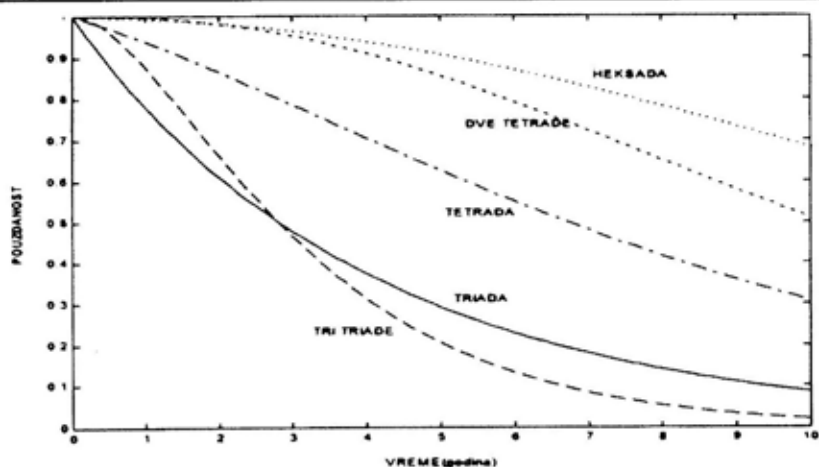
gde je:

$R_{6z}$  – pouzdanost heksade žiroskopa;  
 $R_{6a}$  – pouzdanost heksade akcelometara;





Sl. 8 – Pouzdanost heksade i njenih komponenti



Sl. 9 – Pouzdanost raznih arhitektura IMB za period od 10 godina

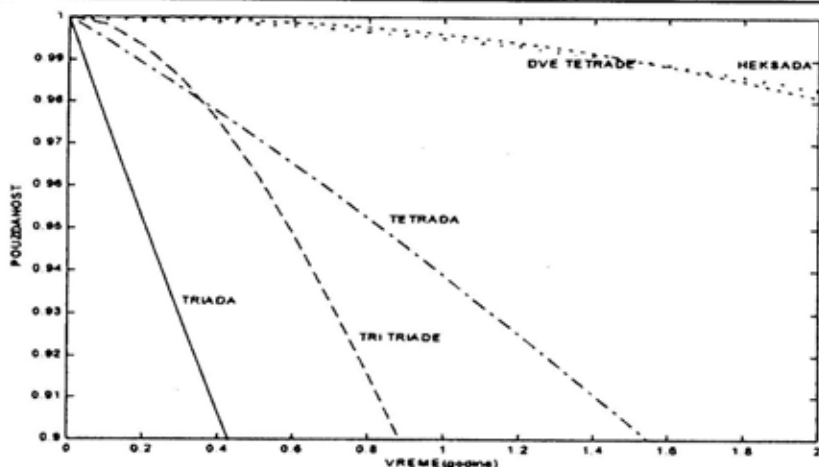
$R_{4pb}$  – pouzdanost četiri programabilna brojača.

Pouzdanost IMB u arhitekturi heksade i njenih komponenti prikazana je na slici 8.

### Uporedna analiza arhitektura IMB

Upoređenje pouzdanosti pet arhitektura prikazano je na slikama 9 i 10. Sa

slike 9 se vidi da je pouzdanost heksade u odnosu na sve ostale arhitekture mnogo veća za period 10 godina. Međutim, ako se posmatra period od 1,5 godine (slika 10), pouzdanost heksade je manja od pouzdanosti arhitekture sa dve tetrade, što nameće potrebu da se koristi pouzdaniji procesor ili tri SCP (šest procesora) umesto dva.



Sl. 10 – Pouzdanost raznih arhitektura IMB za period od 2 godine

## Zaključak

Prilikom odlučivanja o nabavci borbenog aviona svakako treba imati na umu da je INS, pored avionskog radara, jedan od najvažnijih i najskupljih sistema, jer njegove podatke koristi veliki broj ostalih sistema na avionu.

Rezultati sprovedene analize ukazuju na to da je arhitektura IMB u obliku heksade najbolja od analiziranih arhitektura sa stanovišta pouzdanosti IMB, za period upotrebe duži od 1,5 godine, a za period upotrebe do 1,5 godine najbolja je dvostruka tetrada.

### Literatura:

[1] Jeerage, M. K.: Reliability Analysis of Fault - Tolerant IMU Architectures with Redundant Inertial Sensors, IEEE AES Magazine, July 1990.

- [2] Brkić, D.: Proračun pouzdanosti mosne veze elemenata tehničkog sistema analitičkom metodom i metodom Monte Karlo, Vojnotehnički glasnik, 1/2000.
- [3] Harrison, J., Gai, E.: Evaluating Sensor Orientations for Navigation Performance and Failure Detection, IEE Transaction on AES, Vol. AES-13, N°6 Nov. 1977.
- [4] Gai, E., Harrison, J., K. Daly: FDI Performance of Two Redundant Sensor Configurations, IEEE Transaction on AES, Vol. AES-15, N°3, Nov. 1979.
- [5] Walker, B.; Gai, E.: Fault Detection Threshold Determination Technique Using Markov Theory, AIAA J. Guidance and Control, Vol. 2, N°4, July-Aug. 1979.
- [6] Satin, A.; Gates, R.; Evaluation of Parity Equations for Gyro Failure Detection and Isolation, AIAA, J. Guidance and Control, Vol. 2, N°1, Jan.-Feb. 1978.
- [7] Dipasquo, M.: The Integrated Inertial Sensor Assembly (IISA): A redundant strapdown system for advanced aircraft navigation and flight control functions, AGARD 33 rd Symposium of the Guidance and Control Panel, New York, Oct. 1985.
- [8] Baum, R. A., Morrison, G. E. S., Peters, R. C.: A redundant inertial navigation system for IUS, NAECON 1980, Dayton.
- [9] Pokorni, S., Ramović, P., Parčina N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema – zbirka rešenih zadataka, VA VJ, Beograd, 1997.

**Goran Dimitrijević,**  
potporučnik, dipl. inž.  
VP 4795 Beograd

**Dr Bojan Zrnić,**  
major, dipl. inž.  
Vojna akademija VJ,  
Odsek logistike,  
Beograd

## RAČUNARSKI MODEL ZA ANALIZU RADA OSMATRAČKOG RADARA

UDC: 621.396.96 : 519.688

### Rezime:

*U ovom radu predstavljen je računarski model za analizu rada osmatračkog radara. Osnovne karakteristike programa su: interaktivnost, grafički prikaz rezultata i mogućnost uporedjenja rezultata za različite vrednosti verovatnoće lažnog alarma. Rezultati se prikazuju za ceo interval verovatnoće detekcije, za razliku od originalnog programa gde se rezultati prikazuju tabelarno za šest diskretnih vrednosti verovatnoće detekcije i samo jednu vrednost verovatnoće lažnog alarma. Programsko rešenje pruža mogućnost nadgradnje, čime bi se mogao implementirati uticaj klatera i ometača na rad osmatračkog radara.*

*Ključne reči: računarsko modeliranje, radar, detekcija, domet.*

---

## COMPUTER MODEL FOR THE SEARCH RADAR ANALYSIS

### Summary:

*In this paper a computer model for the search radar analysis is presented. The basic properties of the presented software are interactivity, graphical representation of results and possibility to compare results for different probabilities of false alarm. The results are displayed for the whole range of detection probability. The computer model is open for upgrade, for example with clutter and jammer moduli.*

*Key words: computer model, search radar, detection, range.*

---

### Uvod

Radari su ehlokacioni uredaji koji su našli najveću primenu u vojnim sistemima, gde se najčešće koriste za osmatranje radi detekcije i praćenja ciljeva u vazдушnom prostoru. Ukupne performanse radarskog sistema zavise od različitih faktora. Uticaje pojedinih faktora, kao i međusobne veze tih faktora, teško je analitički iskazati i modelovati. Da bi se taj proces olakšao, razvijena je, i u ovom radu prikazana, programska podrška za analizu rada klasičnog osmatračkog radara impulsnog tipa.

Programsko rešenje sadrži proračun faktora detekcije radarskog signala i dometa radara prema metodi koju je predložio Barton u radu [1]. Implementacija je izvršena u programskom jeziku MATLAB. Verifikacija programskog rešenja je izvršena upoređenjem dobijenih rezultata sa rezultatima datim u [1, 2].

### Radarska transmisiona formula

Najznačajnija veličina za analizu karakteristika radara je snaga eho signala

u prijemnom kanalu radara. Za objašnjenje ovog parametra treba započeti analizu od transmisiona formule koja daje vezu predajne i prijemne snage jednog radio-komunikacionog sistema [3]:

$$\Gamma = \frac{P_1}{4\pi R^2} G_1 \quad (1)$$

gde je:

$\Gamma$  – gustina snage koju stvara predajnik na mestu prijema,

$P_1$  – snaga predajnika,

$R$  – rastojanje između prijemnika i predajnika,

$G_1$  ( $G_2$ ) – dobitak antene predajnika (prijemnika).

Gustina snage  $\Gamma$  dolazi na antenu prijemnika, a snaga koju prima prijemnik određena je iznosom:

$$P_2 = \Gamma A_{ef} = \frac{P_1 G_1 A_{ef}}{4\pi R^2}, \quad (2)$$

gde je  $A_{ef}$  – efektivna površina antene.

Ako se iskoristi poznata veza između dobitka antene i njene efektivne površine ( $A_{ef} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G$ ) prethodnu jednačinu

moguće je napisati u obliku koji daje odnos predajne i prijemne snage u sistemu:

$$P_2 = \frac{P_1 G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3)$$

U slučaju radarskog prijemnika analiza je veoma slična. Na mestu prijemnika sada je cilj od kojeg će se reflektovati određeni deo energije radarskog signala. Ako se pretpostavi da radar emituje sig-

nal snage  $P$  i da je dobitak antene  $G$ , tada će gustina snage koju stvara radar na mestu cilja (primarno polje) koji se nalazi na rastojanju  $R$  biti:

$$\Gamma' = \frac{P}{4\pi R^2} G \quad (4)$$

Radarski cilj može se smatrati antenom čija je efektivna površina  $A_{efs}$ . Snaga  $P_s$  koju, usled dejstva indukovanih struja i opterećenja, zrači cilj određena je sa  $A_{efs}$  i  $\Gamma'$ . Uz pretpostavku da na njemu nema gubitaka, cilj će na mestu radara stvoriti gustinu snage  $\Gamma''$  (sekundarno polje) koja iznosi:

$$\Gamma'' = \frac{P_s G_s}{4\pi R^2} = \frac{\Gamma' A_{efs} G_s}{4\pi R^2} = \frac{\Gamma' \sigma}{4\pi R^2} \quad (5)$$

Proizvod  $A_{efs}$  i  $G_s$  ima dimenziju površine i naziva se efektivna refleksna površina cilja, a označava se sa  $\sigma$ . Na osnovu izvedenih relacija moguće je odrediti snagu eho signala u prijemnom kanalu radara:

$$S = \Gamma'' A_{ef} = \Gamma' \frac{\sigma}{4\pi R^2} = \frac{P G A_{ef} \sigma}{(4\pi)^2 R^4} \quad (6)$$

Gornji izraz poznat je kao radarska transmisiona formula ili radarska jednačina [3]. Minimalna snaga korisnog signala  $S_{min}$  koja se na osnovu određenih kriterijuma može detektovati u smeši signal/šum, određuje maksimalni domet radara:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{P G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}} \quad (7)$$

## Detekcija radarskih signala

Pri osmatranju prostora radarom mogu nastati dve nepoznate, ali međusobno isključive situacije. Prva situacija karakteriše se postojanjem cilja u posmatranoj rezoluciono $\acute{c}$ eliji radara, dok se druga definiše odsustvom cilja u rezoluciono $\acute{c}$ eliji radara. Algoritam odlučivanja u najprostijem obliku sastojao bi se od komparacije izlaznog napona prijemnika  $u$  sa unapred definisanim fiksnim naponom  $U_0$  koji predstavlja prag odlučivanja. U slučaju da je izlazni napon prijemnika veći od postavljenog praga, donosi se odluka o postojanju cilja u posmatranoj rezoluciono $\acute{c}$ eliji radara, u suprotnom, donosi se odluka o odsutnosti cilja u rezoluciono $\acute{c}$ eliji radara [3]. Upoređivanje napona prijemnika sa pragom odlučivanja predstavlja eksperiment sa dva moguća slučajna ishoda.

Ako se pretpostavi da se cilj nalazi u rezoluciono $\acute{c}$ eliji, u procesu odlučivanja mogu nastati već pomenuta dva ishoda. Verovatnoća prvog događaja, kada je  $u > U_0$ , naziva se verovatnoća pravilne detekcije i označava se sa  $P_d$ . Verovatnoća drugog događaja, kada je  $u < U_0$ , naziva se verovatnoća propusta cilja i označava se sa  $P_{pc}$ . Ako se u rezoluciono $\acute{c}$ eliji ne nalazi cilj, takođe nastaju dva ishoda odlučivanja: prvi, kada je  $u > U_0$ , što implicira pogrešnu odluku i, drugi, kada je  $u < U_0$ , što dovodi do pravilne odluke. Verovatnoća prvog događaja naziva se verovatnoća lažnog alarma i obeležava se sa  $P_{la}$ , a verovatnoća drugog naziva se verovatnoća pravilnog otkrivanja cilja i obeležava se sa  $P_{pn}$ . Za navedene verovatnoće važe sledeće matematičke relacije:

$$\begin{aligned} P_d + P_{pc} &= 1 \\ P_{la} + P_{pn} &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

Na osnovu ovih relacija može se zaključiti da je dovoljno posmatrati po jednu verovatnoću iz obe grupe, a to su obično verovatnoća detekcije i verovatnoća lažnog alarma.

Šum u prijemnom kanalu radara, kao i smeša signal/šum mogu se predstaviti gausovskim slučajnim procesom. Predstavljanje ovih signala vrši se funkcijom gustine verovatnoće, koja za slučaj čistog šuma glasi:

$$W_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{efn}} e^{-\frac{u^2}{2U_{efn}^2}} \quad (9)$$

a u slučaju smeše signal/šum:

$$W_{n+s} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{efn}} e^{-\frac{(u-A)^2}{2U_{efn}^2}} \quad (10)$$

gde je  $A$  amplituda korisnog signala. Nakon ovih definicija moguće je definisati verovatnoće detekcije i lažnog alarma kao:

$$\begin{aligned} P_d &= \int_0^{\infty} W_{n+s}(u) du \\ P_{la} &= \int_0^{\infty} W_n(u) du \end{aligned} \quad (11)$$

## Modeli radarskih ciljeva

Detekcija radarskih signala zavisi od odnosa koristan signal/šum. Na taj odnos utiču šumovi cilja koji se mogu na-

zvati fluktuacioni šumovi. Nivo šuma koji potiče od cilja zavisi od njegovog oblika, parametara kretanja i aspektnog ugla. Da bi se opisali šumovi fluktuacije moraju se modelirati radarski ciljevi, što se odnosi na opisivanje njihove efektivne refleksne površine. Dakle, treba pronaći odgovarajuću funkciju gustine verovatnoće koja opisuje zavisnost  $\sigma$  od aspektnog ugla, koji je u opštem slučaju stohastička veličina, jer se pravac nailaska cilja ne zna unapred. Na osnovu eksperimentalnih rezultata došlo se do funkcija gustine verovatnoće realnih radarskih ciljeva. Utvrđeno je da se  $\sigma$  realnih ciljeva može opisati  $\chi^2$  raspodelom sa  $2k$  stepeni slobode [3]:

$$W(\sigma) = \frac{1}{(k-1)! \bar{\sigma}} \left( \frac{k\sigma}{\bar{\sigma}} \right)^{k-1} e^{-\frac{k\sigma}{\bar{\sigma}}} \quad (12)$$

Za analizu radarskih sistema koriste se dve funkcije iz ove familije, koje se dobijaju za  $k=1$  i  $k=2$ . U prvom slučaju dobija se eksponencijalna raspodela:

$$W(\sigma) = \frac{1}{\bar{\sigma}} e^{-\frac{\sigma}{\bar{\sigma}}} \quad (13)$$

a u drugom:

$$W(\sigma) = \frac{4\sigma}{\bar{\sigma}^2} e^{-\frac{2\sigma}{\bar{\sigma}}} \quad (14)$$

Ovakve modele prvi je predložio Sverling (Swerling). Prva funkcija koristi se za opis cilja sa većim brojem subreflektora i bez dominantnog reflektora, a druga za opis cilja sa jasno izraženim dominantnim reflektorom i nizom manjih subreflektora. U pogledu korelisanosti

eho impulsa u paketu, Sverling je uveo dva granična slučaja: model sa sporim ili korelisanim fluktuacijama i model sa brzim ili nekorelisanim fluktuacijama. Na osnovu funkcija kojima se opisuje  $\sigma$  cilja i vrste korelacije, Sverling je izradio četiri statistička modela, koji se u literaturi označavaju sa: SW1, SW2, SW3 i SW4. Da bi se obuhvatili svi slučajevi, ovim modelima dodaje se i idealizovani nefluktuirajući model nepokretnog cilja pravilne konfiguracije, koji je opisao Markum (Marcum), i koji se označava sa M.

### Detekcija pojedinačnog radarskog impulsa

Od svakog radarskog cilja, u procesu osmatranja, dolazi do refleksije paketa impulsa koji će se detektovati u radarskom prijemniku. Broj reflektovanih impulsa određuje se na osnovu izraza:

$$n = PRF \frac{\varphi_0}{\Omega_a} \quad (15)$$

gde je:

$n$  – broj reflektovanih impulsa,

$PRF$  – frekvencija ponavljanja impulsa,

$\varphi_0$  – širina snopa zračenja,

$\Omega_a$  – brzina rotiranja antene (skeniranja).

Za proračun faktora detekcije paketa radarskih impulsa neophodno je poznavati faktor detekcije pojedinačnog radarskog impulsa, jer se prema aproksimativnoj metodi, koju je predložio Barton, problem detekcije paketa sa proizvoljnim brojem impulsa može svesti na problem detekcije pojedinačnog impulsa od nefluktuirajućeg cilja [1].

U opštem slučaju može se napisati da je:

$$P_d = F(q, P_{la}) \quad (16)$$

gde je  $q$  – potrebiti odnos signal/šum u prijemniku radara.

U praksi je obično potrebno odrediti potreban odnos signal/šum za unapred date verovatnoće detekcije i lažnog alarma, što se može postići rešavanjem prethodne jednačine po  $q$ , i tada se dobija  $q = q(P_d, P_{la})$ .

Minimalna snaga korisnog signala u prijemniku radara prikazana je sledećim izrazom:

$$S_{min} = kT_s B q(P_d, P_{la}) \quad (17)$$

gde je:

$k$  – Bolcmanova konstanta,  
 $T_s$  – temperatura šuma sistema,  
 $B$  – frekvencijski opseg.

Ako se izraz (17) uvrsti u radarsku jednačinu dobija se:

$$R = \sqrt[4]{\frac{PG^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_s B q(P_d, P_{la})}} = R(\sigma, P_d, P_{la}) \quad (18)$$

Na osnovu jednačine (18) može se zaključiti da domet radara zavisi od efektivne refleksne površine cilja i verovatnoća detekcije i lažnog alarma koje definišu potrebiti odnos signal/šum koji se naziva faktor detekcije (detectability factor) i označava sa  $D$ . Da bi se naglasio model cilja i ustanovilo da li se radi o detekciji pojedinačnog impulsa ili paketa impulsa, uvode se dopunske oznake. Na primer, za nefluktuirajući cilj i pojedinačni impuls oznaka bi bila:  $D_0(I)$ ; dok

bi za SWI i paket impulsa bilo:  $D_I(n)$ . Analogno, uvode se oznake i za ostale ciljeve, indeks označava model cilja, a oznaka u zagradi vrstu detekcije.

Detekcija radarskog signala može se obaviti na jedan od sledeća tri načina [3]:

- sinhronim detektorom,
- $1 - Q$  kvazisinhronim detektorom,
- diodnim detektorom.

Sinhrona detekcija zahteva tačno poznavanje početne faze eho signala i ima samo teorijski značaj, jer radarski eho signali najčešće imaju slučajnu fazu. Međutim, ovaj postupak detekcije zahteva najmanji odnos signal/šum za date verovatnoće  $P_d$  i  $P_{la}$ , pa se koristi kao referentni okvir za upoređenje ostalih metoda detekcije. Ako se uporede rezultati proračuna faktora detekcije kada se koristi sinhroni detektor sa rezultatima kada se koristi detektor obvojnice (bilo kvazisinhroni, bilo diodni detektor) može se doći do podataka o gubitku detektora (detector loss) koji se izražava empirijskom formulom [1]:

$$C_x(I) \equiv \frac{D(I)}{D_c(I)} = \frac{D_0(I) + 2,3}{D_0(I)} \quad (19)$$

gde je:

$C_x(I)$  – gubitak detektora pri detekciji jednog impulsa,  
 $D_0(I)$  – faktor detekcije za jedan impuls od cilja tipa M pri korišćenju detektora obvojnice,  
 $D_c(I)$  – faktor detekcije za jedan impuls od cilja tipa M kada se koristi sinhroni detektor.

Vrednosti  $C_x$  realno su jako male, tako da se može izvršiti aproksimacija i umesto korišćenja komplikovane Rajsove i Rejljeve raspodele funkcije gustine



verovatnoće pri proračunu faktora detekcije detektora obvojnice može se koristiti Gausova raspodela. Opravdanje za ovu aproksimaciju nalazi se, kao što je već rečeno, u vrednostima  $C_x$  koje iznose npr. za  $P_d = 0,9$ ;  $P_{la} = 10^{-6}$  vrednost je  $C_x(l) = 0,4$  dB ili za  $P_d = 0,5$ ;  $P_{la} = 10^{-4}$  vrednost je  $C_x(l) = 0,8$  dB.

Ako se usvoji navedena aproksimacija, dobija se da su verovatnoće detekcije i lažnog alarma određene sledećim izrazima:

$$P_d = \int_{U_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{efn}^2} e^{-\frac{(u-A)^2}{2U_{efn}^2}} du \quad (20)$$

$$P_{la} = \int_{U_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{efn}^2} e^{-\frac{u^2}{2U_{efn}^2}} du \quad (21)$$

Ovi integrali nemaju analitičko rešenje, ali se njihove vrednosti mogu odrediti na osnovu tablične funkcije  $\Phi(x)$  koja glasi:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (22)$$

tako da su sada  $P_d$  i  $P_{la}$ :

$$P_{la} = \Phi\left(\frac{U_0}{U_{efn}}\right) \quad (23)$$

$$P_d = \Phi\left(\frac{U_0 - A}{U_{efn}}\right) = \Phi\left(\frac{U_0}{U_{efn}} - \sqrt{2q}\right)$$

Ako se iz prethodnih jednačina izračuna odnos signal/šum dobiće se:

$$q = \frac{1}{2} \left( \Phi^{-1}(P_d) - \Phi^{-1}(P_{la}) \right)^2 = q(P_d, P_{la}) \quad (24)$$

gde je  $\Phi^{-1}(x)$  inverzna funkcija od  $\Phi(x)$ . Funkcija  $\Phi(x)$  u direktnoj je vezi sa funkcijom koja je u matematici poznata pod nazivom funkcija greške i koja se označava sa *erf*. Ta veza određena je sledećim relacijama, čijim se prostim kombinovanjem dolazi do potrebnog izraza za odnos signal/šum koji će biti korišćen u programskom rešenju:

$$\begin{aligned} erf(x) &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt = Y \\ erfc(x) &= 1 - erf(x) = 1 - Y \\ \Phi(x) &= \frac{1}{2} erfc\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \\ \Phi^{-1}(x) &= \sqrt{2} erfc^{-1}(2x) \\ erf^{-1}(Y) &= erfc^{-1}(1 - Y) \end{aligned} \quad (25)$$

Izraz za odnos signal/šum je:

$$\begin{aligned} q &= D_c(1) = \\ &= \left[ \sqrt{2} erfc^{-1}(2P_{la}) - \sqrt{2} erfc^{-1}(P_d) \right]^2 = \\ &= \left[ \sqrt{2} erf^{-1}(1 - 2P_{la}) - \sqrt{2} erf^{-1}(1 - 2P_d) \right]^2 \end{aligned} \quad (26)$$

gde je:  
 $erfc^{-1}$  – inverzna funkcija komplementarne funkcije greške,  
 $erf^{-1}$  – inverzna funkcija funkcije greške.

Izračunati odnos signal/šum predstavlja faktor detekcije za jedan koherentni impuls (impuls poznate faze), odnosno kada se koristi sinhroni detektor. Ako se želi odrediti faktor detekcije kada se koristi detektor obvojnice, mora se koristiti Nortova (North) aproksimacija:

$$D_0(1) = \left[ \sqrt{\frac{1}{P_{la}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \Phi^{-1}(P_d)} \right]^2 - \frac{1}{2} = \left[ \sqrt{\frac{1}{P_{la}} - \operatorname{erfc}^{-1}(2P_d)} \right]^2 - \frac{1}{2} \quad (27)$$

Proračunavanjem faktora detekcije za nekoherentni impuls (impuls nepoznate faze) završava se proračun u slučaju detekcije pojedinačnog radarskog impulsa za nefluktuirajući cilj.

Kada se proračun vrši za fluktuirajući cilj (model SW1), faktor detekcije egzaktno je prikazan izrazom:

$$D_1(1) = \frac{\ln P_{la}}{\ln P_d} - 1 \quad (28)$$

Upoređujući  $D_0(1)$  i  $D_1(1)$  dolazi se do pojma gubitaka fluktuacije koji su definisani izrazom:

$$L_f(1) = \frac{D_1(1)}{D_0(1)} \quad (29)$$

### Detekcija paketa radarskih impulsa

Pri obasjavanju cilja radarskim snopom dolazi do refleksije paketa radarskih impulsa čiji je broj određen jednačinom (15). Pogodnom obradom paketa primljenih impulsa može se postići povećanje faktora detekcije, tj. može se ostvariti ista verovatnoća detekcije sa manjim odnosom signal/šum. Obrada primljenih impulsa naziva se integracija i može biti: koherentna, nekoherentna (video) i binarna (digitalna).

Pri idealnoj koherentnoj integraciji odnos signal/šum za paket impulsa prikazan je izrazom:

$$D_c(n) = \frac{D_c(1)}{n} \quad (30)$$

Može se primetiti da je u ovom slučaju potreban odnos signal/šum  $n$  puta manji, što praktično znači da postoji procesno pojačanje, koje je jednako broju impulsa. Takođe, nema gubitaka integracije.

Nekoherentna integracija češće se primenjuje u konvencionalnim radarskim sistemima. U tom slučaju, proračun faktora detekcije odvija se kroz određeni postupak. Proces započinje proračunom gubitaka detektora prema izlazu:

$$C_x = \frac{D_0(n) + 2,3}{D_0(n)} \quad (31)$$

Zatim se računa gubitak integracije

$$L_i = \frac{nD_0(n)}{D_0(1)} = \frac{C_x(n)}{C_x(1)} \quad (32)$$

na osnovu sledećeg izraza:

$$L_i = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{9,2n}{D_c(1)}}}{1 + \sqrt{1 + \frac{9,2}{D_c(1)}}} \quad (33)$$

Ako je u pitanju Markumov model cilja, faktor detekcije prikazan je izrazom:

$$D_0(n) = \frac{D_0(1)L_f(n)}{n} \quad (34)$$

U slučaju Sverlingovih modela ciljeva potrebno je odrediti gubitke fluktuacije koji su za model SW1 dati izrazom:

$$10 \log L_f(n) = (1 + 0,031 \log n) 10 \log L_f(1) \quad (35)$$

Gubici fluktuacije u opštem slučaju zavise od izbora modela cilja i od broja nezavisnih impulsa  $n_e$  u paketu od  $n$  impulsa. Određuju se na osnovu sledeće relacije:

$$L_f(n, Kn_e) = [L_f(n)]^{\frac{1}{Kn_e}} \quad (36)$$

gde je  $2K$  – broj stepeni slobode određenog cilja.

Vrednosti za  $n_e$  i  $K$  prikazane su u tabeli 1.

Parametri ciljeva Tabela 1

Model cilja	$n_e$	K
M	$\infty$	$\infty$
SW1	1	1
SW2	n	1
SW3	2	2
SW4	2n	2

Nakon izračunatog gubitka flutucije izračunava se osnovni faktor detekcije za paket od  $n$  impulsa u kojem postoji  $n_e$  nezavisnih impulsa:

$$D_e(n, n_e) = \frac{D_0(1)L_f(n)L_f(n, Kn_e)}{n} \quad (37)$$

Time je osnovni proračun faktora detekcije završen.

Faktor detekcije najčešće se izražava u dB, tako da je:

$$D_e(n, n_e)_{dB} = D_0(1)_{dB} + L_f(n)_{dB} + \frac{1}{n_e} L_f(1)_{dB} - 10 \log n \quad (38)$$

Nakon završenog proračuna osnovnog faktora detekcije potrebno je pronaći efektivni faktor detekcije  $D_x$ . Ovaj parametar obuhvata i dodatne gubitke usled obrade signala i nesavršenosti oblika dijagrama zračenja antene. Vrednost efektivnog faktora detekcije koristi se u radarskoj jednačini za proračun dometa radara:

$$R_0 = \sqrt{\frac{P_{sr} t_{pri} G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_s D_x L_f}} \quad (39)$$

Efektivni faktor detekcije izračunava se na osnovu sledećeg izraza:

$$D_x = D_e(n, n_e) M L_p L_x \quad (40)$$

gde je:

$M$  – faktor podešenosti filtra koji označava za koliko se mora povećati energija signala da bi se kompenzovalo to što se u prijemniku koristi razdešeni, a ne prilagođeni filter,

$L_p$  – gubici zbog oblika dijagrama zračenja (zbog toga što dijagram zračenja ima oblik latice, a ne idealni pravougaoni završetak),

$L_x$  – ostali gubici usled obrade signala. Preko ovog parametra zbirno se zadaju ostali gubici koji nastaju u toku obrade radarskog signala.

## Programsko rešenje „RADAR\_SIM“

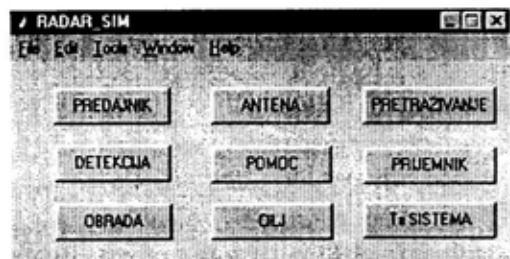
Programsko rešenje je implementirano u programskom jeziku MATLAB, i sastoji se od devet celina (modula). Glavni modul programa nazvan je „RADAR\_SIM“. Svaki modul komunicira sa korisnikom preko grafičkog interfejsa. Svi podaci koji su inicijalno postavljeni na određene vrednosti odgovaraju hipotetičkom radaru razmatranom u literaturi [1]. Pokretanjem programa na ekranu se dobija glavni meni programa koji je prikazan na slici 1.

Rad programa i pojedinih modula detaljno je prikazan u literaturi [4], a u ovom radu detaljnije su opisani samo neki moduli.

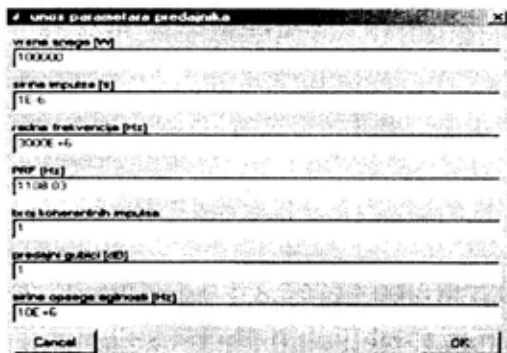
Izborom opcije „PREDAJNIK“ korisnik može zadati nove parametre predajnika ili zadržati ponuđene vrednosti, a promenu vrednosti parametara obavlja putem dijaloga sa slike 2.

Kada je korisnik postavio željene parametre aktivira komandu „OK“, čime se nastavlja izvršenje programa. Na ekranu komandnog prostora ispisuju se vrednosti koje se proračunavaju na osnovu zadatih parametara predajnika. Parametri koje može uneti korisnik su:

- vršna snaga  $P_t$  [W],
- širina impulsa  $\tau$  [s],



Sl. 1 – Glavni meni programa



Sl. 2 – Promena vrednosti parametara

- radna frekvencija radara [Hz],
- frekvencija ponavljanja impulsa  $f_{PRF}$  [Hz],
- broj koherentnih impulsa  $n_c$  (programski se postavlja na 1 što odgovara nekoherentnoj predaji),
- predajni gubici  $L_t$  [dB], (unosi se gubitak između tačke na kojoj je mereno  $P_t$  i antenskog terminala na kojem je meren dobitak antene),
- širina opsega agilnosti  $B_a$  [Hz].

Parametri koji se programski računaju i ispisuju na ekran su:

- srednja snaga  $P_a$  [W] koja se dobija iz izraza  $P_a = P_t \tau f_{PRF}$
- slepa brzina  $V_b$  [m/s] računa se kao

$$V_b = f_{PRF} \frac{\lambda}{2}$$

- jednoznačni domet  $R_u$  [m] pomoću

$$R_u = \frac{c}{2f_{PRF}}, \text{ gde je } c \text{ brzina svetlosti.}$$

U sledećem modulu opisana je radarska antena. Opis je izveden na uobičajen način, odnosno preko zadavanja dobitka (eng. gain), širine snopa (eng. beamwidth) i nivoa bočnih snopova (eng. sidelobe levels). Zadavanje parametara se obavlja odvojeno za azimut i za elevaciju (slika 3).

Unos parametara (vremeno predajna antena po azimutu)	
dobitak [dB]	40
širina snopa po azimutu [step]	1.3
nivo prvog bočnog snopa po azimutu [dB]	-25
nivo dalekog bočnog snopa po azimutu [dB]	-45
nivo snopova unazad po azimutu [dB]	50
omski gubici antene [dB]	0.23
Cancel	Ok

Sl. 3 – Zadavanje parametara

Parametri prijemno-predajne antene radara koje unosi korisnik su:

- dobitak antene  $G$  [dB],
- širina snopa po azimutu  $\theta_{Ta}$  [stepen] (vrednost ovog parametra biće kasnije korišćena za proračun vremena observacije  $t_o$  (observation time) i broja reflektovanih impulsa raspoloživih za integraciju),
- nivo prvog bočnog snopa po azimutu  $G_{sa}$  [dB],
- nivo dalekog bočnog snopa po azimutu  $G_{sf}$  [dB],
- nivo snopova unazad po azimutu  $G_b$  [dB],
- omski gubici antene  $L_{om}$  [dB], (ovaj parametar biće kasnije upotrebljen za proračun temperature antene).

Programski se računaju i na ekranu ispisuju sledeći parametri:

- efektivna širina snopa po azimutu  $\theta_{Aef}$  [stepen] (pošto se radi o istoj anteni za prijem i predaju ova vrednost je jednaka širini snopa po azimutu, inače se računa prema izrazu:

$$\theta_{Aef} = \frac{1,4\theta_{Ta}\theta_{Ra}}{\sqrt{\theta_{Ta}^2 + \theta_{Ra}^2}} \quad (41)$$

gde je  $\theta_{Ra}$  širina snopa po azimutu predajne antene);

– konstanta širine snopa po azimutu  $K_a$  koja se računa za dijagram zračenja zasnovan na Tejlorovoj funkciji prema izrazu:

$$K_a = 0,9 - 0,0135 (G_{sa} + 15) \quad (42)$$

– širina antenskog otvora  $w$  [m] koja se računa iz izraza:

$$w = \frac{K_a \lambda}{\theta_{Ta}} \quad (43)$$

Nakon toga prelazi se na izvršenje dela programa u kojem se zadaju parametri mehanički upravljane reflektorske antene, potrebni za proračun efikasnosti zračenja antene i njene ukupne efikasnosti. Izvršavanjem ovog dela programa, parametri potrebni za dalje proračune smeštaju se u datoteku.

Sledeći modul programa je „PRETRAŽIVANJE“. U njemu je modelirano sektorsko skeniranje prostora po azimutu, koje se najčešće primenjuje kod osmatračkih radara. Programski se zadaju parametri potrebni za proračun vremena obasjavanja  $t_\theta$ , broja reflektovanih impulsa od cilja  $n$  i faktora propagacije  $F$ .

Nakon izvršenog modula „PRETRAŽIVANJE“ sledi modul „PRIJEMNIK“. Korisnik zadaje parametre prijemnika, od kojih zavisi faktor detekcije, odnosno kvalitet prijemnog signala. Parametri koje zadaje korisnik su:

- faktor šuma prijemnika  $F_n$  [dB],
- gubici u prijemniku  $L_r$  [dB],
- fizička temperatura prijemnika  $T_p$  [K].

Rezultat izvršenja programa jeste određivanje efektivne temperature prijemnika  $T_e$  [K], prema izrazu:

$$T_e = (F_n - 1)T_\theta \quad T_\theta = 290K \quad (44)$$

Nastavljanje rada sa programom izvodi se pokretanjem modula „DETEKCIJA“ u kojem je implementirana Bartonova aproksimativna metoda detekcije, objašnjena u prethodnom delu ovog teksta. U ovom modulu korisnik može zadati četiri vrednosti verovatnoće lažnog alarma, dok je verovatnoća detekcije programski određena kao vektor čije se vrednosti nalaze u opsegu od 0 do 1, tako da će krajnji rezultat biti grafički prikaz dometa radara u funkciji verovatnoće detekcije. U ovom delu programa proračunavaju se faktor detekcije za jedan koherentni impuls  $D_c(l)$ , faktor detekcije za jedan nekoherentni impuls od nepokretnog cilja  $D_o(l)$ , i gubici integracije  $L_i(n)$  za slučaj detekcije paketa radarskih impulsa. Time je završen program za proračun faktora detekcije i njegovi rezultati se smeštaju u posebnu datoteku uz prethodni ispis vremena lažnog alarma  $t_{la}$  koje se računa prema izrazu:

$$t_{la} = \frac{n\tau}{P_{la}} \quad (45)$$

Parametri obrade signala unose se u modulu „OBRADA“. Podaci koje može uneti korisnik su:

- faktor podešenosti filtra  $M$  [dB],
- gubici zbog oblika dijagrama zračenja  $L_p$  [dB],
- „collapsing“ gubici  $L_c$  [dB],
- „angle straddling“ gubici  $L_{as}$  [dB],
- gubici usled zamračenja  $L_e$  [dB],
- gubici praga ili CFAR (Constant False Alarm Rate) gubici  $L_f$  [dB],
- gubici operatora  $L_o$  [dB],
- ostali gubici obrade  $L_{xo}$  [dB].

Programski se računaju ukupni gubici obrade, a podaci potrebni za prora-

čun efektivnog faktora detekcije smeštaju se u datoteku.

Nakon izvršenja potprograma „OBRADA“ sledi modul „TEMPERATURA SISTEMA“. Proračun temperature sistema neophodno je izvršiti, jer snaga šuma, a samim tim i odnos signal/šum, zavise od temperature sistema. Posle pokretanja modula na ekranu se dobija dijalog za unos parametara putanje radarskog cilja, koji je prikazan na slici 4. Unos ovih parametara potreban je zbog kasnijeg proračuna referentnog dometa radara i gubitaka u atmosferi.

Nakon unosa parametara na ekranu se dobijaju sledeći rezultati:

- referentni domet  $R_x$  [km], koji se računa prema sledećem izrazu:

$$R_x = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P_a t_o G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 F_n L_r L_t}} \quad (46)$$

Pri proračunu referentnog dometa uzima se da je odnos signal/šum 12 dB i da su uslovi propagacije idealni, tj. da nema slabljenja u atmosferi;

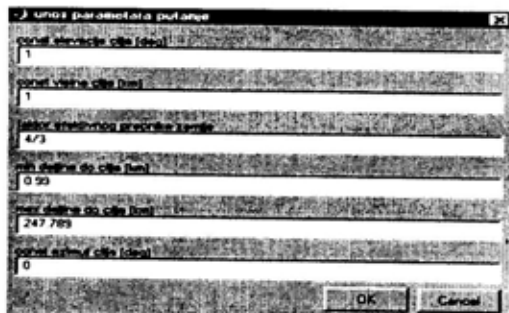
- efektivna elevacija  $\theta_{ef}$  koja se određuje iz izraza:

$$\theta_{ef} = \theta_{te} + \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{\theta_{te} + 0,028} \quad (47)$$

gde je potrebno zadati uglove u radijanima,

- efektivna dužina putanje na nivou mora (sea level pathlength) koja se izračunava pomoću izraza:

$$R_a = \frac{3,0}{\sin \theta_{ef}} [km] \quad (48)$$

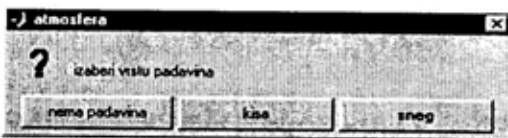


Sl. 4 – Unos parametara putanje radarskog cilja

– koeficijent slabljenja u čistoj atmosferi  $k_a$  [dB/km], čija vrednost zavisi od radarskog opsega. Karakteristične vrednosti ovog parametra prikazane su u tabeli 2. Ukoliko korisnik unese vrednost frekvencije između frekvencija naznačenih u tabeli, vrednost koeficijenta slabljenja računa se logaritamskom interpolacijom.

Nakon prikaza ovih rezultata na ekranu korisnik dobija pitanje da specificira padavine u atmosferi (slika 5).

Ukoliko korisnik izabere opciju „nema padavina“ slabljenje u atmosferi biće jednako prethodno izračunatom slabljenju u čistoj atmosferi, a ako izabere opciju „kiša“ ili „sneg“ na ekranu dobija dijalog za unos parametara padavina. Parametri koje korisnik može uneti su:



Sl. 5 – Specifikacija atmosferskih padavina

- brzina padavina  $r$  [mm/h],
  - maksimalna visina padavina [km],
  - minimalna daljina padavina [km],
  - maksimalna daljina padavina [km].
- Koeficijent slabljenja u slučaju padavina računa se prema izrazu:

$$k'_a = \frac{k_{ap}}{r} + k_a \quad (49)$$

gde je:

- $k'_a$  – ukupno slabljenje u atmosferi,
  - $k_{ap}$  – koeficijent slabljenja za određenu vrstu padavina,
  - $k_a$  – slabljenje u čistoj atmosferi.
- Sledeći korak je proračun gubitaka u atmosferi prema sledećem izrazu:

$$L_\alpha = k_a R_\alpha (1 - e^{-\frac{R}{R_\alpha}}) \quad (50)$$

Vrednost slabljenja u atmosferi, koja će biti korišćena pri proračunu temperature neba, računa se za domet radara do 500 km i smatra se konstantnom na celom intervalu  $0 \text{ km} < R < 500 \text{ km}$ .

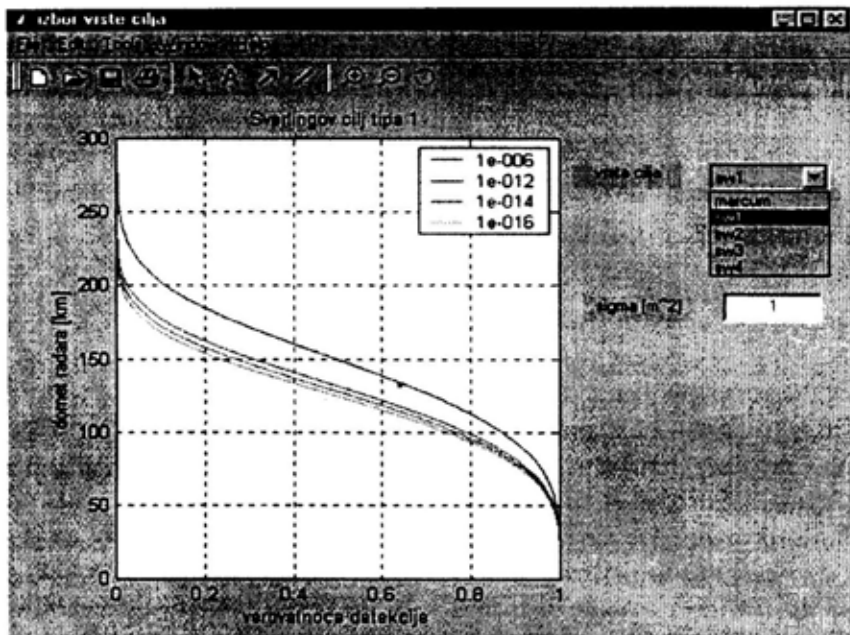
U nastavku izvršenja programa korisnik zadaje vrednost faktora galaktičkog i solarnog šuma, koji predstavlja komponentu temperature neba. Vrednost tog parametra postavljena je na  $K_g = 3 \cdot 10^8$ , što znači da ovi šumovi imaju normalnu vrednost. Temperatura ovih šumova računa se prema izrazu:

Koeficijenti slabljenja u atmosferi

Tabela 2

opseg	UHF	L	S	C	X	$K_u$	K	$K_s$	V	W		
$f$ [GHz]	0,4	1,3	3	5,5	10	15	22	35	60	95	140	240
$K_a$ [dB/km]	0,01	0,0012	0,015	0,017	0,024	0,055	0,3	0,14	35	0,8	1	15
$k_{ap}/r$ (kiša)	0	0,0003	0,0013	0,008	0,037	0,083	0,23	0,57	1,3	2	2,3	2,2
$k_{ap}/r$ (sneg)	0	0,0003	0,0013	0,008	0,002	0,0004	0,008	0,015	0,03	0,06	0,006	0,08





Sl. 6 – Zavisnost dometa radara od verojatnoće detekcije

$$T_g = \frac{K_g}{f^{2.5}} + T_1$$

$$(51) \quad T_a = \frac{(0,88T'_a - 254)}{L_{om}} + 290 \quad (54)$$

gde je  $f$  – frekvencija nosioca u MHz a  $T_1 = 5$  K.

gde  $L_{om}$  predstavlja omske gubitke antene.

Zatim se proračunava temperatura neba koja, pored galaktičke komponente, ima i komponentu usled atmosfere  $T_{pa}$ :

Nakon toga proračunava se temperatura šuma RF komponenti  $T_r$ :

$$T_{pa} = 290 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{L_\alpha}} \right) \quad (52)$$

$$T_r = T_{tr} (L_r - 1) \quad (55)$$

Temperatura neba je:

$$T'_a = T_g + T_{pa} \quad (53)$$

gde je  $T_{tr}$  fizička temperatura prijemnog voda, a  $L_r$  su gubici u prijemnomvodu. Treća komponenta temperature šuma sistema već je određena u delu programa koji se odnosio na prijemnik, što je ekvivalentna temperatura prijemnika  $T_e$ . Sada se može izračunati temperatura šuma sistema prema izrazu:

Nastavak programa proračunava temperaturu šuma sistema, a prvi korak je proračun temperature šuma antene  $T_s$ :

$$T_s = T_a + T_r + L_r T_e \quad (56)$$

Krajnji rezultat izvršenja programa jeste grafički prikaz zavisnosti dometa radara od verovatnoće detekcije za različite vrednosti verovatnoće lažnog alarma. Do ovog rezultata dolazi se pokretanjem modula „CILJ“ sa glavnog menija, posle čega se na ekranu pojavljuje slika 6.

Izborom tipa cilja obavlja se učitavanje datoteka sa potrebnim podacima (koje su formirane u toku izvršenja prethodnog dela programa) i proračunava se osnovni faktor detekcije  $D_e(n, n_e)$ , efektivni faktor detekcije  $D_x$  i, konačno, domet radara. Takođe, moguće je interaktivno uneti novu vrednost efektivne refleksne površine cilja.

## Zaključak

Računarski model za analizu rada osmatračkog radara sačinjen je na osnovu matematičkog modela koji je prikazan u literaturi [1]. Osnovne karakteristike programa su: interaktivnost, grafički prikaz rezultata i mogućnost upoređenja re-

zultata za različite vrednosti verovatnoće lažnog alarma. Rezultati se prikazuju za ceo interval verovatnoće detekcije, za razliku od originalnog programa gde se prikazuju tabelarno za šest diskretnih vrednosti verovatnoće detekcije i samo jednu vrednost verovatnoće lažnog alarma. Programsko rešenje pruža mogućnost nadgradnje, čime bi se mogao implementirati uticaj klatera i ometača na rad osmatračkog radara. U svakom trenutku rada sa programom moguće je izmeniti vrednost bilo kog parametra i sagledati njegov uticaj na domet radara, što nije dato kao mogućnost u originalnom programu.

## Literatura:

- [1] Barton, D. K.: Modern Radar System Analysis, Artech House, Norwood, 1988.
- [2] Barton, D. K.: Modern Radar System Software, User manual, Artech House, Norwood, 1992.
- [3] Zatkalik, J.: Radiolokacija I deo, IP Nauka Beograd, 1995.
- [4] Dimitrijević, G.: Programska podrška analizi rada osmatračkog radara, Diplomski rad, Vojna akademija, Odsek logistike, Beograd, 2001.

## MOGUĆNOST PRIMENE METODA TEORIJE MASOVNOG OPSLUŽIVANJA U OPSLUŽIVANJU NADZVUČNE AVIJACIJSKE ESKADRILE

UDC: 519.872.6 : 629.4.065 : 358.412

### Rezime:

*U radu je razmatrana mogućnost primene teorije masovnog opsluživanja u opsluživanju nadzvučne avijacijske eskadrile u rastresitom rasporedu. Istraživanje je obavljeno sa ciljem da se proverí da li istakači projektovani za punjenje gorivom lovačko-bombarderske eskadrile mogu zadovoljiti potrebe nadzvučne avijacijske eskadrile. Cilj ovoga rada je matematičko modeliranje na osnovu kojeg se može oceniti efikasnost funkcionisanja sistema masovnog opsluživanja primenjen na opsluživanje nadzvučne avijacijske eskadrile.*

*Ključne reči: masovno opsluživanje, nadzvučna avijacijska eskadrila, verovatnoća opsluživanja, događaj.*

---

## POSSIBILITY TO APPLY THE MASS SERVICING THEORY METHOD TO SUPERSONIC AIRCRAFT SQUADRON SERVICING

### Summary:

*This paper deals with a possibility to apply the mass servicing theory in the servicing of supersonic aircraft squadron in dispersed formation. The research has been conducted with the purpose of checking whether fuellers designed for refuelling a fighter-bomber aircraft squadron can satisfy the requirements of a supersonic aircraft squadron. The purpose of the paper is a mathematical modelling which can be used to estimate efficiency of mass servicing system functioning applied to supersonic aircraft squadron servicing.*

*Key words: mass servicing, supersonic aircraft squadron, servicing probability, event.*

---

### Uvod

Razvoj nauke, tehnike, ekonomije, vojnih nauka i vojne tehnike u poslednjim decenijama doveo je do potrebe da se analiziraju složeni sistemi, čije je korišćenje pod uticajem složenih faktora. Specifičnost takvih sistema zahteva poseban pristup u proučavanju, pa i poseban način upravljanja njima. Takvi sistemi su npr.

sistem protivvazdušne odbrane, aerodrom, sistem veza, pa i sistem održavanja i opsluživanja vazduhoplovnotehničkih materijalnih sredstava (VTMS).

Teorija masovnog opsluživanja proučava procese u kojima se, s jedne strane, razmatraju zahtevi za nekim opsluživanjem i, s druge strane, mogućnosti zadovoljenja tih zahteva. Pod rešavanjem zadataka u teoriji masovnog opsluživanja

podrazumeva se određivanje funkcionalnih veza između pokazatelja efektivnosti funkcionisanja sistema opsluživanja, kao što su verovatnoća opsluživanja zahteva ili potreba za opsluživanjem, verovatnoća stajanja sredstava opsluživanja, s jedne strane, i karakteristika toka zahteva za opsluživanje, vremena njihovog opsluživanja, kao i načina organizacije opsluživanja, s druge strane [1].

Opsluživanje VTMS obuhvata [2]:

- popunu VTMS gorivom, mazivom, ostalim tečnostima i gasovima,
- podvešavanje ubojnih sredstava,
- vuču VTMS,
- uklanjanje vazduhoplova sa mesta udesa,
- čišćenje, pranje i podmazivanje VTMS.

Pod analizom sistema masovnog opsluživanja podrazumevaju se [3]:

- analiza ulaznog potoka korisnika,
- vremena čekanja korisnika u redu,
- vremena opsluživanja,
- izlazni potok korisnika.

U radu je prikazan opšti proces sistema opsluživanja sa svim mogućim karakteristikama toka zahteva, redova čekanja i opsluživanja nadzvučne avijacijske eskadrile, kao i raznim kriterijumima koji mogu da se postave za ocenu sistema opsluživanja. Proces koji se odvija u sistemu za opsluživanje je dinamički proces stohastičkog tipa. Rad bilo kog sistema za masovno opsluživanje sastoji se u ispunjavanju zahteva.

### Osnovni pojmovi teorije masovnog opsluživanja

Pod *korisnikom opsluživanja* podrazumeva se svaki zahtev za opsluživa-

njem, koji potiče od proizvoljnog objekta, a takode i sam objekat nezavisno od toga šta on predstavlja, jer je u analizi važno da se kod tog objekta pojavila potreba za opsluživanjem. Korisnik može biti avion koji treba da sleti ili uzleti, neprijatelj avion u zoni protivvazdušne odbrane ili VTMS na kojem treba sprovesti određene postupke održavanja.

Svako proučavanje u teoriji masovnog opsluživanja počinje proučavanjem objekta opsluživanja, odnosno proučavanjem ulaznog potoka korisnika. Korisnici stupaju na mesto opsluživanja u slučajnim momentima. Za većinu slučajeva može se pretpostaviti da su momenti nailaska pojedinih korisnika nezavisni. Korisnici koji pristupaju na opsluživanje čine *ulazni potok* korisnika. Ako ne mogu biti odmah opsluženi, korisnici obrazuju red. Takvi su redovi aviona iznad aerodroma koji čekaju da se oslobode piste za sletanje, VTMS i TMS koja čekaju da budu opslužena u vazduhoplovnotehničkoj radionici, avioni koji čekaju na popunu gorivom, vazduhom, kiseonikom, naružanjem, i dr.

Tehnička sredstva ili osoblje koje obavlja opsluživanje naziva se *kanal opsluživanja*. On može biti pista na aerodromu, jedinica protivvazdušne odbrane, aviomehaničar u radionici i dr. Mnogobrojni proračuni, izvedeni pri rešavanju različitih zadataka teorije masovnog opsluživanja, pokazuju da se u većini slučajeva može dobiti zadovoljavajuće rešenje ako se pretpostavi da su potoci korisnika Poasonovi (Poissonovi). U procesima masovnog opsluživanja skoro uvek treba uzimati u obzir uticaj slučajnosti na čitav tok procesa opsluživanja: broj korisnika nije konstantan u jednakim vremenskim

intervalima već podleže slučajnim kolebanjima, ali se isto tako i vremena opsluživanja menjaju slučajno od korisnika do korisnika. Slučajan karakter ulaznog protoka korisnika i vremena njihovog opsluživanja predstavlja osnovno obeležje procesa opsluživanja.

Jedan od najvažnijih elemenata teorije masovnog opsluživanja, koji ima veliku ulogu u analizi, postavci i rešavanju zadataka opsluživanja, jeste vreme opsluživanja. Ono predstavlja osnovnu karakteristiku rada svakog pojedinog kanala opsluživanja. Kako korisnici koji pristupaju u sistem opsluživanja nisu potpuno identični, vreme opsluživanja se menja od jednog korisnika do drugog. Na primer, specijalna zemaljska sredstva za opsluživanje letenja, koja pristupaju u radionicu radi održavanja i remonta, po pravilu imaju najrazličitije neispravnosti, a u slučaju kada su neispravnosti identične, vreme potrebno za njihovo otklanjanje može da bude različito ako su vozila različita. Drugi faktor, zbog koga se menja vreme opsluživanja, jeste radna karakteristika kanala opsluživanja. Očigledno, ako opsluživanje izvodi čovek, to će vreme opsluživanja identičnih kanala biti različito, ne samo kada ih opslužuju različiti ljudi, nego i jedan isti čovek, što se može objasniti i sledećim relevantnim faktorima [4]:

- ličnim faktorima - koji predstavljaju uticaj veštine, motivacije, iskustva, fizičke sposobnosti, vida, samodiscipline, obučenosti, odgovornosti i drugih sličnih karakteristika vazduhoplovnog tehničkog sastava određenog za opsluživanje,

- faktorima okoline - koji predstavljaju uticaj temperature, vlažnosti, buke, osvetljenja, vibracija, doba dana, doba

godine, vetra i slično, koji utiču na ljudstvo vazduhoplovne tehničke jedinice.

Zbog svega toga, u većini slučajeva vreme opsluživanja je slučajna promenljiva. Ako se sa  $T$  označi vreme opsluživanja, onda je njegova potpuna karakteristika funkcija raspodele:

$$F(t) = P(T < t), t \geq 0 \quad (1)$$

Kakav konkretan oblik ima funkcija raspodele  $F(t)$  ne može se unapred tvrditi bez detaljnog proučavanja funkcionisanja kanala opsluživanja. U teoretskim razmatranjima, a i mnogim praktičnim, veliki značaj ima slučaj kada vreme opsluživanja ima eksponencijalnu raspodelu, definisanu funkcijom i gustinom raspodele oblika:

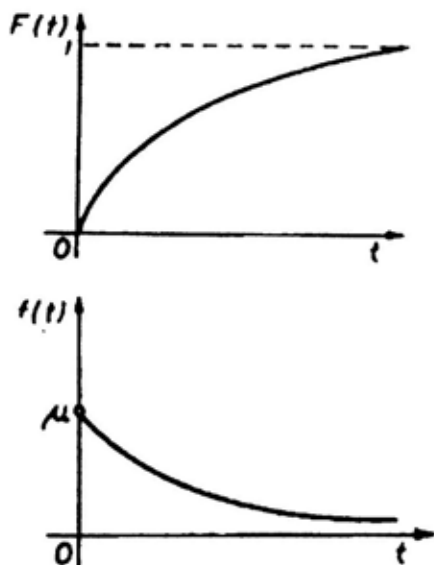
$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, f(t) = F'(t) = \mu e^{-\mu t}, t \geq 0 \quad (2)$$

Parametar  $\mu$  ima jednostavan fizički smisao: recipročna vrednost veličine jednaka je srednjem vremenu opsluživanja (matematičkom očekivanju vremena opsluživanja):

$$M(T) = \int_0^{\infty} t dF(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

Iz grafika funkcije raspodele i gustine eksponencijalne raspodele (slika 1) vidi se da eksponencijalna raspodela dobro opisuje slučajeve kada se najveći broj korisnika opslužuje vrlo brzo, dok je manji broj korisnika koje treba duže opsluživati.

Kako propusna moć, i druge karakteristike procesa opsluživanja, relativno malo zavisi od oblika zakonitosti raspo-



Sl. 1 – Grafici funkcije raspodele i gustine eksponencijalne raspodele

dele vremena opsluživanja, a uglavnom zavisi od njegove srednje vrednosti, u teoriji masovnog opsluživanja, češće nego u drugim, koristi se eksponencijalna raspodela verovatnoća vremena opsluživanja. S matematičke tačke gledišta modeli sistema opsluživanja sa eksponencijalnom raspodelom verovatnoće vremena opsluživanja su najjednostavniji.

U zavisnosti od broja kanala opsluživanja, sistemi masovnog opsluživanja mogu biti jednokanalni ili višekanalni, kao što je prikazano na slici 2 [5].

Medu osnovne tipove sistema masovnog opsluživanja spadaju:

- sistemi sa čekanjem korisnika u redu,
- sistemi sa otkazivanjem korisnika od opsluživanja.

Sistemi sa čekanjem sastoje se od čekaonice, a u određenom primeru to su armirano-betonska skloništa (ABS), gde se formira red, i kanala opsluživanja. Ako su

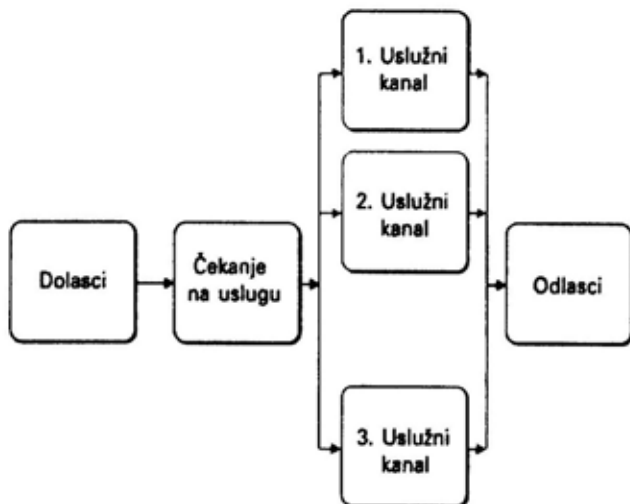
svi kanali opsluživanja zauzeti, korisnik staje u red i čeka na opsluživanje, dok se jedan od kanala ne oslobodi. Na osnovu srednje dužine reda korisnika i srednjeg vremena čekanja korisnika može se, pri projektovanju sistema opsluživanja, predvideti optimalan broj kanala opsluživanja i dimenzije čekaonice. Kod sistema sa čekanjem mogu se pojaviti ograničenja kao što su: konačan broj mesta u redu i ograničeno vreme provedeno u čekanju (nestrpljivi korisnici). Ako korisnici napuštaju sistem opsluživanja, kada zateknu sve kanale zauzete, takav sistem opsluživanja naziva se sistemom sa otkazima, što nije slučaj u vazduhoplovstvu.

Pojam korisnika može se identifikovati sa događajem koji se realizuje na ulazu u sistem opsluživanja. Tako se može govoriti o *ulaznom potoku događaja*. Potok događaja je takav niz događaja koji proizilaze jedan za drugim u momentima vremena slučajno raspoređenim u posmatranom vremenskom intervalu. Potoci događanja mogu biti *jednorodni* (homogeni) i *nejednorodni* (nehomogeni). U jednorodnom potoku događaji se razlikuju samo po momentima pojavljivanja, pa se zbog toga jednorodni potok događaja može grafički prikazati kao niz tačaka  $t_1, t_2, \dots$ , na brojnoj osi, gde ove tačke odgovaraju momentima pojavljivanja događaja (slika 3).

Potoci događaja se razlikuju po svojoj unutrašnjoj strukturi. Najprostiji potok, sa aspekta njegovog formiranja, jeste *regularni* potok, gde događaji slede jedan za drugim, pojavljujući se u nizu strogo određenih intervala vremena. Strogo regularni potoci u prirodi ne postoje, jer momenti pojavljivanja događaja uvek sadrže elemente slučajnosti.

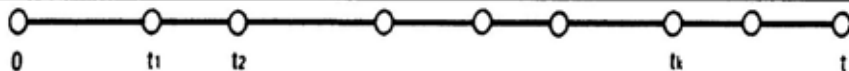


a)



b)

Sl. 2 – Sistemi masovnog opsluživanja: a) jednokanalni, b) višekanalni



Sl. 3 – Jednorodni potok događaja

Potok događaja naziva se *ordinarnim*, ako je verovatnoća da se na elementarni interval vremena  $\Delta t$  pojave dva ili više događaja, zanemarljivo mala, u poređenju sa verovatnoćom da se na tom intervalu pojavi jedan događaj, tj.:

$$P_1(\Delta t) \geq P_{k>1}(\Delta t) \quad (4)$$

Kako je za proizvoljan interval vremena  $\Delta t$  ispunjen uslov:

$$P_0(\Delta t) + P_1(\Delta t) + P_{k>1}(\Delta t) = 1 \quad (5)$$

to je za ordinirani potok:

$P_0(\Delta t) + P_1(\Delta t) \approx 1$ , jer je  $P_{k>1}(\Delta t) = 0 \cdot (\Delta t)$ , gde je  $0 \cdot (\Delta t)$  beskonačno mala veličina višeg reda od  $\Delta t$ , tj.

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{0 \cdot (\Delta t)}{\Delta t} = 0 \quad (7)$$

Uslov ordinarnosti označava da korisnici pristupaju u sistem opsluživanja pojedinačno. Istovremena pojava dva korisnika u jednom momentu skoro je nemo-



guća. U praksi se često sreću procesi koji u vremenu protiču približno homogeno, tj. koji pokazuju slučajna kolebanja oko srednje vrednosti, ali ne pokazuju tendenciju bitnih izmena u toku vremena. To su *stacionarni* potoci korisnika, kod kojih verovatnoća ovog ili onog broja korisnika na intervalu vremena  $\Delta t$  zavisi samo od dužine tog intervala, a ne od toga gde je na vremenskoj osi uzet taj interval. Kod stacionarnih potoka se kao početak posmatranog intervala može izabrati proizvoljan moment vremena. To znači da je za proizvoljno  $t$ , kod stacionarnih potoka, ispunjeno:

$$P_k(t, t + \tau) = P_k(\tau), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

Srednji broj korisnika koji se pojavljuje na intervalu  $\Delta t$  u jedinici vremena je:

$$\frac{P_1(t, t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (9)$$

Granica ovog količnika, kad  $\Delta t \rightarrow 0$  (ako postoji) naziva se *intenzitet* (gustina) ordiniranog potoka:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \lambda(t) \quad (10)$$

Intenzitet je nenegativna funkcija vremena. Kod stacionarnog potoka intenzitet ne zavisi od vremena, već je konstantna veličina jednaka srednjem broju klijenata koji se pojavljuju u jedinici vremena, tj.

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \quad (11)$$

Među potocima događaja poseban značaj ima Poasonov potok događaja, koji u poređenju sa drugim potocima po-

seduje osobine pogodne za efikasno rešavanje praktičnih zadataka teorije masovnog opsluživanja. Poasonov potok događaja poseduje osobine ordinarnosti i odsustva posledica [1].

Osobina ordinarnosti već je ranije razmatrana. Odsustvo posledica znači da potok događaja poseduje ovu osobinu ako broj događaja  $H_1$  koji se pojavljuje na intervalu vremena  $t_1$  ne zavisi od broja događaja  $H_2$  koji se pojavljuje na intervalu  $t_2$ , kada se intervali  $t_1$  i  $t_2$  ne poklapaju. Drugim rečima, slučajne veličine  $H_1$  i  $H_2$  su međusobno nezavisne.

$$P(X_2 = m_2 / X_1 = m_1) = P(X_2 = m_2), \\ m_1 = 0, 1, 2, \dots, m_2 = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

Iz teorije verovatnoće poznato je da kod Poasonovog potoka broj događaja  $H$ , koji se realizuje na proizvoljnom intervalu vremena  $(t, t + \tau)$ , ima Poasonovu raspodelu:

$$P_{t,\tau}(X = M) = \frac{[a(t, \tau)]^m}{m!} e^{-a(t, \tau)} \quad (13)$$

gde je  $a(t, \tau)$  srednji broj događaja za vreme  $\tau$ . Srednji broj događaja koji se pojavljuje u jedinici vremena kod ordinarnog potoka događaja jednak je intenzitetu potoka  $\lambda(t)$ . Sledi da će srednji broj događaja koji se pojavljuje na intervalu  $(t, t + \tau)$  biti:

$$a(t, \tau) = \int_t^{t+\tau} \lambda(t) dt \quad (14)$$

Poasonov potok događaja poseduje i stabilnost, koja se sastoji u tome da se pri sabiranju nezavisnih Poasonovih potoka ponovo dobija Poasonov potok, pri čemu

se intenziteti potoka sabiraju. Mnogi potoci događaja, koji se pojavljuju u praksi i figurišu u zadacima masovnog opsluživanja, mogu se približno smatrati Poasonovim. Tako, na primer, potok aviona koji sleću na aerodrom je blizak Poasonovom potoku, a identičan zaključak vredi i za potok vozila koja pristupaju u vazduhoplovnotehničku radionicu ili potok aviona na stajanci za opsluživanje, kao i potok u ABS-ovima za opsluživanje.

Stacioniran Poasonov potok događaja, tj. potok događaja koji poseduje osobine [1]: ordinarnosti, odsustva posledica i stacionarnosti naziva se prost potok događaja.

Prost potok ima poseban značaj u teoriji masovnog opsluživanja, zato što su u praksi ulazni potoci korisnika često prosti, ali i zato što se pri zameni potoka proizvoljne strukture prostim potokom dobijaju zadovoljavajući rezultati. Zbog uslova stacionarnosti, srednji broj događaja koji se pojavljuje na intervalu  $(t, t + \tau)$  ne zavisi od  $t$ , već samo od dužine intervala  $\tau$ , i izračunava se po formuli:

$$a(t, \tau) = a(\tau) = \int_t^{t+\tau} \lambda dt = \lambda \tau \quad (15)$$

Verovatnoća da se na proizvoljno izabranom intervalu vremena dužine  $\tau$  pojavi  $m$  događaja glasi:

$$P_\tau(X = m) = \frac{(\lambda \tau)^m}{m!} e^{-\lambda \tau} \quad (16)$$

Jedna od osnovnih karakteristika prostog potoka je zakonitost raspodele intervala vremena  $T$  između momenata susednih pojavljivanja događaja. Zato je

interesantno izraziti funkciju raspodele  $F(t)$  slučajne promenljive  $T$ :

$$F(t) = P(T < t) \quad (17)$$

Da bi se odredila ova verovatnoća, uočimo najpre verovatnoću suprotnog događaja:

$$1 - F(t) = P(T \geq t) \quad (18)$$

Verovatnoća  $P(T \geq t)$  računa se prema formuli:

$$P(T \geq t) = e^{-\lambda t} \quad (19)$$

odakle je:

$$-F(t) = e^{-\lambda t} \quad (20)$$

odnosno

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (21)$$

Diferenciranjem se dobija gustina raspodele slučajne promenljive  $T$ :

$$f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0 \quad (22)$$

Gustina raspodele (22) definiše eksponencijalnu raspodelu slučajne promenljive  $T$ . Na taj način, u prostom potoku gustine  $\lambda$ , interval vremena između dva proizvoljna susedna događaja ima eksponencijalnu raspodelu sa parametrom  $\lambda$ .

### Primer primene metoda masovnog opsluživanja u avijacijskoj eskadrili

Lovačno-bombarderska avijacijska eskadrila ima tri uslužna mesta (istakača goriva za popunu vazduhoplova) u raskretitom rasporedu, tj. u ABS-ovima. Po-

red tri vazduhoplova koja se opslužuju, ima još tri mesta za čekanje. Za popunu gorivom lovačko-bombarderske avijacijske eskadrile, istačaci zadovoljavaju zadate potrebe. Potrebno je izvršiti istraživanje sa ciljem da se proveriti da li istačaci projektovani za popunu gorivom lovačko-bombarderske eskadrile mogu zadovoljiti potrebe nadzvučne avijacijske eskadrile.

Statistička snimanja nadzvučne avijacijske eskadrile pokazala su da se prosečno popunjava 14 vazduhoplova na sat, a da prosečna usluga traje 10,5 minuta po vazduhoplovu [6]. Odmah se uočava da se radi o višekanalnom sistemu masovnog opsluživanja sa ograničenim brojem mesta u redu čekanja.

Polazni podaci su sledeći:

$\lambda = 14$  vazduhoplova na sat – brzina dolaznja vazduhoplova,

$\mu = \frac{60}{10,5} = 5,7$  vazduhoplova na sat –

brzina opsluživanja po kanalu,

$k = 3$  uslužna mesta – broj kanala u sistemu,

$m = 3$  mesta – maksimalni broj aviona u redu čekanja.

Na osnovu polaznih podataka određuju se pokazatelji sistema masovnog opsluživanja:

$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{14}{5,7} = 2,45$  – faktor opsluživanja

po kanalu,

$\rho^* = \frac{\rho}{k} = \frac{2,45}{3} = 0,8$  – faktor opsluživanja sistema.

Pošto je  $\rho^* < 1$  treba očekivati ustaljeni režim rada, pri kome će konačan broj potrošača čekati na uslugu. Pri odre-

đivanju verovatnoća stanja u kojima se sistem može uočiti u ustaljenom režimu rada treba voditi računa da je najveći broj vazduhoplova koji se mogu naći u sistemu  $T_{mah} = k + m$ .

Kako zbir verovatnoća svih mogućih stanja sistema mora biti jednak jedinici, to je:

$$\sum_{n=0}^{k+m} p_n = p_0 \left( \sum_{n=0}^k \frac{\rho^n}{n!} + \frac{1}{k!} \sum_{n=k+1}^{k+m} \frac{\rho^n}{k^{n-k}} \right) = 1, \quad (23)$$

$$\text{što daje } p_0 = \left( \sum_{n=0}^k \frac{\rho^n}{n!} + \frac{1}{k!} \sum_{n=k+1}^{k+m} \frac{\rho^n}{k^{n-k}} \right)^{-1} =$$

$$= \left( \sum_{n=0}^k \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^k}{k!} \sum_{j=0}^m \rho^{*j} \right)^{-1} =$$

$$\left( \sum_{n=0}^k \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^k}{k!} \rho^* \frac{1 - \rho^{*m}}{1 - \rho^*} \right) \quad (24)$$

Zamenom  $\rho$ ,  $n$  i  $k$  u jednačini (24) dobija se:

$$p_0 = \left( \frac{\rho^0}{0!} + \frac{\rho^1}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + \frac{\rho^3}{3!} \rho^* \frac{1 - \rho^{*3}}{1 - \rho^*} \right)^{-1} =$$

$$= 0,073 \quad (25)$$

$$p_1 = \rho \cdot p_0 = 0,178$$

$$p_2 = \frac{\rho}{2} \cdot p_1 = 0,22$$

$$p_3 = \frac{\rho}{3} \cdot p_2 = 0,178 \quad (26)$$

$$p_4 = \rho^* \cdot p_3 = 0,142$$

$$p_5 = \rho^* \cdot p_4 = 0,13$$

$$p_6 = \rho^* \cdot p_5 = 0,091$$

Na osnovu jednačine (23) dobija se:

$$\sum_{n=0}^6 p_n = p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1,0 \quad (27)$$

Vazduhoplov neće biti opslužen, ako u sistemu bude  $k + m = 6$  vazduhoplova, pa je:

$$p_{otk} = p_{k+m} = p_6 = \frac{\rho^{k+m}}{k^m \cdot k!} \cdot p_0 = 0,091 \quad (28)$$

To znači da samo 9,11% vazduhoplova neće biti opsluženo.

Verovatnoća opsluživanja, odnosno relativna propusna sposobnost sistema, iznosi:

$$r = p_{ust} = 1 - p_{otk} = 1 - \frac{\rho^{k+m}}{k^m \cdot k!} \cdot p_0 = 1 - 0,091 = 0,909 \quad (29)$$

Od ukupnog broja prispelih vazduhoplova biće opsluženo 90,9%.

Apsolutna propusna sposobnost sistema je:

$$R = \lambda \cdot r = \lambda \left( 1 - \frac{\rho^{k+m}}{k^m \cdot k!} \cdot p_0 \right) = 14 \cdot 0,909 = 12,723 \text{ vazduhoplova na sat} \quad (30)$$

Nominalna apsolutna propusna sposobnost sistema, tj. kada dolasci ne bi bili stohastični i kada bi se svaki vazduhoplov opsluživao  $\frac{1}{\mu}$  sati, bila bi:

$$R_{nom} = k \cdot \mu = 3 \cdot 5,7 = 17,1 \text{ vazduhoplova na sat} \quad (31)$$

Srednji broj vazduhoplova u redu čekanja moguće je odrediti kao očekivanu vrednost diskretne stohastičke veličine, pri čemu se sumira broj vazduhoplova umnožen verovatnoćom uvrštavanja u red čekanja, pa se dobija:

$$\begin{aligned} Q &= p_{k+1} + 2 \cdot p_{k+2} + \dots + m p_{k+m} = \\ &= 1 \cdot \frac{\rho^k}{k!} \rho^* \cdot p_0 + 2 \cdot \frac{\rho^k}{k!} \rho^{*2} \cdot p_0 + \dots + m \frac{\rho^k}{k!} \rho^{*m} \cdot p_0 = \\ &= \sum_{n=k+1}^{k+m} (n-k) \frac{\rho^k}{k!} \rho^{*n-k} \cdot p_0 = \frac{\rho^k}{k!} p_0 \sum_{j=1}^m j \rho^{*j} = \\ &= \frac{\rho^k}{k!} p_0 \cdot \rho^* \sum_{j=1}^m j \rho^{*j-1} = \frac{\rho^k}{k!} p_0 \cdot \rho^* \frac{\partial}{\partial \rho^*} \sum_{j=1}^m \rho^{*j} = \\ &= \frac{\rho^k}{k!} p_0 \cdot \rho^* \frac{\partial}{\partial \rho^*} \cdot \frac{\rho^* - \rho^{*m+1}}{1 - \rho^*} = \\ &= \frac{\rho^k}{k!} p_0 \cdot \rho^* \cdot \frac{1 - (m+1)\rho^{*m} + m\rho^{*m+1}}{(m - \rho^*)^2} \end{aligned} \quad (32)$$

Zamenom  $\rho$ ,  $p_0$ ,  $\rho^*$ ,  $k$  i  $m$  u jednačini (32) dobija se srednji broj vazduhoplova u redu čekanja  $Q = 0,647$ . Srednji broj vazduhoplova na opsluživanju je:

$$\begin{aligned} S &= 1 \cdot p_1 + 2 \cdot p_2 + 3 \cdot (1 - p_0 - p_1 - p_2) = \\ &= 1 \cdot 0,178 + 2 \cdot 0,22 + 3 \cdot \\ &\cdot (1 - 0,073 - 0,178 - 0,22) = 2,2 \end{aligned}$$

Kako svaki kanal opslužuje vazduhoplov brzinom  $\mu$ , za srednji broj vazduhoplova na opsluživanju, ili srednji broj zauzetih kanala, može se napisati:

$$\zeta = \frac{R}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} \left( 1 - \frac{\rho^{k+m}}{k^m \cdot k!} \cdot p_0 \right) \quad (33)$$

Zamenom  $\lambda, \mu, \rho, p_0, k$  i  $m$  u jednačini (33) dobija se da je srednji broj vazduhoplova na opsluživanju  $\zeta = 2,216$ .

Srednji broj vazduhoplova u sistemu jednak je zbiru srednjeg broja vazduhoplova u redu čekanja i srednjeg broja vazduhoplova na opsluživanju:

$$T = Q + s = 0,647 + 2,2 = 2,847$$

Ako se ova veličina želi odrediti na osnovu polaznih podataka, upotrebljava se izraz:

$$\begin{aligned} T &= \sum_{n=0}^{k+m} n \cdot p_n = \sum_{n=0}^k n \cdot \frac{\rho^n}{n!} + \sum_{n=k+1}^{k+m} \frac{\rho^k}{k!} \rho^{n-k} \cdot p_0 = \\ &= p_0 \sum_{n=0}^k n \frac{\rho^n}{n!} + p_0 \cdot \frac{\rho^k}{k!} \sum_{j=1}^m (k+j) \cdot \rho^{*j} = \\ &= p_0 \sum_{n=0}^k n \frac{\rho^n}{n!} + p_0 \frac{\rho^k}{k!} \left( k \cdot \sum_{j=1}^m \rho^{*j} + \sum_{j=1}^m j \cdot \rho^{*j} \right) = \\ &= p_0 \sum_{n=0}^k n \frac{\rho^n}{n!} + p_0 \frac{\rho^k}{k!} \end{aligned} \quad (34)$$

$$\left( k \cdot \frac{\rho^* - \rho^{*m+1}}{1 - \rho^*} + \rho^* \cdot \frac{1 - (m+1)\rho^{*m} + m\rho^{*m+1}}{(1 - \rho^*)^2} \right)$$

Zamenom polaznih parametara u jednačini (34) dobija se srednji broj vazduhoplova u sistemu  $T = 2,85$ .

Srednje vreme čekanja vazduhoplova u redu određuje se na osnovu sledećeg: vazduhoplov staje u red ako su svi kanali zauzeti i čeka prosečno  $\frac{1}{k\mu}$  vremena. Ako se ispred vazduhoplova već nalazi jedan vazduhoplov u redu

čekanja, prosečno će čekati  $\frac{2}{k\mu}$  vreme-

na, itd. Svaki vazduhoplov u redu prosečno čeka  $\frac{1}{k\mu}$  vremena. Zbog toga je:

$$\begin{aligned} W^* &= \frac{1}{k\mu} p_k + \frac{2}{k\mu} p_{k+1} + \dots + \frac{m}{k\mu} p_{k+m-1} = \\ &= \sum_{j=0}^{m-1} \frac{j+1}{k\mu} p_{k+1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W^* &= \sum_{j=0}^{m-1} \frac{j+1}{k\mu} \frac{\rho^k}{k!} \rho^{*j} \cdot p_0 = \\ &= \frac{p_0}{k\mu} \cdot \frac{\rho^k}{k!} \sum_{j=0}^{m-1} (j+1) \rho^{*j} = \frac{p_0}{k\mu} \cdot \frac{\rho^k}{k!} \frac{\partial}{\partial \rho^*} \sum_{j=1}^m \rho^{*j} = \\ &= \frac{p_0}{k\mu} \cdot \frac{\rho^k}{k!} \cdot \frac{1 - (m+1)\rho^{*m} + m\rho^{*m+1}}{(1 - \rho^*)^2} \quad (35) \end{aligned}$$

Zamenom parametara u jednačini (35) dobija se  $W^* = 2,13$  minuta.

Vreme opsluživanja iznosi u proseku  $\frac{1}{\mu}$  ako se vazduhoplov opslužuje, odnosno 0 ako vazduhoplov dobija otkaz, pa srednje vreme opsluživanja po vazduhoplovu iznosi:

$$\begin{aligned} W^{**} &= 0 \cdot p_{otk} + \frac{1}{\mu} \cdot p_{ust} = \\ &= \frac{1}{\mu} \left( 1 - \frac{\rho^{k+m}}{k^m \cdot k!} \cdot p_0 \right) = 10,48 \text{ minuta} \end{aligned}$$

Srednje vreme zadržavanja vazduhoplova u sistemu iznosi:

$$W = W^* + W^{**} = 13,1 \text{ minut}$$

Procenat zauzetosti linija, odnosno procenat iskorišćenosti radnog vremena iznosi:

$$\frac{S}{K} = 0,73707 = 73,707\%$$

## Zaključak

U radu je prikazan matematički model za izračunavanje različitih karakteristika sistema opsluživanja pomoću kojih se može vršiti analiza efikasnosti opsluživanja i operativne gotovosti lovačke avijacijske eskadrile.

Kako je u navedenom primeru dobijeno da je verovatnoća opsluživanja 90,9%, propusna sposobnost kanala opsluživanja 17,1 vazduhoplova na sat, prosečno vreme čekanja u redu 2,13 minuta po vazduhoplovu, a iskorišćenost radnog vremena vazduhoplovno-tehničkog osoblja 73,7%, projektovani sistem masovnog opsluživanja za lovačko-bombardersku eskadrilu pružice zadovoljavajuću uslugu nadzvučnoj avijacijskoj eskadrili, uz zadržavanje potrebnog nivoa operativne gotovosti.

Na osnovu srednje dužine reda aviona koji čekaju, i srednjeg vremena čeka-

nja aviona u redu, pri projektovanju sistema opsluživanja, može se predvideti optimalan broj kanala opsluživanja.

Smanjenje redova aviona najčešće je povezano sa povećanjem broja kanala, tj. sa povećanjem propusne moći sistema opsluživanja, pa se postavlja zadatak određivanja optimalnog odnosa operativne gotovosti, koja je povezana sa čekanjem u redovima, i troškova uvođenja novih kanala opsluživanja.

Korišćenje metoda teorije masovnog opsluživanja omogućava da se uoče parametri sredstava opsluživanja koji su potrebni za projektovanje, i da se unapred ustanovi kakvi se rezultati mogu postići pri radu novokonstruisanog sredstva opsluživanja.

## Literatura:

- [1] Stojiljković, M.; Vukadinović, S.: Operaciona istraživanja, VIZ, Beograd, 1984.
- [2] Pravilo vazduhoplovno tehničke službe Oružanih snaga, SSNO, GŠ JNA – VTU, Beograd, 1986.
- [3] Petrić, J.; Petrić, Z.: Operaciona istraživanja u vojsci, VIZ, Beograd, 1974.
- [4] Knežević, J.: System Maintability, Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row London SE1 8HN, UK.
- [5] Petrić, J.; Šarenac, L.; Kojić, Z.: Operaciona istraživanja PFV, Beograd, 1980.
- [6] 01.VTUP.000/27.1 Norma vremena za opsluživanje i održavanje vazduhoplova, VTU, Beograd, 1990.

Dr Mirjana Anđelković-  
Lukić,  
dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## FIZIČKO-HEMIJSKE I DETONACIONE KARAKTERISTIKE NITRAMINSKIH EKSPLOZIVA – RDX, HMX I CL-20

UDC: 662.21 : 66.022.3

### Rezime:

*U radu su prikazane fizičko-hemijske i detonacione karakteristike nitraminskih brizantnih eksploziva, heksogena i oktogena, upoređene sa osobinama novog cikličnog nitraminskog eksploziva CL-20. Novi visokobrizantni eksploziv CL-20 postoji u četiri kristalne forme, stabilne na različitim temperaturama. Ima bolje detonacione karakteristike od heksogena i oktogena, veću gustinu i brzinu detonacije, ali mnogo veću osetljivost na udar i trenje, reda PETN. Zbog toga se ovaj eksploziv flegmatizuje sa polimerima etilenvinilacetatom (EVA) i estanom. Da bi se povećale energetske performanse eksploziva i smanjila osetljivost na mehanička dejstva eksplozivu CL-20 dodaju se visokoenergetski materijali, fluoronitro jedinjenja (FEFO).*

*Ključne reči: ciklični nitramini, policiklični nitramin, heksogen, oktogen, CL-20, tetril, flegmatizacija.*

## PHISICO-CHEMICAL AND DETONATION PROPERTIES OF NITRAMINE EXPLOSIVES – RDX, HMX AND C2-20

### Summary:

*In this paper the physico-chemical and detonation properties of nitramine high explosives, hexogen and octogen, are presented and compared with a polycyclic nitramine high explosive CL-20. This new high explosive CL-20 exists in four crystalline forms, stable at different temperatures. CL-20 has better detonation properties than hexogen and octogen, higher density and detonation rate, but greater impact and friction sensitivity (of PETN class). So it is necessary to bond this explosive with polymers-ethylvinil acetat (EVA) and estane to reduce sensitivity to mechanical effects. CL-20 can be prepared by adding high energy materials-fluoro-nitro compounds (FEFO) as regulators of energy performances.*

*Key words: cyclic nitramines, polycyclic nitramine, hexogen, octogen, CL-20, explosive bonding.*

### Uvod

Većina eksplozivnih punjenja u bojnim sredstvima sadrži konvencionalne eksplozive: trotil, heksogen i oktogen, kao glavne energetske komponente, uz određene dodatke koji modifikuju njihovo

energetsko dejstvo. Za primenu eksploziva u vojne svrhe postoje definisani zahtevi: sigurnost pri rukovanju, da (po mogućnosti), nisu higroskopni, hemijska postojanost, velika brzina detonacije, visok pritisak detonacije, dobra termička stabilnost, i visoka temperatura topljenja.



U vojnim laboratorijama razvijenih zemalja velika pažnja posvećuje se istraživanju novih eksplozivnih jedinjenja koja bi imala bolje karakteristike od heksogena i oktogena, do sada neprevazidenih po svojim fizičko-hemijskim i eksplozivnim karakteristikama.

Poslednjih godina prošlog veka cikličnim nitraminima, heksogenu i oktogenu, pridružio se novi eksploziv, policiklični nitramin, heksanitroheksazaizovurcitan, HNIW ili CL-20.

U ovom radu su uporedo prikazane fizičke, hemijske i eksplozivne karakteristike heksogena, oktogena i eksploziva CL-20.

### Ciklični nitramini

Veoma snažni eksplozivi, ciklični nitramini heksogen i oktogen, nastali su u novije doba. Heksogen je počeo da se primenjuje u toku Drugog svetskog rata, a oktogen nešto kasnije, pedesetih godina prošlog veka. Oktogen je pronađen slučajno, kao „nečistoća“ u proizvodnji heksogena. Kada je „nečistoća“ ispitana, ispostavilo se da je to eksploziv sličan heksogenu. Određivanjem hemijske formule videlo se da je on viši homolog heksogena, čemu se pripisuju njegove izuzetne fizičko-hemijske i detonacione karakteristike.

Oba eksploziva spadaju u veoma snažne sekundarne eksplozive, a koriste se u konvencionalnom naoružanju svih armija sveta. Primenjuju se ili u smeši sa trotilom ili se flegmatizuju. Ukoliko se flegmatizuju (postupak kojim se smanjuje osetljivost na mehaničke uticaje, čime se olakšava rukovanje), mogu biti u gra-

nulisanom obliku (praškasti) ili u vidu plastičnog ili elastičnog materijala, što zavisi od prerade i namene.

Heksogen i oktogen se sastoje od više metilnitraminskih grupa  $\text{CH}_2\text{NNO}_2$ ; molekul heksogena sadrži tri  $[(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3]$ , oktogena četiri  $[(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_4]$ , a novosintetisani nitraminski eksploziv CL-20 sadrži šest  $[(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_6]$ , grupa [1].

### Energija veze nitroeksploziva

Karakteristike eksploziva, kako fizičko-hemijske tako i eksplozivne zavise od hemijske strukture molekula [1].

Nitrojedinjenja, koja obuhvataju eksplozive tipa nitroaromata, nitramina i nitroestara, spadaju u sekundarne eksplozive. Oni se primenjuju čisti ili u smešama, kao punjenja raznih projektila, a njihove mase u takvim punjenjima mogu da budu i preko 500 kg.

Ponašanje sekundarnih nitroeksploziva od trenutka inicijacije do detonacije posledica je elektronske strukture molekula u nepobuđenom, osnovnom stanju, i načina raspodele apsorbovane energije u molekulu.

U osnovnom stanju molekul eksploziva karakterišu dve veličine, koje su u vezi sa osetljivošću: energija veze  $\text{R-NO}_2$  i disimetrija naboja koji on nosi.

Glavni fenomen, kada molekul prelazi iz osnovnog stanja u ekscitovano, jeste raspodela apsorbovane energije po molekulu. Ova energija može biti prenetna na jednu vezu  $\text{R-NO}_2$  ili raspoređena na kvaziuniformni način na sve veze u molekulu, pa je i osetljivost u prvom slučaju mnogo veća nego u drugom.

Kod nitroaromata karakteristična je jaka elektronska delokalizacija, tako da njihovi molekuli mogu da raspodele apsorbovanu energiju po celom prstenu. U ovom slučaju, veze C-NO<sub>2</sub> mogu se raskinuti jedino ekscitacijom kompletnog prstena. Zbog toga su ovi eksplozivni najmanje osetljivi na mehaničke uticaje (primer trotila).

Nitramini, suprotno prethodnom slučaju, prihvataju najveći deo energije ekscitacije na jednu N-NO<sub>2</sub> vezu. Molekul reaguje mnogo brže i njegova osetljivost je veća (primer heksogena i oktogena). Tetril (trinitro-2,4,6-fenilmetilnitramin) nitraminski eksploziv u svom molekulu sadrži nitroaromatski prsten, ali je energija koju apsorbuje N-NO<sub>2</sub> grupa dovoljno velika da dolazi do potpunog razlaganja molekula, uz eksploziju. Njegova osetljivost na udar je ista kao kod pentrita – 3Nm [2], i zbog svoje osetljivosti na inicijaciju koristi se kao sekundarno punjenje detonatorskih kapisli i za detonatorska punjenja u upaljačima.

Najosetljiviji među sekundarnim eksplozivima su nitroestri.

Molekul nitroestra je sposoban da celokupnu apsorbovanu energiju prenese na veze O-NO<sub>2</sub>, što ovu vezu čini veoma osetljivom. Otuda su nitroestri najosetljiviji među sekundarnim eksplozivima. Primer su nitroglicerini, tečni nitroestar, i kristalni pentrit.

### Osetljivost nitramina na mehaničke uticaje

Kod niza eksploziva – heksogena, oktogena i CL-20 osetljivost na mehaničke uticaje raste: Heksogen i oktogen ima-

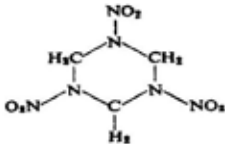
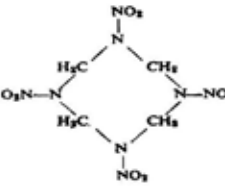
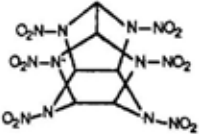
ju približno jednake osetljivosti na udar i trenje, a izrazito najosetljiviji među njima je CL-20 [3]. Osetljivost CL-20 je posledica prostorne strukture njegovog molekula. Pri ispitivanju osetljivosti na mehanička dejstva dolazi do lomljenja kristalne rešetke u molekulu, koji je sastavljen od šest prostorno povezanih metilnitraminskih grupa. Pri tome se oslobađa mnogo veća energija po molekulu nego kod heksogena koji ima samo tri metilnitraminske grupe u molekulu, ili oktogena, sa četiri metilnitraminske grupe. U tabeli 1 prikazane su vrednosti osetljivosti na mehaničke uticaje heksogena, oktogena i CL-20 [1].

Tabela 1

Osetljivost na mehanička dejstva

Eksploziv	Osetljivost na udar (Nm)	Osetljivost na trenje (N)	Energija aktivacije (kJ/kg)
Heksogen	7,5	120	197
Oktogen	7,4	120	221
CL-20	3,4	63	-

Prema podacima iz tabele 1 osetljivost na udar heksogena u odnosu na oktogen je nešto manja, dok su im osetljivosti na trenje jednake, ali je osetljivost na udar i trenje eksploziva CL-20 skoro dva puta veća. U tabeli 2 prikazane su strukturne i bruto formule heksogena, oktogena i CL-20, iz kojih se može sagledati razlog povećane osetljivosti na mehaničke uticaje novog nitraminskog eksploziva CL-20. Pored ovih, u tabeli 2 su prikazane i druge karakteristike, kao što su temperature topljenja, gustine i brzine detonacije.

Eksplziv	Strukturna formula	Bruto formula	Temperatura topljenja (°C)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
Heksogen RDX		C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> N <sub>6</sub> O <sub>6</sub> (CH <sub>2</sub> NNO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	204	1,82	8520 za gustinu 1,71 g/cm <sup>3</sup>
Oktogen HMX		C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>8</sub> O <sub>8</sub> (CH <sub>2</sub> NNO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	280	1,91	9100 za gustinu 1,84 g/cm <sup>3</sup>
HNIW CL-20		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> N <sub>12</sub> O <sub>12</sub> (CHNNO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub>	240	1,96 – 2,044	11 000 za gustinu 1,96 g/cm <sup>3</sup> izračunata

Iz tabele 2 vidi se da sa povećanjem broja metilnitraminskih grupa u molekulu eksploziva raste gustina eksploziva i brzina detonacije. Temperatura topljenja odstupa od ove tendencije, ali je veća od temperature topljenja heksogena, čiji molekul sadrži tri metilnitraminske grupe.

#### Sinteza heksanitroheksazaizovurcitan (CL-20)

Oktogen i heksogen se dobijaju po istom postupku, iz sledećih polaznih komponenti: heksametilentetramina (uro-

tropina), azotne kiseline, anhidrida sirćetne kiseline i amonijumnitrata, pri čemu promena odnosa među ovim komponentama, temperature i redosleda mešanja komponenata može pomeriti proces na stranu dobijanja heksogena ili oktogena. Stroži uslovi sinteze (povišena temperatura, veća količina anhidrida sirćetne kiseline) favorizuju nastajanje heksogena, a blaži oktogena.

Molekul eksploziva CL-20 sastoji se od dva molekula heksogena (tabela 2), prostorno povezana preko ugljenika, tako da predstavlja policiklično jedinjenje dobrog kiseoničnog balansa [3].

Eksplziv CL-20, je kristalno jedinjenje velike gustine, koja zavisi od polimorfne faze. Naime, CL-20, kao i okto-gen, ima više kristalnih modifikacija. Poznate su četiri:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\epsilon$ . Od ove četiri forme, koriste se samo  $\epsilon$  i  $\beta$ , jer su stabilne na sobnoj temperaturi [4].

Osnovna struktura molekula CL-20 sastoji se od krute izovurcitan rešetke sa nitro-grupama vezanim za azotove atome [5].

Način sinteze ili početni uslovi za dobijanje CL-20 nisu prikazani u dostupnoj literaturi, ali se na osnovu dosadašnjih saznanja o sintezi nižih homologa cikličnih nitramina heksogena i oktogena, može pretpostaviti da su početni uslovi sinteze CL-20 slični kao kod heksogena i oktogena, i da se kao polazno jedinjenje koristi heksametilentetramin (urotropin), uz nitraciju azotnom kiselinom i anhidridom sirćetne kiseline.

Teoretski CL-20 se može dobiti direktnom nitracijom heksazatetraciklododekana prema reakciji prikazanoj na slici.

Posle sinteze CL-20 mora da se pre-kristališe, kako bi se dobile čestice određenog granulometrijskog sastava, i da bi se odstranile nestabilne kristalne frakcije i zadržale samo  $\beta$  i  $\epsilon$ .

U tabelama 3, 4 i 5 prikazane su rastvorljivosti heksogena [6], oktogena i CL-20, u pojedinim rastvaračima [7].

Tabela 3

Rastvorljivost heksogena g/100 g rastvarača

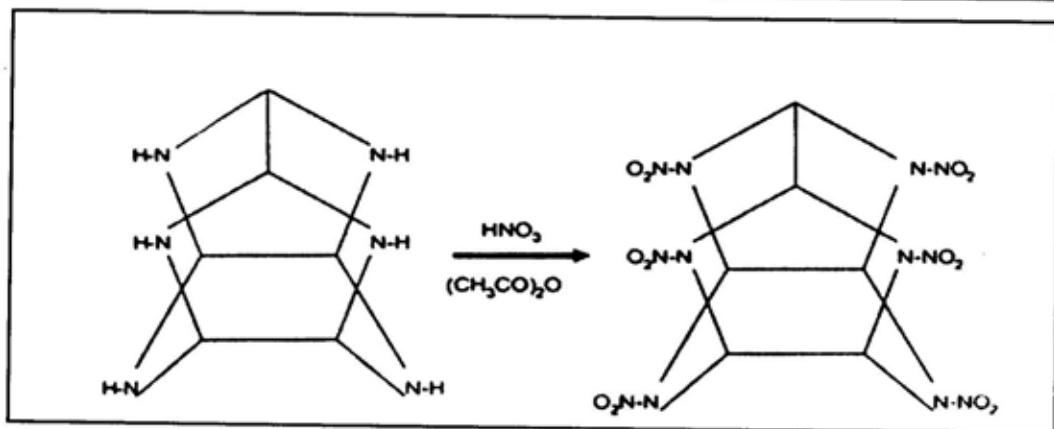
Rastvarač	20°C	40°C	60°C
Aceton	7,30	11,5	18,0
Etar	0,056	–	–
Etanol	0,105	0,24	579
Cikloheksanon	12,7	–	–
Metilacetat	2,9	4,1	–
Benzen	0,05	0,09	0,20

Prema rezultatima u tabelama 3 i 4 heksogen se bolje rastvara u acetonu od oktogena.

Tabela 4

Rastvorljivost oktogena g/100 g rastvarača

Rastvarač	20°C	40°C	60°C
Aceton	2,4	3,4	–
Acetanhidrid	–	1,29	1,94
Acetonitril	–	3,07	4,34
Cikloheksanon	–	5,91	7,17
Dimetilformamid	–	6,1	11,1
Dimetilsulfoksid	–	45,5	47,2



Rastvorljivost oktogena je najveća u dimetilsulfoksidu, ali pri precipitaciji nastaju helati, tako da se ovaj rastvarač koristi, uglavnom, za kvantitativna određivanja oktogena pri hemijskim analizama.

Tabela 5

Rastvorljivost CL-20 g/100 g rastvarača

Rastvarač	25°C
Aceton	94,6 – 109
Etanol	0,63 – 0,87
Etilacetat	45,0
FEFO	0,12 – 0,19
FM-1	1,35

Iz tabele 5 vidi se da je rastvorljivost CL-20 najveća u acetonu, i po tome se razlikuje od heksogena i oktogena, čije su rastvorljivosti u ovom rastvaraču mnogo manje. Prekristalizacija CL-20 vrši se iz acetona, posebno što favorizuje nastanak  $\beta$  i  $\epsilon$  kristalne modifikacije, koje su stabilne na sobnoj temperaturi.

### Flegmatizacija nitraminskih eksploziva

Flegmatizovani eksplozivi heksogen, oktogen i CL-20, primenjuju se, uglavnom, u kumulativnoj municiji različitih kalibara, kao presovana punjenja. Punjenja ove vrste municije moraju da zadovolje veoma stroge zahteve po pitanju geometrije gustine punjenja, kako bi se maksimalno iskoristila energija primenjenog eksploziva. Ovi kristalni eksplozivi osetljivi su na mehaničke uticaje, a posebno CL-20 (tabela 1), i moraju da se flegmatizuju. Heksogen i oktogen se flegmatizuju sintetskim voskovima i vo-

skovima na bazi mrkog uglja (montan voskovi) [6], ali mogu da se flegmatizuju i određenim polimerima [8], što zavisi od primene. Eksploziv CL-20 se flegmatizuje polimerima etilvinilacetatom (EVA) i estanom (polimer na bazi poliuretana). Takođe, flegmatizacija se vrši mešanjem eksploziva CL-20 sa tečnim eksplozivima: FEFO bis (2, 2, 2 - fluorodinitroetil) formal -  $[FC(NO_2)CH_2O]_2CH_2$  i FM-1 smeša nitroformala.

Tehnološki postupak flegmatizacije CL-20 polimerima EVA i estanom zasniva se na destilaciji rastvarača pod smanjenim pritiskom, a sastoji se od sledećih faza:

- polimer EVA ili estan rastvore se u etilendihloridu,
- rastvor se dodaje u eksploziv koji se nalazi u posudi za destilaciju sa mešalicom,
- film polimera se nanosi na granule eksploziva destilacijom rastvarača pod smanjenim pritiskom, uz stalno mešanje i kontrolu temperature.

Proizvod flegmatizacije je granulisan eksploziv, smanjene osetljivosti na mehaničke uticaje, definisane prosečne granulacije i zapremine mase, i pogodan za presovanje. Brzina detonacije nekog eksploziva zavisi od gustine eksplozivnog punjenja, tako da flegmatizovani, granulirani eksplozivi moraju da obezbede veliku gustinu otpreska. Gustina presovanja zavisi od osobina i vrste (vosak ili polimer) flegmatizatora.

U tabeli 6 prikazane su brzine detonacije u funkciji gustina, za pojedine flegmatizovane sastave heksogena, oktogena i CL-20 [6].

Flegmatizovani sastavi na bazi eksploziva heksogena, oktogena u CL-20

Oznaka eksploziva	Eksploziv (% m/m)	Flegmatizator (% m/m)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
FH-5	Heksogen 95	Montan vosak, 5	1,67	8244
FH-5PE	Heksogen 95	Polietilenski vosak, 5	1,67	8120
FO-5	Oktogen 95	Montan vosak 5	1,76	8639
FO-3PE	Oktogen 97	Polietilenski vosak, 3	1,80	8600
FO-5PE	Oktogen 97	Polietilenski vosak, 5	1,75	8500
RX-39-AB	CL-20 95,8	Estan 4,2	1,942	9208
PBX-19	CL-20 95	EVA 5	1,896	9083
RX-49-AE	CL-20 78,67	FEFO+FM-1 9,77+9,77	1,887	8950

Iz rezultata u tabeli 6 vidi se da su flegmatizovani sastavi na bazi heksogena, oktogena i CL-20 u funkciji karakteristika prolaznog, kristalnog eksploziva i gustine uzorka za određivanje brzine detonacije.

## Zaključak

Tendencije razvoja novih brzantnih eksploziva usmerene su ka dobijanju stabilnih energetski bogatih jedinjenja, koja će po svojim karakteristikama prevazići heksogen i posebno oktogen.

Novi eksplozivi mogu da se dobiju kondenzacijom molekula poznatih jedinjenja eksploziva ili hemijskih grupa radikala. Na taj način dobijen je policiklični kristalni nitraminski eksploziv C-20, dobrih fizičko-hemijskih i detonacionih karakteristika. Ovo jedinjenje sastavljeno je od šest metilnitraminskih grupa (heksogen ih ima tri, a oktogen četiri), a njegove performanse su u skladu sa brojem ovih grupa.

Eksploziv CL-20 kao i oktogen, ima četiri kristalne modifikacije, od kojih su samo dve  $\beta$  i  $\epsilon$ , (kod oktogena jedna beta modifikacija), stabilne na sobnoj temperaturi i jedino se one primenjuju kao eksplozivi.

Posle sinteze, eksploziv CL-20, kao i oktogen, mora da se prekrystalise u acetonu, kako bi se odstranile nestabilne kristalne modifikacije. CL-20 je mnogo rastvorljiviji u acetonu od oktogena.

Kristalna gustina ovog eksploziva veća je nego što je to kod heksogena i oktogena, pa mu je i brzina detonacije veća.

Osetljivost na mehaničke uticaje CL-20 mnogo je veća nego heksogena i oktogena, i bliska je pentritu. Zbog toga je neophodno da se izvrši flegmatizacija polimerima EVA i estanom. Osim ovim polimerima, CL-20 se flegmatizuje i fluorovanim nitroformalima, koji mu regulišu energetske karakteristike stvarajući veoma otrovne produkte detonacije.

*Literatura:*

- [1] Andelković – Lukić, M.: Tendencije razvoja brizantnih eksploziva, Vojnotehnički glasnik, vol. XLVI, br. 6, 1998, str. 681–690.
- [2] Hristovski, M.: Eksplozivne materije, rečnik, NIU Vojaska, Beograd, 1994.
- [3] Andelković – Lukić, M.: Novi visokobrizantni eksploziv policiklični heksanitroheksazaizovurcitan, (HNIW, CL-20), Naučno-tehnički pregled, vol. L, br. 6, 2000, str. 60 – 64.
- [4] Foltz, M. F. i dr.: The Thermal Stability of the Heksanitroheksazaizowurzitane, Part I, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1994, no. 19, pp. 19–25.
- [5] Simpson, R. L. i dr.: CL-20 Performances Exceeds of HMX and is Sensitivity is moderate. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1997, no. 22, pp. 249–255.
- [6] Andelković – Lukić, M.: Granulisani brizantni eksplozivi, Kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut, Beograd, 2000.
- [7] Holtz, E. V. i dr.: The Solubility of CL-20 in Selected Materials, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1994, no. 19, pp. 206–212.
- [8] Andelković – Lukić, M.: Ispitivanje karakteristika flegmatizovanog eksploziva u zavisnosti od primenjenih flegmatizatora, Vojnotehnički institut, Beograd, 1987.



Pavle Galić,  
pukovnik, dipl. inž.  
Saobraćajna uprava GŠ VJ,  
Beograd

## KONCEPCIJA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI BEZBEDNOSTI DRUMSKOG SAOBRAĆAJA

UDC: 656.11 : 351.811

### Rezime:

*U ovom radu prikazana je koncepcija istraživanja u oblasti bezbednosti drumskog saobraćaja, kao jednoj od najmlađih naučnih disciplina. Važnost istraživanja posebno je značajna zbog toga što je bezbednost saobraćaja u svim granama, a posebno u drumskom saobraćaju, postala jedna od glavnih briga svakog društva. Negativne posledice saobraćaja danas dovode do velikih gubitaka, pa bezbednost postaje ozbiljan društveni problem. Zadatak svake zemlje je da poveća bezbednost u saobraćaju i ostvari željeni nivo mogućnosti prevoza, uz što manji broj saobraćajnih nezgoda. Ovako postavljen problem može se rešiti uz potpuno poznavanje rizika i uzroka koji dovode do nastanka nezgoda – primenom sistemskih mera koje su zasnovane na naučnim dostignućima.*

*Gljučne reči: bezbednost saobraćaja, saobraćajna nezgoda, faktor rizika.*

---

## CONCEPT OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF ROAD TRAFFIC SAFETY

### Summary:

*This work has reviewed the basic concepts of the scientific research in the field of road traffic safety which has been one of the newest scientific areas. The research in this field is of great importance because the safety of all kinds of transport, particularly of the road traffic, has become a thing of great concern of each country and each society. As it is obvious that mankind has already suffered many losses due to the consequences of traffic accidents, safety appears as a very serious social problem. Thus the aim of each country should be to improve the traffic safety and to achieve a certain standard of methods of traffic having had the least possible number of accidents. This problem can be solved having taken in account the complete knowledge of all risks and causes that may lead to accidents, as well as applying thoroughly all systematically prepared measurements based on scientific achievements.*

*Key words: safety traffic, traffic accident, risk factor.*

---

### Uvod

Brzim razvojem saobraćaja povećana je ugroženost učesnika u saobraćaju, čime se javila potreba da naučna disciplina proučava probleme bezbednosti saobraćaja, odnosno rešava probleme bezbednosti ljudi i imovine u saobraćaju.

U ovom radu izrazi „saobraćajna nezgoda“ i „nesreća“ koriste se uporedo, a oba označavaju nenameran, nepredvidiv i neočekivani događaj u drumskom saobraćaju, koji dovodi do značajne štete po ljudsko zdravlje, imovinu ili okolinu (Elvik, 1991). Saobraćajne nezgode koje dovode do povreda nazivaju se saobra-

čajne nezgode sa povredama, a nezgode u kojima učesnici ne stradaju, ali se oštećuju vozila ili druga imovina, nazivaju se nezgode sa materijalnom štetom.

Pojedini naučnici namerno izbegavaju termin saobraćajna nezgoda, dajući prednost drugim terminima, kao što je „katastrofa“ (Evans, 1991) ili „dogadaj koji dovodi do nenamerne povrede“ (Langley, 1988), „saobraćajna nezgoda“ obično označava dogadaj koji se dešava slučajno, pa se, kao što se pretpostavlja, nalazi van kontrole čoveka. Podrazumeva se da isticanje slučajnosti saobraćajne nezgode stvara neželjeni utisak, s obzirom na to da su oni neizbežni.

Da li se saobraćajne nezgode dešavaju slučajno ili ne, empirijsko je pitanje. Činjenica da svaka saobraćajna nezgoda može sadržati znatnu komponentu slučajnosti nikako ne znači da su sve saobraćajne nezgode, ili njihovo raspoređivanje po bilo kakvom merilu dostupnom čovekovo kontroli, slučajne. Slučajnost na mikronivou ne znači slučajnost na makronivou, pa zbog toga argumenti protiv termina „saobraćajna nezgoda“ logično nisu ubedljivi.

Danas ne postoji jedinstveno prihvaćena definicija pojma „saobraćajna nezgoda“, pa se primenjuju različiti kriterijumi za definisanje ovog pojma, a bitne su razlike u definicijama u pogledu mesta nastanka nezgode, vozila i nastradalog lica (smrt, povreda, kretanje, itd.). Navodimo nekoliko definicija: saobraćajna nezgoda je nezgoda koja se dogodila na mestu otvorenom za javni saobraćaj, ili koja je započeta na takvom mestu, u toku koje je jedno ili više lica poginulo ili bilo ranjeno, i u kojoj je učestvovalo najmanje jedno motorno vozilo u pokretu

(Komitet za unutrašnji transport, ECE, UN); saobraćajna nezgoda je događaj pri kome je nenamerno izazvana povreda ili materijalna šteta, koje se direktno ili indirektno mogu pripisati kretanju vozila ili njegovog tereta (USA 1992); saobraćajna nezgoda je nezgoda na putu u kojoj je učestvovalo najmanje jedno vozilo u pokretu, i u kojoj je jedno ili više lica poginulo ili povredeno ili je izazvana materijalna šteta (SRJ, Zakon o osnovama bezbednosti saobraćaja na putevima).

### **Saobraćajne nezgode i njihovo registrovanje**

U svim zemljama postoji sistem registrovanja saobraćajnih nezgoda (Trinca et al, 1988), a ukoliko su njihove posledice povrede registruje ih policija. Kopije zapisnika o saobraćajnim nezgodama dostavljaju se organima nadležnim za puteve, radi tačne lokacije svake nezgode, kao i centralnoj statističkoj organizaciji – birou.

Pored toga, postoji i sistem registrovanja saobraćajnih nezgoda sa povredama, a u pojedinim zemljama registruje se i saobraćajne nezgode čije su posledice samo materijalna šteta.

U nekim istraživanjima (Nedland&Lie, 1986; Hauer&Hakkert, 1988) dokazano je da je zvanična informacija o saobraćajnim nezgodama nepouzdana. Ako se uporede policijski zapisnici sa bolničkim evidencijama o primljenim pacijentima, često se pokazuje da je policija registrovala manje od polovine saobraćajnih nezgoda sa povredama koje je bilo potrebno hospitalizovati. Verovatnoća da saobraćajne nezgode ne registruje

policija zavisi od težine povrede ljudi. Što su povrede lakše, to je manje verovatno da će saobraćajna nezgoda biti registrovana.

U većini zemalja sa razvijenim automobilskim saobraćajem smatra se da se saobraćajne nezgode u kojima ima poginulih sigurno registruju. Mada je to verovatno tačno, što se tiče broja smrtnih slučajeva, njihova klasifikacija kao saobraćajna nezgoda nije jednostavna. Pojedini slučajevi pogibije u saobraćajnim nezgodama prikazuju se kao samoubistva (Philips, 1979), a broj takvih slučajeva nepoznat je, i teško da će moći tačno da se utvrdi.

Upoređivanje bezbednosti drumskog saobraćaja u različitim zemljama često se ograničava na broj poginulih, pošto se te saobraćajne nezgode najsigurnije registruju. Međutim, čak i pri takvim upoređenjima dolazi do grešaka. Pogibija u saobraćajnim nezgodama ne definiše se na jedinstven način. U većini država ECE ona se definiše kao „smrt u toku 30 dana nakon nezgode“. Međutim, u nekim zemljama, kao na primer u Francuskoj, Japanu i nekim provincijama Kanade, pogibija u saobraćajnim nezgodama definiše se kao smrt u vremenu kraćem ili dužem od 30 dana posle nezgode (npr. 3 dana ili 12 meseci).

U nekim zemljama u razvoju slučajevi pogibije ljudi u saobraćajnim nezgodama ne registruju se potpuno ili su podaci nepouzdana. Na primer, oko 40% slučajeva pogibije ljudi u saobraćajnim nezgodama u Nigeriji nisu obuhvaćeni zvaničnom statistikom.

U izvesnom stepenu nepotpunost zvanične statistike saobraćajnih nezgoda može se prevazići ako tu statistiku upot-

puni drugim izvorima informacija, kao što su, na primer, bolničke arhive. Međutim, ne postoje garancije da su i bolničke arhive potpune i pouzdane. Pored toga, zabeleške o saobraćajnim nezgodama u bolničkim arhivama obično nisu standardizovane, u znatnoj meri su nesredene, proizvoljne i zavise od faktora kao što je mogućnost da ih koristi lekar.

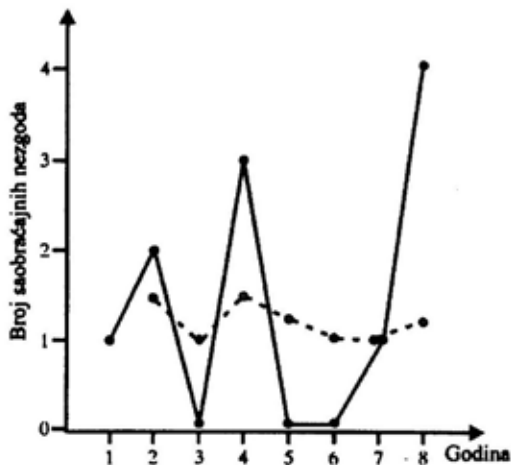
Može se zaključiti da je za praktične potrebe realan broj saobraćajnih nezgoda neizvestan. Verovatno je da se ova konstatacija odnosi na svaku područnu oblast, mada ne i u podjednakom obimu. Sigurno je samo to da je tačan broj saobraćajnih nezgoda uvek znatno veći od registrovanog.

Periodičnost obnavljanja statistike saobraćajnih nezgoda može se menjati u zavisnosti od područne oblasti i vremena. Zbog toga je to u svakom istraživanju izvor nesigurnosti, kako u pogledu faktora koji doprinose nezgodama, tako i u pogledu protivmera.

### **Slučajna i sistematska promena broja saobraćajnih nezgoda**

Čak i kada bi bio poznat tačan broj saobraćajnih nezgoda, tumačenje podataka o njima bilo bi komplikovano činjenicom da registrovani broj saobraćajnih nezgoda za određeni sistem, u toku određenog perioda uvek predstavlja opšti rezultat sistematske i slučajne promene. Za objašnjenje ovog stava poslužiće grafički prikaz na slici.

Na slici su predstavljeni hipotetički (ali ne i nerealni) podaci o saobraćajnim nezgodama na raskrsnici u toku osam godina. Registrovane saobraćajne nezgode



Hipotetički podaci o saobraćajnim nezgodama na raskrsnici u toku osam godina:  
 • - registrovanih za godinu dana;  
 ° - prosečan broj saobraćajnih nezgoda u godini

u toku jedne godine označene su tačkama (.). Može se zapaziti da se taj broj menja od 0 do 4 bez vidne tendencije za promenom u bilo kom određenom pravcu. Takođe, pokazan je prosečan godišnji broj saobraćajnih nezgoda označen kružićem (o). Za drugu godinu posmatranja to predstavlja prosečan registrovani broj saobraćajnih nezgoda u toku prve godine, tj.  $(1+2)/2=1,5$ . Za treću godinu to je prosečan registrovani broj saobraćajnih nezgoda u toku prve tri godine, tj.  $(1+2+0)/3=1,0$ . Za četvrtu godinu to je srednji pokazatelj za prve četiri godine, itd.

Na osnovu podataka sa slike, može se doći do niza zapažanja. Registrovani broj saobraćajnih nezgoda u toku jedne godine ne određuje se obavezno na osnovu prosečnog broja saobraćajnih nezgoda za konkretnu raskrsnicu. U stvarnosti, registrovani broj saobraćajnih nezgoda za jednu godinu menja se od 0 do 4, i uvek je ceo broj. Prosečan broj saobraćajnih nezgoda menja se od 1,0 do 1,5 i može biti bilo koji decimalan broj.

Prosečan godišnji broj saobraćajnih nezgoda znatno je stabilniji od registrovanog broja saobraćajnih nezgoda. To znači da svaki skok registrovanog broja saobraćajnih nezgoda ne znači istovremenu izmenu prosečnog broja saobraćajnih nezgoda za duži period.

Prosečan broj saobraćajnih nezgoda je stabilniji ukoliko se uzima za veći broj godina njegovo izračunavanje. To je najvidljivije ako se pogleda kako registrovani broj saobraćajnih nezgoda, za jednu godinu, utiče na prosečan pokazatelj. U četvrtoj godini bile su registrovane tri saobraćajne nezgode. Na račun toga srednji pokazatelj je porastao sa 1,0 na 1,5. Za 8 godina registrovane su četiri saobraćajne nezgode, što je izazvalo promenu srednjeg pokazatelja sa 1,0 na svega 1,38.

Veliki broj registrovanih saobraćajnih nezgoda u jednoj ili više godina ne ponavlja se za identični naredni period, što je uočljivo ako se posmatraju prvi i drugi četvorogodišnji period. Za prvi period registrovano je šest saobraćajnih nezgoda, a za drugi period taj broj je opao na pet. Tendencija kretanja ka veoma visoko, ili veoma nisko, registrovanom broju saobraćajnih nezgoda u određenom periodu, koji je bliži prosečnim za identičan naredni period, naziva se regresija ka proseku. Ovakvi podaci o saobraćajnim nezgodama predstavljaju ozbiljan izvor pogrešaka u preduzimanju preventivnih i naknadnih protivmera u ostvarivanju efikasnosti istraživanja.

Navedena zapažanja predstavljaju osnovne principe za dobijanje statističkih podataka o nezgodama, i mogu poslužiti kao osnova za određivanje slučajnih i sistematskih promena broja saobraćajnih nezgoda.

Pretpostavlja se da se može izračunati prosečan broj saobraćajnih nezgoda za raskrnicu na kojoj nije bilo izmena u toku veoma dugog perioda, npr. 50 ili 100 godina. Na taj način dobijena izračunata vrednost biće veoma slična očekivanom broju saobraćajnih nezgoda, koji predstavlja prosečan broj saobraćajnih nezgoda u jedinici vremena, i koji će se desiti u toku dužeg vremena ako uticaj raznih faktora i rizika ostane neizmenjen (konceptije uticaja različitih faktora i rizika obrađene su kasnije).

Praktično, nemoguće je izračunati očekivani broj saobraćajnih nezgoda za jednu raskrnicu i jednog vozača, ili bilo koju jedinicu koja bi mogla biti predmet istraživanja. Za tako dugačak period uticaj različitih faktora i rizika teško da će ostati neizmenjen (Nicholson, 1985; 1988).

Praktičniji pristup sastoji se u prikupljanju podataka o nezgodama, i nizu faktora za koje se pretpostavlja da utiču na saobraćajne nezgode. Očekivani broj saobraćajnih nezgoda izračunava se metodama sa više promenljivih ili grupisanjem objekata istraživanja u skladu sa faktorima pojašnjavanja. Pri takvoj analizi obično se pretpostavlja da slučajne promene otpadaju u slučaju grupe istovetnih objekata istraživanja. U stepenu u kojem je to tačno očekivani broj saobraćajnih nezgoda može se izračunati sa očekivanom tačnošću za grupe istovetnih objekata. Očekivani broj saobraćajnih nezgoda za jedan od objekata istraživanja ne može se nikada tačno izračunati!

Sistematska promena broja saobraćajnih nezgoda znači da je za neke objekte istraživanja očekivani broj saobraćajnih nezgoda veći ili manji nego što je

očekivani broj saobraćajnih nezgoda za druge objekte iste vrste (različiti su vozači, modeli automobila, raskrsnice, delovi puta, itd.).

Slučajna izmena broja saobraćajnih nezgoda označava izmenu registrovanog broja saobraćajnih nezgoda u granicama bliskim prosečnoj (očekivanoj) vrednosti.

Registrovani broj saobraćajnih nezgoda skoro uvek se javlja kao rezultat sistematske i slučajne promene, pa zbog toga tumačenje podataka o nezgodama podrazumeva i pokušaj da se razdvoje relativni udeo sistematskih i slučajnih faktora.

Prisustvo sistematskih promena u podacima o nezgodama, može se utvrditi istraživanjem verovatnog rasporeda saobraćajnih nezgoda. Postoje četiri merenja po kojima se može menjati sistematska promenljiva, a to su:

- prostor; na nekim delovima puta očekivani broj saobraćajnih nezgoda može biti veći ili manji nego na drugim;

- vreme; za objekte istraživanja iste vrste očekivani broj saobraćajnih nezgoda može biti veći u toku pojedinih perioda (npr. noću) u poređenju sa drugim periodima;

- vrsta puta ili vozila koje se koristi; za neke vrste sredstava ili puteva (napr. vožnja na biciklu) broj saobraćajnih nezgoda može biti veći nego kod drugih;

- individualne karakteristike; za neke učesnike drumskog saobraćaja očekivani broj saobraćajnih nezgoda može biti veći nego kod drugih, zbog njihovih individualnih karakteristika, čak i ako su u pitanju vozila istog tipa, u isto vreme i na istom mestu.

Navedena četiri parametra često se ukrštaju, ali su logički nezavisna u smislu što sistematske promene u jednom merenju ne podrazumevaju istovremeno i promene u ma kom od ostalih merenja.

### Faktori koji utiču na sistematsku promenu broja saobraćajnih nezgoda

Postoje dva osnovna faktora koji dovode do izmene očekivanog broja saobraćajnih nezgoda: spoljni faktori i rizik.

$N_{oc} = F \cdot R$  (broj nezgoda/mil. vozila – km)

gde je:

$N_{oc}$  – očekivani broj saobraćajnih nezgoda,

$F$  – uticaj spoljnih faktora,

$R$  – rizik.

Uticaj spoljnih faktora predstavlja obim saobraćaja, a za puteve on se određuje obimom drumskog saobraćaja koji se često izražava prosečnom dnevnom gustinom drumskog saobraćaja u toku jedne godine.

Uticaj spoljnih faktora meri se na više različitih načina. Obično se izražava u auto-kilometrima. Druga moguća jedinica merenja su časovi provedeni za volanom, broj putovanja ili broj vozila, a često je jedinica merenja uslovljena postojećim podacima.

Rizik se određuje na više načina (Haight, 1986). U istraživanjima bezbednosti drumskog saobraćaja najbolje se izražava u broju povredjenih u jedinici uticaja spoljnih faktora. Na taj način je:

$R = N_{ver} \cdot P_n$  (povredjeni – poginuli/mil. km)

gde je:

$R$  – rizik

$N_{ver}$  – verovatnoća saobraćajne nezgode,

$P_n$  – posledice saobraćajne nezgode.

U idealnom slučaju verovatnoća saobraćajne nezgode obuhvata zbir broja objekata istraživanja, koji imaju jednu ili više saobraćajnih nezgoda u toku određenog perioda, u granicama precizno određenih objekata istraživanja. U praksi, verovatnoća se najčešće izražava kao broj saobraćajnih nezgoda u jedinici delovanja spoljnih faktora:

$N_{ver} = \frac{N}{F_{jd}}$  (broj nezgoda/mil. km – vozila)

gde je:

$N_{ver}$  – verovatnoća saobraćajne nezgode,

$N$  – broj saobraćajnih nezgoda,

$F_{jd}$  – jedinica delovanja spoljnih faktora.

Posledice saobraćajne nezgode mogu se izraziti preko broja povredjenih i težina povrede. Često se ove dve mere (broj i težina) raščlanjuju na npr. broj povreda određene težine po jednoj nezgodi.

Ovaj uprošćeni parametar često sadrži informacije neophodne istraživačima.

Uticaj spoljnih faktora i rizik mogu se menjati po četiri parametra koja su opisana u tekstu. Faktori koji dovode do promene rizika nazivaju se faktorima rizika. Da bi se odredio faktor rizika neophodno je poznavanje rasporeda faktora po kategorijama saobraćajnih nezgoda,

kao i uticaja spoljnih faktora. Neophodan uslov da faktor  $F_r$ , bilo da je „prisutan“ ili „odsutan“, bude označen kao faktor rizika jeste da vrednost sledećeg uzajamnog odnosa bude veći od 1,0:

$$F_r = \frac{\frac{F_{np}}{F_{sp}}}{\frac{F_{no}}{F_{so}}} > 1,0$$

gde je:

$F_r$  – faktor rizika,

$F_{np}$  – faktor saobraćajne nezgode „prisutan“,

$F_{sp}$  – faktor uticaja spoljašnjih faktora „prisutan“,

$F_{no}$  – faktor saobraćajne nezgode „odsutan“,

$F_{so}$  – faktor uticaja spoljnih faktora „odsutan“.

Iz definicije sledi da faktor rizika može povećati rizik na tri načina:

– povećavajući verovatnoću saobraćajne nezgode,

– povećavajući težinu saobraćajne nezgode,

– povećavajući verovatnoću i težinu saobraćajne nezgode.

Teorijski, faktor rizika, može povećavati verovatnoću rizika, ali i umanjivati njihovu težinu. Postoji hipoteza da povećanje otpornosti vozila daje takav efekat (Peltzman, 1975) a, s druge strane, auto-putevi smanjuju verovatnoću saobraćajne nezgode, ali mogu povećavati težinu saobraćajne nezgode (Preston, 1991).

## Priroda veze između faktora rizika i saobraćajne nezgode

Jedan od najstarijih i do sada nerazrešenih naučnih sporova u oblasti proučavanja bezbednosti drumskog saobraćaja vezan je za prirodu veze između faktora rizika i saobraćajne nezgode. Problem je u tome može li se govoriti o faktorima rizika kao uzrocima saobraćajne nezgode, i ako može kakvim pojmovima treba opisati.

Uzročnost je veoma složeno pitanje, a ovaj rad nema pretenziju da rešava to pitanje. Ipak, neophodno je reći nekoliko reči kako bi se izbeglo nerazumevanje i pojasnio stav koji zauzimaju neki autori.

Korisno je objasniti prirodu veze između faktora rizika i saobraćajne nezgode. Primer je uzet iz norveškog istraživanja 16 saobraćajnih nezgoda u kojima su učestvovala teška motorna vozila (Muskau, 1988). Te saobraćajne nezgode temeljno je proučila grupa eksperata iz raznih naučnih disciplina u meri u kojoj je bilo moguće da brzo stignu na mesto saobraćajne nezgode. U jednoj nezgodi tegljač sa prikolicom prevrnuo se u jarak pored puta skrećući ulevo na raskrsnici. Grupa eksperata ocenila je sledeće faktore koji su imali mogući udeo u toj nezgodi:

– radijus krive kojom se vršilo skretanje u levo iznosio je svega 10 do 15 m, što nije dovoljno za tegljač sa prikolicom;

– glavni put na raskrsnici zaokreće, što znači da se vozila koja skreću ulevo pri tome naginju na suprotnu stranu (tj. umesto nagiba pri kome se više podižu desni točkovi, u tom slučaju više se podižu levi točkovi);



– vozač je neznatno premašio maksimalnu bezbednu brzinu za skretanje ulevo koja iznosi oko 21 km/h, za vozila istovetnih razmera i mase;

– pri skretanju ulevo vozač nije izabrao najbolju putanju kretanja. On je napravio oštar zaokret sa radijusom oko 10 m, umesto da skrene ravnije, šire, sa radijusom oko 15 m (koji je maksimalno moguć u raskrsnici);

– kada je vozač primetio da će se vozilo prevrnuti, pokušao je da to izbegne okrenuvši točak upravljača udesno. Takav manevar pokazao se neuspešnim pošto je desni točak naleteo na kamen mase oko 25 kg;

– vozač je bio relativno neiskusni i nije pretpostavljao da će zaokret biti opasan. On nije imao u vidu da vozilo može da se prevrne pri tako maloj brzini (jedva većoj od kritične brzine od 21 km/h). Ranije je nekoliko puta uspešno skretao na tom mestu.

U ovom popisu faktora koji su doprineli razmatranoj nezgodi postoji nekoliko činjenica koje zaslužuju posebnu pažnju.

Većina nabrojanih faktora poznati su faktori rizika, a ovde su to radijus skretanja, dimenzije vozila, brzina kretanja i neiskustvo vozača.

Sumnje izaziva i odsustvo niza poznatih faktora rizika, kao što je zamor vozača, ili dejstvo alkohola ili narkotika. Vozač je posedovao važeće vozačke isprave koje mu daju pravo da upravlja saobraćajnim sredstvima takve vrste. Pažnju od upravljanja vozilom nisu mu odvlačili, na primer, razgovori sa putnicima. Površina puta bila je čista i suva, a uslovi vidljivosti dobri. Bio je dan bez ikakvih vremenskih nepriključnosti. Vozilo se

nalazilo u idealnom tehničkom stanju i, koliko je poznato, nije imalo tehničkih neispravnosti. Vozilo nije bilo pretovareno. Na prvi pogled saobraćajna nezgoda izgleda neobjašnjiva. Bez obzira na to grupi eksperata pošlo je za rukom da izdvoji nekoliko faktora koji su potencijalno doprineli saobraćajnoj nezgodi.

Grupa eksperata nije izdvojila, iz faktora koji su potencijalno doprineli nezgodi, više važne ili odlučujuće u poređenju sa drugima.

Može se raspravljati o tome da je popis faktora koji su doprineli saobraćajnoj nezgodi veoma rudimentarno objašnjenje. Bez sumnje, nauka mora da definiše odlučujuće ili najvažnije faktore. Pri analizi saobraćajne nezgode treba ukazati na skup faktora koji potencijalno mogu da doprinesu nezgodi. Upoređujući okolnosti koje prate saobraćajnu nezgodu sa onim koje preovlađuju u običnom drumskom saobraćaju, može se izvršiti nešto dublja analiza. Takvo poređenje čini očiglednim da faktori koji potencijalno doprinose nezgodi ne mogu biti neophodan uslov saobraćajne nezgode. Na primer, oštar zaokret, koji u suštini nije neophodan uslov da bi se dogodila saobraćajna nezgoda, pošto se saobraćajne nezgode dešavaju i na pravim deonicama puta. Analogni zaključci mogu se primeniti i kada je u pitanju neiskustvo vozača, jer se i iskusnim vozačima dešavaju saobraćajne nezgode.

Nijedan od faktora koji potencijalno doprinose nezgodi ne može biti objašnjen kao dovoljan uslov za saobraćajnu nezgodu, jer većina vozača koji vrše oštra skretanja čine to ne izazivajući saobraćajne nezgode, i većina teških kamiona se ne prevrće.

Analogni zaključci, takođe, važe i u odnosu na povezivanje faktora koji potencijalno doprinose nezgodi. Isti vozač uspešno je skretao sa istim vozilom nekoliko puta ranije. Vozač je bio isto toliko iskusan, vozilo je bilo iste mase, radijus skretanja takođe je isti, a kritična brzina pri kojoj se vozilo prevrće bila je ista kao u svim prethodnim slučajevima.

Nameće se zaključak da su kritični faktori postali vozačev izbor putanje skretanja i kamen koji je zasmetao u pokušaju da se spreči prevrtanje vozila. Međutim, nazvati te faktore kritičnim nije korektno. Da je vozilo bilo lakše, izbor putanje skretanja ne bi imao nikakvog značenja na udeo svih ostalih faktora. Štaviše, veličina raskrsnice ograničavala je taj izbor radijusom skretanja u granicama od 10 do 15 m.

Iz razmatranog primera proizilazi nekoliko zaključaka:

- saobraćajna nezgoda je retko rezultat delovanja jednog faktora, a faktori rizika koji potiču od vozača, uključujući i njegovo ponašanje, vozila i puta, uzajamno su povezani i čine skup uslova dovoljnih da se dogodi saobraćajna nezgoda;

- veza faktora rizika i nezgode bez sumnje je statistička. Ne postoje faktori rizika koji neizbežno dovode do saobraćajne nezgode. Pojedine faktore rizika lakše je statistički utvrditi, radi toga što se javljaju u većem broju saobraćajnih nezgoda;

- neki od uobičajenih faktora rizika ne pojavljuju se uvek u konkretnoj saobraćajnoj nezgodi. Ovo proizilazi iz činjenice da faktori rizika nisu neophodan ili dovoljan uslov da se dogodi saobraćajna nezgoda. To znači da su rezultati statističkih istraživanja primenljivi samo

na nivou uopštavanja, a na individualnom nivou – ne uvek;

- ne mogu svi faktori koji doprinose nezgodama biti utvrđeni statističkim metodama. Neki faktori se ne mogu odrediti statističkim metodama pošto su više ili manje specifični za konkretne saobraćajne nezgode. Kamen koji je zasmetao manevru tegljača, u navedenom primeru, primer je specifičnih faktora;

- raznovrsnost i uzajamna veza faktora rizika znači da udeo jednog faktora u nezgodi u suštini ne može uvek biti utvrđen sa visokim stepenom tačnosti. U svakom istraživanju rizika sa nekoliko promenljivih, najčešće će biti propušten promenljivi koeficijent, pošto broj nepoznatih faktora rizika znatno premašuje broj poznatih faktora koji se ne mogu meriti;

- neki faktori rizika, zbog svoje prirode, teže se nego drugi mogu pouzdano izmeriti. U navedenom primeru treba oceniti i očekivanja vozača. Pošto mu je prethodno iskustvo govorilo da skretanje nije opasno, vozač nikako nije očekivao da će se vozilo prevrnuti. Ta očekivanja bila su priznata kao faktor koji potencijalno ima udela u nezgodi samo na osnovu usmenog priznanja vozača. Očekivanja nije lako izraziti u formi pogodnoj za savremenu statističku analizu, i obično se ona ne unose u zapisnike o nezgodama. Istraživanja zasnovana samo na registrovanoj informaciji mogu imati „operativni pravac“, tj. sadržati promenljive koje su lako merljive, ali koje nemaju odlučujući značaj.

Ovo ne znači da je statistička analiza faktora rizika beskorisna, ili da se iz takve analize ne mogu izvući pouzdani zaključci. Uzajamna veza faktora rizika i saobraćajne nezgode ima slučajni, pro-

menljivi, karakter, što ne obezvređuje i ne čini besmislenim uzročno tumačenje njihove uzajamne veze.

### **Promene broja saobraćajnih nezgoda na makro i mikronivou**

U većini zemalja sa razvijenim stepenom motorizacije registrovani broj saobraćajnih nezgoda iznenađujuće je stabilan iz godine u godinu, a promena retko veća od 10%. Takva stabilnost postoji u toku poslednjih dvadesetak godina. Do tada je u većini zemalja broj saobraćajnih nezgoda bio u porastu.

Stabilnost se ne odnosi samo na ukupan broj saobraćajnih nezgoda, već i na njihov raspored, na primer, po vremenu u toku dana, grupama učesnika drumskog saobraćaja, kategorijama puteva, itd. Procesi koji dovode do saobraćajnih nezgoda vidno pokazuju zakonitost, bez obzira na to što je veza između faktora rizika i saobraćajne nezgode po svojoj prirodi statistička.

To znači da, na opštem nivou praćenja promena broja saobraćajnih nezgoda uglavnom može biti objašnjena kao sistematska. Na mlade vozače, kao grupu, sistematski dolazi više saobraćajnih nezgoda, nego na vozače iz srednje starosne grupe. Na raskrsnicama gde se ukrštaju četiri puta dešava se više saobraćajnih nezgoda nego na raskrsnicama sa tri puta, itd. Kako se prelazi na detaljnije analize, udeo slučajnih faktora postaje sve primetniji. Na jednoj raskrsnici registrovani broj saobraćajnih nezgoda, u toku određenog perioda, može biti u značajnoj meri slučajan. Manji broj saobraćajnih nezgoda, koje su obično zabeležene na raskrsnici u to-

ku dve ili četiri godine (10 do 20 saobraćajnih nezgoda), ne omogućava da se otkriju i analiziraju konkretni faktori rizika koji doprinose tim nezgodama.

Za „praktičare“ to je ozbiljan problem. Aktivnosti treba preduzimati na mikro-planu, u postupcima koji se odnose na protivmere, a istraživanja faktora koji doprinose nezgodama, ili efikasnosti protivmera, treba vršiti na opštijem planu kako bi se došlo do statistički značajnih zaključaka.

### **Bezbednost drumskog saobraćaja i lična bezbednost**

Saobraćajne nezgode tradicionalno se razmatraju kao problem bezbednosti drumskog saobraćaja. Zadatak se sastoji u tome da se poveća bezbednost putnog sistema i ostvari željeni nivo prevoza uz što manji broj saobraćajnih nezgoda.

Bezbednost drumskog saobraćaja obično se određuje brojem saobraćajnih nezgoda na milion kilometara puta ili brojem saobraćajnih nezgoda na 1000 ili 10 000 vozila. Izražavajući na taj način bezbednost drumskog saobraćaja, sve zemlje sa automobilskim saobraćajem za poslednjih 20 do 30 godina postigle su velike uspehe. Prosečan broj saobraćajnih nezgoda (broj saobraćajnih nezgoda po auto-kilometru) smanjio se ispod polovine, a ponegde ispod trećine nivoa koji je postojao pre 20 do 30 godina.

Što se tiče lične bezbednosti, odgovarajući progres do sada nije postignut. Lična bezbednost meri se brojem poginulih na 100 000 stanovnika u područnoj oblasti. Ovaj pokazatelj ukazuje i na problem zdravstvene zaštite.

Lična bezbednost u vezi je sa bezbednošću drumskog saobraćaja, a uzajamna veza ta dva pokazatelja bezbednosti može se izraziti na sledeći način:

$$U_l = U_{uk} \cdot Q \quad (\text{nezgode} - \text{vozila} / 10\,000 \text{ stanovnika})$$

gde je:

$U_l$  – lična bezbednost,

$U_{uk}$  – bezbednost drumskog saobraćaja,

$Q$  – automobilizacija (broj motornih vozila).

Ova uzajamna veza znači da je sa porastom automobilizacije neophodno povećati bezbednost drumskog saobraćaja, kako lična bezbednost ne bi bila ugrožena. Automobilizacija se može izraziti brojem automobila na 1000 stanovnika.

U mnogim zemljama za poslednjih 20 godina lična bezbednost je ostala, uglavnom, na stabilnom nivou. Jedno istraživanje (Wilde, 1991) pokazuje da se lična bezbednost u SAD praktično nije promenila od 1927. do 1987. godine, a drugo istraživanje pokazuje da se povećala u prvoj polovini osamdesetih godina (Haight, 1984).

U svakom slučaju povećanje lične bezbednosti u zemljama sa visokim stepenom automobilizacije daleko je manje vidljivo u procentima nego povećanje bezbednosti drumskog saobraćaja. U mnogim zemljama sa visokim tempom automobilizacije lična bezbednost nezadrživo opada.

## Zaključak

U ovom radu bezbednost saobraćaja je definisana kao naučna disciplina, koja primenom naučne metodologije prati, izučava i objašnjava pojavne oblike, uzro-

ke i druge faktore zbog kojih nastaju pojave koje ugrožavaju ljude i imovinu u saobraćaju, a posebno saobraćajne nezgode i strategiju sprečavanja nastanka nezgoda. Bezbednost drumskog saobraćaja je interdisciplinarna oblast pred koju se postavljaju složeni zadaci na teorijskom, fenomenološkom, etiološkom i preventivnom planu.

Pored nedovoljne pouzdanosti podataka o saobraćajnim nezgodama, u svim istraživanjima bezbednosti drumskog saobraćaja postoji niz drugih problema koje treba imati u vidu pri korišćenju postojećih rezultata u istraživanjima:

– nije jednostavno izvršiti efikasno merenje svih faktora rizika, a najdetaljnije su proučeni faktori koji su najčešće jednostavni za merenje;

– faktori rizika su često međusobno zavisni, a samo u malom broju istraživanja koristi se šema sa nekoliko promenljivih koja dozvoljava da se izoluje uticaj svakog faktora, od uticaja faktora koji su u vezi sa njim;

– ne može se na sve faktore lako uticati, niti se svi faktori rizika mogu promeniti.

## Literatura:

- [1] Dragač, R.: Bezbednost drumskog saobraćaja, Saobraćajni fakultet Beograd, Beograd, 2000.
- [2] Inić, M.: Bezbednost drumskog saobraćaja, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad, 1997.
- [3] Sprovočnik po bezbednosti dorožnovo dviženija, Obzor meroprijati po bezbednosti dorožnovo dviženija, Institut ekonomiki transporta, Oslo – Kopenhagen, 1996.
- [4] Rotim, F.: Elementi sigurnosti cestovnog prometa, svezak 1, Ekspertize prometnih nezgoda, Zagreb, 1991.
- [5] Zbornik sa 4. simpozijuma Preventiva u bezbednosti saobraćaja na putevima, Republički savet za bezbednost saobraćaja na putevima Beograd, Šabac, 1979.
- [6] Dragač, R.: Bezbednost saobraćaja II i III, Saobraćajni fakultet Beograd, Beograd, 1977–1988.
- [7] Zbornik radova Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 96, Novi Sad, 1996.
- [8] Pantazijević, S.: Bezbednost saobraćaja, Viša škola unutrašnjih poslova, Beograd, 1994.
- [9] Vasiljević, V.: Bezbednost saobraćaja, Naučna knjiga, Beograd, 1980.

**Dr Slavko Pokorni,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija VJ,  
Beograd

## **BESPILOTNE LETELICE ZAPADNIH ZEMALJA**

### **Uvod**

Naziv bespilotna letelica (BL) odgovara engleskom nazivu Unmanned aerial Vehicle (UAV), mada se često javlja i naziv Remotely Piloted Vehicle (RPV), što bi značilo daljinski upravljana sredstva. Naime, daljinsko upravljanje se ne mora odnositi samo na letelice (odnosno sredstva u vazдушnom prostoru) već i na razna druga sredstva koja se kreću po kopnu, vodi (moru) ili pod vodom. Spomenimo sredstva koja se kreću po kopnu, koja nemaju ljudsku posadu, a koriste se u vojsci, policiji i u civilne svrhe, najčešće u situacijama koje su veoma opasne po čoveka, i koja predstavljaju vrstu robota. S obzirom na to da savremene bespilotne letelice imaju autonomne sisteme vođenja zasnovane na globalnom pozicionom sistemu (GPS – Global Positioning System) i inercijalnom sistemu navigacije, smatra se da je naziv „daljinski upravljane“ sve manje potreban, pa je i sve manje u opticaju. Zbog toga se pod pojmom bespilotna letelica, odnosno UAV, podrazumevaju sredstva koja su u stanju da se samostalno kreću u vazдушnom prostoru, i ona koja zahtevaju daljinsko upravljanje u realnom vremenu.

Sušтина primene bespilotnih letelica jeste da se izbegne direktno učešće ljudi

u obavljanju zadatka, a time i mogućnost ugrožavanja njihovih života, kao što je to slučaj kod aviona, odnosno pilotiranih letelica.

U ovom pregledu prikazani su podaci oko 60 bespilotnih letelica od oko 30 proizvođača, uglavnom iz zapadnih zemalja (od kojih je najveći broj iz SAD). U tabeli su države, a u okviru njih proizvođači, poredani po abecednom redu. Tabela obuhvata podatke kao što su oznaka, namena, korisni teret, brzina, vreme leta, dolet, dužina, raspon krila i prečnik letelice, masa, vrsta pogonske grupe odnosno motora, i napomena u kojoj su prezentirani neki interesantni podaci, kao što su način lansiranja i spuštanja, način upravljanja, status razvoja odnosno proizvodnje, eventualni korisnici, itd.

S obzirom na to da su numerički podaci u korišćenoj literaturi [1] prikazani u anglosaksonskim jedinicama, vrednosti su preračunate u jedinice Međunarodnog sistema jedinica, pri čemu su izvršena zaokruživanja, najčešće, na celobrojne cifre ili na jednu decimalu.

### **Namena bespilotnih letelica**

Poslednjih desetak godina primena bespilotnih letelica je sve češća, kako u

vojne, tako i u civilne svrhe. Беспилотне летелице имају првенствено војну, али и цивилну намену (која, углавном, користи резултате развоја беспилотних летелица за војне примене, на шта указују и улагања у развој која су, до сада, била далеко мања када се ради о цивилном сектору). Беспилотне летелице се користе за разне неборбене задатке као што су: извјашање, осматрање (откривање), аквизиција циљева, противелектронска борба (PED која обухвата извјашање електронских средстава противника и ометање њиховог рада), корекција артиљеријске ватре, фотоснимање, прикупљање метеоролошких података, одржавање везе (комуникације), испитивање корисног терета (опреме) који треба да носи беспилотна летелица, затим као мета, као мамца, за обуку, истраживање атмосфере, итд.

Беспилотне летелице се примењују и за борбене задатке, што се може илустровати примером демонстратора беспилотне борбене летелице коју развија SAD [2]. Наиме, RV SAD и агенција DARPA (Advanced Research Project Agency) чине прве конкретне кораке у развоју нове генерације платформи за неутралисање противваздушне одбране (PVO) противника, склапајући уговор за пројектовање четири будуће борбене беспилотне летелице (Unmanned Combat Aerial Vehicle –UCAV), са четири тима које воде фирме Lockheed Martin Tactical Aircraft Systems, Raytheon Systems Co., Boeing Information Defense and Space Systems и Northrop Grumman Military Aircraft Systems Div. Прва фаза (десет месеци) предвиђена је за проучавање, анализу и израду preliminarnog пројекта. Циљ технолошког демонстратора UCAV је пројектовање, израда, решавање фундаменталних технич-

ких проблема и демонстрација система који може да обавља задатке неутрализације PVO противника и ватрене ударе какви се предвиђају после 2010. године. И поред тога што се ради о беспилотној летелици, битни захтеви су „невидљивост“ и жилавост. Предвиђају се избалансиран захтеви између одраза летелице у високотрећентном (VF) и инфрацрвеном (IC) опсегу и уградња уређаја за електронска противдејства на летелици. Зависно од пројеката појединих тимова, могу бити обухваћени уређаји за упозорење на радарско озрачење, активни ометачи и активни мамци. Предвиђа се и смањени визуелни и акустички одраз, као и смањено електронско зрачење. Гађање ће се обављати коришћењем сензора постављених на летелици, и/или на неком другом објекту, а ради управљања GPS воденим пројектиlima. Летелицом ће управљати тим који може бити на земљи или у ваздушном простору, због чега је потребан робустан линк за пренос нишанских и навигационих података. Предност оваквог управљања очекује се у коришћењу података сензора са летелице, и/или са другог објекта, за приказ борбене ситуације. Систем ће вероватно да се користи у комбинацији са пилотираним летелицама, па ће захтевати и могућност идентификације „свој-туђ“. По завршетку прве фазе планирана је друга фаза, коју ће водити RV SAD, и у којој један од наведених тимова треба да развије комплетан систем демонстратора UCAV кој се састоји од два авиона и једне станице за управљање чије је тестирање требало да се обави до почетка ове године.

Предвиђа се употреба беспилотних летелица и у систему противракетне одбране SAD [3]. Као алтернатива разматрана је идеја о противракету (за борбу против бали-



stičkih raketa) koju bi nosila bespilotna letelica Global Hawk. Njena serijska proizvodnja planirana je za 2005. godinu, a uvođenje u naoružanje 2006. godine. Cena jedne letelice je oko 10 miliona dolara, a njen životni vek oko 20 godina. Prema projektu sistema protivrakete odbrane SAD, u njega bi ušlo 75 takvih bespilotnih letelica (tri eskadrile) sa 1200 protivraketa i četiri zemaljske stanice za navođenje. Prenos podataka do stanica u sistemu protivrakete odbrane na zemlji odvijao bi se preko satelita.

Bespilotna letelica često ima višenamensku ulogu, tj. može da obavlja više funkcija, npr. izvidanje, osmatranje i akviziciju ciljeva. Da bi mogla da obavlja određene zadatke neophodni su: tzv. koristan teret, sredstva za vezu (komunikaciju) odnosno linkovi za prenos podataka do i sa letelice, kao i zemaljska oprema za njeno lansiranje, ali i za razmenu podataka.

Za obavljanje konkretnih zadataka od velike važnosti je i koristan teret koji bespilotna letelica nosi. To su, najčešće, elektronski ili optoelektronski uređaji koji funkcionišu u širem opsegu elektromagnetnog spektra, kao što su radar (u poslednje vreme to je radar sa sintetizovanim antenom, tj. SAR – Synthetic Aperture Radar), razni ometači, izviđački prijemnici, televizijske, termovizijske i foto-kamere, ali i ubojna sredstva velike razorne moći.

### **Klasifikacija bespilotnih letelica**

U poslednje dve decenije pojavio se veliki broj tipova bespilotnih letelica, pa ih nije lako klasifikovati (u tabelarnom

pregledu nisu prikazane bespilotne letelice prema vrsti već prema proizvođačima). U SAD postoje dva pristupa klasifikaciji: jedan uzima u obzir daljinu, odnosno trajanje leta, a drugi visinu leta i druge mogućnosti bespilotne letelice, uključujući i cenu. Polazeći od daljine leta, u SAD je 1994. godine usvojena sledeća klasifikacija bespilotnih letelica:

- veoma malog doleta – do 50 km;
- malog doleta – 150 do 300 km;
- srednjeg doleta – do 650 km (od koje se odustalo);
- za dugotrajan let – za daljine veće od 300 km ili za više od 24 časa leta.

Prva i druga grupa prvenstveno su namenjene za KoV, RM i mornarički korpus, za treću su bili zainteresovani mornarički korpus, RM i RV, a za četvrtu svi vidovi oružanih snaga.

Polazeći od visine leta bespilotnih letelica, kao i drugih mogućnosti, u SAD se razlikuju bespilotne letelice klase Tier 1 do Tier 3. U klasu Tier 1 spadaju bespilotne letelice sa relativno malim korisnim teretom, u Tier 2 bespilotne letelice za srednje visine (4500 do 7500 m), dok se bespilotne letelice za veće visine (15 000 do 20 000 m) ubrajaju u klasu Tier 2+ ili Tier 3.

Predstavnik klase Tier 1 je, na primer, bespilotna letelica Gnat 750, klase Tier 2 je Predator, klase Tier 2+ Global Hawk, a klase Tier 3 je Dark Star.

Bespilotne letelice se razlikuju prema nameni, pa prema tome i po veličini, brzini, vremenu boravka u vazдушnom prostoru, doletu, mogućnosti nošenja korisnog tereta, načinu lansiranja i povratka na zemlju i ostalim karakteristikama. Raspon brzina kreće se od oko 100 km/h



do nekoliko hiljada km/h, odnosno nekoliko Maha, vreme boravka u vazдушnom prostoru od nešto manje od jednog časa pa do više od 40 časova, dolet od desetak km pa do par hiljada km, visina leta od par hiljada metara do dvadesetak kilometara, a masa letelica (ukupna sa korisnim teretom i gorivom) iznosi od 10 kg do nekoliko tona, pa i više od deset tona. Bepilotne letelice se koriste za obavljanje zadataka koji mogu imati taktički, operativni i strategijski značaj.

### Zaključak

Trend sve češće primene bepilotnih letelica biće nastavljen, nesumnjivo, i tokom ove decenije. U vezi sa tim, stiže se utisak da će razvoj borbenih bepilotnih letelica biti u usponu.

Mada je u proteklom periodu težište bilo na razvoju bepilotnih letelica za vojne primene (gde su ulagana velika sredstva), a civilni sektor je, uglavnom, koristio rezultate razvoja vojnih bepilotnih letelica, u narednom periodu se oče-

kuje porast ulaganja i u razvoj bepilotnih letelica u civilnom sektoru.

Bepilotne letelice su imale značajnu ulogu u zadacima koje su obavljale multinacionalne snage u toku rata u Bosni i Hercegovini i agresije NATO-a na SRJ, pa je poznavanje karakteristika bepilotnih letelica, za pripadnike Vojske, od velikog značaja.

U sažetom tabelarnom pregledu prikazani su podaci o bepilotnim letelicama uglavnom proizvođača iz zapadnih zemalja, što ne znači da ih ne proizvode i druge zemlje, posebno Ruska Federacija kao i neke susedne zemlje (Bugarska, Hrvatska).

#### Literatura:

- [1] Herskovitz, D.: A. Sampling of Unmanned Aerial and Remotely Piloted Vehicles, *Journal of Electronic Defense*, November 1997., str. 53-58.
- [2] Sweetman, B.: DARO Leaves a Solid Legacy, *Journal of Electronic Defense*, Jun 1998. Vol. 21, № 5, str. 43-48.
- [3] Rudov, V.: Vozdušnikomponent amerikanskoj sistemi PRO na TVD, *Zarubežnoe voenoe obozrenie*, 5/1988., str. 28-31.
- [4] Vasić, Z.: Leteći grabljivac, *AERO magazin*, 36/2002., str. 10-13.

Oznaka	Namena	Korisni teret	Brzina (km/h)	Vreme leta (h)	Dolet visina (km)	Dužina/raspon krila/prečnik (m)	Masa (kg)	Pogon	Napomena
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AUSTRALIJA: Sencon Environmental Systems									
Aerosonde	meteorološka	meteorološki senzori	117	>30	>2200/3,9	1,8/2,9/0,2	13,6	25 kubika, 4-taktni	auto, uzletanje i sletanje
FRANCUSKA: Altec Industries S. A.									
MART Mk 11	izvidanje; osmatranje	CCD kamera; ECM; ESM	204	4	96/3	3,2/3,4/0,3	110	1 × TTL WAE 342-30A	koristila Francuska u ratu u Pers. zalivu
S. MART	izvidanje, osmatranje	panoramska i termoviz. kamera	180	7	145/3	3/3, 4/0,45	144	"	nastala od BL-MART
FRANCUSKA: CAC Systemes									
Eclipse T2	meta	razni	5263 (4,3 M)	-	balistički/76	3,96/1/0,24	204	SNPE raketa	u upotrebi
FOX AT2	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	razni	193	5	113/3	2,8/3,6/0,45	113	1 × Limbach 22BHP	"
FOX TS2	meta	razni	450	1	64/3,6	2,8/3,6/0,45	100	1 × Limbach 50HP	"
FOX TX	PEB	razni	193	5	160/3	2,8/3,6/0,45	113	1 × Limbach 22BHP	"
HELJOT RPH	izvidanje; meta	razni	"	2,5	64/1,5	6,1/6,7/2,1	408	1 × Hirth 105 HP	u kooperaciji sa Dragon Fly, Italija
K100	borbena; izvid.	TV; bojna glava	96	0,5	16,3	1,5/2,6/0,3	27	1 × 6,5 HP	kompletirana 1997.
FRANCUSKA: Matra BAe Dynamics (u kooperaciji sa STN-Atlas Electronic)									
BREVEL	izvid.; akviz. cilja	IC	160	5	>130/4,5	3/3,3/0,3	150		auto, uzlet. i slet.; link pod. ataka 2-3 čov.
Dragon	ometanje radio-veza	ometać	160	3	>160/3	3,3/4,9/0,4	150		auto, uzlet. i slet.; link pod.; 2-3 čov.
Tucan	obaveš. izvid.; izvidanje	E-O; IC; SAR	160	10	>160/4,5	3,3/4,9/0,4	160		auto, uzlet. i slet.; link podataka

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FRANCUSKA: Sagem SA									
Crecerelle	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	E-O; IC; FLIR	241	>5	>160/3,3	2,7/3,3/-	136	26HP; 2-klipni, 2-taktni	katapultiranje; vrać. padobranom
Sperwer	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	E-O; IC; FLIR; ostalo	241	8	>160/5,1	2,7/4,3/-	267	70HP; 2-taktni	katapultiranje; padobran; u proizv.
IZRAEL: Israel Aircraft Industries Ltd.									
Endurance Hunter	kor. art. vatre; izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	FLIR; TV; ili po želji korisnika	195	25	200/6	7,5/15,2/-	950	2×Motto Guzzi 750	kompatibilna sa Hunter sistemima
Eye View	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	FLIR; TV	204	6	48/4,5	3,5/4,7/-	154	Dale DH-290	GPS; link podataka; ili operator
Heron	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	po volji korisnika	232	50	>960/9	8,5/16,6/-	1097	Rotax 914 (turbo)	GPS (ili operator); link podataka
Hunter	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	FLIR; TV	204	12	200/4,5	7/8,8/-	726	2×Motto Guzzi 750	GPS; link podataka; ili operator
Searcher	izvid.; osmatr.; akvizicija cilja	FLIR; TV	195	12	109/4,5	5,1/7,2/-	372	Limbach 550	GPS; link podataka; u proizvodnji
KANADA: Bombardier Inc.									
CL327 VTOL	otkrivanje; osmatranje	E-O; IC; SAR; veza; PEB	201	6,25	193/5,5	1,83 (vis.)/ 4 (rotor)/0,76	350	Williams WTS 117-5	vertikalno uzletanje; 2 operatora
SAD: AAI Corp.									
Shadow 200	kor. art. vatre; PEB; izvidanje; ostalo	E-O; FLIR; odred. pravca; ostalo	237	5+	193/4,5	0,9/3,9/0,24	172	AR731	video rekorder; modernija verzija Pioneer
Shadow 600	PEB; izvidanje; ostalo	E-O; FLIR; odred. pravca; ostalo	287	14	193/5,2	1,2/6,8/0,36	236	AR801	video rekorder; modernija verzija Pioneer
SAD: Aliant Techsystems									
Outrider tm	izvidanje; osmatranje; akvizicija cilja	E-O/IC	204	5	193/4,5	3,3/3,96/-	237	UFL AR801R	samost. uzletanje i sletanje

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAD: Aurora Flight Sciences									
Chiron	istraživanje atmosfere	224 kg	315	24	-3,6	6,6/11,6/0,97	2000	Continental 10-550-G	može biti pilotirana
Perseus B	istraživanje atmosfere	100 kg	113	24	-19,5	8,23/19,8/1	952	Arion 11B (elisni)	može biti pilotirana
Theseus	istraživanje atmosfere	340 kg	453	24	-19,5	12,3/42,7/0,8	2812	2 × Arion IIB	može biti pilotirana
SAD: BAI Aerosystems									
BQM-147A Exdrone	izviđanje	TV u boji sa zumiranjem	160	3	48/3	1,5/2,4/0,3	43	Quadra 100 kubika, 2-taktni	GPS autopilot, opcija: omet, veza
Dragon Drone	Bacanje agensa; PEB; izviđanje	razni	160	3	48/3	1,5/2,4/0,3	43	100 kubika, 2-taktni	za mornarički korpus
Javelin	izviđanje	TV u boji sa zumiranjem	96	2	8/1,5	1,8/2,4/0,15	6,8	9,8 cm <sup>3</sup>	ručno lansiranje, GPS, veoma mala
Porter	testiranje korisnog tereta	korisnički	120	2	48/3	3,7/6,1/0,6	102	200 kubika, 2-klipni, 1-taktni	GPS, razni korisni tereti
Sub-scale UAV Trainer	meta; obuka	TV u boji	130	1,5	-/-	1,8/2,4/0,23	20	25 kubika, 1-klipni	ima izgled prave BL
TERN	izviđanje; testiranje	-	130	2	48/3	1,8/3/0,45	43	100 kubika, 2-klipni, 2-taktni	za obuku
SAD: Bosch Aerospace									
SASS Lite	veza; izviđanje; osmatr.; ostalo	radar; FLIR; ostalo	80	17	160/1,8	30,5/8,2/8,2	-	2 × Defiant 42 KS, 4-taktni	vektorsko upravljanje potiskom
SAD: Chapy Corp.									
Hawk-I, H-7F	kontrola	video + termostvizija	144	3	40/4,5	1,6/2,6/0,3	23	1 × Bully 35	vraćanje padobr.; korisni teret u kontejneru
Hawk-I, H-7H	foto-snimanje	kamere	120	1	1,6/3	1,5/2,3/0,24	10	1 × Supertinger 2000	"
SAD: Continental RPVs									
Aerial target	meta za laser	IC navod.; brojač pogodaka	290	1,5	5/do optičke vidlj.	3/3,1/0,4	31	1 × U.S.MTR 820	1/5 mete SO-25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAD: Freewing Aerial Robotics Corp.									
Scorpion Model 100-50	izvidanje; osmatranje	bilo šta do 26 kg	278	4	185/4,5	3,6/4,9/1,3	193	Rotax 503	kratko uzletanje i sletanje
Scorpion Model 60-25	izvidanje; osmatranje	bilo šta do 11 kg	201	2	185/1,5	2/3/0,9	41	3WCorp 3W120	kratko uzletanje i sletanje
SAD: Frontier Systems, Inc.									
Arrow	obavešt. izv.; izvidanje; osmatranje	E-O kamera; IC; radar	857 (0,7 M)	60	3360/21	5,5/35/-	1587	1 x Williams FJ44-2, turboelisni	4 link podataka; masa korisnog tereta do 450 kg
Shadow	ispitivanje; obuka	E-O kamera; IC; radar	857 (0,7 M)	60	3360/15	19,8/3,1/-	907	1 x Williams F107, turboelisni	do 4 linka podataka; INS-GPS
W570A	obavešt. izv.; izvidanje; osmatranje	E-O kamera; IC; radar; ESM; ostalo	857 (0,7 M)	60	3360/21	7,7/49/-	3174	2 x Williams FJ44-2, turboelisni	7 link podataka; korisni teret do 4500 kg
SAD: General Atomics Aeronautical Systems, Inc.									
Altus II	istraživanje atmosfere	-	185	40	555/19,5	7,2/17/0,76	816	Rotax 914 Twin Turbo	korisnik je NASA
GNAT-750	taktička	-	210	40	-8,4	5,5/10,7/0,76	512	Rotax 582	izvezena u Tursku
I-GNAT	za duge letove	TV; FLIR	260	>40	5550/6,9	6,4/13/0,76	635	Rotax 912	proizvodi se za SAD i druge zemlje
Predator	izvidanje; osmatranje	TV; FLIR; SAR	222	>40	2000/>6	8,2/15/1,2	862	Rotax 914	proizvodi se za RV SAD
Prowler II	za duge letove	TV; E-O; IC	185	24	1620/6	4,3/7,3/0,76	317	Rotax 582 ili Heavy Fuel	u proizvodnji
Prowler	taktička	TV; FLIR	250	12	1850/8,4	3,66/6,1/0,5	136	AR 741 Rotary	u proizvodnji
SAD: Lockheed Martin/Boeing Defense & Space Gp.									
Dark Star	izvidanje; osmatranje	SAR; E-O	463	8	4830/13,5	4,6/21/3,6	3855	Williams FJ-44-1	mala uočljivost; Tier 3-
SAD: Pioneer UAV, Inc.									
RQ-2A Pioneer	kor. art. vatre; izvidanje; osmatranje	TV/FLIR	153	6,5	185/3,6	4,3/5/0,45	204	1 x Sachs SF2-350	taktička BL za MO SAD; planirana upotreba do 2008.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SAD: S-Tec Corp.									
Sentry	izvid.; osmatr.; akviz. ciljeva	E-8; IC; ostalo	185	8	370/4,8	2,4/3,3/ravna	113	Herbrandson Dyad 290	GPS; opcija za kor. teret u kontejneru
SAD: Teledyne Ryan									
BQM-145A	izvidanje; osmatranje; akvizicija ciljeva	IC; video rekorder	1040 (0,85 M)	2	1300/13,5	5,2/3,2/-	980	TCAE 382-10C turbomlazni	pokretni zemaljski lansir, vraćanje padobranom
BQM-34S	obuka	ECM; sreds. za povećanje; ostalo	1150 (0,94 M)	1,9	1300/18	7/3,9/0,9	1134	J85-GE-100	7 generacija Firebee; široko u upotrebi
Global Hawk	izvidanje	SAR; E-O; IC	>636	40	-20	13,4/35,4/1,8	11610	Allison AE 3007 H turbomlazni	DGPS; klasa Tier 1 i Tier 2
MALD	mamac	sredstva za aktivno pove- ćanje	-	-	480/10,5	2,3/0,64/0,15	40	Sundstrand TJ-50	minijaturni mamac, lansir. iz vazduš. prostora
Model 324	izvidanje	IC; foto kamera	1040 (0,85 M)	2,5	-12,9	6/3,3/-	1134	CAE-373-8C turbomlazni	u RV Egipta
Model 375	osmatranje	E-O; IC	278	5	-6	2,8/3,8/-	159	Sundstrand TF-100	lansir. sa šina; vraćanje padobranom
SAD: TRW/IAI									
Endurance Hunter	izvidanje; osmatranje	FLIR; TV; ili po potrebi korisn.	196	25	200/6	7,5/15,2/-	952	2×Motto Guzzi 750	kompatibilna sa Hunter sistemima
Hunter	izvidanje; osmatranje	FLIR; TV	204	12	200/4,5	7/8,8/-	726	"	GPS; link podataka
ŠVAJCARSKA: Oerlikon Contraves Defence									
Ranger	kor. art. vatre; izvid.; osmatr.	E-O; IC	212	5	96/4,5	4,6/5/-	265	Hirt-Goebler	auto uzlet. i slatanje
VELIKA BRITANIJA: Flight Refuelling Ltd.									
Falconet	meta	IC i radar; ostalo	290	1	-3	3,7/3/0,4	227	Microturbo TJA20	simulira avion
Raven	izvidanje; osmatranje	TV; FLIR	98	4	96/4,5	3,3/3,6/-	84	Sach Dolmar	katapult; vrać. padobranom

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VELIKA BRITANIJA: Meggitt Defence Systems									
ASR-4 Spectre	razna	FLIR; TV; IC; PEB; ostalo	241	5	150/3	2,7/3,3/0,45	145	WAE 342	u upotrebi; katapultiranje
Phantom	osmatranje	IC, TV	177	3	60/3	1,5/2,5/0,24	41	Zenoah 75 kub.	u razvoju

Napomene:

- masa predstavlja ukupnu masu bespilotne letelice (bespilotna letelica, korisni teret i gorivo),
- kod korisnog tereta pod IC podrazumeva se IC senzor (uredaj); E-O se odnosi na elektronsko-optičku kameru.

Značenje skraćenica:

BL – bespilotna letelica; CCD (Charge-Copuled Devices); DGPS (Differential Global Positioning System) – diferencijalni globalni sistem pozicioniranja; ECM (Electronic Counter Measures) – protivelektronska dejstva (PED); ESM (Electronic Support Measures) – elektronske mere podrške ili elektronsko izviđanje za potrebe protivelektronskih dejstava; FLIR (Forward-Looking Infrared) – IC uredaj (senzor) za osmatranje prednje polusfere; GPS (Global Positioning System) – globalni sistem pozicioniranja; HP (horse power) – konjska snaga; INC (Inertial Navigation System) – inercijalni navigacioni sistem; MALD – Miniature Air Launched Decoy (minijaturni mamac koji se lansira iz vazduha); MO – Ministarstvo odbrane; PEB – protivelektronska borba (odgovara zapadnom terminu Electronic Warfare (EW) – elektronski rat); SAR (Synthetic Aperture Radar) – radar sa sintetizovanim antenom; TV – televizijski; 1 x – 1 motor; 2 x – 2 motora



# prikazi iz inostranih časopisa

## SISTEMSKI PRISTUP PROJEKTOVANJU AUTOMATSKOG TOPA\*

Savremeni topovi malog kalibra (20 do 57 mm) važna su komponenta konvencionalnog naoružanja. Kao pouzdano i efikasno sredstvo kratkog dometa uspešno pariraju mnogo skupljim i složenijim vodenim raketama, a našli su široku primenu u svim vidovima oružanih snaga.

Postoje razni pristupi formiranju sistema topovskog naoružanja malog kalibra. U principu, oružje može da se razvija imajući u vidu celinu izvršenja borbenih zadataka, uz korišćenje specifičnog nosača naoružanog topom malog kalibra. To bi trebalo da omogućí izradu najracionalnije strukture, postizanje izbalansirane kombinacije koja se odnosi na osnovne komponente naoružanja (municiju, orude, lafete, nišanske sisteme) i obezbedi za sve njih maksimalnu efikasnost. Međutim, uzimajući u obzir raznovrsnost tipova nosača, borbenih zadataka i uslova za njihovo izvršenje, kao i poželjan balans tehničkog nivoa svih komponenti, taj pristup zahteva ogromne izdatke i,

zbog toga, ne može u potpunosti da se realizuje u praksi. Maksimalni nivo efikasnosti može se postići sistemskim pristupom pri projektovanju topova i municije. Optimalni nivo karakteristika performansi može da se postigne projektivnim i konfigurativnim rešenjima. Po prvi put u svetu taj metod uspešno je korišćen u razvoju savremenih ruskih automatskih topova.

Osnove sistemskog pristupa sastoje se u razvoju unificiranog sistema topova malog kalibra za sve vidove i rodove oružanih snaga. Unifikacija omogućava efikasno izvršavanje niza borbenih zadataka u različitim borbenim uslovima, koristeći pri tome minimalan broj borbenih sredstava, kao i minimalnu količinu municije.

Sistemski pristup zasniva se na:

- sveobuhvatnom uvođenju i povezivanju karakteristika osnovnih komponenta sistema (municija–oružje–lafetnišanski sistem);
- znatnom poboljšanju tehničkog nivoa projekta automatskog topa;
- optimizaciji osnovnih karakteristika topovskog naoružanja;
- minimizaciji vrsta osnovne municije i topova;
- širokoj unifikaciji naoružanja;

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

- minimizaciji vremena i troškova razvoja i proizvodnje modela sistema;
- mogućnosti blagovremene izmene zastarelog oružja i obustave njegove proizvodnje.

Metode za implementaciju ovih principa ostvaruju se u dve faze: preliminarno, kroz procedure projektovanja i, direktno, razvojem topovskog naoružanja. U prvoj fazi utvrđuje se mesto i uloga automatskih topova malog kalibra u sistemu naoružanja i određuju njihove racionalne karakteristike. U toj fazi uvažava se značaj različitih borbenih dejstava, vrši izbor tipičnih nosača za oružje, definišu posebni kriterijumi efikasnosti, vrše vojnoekonomske analize, oblikuju racionalni tipovi municije i topova za unificirani sistem i procenjuju mogućnosti razmeštaja.

Velika podudarnost zahteva rodova i službi po pitanjima osnovnih karakteristika naoružanja malog kalibra posledica je sličnosti borbenih zadataka pri dejstvu po raznim ciljevima u vazдушnom prostoru napadnih operacija na kopnu ili odbrani od raketa i aviona. Topovi malog kalibra svuda se koriste kao sredstva za blisku borbu.

Ograničenja koja se odnose na dimenzije i masu topova malog kalibra zahtevala su poseban napor da bi se postigao optimalan nivo njihovih osnovnih karakteristika. Za te potrebe Projektni biro KBP izgradio je sistem nezavisnih kriterijuma koji karakterišu celokupno naoružanje, a detaljno je razrađen faktor kvaliteta za municiju ( $r$ ). Taj faktor je ekvivalent za indeks verovatnoće uništenja sa fiksnom masom grupe oružja.

Istraživanje optimalnog rešenja definisane grupe naoružanja vođeno je s ozbirom na njihovu masu, zahtevani re-

šim vatre i količinu municije koja treba da se ispali. Faktor perfekcije oružja, koji karakteriše specifični potencijal vatrene moći, uzet je kao kriterijum kvaliteta. Taj pristup pomogao je da se ukaže na racionalnu vrstu osnovnih topova.

Da bi se oblikovao izgled unificiranog sistema, sistemi tipičnog topovskog naoružanja bili su podeljeni u tri grupe: laki (do 250 kg), srednji (od 250 do 500 kg) i teški (od 500 do 2000 kg).

Studije pokazuju da su optimalni topovi za te grupe jednocevni, dvocevni i višecevni, respektivno, a svaka od tih grupa ima svoje osnovne karakteristike. Grupe su poslužile kao baza za razvoj standardnih modela sistema. U razvoju odgovarajućih verzija (sa visokim nivoom unifikacije) uzimaju se u obzir specifičnosti različitih nosača i borbenih zadataka.

U fazi razvoja provedena su dva međusobno povezana zadatka: strukturna sinteza i optimizacija parametara. Prvim se obezbeđuju rešenja konfiguracije do naznačenih karakteristika, dok se drugim određuju optimalni parametri za najveće moguće karakteristike performansi za dati model. Najvažniji cilj oba zadatka je postavljanje, u osnovi, novog tehničkog nivoa u razvoju i mogućnost unifikacije. Tehnička baza za unifikaciju sistema kreirana je na osnovu projekata i rešenja za konfiguraciju sistema topovske municije.

Kao osnovna izabrana je municija 30 mm AO-18. Karakteristike te municije su najbliže optimalnim. Njeni aerodinamički projektili omogućavaju povoljnu balistiku (kratko vreme leta sa umerenom brzinom na ustima cevi) zbog manjeg čeonog otpora, što obezbeđuje minimalne dimenzije i masu celokupne municije. Značajna količina eksploziva, kombino-

vana sa dovoljnom masom tela projektila, obezbeđuje veliku ubojnost. Električna kapsla pojednostavljuje izradu pojedinih uređaja naoružanja. Modifikovane verzije te municije za avionske topove (GSh-6-30) i zemaljske sisteme (2A42) uvažile su specifičnosti i tradiciju upotrebe topovskog naoružanja za različite vojne sastave.

Specijalni niskogradijentni barut korišćen je kao punjenje za top 2A42. On obezbeđuje stabilnost i maksimalno prihvatljivi nivo unutrašnjih balističkih karakteristika zrna u okviru operativnog temperaturnog dijapazona. Pored toga, jednodelni čvrsti projektil izrađen je sa mogućnošću povećane probojnosti oklopa (APDS). Projektili 30 mm sa polimernom pogonskom trakom znatno (za 6 puta) produžavaju vek cevi brzometnih topova.

Municija 23 mm AM-23 prihvaćena je i prilagođena za avionski top.

Implementacija projekata visoke efikasnosti i novih tehničkih rešenja proizvela je u osnovi topove sa novim načinom dejstva.

Razvoj jednocevnog oružja sa kratkim trzanjem razrešio je problem izrade superlakog brzometnog topovskog naoružanja. Uz ograničenja u vezi sa energijom, vremenom, snagom i dr., dejstvo je pouzdano i bez strogih kinematičkih prilagođavanja koraka operativnog ciklusa, a pri tome se koriste jednostavni mehanizmi. Tako se potisni mehanizam aktivira sledećim metkom. Pri potiskivanju metak se ubrzava polužno-opružnim potiskivačem i meko ubacuje u ležište metka potiskom ramena čaure. Čaura metka vadi se pod dejstvom pritiska zaostalih barutnih gasova u cevi. Efikasno korišćenje energije pokretnih delova, uz pomoć spiralne po-

vratne opruge i vrlo jednostavne hidraulične kočnice, utiču na stabilnost dinamičkih karakteristika oružja (od hica do hica).

Dva nova selektivno punjena jednocevna oružja razvijena su za borbena vozila KoV i helikoptere. Njihov niski režim vatre omogućava postizanje izuzetno visoke tačnosti.

Verzija sa dugim trzanjem oružja rešila je problem dima u borbenom odeljenju, dok oružje koje radi pod dejstvom gasova omogućava različite režime vatre.

Oba oružja poseduju fiksni blok za punjenje, koji obezbeđuje kontinuitet punjenja, zatim mehanizam za zabavljanje – odbavljanje i rotaciju zatvarača, što obezbeđuje brzinu dejstva pokretnih delova.

Konfiguracija sa dve cevi, koja koristi zajedničke sklopove i uređaje za obe cevi, omogućila je izradu brzometnog oružja istih dimenzija i mase kao kod jednocevnih topova. Ona omogućava usklađeno funkcionisanje mehanizama i postupaka za pripremu i otvaranje vatre.

Višecevno oružje sa obrtnim snopom cevi radikalno je razrešilo probleme brzine i režima vatre, a istovremeno je obezbeđeno pouzdano dejstvo, postojanost i termička izdržljivost bez specijalnih rashladnih uređaja. Kod višecevne verzije maksimalno su implementirani principi intenzifikacije funkcija dejstva: neprestano kretanje osnovnih komponenata, kontinuirano i jednoliko punjenje mecima i potpuna vremenska koincidencija rada na pripremi i u toku vatrenog dejstva. Takvo dejstvo, koje je u suštini automatski podešeni sistem koji radi na principu korišćenja dejstva gasova, sa jakom unutrašnjom povezanošću, omogućava, u principu, lako regulisanje vatre i visok stepen stabilnosti u različitim uslovima rada. Zbog ko-

rišćenja zajedničkih sklopova za sve cevi, postignut je maksimalni nivo apsolutnih i specifičnih karakteristika oružja.

Pri realizaciji najefikasnijih procesa u funkcionisanju sistema i mehanizama, razvijeni su:

- snažni brzodejstvujući nezavisni pogoni višecevnog topa;

- brzodejstvujući električni starteri i punjači koji obezbeđuju potpunu nezavisnost topa;

- laki i mali vodoisparavajući sistem za hlađenje, sa toplotno apsorbujućim sredstvima za hlađenje (grejanje vode, njena fazna transformacija u paru i naknadno pregrevanje).

Termička otpornost topovskih sistema na taj način je dvostruko povećana, dok su masa i dimenzije ostale nepromenjene. Tako je, na primer, ruski šestocevni top 23 mm GSh-6-23 za 50% lakši od američkog topa 20 mm M-61 Volcano, uz istovremeno dvostruko brži režim vatre, i nije mu potreban spoljašnji izvor energije.

Tehnička perfekcija baznih modela služila je kao osnova za unifikaciju svih sistema topovskog naoružanja.

Efikasnost sistemskog pristupa karakteriše se sledećim dostignućima:

- parametri tehničkog nivoa ovih topova nadmašuju i najbolje dosadašnje;

- smanjen je broj vrsta topova i municije (sa 7 na 2), što omogućava i visok nivo tehnološke i ekonomske efikasnosti;

- operativni vek upotrebe delova i sklopova sistema optimiziran je u savremenim laboratorijskim i ispitnim postrojenjima, što je predodredilo pouzdano funkcionisanje topa (verovatnoća bezotkaznog rada novih topova za vreme jednokratnog dejstva procenjena je na 0,997 do 0,999);

- celokupan projekat i tehnološki razvoj delova i sklopova oružja obezbeđuje uvođenje progresivnih razvojnih metoda u toku serijske proizvodnje i visok stepen međusobne zamenljivosti;

- svi radovi na razvoju sistema (projektovanje, završna ispitivanja, adaptacija naoružanja na određene nosače, organizacija serijske proizvodnje) izvršeni su uz minimalne troškove i za kratko vreme.

Mnogi topovi ovog unificiranog sistema koriste se, osim u Rusiji, i u mnogim drugim državama (Nemačka, Kina, Indija, Egipat, UAE i dr.), a proizvode se po licenci u mnogim zemljama.

M. Krbavac



## UPRAVLJANJE „REZERVAMA NAORUŽANJA“ NA BORBENIM AVIONIMA GENERACIJE 4+\*

Projektni biro za avioautomatiku iz Kurska, formulisao je koncept i razvio prototipe sistema za upravljanje avionikom borbenih aviona Mikojan MiG-29 i Suhoj Su-27 u drugoj polovini osamdesetih godina. Istovremeno, modernizovani su takvi sistemi za lovce presretače MiG-29M i Su-27M naoružane sistemima naoružanja vazduh–vazduh, uz mogućnost dejstva vazduh–zemlja.

Pri programu modernizacije stručnjaci su se suočili sa sledećim problemima vezanim za pripremu i primenu sistema za upravljanje različitim vrstama naoružanja:

- porastom broja različitih interfejsa koji podržavaju sistem, od analognih sa jedinstvenim odnosima konverzije za

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2002.

svako naoružanje, do sistema za praćenje sa sin/cos transformatorima i modulacijom dužine;

– uključivanjem ukrštajućih kola ulaznih i izlaznih signala za razne tipove naoružanja u okviru jedinstvenog kontaktnog polja.

U tim uslovima, distribucija optimalnog signala, uključivanje i konverzija za sve zalihe naoružanja, sa efikasnom upotrebom naoružanja koje nije smanjeno, predstavlja složen zadatak čija kompleksnost raste geometrijskom progresijom sa porastom opreme, sredstava naoružanja i zaliha za oružje. Taj problem ne može da se reši jednostavnim povećavanjem proračunskih i funkcionalnih veza glavnog kompjutera, ukoliko se ne povećaju njegove masene i gabaritne karakteristike izvan dopuštenog nivoa. Neophodan je nov sistemski pristup, kao i proširenje simulacionih i testnih mogućnosti. Navedeni problemi rešavani su na sledeći način:

– prethodna struktura, strogo centralizovana, zamenjena je sistemom za upravljanje sa distribucijom u realnom vremenu, i mogućnošću raznih verzija promene podataka;

– funkcije međusobnog dejstva sa vodenim i nevodenim naoružanjem integrisane su sa distribucijom, uključivanjem i konverzijom svih optimiziranih zaliha za naoružanje;

– primenjene tehnologije stvaraju jedinstvene mogućnosti za kontrolu međusobnog dejstva naoružanja;

– razvijeni su novi osnovni elementi i stavljeni u funkciju.

Istovremeno, završena je izrada uređaja i nove hai-tec opreme, uključujući i površinske sklopove i sisteme automatske kontrole.

Sistemi za upravljanje zalihami naoružanja 30PK/30PI, koji su namenjeni za generaciju borbenih lovaca 4+, kao što su Su-30MK i Su-30MKI, danas se serijski proizvode i isporučuju kupcima. Sistemi 30PK/30PI obezbeđuju:

– upravljanje IC/radarski vodenim raketama vazduh–vazduh;

– upravljanje televizijski, laserski i pasivno vodenim raketama vazduh–zemlja;

– upotrebu avio naoružanja protiv nekoliko ciljeva u vazдушnom prostoru;

– identifikaciju i selekciju tipa naoružanja i zaliha;

– selekciju i implementaciju kompleksnih opcija i načina upotrebe naoružanja;

– slanje komandi i informacija o raspoloživosti, tipu, gotovosti i ostatku naoružanja;

– upravljanje pripremom oružja za upotrebu;

– izrada komandi za lansiranje u standardnim i nestandardnim situacijama upotrebe naoružanja;

– uključene sisteme interfejsa u izvršavanje borbenih zadataka;

– uvezivanje senzora i naoružanja putem informacionih kanala, i dostavljanje podataka o cilju do ugrađenog naoružanja;

– priprema i lansiranje vodenog naoružanja, pri čemu je mogućnost broja tipova naoružanja povećana za 100%, uz istovremeno smanjenje komponenata sistemskog hardvera za 43% u odnosu na one iz četvrte generacije.

Zahvaljujući modularnoj konfiguraciji moguće su individualne modernizacije postojećih aviona. Na primer, modul nivoa konverzije može da prihvati svaku kombinaciju ulaza i izlaza diskretnog

signala. Ti moduli su tehnički znatno savršeni i imaju veću proizvodnu mogućnost. Oni će ubrzo biti uvedeni u serijsku proizvodnju sistema 30PK, u kojem 10 takvih modula zamenjuje 803 elektromehanička releja male provodljivosti.

U sistem 30PI već su ugrađeni moduli nivoa konverzije. Slično, modul interfejsa može da ima zamenljivi multipleksni informacioni promenljivi kanal ili serijski bipolarni kod. U zavisnosti od konfiguracije interfejsa na određenom avionu mogu se podržati interfejsi oba tipa (MIL 15553B i/ili ARINC 429, respektivno). Otuda, novi periferni interfejs može da podrži promenu informacije putem tih kanala, bez menjanja funkcija, dimenzija ili povezivanja delova. Čak i početna faza modernizacije sistema 30PK može znatno poboljšati njegovu pouzdanost, uz zadržavanje karakteristika performansi i smanjenje veličine hardvera za više od 30%.

M. Krbavac



## POVEĆANJE VATRENOG DOMETA RAKETNE ARTILJERIJE\*

Pri masovnim udarima, višesevni lansirni raketni sistemi (VLRS) ostaju nenadmašno oružje taktičke artiljerije po parametrima vatrenih mogućnosti, manevra i iznenađenja. Zbog svojih kvaliteta ovi sistemi mogu postati, u skorjoj budućnosti, glavna vatrena sredstva armijskih jedinica. Međutim, razvoj VLRS u okviru generalnog koncepta razvoja raketa i artiljerije, u prvi plan postavlja i zahteve za povećanje maksimalnog dometa i tačnosti pogađanja.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

Povećanje maksimalnog vatrenog dometa, prema savremenim trendovima u razvoju VLRS, aktuelno je i realno za sisteme poznatih kalibara.

Kod ruskih sistema, na primer, visokopulsirajući raketni motori na čvrsto gorivo nove generacije uspešno su iskorišćeni na raketama 122 i 300 mm, koje su ostvarile svoj maksimalni vatreni domet od 40 i 90 km respektivno.

Sa povećanjem brzine leta rakete od 3,5 do 4 Maha i više, problemi nastaju pri obezbeđivanju zahtevane stabilnosti leta i spoljnih balističkih karakteristika. Za ruske i zapadne VLRS maksimalno dostignuti nivo karakteriše se srednjim odstupanjem tačke pada rakete u odnosu na cilj  $E_0=0,8$  do 1% od vatrenog dometa (X) i konzistentnost vatre  $B_0/X=1/100 - 1/150$ . Gađanje raketama malog i velikog kalibra sa tradicionalnom aerobalističkom konfiguracijom i srednjim odstupanjem od cilja oko 1%X od vatrenog dometa, i konzistentnosti 1/150, postaje izražajnije na dometima preko 40 km.

Višegodišnje iskustvo u projektovanju i proizvodnji dalekometnih VLRS pokazalo je da je postizanje novih kvaliteta nemoguće bez upotrebe sistema za korekciju i upravljanje letom rakete. Da bi se rešio taj problem, potrebno je naći neortodoksne pristupe sistemu korekcije, koji treba da odgovore na izazove masovne proizvodnje, ekonomske opravdanosti tih sistema i specifičnosti njihove borbene upotrebe kao artiljerijskih sredstava. Tu su i zahtevi za jednostavnom konstrukcijom, bez specijalnih priprema za lansiranje i potrebe redovnog održavanja za vreme garantovanog roka čuvanja rakete.

Projektovanje raketa sa efikasnim i relativno jeftinim sistemima za upravljanje



(korekciju), zasnovano na novim principima, započelo je sedamdesetih godina. Značajna osobina tih sistema bila je autonomno funkcionisanje, odsustvo komplikovanih kompjutera, programatora i žiroskopa, kao i ograničeno vreme rada. Dva glavna principa njihove izrade su izbegavanje smetnji, čija je kompenzacija poznatim metodama primenjenim na raketama nemoguća ili ekonomski neopravdana, i zadržavanje nevođenog načina kretanja objekta korekcije. Među poznatim tipovima sistema za korekciju VLRS, najčešći su odvojeni sistemi klasičnog tipa, koji rade na principu međusobne zavisnosti između odstupanja prenetog na raketu korekcionim dejstvom i momenta njihove primene, što predstavlja upravljačku funkciju.

Za rakete VLRS, korekcija leta postiže se u momentu odvajanja bojne glave (otvaranje kasetne bojne glave) kao upravljačke funkcije, što istovremeno daje korekcije na modul i vektor brzine munice u uzdužnom smeru.

Uz klasične metode korekcije leta rakete, nove metode su korišćene za ugaonu stabilizaciju uzdužne ose rakete u početnoj fazi njene uzlazne putanje. Za rakete s normalnom aerodinamičkom konfiguracijom i obezbeđenjem visokog stepena statičke stabilnosti za vreme njenog nestacionalnog leta, primenjen je dvokanalni gasno-dinamički stabilizacioni sistem za regulisanje ugaone devijacije uzdužne ose rakete (poznat kao ugaoni prigušni sistem). Zbog ugaonog prigušenja oscilacija rakete u početnoj fazi uzlazne putanje, znatno smanjenje (6 do 10 puta) postignuto je u reagovanju rakete na spoljne smetnje, koje je specifično za aktivni deo putanje, i što vodi ka velikom smanjenju disperzije i povećanju tačnosti vatre.

Prvi VLRS sa upravljanim raketama bio je Smerč. Njegov sistem za korekciju putanje rakete sadrži gasno-dinamički sistem stabilizacije ugla i sistem korekcije momenta odvajanja bojne glave.

Smerč je pokazao da je uvođenje tih verzija sistema korekcije u skladu s glavnim trendom u razvoju VLRS, kao relativno jeftino serijski proizvedeno naoružanje, koje se po parametrima karakteristika leta približava karakteristikama taktičkih vođenih raketa.

Među poznatim analognim VLRS sa upravljanim raketama nalazi se i izraelski sistem ACCULAR (prečnik 160 mm, maksimalni vatreni domet 45 km), opremljen gasno-dinamičkim stabilizatorom, sličnim onom koji se koristi na Smerču, i kineski WM-80 (prečnik 273 mm, maksimalni vatreni domet 80 km) sa sistemom korekcije dometa koji sadrži potiskivač rakete. Prema dostupnim podacima ovi sistemi još nisu završeni, a tačnost i konzistentnost vatre im je lošija nego što je to na VLRS Smerč.

Pozitivni rezultati, postignuti u razvoju prvih upravljanih raketa 300 mm koje koriste spomenute principe, služe kao osnova za temeljite studije upravljanja dinamikom leta i za rakete drugih kalibara. Iskustva stečena u proizvodnji i testiranju takvih raketa određuju puteve daljeg poboljšanja metoda korekcije, koji će pomoći da se zadrži, za rakete 122–300 mm, konzistentnost vatre (Bo/X) od 1/500 i tačnost (Eo) od 0,3–0,4% od vatrengog dometa.

Postizanje relativno male disperzije za upravljane rakete može dodatno povećati tačnost vatre putem elektronskog regulisanja. Proučavanje grešaka koje utiču na tačnost pogađanja pokazuje da su dominantne greške koje potiču od meteoba-



lističkih priprema i greške tablica gadanja, koje imaju tendenciju povećanja sa porastom odnosa pogon – masa rakete i maksimalnog vatrenog dometa. Te greške iznose do 90% od ukupne greške.

Elektronsko regulisanje raketne vatre znatno smanjuje (za 2,5 do 3 puta) uticaj navedenih faktora na tačnost vatre ( $E_0$ ), i dovodi je do nivoa od 0,25 do 0,3% od vatrenog dometa.

Rezultati postignuti poslednjih nekoliko godina u razvoju raketa za automatizovanu novu generaciju VLRS, za pouzdano uništavanje malih i izolovanih ciljeva kao i pokretnih ciljeva, veoma su ohrabrujući i za rakete velikog dometa. Takve rakete su upravljane putem graničnih komandi vođenja, koje uključuju određivanje tekućih i narednih koordinata rakete, određivanje koordinata rakete radarima na zemlji, i formiranje komandi za vođenje pomoću podataka za koordinate nalaženja i određivanja cilja. Specifična osobina raketa VLRS, korišćenih kao deo sistema oružja sa radio-upravljanjem, jeste potreba za istovremenim vođenjem većeg broja raketa na cilj, što zahteva izuzetan broj tehničkih sredstava za njihovo praćenje i formiranje komandi za vođenje. Zbog toga je, radi upotrebe raketa VLRS u radio-upravljanim sistemima naoružanja, neophodno obezbediti visok potencijal vatrene moći tih sistema, i učiniti ih neinferiornijim u odnosu na standardne VLRS sa nevođenim ili upravljanim raketama.

U suštini, rešenje problema svodi se na minimiziranje vremena „svakog pojednog“ vođenja rakete sa dopuštenim veličinama promašaja, i formiranje „odvojenog kola za vođenje rakete“ koje, u smislu primenjene terminologije za vo-

đenje, više odgovara izrazu „korekcija kretanja“. Praktično, to rešenje znatno pojednostavljuje usavršavanje, smanjuje masu i dimenzije ugrađene opreme za vođenje i pojednostavljuje algoritme za njihovo funkcionisanje.

Uspešno rešenje problema postignuto je zajedničkom upotrebom gasno-dinamičkog sistema za ugaonu stabilizaciju uzdužne ose na uzlaznoj fazi putanje, i sistema komandnog vođenja uz pomoć aerodinamičkih kontrolnih površina, što omogućava smanjenje vremena komandnog vođenja u konačnoj fazi na 0,2 do 0,25 od ukupnog vremena leta rakete do maksimalnog dometa.

Danas je problem komandnog vođenja zadovoljavajuće rešen za rakete većeg kalibra. Nivo od 1/1000 karakterističan je za disperziju (Bo/X) tih komandno-vođenih raketa, dok je tačnost ( $E_0$ ) 0,1 do 0,15% od vatrenog dometa (bez grešaka u određivanju cilja).

Mnogo su bolja rešenja automatizovanog upravljanja letom rakete na celonjenu putanju, ili na njenom većem delu, prema „strogim“ ili „fleksibilnim“ programima. Korisno je da se svako upravljanje zasniva na aerodinamičkim metodama razvoja normalnog g-opterećenja i konfiguracija sa diferencijalnim upravljačkim površinama. Konfiguracija takve jedne rakete pokazuje da se ona može unificirati u velikoj meri sa radio-upravljanim raketama. Takav raketni balistički projekat primenljiv je i na vođene rakete. U tom slučaju raketa je upravljana pomoću relativno jeftinog inercijalnog sistema srednje tačnosti, zasnovanom na tri g-merača i tri senzora ugla koji su čvrsto povezani sa telom rakete, bez korišćenja drugih platformi. Očekivana gre-

ška vođenja rakete na stacionarni cilj, bez grešaka u određivanju cilja, iznosi 100 do 120 m pri gađanju sa udaljenosti 90 km od cilja. Upotreba inercijalnog sistema omogućava dalje povećanje vatrenog dometa zbog korekcije leta na silaznom delu putanje. Procenjuje se da vodene rakete u kombinaciji sa aerodinamičkim upravljanim površinama mogu da dostignu domet od 120 km, bez smanjenja mase korisnog tereta.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja puteva za poboljšanje karakteristika tačnosti vatre pokazuju da je radikalna metoda za postizanje velike tačnosti gađanja raketama velikog dometa komandno ili inercijalno vođenje, kojim se obezbeđuje četvorostruko povećanje tačnosti u odnosu na ona koja se postižu upotrebom tradicionalnih metoda autonomne korekcije.

Za rakete 122 mm sa povećanim odnosom potisak-masa korisno je da se upotrebe sistemi ugaone stabilizacije koji obezbeđuju poboljšanje tačnosti za 2,5 do 3 puta u odnosu na nevođene rakete.

Tačnost vatre postojećih i novorazvijenih upravljanih raketa može da se poboljša za 1,5 do 1,8 puta putem elektonskog podešavanja raketne vatre.

M. Krbavac



## **BUDUĆI AMERIČKI I EVROPSKI BORBENI KOMPLET ZA VOJNIKE PEŠADIJE\***

Analize vojnih istraživačkih programa pokazuju da se tehnička modernizacija vojnika pešadije u američkoj vojsci i u okviru NATO kreće u pravcu poboljšanja funkcio-

nalnosti u sledećih pet oblasti: ubojnost, komandovanje i kontrola, mogućnost preživljavanja, izdržljivost i mobilnost.

Projekti borbenog kompleta za „kopnenog ratnika“ 21. veka obuhvataju istraživanja u sledećim podsistemima naoružanja i vojne opreme: integrisanom podsistemu za glavu (šlem, pojačivač slike sa uređajem i displejom na šlemu, senzor za detekciju šumova, radio-uređaj, uređaj za upravljanje šlemom, zaštitna maska i izvori napajanja), podsistemu naoružanja (automatska puška sa potcevnim bacačem granata, elektrooptički nišanski uređaj ili termovizijski nišan, laserski daljinomer, balistički računar, laserski obeleživač cilja, audiosenzor za lokalizaciju smera opasnosti, širi asortiman municije) i kompletu odeće i obuće (uniforma, balistički zaštitni prsluk, borbeni prsluk, modul za nošenje tereta, obuća, uređaji i odeća za mikroklimatizaciju).

Aktuelna su dva programa izrade novog borbenog kompleta za vojnika pešadije, sa osnovnim ciljem da se on integriše u savremeno digitalizovano bojište.

Prvi je američki program LW (Land Warrior – kopneni ratnik), koji se realizuje u okviru projekta Land Forces XXI (Kopnene snage XXI), a zasniva se na dostignućima komunikacija, senzora i novih materijala i intenzivno se razvija od polovine devedesetih godina prošlog veka. Taj program se sastoji od šest međusobno povezanih elemenata (podsistema): oružja, programske podrške (računar–radio), oprtonike, integrisanog šlema, zaštitne maske i lične opreme. Program ima četiri prioriteta – ubojnost, preživljavanje, komandovanje i kontrolu, a realizuje se kroz dva projekta – individualno oružje (OISW–Objective Individual Combat Weapon) i zajedničko

\* Prema podacima iz časopisa US Army, july 2001.

(kolektivno) naoružanje (OCSW – Objective Crew Served Weapon). Kada bude završen borbeni komplet za američkog vojnika pešadije u 21. veku koštaće oko 50 000 USD, a imaće masu od 35 kg. Pentagon je već naručio 40 000 kompleta.

Prvi program (OICW) predviđa razvoj združenog modularnog borbenog kompleta koji čine nova automatska puška kalibra 5,56 mm (na bazi automatske puške M16A4 ili karabina M4), potcevnica bacač granata kalibra 20 mm i jednostavni sistem za upravljanje vatrom.

Automatska puška ima okvir za 30 metaka, koji je ugrađen na prednjem delu, dok je bacač granata smešten na donjem delu puške. Dvadeset projektila 20 mm smešteno je u kundak puške. Sistem za upravljanje vatrom sastoji se od laserskog daljinomera i laserskog pokazivača cilja, meteo-senzora i balističkog računara. Od dodatne opreme na pušku se može ugraditi video ili termalna kamera.

Drugi deo projekta (OCSW) predviđa izradu zajedničkog (kolektivnog) naoružanja kalibra 25 mm, koje treba da zameni sadašnji puškomitraljez kalibra 7,62 mm i mitraljez 12,7 mm, a opsluživaće ga dva vojnika. Iz tog oružja moći će da se gađa pojedinačnom i rafalnom paljbom na daljine do 2500 m, a preciznost pogađanja obezbediće visokosofisticirani sistem za upravljanje vatrom AN/PAS-3TWS, video (termalna) kamera, laserski daljinomer, digitalni kompas, itd.

Združeni (integrirani) računarsko-radijski podsistem CRS (Computer/Radio Subsystem) čini osnovu za uključivanje vojnika pešadije u digitalizovano bojište, i treba da mu osigura prijem i predaju svih neophodnih informacija (taktičkih i logističkih), koje se prikazuju na digitalizova-

noj elektronskoj karti (ili se daju u obliku grafičkih prikaza), a emituju se na monokularnom pokazivaču koji je ugrađen na pokretni vizir šlema. Na taj način vojnici će u svakom trenutku znati svoj položaj i položaj svojih i protivničkih jedinica, koordinate položaja cilja, njegovu sliku i sl. Podsistem CRS sastoji se od predajnika AN/PAC-139, dometa do 2 km, ličnog sistema komunikacija PCS (Personel Communication System), računara sa procesorom Pentium, kodiranog GPS prijemnika sa savremenijim DRM (Dead Reckoning Module) i opremom za raspoznavanje vojnika CIDS (Combat Identification Discounted Soldier).

Integrirani visokootporni šlem sa ublaživačem udara IHAS (Integrated Helmet Assembly Subsystem) sačinjen je od novih, lakših i otpornijih materijala koji pružaju veći stepen zaštite. Za šlem je pričvršćen monokularni pokretni dnevno-noćni pokazivač, koji se napaja iz zamenskih baterija koje traju 12 sati. U šlem su ugrađeni zvučnici i četiri laserska detektora koji pokrivaju polje od 360°. Mikrofon je pričvršćen na šlem sa trakom.

Optronski i računarsko-radijski podsistem ugrađeni su u opremu i odeću (dvodelni ergonomski podešen ranac) vojnika, obezbeđujući mu dobro i nesmetano osmatranje danju i noću, kao i u nepovoljnim meteorološkim uslovima, dejstvo po ciljevima koji se nalaze iza prepreke ili u zaklonu, aktivno dejstvo u netipičnim ambijentima – džungli, pustinji, šumi, itd., i pravovremeno upozorenje da je zahvaćen ozračanjem.

Poslednji podsistem budućeg američkog kompleta za vojnika pešadinca predstavlja podsistem zaštitne (pancir) odeće, koja je ergonomski prilagođena.

U taj podsistem spadaju: zaštitni prsluk sačinjen od modula balistički otpornih pločica, koje pružaju zaštitu od dejstva malokalibarske municije sa malih daljina, protivlaserske naočare, NHB i intendantska oprema. Osim povećanja stepena zaštite ovaj podsistem povećava sposobnost preživljavanja vojnika na bojištu.

Drugi program za vojnika pešadinca predstavlja evropski program Land Group 3 (pešadijska grupa 3), koji paralelno razvijaju 14 zemalja NATO i Australija: Francuska (vidi VTG br. 5/1999. str. 107), Velika Britanija, Kanada i Holandija, dok ostale članice NATO preuzimaju samo pojedine delove programa.

I evropski program borbenog kompleta za vojnike pešadije stavlja u težište veću ubojitost, povećanje samostalnosti u delovanju na bojištu, bolju pokretljivost, kontinuirano učešće u komandovanju i sigurnije preživljavanje.

Velika Britanija je realizaciju budućeg kompleta za vojnike pešadije predvide u dve faze: FIST (Future Infantry Soldier Technology – buduća tehnologija vojnika pešadije) i CRUSADER 21 (novi sistem odeće). Program treba da bude realizovan kroz tri projekta. U prvom treba da bude obavljena analiza svih problema koji su se pojavili u toku izrade novog borbenog kompleta, drugi projekat razmatra ljudski faktor (upotreba audiovizuelnih signala, snalaženje vojnika, problem upotrebe informacija, itd.), dok treći predstavlja analizu tehničkog demonstratora (TD).

Osnovno oružje FIST je nova automatska elektronska puška EIW, za čiju izradu je poslužila modifikovana automatska puška SA80 kalibra 5,56 mm. Puška EIW upotrebljava elektronski si-

stem opaljenja metaka, što joj povećava efikasnost pogađanja cilja, posebno pri niskom režimu vatre.

Optronika, računarska i audio oprema sadrže: ručni računar Thompson i prenosni računar Toshiba Libreta 75 MHz Pentium sa prijemnikom GPS i algoritmom za čitanje karata, stabilisani dvogled sa integrisanim laserskim daljinomerom, navigacione sisteme i izvore napajanja, audio opremu i šlem sa ugrađenim pokazivačem sa mogućnošću prikazivanja video signala ili slike iz termalne kamere ugrađene na oružju.

Intendantski komplet CRUSADER 21 treba, pre svega, vojniku da pruži zaštitu od dejstva malokalibarske municije, infracrvenog zračenja i NHB dejstva, kao i da održava konstantnu telesnu temperaturu. Odeća je izrađena od najnovije dvoslojne nelaminirane tkanine (materijal delta C sa slojem ugljeničnih vlakana).

Kanadski program razvoja opreme i optroničkih sredstava razvija se u okviru projekta Soldier Plus (vojnici plus), a težište je stavljeno na istraživanje celovitog sistema zaštitne odeće i opreme, pod sistema za sagledavanje situacije na bojištu (razvoj računara, programska oprema, sredstva veze, osmatrački uređaji, ravni ekrani za pokazivače i izrada ekspertize sistema za upravljanje vatrom), pod sistema za NHB zaštitu, integrisanog šlema i integrisanog sistema odeće za razne klimatske uslove.

Holandija razvija sistem D2S2 (Dutch Discounted Soldier System), koji se sastoji od pet razvojnih projekata: analitičke studije aktivnosti vojnika u toku dana, izrade radio-sistema za desantno pešadijsko odeljenje, projekta SDA (Soldier's Digitale Assistent), istraživanja o određivanju položaja

vojnika na bojištu i distribucije informacija na nivou odeljenja i mogućnosti održavanja sigurnog sistema veza.

Australijski program WUNDURA obuhvata istraživanje razvoja školskog centra za obuku, modifikaciju automatske puške 5,56 mm Steyr sa ugrađivanjem potcevnog bacača granata 40 mm, razvoj borbenog kompleta odeće, istraživanje najsavremenijih optroničkih sistema za noćno osmatranje i nišanjenje, računarskih sistema i sistema veza.

Predviđa se da bi prvi novi borbeni kompleti za vojnike pešadije mogli da uđu u operativnu upotrebu polovinom ove decenije, a da bi posle 2010. godine bio potpuno zaokružen sistem digitalizovanog bojišta. Imajući u vidu cenu jednog borbenog kompleta lako se može zaključiti da će te sisteme koristiti samo vojnici najrazvijenijih i najbogatijih zemalja.

S. Arsić



## **RAKETNI SISTEMI PVO SREDNJEG DOMETA\***

Efikasna odbrana stacionarnih i pokretnih ciljeva na zemlji od raketnih i avio-opasnosti ukazuje na to da je najbolji višeslojni pristup. Potreba za poboljšanjem mogućnosti presretanja na srednjim i velikim daljinama posledica je porasta upotrebe udaljenih radarskih platformi i ometačkih aviona, stelt-bombardera i odustajanja od direktnih udara aviona, krstarećih i balističkih raketa.

Smatra se da su sistemi PVO kratkog dometa oni koji uništavaju nadolaze-

će avione i rakete u krugu od 10 km (mada poneki dosežu i do 20 km), srednjeg dometa od 20 do 75 km i velikog dometa preko 75 km.

### *Sistemi PVO Samp-T*

Raketni sistem PVO srednjeg dometa Eurosam Samp-T (Sol-Air Moyeme Portee – Terrestre), često nazivan Land Seam AD, uspostavljen je 1989. godine zajedničkim naporima Italije i Francuske, kao budući raketni sistem PVO, tipa površina-vazduh. To je avio-transportabilan sistem na guseničnom vozilu. Koristi rakete Aster 30 MBDA, koje se ispaljuju iz vertikalnih lansera, kao i radare Thales Arabel i monoimpulsne niskofrekventne radare visokog ugla Alenia Zebra. Komandni modul upravlja sa šest lansera, lociranih na udaljenostima do 10 km, a svaki ima po osam raketa. Gusenično vozilo je francuski Renault TRM i italijanski Astra – Iveco.

Raketa Aster 30 zajedno sa potisnim motorom ima masu 445 kg. Lansirana raketa od 100 kg nosi fragmentacionu bojnju glavu mase 15 kg. Njen maksimalni dolet iznosi do 70 km u borbi protiv izviđačkih aviona, do 100 km protiv ometača i 15 do 25 km protiv supersoničnih manevrišućih aviona.

Sistem Samp-T koristi Sagem inercijalno srednjekursno vođenje, sa ažuriranjem podataka o cilju putem linka i aktivnim radarskim samonavođenjem. Ovaj sistem koji može napasti do 10 ciljeva istovremeno obezbeđuje antiraketne balističke mogućnosti protiv sistema kao što su Luna M i KBM 9K79 Točka, odnosno raketa sa dometom manjim od 100 km.

\* Prema podacima iz časopisa Armada International 4/2002.

Predviđeno je da početna proizvodnja Samp-T zadovolji zahteve francuske armije (15 sistema), italijanske armije (zamena za Hawk – 15) i za francuske vazduhoplovne snage (14) zamenjujući sisteme Croatia u odbrani aerodroma.

### *Sistem PVO Meads*

Uprkos čvrstim obavezama italijanske armije u proizvodnji italijansko-francuskog sistema PVO Samp-T, italijanske vazduhoplovne snage podržavaju program Meads, koji je formalno započeo 1996. godine ugovorom između SAD, Nemačke i Italije o saradnji na razvoju lakog sistema PVO srednjeg dometa. Sistemom Meads (Medium Extended Air Defence Systems) u SAD će se postepeno zamenjivati sistemi Patriot.

Trilateralnim ugovorom započeo je 27-mesečni program definisanja i validacije. U sledećoj fazi (rizik – redukcija), maja 1999. godine, Meads-Internacionalni tim, na čelu sa firmom Lockheed Martin, dobio je 216 miliona USD za ugovor sa NATO Meads agencijom. Lockheed Martin i Euro Meads (koji je uključio italijansku firmu MBDA-I i nemačku Eads/LFK) imaju ravnopravno učešće u projektu.

Poštujući odluku za smanjenje troškova programa Meads, izvršena je adaptacija rakete Pac-3 (razvijane za sistem Patriot) u kombinaciji sa poboljšanjima pokretljivosti lansera.

Pac-3 je u odnosu na Pac-2 (koji je korišćen u ratu protiv Iraka u Pustinskoj oluji) mnogo manja raketa tipa „lansiraj i zaboravi“, čime je svakom lanseru omogućeno da nosi po 16 raketa umesto ranih četiri na Pac-2.

Razvojno ispitivanje Pac-3 završeno je oktobra 2001, a odluka o proizvodnji očekivana je septembra 2002. godine. Armija SAD planira opremanje svake vatrene jedinice Patriot sa šest lansera Pac-2 i dva Pac-3. Raniji sistemi Patriot prodani su Egiptu, Nemačkoj, Izraelu, Japanu, Kuvajtu, Holandiji, Saudijskoj Arabiji i Tajvanu.

U toku testiranja nove rakete Pac-3 izvršeno je 11 uspešnih opaljenja, od kojih je pet bilo direktno presretanje taktičkih balističkih raketa, tri – uništenje krstarećih raketa i jedan – uništenje cilja koji je predstavljao napad aviona.

Zbog namera Nemačke i Holandije da nabave 200 odnosno 128 raketa Pac-3, Lockheed Martin je izdvojio deo proizvodnje u te zemlje, i prve komponente iz Nemačke već su izvezene u SAD. Nemačka će za Pac-3 proizvoditi Thomsonove cevi, Diehlove termičke baterije i učestvovati u konstrukciji zaštite rakete od prevrtanja u poslednjoj fazi leta, usled mogućeg uticaja vazdušnog strujanja. Odluka Danske o kupovini ovih sistema treba još da se potvrdi.

Ciljevi druge faze jesu da se potvrdi validnost izabranog koncepta (da li je ostvariv u realnom vremenu) da se ispituju kritične tehnologije i ustanove realni troškovi za razvoj i nabavku obezbeđujući tako osnovu za odluku o daljem radu na projektu.

Pretpostavljajući da program Meads ima perspektivu, planira se formiranje standardnih baterija koje će se sastojati od 6 lansirnih vozila (svako sa 12 vertikalno lansirajućih raketa), dva taktička operativna centra, UHF izviđački radar i dva X – pojasna radara za upravljanje vatom. Oba tipa radara imaju rotirajuće



aktivne fazne antene, za razliku od radara na Patriotu koji su bili fiksni i skenirali su samo sektor od 90°.

Meads je namenjen za ciljeve širokog dijapazona, od kojih mnogi ne opravdavaju relativno visoku cenu rakete Pac-3. Zato Lockheed Martin, zasnivajući proizvodnju na 20 raketa mesečno, nastoji da smanji cenu po jedinici na ispod 2 miliona USD.

M. Krbavac



## BORBENI RAKETNI ČAMCI\*

Borbeni reketni čamci koriste se više od 50 godina u mornaricama širom sveta. Taj tip brodova danas uključuje plovna sredstva deplasmana od 500 do 600 tona, a kao primarno naoružanje koriste protivbrodske krstareće rakete. Koristi ih više od 50 mornarica sveta, a u nekim mornaricama, u kojima raketni brodovi takvog deplasmana čine osnovu flote, klasifikuju se kao raketne korvete.

Raketni čamci izvršavaju sledeće zadatke:

– uništavaju protivničke ratne površinske brodove i čamce, amfibijska sredstva, kao i transportna i plovna sredstva duž obalskih komunikacijskih linija;

– štite svoja i saveznička transportna sredstva u tranzitu;

– podržavaju kopnene snage desantirane na protivničkoj obali, napadajući protivničke brodove;

– napadaju pomorske stacionarne instalacije važne za eksploataciju nafte i gasa za potrebe neprijatelja.

Raketni čamci imaju značajne taktičke kvalitete koji ih čine vrlo efikasnim, posebno kada krstare u priobalnim i zatvorenim zonama i plitkim vodama. Tome doprinosi njihova velika brzina, mala uočljivost i snažno naoružanje.

Velika brzina i manevarska sposobnost omogućavaju minimalno vreme potrebno za njihov razvoj i smanjuju vreme protivniku da preduhitri njihov napad.

Pri dejstvu u priobalnim i plitkim vodama mogu da unište velike površinske ratne brodove klase korveta – fregata. Njihov osnovni način upotrebe je zaseda, kada prikriveni u zalivima i uvalama, neočekivano i iznenadno, brzim manevrom napadaju protivničke brodove.

Prvi raketni čamci izrađeni su u Sovjetskom Savezu još 1957. godine. Do sada je samo u SSSR-u i Rusiji izgrađeno preko 500 raketnih čamaca. Sredinom šezdesetih godina raketni čamci građeni su u Francuskoj i Nemačkoj. Sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog veka dolazi do naglog porasta zahteva za ovom vrstom brodova, a vodeće zemlje u njihovoj proizvodnji bile su Rusija, Francuska, Kina, Nemačka i Velika Britanija.

Danas se u mornaricama širom sveta nalazi preko 600 raketnih čamaca naoružanih sa oko 15 tipova protivbrodskih krstarećih raketa. Te rakete grubo se mogu podeliti na dve grupe:

– dometa do 50 km, koje same određuju ciljeve;

– dometa od 80 do 120 km i više, koje maksimalan domet ostvaruju korišćenjem spoljnih sredstava za određivanje cilja, kao što su helikopteri, avioni i radari sa patrolnih brodova ili sa sredstava specijalne taktičke tehnike upotrebljene za grupu brodova.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul 2002.



Prosečan vek upotrebe raketnih čamaca iznosi 20 do 25 godina, a intenzivnije povlačenje iz upotrebe treba očekivati u periodu od 2000. do 2005. godine. U tom periodu očekuje se i povećanje zahteva za novim sličnim sredstvima.

Centralni mornarički projektni biro ALMAZ, poznati ruski proizvođač, nudi paket sopstvenog razvoja savremenih raketnih čamaca. Poboljšani modeli ranijih izvoznih raketnih čamaca klase Munja sada se mogu tretirati i kao brodovi klase korveta – fregata. Visoki borbeni potencijal njihovih krstarećih raketa (4 Moskit E ili 16 Uran E), usavršeni sistem za otkrivanje i praćenje ciljeva povezan sa efikasnim sistemom PVO čini te raketne čamce najboljima na svetu.

Projekat 12300 Skorpion prvi je čamac na svetu koji, pored raketa, poseduje i impresivni brodski top 100 mm.

Projekat 10411 Svetlyak je raketni čamac izgrađen na istoj osnovi kao i patrolni čamac po projektu 10410.

Borbeni čamci koje proizvodi Biro ALMAZ, koji su dva do tri puta jeftiniji od brodova tipa korveta – fregata, mogu biti od velike pomoći i za ispitivanje novih tehničkih rešenja, proizvodnju novih modela i dalji razvoj sopstvene brodogradnje. Tu klasu brodova koriste vodeće pomorske snage za proveru novih oblika trupa brodova, inovacije u materijalima,

izradu novih tipova propelera i primenu savremenih tehnologija.

Prema parametrima tehničkih karakteristika danas su aktuelne sledeće tendencije u razvoju raketnih čamaca:

- stalni naponi za povećanje brzine i manevra;

- dominantna upotreba dizela kao glavnog pogona i, alternativno, dizel-gasne turbine na nekim modelima;

- upotreba raznih vrsta propelera, kao što su fiksni i podešavajući, vodene mlaznice, Arneson pogoni, poluuronjeni propeleri, itd., zavisno od deplasmana, namene i zahtevane brzine;

- uvođenje modularne konstrukcije, koja obezbeđuje brzu promenu naoružanja u zavisnosti od dodeljenog zadatka;

- mogućnost da neki čamci budu tipa katamaran uz korišćenje vazdušnog jastuka ili gliserskih rešenja, vazdušne kavitacije ili spojlera;

- korišćenje streljane tehnologija u izradi trupa broda i nadgradnje. Oružje i brodska oprema smeštaju se unutar trupa, dok su trup i ostale strukture sa maksimalno mogućim nagibnim uglovima i jarboli u obliku tornja. Sve češće se koristi plastika velike čvrstoće i antiradarski premazi;

- upotreba bespilotnih letelica za određivanje položaja ciljeva na maksimalnom dometu.

M. Krbavac



# tehničke novosti i zanimljivosti

## **BORBENA PROVERA AUTOMATA BIZON\***

Ruska firma IZMAŠ dobila je 1993. godine zahtev Ministarstva unutrašnjih poslova za razvoj automata sa velikim kapacitetom magacina koji je, kako se kasnije pokazalo, bio pravi izazov, jer su konstruktori oduvek težili da povećaju kapacitet spremnika municije za automatsko streljačko oružje. Neka dostignuća na tom planu ostvarena su u konstrukcijama lakih automata i jurišnih pušaka. Prvi uspeh ove firme ostvaren je 1994. godine kada je novi pužni magacin povećanog kapaciteta dao neočekivane rezultate, a primenjen je na originalnom automatu PP-19 Bizon.

U 1995. godini započeta je optimizacija tog oružja. Automat Bizon je izdržao oštru konkurenciju kavrovskih i tulskih konstruktora, tako da je decembra 1996. godine odobrena njegova upotreba. Prime na ovog patenta za magacine streljačkog naoružanja potvrđena je evroazijskim patentnim certifikatom marta 2000. godine.

Rusko ministarstvo pravde i specijalne jedinice Federalne službe bezbed-

nosti već imaju borbeno iskustvo u upotrebi ovog oružja. Kroz primere praktične upotrebe najbolje su pokazane sve prednosti automata PP-19. Pri tome je posebno isticana prednost horizontalnog položaja magacina ispod cevi, čime se smanjuju vertikalne dimenzije oružja i omogućava strelcu da se manje izdiže iznad zemlje.

Automat Bizon dobio je značajno priznanje za unikatni magacin velikog kapaciteta, stabilnost za vreme automatske paljbe i dobro grupisanje pogodaka na rastojanjima od 25 do 70 metara i više. Smatra se da je masa nenapunjenog automata od 2,5 kg sasvim prihvatljiva za oružje te klase, i da je to dobra osnova za popunu količine municije od 64 metka u svaki od pripadajućih magacina. Prema količini metaka (ne i masi) automat Bizon se svrstava u teške automate.

Automat Bizon uspešno se može koristiti u raznim taktičkim situacijama, uključujući intenzivna oružana dejstva u pokretu na rastojanjima do 100 metara, pa i više. Pripremljen je i lako se oprema prigušivačima i savremenim nišanskim uređajima, a pokazalo se da je veoma pogodan pri zauzimanju objekata koje drže teroristi.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

Brojni su zahtevi da se automat Bizon modifikuje.

Pri borbenim uvežbavanjima ostvarena je velika gustina vatre, koja je ponekad neprekidno trajala dva sata i više, a svaki strelac je prosečno u borbi ispalio po 150 do 200 metaka. Za dva meseca svaki automat je ispalio od 4500 do 5000 metaka, što znači da je utrošeno oko 50% životnog veka cevi.

Automati PP-19 su korišćeni u operacijama u naseljenim mestima, u borba-ma na bliskim rastojanjima (50 do 100 m), kao i u operacijama čišćenja. Optimalna rastojanja za gađanje standardnom municijom 9×18 mm iznosila su 70 do 80 m. U tom slučaju automat Bizon ima veliku stabilnost i beznačajnu promenu položaja cevi pri automatskoj paljbi. Bez obzira na osobine municije, oružje je ostvarilo dovoljnu gustinu vatre uz veoma mali broj rikošeta. Veliki kapacitet magacina daje vojniku veliku prednost nad protivnikom, posebno pri dužim borbenim dejstvima. Obično je napunjen automat, sa jednim rezervnim napunjenim magacinom dovoljan za izvršenje jednog borbenog zadatka bez popune municijom.

Automat Bizon pokazao se efikasnim i u uslovima duže upotrebe nišanskih i prigušnih uređaja. Pri testiranju u realnim borbenim uslovima, nije bilo začepjenja cevi, kao ni zastoja pri opaljenju ili punjenju municijom.

M. K.



## AUTOMATI SERIJE 100\*

Projektanti ruske firme IZMAŠ razvili su devedesetih godina unificirani kompleks automata Kalašnikov prilagođenih za domaću municiju 7,62×39 mm, 5,45×39 mm i za NATO municiju 5,56×45 mm, koji su namenjeni ruskim kupcima, kao i zemljama koje su orijentisane ka NATO.

Ovaj kompleks sadrži automate opšte namene (AK-74M, AK-101, AK-103) i posebne namene (AK-102, AK-104, AK-105). Svaki od njih poseduje visok stepen unifikacije u konstrukciji sklopova i delova, kao i tehnologiji proizvodnje.

Prednosti ovog unificiranog kompleksa su:

- funkcionisanje bez zastoja u otežanim uslovima upotrebe (niske ili povišene temperature, kontaminacija i dr.);
- optimalno rasturanje pogodaka pri automatskoj paljbi sa nepripremljenih položaja;
- dugi vek upotrebe;
- lako održavanje (rastavljanje, sastavljanje, čišćenje, podmazivanje);
- verzije mehanizma za opaljenje koje obezbeđuju paljbu po tri metka.

Automati 5,56 mm AK-101 i AK-102 mogu da koriste inostranu municiju M-193 i SS-109 i domaću RS-101 sa povećanom probojnošću.

Automat 7,62 mm AK-103, u poređenju s domaćim i inostranim AKM i AKMS automatima, poseduje jače mehanizme za zabravljivanje; kočnicu na ustima cevi koja smanjuje bljesak i energiju trzanja pri paljbi, što smanjuje rasturanje pri gađanju sa nepripremljenih položaja;

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

povećanu pouzdanost upotrebe zbog korišćenja čvršćih polimernih materijala.

Savremena tehnologija i primena polimera velike čvrstoće u izradi cevi i delova znatno su povećali otpornost na habanje.

Automati AK-104 i AK-105 namenjeni su za opremanje formacija u Ruskoj Federaciji. U odnosu na AKS-744 oni se odlikuju povećanom snagom i imaju niži nivo praska i bljeska pri opaljenju, kao i bolje karakteristike rasturanja pogodaka.

Unificirani kompleks dalje je razvijan u sledećim pravcima:

- opremanje automata dioptrijskim nišanima kojima se poboljšava tačnost pogadanja;

- razvoj lakih automata u okviru unificiranog kompleksa;

- povećanje vatrenih mogućnosti uvođenjem magacina većeg kapaciteta.

U skoroj budućnosti, kompleks će biti suplementaran sa svakim lakim automatom, kao što je RPK-101 (koristi NATO municiju 5,56×45 mm), RPK-102 (koristi metak 5,45×39 mm) i RPK-103 (koristi metak 7,62×39 mm). Svi ovi modeli biće snabdeveni magacinom povećanog kapaciteta koji sadrži po 60 metaka.

Automati AK-107 i AK-108 su individualno oružje za armijske i druge sastave a namenjeni su za uništavanje ljudstva i vatrenih sredstava protivnika. Posebna karakteristika ovih automata je korišćenje balansirane bezudarne automatike sa izdvojenim inercionim masama.

Konzistentnost automatske vatre automata AK-107 i AK-108 sa nepripremljenih položaja je za 1,5 do 2 puta bolja u odnosu na oružja klasične konfiguracije. Automati poseduju sklapajuće kunda-

ke i standardne nosače za ugradnju optičkih i noćnih nišana, lanser granata ispod cevi i bajonet. Mehanizam za opaljenje obezbeđuje automatsku i pojedinačnu paljbu sa po tri metka u rafalu.

M. K.



## PENTAGON ISPROBAVA ODBRAMBENE RAKETE\*

U vreme kada se SAD udaljavaju od pregovora o antibalističkim raketama, Pentagon je objavio da na otvorenom moru uspešno isprobava rakete namenjene za uništenje nailazećih raketa srednjeg dometa u početnoj fazi leta.

Pri isprobavanju Raytheonova raketa SM-3 (Standard Missile 3), lansirana sa krstarice Lake Erie, presrela je balistički raketni cilj lansiran osam minuta ranije sa ostrva Kauai na Havajima. Primarni cilj ovih ispitivanja bio je demonstracija mogućnosti da se pogodi balistički raketni cilj. Pored toga, prikupljen je i obiman broj podataka za analizu i pripremu budućih ispitivanja.

Probni let je demonstrirao i integraciju rakete SM-3 sa sistemom oružja AEGIS ugrađenog na krstaricu Lake Erie, validnost tehnoloških sistema, uključujući dvostruko pulsirajući trostepeni raketni motor, sistem za upravljanje i kinetičko završno vođenje bojne glave.

Ovaj uspeh dovodi Raytheon, mornaricu SAD i Agenciju za raketnu odbranu korak bliže stvaranju sistema raketne odbrane baziranih na moru.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 14. jun 2002.

Raketa SM-3 projektovana je za lako prevođenje, od razvoja do upotrebe, u koncept sistema balističke raketne odbrane. To će doprineti da sistem bude sposoban za iznenadne operacije, ako bude neophodno. Ukoliko zahtevi za sistemom balističke raketne odbrane ostanu prioritetni, povećaće se i uloga sistema oružja AEGIS i radara SPY-1.

M. K.



## **BORBENI AVION MiG-29 OVT\***

Veliko iskustvo u razvoju sistema za vektorsko kontrolisanje potiska ruski inženjeri stekli su sa indijskom varijantom aviona Su-30 MKI. Nakon toga, nova saznanja mogli su da primene i na postojećim serijskim modelima aviona. To je naročito dobro demonstrirano na avionu MiG-29 OVT, odnosno na modifikaciji njegovog motora Sarkisov RD-33-10M, koji karakteriše tzv. KLIVT (Klimov vektorisani potisak) na izduvnicima, koji mogu da se otklanjaju u 360°. Dotični motor ranije je bio poznat kao RD-133 ili VKS-10 (VK je označavalo ime Vladimira Klimova, a S Sarkisova). Cifra 10 reprezentovala je potisak od 10000 kg (98,1 kN).

Jedan od projektnih ciljeva novog sistema jeste njegova sposobnost lake nadogradnje na već postojeće motore RD-33 na serijskim avionima. Dužina motora ostala je nepromenjena (4,23 m), a masa je neznatno povećana sa 1054 na 1145 kg.

Prototip MiG-29 OVT opremljen je novim digitalnim fly-by-wire sistemom, koji integriše komande uzdužnog i poprečnog položaja, kao i položaja oko ver-

tikalne ose sa otklonom izduvnika. Trodimenzionalni izduvnik može da ostvari otklon u svim smerovima do 20°. Brzina promene položaja izduvnika iznosi 30°/s.

Karakteristike vektorisanog potiska dosad su, uglavnom, dovodene u vezu sa super-pokretljivošću, što je još uvek diskutabilno sa aspekta praktične primene u borbi. Međutim, veoma važan momentat je i mogućnost dovodenja u optimalnu vezu napadnog ugla aviona sa pravcem potiska, čime se može znatno povećati dolet, odnosno vreme ostajanja u vazдушnom prostoru. Osim superpokretljivosti, koja bi trebalo da posluži za postizanje prevlasti u vazдушnom prostoru, OVT definitivno ima veći dolet u odnosu na ranije varijante MiG-29 A i C. U vezi s tim, prototip MiG-29 OVT, predstavljen na sajmu MAKS 2001, nije imao uređaj za dopunu gorivom u vazдушnom prostoru. To je neobično utoliko pre što originalni MiG-29M, iz čijeg je prototipa i izveden OVT, poseduje taj uređaj.

U opitnim letovima, koji tek treba da uslede, ekstremna agilnost u odnosu na standardni MiG-29 tek treba da bude dokazana. S druge strane, bitan element programa ispitivanja biće granice ljudske izdržljivosti i pronalazak efikasne zaštitne letачke opreme, prvenstveno novih anti-g odela.

S. V.



## **TESTIRANJE DIGITALNOG SISTEMA VEZE MIDS NA F-18\***

U vremenu kada pravovremena promena informacija obezbeđuje kritični

\* Prema podacima iz časopisa AIR International, maj 2002.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 12. jun 2002.

momenat na bojnopolju, razvija se multifunkcionalni informativni distributivni sistem (MIDS), od kojeg se očekuje da ostvari takve potrebe. Očekuje se da sistem omogućiti avionima F/A-18, površinskim brodovima i savezničkim sredstvima na moru i u vazдушnom prostoru novi nivo međusobne povezanosti, koji obezbeđuje izvršenje zadataka sa promenom informacija u realnom vremenu.

Program je nedavno završio prvu fazu svog tehničkog razvoja ispitivanjima na avionu F/A-18, pri vežbama u vazduhoplovnoj bazi Eglin na Floridi.

MIDS je savremeni, digitalni sistem veze, velikog kapaciteta, otporan na ometanje, koji se koristi za izmenu tačnih poverljivih poruka i informacija između učesnika na kopnu, moru i vazдушnom prostoru pri izvršavanju taktičkih zadataka.

Kao najnovija generacija MIDS je namenjen za brzu izmenu informacija o cilju između različitih nosača, koristeći mogućnosti izvidanja, vazdušne kontrole i mogućnosti povezivanja lovac-lovac. Sistem je kompaktan i smešten u tzv. crnoj kutiji, radi lakšeg održavanja u toku leta.

Sistem MIDS trebalo bi da omogućiti pilotu, za sve vreme leta, kompletan uvid u borbenu situaciju oko njega, bez dobijanja informacija iz drugih izvora. Takođe, prikuplja informacije sa drugih platformi i smanjuje radno opterećenje pilota u vreme njegovog odlučivanja.

Smatra se da je ovaj program jedan od najkompleksnijih integracionih zahvata preduzetih do sada. Ugrađen na F/A-18 MIDS je pokazao mogućnosti poboljšanja uvida u situaciju posade u avionu tokom svih faza izvršenja zadataka i, na osnovu toga, mogućnost radikalne izmene načina upotrebe aviona.

Pored izvršenja funkcija C<sup>3</sup>I (Command, Control, Communication and Intelligence) MIDS pruža i navigacionu pomoć, obezbeđujući relativnu navigacionu poziciju koristeći Link-16. Takođe, uključuje funkcionisanje sistema TA-CAN koristeći AN/ARN-118.

Posle ohrabrujućih rezultata u fazi tehnološkog razvoja kreće u fazu operativnog razvoja. Istovremeno, uz ostvarenje početnih operativnih sposobnosti, sistem će biti raspoloživ za obuku novostandardiziranih eskadrila F/A-18E/F, VFA/14 i VFA/41, kao deo borbene grupe Nimitz, s početkom 2003. godine.

Sistem MIDS će se ugrađivati i na palube brodova i na avione, među kojima je F/A-18 prvi.

M. K.



## ZAVRŠNA FAZA LOGISTIČKOG ISPITIVANJA LOVCA F-22 RAPTOR\*

Kompanija Lockheed Martin završila je značajnu fazu logističkog ispitivanja i provere superlovca F-22 Raptor, pripremajući tako za vazduhoplovne snage SAD početak operativnih ispitivanja i provera, planiranih za sledeću godinu. Smatra se da će realizacija ovih ispitivanja u objektima Lokid-Martin Marietta, umesto u avio-bazi Edwards, kako je prvobitno bilo planirano, uštedeti oko 500 000 USD.

Od sredine aprila, programom Raptor 4009, pristupilo se seriji provera radi validacije pogodnosti održavanja i re-

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 14. jun 2002.

monta F-22. Rezultati provere pokazuju da će ovaj lovac biti pogodniji za održavanje nego postojeće generacije lovačkih aviona SAD.

U toku ispitivanja, stotine delova aviona bilo je skinuto i ponovo ugrađeno radi ispunjenja zahteva vazduhoplovnih snaga i uputstva za održavanje aviona. Takođe, tim stručnjaka verifikovao je korisnost opreme za podršku i utvrdio da su svi neophodni faktori koji utiču na čoveka i okolinu uzeti u obzir i pri projektovanju i proizvodnji aviona F-22.

Testove logistike vodio je tim iz sastava vazduhoplovnih snaga SAD, uključujući instruktore iz prve grupe službe održavanja F-22, podržane ljudstvom dobavljača iz fabrika Lockheed Martin.

Superlovac F-22 Raptor pogone motori Pratt i Whitney, koje je izradila kompanija Lockheed Martin u saradnji sa kompanijom Boeing.

Raptor treba da zameni avione F-15 Eagle u toku 2005. godine.

M. K.



## **HELIKOPTERI BELL ZA TRENAŽNU FLOTU VAZDUHOPLOVSTAVA SAD I VELIKE BRITANIJE\***

Vazduhoplovstva Velike Britanije i SAD uvećavaju svoju helikoptersku trenaznu flotu nabavkom 17 novih helikoptera Bell.

Britanci će sa dva helikoptera Bell 412 povećati postojeću flotu od 9 helikoptera koji su namenjeni za trenaz pilotu i

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 13. jun 2002.

posada za akcije pretraživanja i spasavanja, a koji se sprovodi u školi za obuku pilota helikoptera u Shawbury u Engleskoj.

Armija SAD poručila je 15 novih helikoptera TH-67 Creek radi povećanja svoje postojeće flote od 149 helikoptera. Helikopter TH-67 Creek izrađen je na bazi helikoptera Bell 206B. U oba slučaja centri za obuku koriste helikoptere Bell već više godina, i imaju priliku da procene i odrede kvalitet helikoptera TH-67 i Bell 412.

Svi helikopteri biće izrađeni u Belovoj fabrici helikoptera Mirabel, Quebec (Kanada). Fabrika zapošljava 12 000 ljudi, ali veliki broj delova potrebnih za ovih 17 helikoptera isporučiće razni proizvođači u Kanadi.

Ugovori su vredni 11 miliona USD za dva modela 412 i 24 miliona USD za 15 helikoptera TH-67 Creek. Isporuka treba da se realizuje u narednih 18 meseci.

M. K.



## **PRIVREMENA SUSPENZIJA LETOVA AVIONA F-14\***

Juna 2002. mornarica SAD je suspendovala operacije za svojih 156 aviona F-14 Tomcat, dok se ne izvrši kontrola pojave korozije na komponentama prednjeg stajnog trapa.

Svi avioni Tomcat ostaće prizemljeni dok se ne ispituju ključni delovi na sklopu prednjeg točka na svakom avionu, posebno spoljašnji cilindar stajnog trapa, koji je bio uzrok udesa trenaznog aviona F-14, 2. marta 2002. kada je poginuo pilot.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 10. jun 2002.



Tehničkom kontrolom te nezgode utvrđena je korozija na spoljašnjem cilindru na mestu pojave neispravnosti. Svaki avion, koji na cilindrima ima tačkastu koroziju dubine veće od 0,005 inča (0,127 mm), biće povučen iz upotrebe dok se prednji stajni trap ne zameni.

Avioni sa dubinom korozije na cilindrima manjom od 0,005 inča (0,127

mm) biće podvrgnuti dodatnim katapultiranjima (50), kako bi se utvrdilo da li korozija povećava dopušteni nivo.

Procenjuje se da će procedura inspekcije zahtevati 15 sati po avionu.

Mornarica SAD planirala je dve nedelje za proveru svih aviona F-14.

M. K.



## VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Balkanska 53

Telefoni: (011) 36-12-506, lok.: 23-495

Telefaks: (011) 36-12-506

## NARUDŽBENICA

Pretplaćujemo se na časopise za 2003. godinu:

primeraka

### 1. „Vojnotehnički glasnik“

(stručni i naučni časopis VJ)

Godišnja pretplata **750,00 dinara.**

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963

.....

### 2 „Novi glasnik“

(vojnostručni intervidovski časopis)

Godišnja pretplata **1.200,00 dinara.**

Prilikom uplate pozvati se na broj: 053/963

.....

### 3. „Vojno delo“

(opštevojni teorijski časopis)

Godišnja pretplata **920,00 dinara.**

Prilikom uplate pozvati se na broj: 051/963

.....

Pretplatne cene važe do 31. 03. 2003. godine.

Broj primeraka izdanja koje se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun broj **40818-845-0-1445 RC SMO Topčider – za VIZ (sa pozivom na broj za svaki časopis)** i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac ..... tel.: .....

Mesto ..... Ulica ..... br. ....

Dana .....

Potpis naručioca

M. P.

.....

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: prapratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U prapratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozima 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 1.100 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)