

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik  
SLAVOLJUB JOVANČIĆ

UREDIVAČKI ODBOR

General-major  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)General-potpukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-potpukovnik  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.General-major  
MILAN UZELAC, dipl. inž.General-major  
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.General-major  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, 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 SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILJKO ERIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr DRAGOSLAV UGARAK, 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, tekući račun:  
840-51845-846 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 SRBIJE I CRNE GOREVOJNOTEHNIČKI  
G L A S N I KVojnotehnički glasnik je,  
povodom 50 godina rada,  
odlikovan Ordenom VJ  
trećeg stepena

2

GODINA LI • MART–APRIL 2003.



## SADRŽAJ

<b>Profesor dr Jovan Todorović,</b> dipl. inž.	RAZVOJ NAUKE O ODRŽAVANJU TEHNIČKIH SISTEMA .	125
<b>Dr Vasilije Mišković,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Vladimir Bukvić,</b> major, dipl. inž. <b>Dr Petar Stanojević,</b> major, dipl. inž.	KVALIFIKACIJA I OBLIK UTICAJA SNABDEVENOSTI REZERVNIH DELOVIMA NA ISPRAVNOST TEHNIČKIH SISTEMA .....	135
<b>Stojadin Manojlović,</b> potporučnik, dipl. inž. <b>Dr Bojan Zrnić,</b> major, dipl. inž.	RAČUNARSKO MODELOVANJE SAMONAVOĐENE RAKE-TE SA POKRETNIM PRATEĆIM KOORDINATOROM .....	149
<b>Dr Milorad Radetić,</b> dipl. inž.	SPECIFIČNOSTI VUČNOG PRORAČUNA BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA SA HIDROMEHANIČKIM TRANSMISIJAMA .....	160
<b>Mr Slobodan Janićijević,</b> pukovnik, dipl. inž.	UTICAJ MESTA UGRADNJE INERCIJALNOG MERNOG BLOKA I AKCELEROMETARA NA GREŠKU U ODREĐIVANJU POZICIJE AVIONA .....	171
<b>Miloš Merdžanović,</b> potporučnik, dipl. inž. <b>Mr Nedeljko Ostojić,</b> pukovnik, dipl. inž. <b>Mr Željko Obrenović,</b> poručnik, dipl. inž.	WEB APLIKACIJA ZA PODRŠKU TAKMIČENJIMA U VOJNOM VIŠEBOJU .....	182
<b>Dr Dragutin Jovanović,</b> pukovnik, dipl. inž.	INDUSTRIJSKI KOLOSECI U FUNKCIJI KVALITETA ŽELEZNIČKE SAOBRAČAJNO-TRANSPORTNE USLUGE	193
<b>Sc Goran Prodanović,</b> poručnik	UTICAJ PROMENA MAGNETNOG POLJA ZEMLJE NA ORIJENTACIJU .....	207
<b>Dr Slavko Pokorni,</b> pukovnik, dipl. inž.	SAVREMENA SREDSTVA ZA ELEKTRONSKO IZVIĐANJE IZVORA ELEKTRONSKOG ZRAČENJA .....	215
<b>Miloš Merdžanović,</b> potporučnik, dipl. inž.	YU INFO 2003 – prikaz naučno-stručnog skupa – .....	225

---

**PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA**

---

Nova municija kompanije RUAG – M. K. ....	227
Moduli za korekciju leta avio bombi – M. K. ....	229
Multispektralni optronički sistemi – M. K. ....	230
Budućnost sistema za noćno osmatranje pešadije – M. K. ....	233
Poboljšanje francuskih oklopnih vozila – M. K. ....	236
Nova ruska terenska vozila – M. K. ....	237
GrANT – nova generacija bespilotnih letelica – M. K. ....	239
Radna stanica za brodske radio-elektronske sisteme – M. K. ....	240

---

**TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Raketa IRIS-T nadomak serijske proizvodnje – M. K. ....	243
Tradicija i inovacije belgijske fabrike oružja FN – M. K. ....	243
Navigacioni sistem za izviđačko vozilo FENNEK – M. K. ....	244
Nemačka armija naručuje samohodne minobacače 120 mm – M. K. ....	245
Novi oblik francuskog borbenog vozila pešadije – M. K. ....	245
Vojna vozila Ural – M. K. ....	246
Dimni raspršivači ISL 66D – M. K. ....	248
Novi mobilni radio-komunikacijski uređaji – M. K. ....	248
Specijalizovana tehnička skloništa – M. K. ....	249

*Rezime:*

*Sve veći zahtevi u pogledu upotrebnog kvaliteta i ekonomičnosti traže i stalno usavršavanje nauke o održavanju tehničkih sistema i odgovarajućih inženjerskih postupaka održavanja. Najveći značaj u ovom okviru imaju metode održavanja zasnovane na riziku, koje se poslednjih godina razvijaju, posebno za održavanje tehničkih sistema velike složenosti i velikih rizika. Očekuje se da će uskoro biti na raspolaganju i evropski standardi za održavanje na bazi rizika, koji će omogućiti veću raspoloživost, manje troškove održavanja i manje rizike ekonomskog, ekološkog i drugog karaktera.*

*Ključne reči: održavanje, pouzdanost, raspoloživost, troškovi, rizik.*

---

## DEVELOPMENT OF THE SCIENCE OF TECHNICAL SYSTEM MAINTENANCE

*Summary:*

*Increasing demands for quality of service and cost-effectiveness require permanent improvement of the maintenance science and engineering methods for maintenance of complex engineering systems. Most significant are risk-based maintenance methods being developed over the last few years in particular for complex high risk systems. New European standards on risk-based maintenance will be soon available, providing a higher readiness, lower expenses and lower risks regarding economy, ecology and other influences.*

*Key words: maintenance, reliability, readiness, expenses, risk.*

---

### Uvod

Intenzivan razvoj tehnologije u svim sektorima društva nametnuo je potrebu detaljnog i sveobuhvatnog izučavanja svih fenomena i činilaca koji određuju uspešnost rada sistema. To je dovelo do

snažnog razvoja niza novih naučnih disciplina, usmerenih na izučavanje pojedinih svojstava sistema, odnosno do tzv. sistemskih nauka. Korisno je da se posebno ukaže na razvoj teorije pouzdanosti, kao naučne discipline koja se bavi problemima ispravnog funkcionisanja tehničkih sistema, na kojoj se danas temelje skoro svi prilazi u razvoju, proizvodnji i korišćenju tehničkih sistema.

---

\* Rad predstavlja integralni tekst predavanja koje je autor održao po pozivu na Simpozijumu SIMOPIS oktobra 2002. godine na Tari, a koji je u Zborniku sa ovog simpozijuma štampan u izvodu.

Teorija pouzdanosti izučava otkaze tehničkih sistema u realnim uslovima rada i, s obzirom na to da je pojava otkaza tokom vremena izrazito slučajna kategorija, teorija pouzdanosti koristi matematičke metode koje operišu slučajnim pojavama i procesima, tj. pre svega teoriju verovatnoće i statističke metode.

Neposredno vezano za teoriju pouzdanosti formirala se poslednjih godina i teorija održavanja – naučna disciplina koja izučava procese koji se odvijaju kada je tehnički sistem u otkazu. Pošto su i činioци koji određuju procese tokom stanja sistema u otkazu stohastičkog, odnosno slučajnog karaktera, i teorija održavanja koristi iste matematičke metode kao i teorija pouzdanosti. Kao i pri razvoju novih tehničkih sistema, i u procesima izučavanja procesa stanja u otkazu koriste se i druge metode, često zasnovane na empiriji ili iskustvu. Otuda se, uporedo sa teorijom održavanja, može govoriti i o inženjerskoj disciplini – inženjerstvu održavanja [1].

### **Kriterijumi i metode upravljanja održavanjem**

Teorija i inženjerstvo održavanja se poslednjih godina stalno usavršavaju i razvijaju. Osnovni pravci ovog razvoja usmereni su na definisanje postupaka i kriterijuma optimizacije koji će omogućiti najpovoljnije odnose performansi sistema održavanja, odnosno pouzdanosti i raspoloživosti tehničkog sistema koji se održava i troškova održavanja. Teži se da pouzdanost i raspoloživost budu što veći, a troškovi što manji. To je i osnovni zadatak ovih naučnih, odnosno inženjerskih

disciplina. Ovaj zadatak se ostvaruje razvojem odgovarajućih metoda upravljanja održavanjem.

Pod metodom upravljanja održavanjem, koja se često kratko zove samo metoda održavanja, podrazumeva se koncept tehnologije rada usmeren ka dostizanju željenih izlaznih karakteristika sistema održavanja, koje su određene odgovarajućim kriterijumima optimizacije. Postoji više metoda održavanja koje su se afirmisale u dosadašnjoj praksi, a najveću pažnju zaslužuju metode poznate pod skraćenicama RCM i TPO.

*Metoda RCM* (Reliability Centered Maintenance – Održavanje prema pouzdanosti ili OPP) jedna je od najčešće citiranih, pa verovatno i najviše primenjenih. Definisana je i odgovarajućim međunarodnim standardima [2] a zahteva snažnu informatičku podršku, bogate baze podataka o svim performansama pouzdanosti, raspoloživosti, gotovosti i drugim svojstvima sistema. Iako baze podataka za primenu metoda RCM često sadrže i podatke o ranijim postupcima održavanja, njihovom efektu, trajanju, troškovima i drugim relevantnim elementima (uticaji na okolinu, zaštitu ljudi i njihovog zdravlja itd.), presudni uticaj na donošenje odluka o tome kada, gde i koje postupke održavanja treba sprovesti imaju zahtevi pouzdanosti. Drugim rečima, cilj rada po ovoj metodi je obezbeđivanje zahtevanog nivoa pouzdanosti, dok troškovi, uticaj na okolinu i eventualno drugi elementi imaju karakter ograničenja. Pri tome, odluke o održavanju donose kompetentni i posebno zaduženi radnici, dobro verzirani za dotični sistem i proces njegovog korišćenja.

Održavanje po metodi RCM traži velika sredstva, snažne računare i visokosofisticirane softvere. Upravo radi toga ova metoda se koristi samo tamo gde je to posebno važno, za održavanje sistema visoke složenosti, velike odgovornosti i velikih rizika od posledica iznenadnih otkaza i havarija (za termoenergetska, nuklearna i procesna postrojenja, ali i u vazdušnom saobraćaju, sistemima odbrane, telekomunikacija, informatike, itd.). Pored potrebnih velikih ulaganja ovo je uslovljeno i samom prirodom i karakteristikama sistema koji treba da se održava. Naime, da bi se metodom RCM donosile odluke o održavanju predmetni sistem treba da se prati i analizira u dužim periodima, uz stalna upoređenja sa drugim sličnim sistemima, koji rade pod istim ili nekim drugim uslovima. Potrebna je, dakle, homogena baza, statistički signifikantnih podataka. To je teško, pa i nemoguće obezbediti ako se radi o heterogenim sistemima promenljive strukture, kakvi su, na primer, veliki vozni parkovi sastavljeni od različitih vozila, različite starosti i karakteristika, a i većina metaloprerađivačkih pogona, struktuiranim sa velikim brojem različitih, obično unikatnih mašina.

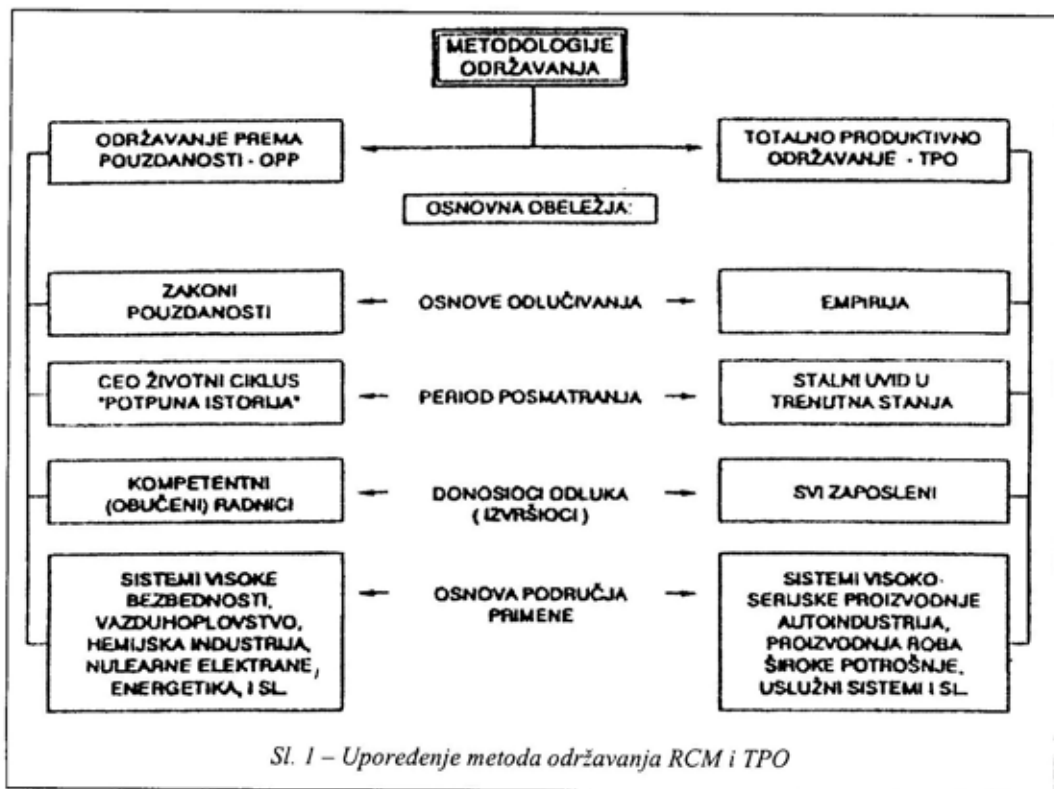
*Metoda TPM* (Total Productive Maintenance – Totalno produktivno održavanje ili TPO) preporučuje se i široko primenjuje za složene heterogene sisteme, kakvi su najčešće industrijski metaloprerađivački pogoni. To je znatno jednostavnija metoda, veoma je fleksibilna i traži manja ulaganja. Ona je u suštini empirijska i zasniva se na iskustvu radnika koji rade sa dotičnim sistemom, kao rukovaoci, kontrolori, tj. na svim mesti-

ma koja su direktno ili indirektno vezana za rad sistema. Pri tome se podrazumeva da svi ovi radnici imaju znanja da u svakom trenutku ocene stvarno stanje sistema i njegovih elemenata, odnosno da utvrde da li sve funkcioniše kako treba, a posebno da ocene da li ima nagoveštaja da će uskoro doći do nekih poremećaja ili otkaza. U ovom slučaju nisu potrebne precizne informacije o pouzdanosti sistema i njegovih elemenata, ali su vrlo korisne baze podataka o prethodnim postupcima održavanja, o tome zašto su i kada određeni postupci sprovedeni i kakav je bio njihov efekat. Drugim rečima, i upravljanje održavanjem po metodi TPM takođe se zasniva na kriterijumima pouzdanosti i raspoloživosti, uz analizu troškova kao bitnog ograničenja, ali odluke o održavanju mogu da se donose i bez detaljnog poznavanja zakona pouzdanosti.

Na slici 1 je, radi boljeg uočavanja specifičnih obeležja ove dve osnovne metode, prikazano jedno sasvim pojednostavljeno upoređenje [3].

Pored metoda RCM i TPO u literaturi se pominju i neke druge, više ili manje slične, odnosno zasnovane na ovim osnovnim. Iz ovog okvira korisno je da se pomenu metode ROM i OCM.

*Metoda ROM* (Results Oriented Maintenance – Održavanja prema rezultatima rada ili OPRR) nedavno je predložena za određene, pretežno proizvodne sisteme. Suštinski predstavlja izvestan kompromis između metoda RCM i TPM. U ovom slučaju osnovne odluke o održavanju donose se na bazi podataka koji se dobijaju brižljivim statističkim praćenjem rezultata rada sistema, na primer tačnosti izrade delova ili kvaliteta izlaznog proizvoda, ali



Sl. 1 – Upoređenje metoda održavanja RCM i TPO

uz nastojanje da se pri tome, ukoliko su raspoložive, koriste i baze podataka o pouzdanosti i ranijim postupcima održavanja, makar bile i ograničenog obima i nedovoljne statističke signifikantnosti. Po nekim mišljenjima za većinu proizvodnih pogona metoda ROM je najpogodnija i najekonomičnija, pošto se postupci održavanja preduzimaju samo onda kada je to zaista nužno.

Metoda OCM (Operation Centered Maintenance – Održavanje prema radu ili OPR) slična je prethodnoj i, takođe, predstavlja određeni kompromis između metoda RCM i TPM. Bitna je razlika u odnosu na prethodne da je po metodi OCM za donošenje odluka o održavanju pored statističkih podataka o prethodnom radu sistema, posebno sa stanovišta re-

zultata radnih procesa, i raspoloživih podataka o zakonima pouzdanosti (obično ograničene statističke signifikantnosti), koriste i verbalni iskazi. Drugim rečima, metoda OCM, koja je kod nas predložena ali još uvek nedovoljno razvijena, uključuje i elemente fazi logike [3]. To se iskazuje odgovarajućom obradom ocena ili zapažanja radnika o svim pojavama tokom procesa rada, i to svih radnika koji učestvuju u ovom procesu. Šematski prikaz metode „Održavanje prema radu“ dat je na slici 2 [3].

### Rizik – novi kriterijum optimizacije

Kao što se iz kratkog prikaza metoda održavanja vidi, danas se u upravlja-





Sl. 2 – Šematski prikaz metode održavanja OCM

nju održavanjem osnovna pažnja usmerava na obezbeđenje zahtevane pouzdanosti i raspoloživosti, a tek zatim i na posledice ovih neželjenih događaja. Pokazalo se, međutim, da je znatno bolje da se oba ova činioca, odnosno verovatnoće pojave neželjenih događaja i posledice ovih događaja posmatraju istovremeno. To znači da upravljanje održavanjem treba vršiti na bazi rizika, koji objedinjuje obe suštinski bitne karakteristike. Rizik se, naime, definiše kao proizvod verovatnoće nastanka neželjenog događaja i posledica ovog događaja [4, 5, 6]:

$$\text{rizik} = \text{verovatnoća} \times \text{posledice}$$

Treba napomenuti da ovako definisan pojam, odnosno koncept rizika, sa teorijskog, odnosno matematičkog stanovišta izaziva izvesna podozrenja i nerazumevanja, a usvojeni načini kvantifikacije rizika mogu da zbune ne samo laike već i stručne ljude [4]. Osnovna zamerka, tj. glavni razlog nerazumevanja je u činjenici da se rizik prema ovom konceptu izražava kao proizvod dve komponente; jedne koja je realna (posledice) i druge koja je imaginarna, odnosno koju je čovek definisao i nazvao verovatnoća [4]. Međutim, i pored ovih svakako nespornih za-

merki, opšte je prihvaćeno da je ovako iskazan koncept rizika dobar i da omogućava upravljanje rizikom na efikasan i svrsishodan način.

Nesporno je da je rizik nešto čime se suočavamo iz dana u dan. Svesno ili nesvesno ljudi stalno donose odluke zasnovane na riziku, pa se analizama rizika poklanja sve više pažnje u svim oblastima života. Tvrdi se da su se metode analize rizika nametnule kao efikasni i sveobuhvatni postupci koji dopunjuju ili zamenjuju upravljačke metode u skoro svim sektorima – u zdravstvenoj zaštiti, zaštiti okoline, osiguranju, upravljanju vodenim i energetskim resursima, transportu, itd. [4]. Rizik je postao ekonomski, javni i politički problem. Na neki način, rizik ima svoju tržišnu vrednost, svoje tržište, kupce i prodavce. Oni koji investiraju u smanjenje rizika očekuju ekonomski merljive koristi. To znači da je važnije da se rizik identifikuje i da se njime na pravi način upravlja, nego da se insistira na smanjenju ili eliminaciji rizika *po svaku cenu*. To je nova filozofija upravljanja složenim sistemima, tzv. *Upravljanje prema riziku* ili *Risk Based Management* [7].

Logično je da se koncept rizika primeni i u upravljanju održavanjem tehničkih sistema. Pri tome se podrazumeva da se kao posledice pojave otkaza, ili drugih poremećaja posmatranog tehničkog sistema, moraju posmatrati ne samo troškovi prekida rada, opravke, poslovnog ugleda i sl., već i drugi važni faktori, kao što su zaštita zdravlja i života ljudi, uticaji na zagađenje okoline, zemljišta, vode i vazduha, i drugi.

Metode održavanja na bazi rizika nisu zamena za opisane metode, već suštinski predstavljaju njihovu važnu i korisnu

dopunu. Osim toga, upravljanje održavanjem na bazi rizika usmerava se, pre svega, na preventivno održavanje prema stanju, i to posebno na obavljanje tehničkih pregleda posmatranog sistema, odnosno na donošenje odluka šta, gde, kako i kada treba pregledati. Zato se metode održavanja na bazi rizika često zovu i metode *tehničkih pregleda na bazi rizika*.

Sušтина metoda održavanja, odnosno tehničkih pregleda na bazi rizika, može najbolje da se objasni na primeru. Ukoliko se na osnovu izučavanja pouzdanosti utvrdi da jedna komponenta ima nisku pouzdanost, metodom održavanja prema pouzdanosti (RCM) definiše se tehnički pregledi i/ili preventivne zamene te komponente u određenim intervalima. To će izazvati određene troškove održavanja. Ukoliko su, međutim, posledice otkaza te komponente veoma male, ukoliko se opravka može izvršiti brzo, lako i bez velikih troškova, i ukoliko se ovim otkazom ne izazivaju značajni negativni efekti na rad sistema, tj. ukoliko je rizik pojave tog događaja sasvim mali ili zanemarljiv, u programu tehničkih pregleda na bazi rizika ova komponenta će biti zanemarena. Drugim rečima, usvojiće se da se ovi otkazi rešavaju korektivnim održavanjem. Tako će se ostvariti i zadovoljavajuća raspoloživost, a troškovi održavanja biće manji.

### **Metode upravljanja održavanjem na bazi rizika**

Poslednjih godina intenzivno se radi na razvoju metoda upravljanjem održavanja na bazi rizika. Neke od metoda održavanja na bazi rizika već su dovoljno

razvijene da bi mogle da se primenjuju, a veći broj nalazi se u fazi razvoja, odnosno projekta.

*Metoda RBI* (Risk-Based Inspection – Tehnički pregledi na bazi rizika) jedna je od prvih, najviše citiranih i korišćenih metoda održavanja na bazi rizika. Metoda RBI razvijena je u Američkom institutu za naftu (American petroleum institute – API) i definisana je standardom API 581 [5]. Osnovni cilj i zadatak ove metode jeste da se definišu odgovarajući programi tehničkih pregleda za posmatrani tehnički sistem, tako da se na bazi detaljnih analiza:

- identifikuju, ocene i rangiraju svi rizici sa stanovišta prekida radnog procesa, bezbednosti i sigurnosti radnika, uticaja na zdravlje i živote ljudi i uticaja na bližu i daljnju okolinu;

- odrede mere koje treba da se preduzmu da bi se značajni rizici smanjili, odnosno da bi se smanjila verovatnoća i/ili posledice tih događaja, i to sa troškovima koji se mogu prihvatiti.

To govori da rad po metodi RBI obuhvata najpre detaljnu analizu svih mogućih otkaza, a posebno onih koji se manifestuju postepenim slabljenjem ugrađenih elemenata (zamor, korozija, habanje i slično). Drugim rečima, tehničkim pregledima ne može da se utiče na rizik pojave otkaza koji su izazvani nekim spoljnjim, vanrednim uticajima (požar, preopterećenje, dinamički udar, i sl.) ili koji su rezultat pogrešne konstrukcije, neispravnosti kontrolnih instrumenata, greške čoveka, itd.

Pošto se procene nivoi ili odrede vrednosti rizika za sve kritične događaje i elemente sistema koji se posmatra, važan deo metode RBI predstavlja njihovo

rangiranje, odnosno tzv. „prosejavanje“ ili „screening“. Suština je u tome da rizik posmatranog sistema zavisi od rizika pojave neželjenih događaja na pojedinim elementima ili delovima sistema. Osim toga, ne mora svaki otkaz postrojenja da izazove krupne i ozbiljne posledice po sigurnost, ekonomiju ili okolinu. Ako neki otkazi imaju potencijalno ozbiljne posledice, ali ukoliko je verovatnoća njihove pojave mala, tada je i rizik mali, pa nije nužno da se odmah preduzimaju postupci održavanja ili druge hitne akcije. Nasuprot tome, ako je kombinacija verovatnoće i posledica dovoljno velika, tj. ako je rizik na nivou koji ne može da se toleriše, tada treba da se preduzmu akcije pomoću kojih će se ovakvi događaji unapred predvideti i sprečiti.

Po ovoj metodi cilj tehničkih pregleda na bazi rizika je merenje i upravljanje rizikom. Pri tome, napor koji se ulaže u program jednog tehničkog pregleda treba da se oblikuje tako da se omogući optimizacija odnosa između rizika i ulaganja u tehnički pregled. Metoda RBI nudi dva osnovna alata za postizanje ovog optimuma; kvalitativni i kvantitativni, kao i razna međurešenja, polukvalitativne i polukvantitativne alate.

Osnovna razlika između kvalitativnih i kvantitativnih prilaza ogleda se u nivou rezolucije. Kvalitativni postupak traži manje detaljne informacije o postrojenju i, kao rezultat toga, manje su mogućnosti za uočavanje razlika između pojedinih komponenata, tj. za ocenu njihove kritičnosti. Radi toga se ova tehnika normalno koristi za rangiranje složenih komponenata ili većih delova sistema, kako bi se na toj osnovi omogućile dalje – kvantitativne analize na nižim nivoima.

Kvantitativnom RBI analizom treba da se odrede rizici za svaki važan ili kritičan deo sistema.

Kvantitativna analiza obuhvata niz proračuna, pomoću kojih se ocenjuje verovatnoća i posledice svakog pojedinačnog važnog otkaza, odnosno odgovarajući rizik. Za to se koriste i svi drugi raspoloživi podaci, na primer baze podataka o pouzdanosti sastavnih elemenata koje se koriste u metodi upravljanja održavanjem na bazi pouzdanosti RCM. Ima i tendencija da se metoda RCM poveže sa programom RBI, što bi trebalo da dâ kao rezultat jedan integrisani program za ocene verovatnoća pojave otkaza i rizika, a time za smanjivanje vremena u otkazu elemenata i sistema u celini.

U više priloga standarda API 581 prikazana su sva potrebna uputstva, upitnici, tablice i objašnjenja za praktičnu primenu i kvalitativnih i kvantitativnih prilaza metoda RBI. To pretpostavlja i postojanje snažnog softvera, bez čije podrške primena metoda RBI nije moguća.

*Metoda RBLM (Risk-Based Life Management – Upravljanje vekom na bazi rizika)*, koja je razvijena na Institutu MPA Univerziteta u Štutgartu [6], suštinski predstavlja jednu praktičniju verziju metoda RBI. Ona je neposredno usmerena na upravljanje vekom trajanja kritičnih komponenata složenih sistema. I ova metoda ima za cilj definisanje optimalnih programa tehničkih pregleda, orijentacijom na kritične elemente najvišeg rizika. I u ovom slučaju se analiziraju rizici za sve komponente sistema, pa se rangiranjem, odnosno „screeningom“ određuju kritične komponente na koje treba da se obrati najveća pažnja.

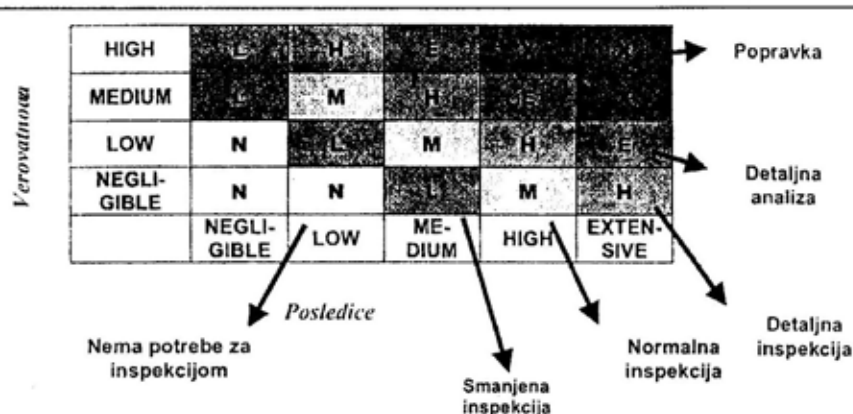
U praktičnoj primeni metoda RBLM se svodi na određivanje rizika za svaku važnu, odnosno kritičnu komponentu sistema, što se realizuje tzv. D-modelom, ili RCLM postupkom (Risk-informed Component Life Management). Uz pomoć snažnog računarskog programa ALIAS (Advanced modular intelligent Life Assessment Software System)  $\Delta$ -model daje podatke koji imaju praktično upotrebljivu vrednost.

*Projekat RIMAP* (Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures – Postupci tehničkih pregleda i održavanja na bazi rizika) predstavlja narednu fazu u razvoju metoda upravljanjem održavanjem na bazi rizika, odnosno novi projekat koji se realizuje u okviru Evropske zajednice [7]. Ovaj projekat se u velikoj meri zasniva na metodama RBI, odnosno RBLM, ali je značajno da se u samom nazivu projekta eksplicitno ukazuje na to da ova metoda definiše ne samo postupke tehničkih pregleda na bazi rizika već i druge postupke održavanja koji se na ovoj osnovi preduzimaju (zamene delova, popravke, rekonstrukcije ili poboljšanja). Cilj projekta je da se razviju smernice za donošenje odluka na bazi rizika za tehničke preglede i održavanje, koje treba da budu osnova za evropski standard u ovoj oblasti. Pri tome se ima u vidu da između SAD i Evrope u vezi sa primenom metoda odlučivanja na bazi rizika, postoje značajne razlike. Pored ostalog, u SAD na ovim pitanjima radi više jakih organizacija, dok u Evropi ovakvih inicijativa još nema. Većina inicijativa u SAD motivisana je profitom, dok se u Evropi na ova pitanja gleda, pre svega, sa stanovišta uvođenja odgo-

varajuće pravne ili normativne regulative [8].

Na projektu RIMAP radi konzorcijum od preko 30 firmi, koje predstavljaju važan deo evropske industrije. Među njima su Det Norske Veritas, Bureau Veritas, MPA Štuttgart, TUV Suddeutschland, TNO Holland, Siemens AG, Exxonmobil Chemical, The Dow Chemical, Bay Zoltan Foundation Hungary, Electricite de France, MIT GmbH, Total Fina Elf i drugi. Pored toga, projekat RIMAP podržava Evropska komisija preko svoje Generalne direkcije za zajedničke razvojne programe (EC JRC – European Commission Joint Research Centre) i neke druge međunarodne organizacije. Od nedavno na projektu saraduje, kao posmatrač, i kompanija Dunav PREVING iz Beograda.

U metodi održavanja na bazi rizika, koja se razvija u okviru projekta RIMAP, za analizu rizika primenjuju se isti postupci kao i u metodama RBI i RBLM. Za kvalitativne analize vrši se rangiranje, odnosno „screening“ rizika sa stanovišta nivoa verovatnoća i nivoa posledica. Za to se mogu koristiti matrice rizika, kako je objašnjeno na slici 3, za 4 nivoa verovatnoća i 5 nivoa posledica. Na ovoj slici sa N je označen rizik koji ne traži posebne programe tehničkih pregleda, L označava potrebu pregleda manjeg, a M srednjeg ili normalnog obima. H su rizici koji traže detaljne programe tehničkih pregleda, a E rizici koji treba da se, pored pregleda, i detaljno analiziraju (proračuni, ispitivanja). Nivo rizika označen sa X je neprihvatljiv i traži preduzimanje radikalnih mera, rekonstrukciju, pa i promenu koncepta primenjenih rešenja.



Sl. 3 – Matrica rizika

Na projekat RIMAP direktno se nastavlja i projekat PREVING, koji se razvija u kompaniji Dunav PREVING u saradnji sa firmom STC R-Tech iz Nemačke [9]. Cilj ovog projekta je razvoj metode PREVING, koja treba da bude usmerena na poboljšanje postupaka procene rizika koji se danas koriste u osiguranju. Zato je projekat PREVING, pored povezanosti sa projektom RIMAP, zasnovan i na višegodišnjem iskustvu ove kompanije u proceni šteta i rizika u industriji, transportu i skladištenju [10].

Projekat MACRO je, takođe, usmeren na razvoj novih i unapređenih metoda održavanja tehničkih sistema. Ovaj projekat pokrenut je 1999. godine u okviru programa EUREKA, poznatog globalnog projekta Evropske unije. Za naziv projekta usvojena je skraćenica MACRO, što odgovara njegovom punom nazivu (Maintenance-Cost-Risk-Optimization – Optimizacija održavanja sa stanovišta troškova i rizika) [11]. Iz ovog naziva vidi se da je cilj projekta razvoj sofisticiranih metoda održavanja, pomoću kojih će se iz sistema održavanja izbaciti „nagađanje“ šta i kada treba da se radi, tj. pomoću koga će se odlučiva-

nje o održavanju zasnivati na objektivnim kriterijumima, tako da se uz što manje troškove obezbede i što manji rizici pojave štetnih događaja i njihovih posledica.

Projekat MACRO je koncipiran kao opšti projekat za sve vrste tehničkih sistema, za sve proizvođače i korisnike. Planiran je sa sredstvima od preko 2 miliona dolara, a u njegovoj realizaciji učestvuje veliki broj kompanija iz svih zemalja Evropske unije. U informacijama o radu na ovom projektu navodi se da su već u prvim godinama ostvareni veoma dobri rezultati u mnogim kompanijama. U jednoj od vodećih kompanija železničkog saobraćaja u Velikoj Britaniji firmi RAILTRACK, na primer, primenom metoda koje se razvijaju u okviru projekta MACRO već u prvim godinama znatno su smanjeni troškovi održavanja, uz povećanje sigurnosti i bezbednosti.

## Zaključak

Visoki zahtevi u pogledu upotreb-nog kvaliteta i ekonomičnosti složenih tehničkih sistema nameću potrebu stal-

nog usavršavanja nauke o održavanju tehničkih sistema i odgovarajućih metoda inženjerstva održavanja. U ovom okviru posebno su značajne nove metode održavanja zasnovane na riziku, koje čine deo ukupne filozofije *Upravljanja na bazi rizika*, odnosno *Risk-based management*, koja danas prevladuje u opštoj inženjerskoj i poslovnoj praksi. U radu se ukazuje na najvažnije dosadašnje aktivnosti u ovom pravcu u svetu, posebno na metode koje uskoro treba da se formulišu u vidu evropskih standarda.

*Literatura:*

[1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993.

- [2] Reliability Centered Maintenance, IEC Draft 56 (Sec.) 317, 1990.
- [3] Todorović, J.: Održavanje tehničkih sistema – nauka ili veština, Zbornik Simpozijuma SIMOPIS – 94, Kotor, 1994.
- [4] Haimes, Y.: Risk Modelling, Assessment and Management, John Wiley and Sons, New York, 1998.
- [5] Base Resource Documentation – Risk-Based Inspection, API Publication 581, 1998.
- [6] Risk-Based Life Management (RBLM) of critical components in power and process plants, MPA, Stuttgart.
- [7] Jovanović, A.; Auerkari, P.: Practical determination of probability of failure (PoF) and corresponding risks in RIMAP project, Zbornik 10. savetovanja PREViNG, Beograd, 2002.
- [8] Bareiss, J. M.: Results and experience from use of risk based methods in maintenance of power plants, Zbornik 10. savetovanja PREViNG, Beograd, 2002.
- [9] Vujović, R.; Jovanović, A.; Todorović, J.: Unapređenje metoda upravljanja rizikom u industrijskim postrojenjima, Zbornik 10. savetovanja PREViNG, Beograd, 2002.
- [10] Vujović, R.; Todorović, J.; Stanković, M.: Upravljanje rizikom i osiguranje u industriji, transportu i skladištenju, Zbornik 9. savetovanja PREViNG, Beograd, 2001.
- [11] Savings that couldn't be guessed at Professional engineering, London, No. 24, May, 2000.

**Dr Vasilije Mišković,**  
pukovnik, dipl. inž.

**Vladimir Bukvić,**  
major, dipl. inž.

**Dr Petar Stanojević,**  
major, dipl. inž.

Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## **KVANTIFIKACIJA I OBLIK UTICAJA SNABDEVENOSTI REZERVNIM DELOVIMA NA ISPRAVNOST TEHNIČKIH SISTEMA**

UDC: 62-7.001.26 : 519.874

### *Rezime:*

*U ovom radu obrađuje se problem određivanja uticaja snabdevenosti rezervnim delovima pojedinih nivoa snabdevanja u višenivojskom sistemu, na ispravnost tehničkih sredstava. U ovom slučaju smatra se da je i sistem održavanja višenivojski. Da bi se ovaj uticaj u nekoj meri mogao kvantifikovati, nužno je bilo konkretizovati sistem. Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava sagledava se u odnosu na strukturu sistema, informacioni sistem i pojedine nivoe. Rezultati su, zbog obimnosti, prikazani samo kao ilustracija.*

*Ključne reči: rezervni deo, višenivojski sistem, snabdevenost.*

---

## **QUANTIFICATION AND THE SPARE PARTS SUPPLY INFLUENCE ON THE CORRECTNESS OF TECHNICAL SYSTEMS**

### *Summary:*

*This paper analyses how spare parts supply at particular levels of supply in a multilevel system affects the correctness of technical systems. In this case, the system of maintenance is also considered to be multilevel. In order to quantify this influence to a certain extent, it was necessary to specify the system. The effects of spare parts supply on the correctness of technical systems are considered with respect to the system structure, the information system and the particular levels. The results, being very detailed, are given here only as illustrations.*

*Key words: spare part, multilevel system, supply.*

---

### **Uvod**

Na ispravnost tehničkih sistema veliki uticaj ima snabdevenost rezervnim delovima. S jedne strane, teži se da se zalihe rezervnih delova povećavaju zbog podizanja nivoa ispravnosti tehničkih sredstava, a s druge strane da se zalihe rezervnih delova smanje zbog smanjenja troškova. Ovaj problem se komplikuje u

višenivojskim sistemima održavanja, gde se zahvati održavanja raspodeljuju po nivoima, a u okviru jednog nivoa održavanja se distribuira u prostoru. Distribucija zahvata održavanja, po nivoima i u prostoru, nužno zahteva distribuciju i rezervnih delova po nivoima i u prostoru, s tim da distribucija rezervnih delova ne mora nužno da prati distribuciju zahvata održavanja.

Problem raspodele rezervnih delova po nivoima, po asortimanu i količini, najčešće se rešava po tehnološkim zahvatima održavanja koji se sprovode po pojedinim nivoima, intenzitetu potražnje pojedinih rezervnih delova, a u odnosu na kriterijum troškova. Razvojem i primenom raznih metoda i modela upravljanja zalihama teži se optimizaciji nivoa zalihama, uglavnom sa stanovišta troškova.

Međutim, u nekim sistemima kriterijum troškova nije dominantan, što ne znači da nije vrlo značajan, već je dominantniji kriterijum ispravnosti tehničkih sistema. To se posebno odnosi na vojne sisteme, kod kojih se intenzitet eksploatacije tehničkih sredstava znatno menja u vremenu, a samim tim i intenzitet otkaza (važi za sve sisteme kod kojih je trošak zastoja mnogo veći od troškova opravke). Intenzitet otkaza se u toku izvođenja borbenih dejstava višestruko povećava, a pooštava se i zahtev za brzim vraćanjem tehničkih sredstava u ispravno stanje i u jedinicu. U takvim sistemima postavlja se dominantan zahtev brzog vraćanja tehničkih sredstava u eksploataciju u periodu intenzivne eksploatacije, odnosno izvođenja borbenih dejstava. Značaj brzog vraćanja tehničkih sredstava u ispravno stanje i u jedinicu sastoji se u tome da jedinica u tom slučaju stalno raspolaze većim brojem ispravnih tehničkih sredstava koja može da upotrebi.

Različiti nivoi održavanja namenjeni su za vraćanje tehničkih sredstava sa različitom težinom otkaza ili oštećenja u eksploataciju. Obim i trajanje radova koji se izvršavaju na pojedinim nivoima zavise od različitih faktora, a samim tim i vreme vraćanja sredstava u eksploataciju (vreme od momenta nastanka otkaza do momenta vraćanja ispravnog tehničkog sredstva u je-

dinicu). Na vreme vraćanja tehničkog sredstva u eksploataciju utiče jedan od bitnih faktora – snabdevenost rezervnim delovima, koji je značajan kada se posmatra ceo sistem snabdevanja rezervnim delovima i sistem održavanja, ali i svaki nivo snabdevanja posebno, jer nije isti uticaj na svakom nivou (bar kada se posmatra vreme izvođenja borbenih dejstava).

Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima kompletnog sistema i svakog nivoa posebno menja se (na makro planu) u zavisnosti od organizacione strukture i informacionog sistema. Promena zavisnosti može da se ogleda u promeni relativnog odnosa uticaja ili u promeni apsolutnog iznosa ispravnosti tehničkih sredstava. Poznavanje ovih uticaja omogućava da se takva zakonitost koristi, kako pri operativnom upravljanju sistemom snabdevanja rezervnim delovima, tako i pri projektovanju i reprojektovanju samog sistema snabdevanja rezervnim delovima, ali i sistema održavanja.

### **Predmet razmatranja**

Procesi koji se odvijaju u višenivojskim sistemima održavanja i snabdevanja rezervnim delovima izuzetno su složeni, kao i međusobni uticaji elemenata sistema, nivoa, itd. Ti uticaji mogu biti posredni i neposredni. Do posrednog uticaja dolazi, na primer, kada viši nivo snabdevanja, potpunom nižeg nivoa snabdevanja rezervnim delovima, posredno utiče na ispravnost tehničkih sredstava, a do neposrednog uticaja kada potpunost (snabdevenost) određenog nivoa snabdevanja rezervnim delovima (bez obzira na to da li je ta potpunost postignuta potpunom sa višeg nivoa, nabavkom od pro-



izvođača, trgovinske mreže, itd.) utiče na ispravnost tehničkih sredstava.

U ovom radu razmatra se samo neposredni uticaj, odnosno uticaj potpunosti (snabdevenosti) određenog nivoa snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava. Taj uticaj se menja u zavisnosti od organizacione strukture samog sistema i kvaliteta informacionog sistema, kao osnovnih relevantnih faktora. Pod kvalitetom informacionog sistema podrazumeva se mogućnost zaturanja i gubljenja informacija.

Predmet razmatranja ovog rada je upravo analiza<sup>1</sup> uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava, u odnosu na nivo snabdevanja, kvalitet informacionog sistema i organizacionu strukturu sistema. Analiza ovog uticaja i određivanje zavisnosti veoma su kompleksni. Ova analiza obuhvata i određivanje zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima pri uticaju različitih faktora od snabdevenosti celokupnog sistema snabdevanja rezervnim delovima, učešće snabdevenosti pojedinih nivoa u celokupnom uticaju, posmatranje neposrednog i posrednog uticaja, itd. Pored toga, veoma je značajno koji se period posmatra – da li period izvođenja borbenih dejstava, period pre njihovog početka ili period nakon njih, da li se radi o ratu, kriznoj situaciji ili miru, itd. Preciznije rečeno, predmet ovog rada je prikaz *načina* kako da se dobije uticaj snabde-

venosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava u periodu izvođenja borbenih dejstava, a prikaz rezultata je ilustrativan. To znači da opisani postupak može da se primeni za period izvođenja borbenih dejstava, period pre početka borbenih dejstava, period nakon borbenih dejstava, za stanje rata, krizne situacije ili stanje mira, a primer koji je prikazan odnosi se na period izvođenja borbenih dejstava.

### Relevantni faktori

Faktori koji utiču na opisanu problematiku su mnogobrojni, a samim tim i sa različitim oblikom i mehanizmom uticaja i različitom značajnošću uticaja na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima u borbenim dejstvima. U ovom radu prikazani su neki od tih faktora, a za prikaz analize u obzir su uzeta samo dva faktora – organizaciona struktura i informacioni sistem.

Veliki sistemi su, svaki na svoj način, specifični po svojoj osnovnoj ili osnovnim delatnostima, ali i po okruženju u kojem se nalaze. Međutim, moguće je preko relevantnih faktora i pokazatelja uspešnosti, ali i zajedničkih karakteristika velikih sistema, izdvojiti i sagledati neke zakonitosti u funkcionisanju velikih sistema. U ovom radu govori se o velikim sistemima uopšte, ali se prvenstveno sagledavaju vojni sistemi.

Faktori koji utiču na sistem održavanja (SOd) razmatraju se preko uspostavljanja i analize zavisnosti sa određenim pokazateljima uspešnosti funkcionisanja SOd. Određivanje zavisnosti pokazatelja uspešnosti funkcionisanja (ispravnost tehničkih sredstava) od razmatranih relevant-

<sup>1</sup> U radu ovakvog tipa ne može biti predstavljena kompletna analiza, odnosno ne mogu se predstaviti uticaji sagledani sa svih aspekata. Analiza obuhvata kvalitativne odnose, ali i kvantifikaciju, što traži mnogo više prostora. Radi toga predstavljani su samo neki uticaji, odnosno zavisnosti, koji su analizirani na najopštijem nivou. U ovom radu više je predstavljena metodologija, odnosno način kako utvrditi zavisnost, nego konačni rezultati koji se mogu dobiti na taj način kompletnom analizom.

nih faktora treba da omogući sagledavanje oblika promene pokazatelja uspešnosti funkcionisanja u širokom rasponu ulaznih veličina tih faktora, kako bi se mogle utvrditi određene opšte tendencije.

Određivanje uticaja promene relevantnih ulaznih veličina na izlazne rezultate funkcionisanja, odnosno na pokazatelje uspešnosti razmatranog sistema, ima teorijski i praktični značaj. Teorijski značaj ogleda se u kvantifikaciji uticaja pojedinih faktora – promenljivih, utvrđivanju njihove značajnosti, pravca delovanja i oblika i karakteristika međuzavisnosti sa pokazateljima uspešnosti. Praktični značaj ogleda se u poznavanju spektra postojećih rešenja, radi eventualne primene na sopstveni sistem.

Efekti relevantnih faktora treba da budu određeni na osnovu unapred zadatog sistema kriterijuma koji određuju maksimalno mogući opšti model ocenjivanja, kako bi se postigla što veća opštost. Na taj način postiže se i invarijantnost opšteg skupa pokazatelja, što ukazuje na to da SOd, i pored razlika, mogu koristiti, u osnovi, iste opšte pokazatelje uspešnosti funkcionisanja – ostvarivanja postavljenog cilja, koji bi se mogli svesti na:

- raspoloživost (uključuje pouzdanost, pogodnost održavanja, logističku i administrativno-organizacionu problematiku);

- pokazatelje realizacije akcija održavanja (uključujući i realizaciju izraženu u norma-časovima);

- troškove.

Sistem održavanja predstavlja kompleks brojnih funkcija, procesa i delatnosti, a njegovo funkcionisanje zavisi od stanja i uticaja različitih faktora, kako iz samog sistema, tako i iz okruženja. Raz-

ličiti faktori iz okruženja, sredine u kojoj se izvodi održavanje i SOd, ispoljavaju veći ili manji uticaj na sve mere i aktivnosti koje se preduzimaju u SOd u faza organizovanja, planiranja i realizacije. SOd i njegovo funkcionisanje zavisi od uvažavanja ovih uticaja, jer je potrebno naći adekvatna rešenja za date ili nametnute uslove.

Tehnička sredstva verovatno su najznačajniji faktor, jer su ona objekat održavanja. U jednom istom sistemu pojavljuju se različita tehnička sredstva po vrstama, tehnološkom nivou proizvodnje, starosti, tehničkom stanju, itd. Savremena sredstva sa već ugrađenim dijagnostičkim uređajima za praćenje stanja, pa čak i za neka samopodešavanja i slično, zahtevaju sasvim drugi pristup održavanju od tehničkih sredstava starijih generacija. Međutim, sva tehnička sredstva moraju se održavati<sup>2</sup> uz odgovarajuće troškove, što nužno unosi višedimenzionalnost i u tehnologiju i organizaciju održavanja.

Organizacione celine, kao elemente strukture šireg sistema kome pripada i sistem održavanja, i čija tehnička sredstva treba da se održavaju, uglavnom su tehnološki zaokružene celine u okviru osnovne delatnosti šireg sistema. Održavanje u organizacionim celinama podrazumeva da se obezbedi da tehnološki zaokruženi procesi mogu nesmetano da se odvijaju. Međutim, zbog raznorodnosti tehničkih sredstava i često razuđenog prostornog raspo-

<sup>2</sup> Realni sistemi su daleko od idealnih, teoretski zamišljenih, ali se moraju održavati odmah. Mnogo je bolje ako na osnovu „snimanja stvarnog stanja orijentisanog ka efikasnosti pokušavamo da pronademo koliko su delotvorne momentalne metode održavanja i kako bismo njihovim promenama snizili troškove“, – Grothus H, jedan od najvećih teoretičara i praktičara iz oblasti inženjerstva održavanja [4].

reda, održavanje u ovakvim celinama može da bude složen problem.<sup>3</sup>

Faktori koji proizilaze iz sistema održavanja su: usavršavanje – razvoj SOd, koncepcija, tehnologija, organizacija, ljudski faktor i informacioni sistem.

Usavršavanje – razvoj SOd neophodno je za njihov opstanak, jer u protivnom poprimaju karakteristike zatvorenih sistema u kojima raste entropija, pa sistem kreće ka dezorganizaciji i stanju haosa. Dinamiku i osnovne pravce usavršavanja – razvoja diktiraju, pre svega, mera uspešnosti SOd u odnosu na postavljene kriterijume, a zatim i SOd koji se nalaze na višem nivou unutrašnje organizovanosti i tehničko-tehnološkog nivoa, poremećaji u traženju usluga i izmenjeni zahtevi kupaca – korisnika usluga. Usavršavanje i razvoj SOd može biti u oblastima koncepcije – strategije, tehnologije, organizacije i organizacijske kulture (načina ponašanja – attitud), u jednoj od njih ili u njihovoj kombinaciji.

Da bi se omogućilo stalno ocenjivanje i efikasno upravljanje organizacionim i tehničkim sistemima, a posebno preduzimanje aktivnosti koje treba da poboljšaju rad sistema, sa stanovišta postavljene funkcije kriterijuma ili drugih zahteva, nužno je da se sva zbivanja u funkcionisanju sistema permanentno prate i da se o svim relevantnim događajima i postupcima stalno prikupljaju odgovarajući podaci. Radi toga je neophodno da postoji efikasan informacioni sistem, a posebno se teži automatizaciji informacionog sistema.

Informacija je osnov efikasnog odlučivanja, komandovanja i upravljanja

odnosno sve ono što deluje kroz ulaz u jedan organizacioni sistem ili njegov deo. Pri tome se komandovanje i upravljanje sistemom može smatrati procesom pretvaranja informacija u odluke, a odluka u određene akcije.

Bez informacionog sistema danas nije moguće zamisliti jedan efikasan organizacioni sistem čije se funkcionisanje zasniva na upravljanju sa tri osnovne komponente (naravno, uz čoveka kao organizatora procesa): materijom, energijom i informacijama.

Svako funkcionisanje praćeno je poremećajima različitih vrsta koji, u najvećoj meri, utiču na stabilnost parametara procesa i često izvode upravljani sistem izvan granica dozvoljenih odstupanja. Poremećaji imaju ishodište u okolini sistema i u samom sistemu. Izlazak ulaznih, procesnih i izlaznih parametara sistema izvan granica dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije cilja pod dejstvom poremećajnih veličina određuje potrebu upravljanja.

Informacioni sistem (IS) o radu i održavanju tehničkih sistema (TS) čini jedan od bitnih i možda najvažnijih elemenata ukupne logističke podrške. To jasno govori da se bez promišljene i ciljno projektovane informatičke podrške ne može upravljati TS, tako da se zadovolji postavljena funkcija cilja, a posebno se ne može obezbediti efektivno i kvalitetno održavanje.

U opštem slučaju, zadatak IS o radu i održavanju jeste da obezbedi:

– stalni uvid u stvarne performanse sistema koji se posmatra, u vidu informacija nužnih za upravljanje i planiranje procesa održavanja, uključujući i elemente logističke podrške;

<sup>3</sup> Ostali faktori iz užeg okruženja predstavljeni su u drugim radovima autora ovog članka.

– ukazivanje na potrebe i moguće mere poboljšanja, odnosno na korektivne aktivnosti i podešavanja, kako za delove sistema koji se već nalaze u radu ili koji tek treba da se uključe u posmatrani sistem, tako i za sve komponente i delove sistema održavanja;

– identifikaciju oblika, uzroka i mogućih mehanizama nastajanja otkaza, kao i definisanje metoda koje će obezbediti bolje osnove za analizu otkaza i preduzimanje mera koje će smanjiti verovatnoću njihove pojave;

– informisanje proizvođača posmatranog sistema o njihovim stvarnim performansama, odnosno definisanje zahteva za razvoj novih sistema iste vrste, za sledeće porudžbine i nabavke;

– ukazivanje na pravce daljeg razvoja informacionog sistema, primenjenih metoda i organizacije baza podataka, kako bi se ostvarilo sigurnije predviđanje budućih događaja, odnosno bolje upravljanje i planiranje rada posmatranih TS.

Informacije o radu i održavanju tehničkih sistema imaju zadatak da omoguće poboljšavanje ili usavršavanje procesa rada, tj. procesa održavanja, i to tako da se ostvare izlazne performanse postavljene funkcije cilja sistema. Kvalitet ili ispravnost odluka o sprovođenju korekcija ili podešavanja očigledno zavise od kvaliteta raspoloživih podataka i informacija. Pored relevantnosti ili značajnosti, što čini važan atribut svake informacije, bitne komponente kvaliteta informacije predstavljaju i tačnost, potpunost i pravovremenost, a ponekad i neka dodatna i specifična svojstva kao što su: cena, dostupnost, poverljivost, itd. Da bi informacija bila visoko kvalitetna, svi podaci moraju biti tačni, potpuni i značajni, a moraju biti i

pravovremeni, odnosno raspoloživi u trenutku kada se donosi odluka. Ovi važni zahtevi moraju se obezbediti projektom i realizacijom IS. Pri tome se podrazumeva da je način ili metod obrade podataka uskladen sa potrebama, tako da dobijena informacija neposredno ili posredno obezbeđuje valjanost i ispravnost odluka koje se na toj osnovi donose.

U nove tehnologije svrstavaju se (šire posmatrano, a koje imaju primenu u SOd): sistemi za automatizovano skladištenje i pronalaženje materijala (AS/RS); sistemi za automatizovano vođenje vozila (AGVS); korišćenje računarskih mreža u komunikaciji i prenosu podataka unutar i izvan poslovnog sistema; računarima podržano projektovanje (CAD), tehnička priprema (CAE), upravljanje proizvodnim mašinama (CAD/CAM), nabavka, planiranje materijala (MRP) i resursa, integrisanje proizvodnje (CIM), nadziranje i prikupljanje podataka o procesima (SCADA); primena veštačke inteligencije i/ili ekspertnih sistema; sistem totalne kontrole kvaliteta (TQM); sistem „Just in time“. Cilj njihove primene je u ubrzanju materijalnih i informacionih tokova, unapređenju kvaliteta i brzine odlučivanja i u povećanju pouzdanosti kvaliteta usluge. Rezultat njihove primene ogleda se u skraćanju zastoja zbog održavanja, smanjenju utroška različitih resursa (posebno kroz smanjenje zaliha r/d, transportne i druge opreme) i povećanju pouzdanosti TS.

U smislu trendova usavršavanja organizacije jasno je da će ključni element uspeha biti adekvatan mehanizam koordinacije, odnosno adekvatna organizaciona struktura, pravila i procedure, jer će ključni problemi biti posledice decentralizacije [5, 6, 7, 8].

Drugi element uspeha jeste usmerenost na korisnike usluga. Za SOD su posebno važni mehanizmi integracije sa osnovnom funkcijom sistema – korisnicima (radi poboljšanja u sferi planiranja, kvaliteta usluga održavanja<sup>4</sup> i smanjenja neplanskih zastoja) i sa institucijama koje se bave razvojem, proizvodnjom, modifikacijama i nabavkom TS. Potrebno je pronaći i adekvatne mehanizme integracije sa spoljnjim, specijalizovanim, uslužnim organizacijama održavanja, jer kao konstanta postoji opšta težnja ka prenošenju dela specifičnih poslova održavanja na spoljne saradnike [9].

Jedan od ključnih mehanizama prevazilaženja problema nastalih decentralizacijom i potrebom da se zadovolje specifični zahtevi okruženja, nalazi se u integraciji delova sistema prema procesima,<sup>5</sup> naravno uz eliminaciju gubitaka u njima, i stvaranju adekvatne funkcionalne organizacione strukture (danas su to matrična, projektna ili višelinijaska funkcionalna struktura). Ključni faktor bilo kakve integracije jeste adekvatan informacioni sistem. Sama primena savremene informacione tehnologije bez odgovarajuće reorganizacije neće omogućiti postizanje većih efekata na ukupnu uspešnost SOD, jer se time ne ostvaruju efekti na procesnu brzinu prenosa i obrade informacija [10]. To znači da će uspešnija biti ona organizaciona rešenja koja uz integraciju prema procesima omogućavaju povećavanje kvaliteta, pojednostavljenje i ubrzavanje materijalnih i informacionih

tokova u sistemu i između SOD i okoline. Takva rešenja posebno će uticati na izmenu informacionih tokova u SOD, koje će uticati na izmene tokova materijala, radne snage, novca i drugih. Posledice se ogledaju u skraćenju vremena zastoja zbog održavanja, većoj realizaciji radova održavanja i smanjenju veličine potrebnih resursa, odnosno smanjenju troškova.

Ovde su navedeni samo neki od relevantnih faktora, uz veoma kratak opis načina i mehanizama njihovog ukupnog uticaja. Međutim, pored načina i mehanizama ukupnog uticaja faktora, bitna je i kvantifikacija tih uticaja, jer, u krajnjem, od veličine uticaja zavisi da li će se oni uopšte uzimati u obzir. Ilustracije radi, u ovom slučaju ukratko je prikazan uticaj organizacione strukture i informacionog sistema na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima.

### **Način kvantifikacije zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima**

Kvantifikovanje i određivanje oblika uticaja pojedinih faktora, kada su u pitanju borbena dejstva, uvek predstavlja problem. Razvoj ili izbor pristupa za kvantifikaciju i određivanje oblika uticaja pojedinih faktora zavisi od cilja i namene zbog čega se i radi kvantifikacija i određivanje oblika uticaja. Na primer, bitna razlika je u tome da li se radi o konkretnom slučaju ili se radi o utvrđivanju opštih oblika. U konkretnom slučaju postoji mnogo manje nepoznanica, pojedini faktori dobijaju svoje konkretne vrednosti, dok je u opštem slučaju, kada se praktično radi o utvrđivanju zakonitosti to znatno složenije. Razvoj ili izbor pristupa

<sup>4</sup> Vezano za koncept TQM, uvođenje sistema kvaliteta prema standardima ISO 9000, 10000, 14000, standardima o pouzdanosti ljudskog faktora, itd.

<sup>5</sup> Pod procesima se podrazumeva skup delatnosti od nastanka nekog zahteva–potrebe do njegovog punog zadovoljenja, uz orijentaciju prema korisniku i ukljanjanje svih „barijera“ funkcionisanja.

(odnosno načina, metodologije) u slučaju borbenih dejstava determinisan je ovim specifičnim oblikom funkcionisanja sistema. Ta specifičnost ogleđa se u neponovljivosti, ali i u tome da kada su borbena dejstva u pitanju pravog eksperimenta nema. Vežbama koje se organizuju postižu se uvežbavanja, provere i verifikacija određenih rešenja, ali one ipak predstavljaju samo jednu od mogućih realizacija. Snimanje podataka iz realnog sistema je značajno, ali prvenstveno na nivou tehnologije. Na nivou organizacije ipak se radi, u svakom konkretnom slučaju, o samo jednoj od mogućih realizacija.

Za sada se za rešavanje ovakvih problema najboljom pokazala metoda modelovanja i simulacije, koja omogućava kontrolisanje uslova i vrednosti relevantnih faktora, ali i potreban broj ponavljanja. Upravo zbog toga je, u ovom slučaju, metoda modelovanja i simulacije, uz primenu statističkih metoda i metode komparativne analize, izabrana za rešavanje ovog problema. Postupak rešavanja čine sledeći koraci:

1. Opis i analiza sistema održavanja.
2. Opis i analiza sistema snabdevanja rezervnim delovima.
3. Razvoj modela sistema održavanja i sistema snabdevanja rezervnim delovima.
4. Validizacija modela.
5. Gradnja procesnog modela (razvoj programa za računar).
6. Verifikacija modela.
7. Planiranje eksperimenata.
8. Izvođenje eksperimenata.
9. Statistička obrada podataka dobijenih eksperimentima.
10. Grafički prikaz zavisnosti.
11. Komparativna analiza.
12. Izvođenje zaključaka.
13. Primena.

U ovom radu su, ilustracije radi, prikazane samo neke od faza realizacije ovog načina dobijanja rezultata.

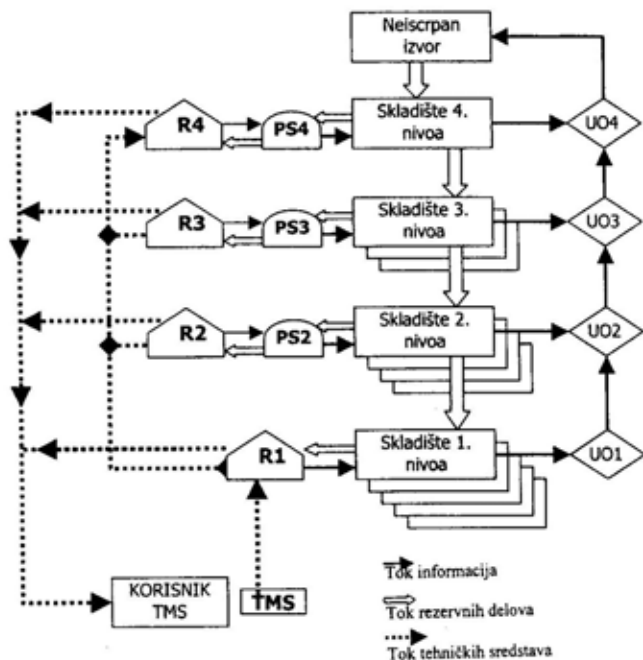
## Opis modela

Radi kvantifikovanja uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava razvijen je model sistema snabdevanja rezervnim delovima i sistema održavanja. Razmatran je četvoronivojski sistem održavanja i varijante četvoronivojskog i tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima. U tronivojskom sistemu rezerve trećeg i četvrtog nivoa se spajaju, a treći i četvrti nivo održavanja oslanjaju se na skladište četvrtog nivoa (prema slici 2). Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima prikazan je na slici 1 a model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima na slici 2.

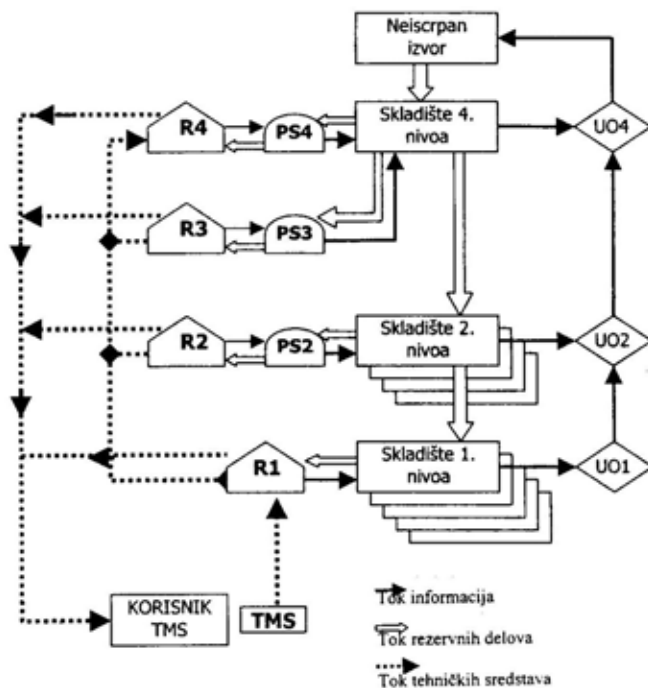
Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima i četvoronivojskog sistema održavanja sastoji se od 89 celina za održavanje i 78 skladišta rezervnih delova i ima isti broj upravnih organa distribuiranih po nivoima i u prostoru. Model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima i četvoronivojskog sistema održavanja ima manji broj skladišta rezervnih delova, zbog spajanja trećeg i četvrtog nivoa. Za dobijanje kvantitativnih pokazatelja korišćena je metoda simulacije.

## Eksperimenti na modelu

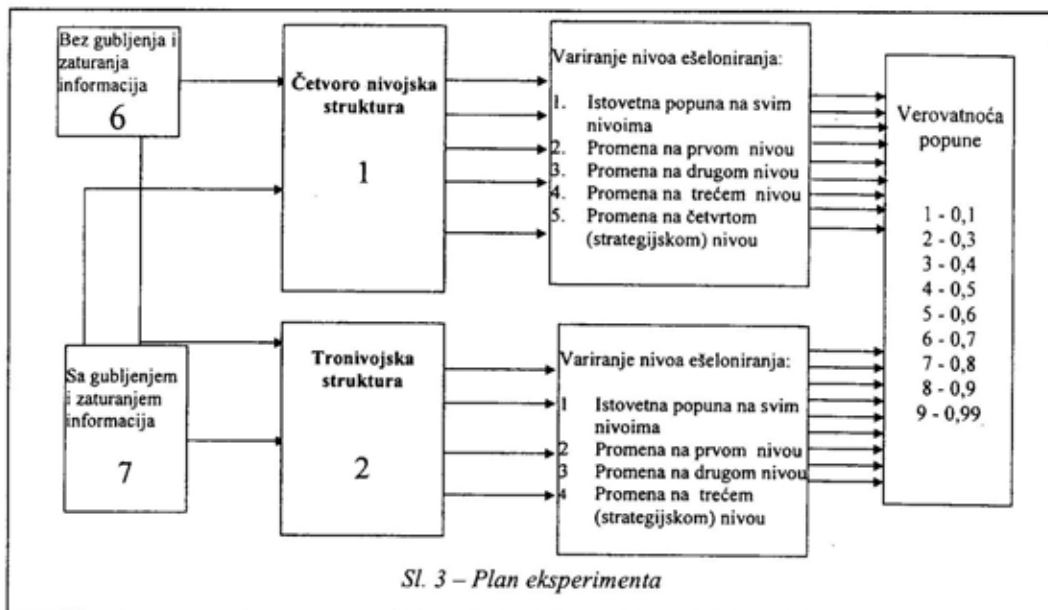
Eksperimenti na modelu organizovani su tako što je vršena simulacija za sve kombinacije varijanti:



Sl. 1 – Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima četvoronivojskog sistema održavanja:  
 R1, 2, 3, 4 – kapaciteti za održavanje;  
 PS – priručna skladišta;  
 UO – upravni organi



Sl. 2 – Model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima četvoronivojskog sistema održavanja:  
 R1, 2, 3, 4 – kapaciteti za održavanje;  
 PS – priručna skladišta;  
 UO – upravni organi



Sl. 3 - Plan eksperimenta

a) Informacioni sistem (u trocifrenoj šifri<sup>6</sup> na slikama u ANALIZI REZULTATA prvo mesto):

- bez zaturanja i gubljenja informacija (broj 6),
- sa zaturanjem i gubljenjem informacija (broj 7).

b) Organizaciona struktura (u trocifrenoj šifri na slikama u ANALIZI REZULTATA drugo mesto):

- četvoronivojska (broj 1),
- tronivojska (broj 2).

c) Nivoi ešeloniranja (u trocifrenoj šifri na slikama u ANALIZI REZULTATA treće mesto):

- svi nivoi odjednom (broj 1),
- svaki nivo posebno (za četvoronivojsku strukturu broj 2-5, za tronivojsku strukturu 2-4).

d) Variranje snabdevenosti sa verovatnoćama snabdevenosti 0,1; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 i 0,99.

<sup>6</sup> Svaka simulacija predstavlja jednu realizaciju u okviru eksperimenata. Da bi se mogle razlikovati pojedine realizacije, postavljen je šifarski sistem čiji je jedan deo ovde prikazan.

Eksperiment je organizovan tako što jedna realizacija eksperimenta predstavlja jednu simulaciju za ceo period izvođenja borbenih dejstava za jednu kombinaciju varijanti. Za nju je vršen potreban broj realizacija eksperimenta kako bi se dobio statistički značajan broj rezultata, a obradom rezultata dobijene su srednje vrednosti broja ispravnih tehničkih sredstava. Na primer, jedna varijanta je:

- informacioni sistem: bez zaturanja i gubljenja informacija (broj 6),
- organizaciona struktura: četvoronivojska (broj 1),
- nivoi ešeloniranja: drugi nivo snabdevanja (broj 3),
- snabdevenost drugog nivoa: verovatnoća snabdevenosti 0,4.

Šifra eksperimenta je 613-3

Za ovu kombinaciju ponavlja se potreban broj realizacija eksperimenta kako bi se dobio statistički značajan broj.

Za dobijanje zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti dru-



gog nivoa ponavlja se eksperiment 613 za vrednosti verovatnoće snabdevenosti 0,1 (613-1); 0,3 (613-2); 0,4 (613-3); 0,5 (613-4); 0,6 (613-5); 0,7 (613-6); 0,8 (613-7); 0,9 (613-8) i 0,99 (613-9). Ostale vrednosti se zadržavaju konstantnim.

Presek vremena u kojem je posmatrana ispravnost tehničkih sredstava je vreme prekida izvođenja borbenih dejstava. Posmatrani presek vremena odgovara samo ovom radu, a inače je u samom eksperimentu moguće praktično izabrati bilo koji, jedan ili više preseka vremena za posmatranje.

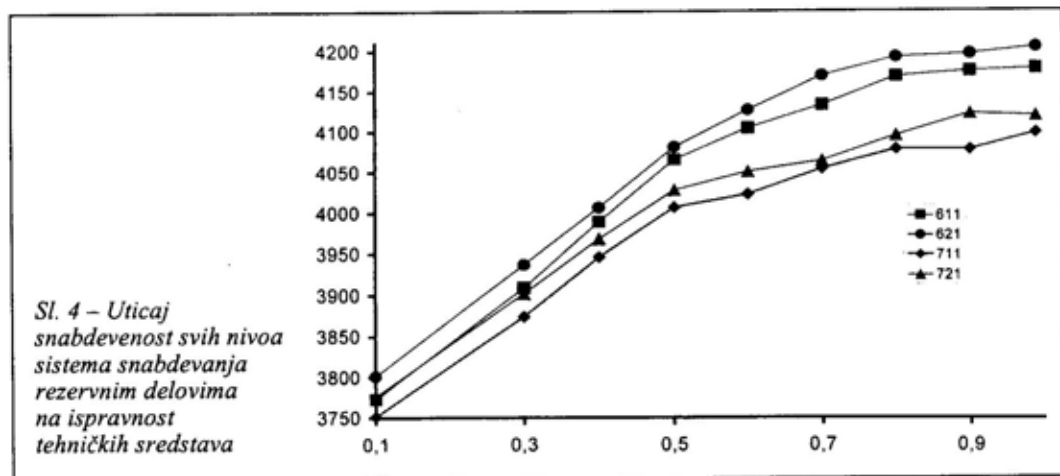
### Analiza rezultata

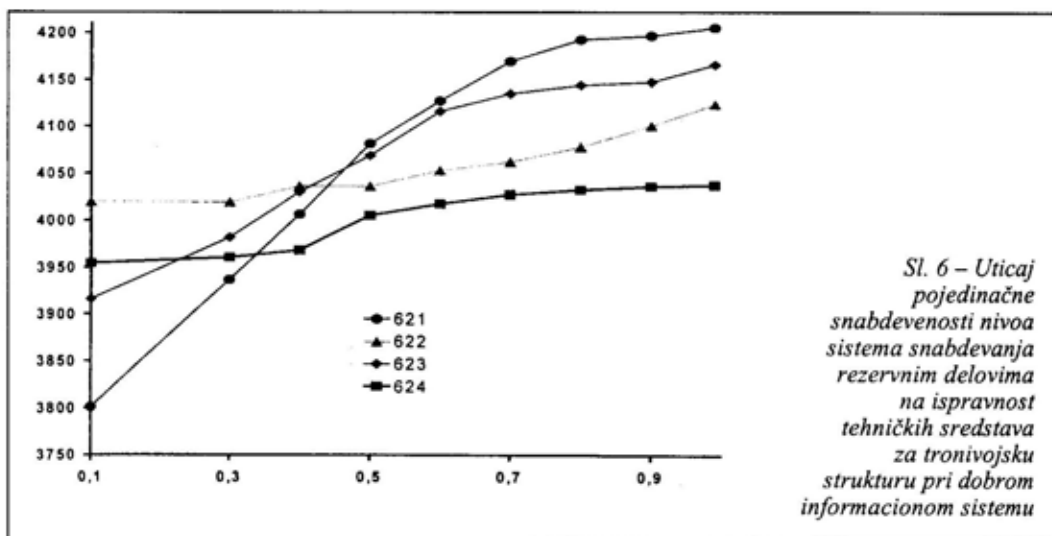
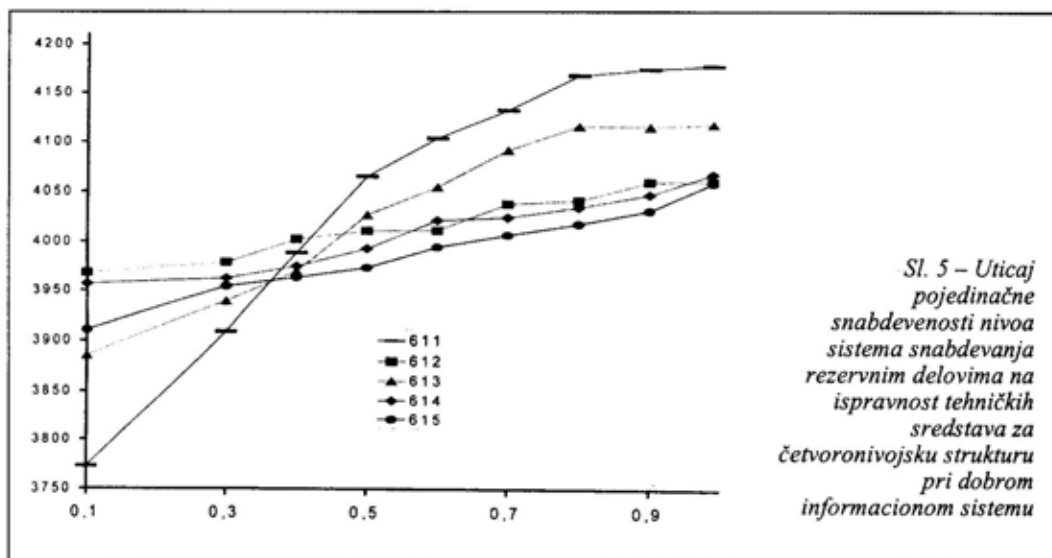
Prikaz svih rezultata dobijenih eksperimentima nije moguć ni u znatno obimnijim radovima. Rezultati obuhvataju praćenje ispravnosti tehničkih sredstava u vremenu intenzivne eksploatacije i jedan period nakon značajnog smanjenja eksploatacije, po vrstama sredstava, grupama sredstava, celinama za održavanje, nivoima, za dva različita informaciona sistema i za dvadesetak različitih organizacionih struktura, za različita

opterećenja sistema održavanja, u različitim presecima vremena u zavisnosti od namene analize. U ovom članku prikazani su rezultati samo kao ilustracija, a za prikazani model navedeno je samo nekoliko osnovnih zaključaka.

Na slikama su prikazani: uticaj istovetne popunjenosti svih nivoa snabdevanja na ispravnost tehničkih sredstava; uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema za četvoronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu; uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema za tronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu i uticaj snabdevenosti drugog nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava. Osnovni zaključci su:

- kao najbolja pokazala se tronivojska struktura sa dobrim informacionim sistemom;
- tronivojska struktura se u obe varijante pokazuje boljom od četvoronivojske;
- veći uticaj ima informacioni sistem nego organizaciona struktura, mada se ova konstatacija mora shvatiti uslovno, jer tronivojska struktura omogućava bolji informacioni sistem;





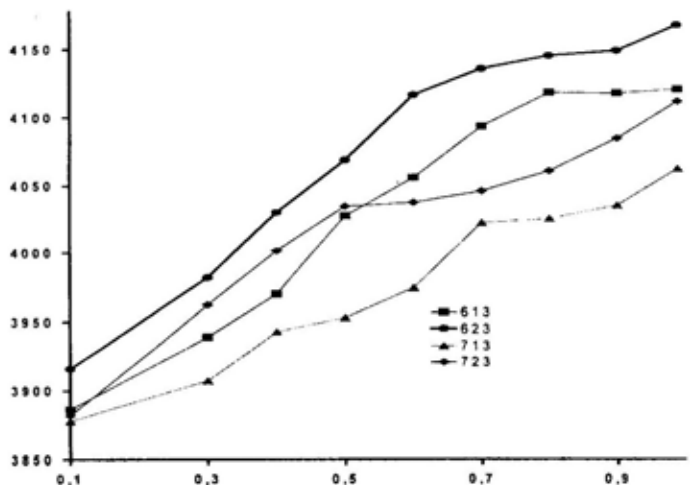
– uticaj organizacione strukture i informacionog sistema je manji pri niskoj snabdevenosti rezervnim delovima;

– pokazuje se da je informacioni sistem veoma značajan, mada se može očekivati da bi pravi značaj bio izražen kad bi se posmatrao posredan uticaj.

Na slikama 5 i 6 prikazan je uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na is-

pravnost tehničkih sredstava za trionivojsku i četvoronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu. Osnovni zaključak je da najveći uticaj ima drugi nivo i u jednom i u drugom slučaju, a to je i opšti zaključak, što se i očekivalo. Činjenica da ovaj nivo obuhvata relativno veliki obim radova, koji relativno kratko traju i odvijaju se na maloj udaljenosti ili na samom mestu nastanka otk-

Sl. 7 – Uticaj snabdevenosti drugog nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava



za, unapred je ukazivalo na to da uticaj ovog nivoa uglavnom zavisi samo od raspoloživih resursa i rezervnih delova.

## Zaključak

Zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima kompletnog sistema i svakog nivoa posebno menja se (na makroplanu) u zavisnosti od uticaja različitih faktora. Promena zavisnosti može da se ogleda u promeni relativnog odnosa uticaja ili apsolutnog iznosa ispravnosti tehničkih sredstava. Poznavanje te zavisnosti omogućava da se takva zakonitost koristi pri operativnom upravljanju sistemom snabdevanja rezervnim delovima i pri projektovanju i reprojektovanju sistema snabdevanja rezervnim delovima i sistema održavanja.

Analiza uticaja i određivanje zavisnosti veoma su kompleksni, jer se odnose na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima pri uticaju različitih faktora od snabdevenosti celokupnog sistema snabdeva-

nja rezervnim delovima, analizu učešća snabdevenosti pojedinih nivoa u celokupnom uticaju, posmatranje neposrednog i posrednog uticaja, za sva tehnička sredstva, ali i za tehnička sredstva po vrstama. Različite vrste tehničkih sredstava imaju, u krajnjem, različite načine i različitu organizaciju održavanja. Značajno je, takođe, koji se period posmatra – da li period izvođenja borbenih dejstava, period pre početka borbenih dejstava, period nakon borbenih dejstava, da li se radi o ratu, kriznoj situaciji ili miru, itd. Zbog toga je značajno odrediti način da se zavisnosti i uticaji kvantifikuju.

Sagledavanje oblika i kvantifikovanje uticaja snabdevenosti nivoa snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava u višenivojskim sistemima od velikog je značaja i pri projektovanju sistema i pri operativnom upravljanju sistemom. Na primer, jasno je i iz analize da pri određivanju nivoa snabdevenosti drugi nivo mora imati veoma visoku popunu rezervnim delovima, a da pri operativnom upravljanju treba

voditi računa da tom nivou snabdevenost rezervnim delovima treba održavati na projektovanom nivou. Razlog je jednostavan – taj nivo ima najveći uticaj. Drugi nivo, što se tiče održavanja, obuhvata relativno obimne radove koji kratko traju, a odvijaju se na maloj udaljenosti od mesta nastanka otkaza ili na samom mestu nastanka otkaza. Uticaj ovog nivoa, uglavnom, zavisi samo od raspoloživih resursa i rezervnih delova. Sve to omogućava brzo vraćanje tehničkih sredstava u ispravno stanje i njihovo ponovno stavljanje jedinici na raspolaganje. Prvi nivo veoma brzo vraća tehnička sredstva u ispravno stanje, ali je veoma mali obim radova održavanja koji obavlja, dok treći i četvrti nivo imaju veoma obimne radove, ali oni dugo traju i velika su logistička vremena, pa je njihov uticaj znatno manji. Ipak, neophodno je još jednom naglasiti da se ovaj primer odnosi na njihov direktan uticaj i na period intenzivne eksploatacije, i da se analiza i zaključci odnose na direktan uticaj i samo na period izvođenja borbenih dejstava. Među

tim, bitno je istaći da se ovakav postupak može primeniti i za druge periode. Može se očekivati da se rezultati razlikuju u nekoj meri, ali analiza i izvođenje zaključaka se sprovode na isti način.

#### Literatura:

- [1] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1981.
- [2] Vukadinović, S.; Popović, J.; Teodorović, D.: Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.
- [3] Programski paket za simulaciju održavanja i snabdevanja rezervnim delovima, Katedra TOB, VTA VJ, Beograd, 2002.
- [4] Grothus, H.: Planiranje troškova održavanja, OMO, Beograd, 1977.
- [5] Evans, G. N.; Towill, D. R.; Naim, M. M.: Business process reengineering the supply chain, Production planning & control, vol. 6., No. 3, 1995, 227–237.
- [6] Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering The Corporation: A Manifesto for Business Revolution, Nicholas Brealey publishing, London, 1993.
- [7] Burlat, P.; Campagne, J. P.; Neubert, G.: Modeling organizational structure: a new challenge for simulation, EURO-SIM '98, Simulation Congress, Helsinki, 1998.
- [8] Crostach, H. A.; Becker, M.; Sall, M.: Process Networks engineering: control-loopbased modeling of decentralized factories, EUROSIM '98, Simulation Congress, Helsinki, 1998.
- [9] Salvendy, G.: Handbook of Industrial Engineering, A. Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [10] Evans, G. N.; Towill, D. R.; Naim, M. M.: Business process reengineering the supply chain, Production planning & control, vol. 6., No. 3, 1995, 227–237.

Stojadin Manojlović,  
potporučnik, dipl. inž.

Dr Bojan Zrnić,  
major, dipl. inž.

Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## RAČUNARSKO MODELOVANJE SAMONAVOĐENE RAKETE SA POKRETNIM PRATEĆIM KOORDINATOROM

UDC: 623.465.32 : 519.863

### Rezime:

*Sistemi vođenja i upravljanja raketama uopšte, uključujući i sisteme samovođenja kao njihov poseban oblik, složeni su sistemi koji zahtevaju primenu znanja iz više oblasti, kako bi na precizan način mogli da se formiraju što realniji matematički modeli svih strukturnih elemenata. Na osnovu matematičkog modela moguće je stvoriti računarski model pomoću kojeg se vrši analiza dinamičkog ponašanja sistema. U ovom radu predstavljeno je programsko rešenje za modelovanje sistema samovođenja zasnovano na programskom jeziku MATLAB. Rešenje je implementirano na modularnom principu, što omogućava lakšu kontrolu eventualnih grešaka i olakšava nadogradnju novim komponentama, npr. drugi tip zakona vođenja.*

*Ključne reči: vođenje, upravljanje, rakete, računarsko modelovanje.*

---

## COMPUTER MODELLING OF HOMING SYSTEMS WITH A MOBILE ACCOMPANYING COORDINATOR

### Summary:

*Guidance and control systems, including homing systems, are complex systems requiring the application of knowledge from different areas in order to form precise mathematical models of all system elements. The computer model is based on the mathematical model of a homing system and it enables the system dynamical performance analysis. In this paper a computer model of the homing system is presented. The described software is open for upgrade, i.e. for another type of the guidance law.*

*Key words: guidance, control, rockets, computer model.*

---

### Uvod

Raketa predstavlja objekat upravljanja sa veoma složenim karakteristikama, jer raspolaže sa šest stepeni slobode kretanja. Osim toga, mora se voditi računa i o interakciji rakete sa okolinom koja zavisi od velikog broja različitih faktora. Uključivanje rakete u petlju vođenja zahteva modelovanje i svih ostalih elemenata petlje,

kako bi se dobio zatvoren sistem vođenja [1, 2]. Svi navedeni modeli su, u stvari, skupovi matematičkih jednačina čija postavka iziskuje znanje iz više oblasti koje karakterišu ovu problematiku, kao što su mehanika leta, automatsko upravljanje i druge. U ovom radu prikazano je računarsko modelovanje leta hipotetičke samonavodene rakete, koja je opremljena pokretnim pratećim koordinatorom.

## Modelovanje sistema samovođenja rakete u vertikalnoj ravni

Postupak modelovanja sistema vođenja i upravljanja raketom može se podeliti u više faza, pri čemu svaka od njih obuhvata modelovanje pojedinih elemenata koji ulaze u sastav sistema. Na početku je potrebno formirati model prostornog kretanja rakete sa definisanim ulaznim i izlaznim promenljivim. Na sličan način modeluje se i kinematika kretanja cilja. Kako se razmatra problematika samovođenja, u posebnom bloku moraju se računati relativne koordinate cilja u odnosu na raketu. Odgovarajuća zakonitost vođenja zahteva modelovanje senzora koji će na osnovu ulaznih parametara formirati signal za autopilot. Model autopilota treba da obuhvati proces formiranja signala upravljanja koji se prenosi u model rakete i menja njegove izlazne promenljive. Te promenljive uvode se u blok za proračun relativnih koordinata, čime se zatvara petlja vođenja. Da bi se modelovala svaka od navedenih celina moraju se definisati matematičke jednačine (redukovane na vertikalnu ravan), koje povezuju ulazne i izlazne veličine pojedinih modula preko kojih se on uključuje u celokupan sistem. Osnovu za ovaj rad predstavljaju matematički modeli sistema samovođenja rakete dati u literaturi [1].

### Model rakete

Ulazne veličine ovog modula su ugaoni otkloni krmila ( $\delta_m$ ) i ugaoni otklon gasodinamičkog organa ( $\delta_\alpha$ ) koji dolaze iz modula autopilota. Zadate veličine su:

- karakteristična površina rakete ( $S$ ),
- kalibar ( $d$ ),
- dužina ( $l$ ),

– rastojanje referentne tačke u odnosu na koju su mereni aerodinamički koeficijenti ( $x_{ref}$ ),

– ubrzanje Zemljine teže ( $g$ ),

– temperatura, pritisak i gustina vazduha na nivou mora ( $T_0$ ,  $p_0$  i  $\rho_0$ ),

– fiksni otkloni komandnih površina ( $\delta_{m\phi}$ ,  $\delta_{\theta\phi}$ ).

Brzina leta ( $V$ ) i napadni ugao ( $\alpha$ ) dobijaju se iz sledećih izraza:

$$V = \sqrt{v_{xB}^2 + v_{zB}^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{v_{zB}}{v_{xB}}\right) \quad (2)$$

gde su  $v_{xB}$  i  $v_{zB}$  komponente brzine u koordinatnom sistemu vezanom za telo rakete BKS (Body axes).

Dinamički pritisak dobija se iz formule:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (3)$$

Za vertikalnu ravan potrebno je proračunati sledeće aerodinamičke koeficijente sile:

$$C_x = C_{x0} + C_{x\alpha} \cdot \alpha^2 \quad (4)$$

$$C_z = C_{z\alpha} \cdot \alpha + C_{z\delta_m} \cdot \delta_m + \left(C_{zq}^* \cdot \frac{d}{2V}\right) \cdot q \quad (5)$$

i aerodinamičkih koeficijenata momenata za referentnu tačku:

$$C_m^r = C_{m\alpha} \cdot \alpha + \left(C_{mq}^* \cdot \frac{d}{2V}\right) \cdot q + C_{m\delta_m} \cdot \delta_m + \left(C_{m\dot{\alpha}}^* \cdot \frac{d}{2V}\right) \cdot \dot{\alpha} \quad (6)$$

dok je aerodinamički koeficijent momenta za centar mase:

$$C_m = C_m^r - \frac{x_m - x_{ref}}{d} \cdot C_z \quad (7)$$

U ovom modelu računaju se i sledeće sile i momenti:

– aerodinamičke sile

$$X = Q \cdot S \cdot C_x \quad (8)$$

$$Z = Q \cdot S \cdot C_z \quad (9)$$

– aerodinamički moment

$$M = Q \cdot S \cdot d \cdot C_m \quad (10)$$

– komponente sile potiska

$$F_x = F \cdot \cos(\delta_l + \delta_{l0}) \quad (11)$$

$$F_z = -F \cdot \sin(\delta_l + \delta_{l0}) \quad (12)$$

gde je  $F$  sila potiska data kao ulazni parametar,

– moment sile potiska

$$M_f = -F_z \cdot (x_m - l) \quad (13)$$

gde je  $x_m$  položaj centra mase koji se menja sa vremenom.

Na osnovu prethodno izračunatih parametara mogu se proračunati izvodi komponenti brzine u BKS-u:

$$\dot{v}_{xB} = -q \cdot v_{zB} + \frac{X + F_x}{m} - g \cdot \sin \theta \quad (14)$$

$$\dot{v}_{zB} = q \cdot v_{xB} + \frac{Z + F_z}{m} + g \cdot \cos \theta \quad (15)$$

i izvod ugaone brzine propinjanja:

$$\dot{q} = \frac{M + M_f}{I_y} \quad (16)$$

pri čemu se moment inercije  $I_y$  zadaje na ulazu. Izvod ugla propinjanja jednak je ugaonoj brzini propinjanja:

$$\dot{\theta} = q \quad (17)$$

Preostale dve komponente, koje karakterišu kinematiku rakete, jesu izvodi koordinata položaja centra mase koji su jednaki komponentama brzine u geodetskom koordinatnom sistemu (GKS):

$$\dot{R}_{xG} = v_{xG} = v_{xB} \cdot \cos \theta + v_{zB} \cdot \sin \theta \quad (18)$$

$$\dot{R}_{zG} = v_{zG} = -v_{xB} \cdot \sin \theta + v_{zB} \cdot \cos \theta \quad (19)$$

Da bi se mogla odrediti relativna ubrzanja cilja u odnosu na raketu, potrebno je odrediti i ubrzanja centra mase rakete u GKS-u. Prethodno se navedena ubrzanja računaju u BKS-u:

$$a_{xB} = \frac{X + F_x}{m} - g \cdot \sin \theta \quad (20)$$

$$a_{zB} = \frac{Z + F_z}{m} + g \cdot \cos \theta \quad (21)$$

a onda se na osnovu njih dobijaju ubrzanja u GKS-u:

$$a_{xG} = a_{xB} \cdot \cos \theta + a_{zB} \cdot \sin \theta \quad (22)$$

$$a_{zG} = -a_{xB} \cdot \sin \theta + a_{zB} \cdot \cos \theta \quad (23)$$

Podaci o vrednostima sile potiska, položaju centra mase, derivativima aerodinamičkih koeficijenata i momentima inercije zadaju se kao ulazni parametri hipotetičke rakete opisane u literaturi [1].

### Model kretanja cilja

U ovom modulu proračunavaju se vrednosti parametara koji opisuju kinematiku kretanja centra mase cilja u zavisnosti od zadatih početnih uslova. Početni uslovi su:

- brzina cilja ( $v_c$ ),
- početni ugao vektora brzine cilja ( $\gamma_c$ ),
- početni položaj centra mase cilja na x osi GKS-a ( $x_{c0G}$ ),
- početni položaj centra mase cilja na z osi GKS-a ( $z_{c0G}$ ),
- ubrzanje centra mase cilja po x osi ( $a_{cx}$ ),
- ubrzanje centra mase cilja po z osi ( $a_{cz}$ ).

Na osnovu početnih uslova mogu se izračunati komponente brzine cilja u GKS-u:

$$v_{cxG} = v_c \cdot \cos \gamma_c \quad (24)$$

$$v_{czG} = -v_c \cdot \sin \gamma_c \quad (25)$$

i komponente ubrzanja cilja u GKS-u:

$$a_{cxG} = a_{cx} \cdot \cos \gamma_c - a_{cz} \cdot \sin \gamma_c \quad (26)$$

$$a_{czG} = a_{cx} \cdot \sin \gamma_c + a_{cz} \cdot \cos \gamma_c \quad (27)$$

Osnovni parametri koji se računaju, a vezani su za trajektoriju leta cilja, jesu izvodi brzine i ugla vektora brzine cilja, kao i izvodi koordinata centra mase cilja u GKS-u:

$$\dot{v}_c = a_{cx} \quad (28)$$

$$\dot{\gamma}_c = -\frac{a_{cz}}{v_c} \quad (29)$$

$$\dot{r}_{cxG} = v_{cxG} \quad (30)$$

$$\dot{r}_{czG} = v_{czG} \quad (31)$$

### Model relativnog kretanja cilja u odnosu na raketu

Medusobni položaj rakete i cilja prikazan je na slici 1.

Na osnovu izračunatih ubrzanja, brzina i koordinata centara mase cilja i rakete u prethodnim modulima, računaju se relativna ubrzanja, brzine i koordinate:

$$a_{rxG} = a_{cxG} - a_{xG} \quad (32)$$

$$a_{rzG} = a_{czG} - a_{zG} \quad (33)$$

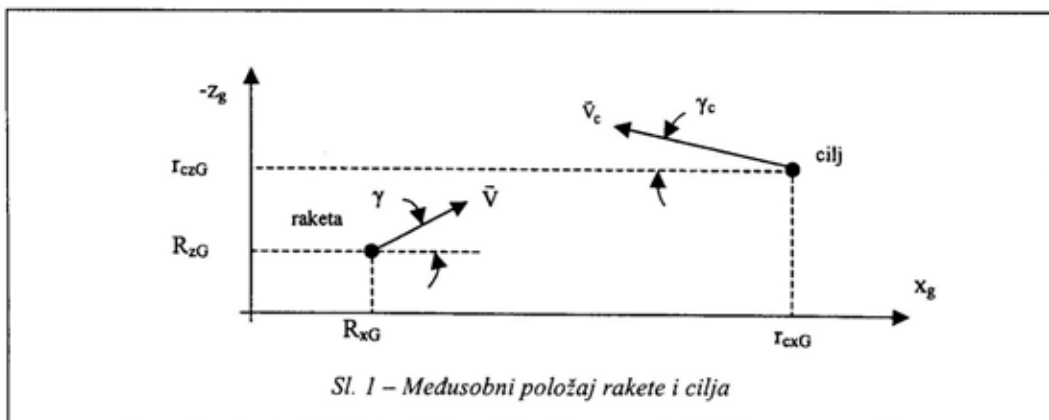
$$v_{rxG} = v_{cxG} - v_{xG} \quad (34)$$

$$v_{rzG} = v_{czG} - v_{zG} \quad (35)$$

$$r_{rxG} = r_{cxG} - R_{xG} \quad (36)$$

$$r_{rzG} = r_{czG} - R_{zG} \quad (37)$$

Da bi se mogla primeniti zahtevana metoda vođenja, neophodno je poznavati relativno rastojanje cilja i rakete, kao i



Sl. 1 – Medusobni položaj rakete i cilja



trenutnu vrednost ugla linije viziranja cilja (LVC):

$$rr = \sqrt{r_{rxG}^2 + r_{rzG}^2} \quad (38)$$

$$\varphi_r = \arcsin\left(-\frac{r_{rzG}}{rr}\right) \quad (39)$$

### Model koordinatora

Pokretni prateći koordinator (senzor) cilja meri ugaonu brzinu LVC koja je osnovni parametar za realizaciju poznate metode samovođenja koja se zove proporcionalna navigacija. Funkcionalna šema pokretnog pratećeg koordinatora prikazana je na slici 2 [1].

Pokretni prateći koordinator montira se na telo rakete tako da, osim praćenja cilja, prateći sistem treba da ostvari i stabilizaciju koordinatora u odnosu na oscilacije rakete. Antena glave za samovođenje može se pokretati u prostoru pomoću servomotora. Davač ugaone brzine (DUB) jeste brzinski žiroskop na čijem izlazu je napon proporcionalan ugaonoj brzini ekvisignalnog pravca antene:

$$U_{\varphi_a} = k_{dg} \cdot \dot{\varphi}_a \quad (40)$$

gde je  $k_{dg}$  konstanta DUB-a. Napon  $U_\varepsilon$  proporcionalan je uglu greške  $\varepsilon$ :

$$U_\varepsilon = k_l \cdot \varepsilon \quad (41)$$

gde je  $k_l$  konstanta osetljivog elementa. Kako je  $\varphi = \varphi_a + \varepsilon$ , važi i  $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_a + \dot{\varepsilon}$ , što znači da će se u bloku formiranja signala vođenja napon  $U_\varepsilon$  prvo diferencirati, pa tek onda sabrati sa naponom  $U_{\varphi_a}$  kako bi se dobio njihov zbir:

$$U = U_{\varphi_a} + U_\varepsilon \quad (42)$$

što odgovara jednakosti:

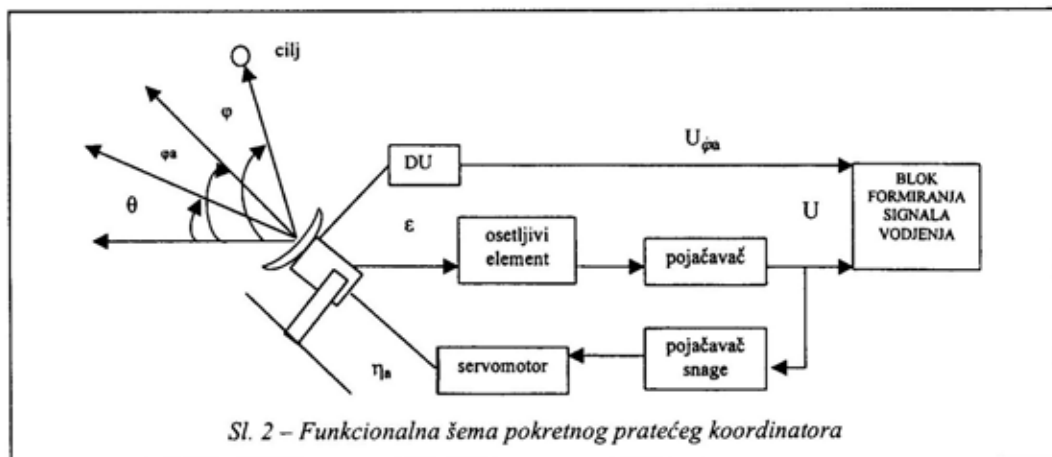
$$U = k_{dq} \cdot \dot{\varphi}_a + k_l \cdot \dot{\varepsilon} \quad (43)$$

Ako se ispuni uslov kompenzacije greške praćenja  $k_{dq} = k_l = k_\varphi$  dobija se sledeća zavisnost:

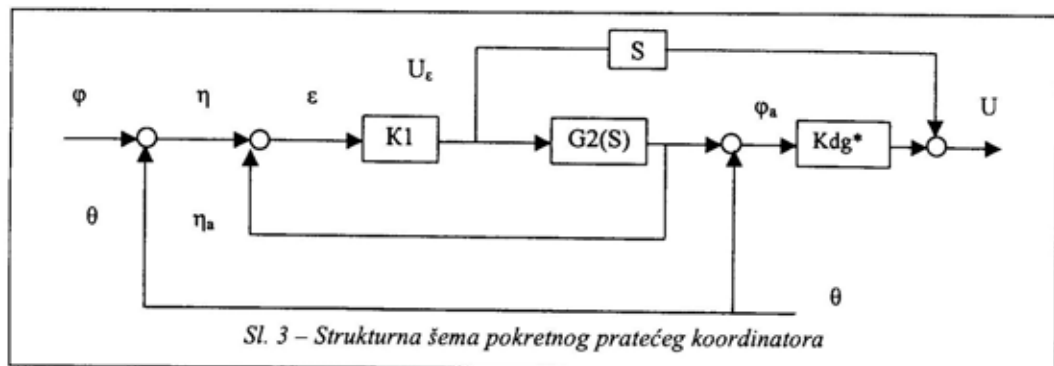
$$U = U_\varphi = k_\varphi \cdot (\dot{\varphi}_a + \dot{\varepsilon}) = k_\varphi \cdot \dot{\varphi} \quad (44)$$

tj. dobijeni napon je proporcionalan ugaonoj brzini LVC.

Koristeći sledeće veze među uglovima:  $\varepsilon = \eta - \eta_a$ ,  $\eta = \varphi - \theta$  i  $\varphi_a = \eta_a + \theta$ ,



Sli. 2 – Funkcionalna šema pokretnog pratećeg koordinatora



Sl. 3 – Strukturna šema pokretnog pratećeg koordinatora

gde su  $\eta$  i  $\eta_a$  uglovi pelenga cilja i ose antene, a  $\theta$  ugao propinjanja rakete, može se formirati i strukturna šema koordinatora, kao što je prikazano na slici 3 [1].

Pojačavač i osetljivi elementi opisuju se prenosnom funkcijom koju predstavlja konstanta:

$$G_1(s) = \frac{U_s(s)}{\varepsilon(s)} = k_1^* \quad (45)$$

Prenosna funkcija pojačavača snage, motora i reduktora ima oblik:

$$G_2(s) = \frac{\eta_a(s)}{U_\varepsilon(s)} = \frac{k_2}{s \cdot (T_2s + 1) \cdot (T_1s + 1)} \quad (46)$$

Brzinski žiroskop opisuje se funkcijom prenosa:

$$G_{dg}(s) = \frac{U_{\varphi_a}(s)}{\varphi_a(s)} = k_{dg} \cdot s \quad (47)$$

Blok za formiranje signala vođenja može se opisati sledećom jednačinom:

$$U(s) = U_{\varphi_a}(s) + s \cdot U_\varepsilon(s) \quad (48)$$

Na osnovu definisanih funkcija prenosa pojedinih komponenti koordinatora moguće je odrediti i prenosnu funkciju zatvorene petlje:

$$\Phi(s) = \frac{\eta_a(s)}{\eta(s)} = \frac{k_1 \cdot k_2}{s \cdot (T_2s + 1) \cdot (T_1s + 1)} \quad (49)$$

Sa strukturne šeme moguće je napisati sledeću jednakost:

$$\begin{aligned} U &= k_1 \cdot \dot{\varepsilon} + k_{dg} \cdot \dot{\varphi}_a = k_1 \cdot (\dot{\eta} - \dot{\eta}_a) + k_{dg} \cdot (\dot{\eta}_a + \dot{\theta}) = \\ &= k_1 \cdot (\dot{\varphi} - \dot{\theta} - \dot{\eta}_a) + k_{dg} \cdot (\dot{\eta}_a + \dot{\theta}) = \\ &= k_1 \cdot \dot{\varphi} + (k_{dg} - k_1) \cdot \dot{\theta} + (k_{dg} - k_1) \cdot \dot{\eta}_a \end{aligned} \quad (50)$$

Može se zaključiti da će u slučaju ispunjenja uslova kompenzacije greške automatskog praćenja cilja, tj.  $k_{dg} = k_1 = k_\varphi$ , napon na izlazu bloka formiranja signala sigurno biti proporcionalan samo ugaonoj brzini LVC, dok će uticaj promene ugla propinjanja biti eliminisan. Usvajajući navedeni uslov može se konstatovati da je koeficijent proporcionalnosti između napona na izlazu koordinatora i ugaone brzine LVC jednak koeficijentu žiroskopa  $k_{dg}$ .

Da bi se modelovala mogućnost ovog senzora da meri brzinu zbliženja rakete i cilja i ugaonu brzinu LVC, u ovaj modul uključuju se i sledeće jednačine:

$$r\dot{r} = v_{rz} = v_{rG} \cdot \cos \varphi_r - v_{rG} \cdot \sin \varphi_r \quad (51)$$

$$\dot{\varphi}_r = -\frac{v_{rz}}{r} = -\frac{v_{rG} \cdot \sin \varphi_r + v_{rG} \cdot \cos \varphi_r}{r} \quad (52)$$

Koristeći proračunate veličine moguće je odrediti i ugao promašaja:

$$\nu = \arcsin\left(\frac{rr \cdot \dot{\phi}_r}{v_r}\right) \quad (53)$$

i trenutni promašaj:

$$h = \frac{rr^2 \cdot \dot{\phi}_r}{v_r} \quad (54)$$

gde je  $v_r$  modul brzine zблиženja:

$$v_r = \sqrt{v_{rx}^2 + v_{rz}^2} \quad (55)$$

### Zakon vođenja

Kao poznati parametri u ovom modulu zadaju se pojačanje sistema autopilot-raketa ( $K_E$ ), konstanta ( $N$ ) i radijus „mrtve“ zone RMZ. Ulazni parametri su pojačanje senzora ( $K_G$ ), signal proporcionalan ugaonoj brzini linije viziranja cilja ( $U$ ), rastojanje između rakete i cilja ( $rr$ ) i relativna brzina zблиženja rakete i cilja ( $rr\dot{r}$ ). Prvo se proračunava navigaciona konstanta ( $K_N$ ) i pojačanje ( $K_F$ ):

$$K_N = N \cdot |rr\dot{r}| \quad (56)$$

gde je  $|rr\dot{r}|$  apsolutna vrednost relativne brzine zблиženja rakete i cilja

$$K_F = \frac{K_N}{K_E \cdot K_G} \quad (57)$$

Signal vođenja formira se kao sledeći proizvod:

$$UVGS = K_F \cdot U \quad (58)$$

U slučaju da veličina rastojanja rakete i cilja bude ispod vrednosti radijusa mrtve zone RMZ, signal vođenja se isključuje, tj. pridružuje mu se nulta vrednost.

### Modelovanje zakona upravljanja (autopilot)

Autopilot prihvata signal vođenja UVGS iz modula zakona vođenja i upoređuje ga sa maksimalno dozvoljenom vrednošću koja se zadaje (UMM), ne dozvoljavajući da je premaši, što je rešeno sledećim izrazom:

$$UVA = \begin{cases} -UMM, UVGS \leq -UMM \\ UVGS, -UMM < UVGS < UMM \\ UMM, UVGS \geq UMM \end{cases} \quad (59)$$

gde je UVA signal upravljanja.

U autopilotu se nalazi žiroskop koji se opisuje koeficijentom  $k_{dg}$  a meri ugao-nu brzinu propinjanja  $q$ , tako da je napon na njegovom izlazu:

$$Uq = k_{dg} \cdot q \quad (60)$$

Akcelerometar, kao merač linearnih ubrzanja duž osa rakete, modeluje se koeficijentom  $k_{du}$  tako da je napon na izlazu:

$$U_{du} = k_{du} \cdot f \quad (61)$$

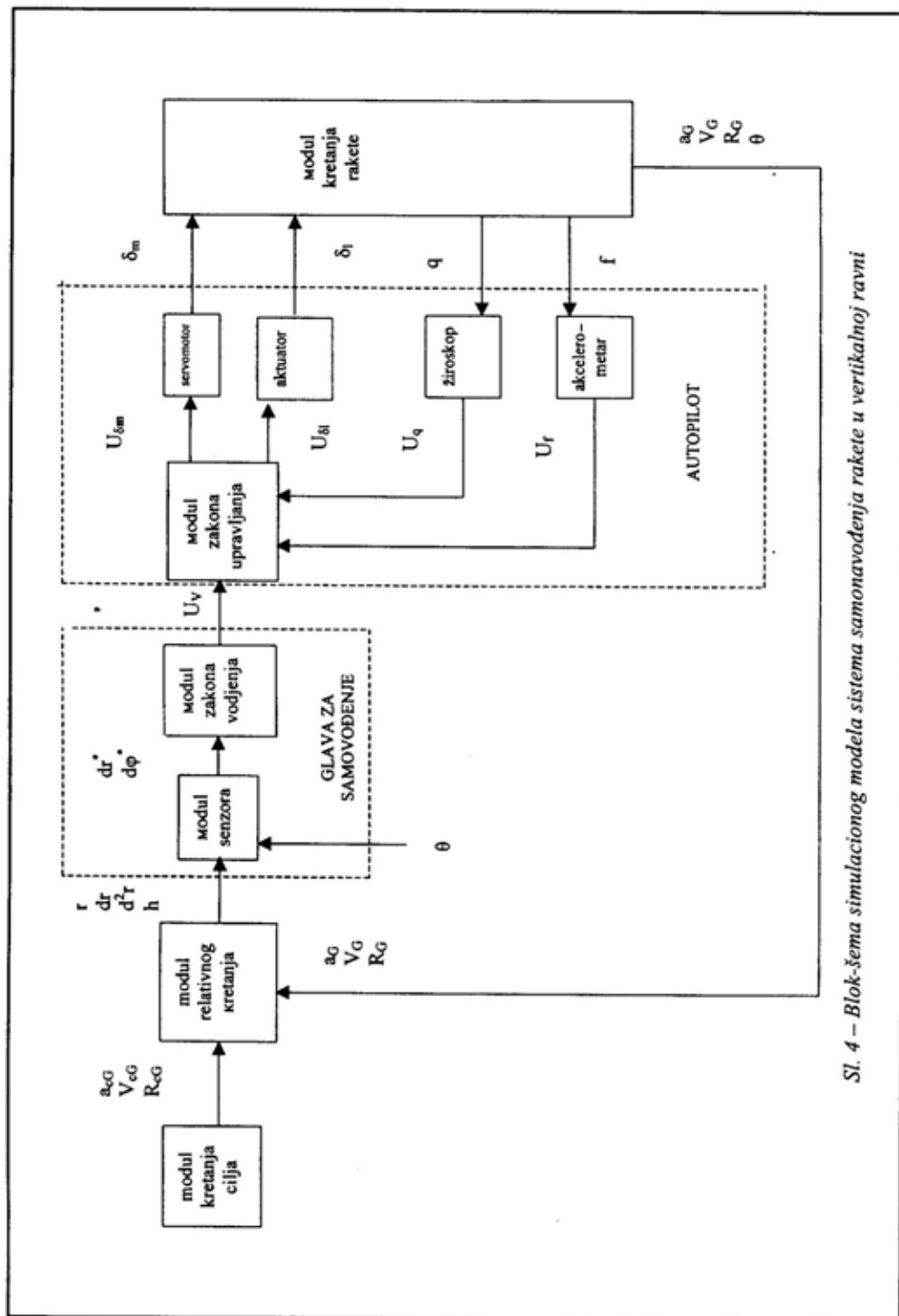
pri čemu je  $f$  opterećenje duž određene ose.

Servouredaj, koji pokreće krmila za ugao  $\delta_m$  koji je proporcionalan signalu upravljanja UVA, opisuje se koeficijentom  $k_a$  tako da je:

$$\delta_m = k_a \cdot UVA \quad (62)$$

Veličina  $\delta_m$  se ograničava na zadatu vrednost  $\delta_{mm}$  i to tako da je:

$$\delta_m = \begin{cases} -\delta_{mm}, \delta_m \leq -\delta_{mm} \\ \delta_m, -\delta_{mm} < \delta_m < \delta_{mm} \\ \delta_{mm}, \delta_m \geq \delta_{mm} \end{cases} \quad (63)$$



Sl. 4 – Blok-šema simulacionog modela sistema samonavljenja rakete u vertikalnoj ravni

Aktuator, kao pokretač gasodinamičkog organa upravljanja, predstavlja se koeficijentom  $k_{ak}$ . Ugao pomeraja gasodinamičkog organa proporcionalan je naponu UDELL:

$$\delta_l = k_{ak} \cdot UDELL \quad (64)$$

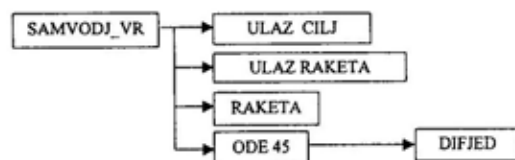
Na isti način kao i ugao pokretanja krmila  $\delta_m$  i ugao  $\delta_l$  se ograničava na vrednost  $\delta_{lm}$ . Iz modula autopilota u modul rakete dolaze signali  $\delta_m$  i  $\delta_p$ , utičući na promenu tekućih vrednosti izlaznih parametara ovog modula koji, prenoseći se u modul relativnog kretanja cilja u odnosu na raketu, zatvaraju petlju vođenja. Blok-šema simulacionog modela celokupnog sistema vođenja u vertikalnoj ravni prikazana je na slici 4 [1].

### Računarsko modelovanje sistema samovođenja

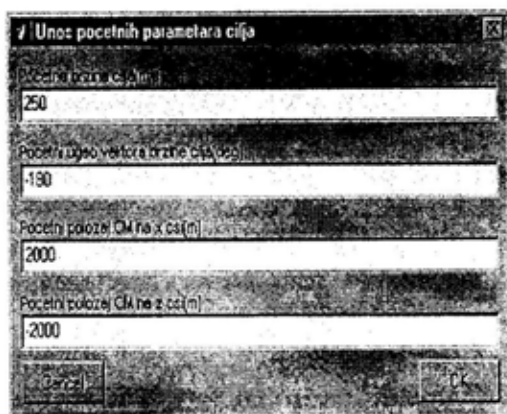
Računarsko modelovanje sistema samovođenja urađeno je u programskom jeziku MATLAB po modularnom principu. Modularni princip podrazumeva da svaki modul, koji je objašnjen u prethodnom poglavlju, bude implementiran posebnim potprogramom. Svaki modul poseduje zadate parametre (poznate pre početka simulacije), parametre koje zadaje korisnik, zatim parametre koje preuzima iz prethodnih modula i izlazne parametre koji se proračunavaju u njemu i preko kojih je on povezan sa ostalim modulima. Struktura programskog rešenja prikazana je na slici 5.

U glavnom programu se na početku zadaju početni i krajnji trenutak integracije i korak integracije. Pozivanjem potprograma ULAZ CILJ otvara se prozor prikazan na slici 6. U njemu su zadate početne vrednosti parametara kretanja cilja (ko-

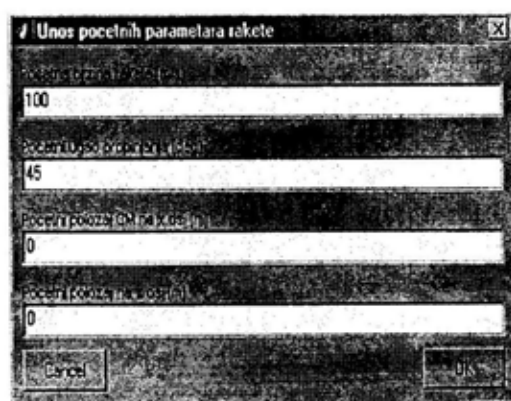
risnik može zadati nove vrednosti). Posle toga, poziva se potprogram ULAZ RAKETA koji otvara novi prozor u kojem se na analogan način, kao u slučaju cilja, mogu koristiti već definisane ili zadavati nove početne vrednosti parametara koji karakterišu kretanje rakete (slika 7).



Sl. 5 – Struktura glavnog programa



Sl. 6 – Prozor za unos početnih parametara cilja



Sl. 7 – Prozor za unos početnih parametara rakete

U potprogramu RAKETA zadate su geometrijske karakteristike rakete, tabele promene mase, centra mase, momenata inercije i sile potiska sa vremenom, kao i tabele promene derivata koeficijena aerodinamičkih sila i momenata u funkciji Mahovog broja.

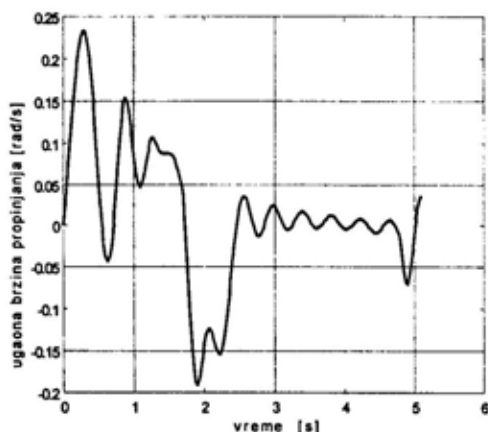
Funkcija ODE 45 je sistemska funkcija koja služi za rešavanje sistema diferencijalnih jednačina metodom Runge-Kutta. Sistem diferencijalnih jednačina definiše se u potprogramu DIFJED, koji poziva odgovarajuće potprograme u kojima se definišu komponente vektora stanja, tj. desne strane diferencijalnih jednačina opisanih u prethodnom delu teksta. U potprogramu DIFJED ispituje se da li je rastojanje između rakete i cilja manje od zadate vrednosti (po programu je postavljeno na 30 m) i da li je greška praćenja veća od zadate (u programu iznosi 1 stepen). Ako je ispunjen bilo koji od ova dva uslova prekida se simulacija. Na kraju se crtaju grafici svih promenljivih stanja sistema.

## Rezultati simulacije

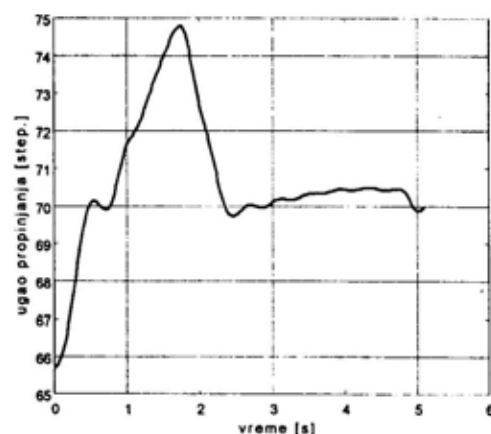
Zadati početni uslovi za kretanje cilja su:

- brzina 250 m/s,
  - ugao nagiba vektora brzine  $180^\circ$ ,
  - položaj centra mase na  $h$  osi 2000 m,
  - položaj centra mase na  $z$  osi 2000 m.
- Početni podaci za kretanje rakete su:
- brzina 100 m/s,
  - ugao propinjanja  $45^\circ$ ,
  - položaj centra mase na  $x$  osi 0 m,
  - položaj centra mase na  $z$  osi 0 m.

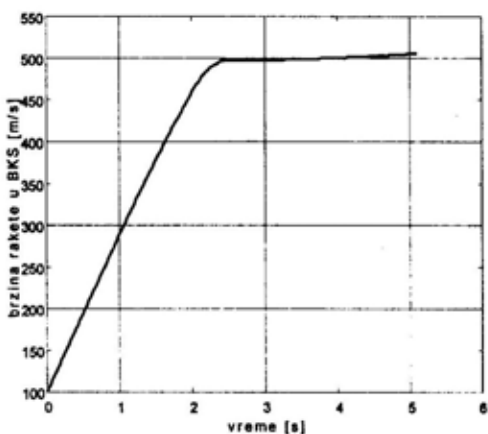
Usvajajući navedene početne podatke, glavni program crta karakteristične grafike vezane za kretanje rakete, od kojih su neki prikazani na slikama 8, 9, 10 i 11.



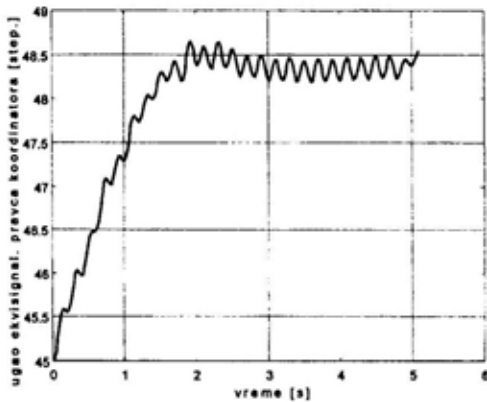
Sl. 8 – Promena ugaone brzine propinjanja rakete



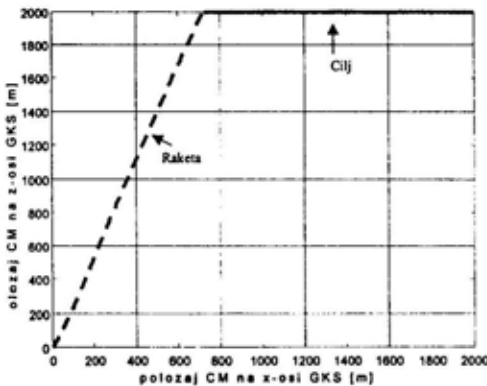
Sl. 9 – Promena ugla propinjanja rakete



Sl. 10 – Brzina rakete u BKS-u



Sl. 11 – Ugao ekvivalentnog pravca koordinatora



Sl. 12 – Trajektorije leta rakete i cilja

Simulacija je prekinuta u 5,1 sekundi, jer je rastojanje između rakete i cilja postalo manje od 30 m. Trajektorije leta rakete i cilja prikazane su na slici 12, pri čemu tanja linija predstavlja trajektoriju rakete, a punija trajektoriju cilja.

## Zaključak

Sistemi vođenja i upravljanja raketom uopšte, uključujući i sisteme samovođenja kao njihov poseban oblik, složeni su sistemi koji zahtevaju primenu znanja iz više oblasti, kako bi se na precizan način mogli formirati što realniji matematički modeli svih strukturnih elemenata. Na osnovu matematičkog modela moguće je formirati računarski model pomoću kojeg se vrši analiza dinamičkog ponašanja sistema. Programski jezik MATLAB pokazao se kao vrlo pogodan računarski alat za simulaciju ovih sistema.

U ovom radu predstavljeno je programsko rešenje za modelovanje sistema samovođenja, zasnovano na modularnom principu, što omogućava lakšu kontrolu eventualnih grešaka i olakšava nadogradnju sa novim komponentama, npr. drugi tip koordinatora. Dodatna prednost ovog pristupa u odnosu na programska rešenja, zasnovana na klasičnim programskim jezicima, jeste jednostavno kreiranje grafičkog korisničkog interfejsa.

### Literatura:

- [1] Deskovski, S.: Sistemi samovođenja, skripta, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1991.
- [2] Gamel, P.; East, D. J.: Guided Weapon Control Systems, Pergamon Press, 1977.
- [3] Skolnik, M.: Radar Handbook, Artech House, Norwood, 1990.

*Rezime:*

*Problemima proračuna vuče brzohodnih guseničnih vozila posvećen je veliki broj radova, ali se oni, uglavnom, odnose na vozila sa ugrađenim mehaničkim transmisijama. U radu je ukazano na određene specifičnosti proračuna vuče brzohodnih guseničnih vozila sa hidromehaničkom transmisijom, zavisno od ugrađenog tipa transmisije i dat kompletan postupak proračuna. Rad predstavlja određeni doprinos proširenju teorijskih saznanja iz ove složene oblasti.*

*Ključne reči: brzohodna gusenična vozila, proračun vuče, hidromehanička transmisija.*

---

**PARTICULARITIES OF TRACTIVE EFFORT CALCULATION OF  
HIGH-SPEED TRACKED VEHICLES WITH HYDROMECHANICAL  
TRANSMISSIONS**

*Summary:*

*A number of papers consider calculation problems of traction of high-speed tracked vehicles but they are mostly related to the vehicles with built-in mechanical transmissions. Some particular traction calculation features of high-speed tracked vehicles with hydromechanical transmissions, according to their built-in transmission type, were pointed out in the paper and the complete calculation method was given. The paper represents a contribution to an extension of theoretical knowledge in this complex field.*

*Key words: high-speed tracked vehicles, calculation of traction, hydromechanical transmission.*

---

**Uvod**

Hidromehaničke transmisije (HMT) ugrađivane su u brzohodna gusenična vozila odmah nakon završetka Drugog svetskog rata, ali su masovnu primenu doživele tek krajem sedamdesetih godina prošlog veka.

Posebnu pažnju kod ovih transmisija zaslužuje hidrodinamički prenosnik

(HDP), koji u zavisnosti od spoljašnjih otpora na gusenica automatski obezbeđuje kontinualnu promenu obrtnog momenta i ugaone brzine, odnosno broja obrtaja, i stabilan rad motora pri promeni otpora na gusenica u širokim granicama.

Primena HDP omogućila je da se u mehaničkom delu transmisije smanji broj stepeni prenosa, što pojednostavljuje



konstrukciona rešenja i olakšava uvođenje poluautomatske i automatske promene stepena prenosa.

Kod HMT sa HDP omogućeno je startovanje motora i u slučaju da se menjač ne nalazi u neutralnom položaju.

Primena HDP omogućuje postepeno povećanje sile vuče na gusenicama, što povećava prohodnost vozila pri kretanju u teškim terenskim uslovima.

Međutim, njegova primena u transmisijama ima i određenih nedostataka u odnosu na mehaničke transmisije, kao što su: niži stepen korisnosti, složenija konstrukcija, veći gabariti i masa, veća cena i troškovi održavanja itd.

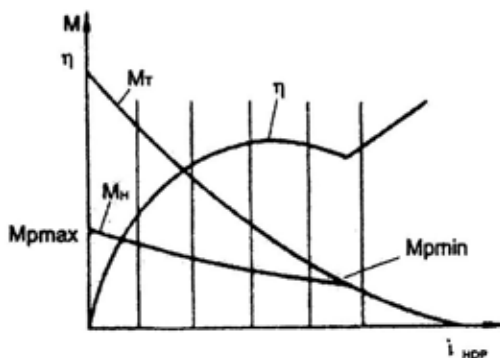
Hidrodinamički prenosnik može da se nalazi u rednoj vezi kada prenosi celokupnu snagu pogonskog motora ili u paralelnoj vezi kada prenosi samo deo snage.

### Režimi zajedničkog rada pogonskog motora i hidrodinamičkog prenosnika

Za proračun vučnih i dinamičkih karakteristika brzohodnog guseničnog vozila sa HMT osnovno je da se odrede režimi zajedničkog rada motora i HDP, kod redne veze motora i HDP, odnosno motora i hidromehaničkog prenosnika, u čijem se sklopu nalazi HDP, kod paralelne veze.

Za transmisije brzohodnih guseničnih vozila preporučuju se HDP sa direktnom prozračnošću.

Karakteristike ovog tipa HDP prikazane su na slici 1. Za njega je karakteristično da pri ubrzavanju vozila omogućuje potpuno iskorišćenje elastičnosti pogonskog motora, što doprinosi povećanju



Sl. 1 - Dijagram osnovnih karakteristika HDP

ukupnog energetskog prenosnog odnosa pogonske grupe.

Obrtni moment na pogonskom vratilu HDP definisan je sledećim izrazom:

$$M_p = \gamma \lambda_p n_p^2 D^5 \quad (1)$$

gde je:

$\gamma$  - specifična težina radnog fluida HDP,

$\lambda_p$  - bezdimenzionalna karakteristika pumpnog kola (momentna karakteristika),

$n_p$  - broj obrtaja pumpnog kola,

$D$  - najveći prečnik HDP (aktivni prečnik kruga cirkulacije).

Moment na turbinskom kolu, ukoliko je poznat moment na pumpnom kolu, može se odrediti pomoću izraza:

$$M_T = K_{HDP} M_p = K_{HDP} \gamma \lambda_p n_p^2 D^5 \quad (2)$$

ili pomoću izraza:

$$M_T = \gamma \lambda_T n_p^2 D^5 \quad (3)$$

gde je:

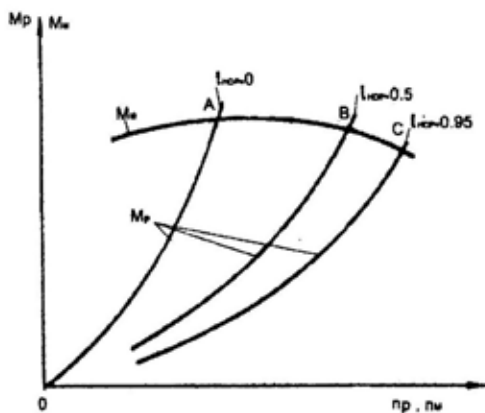
$\lambda_T$  - bezdimenzionalna karakteristika turbinskog kola (momentna karakteristika),

$K_{HDP}$  – koeficijent transformacije obrtnog momenta HDP:

$$K_{HDP} = \frac{M_T}{M_P}$$

Režimi zajedničkog rada određuju se primenom grafičke metode iz uslova jednakosti momenta pogonskog motora i momenata otpora na pumpnom kolu redukovanog na kolenasto vratilo motora.

Da bi se primenila grafička metoda, potrebno je u istom koordinatnom sistemu nacrtati krivu momenta pogonskog motora i krive momenta opterećenja pumpnog kola, kada je HDP u direktnoj vezi sa pogonskim motorom (slika 2), odnosno krive momenta opterećenja prenosnika u čijem se sklopu nalazi HDP, kada HDP nije u direktnoj vezi sa pogonskim motorom.



Sl. 2 – Dijagram zajedničkog rada motora i HDP

U prvom slučaju, momentne krive opterećenja pumpnog kola crtaju se na osnovu vrednosti proračunatih pomoću izraza (1) za više vrednosti recipročnog kinematskog prenosa HDP (npr.  $i'_{HDP} = 0, \dots, i'_{HDP} = 0,5, \dots, i'_{HDP} = 0,95$ ),

$$\text{gde je: } i'_{HDP} = \frac{1}{i_{HDP}} = \frac{n_T}{n_P}$$

gde su  $i_{HDP}$  – kinematski prenosni odnos HDP,  $n_T$  – broj obrtaja turbinskog kola.

Presekom momentne krive motora i krivih opterećenja pumpnog kola, određene su vrednosti momenata i brojeva obrtaja, koje definišu zajednički rad (tačke A, B, C na slici 2) i predstavljaju polazne elemente za dijagram vuče.

Zajednički režimi rada motora i HDP treba da obezbede racionalno iskorišćenje snage pogonskog motora, visoke prosečne brzine kretanja i visoke maksimalne brzine, trajno kretanje u najtežim uslovima eksploatacije, rad pogonskog motora na ekonomičnom režimu u pogledu potrošnje goriva, racionalno iskorišćenje sverežimskog regulatora u postizanju željene brzine kretanja vozila itd.

### Vučni proračun vozila sa hidromehaničkom transmisijom

Za proračun vuče brzohodnog guseničnog vozila sa HMT sa HDP u rednoj vezi potrebni su sledeći parametri i karakteristike:

- spoljne brzinske karakteristike pogonskog motora:  $P_M = f(n_M)$  i  $M_M = f(n_M)$ ;
- bezdimenzionalne karakteristike HDP:  $\lambda_P = f(i'_{HDP})$ ,  $\lambda_T = f(i'_{HDP})$ ,  $K_{HDP} = f(i'_{HDP})$ ,  $\eta_{HDP} = f(i'_{HDP})$ ;
- stepen korisnosti premotavanja gusenica u funkciji brzine kretanja vozila ( $\eta_g$ );
- kinematski i energetski prenosni odnos od pogonskog motora do gusenica;
- stepen korisnosti prenosa od motora do gusenica.

Navedene oznake imaju sledeće značenje:

$P_M$  – efektivna snaga motora, tj. snaga na ulazu u transmisiju,

$M_M$  – efektivni obrtni moment motora,

$n_M$  – broj obrtaja motora,

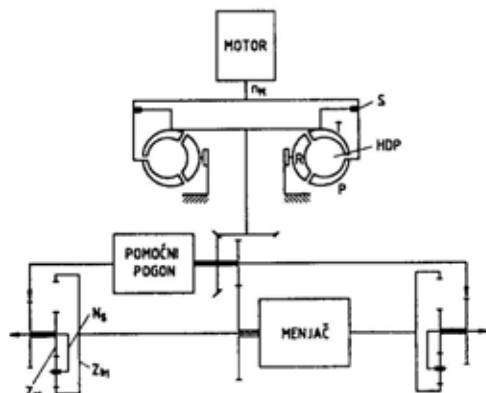
$K_{HDP}$  – koeficijent transformacije obrtnog momenta HDP,

$\eta_{HDP}$  – stepen korisnosti HDP.

Ukoliko se HDP nalazi u paralelnoj vezi, pored navedenih potrebni su i podaci koji definišu položaj HDP i ostvarenu vezu sa mehaničkim prenosnikom; prenosni odnos prenosnika, odnosno unutrašnju karakteristiku ( $k$ ), ukoliko se radi o planetarnim prenosnicima, što je najčešći slučaj.

### Vozila sa hidromehaničkom transmisijom sa hidrodinamičkim prenosnikom u rednoj vezi

Blok šema jedne HMT sa HDP u rednoj vezi prikazana je na slici 3. Transmisija se sastoji od kompleksnog HDP sa spojnicom za blokiranje (S), zupčastog prenosnika, menjača, pomoćnog pogona i sumirajućih planetarnih prenosnika ( $SPP_1$  i  $SPP_2$ ).



Sl. 3 – Blok šema HMT sa HDP u rednoj vezi

Ulazni parametri u mehanički deo transmisije su obrtni moment ( $M_T$ ) i broj obrtaja ( $n_T$ ) turbinskog kola, koji se razlikuju od istih parametara motora. Kada su poznata ova dva parametra postupak proračuna vuče je isti kao sa mehaničkom transmisijom.

Da bi se odredili  $M_T$  i  $n_T$  potrebno je odrediti režime zajedničkog rada motora i HDP. Zbog preglednosti postupaka potrebno je na istoj slici jedan pored drugog nacrtati dijagrame karakteristika HDP:  $\lambda_p$ ,  $\lambda_T$ ,  $K_{HDP}$  i  $\eta_{HDP}$  u funkciji od  $i'_{HDP}$  ili broja obrtaja motora (slika 4a) i spoljnu karakteristiku momenta motora ( $M_M$ ) u funkciji od broja obrtaja motora (slika 4b). Zatim se za više vrednosti  $i'_{HDP}$  ( $i'_{HDP} = 0, i'_{HDP} = 0,2, \dots, i'_{HDP} = 0,5, \dots, i'_{HDP} = 0,8, i'_{HDP} = 0,95$ ) nacrtaju krive (parabole) momenta opterećenja pumpnog kola čije se tačke određuju pomoću izraza (1) i unose se u dijagram na slici 4b. Kao preseki ovih parabola i krive momenta motora dobijaju se tačke (A, B, C i D) koje svojim koordinatama ( $M_M$  i  $n_M$ , odnosno  $n_p$ ) definišu režime zajedničkog rada motora i HDP.

Za odgovarajuće vrednosti  $i'_{HDP}$  sa dijagrama slika 4a određuju se vrednosti za  $K_{HDP}$ , pomoću kojeg se mogu izračunati vrednosti momenata na turbinskom kolu:

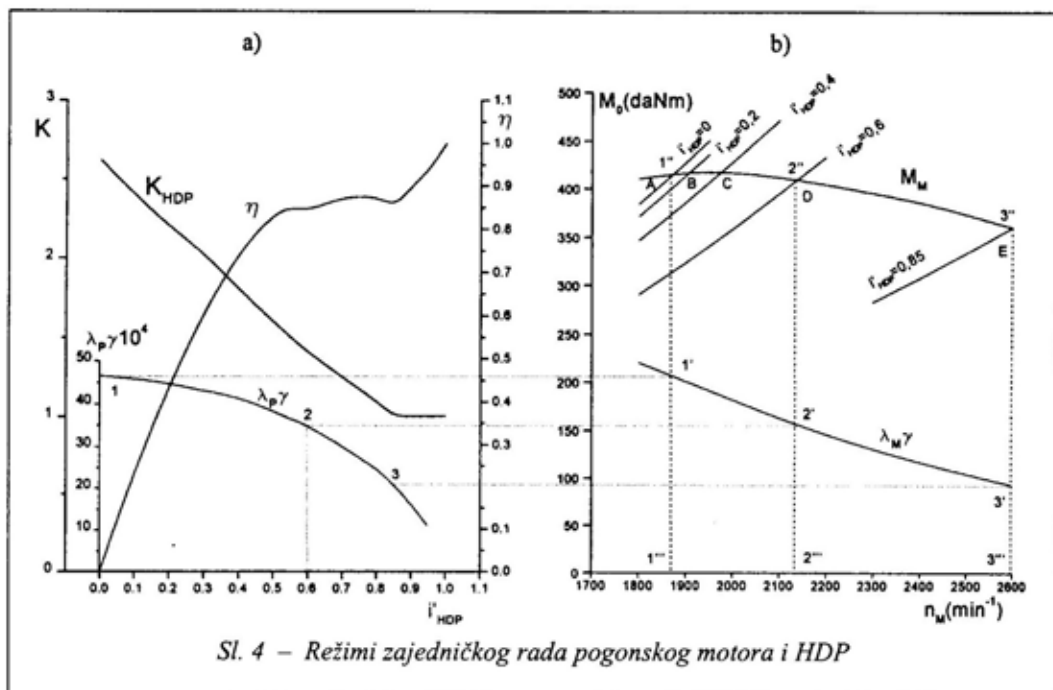
$$M_{TA} = M_{MA} K_{HDP}(i'_{HDP}=0)$$

$$M_{TD} = M_{MD} K_{HDP}(i'_{HDP}=0,95)$$

Pomoću brojeva obrtaja motora, koji odgovaraju ovim tačkama ( $n_A, n_B, n_C$  i  $n_D$ ) i odgovarajućih vrednosti za  $i'_{HDP}$  određuju se brojevi obrtaja turbinskog kola:

$$n_{TA} = n_A i'_{HDP=0}$$

$$n_{TD} = n_D i'_{HDP=0,95}$$



Sl. 4 – Režimi zajedničkog rada pogonskog motora i HDP

Određivanje zajedničkih režima rada motora i HDP prema izloženoj metodi vrlo je složeno. Praktičnije je da se koristi grafička metoda Prokofijeva, koja je zbog opšte prihvaćenosti prethodne metode skoro zanemarena. Metoda Prokofija zasniva se na izjednačavanju koeficijenta momenta motora ( $\lambda_M$ ) i momenta pumpnog kola ( $\lambda_M = \lambda_p$ ), na osnovu čega se dobija da je:

$$\lambda_M = \frac{M_M}{m_M^2 D^5} \quad (4)$$

Da bi se nacrtala kriva  $\lambda_M$  uzima se određeni broj vrednosti za  $M_M$  i  $n_M$  sa dijagrama momentne karakteristike motora, u opsegu od  $n_{Mmin}$  do  $n_{Mmax}$ . Na osnovu nadenih vrednosti prema (4) crta se kriva  $\lambda_M = f(n_M)$  (slika 4b).

Na slici 4a nacrtane su osnovne karakteristike poznatog HDP. Za određenu

vrednost  $i_{HDP}$  (npr.  $i_{HDP} = 0,6$ ) povlači se vertikala do preseka sa krivom  $\lambda_p$  i dobija presečna tačka 2. Zatim se iz ove tačke povlači horizontala do preseka sa krivom  $\lambda_M$  i dobija tačka 2'. Kroz ovu tačku povlači se vertikala do preseka sa momentnom krivom motora  $M_M = f(n_M)$  i dobija tačka 2'' sa apscisom 2'''. Tačke 2'' i 2''' definišu moment i broj obrtaja motora pri režimu zajedničkog rada motora sa HDP, u rednoj vezi, pri prenosnom odnosu  $i_{HDP} = 0,6$ .

Pri projektovanju HMT uglavnom se računa sa već osvojenim komponentama, pa se može desiti da raspoloživi HDP svojim karakteristikama ne odgovara izlaznim performansama pogonskog motora. U tom slučaju vrši se prilagoda vanje izlaznih karakteristika pogonskog motora, odnosno HDP, pomoću međuprenosnika.

Kada je poznat aktivni prečnik radnih kola HDP, koji se određuje prema izrazu:

$$D = \sqrt[5]{\frac{M_{P \max}}{\gamma \lambda_{p \eta_{HDP \max}} n_{M \max}^2}} \quad (5)$$

gde je:

$M_{P \max}$  – obrtni moment motora pri maksimalnoj snazi,

$\lambda_{p \eta_{HDP \max}}$  – koeficijent momentne karakteristike pumpnog kola pri maksimalnom stepenu korisnosti HDP,

$n_{M \max}$  – broj obrtaja motora pri maksimalnoj snazi

i bezdimenzionalna karakteristika HDP, mogu se nacrtati parabole momenta opterećenja pumpnog kola. Na osnovu njihovih presečnih tačaka sa momentnom krivom motora može se oceniti da li HDP zadovoljava ili ne. Ako HDP ne zadovoljava, između motora i HDP treba ugraditi prenosnik koji može biti reduktor ili multiplikator, kako bi se HDP prilagodio karakteristici motora.

Polazište za određivanje prenosnog odnosa takvog prenosnika ( $i_p$ ) predstavlja sledeći izraz:

$$M'_M = M_P = M_M i_p \eta_p = \gamma \lambda_p \frac{n_M^2}{i_p^2} D'^5 \quad (6)$$

gde je  $M'_M$  moment motora redukovan na pumpno kolo.

Na osnovu izraza (6) dobija se izraz za proračun prenosnog odnosa međuprenosnika:

$$i_p = \sqrt[3]{\frac{\gamma \lambda_p n_M^2 D'^5}{M_M \eta_p}} \quad (7)$$

ili kao odnos aktivnih prečnika radnih kola proračunatog (D) i postojećeg (D'):

$$i_p = \left(\frac{D}{D'}\right)^{\frac{5}{3}} \quad (8)$$

gde je  $\eta_p$  stepen korisnosti ugrađenog prenosnika.

Ukoliko su poznati obrtni momenti i brojevi obrtaja turbinskog kola, pri režimima zajedničkog rada, nije teško odrediti brzine i specifične sile vuče u pojedinim stepenima prenosa. Postupak je isti kao u slučaju mehaničke transmisije. Brzine ( $V_i$ ) određuju se prema izrazu:

$$V_i = \frac{0,377 r_{pt} n_T}{i_{TRi}} \left( \frac{km}{h} \right) \quad (9)$$

a specifične sile vuče ( $f_i$ ):

$$f_i = \frac{M_T i_{TRi} \eta_{TR} \eta_g}{G r_{pt}} \quad (10)$$

gde je:

$r_{pt}$  – poluprečnik pogonskog točka,

$i_{TRi}$  – prenosni odnos od turbinskog kola do pogonskih točkova, pri uključenom i-tom stepenu prenosa:  $i_{TRi} = i_T i_{BP}$

$i_T$  – prenosni odnos transmisije, pri uključenom i-tom stepenu prenosa,

$i_{BP}$  – prenosni odnos bočnog prenosnika,  $\eta_{TR}$  – stepen korisnosti prenosa od turbinskog kola do pogonskih točkova,

$\eta_g$  – stepen korisnosti gusenica:

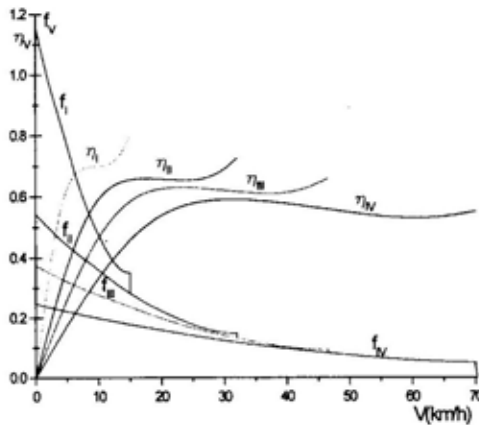
$$\eta_g = 0,95 - 0,005 V_i$$

$V_i$  – brzina premotavanja gusenica u km/h, pri uključenom i-tom stepenu prenosa u menjaču,

$G$  – masa vozila.

Na osnovu proračunatih vrednosti  $V_i$  i  $f_i$  crta se dijagram vuče. Jedan takav

dijagram prikazan je na slici 5 za vozilo mase 55 t sa motorom od 1100 kW i HMT sa HDP u rednoj vezi.



Sl. 5 – Dijagram vuče brzohodnog guseničnog vozila sa HMT i HDP u rednoj vezi

Na istom dijagramu nacrtane su i krive promene stepena korisnosti određene prema izrazu:

$$\eta_i = \eta_{TR} \eta_{BP} \eta_R$$

gde je  $\eta_{BP}$  – stepen korisnosti bočnog prenosnika.

### Hidromehaničke transmisije sa hidrodinamičkim prenosnikom u paralelnoj vezi

Osnovni cilj postavljanja HDP u paralelnu vezu jeste da se poveća stepen korisnosti i dobiju manji gabariti transmisije. Da bi se to ostvarilo potrebno je da se HDP nalazi u sklopu mehaničkog prenosnika, čineći hidromehanički prenosnik (HMP), i da prenosi manji deo snage, od ukupne koju prenosi HMT, dok preostalu snagu prenosi mehanički deo HMT. Ova dva toka treba da se superponiraju u jedan tok, što omogućuje diferencijal. Međutim, pri realizaciji ovakve

veze mogu da se jave određeni konstrukcioni problemi.

Na slici 6 prikazane su dve uopštene blok šeme HMT kojima se može predstaviti veliki broj realizovanih transmisija brzohodnih guseničnih vozila.

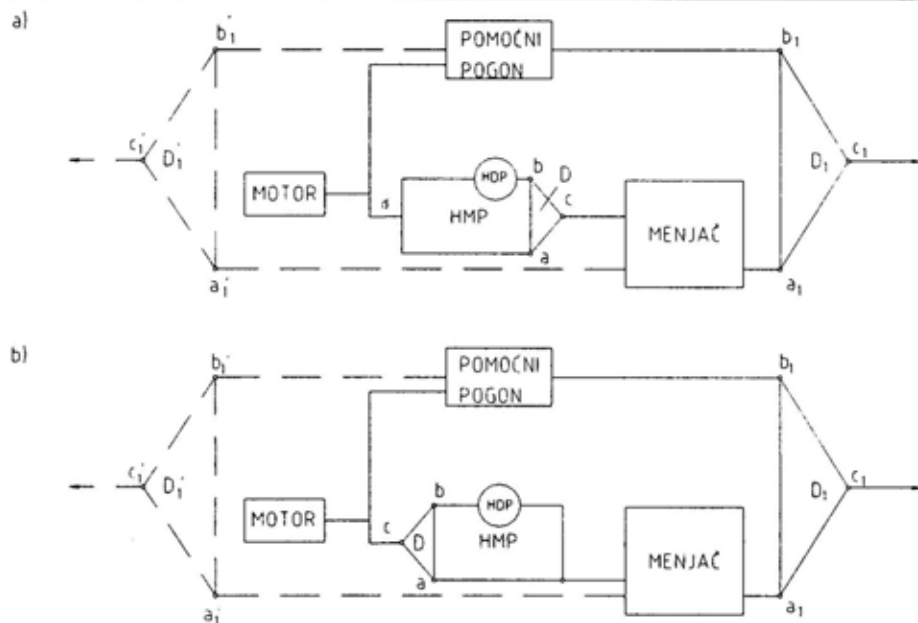
U kombinaciji sa HDP uglavnom se koriste jednostepeni diferencijalni prenosnici sa tri osnovna elementa (centralni zupčanik, nosač satelita i zupčanik sa unutrašnjim ozubljenjem). Najčešće primenjene kombinacije HDP i diferencijala, kod realizovanih HMT, prikazane su na sl.7.

Realizovane HMT mogu da realizuju pravolinijsko kretanje na dva načina. Kod prvog, koji je uglavnom zastupljen kod najvećeg broja realizovanih HMT, elementi pomoćnog pogona pri pravolinijskom kretanju su nepokretni, a kod drugog, koji se retko sreće, elementi pomoćnog pogona pri pravolinijskom kretanju se obrću. U prvom slučaju obrtni moment motora se prenosi na HMP i dalje preko menjača na bočne prenosnike, dok se u drugom slučaju obrtni moment motora deli na HMP (veći deo) i na pomoćni pogon (manji deo). Kinematski gledano to znači da će u prvom slučaju broj obrtaja centralnog zupčanika SPP biti  $n_{a1} = 0$ , a u drugom  $n_{a1} \neq 0$  (slika 8).

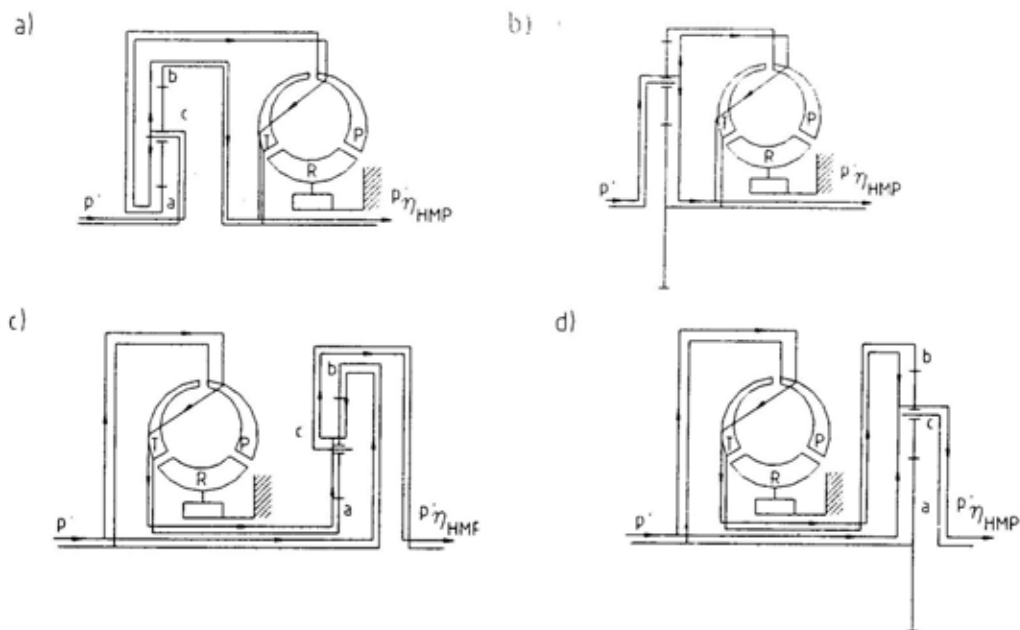
Kod oba slučaja potrebno je odrediti zajedničke režime rada motora i HDP, samo što je to nešto složenije.

U slučaju kada je  $n_{a1} = 0$ , moment HMP treba izraziti u funkciji od momenta pumpnog kola HDP ( $M_p$ ) i redukovati ga na vratilo pogonskog motora.

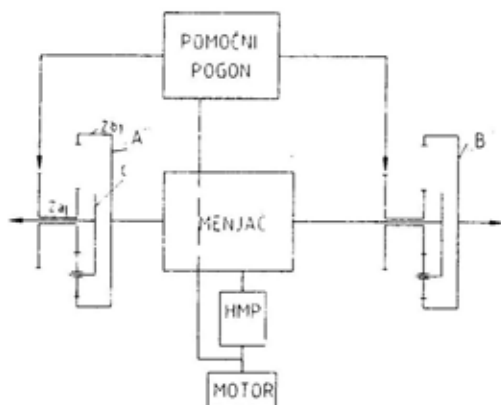
Za kinematske šeme (slika 7) određeni su izrazi za: redukovane obrtne momente HMP ( $M_{RHMP}$ ), izlazne momente iz HMP ( $M_{IHMP}$ ), kinematske prenosne od-



Sl. 6 – Blok šeme HMT sa HDP u paralelnoj vezi:  
 a) sa HDP na ulazu u diferencijal; b) sa HDP na izlazu iz diferencijala



Sl. 7 – Najčešće kombinacije hidromehaničkog prenosnika: a i b – sa diferencijalom na izlazu; c i d – sa diferencijalom na ulazu



Sl. 8 – Blok šema HMT sa sumirajućim diferencijalima:

A – sa nosačem satelita kao izlaznim elementom;  
B – sa zupčanikom sa unutrašnjim ozubljenjem kao izlaznim elementom

nose od motora do pumpnog kola ( $i_{M-P}$ ), ukupni kinematski prenosni odnos HMP ( $i_{HMP}$ ) i energetska prenosni odnos HMP ( $i_{HMP}^*$ ):

– za slučaj prikazan na slici 7a:

$$M_{RHMP} = M_p \left(1 + \frac{k}{\eta}\right) \quad (11)$$

$$M_{iHMP} = M_{RHMP} i_{HMP}^* \eta_{HMP} = M_p \left(\frac{k}{\eta} + K_{HDP}\right) \quad (12)$$

$$i_{M-P} = \frac{1 + i'_{HDP}}{1 + k} \quad (13)$$

$$i_{HMP} = \frac{1 + ki'_{HDP}}{i'_{HDP}(1 + k)} \quad (14)$$

$$i_{HMP}^* = \frac{k_{HDP} + \frac{k}{\eta}}{1 + \frac{k}{\eta}} \quad (15)$$

– za slučaj prikazan na slici 7b:

$$M_{RHMP} = M_p \left(1 + \frac{1}{k\eta}\right) \quad (16)$$

$$M_{iHMP} = M_p K_{HDP} \left(1 + \frac{k}{\eta}\right) \quad (17)$$

$$i_{M-P} = \frac{i'_{HDP} + k}{1 + k} \quad (18)$$

$$i_{HMP} = \frac{i'_{HDP} + k}{i'_{HDP}(1 + k)} \quad (19)$$

$$i_{HMP}^* = \frac{1 + K_{HDP}k\eta}{1 + k\eta} \quad (20)$$

– za slučaj prikazan na slici 7c:

$$M_{RHMP} = M_p \left(1 + \frac{kK_{HDP}}{\eta}\right) \quad (21)$$

$$M_{iHMP} = M_p K_{HDP} \left(1 + \frac{k}{\eta}\right) \quad (22)$$

$$i_{M-P} = 1 \quad (23)$$

$$i_{HMP} = \frac{1 + k}{1 + ki'_{HDP}} \quad (24)$$

$$i_{HMP}^* = \frac{1 + \frac{k}{\eta}}{\frac{1}{K_{HDP}} + \frac{k}{\eta}} \quad (25)$$

– za slučaj prikazan na slici 7d:

$$M_{RHMP} = M_p \left(\frac{k\eta + K_{HDP}}{k\eta}\right) \quad (26)$$

$$M_{iHMP} = M_p K_{HDP} \left(\frac{k\eta + 1}{k\eta}\right) \quad (27)$$

$$i_{M-P} = 1 \quad (28)$$

$$i_{HMP} = \frac{1 + k}{1 + ki'_{HDP}} \quad (29)$$

$$i_{HMP}^* = \frac{1 + k\eta}{1 + \frac{k}{K_{HDP}}\eta} \quad (30)$$

gde je:

$\eta$  – stepen korisnosti unutrašnjeg prenosa diferencijala,



$i_{HMP}^*$  – energetski prenosni odnos HMP,  
 $\eta_{HMP}$  – stepen korisnosti HMP.

Na osnovu izraza za redukovani moment crtaju se krive opterećenja HMP u funkciji od  $M_p$ ,  $n_p$  i  $\lambda_p$ , za određeni broj vrednosti recipročnog kinematskog prenosnog odnosa ( $i_{HDP}'$ ). Broj obrtaja pumpnog kola određuje se prema izrazu:  $n_p = n_M / i_{M-P}$  gde je  $i_{M-P}$  prenosni odnos od motora do pumpnog kola.

Tačke koje odgovaraju režimima zajedničkog rada motora i HMP dobijaju se kao preseki momentne krive motora i parabola opterećenja, koje su definisane sledećim izrazima:

– za slučaj sa izlaznim SPP tip A (slika 8):

$$n_{a1} \neq 0$$

$$M'_m = M_{RHMP} \left( 1 + \frac{i_{HMP}^* i_{mi} \eta_{mi}}{i_{PP} k_1 \eta_{PP} \eta_1} \right) \quad (31)$$

$$n_{a1} = 0$$

$$M'_m = M_{RHMP} \quad (32)$$

– za slučaj sa izlaznim SPP tipa B (slika 8):

$$n_{a1} \neq 0$$

$$M'_m = M_{RHMP} \left[ 1 + \frac{i_{HMP}^* i_{mi} \eta_{mi}}{i_{PP} \eta_{PP} (1 + k_1 \eta_1)} \right] \quad (33)$$

$$n_{a1} = 0$$

$$M'_m = M_{RHMP} \quad (34)$$

gde je:

$i_{mi}$  – prenosni odnos u menjaču,  
 $\eta_{mi}$  – stepen korisnosti menjača,  
 $i_{PP}$  – prenosni odnos pomoćnog pogona,  
 $\eta_{PP}$  – stepen korisnosti pomoćnog pogona,  
 $k_1$  – unutrašnji prenosni odnos izlaznog SPP,  
 $\eta_1$  – stepen korisnosti izlaznog SPP.

Izrazi za  $M_{RHMP}$  i  $i_{HMP}^*$ , zavisno od usvojene kinematske šeme HMP, odre-

đuju se prema izrazima (11), (16), (21), (26) (15), (20), (25) i (30).

Na osnovu izraza za  $M'_m$ , za određene vrednosti  $i_{HMP}^*$  i  $n_p$  ( $n_p = n_M / i_{M-P}$ ), crtaju se krive opterećenja HMP. U preseku ovih krivih sa momentnom krivom motora dobijaju se tačke koje odgovaraju režimima zajedničkog rada motora i HMP.

Da bi se nacrtao dijagram vuče potrebno je odrediti brzine kretanja vozila u pojedinim stepenima prenosa i sile vuče ili specifične sile vuče.

Brzine se određuju prema izrazu:

$$V_i = 0,377 r_{pt} n_{pt} \quad (35)$$

gde je:

– za slučaj sa izlaznim SPP tip A (slika 8):

$$n_{a1} = 0$$

$$n_{pt} = n_M \frac{k}{i_{HMP} i_{mi} i_{bp} (1 + k)} \quad (36)$$

$$n_{a1} \neq 0$$

$$n_{pt} = n_M \frac{i_{HMP} i_{mi} + k i_{PP}}{i_{HMP} i_{mi} i_{PP} i_{bp} (1 + k)} \quad (37)$$

– za slučaj sa izlaznim SPP tipa B (slika 8):

$$n_{a1} = 0$$

$$n_{pt} = n_M \frac{1 + k}{i_{HMP} i_{mi} i_{bp} k} \quad (38)$$

$$n_{a1} \neq 0$$

$$n_{pt} = n_M \frac{(1 + k) i_{PP} - i_{HMP} i_{mi}}{i_{HMP} i_{mi} i_{PP} i_{bp} k} \quad (39)$$

Sile vuče na pogonskim točkovima na osnovu sledećih izraza:

– za slučaj sa izlaznim SPP tipa A (slika 8):

$$n_{a1} = 0$$

$$F_{pt} = M_M \frac{i_{HMP}^* i_{mi} i_{bp} \eta_{mi} \eta_{bp} (1 + k_1 \eta_1)}{r_{pt} k_1 \eta_1} \quad (40)$$

$$n_{a1} \neq 0$$

$$F_{pt} = M_M \frac{i_{HMP}^* i_{mi} i_{pp} i_{bp} \eta_{mi} \eta_{pp} \eta_{bp} (1 + k \eta_l)}{r_{pt} (i_{HMP}^* i_{mi} \eta_{mi} + i_{pp} k \eta_{pp} \eta_l)} \quad (41)$$

– za slučaj sa izlaznim SPP tipa B (slika 8):

$$n_{a1} = 0$$

$$F_{pt} = M_M \frac{i_{HMP}^* i_{mi} i_{bp} k_1 \eta_{mi} \eta_l \eta_{bp}}{r_{pt} (1 + k_1 \eta_l)} \quad (42)$$

$$n_{a1} \neq 0$$

$$F_{pt} = M_M \frac{(i_{pp} \eta_{pp} + i_{pp} k_1 \eta_{pp} \eta_l) i_{HMP}^* i_{mi} i_{bp} \eta_{mi} \eta_{bp}}{r_{pt} (i_{HMP}^* i_{mi} \eta_{mi} + i_{pp} \eta_{pp} + i_{pp} k_1 \eta_{pp} \eta_l)} \quad (43)$$

Kada su poznate sile vuče na pogonskim točkovima one se mogu odrediti i na gusenicama:

$$F_{gi} = F_{pti} \eta_g \quad (44)$$

odnosno specifične sile vuče:

$$f_i = \frac{F_{gi}}{G} \quad (45)$$

Pošto su poznate brzine i sile vuče, odnosno specifične sile vuče, može se nacrtati dijagram vuče.

## Zaključak

Hidromehaničke transmisije, i pored određenih nedostataka, brzohodnom guseničnom vozilu obezbeđuju bolje performanse od mehaničkih transmisija, naročito u pogledu vuče i manevarskih karakteristika.

Pri proračunu vučnih i dinamičkih karakteristika vozila sa HMT postoje određene specifičnosti o kojima treba voditi računa:

– kinematski prenosni odnos transmisije sastoji se od prenosnog odnosa mehaničkog prenosnika i kinematskog prenosnog odnosa HDP;

– proračunu brzina i specifičnih sila vuče prethodi određivanje režima zajedničkog rada motora i HDP;

– kod HMT kinematski prenosni odnos nije jednak energetskom prenosnom odnosu, kao u slučaju mehaničkih transmisija;

– pri proračunu specifičnih sila vuče kod mehaničke transmisije treba uzeti u obzir kinematski prenosni odnos, a za slučaj HMT energetski;

– zbog relativno malog stepena korisnosti HDP, kao radno područje treba uzeti ono čiji je stepen korisnosti veći od 0,7;

– stepen korisnosti u celom radnom području energetskog prenosnog odnosa (koeficijenta transformacije obrtnog momenta) nije konstantan ili približan konstantnom, kao kod mehaničkih transmisija.

## Literatura:

- [1] Prokofiev, N. V.: Gidravličeskie predači kolesnih i guseničnih mašin, Ministarstvo odbrane SSSR, Moskva, 1960.
- [2] Nosov, A. N.: Rasčet i konstruirovanie guseničnih mašin, Mašinstroenije, Lenjingrad, 1972.
- [3] Gavrilenko, B. A.: Gidrodinamičeskie predači, Mašinstroenije, Moskva, 1980.
- [4] Radetić, V. M.: Istraživanje hidromehaničkih transmisija za brzohodna gusenična vozila sa posebnim osvrtom na pojavu cirkulacije i rekuperacije snage, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.

## UTICAJ MESTA UGRADNJE INERCIJALNOG MERNOG BLOKA I AKCELEROMETARA NA GREŠKU U ODREĐIVANJU POZICIJE AVIONA

UDC: 623.746 : 629.7.052 : 531.768

### Rezime:

*U ovom članku analiziran je uticaj mesta ugradnje inercijalnog mernog bloka (IMB) u avionu i mesta ugradnje akcelometara u IMB na tačnost određivanja pozicije pomoću besplatformskog inercijalnog navigacijskog sistema (BINS). Pokazano je da se ovi uticaji ne mogu uvek zanemariti. Izračunata je ukupna greška u određivanju pozicije aviona ako se IMB ugrađuje van centra rotacije aviona, a akcelometri van centra IMB. Predložena je optimalna orijentacija akcelometara u IMB-u, kako bi se minimizirao uticaj ugradnje akcelometara van centra IMB na tačnost određivanja pozicije aviona. Predložen je i način kompenzacije greške.*

*Ključne reči: inercijalni merni blok, akcelometar, ugradnja, mesto ugradnje, tačnost, pozicija.*

---

## SIZE EFFECT OF THE INERTIAL MEASUREMENT UNIT AND INSIDE IMU ACCELEROMETERS ON AIRCRAFT POSITION ERROR

### Summary:

*This paper analyzes the mounting offset size effect of the inertial measurement unit (IMU) in aircraft and accelerometers mounting offset size effect in the IMU on the accuracy of strapdown inertial navigation system (SDINS). It is also shown that these effects cannot be always neglected. The total size effect error for the IMU has been computed. An accelerometers optimum orientation inside the IMU has been proposed to minimize size effects on the accuracy of navigation parameters. A manner to compensate these size effects has been proposed as well.*

*Key words: inertial measurement unit, accelerometer, mounting, size effect, accuracy, position.*

---

### Uvod

Inercijalni merni blok je najveći i najskuplji deo BINS-a. Savremeni IMB sastoji se od sledećih, najčešće redundantnih delova: senzora (žiroskopi i akcelometri), bloka za napajanje, procesora i magistrale podataka. Idealno mesto za

ugradnju IMB nalazi se u centru rotacije aviona, a akcelometara u centru IMB. Odstupanje mesta ugradnje IMB od centra ose rotacije aviona i akcelometara od centra IMB utiče na pojavu greške u merenju ubrzanja aviona, a samim tim i pozicije aviona u referentnom (inercijalnom) koordinatnom sistemu.

U literaturi [1] pokazano je da ugradnja jednog akcelerometra van centra rotacije aviona izaziva „grešku zbog ugradnje akcelerometra van centra rotacije aviona“, ali ako IMB ima više akcelerometara (najčešće 3 i više) onda ugradnja IMB van centra rotacije aviona i akcelerometara van centra IMB izaziva pojavu „greške zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona“ i „greške zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB“.

U ovom radu prikazan je postupak izračunavanja ukupne greške u određivanju pozicije aviona ako se IMB ugradi van centra rotacije aviona, a akcelerometri van centra IMB. Ukazano je da se optimalnom orijentacijom akcelerometara u IMB, greške u određivanju pozicije aviona ili rakete, zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona i akcelerometara van centra IMB, mogu minimizirati i kompenzirati koristeći signale od žiroskopa, koji su sastavni delovi IMB. Predložen je način i algoritam kompenzacije ovih grešaka.

U literaturi [1–3], uticaj mesta ugradnje senzora u avionu na tačnost određivanja pozicije, koju daje BINS, označava se kao „size effect“ ili „greška zbog ugradnje“.

Izračunavanje svih grešaka obuhvaćenih ovim radom izvedeno je u paketu MathCad Professional 7 na računaru PC II Pentium.

### Izračunavanje greške ubrzanja zbog ugradnje akcelerometra van centra rotacije aviona

Na slici 1 prikazana su dva koordinatna sistema: nepokretni (inercijalni) sa osama  $(X, Y, Z)$ , koji je vezan na Zemlju, i pokretni  $(x, y, z)$ , koji je vezan za avion.

Tačka P vezana je za pokretni koordinatni sistem i pretpostavlja se da je u njoj ugrađen akcelerometar K iz sastava IMB. Vektori  $\vec{R}_0, \vec{R}_K$  i  $\vec{r}_K$  su vektori položaja povezani jednačinom:

$$\vec{R}_K = \vec{R}_0 + \vec{r}_K \quad (1)$$

Uglovna brzina pokretnog koordinatnog sistema u odnosu na nepokretni označena je sa  $\vec{\omega}$ . Koristeći oznake za vektor apsolutnog ubrzanja pokretne tačke u odnosu na nepokretni koordinatni sistem, prema [2] (jednačina 2–29), ubrzanje tačke P, odnosno akcelerometra K, je:

$$\vec{a}_P = \vec{a}_K = \frac{d^2 \vec{R}_0}{dt^2} + \left[ \left( \frac{d}{dt} \right)_m + \vec{\omega} \right] \vec{v}_m + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r}_K + \vec{\omega} \times \left[ \left( \frac{d}{dt} \right)_m + \vec{\omega} \right] \vec{r}_K$$

ili

$$\vec{a}_K = \frac{d^2 \vec{R}_0}{dt^2} + \vec{a}_m + 2\vec{\omega} \times \vec{v}_m + \vec{\omega} \times \vec{r}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_K) \quad (1)$$

gde je „ $\times$ “ vektorsko množenje,  $\vec{v}_m$  relativna brzina tačke P u odnosu na pokretni sistem  $Oxyz$ , a operator  $\left( \frac{d}{dt} \right)_m$  se odnosi na izvod po vremenu veličina u pokretnom koordinatnom sistemu.

Koordinatni početak Q je nepokretna tačka u inercijalnom prostoru, a koordinatni početak O je centar rotacije aviona. Pošto je akcelerometar K čvrsto vezan za telo aviona, onda je:

$$\vec{a}_m = 0 \text{ i } \vec{v}_m = 0 \quad (2)$$

Ubrzanje duž ulazne ose akcelerometra K je skalarni proizvod vektora ubrzanja  $\vec{a}_K$  i jediničnog vektora  $\vec{u}_K$ , čiji je pravac duž njegove ulazne ose, tj.:

$$\vec{a}_{KI} = \vec{a}_K \cdot \vec{u}_K \quad (3)$$

Ako je akcelerometar K idealno ugrađen, odnosno ugrađen u tački O centra rotacije, onda je

$$\vec{r}_K = 0 \quad (4)$$

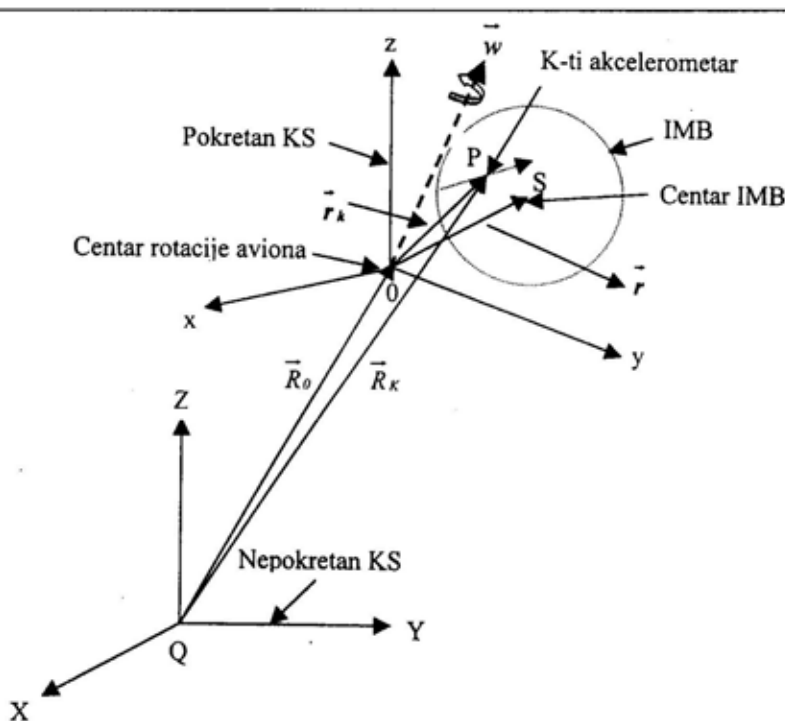
Kada se izraz (4) zameni u (2), dobija se da je projekcija apsolutnog ubrzanja na pravac ulazne ose akcelerometra:

$$a_{KI, \vec{r}_K=0} = \frac{d^2 \vec{R}_0}{dt^2} \cdot u_K \quad (5)$$

Kod realne ugradnje, akcelerometar K se nalazi na rastojanju  $\vec{r}_K$  od centra rotacije O aviona i meri ubrzanje  $a_{KI}$ . Imajući u vidu da je  $\vec{a}_m = 0$  i  $\vec{v}_m = 0$ , razlika između komponente apsolutnog ubrzanja u pravcu ulazne ose akcelerometra, u slučaju njegove ugradnje van centra rotacije, i komponente apsolutnog ubrzanja, u slučaju njegove ugradnje u centar rotacije, jeste:

$$\begin{aligned} \varepsilon_K &= a_{KI} - a_{KI, \vec{r}_K=0} = \\ &= \left[ \vec{\omega} \times \vec{r}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_K) \right] \cdot \vec{u}_K \end{aligned} \quad (6)$$

Zapaža se da prvi član jednačine (6) predstavlja uticaj tangencijalnog ubrzanja, dok drugi član predstavlja uticaj centripetalnog ubrzanja tačke P. Iz jednačine (6) može se videti da je razlika ubrzanja,



Sl. 1 – Geometrijski odnosi između koordinatnih sistema

usled ugradnje akcelerometra K van centra rotacije aviona O, proporcionalna rastojanju  $\vec{r}_K$  između akcelerometra K i centra ose rotacije O. Dvostrukim integriranjem razlike ubrzanja  $\epsilon_K$  lako se može odrediti greška u određivanju pozicije aviona u odnosu na nepokretni koordinatni sistem.

### Izračunavanje greške ubrzanja zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona i akcelerometara van centra IMB

Ako se pretpostavi da se IMB sastoji od K akcelerometara, ukupna razlika ubrzanja tada je:

$$\vec{\epsilon} = \sum_K \{ [\vec{\omega} \times \vec{r}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_K)] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K \quad (7)$$

Ako se u jednačini (6) umesto jednog akcelerometra doda onoliko akcelerometara koliko ih ima IMB, odnosno za triadu će biti tri – U, V, W, onda je ukupna razlika ubrzanja:

$$\vec{\epsilon} = \sum_{K=1}^3 \{ [\vec{\omega} \times \vec{r}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_K)] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K$$

Vektor položaja  $\vec{r}_K$  za svaki akcelerometar može se razložiti na komponente  $\vec{r}$  i  $\vec{d}_K$ , kao što je to prikazano na slici 2.

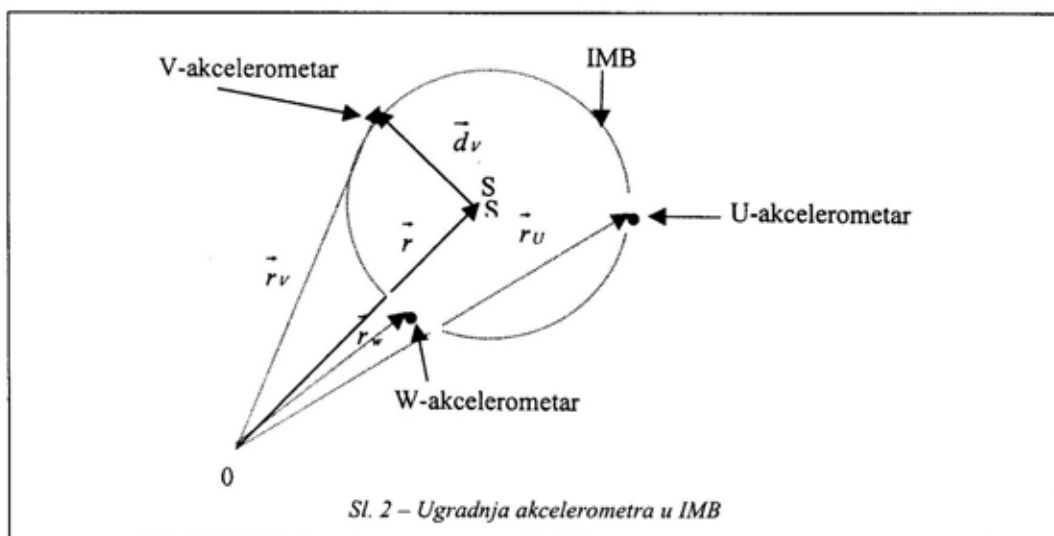
Vektor položaja  $\vec{r}$  je vektor položaja tačke S (slika 2), odnosno centra IMB, od O – centra rotacije aviona, a  $\vec{d}_K$  je vektor položaja K-tog akcelerometra u odnosu na centar S IMB. Tada je:

$$\vec{r}_K = \vec{r} + \vec{d}_K \quad (8)$$

Zamenom izraza (8) u (7), i primenom zakonitosti distribucije kod vektorskog množenja, jednačina (7) poprima sledeći oblik:

$$\vec{\epsilon} = \sum_K \{ [\vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K + \sum_K \{ [\vec{\omega} \times \vec{d}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{d}_K)] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K \quad (9)$$

Prvi član jednačine (9) pojavljuje se zbog toga što je vrednost vektora  $\vec{r} \neq 0$ .



Sl. 2 – Ugradnja akcelerometra u IMB

Ovaj član nastaje zbog ugradnje IMB van centra rotacije O aviona, i biće označen sa  $\vec{\varepsilon}_m$  i nazvan „greška zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona“.

$$\vec{\varepsilon}_m = \sum_K \{ [\vec{\omega} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K \quad (10)$$

Drugi član jednačine (9) pojavljuje se zbog toga što je vrednost vektora  $\vec{d}_K \neq 0$ . Ovaj član nastaje zbog ugradnje akcelometara van centra IMB, i biće označen sa  $\vec{\varepsilon}_c$ , i nazvan „greška zbog ugradnje akcelometara van centra IMB“.

$$\vec{\varepsilon}_c = \sum_K \{ [\vec{\omega} \times \vec{d}_K + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{d}_K)] \cdot \vec{u}_K \} \vec{u}_K \quad (11)$$

Ako se uporede jednačine (6) i (11) dolazi se do zaključka da sam akcelometar ima samo jednu vrstu greške, tj. samo „grešku zbog ugradnje akcelometra van centra rotacije aviona“, dok IMB, koji ima više akcelometara (u ovom slučaju tri), ima dve vrste greške: zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona i zbog ugradnje akcelometara van centra IMB.

#### *Greška zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona*

Greška nastaje zbog ubrzanja tačke S (u kojoj je ugrađen IMB) u odnosu na tačku O – centra rotacije aviona (slika 2). Greška u izračunavanju ubrzanja zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona prikazana je u jednačini (10). Greška u izračunavanju pozicije aviona, izazvana ugradnjom IMB van centra rotacije aviona,

reverzibilna je, što znači da ima krajnju vrednost nula, jer je početna i zadnja orijentacija tačke S u odnosu na tačku O ista. To fizički znači da je maksimalna greška u izračunavanju pozicije aviona, zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona, jednaka  $2r$ , odnosno dvostrukoj vrednosti rastojanja tačke S (u kojoj je ugrađen IMB) od tačke O, tj. centra rotacije aviona.

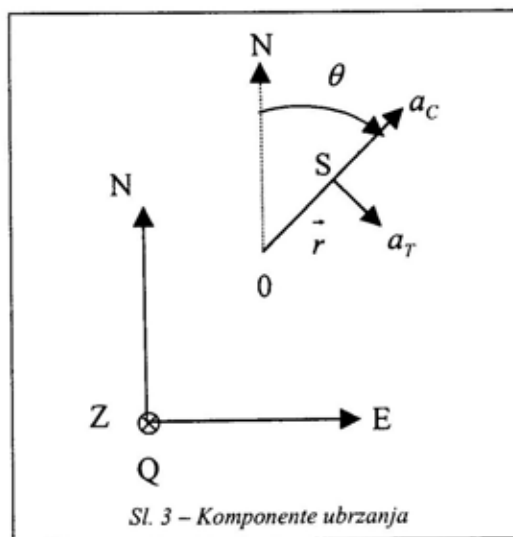
#### *Primer 1*

Neka tačka S (u kojoj je ugrađen IMB) ima uglovno kretanje (slika 3) sa centripetalnim  $a_c$  i tangencijalnim  $a_T$  ubrzanjem u ravni koja je paralelna sa ravni koju čine N i E ose geografskog koordinatnog sistema (N, E, Z), koji je nepokretan. Tada je:

$$a_c = -r\dot{\theta}^2 \quad (12)$$

$$a_T = r\ddot{\theta} \quad (13)$$

Komponente ubrzanja  $a_c$  i  $a_T$  u pravcu osa nepokretnog koordinatnog sistema (N, E, Z) su:



$$a_N = a_C \cos \theta - a_T \sin \theta \quad (14)$$

$$a_E = a_C \sin \theta + a_T \cos \theta \quad (15)$$

Ako je  $\theta = \Omega \cdot t$ , onda je  $\dot{\theta} = \Omega$ , tj. konstantno, pa je  $\ddot{\theta} = 0$  i jednačine (12) i (13) postaju:

$$a_C = -r\Omega^2 \text{ i } a_T = 0$$

Zamenom u (14) i (15), one postaju:

$$a_N = -r\Omega^2 \cos(\Omega \cdot t) \quad (16)$$

$$a_E = -r\Omega^2 \sin(\Omega \cdot t) \quad (17)$$

Ako se jednačine (16) i (17) dvostruko integre, dobiće se rastojanja:

$$D_N = r \cos(\Omega \cdot t) \quad (18)$$

$$D_E = r \sin(\Omega \cdot t) \quad (19)$$

Promena rastojanja za razliku vremena od krajnjeg trenutka (vremena)  $t$  i početnog  $t_0$  je:

$$\Delta D_N = r \cdot (\cos \Omega \cdot t - \cos \Omega \cdot t_0) \quad (20)$$

$$\Delta D_E = r \cdot (\sin \Omega \cdot t - \sin \Omega \cdot t_0) \quad (21)$$

Ukupna promena rastojanja, odnosno greška u izračunavanju puta zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona, iznosi:

$$\Delta D = \sqrt{\Delta D_N^2 + \Delta D_E^2} = r \cdot \sqrt{2 - 2 \cdot \cos(\Omega \cdot t - \Omega \cdot t_0)} \quad (22)$$

$$\max(\Delta D) = 2 \cdot r \quad (23)$$

Maksimalna greška koja je posledica ugradnje IMB na rastojanju  $r$  od cen-

tra rotacije aviona nije u funkciji vremena leta aviona. U praksi, vrednost  $r$  je mnogo manja od ukupne greške INS, tako da se može zanemariti.

### *Greška zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB*

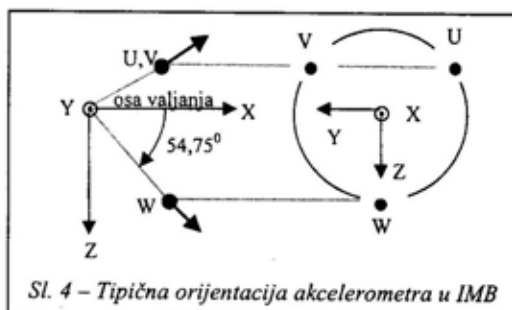
Ova greška zavisi od mesta ugradnje akcelerometara u IMB, kao i od smeru rotacije aviona. Na slici 4 prikazan je jedan od načina ugradnje triade (tri akcelerometra – U, V i W) u IMB i odnos njihovih osa sa osama aviona X, Y i Z. Treba primetiti da X-osa, osa valjanja aviona sa ulaznim (mernim) osama akcelerometara U, V i W čini isti ugao od  $54,74^\circ$ . Može se dokazati da je ovaj ugao orijentacije akcelerometara optimalan sa stanovišta najmanje varijanse greške merenja ubrzanja. Osa Y je osa propinjanja aviona.

Pretpostavlja se da avion rotira samo oko ose valjanja. U tom slučaju je vektor  $\dot{\vec{w}} \times \vec{d}_K$  normalan na vektor  $\vec{u}_K$ , pa je:

$$(\dot{\vec{w}} \times \vec{d}_K) \cdot \vec{u}_K = 0 \quad (24)$$

U tom slučaju jednačina (11) postaje:

$$\vec{\epsilon}_C = \sum_K \epsilon_{CK} \vec{u}_K \quad (25)$$



Sl. 4 – Tipična orijentacija akcelerometara u IMB



gde je:

$$\varepsilon_{CK} = [\bar{w} \times (\bar{w} \times \bar{d}_K)] \cdot \bar{u}_K \quad (26)$$

komponenta vektora greške  $\bar{\varepsilon}_C$ , nastala ugradnjom K-tog akcelerometra.

Jednačina (26), na osnovu pravila mešovitog proizvoda vektora [8] može se prikazati i u matricnom obliku:

$$\varepsilon_{CK} = \underline{u}_K^T \underline{\Omega}^2 \underline{d}_K \quad (27)$$

Eksponent  $T$  označava transponovanu matricu.

Veza između vektorskog i matricnog označavanja prikazana je u [2] (jednačine 2-26), a u ovom slučaju glasi:

$$\bar{w} \leftrightarrow \underline{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\bar{d}_K \leftrightarrow \underline{d}_K = \begin{bmatrix} d_{Kx} \\ d_{Ky} \\ d_{Kz} \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\bar{u}_K \leftrightarrow \underline{u}_K = \begin{bmatrix} u_{Kx} \\ u_{Ky} \\ u_{Kz} \end{bmatrix} \quad (30)$$

### Primer 2

Ako se pretpostavi da avion ima samo uglovnu brzinu oko X-ose, onda je  $w_y = w_z = 0$ , i ako je:

$$\underline{d}_U = \begin{bmatrix} 2,00 \\ -2,43 \\ -1,42 \end{bmatrix}, \underline{d}_V = \begin{bmatrix} 2,00 \\ 2,43 \\ -1,42 \end{bmatrix}, \underline{d}_W = \begin{bmatrix} 2,00 \\ 0 \\ 2,8 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_U = \begin{bmatrix} 0,577 \\ -0,707 \\ -0,408 \end{bmatrix}, \underline{U}_V = \begin{bmatrix} 0,577 \\ 0,707 \\ -0,408 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_W = \begin{bmatrix} 0,577 \\ 0 \\ 0,816 \end{bmatrix}, \underline{\Omega}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -w_x^2 & 0 \\ 0 & 0 & -w_x^2 \end{bmatrix}$$

gde je  $\underline{d}_K$  izraženo u cm.

Zbog simetrične ugradnje, jednačina (27) poprima oblik:

$$\varepsilon_{CK} = -(d_{Ky}u_{Ky} + d_{Kz}u_{Kz})w_x^2 = -2,30w_x^2$$

i važi za sve akcelerometre.  $\varepsilon_{CK}$  je izražena u  $\frac{cm}{s^2}$ , dok je  $w_x$  izražena u  $\frac{rad}{s}$ .

Projekcija  $\varepsilon_{CK}$  na osu valjanja X je:

$$\varepsilon_{CKX} = 0,577 \varepsilon_{CK} = -1,325w_x^2 \left( \frac{cm}{s^2} \right)$$

Ukupna greška u izračunavanju komponente predenog puta u pravcu X-ose, zbog nepravilne ugradnje tri akcelerometra (U, V i W) u IMB, jeste:

$$\varepsilon_{CX} = 3 \varepsilon_{CKX} \approx -4w_x^2 \left( \frac{cm}{s^2} \right) \quad (31)$$

Jednačina (31) pokazuje da greška zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB zavisi od uglovne brzine  $w_x$  i nije reverzibilna, pošto  $w_x^2$  ne menja predznak. Ova činjenica utiče na to da je ukupna greška u izračunavanju predenog puta, zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB, kumulativna, odnosno uvećava se s vremenom, što se može i dokazati. Pretpostavka je da uglovna brzina valjanja aviona ima maksimalnu amplitudu  $0,8 \frac{rad}{s}$  ( $\approx 46 \frac{^\circ}{s}$ ) i maksimalnu učestanost  $1 \text{ Hz}$ , odnosno:

$$w_x = 0,8 \cos[2\pi(1) \cdot t]$$

Na osnovu izraza (31)

$$\varepsilon_{CX} = -4 \cdot 0,8^2 \cos^2 2\pi t = -1,27(1 + \cos 4\pi t) \quad (32)$$

Ako se ova jednačina dvostruko integrirali dobiće se greška u izračunavanju pozicije aviona:

$$\Delta X = -1,27 \left( \frac{t^2}{2} + \frac{1 - \cos 4\pi t}{4\pi} \right) \quad (33)$$

U praksi se drugi član jednačine (33) zanemaruje, tako da se dobija:

$$\Delta X = -0,635 \cdot t^2 \text{ (cm)}$$

Ukoliko avion leti 0,5 h ili 1800 s, onda je greška u navigaciji (izračunavanje pozicije):

$$\Delta X = -20574 \text{ (m)} \quad (34)$$

Ovolika greška u izračunavanju pozicije aviona po X-osi inercijalnog navigacijskog sistema sigurno se ne može zanemariti, što nameće potrebu njene minimizacije na osnovu:

- optimalne orijentacije akcelorometara u IMB,
- kompenzacije preostale greške u algoritmu za izračunavanje pozicije aviona.

## Analiza orijentacije akcelorometara u IMB radi minimizacije greške zbog ugradnje akcelorometara van centra IMB

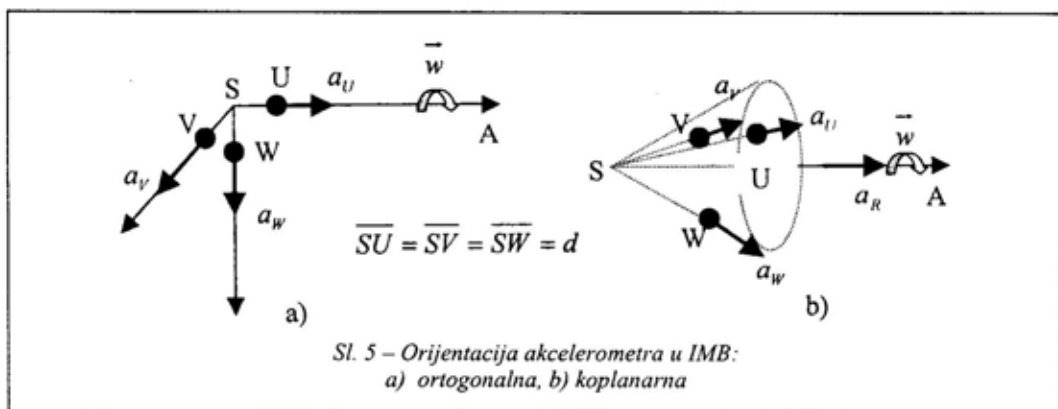
Razmotriće se dva tipa orijentacije akcelorometara u IMB (slika 5):

- ortogonalna orijentacija,
- koplanarna (konusna) orijentacija.

Pretpostavićemo da je kod oba tipa orijentacije centar IMB na osi A oko koje avion rotira, i da su tri akcelorometra ugrađena na istom rastojanju  $d$  od tačke S, koja predstavlja centar IMB. Sa  $w$  je prikazana uglovna brzina aviona.

### Ortogonalna orijentacija akcelorometara u IMB

Na slici 5a) ulazna osa U-akcelorometra je u pravcu ose A, dok su ulazne ose akcelorometara V i W normalne na osu A. Imajući u vidu jednačinu (24), U-akcelorometar neće registrovati delovnije uglovnog ubrzanja  $w$ , dok će ga akcelorometri V i W registrovati, odnosno izmeriti ubrzanja  $a_V$  i  $a_W$ . Obe komponente  $a_V$  i  $a_W$  obrću se oko ose A sa uglovnom brzinom  $w$ . Ova dva ubrzanja se, uz po-



moć uglovnih brzina aviona koje se dobijaju od žiroskopa BINS-a, razlažu na greške ubrzanja, čije su komponente izražene u koordinatnom sistemu BINS-a. Kao što je pokazano u *Primeru 1*, ove greške ubrzanja su reverzibilne i ne doprinose ukupnoj grešci u izračunavanju pozicije aviona nakon završene rotacije. Kao rezultat dobija se da je ukupna greška u izračunavanju pozicije aviona, u slučaju ortogonalne orijentacije akcelerometara u IMB,  $\Delta D = 2\sqrt{2} d$ , koja u praksi nije velika i može se zanemariti.

### *Koplanarna orijentacija akcelerometara u IMB*

Na slici 5 b) sve ulazne ose akcelerometara čine isti ugao od  $54,74^\circ$  u odnosu na osu rotacije. Pod ovim uslovom svaki akcelerometar (U, V i W) registruje minimalno ubrzanje:

$$a_k = dw^2 \sin^2 54,74^\circ = 0,667 dw^2$$

Zbog simetrije, ukupno ubrzanje  $a_R$  duž ose rotacije ima vrednost:

$$a_R = 3a_k \cos 54,74^\circ = 1,152 dw^2$$

Ovo ukupno ubrzanje nije reverzibilno, jer  $dw^2$  ne menja predznak i prouzrokuje ukupnu grešku u navigaciji u slučaju koplanarne orijentacije akcelerometara u IMB, koja iznosi:

$$\Delta D = \frac{1}{2} a_R t^2 = 0,576 dw^2 t^2$$

Iz ove jednačine vidi se da  $\Delta D$  raste sa kvadratom vremena leta i ne sme se zanemariti.

### *Optimalna orijentacija akcelerometara u IMB radi minimizacije greške u izračunavanju puta zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB*

Na osnovu prethodnih razmatranja može se zaključiti da je optimalna orijentacija akcelerometara u IMB, sa stanovišta minimalne greške u izračunavanju pređenog puta zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB, ortogonalna orijentacija, odnosno da ulazna osa jednog akcelerometra bude usmerena u pravcu gde se očekuje maksimalna rotacija aviona. Ortogonalna orijentacija akcelerometara nije optimalna sa stanovišta drugih kriterijuma, kao što su pogodnost arhitekture IMB za detekciju i identifikaciju neispravnih akcelerometara i dr.

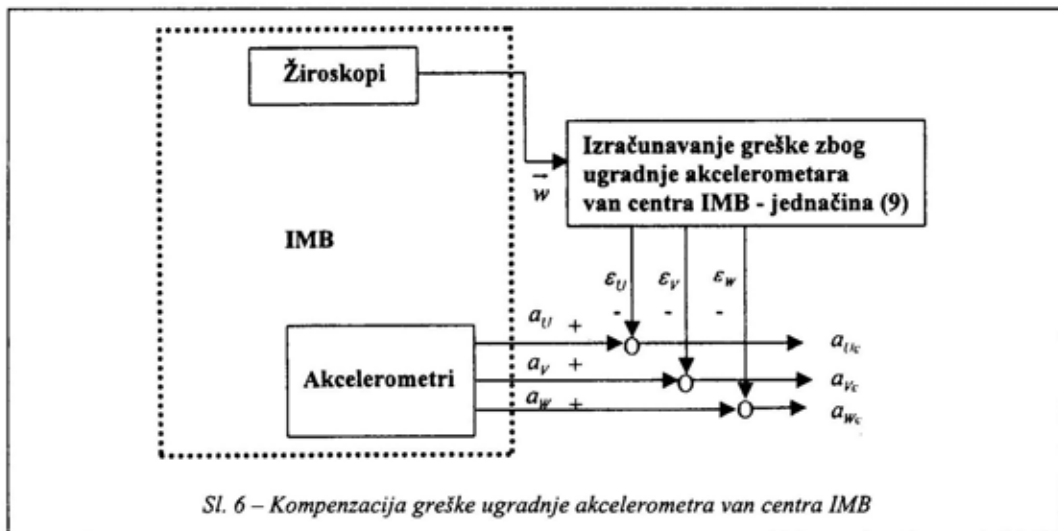
### **Kompenzacija greške ugradnje akcelerometara van centra IMB**

Kompenzacija greške ugradnje akcelerometara van centra IMB obavlja se uz pomoć uglovnih brzina od žiroskopa i nezavisno od tipa orijentacije akcelerometara u IMB (slika 6).

Za svaki IMB vektor položaja  $\vec{d}_K$  svih akcelerometara je poznat. Ako je IMB ugrađen u avionu, onda se centar rotacije ne menja, odnosno centar rotacije aviona se minimalno menja, dok se kod rakete mnogo više menja. Pošto je vektor  $\vec{r}$  pozicije IMB u avionu poznat, poznat je i vektor pozicije  $\vec{r}_K = \vec{r} + \vec{d}_K$ .

Ukoliko je poznat vektor uglovnih brzina aviona  $\vec{\omega}$ , onda je algoritam za kompenzaciju greške ugradnje akcelerometara van centra IMB dat formulom:

$$a_{Kc} = a_K - \epsilon_K$$



gde je  $a_{Kc}$  – kompenzirano ubrzanje,  $a_K$  – izmereno ubrzanje i  $\varepsilon_K$  – greška data jednačinom (6).

U slučaju rakete, centar rotacije se menja u letu i zakonitost te promene obično je poznata. U tom slučaju, u jednačini (4) vektor položaja  $\vec{r}_K$  se zamenjuje vektorom  $\vec{d}_K$ . Može se koristiti i unapred statistički ispitana promena vektora  $\vec{r}_K$ .

Treba naglasiti da se i u slučaju idealnog izračunavanja ne može eliminisati greška u izračunavanju pozicije, odnosno predenog puta, zbog mesta ugradnje akcelometara u IMB. Idealno izračunavanje znači da se koristi beskonačan broj uzoraka uglovne brzine, zaokruživanje brojeva u procesoru bez greške, zaokruživanje algoritama na navigaciju bez greške, beskonačnu brzinu izračunavanja u procesoru i izračunavanje u procesoru bez kašnjenja.

Zbog svega toga senzori IMB (akcelerometri i žiroskopi) moraju imati odlične dinamičke karakteristike. Ukoliko brzina odabiranja signala i brzina izračunavanja nisu dovoljno velike, to će uticati na pojavu ozbiljnih računskih grešaka.

## Zaključak

Pri konstruisanju višenamenskog borbenog aviona i planiranja prostora za ugradnju važnih avionskih sistema, IMB, odnosno INS, obavezno treba ugraditi u centar rotacije aviona, a akcelerometre, koji su sastavni deo svakog IMB, u centar IMB. Bilo kakvo odstupanje ugradnje IMB od centra rotacije aviona i akcelometara od centra IMB unosi grešku u izračunavanju pozicije aviona, koja se mora softverski kompenzirati u algoritmima za navigacijske proračune svakog INS.

Greška koja nastaje u izračunavanju pozicije aviona, zbog ugradnje akcelometara van centra IMB, mnogo je veća od greške koja nastaje u izračunavanju pozicije aviona zbog ugradnje IMB van centra rotacije aviona. U slučaju ugradnje akcelometara 2 cm van centra IMB, i bez kompenzacije greške, greška u izračunavanju pozicije aviona biće više od 20 km pri kosinusnoj promeni njegove uglovne brzine amplitude  $\approx 46 \frac{\circ}{s}$  i učestanosti 1 Hz i pri trajanju leta od 1800 s.

Da bi se minimizirale greške zbog ugradnje akcelerometara van centra IMB, pri konstrukciji IMB-a ulaznu osu jednog akcelerometra treba usmeriti u pravcu ose oko koje se očekuje maksimalna rotacija aviona ili rakete. Ako se pri konstrukciji IMB to uzme u obzir, ipak će se pojaviti mala greška koja se može eliminisati softverskim putem, koristeći signale od žiroskopa koji se nalaze u sastavu IMB.

INS treba da ima IMB čije komponente (žiroskopi i akcelerometri) imaju odlične dinamičke karakteristike kao i

brz procesor, kako bi se navedene greške svele na najmanju moguću meru.

*Literatura:*

- [1] Pitman, G. R.: Inertial Guidance, John Wiley & Sons Inc, New York, 1962.
- [2] Broxmeyer, C.: Inertial navigation systems, McGraw-Hill, New York, 1964.
- [3] Rendulić, Z.: Mehanika leta, VINC, Beograd, 1987.
- [4] Яворский, Б., Детлаф А.: Справочник по физике, Наука, Москва, 1990.
- [5] Hamming, R. W.: Digital Filters, Prentice-Hall, Inc., 1977.
- [6] Algrain, M., Saniie, J.: Estimation of 3-D Angular Motion Using Gyroscopes and Linear Accelerometers, IEEE Transactions on AES, Vol. 27, No. 6, November 1991.
- [7] Mitrinović, D. S., Mihailović, D. i Vasić P. M.: Linearna algebra, Polinomi, Analitička geometrija, Građevinska knjiga, Beograd, 1973.
- [8] Бронштейн, И. Х., Семендяев, К. А.: Справочник по математике, Наука, Москва, 1986.

**Miloš Merdžanović,**  
potporučnik, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

**Mr Nedeljko Ostojić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

**Mr Željko Obrenović,**  
poručnik, dipl. inž.  
Uprava za informatiku GŠ VSCG,  
Beograd

## WEB APLIKACIJA ZA PODRŠKU TAKMIČENJIMA U VOJNOM VIŠEBOJU

UDC: 681.3.06 : 681.324 : 796.093.6 :: 355.1 (497.11: 497.16)

### Rezime:

*Rezultat u takmičenjima tipa višeboja (vojni višeboj, provera fizičkih sposobnosti pripadnika Vojske Srbije i Crne Gore, desetboj, petboj, paraski, biatlon...) izračunava se po složenijim principima nego u takmičenjima gde takmičar nastupa u samo jednoj disciplini. Postojeća rešenja informatičke podrške sportskim takmičenjima u više disciplina ne zadovoljavaju potrebe korisnika. U ovom radu predstavljena je aplikacija koja je prvenstveno namenjena za informatičku podršku takmičenjima u vojnom višeboju, a omogućava unos rezultata sa različitih lokacija, efikasan unos velikog broja podataka, distribuciju trenutnih i konačnih rezultata preko Interneta i brzo generisanje biltena.*

*Ključne reči: Web aplikacija, višeboj, sportska takmičenja, objektno orijentisano modelovanje.*

## WEB APPLICATION FOR ALL-ROUND COMPETITIONS SUPPORT

### Summary:

*Results in all-round competitions (military all-round games, physical exams for the Serbia and Montenegro Army members, decathlon, pentathlon, paraski, biathlon...) are calculated using more complex principles than in competitions where competitors take part just in one discipline. Existing solutions to that problem do not answer to all users' needs. The Web application, presented here, is primarily designed for military all-round competitions support, and allows the results input from various locations, the effective input of large amounts of data, the distribution of temporary and final results over the Internet and the quick generation of bulletin.*

*Key words: Web application, all-round games, sports competitions, object-oriented modeling.*

### Uvod

U organizaciji Katedre fizičkog vaspitanja i Katedre naoružanja sa nastavom gađanja na Vojnoj akademiji (u daljem tekstu VA) u Beogradu održavaju se mnoga sportska takmičenja. Značajno mesto među njima zauzima organizacija takmičenja u vojnom višeboju koja se organizuju na većini sportskih prvenstava u

Vojsci Srbije i Crne Gore. Ona su zastupljena i na svim nivoima, od takmičenja unutar najnižih taktičkih jedinica do prvenstva Vojske.

U Vojsci se, takode, redovno organizuju i ocenjuju provere fizičkih sposobnosti njenih profesionalnih pripadnika. S obzirom na to da se oni nalaze na udaljenim mestima, praćenje rezultata provere je otežano. Ne postoji informa-

tičko rešenje koje se primenjuje u svim jedinicama, već se u nekim jedinicama rezultati obrađuju „ručno“ a u pojedini- ma se koriste komercijalni programi koji nisu potpuno odgovarajući.

Bodovanje takmičenja u vojnom vi- šeboju i ocenjivanje fizičkih sposobnosti odvijaju se po istim principima. Na obe manifestacije jedan čovek učestvuje u vi- še disciplina, a svi njegovi rezultati utiču na konačni plasman, odnosno ocenu. Za- ključeno je da je potrebno napraviti je- dinstveno rešenje informatičke podrške navedenim manifestacijama.

U ovom radu opisuje se rešenje koje je implementirano radi informatičke po- drške navedenih sportskih aktivnosti. Pri razvijanju sistema korišćen je objektno orijentisani pristup, a radi bolje specifi- kacije zahteva korisnika i izrade kvalitet- nije dokumentacije – objektno orijentisa- no modelovanje na jeziku UML (Unified Modeling Language).

Za sada postoje odgovarajuća, ali složena rešenja informatičke podrške takmičenjima u višeboju koja se prime- njuju na velikim međunarodnim takmiče- njima. Ona zahtevaju skupu tehničku in- frastrukturu koja obuhvata veći broj ra- čunara, njihovu komunikaciju sa semafo- rima na kojima se rezultati prikazuju, za- tim specijalne eksterne uređaje koji služe za prikupljanje rezultata, itd.

Danas postoje i softverska rešenja koja su primenjivana na domaćim takmi- čenjima, ali nije poznato da su publiko- vana, kao ni da postoji rešenje sličnog problema koje bi direktno uvažavalo nje- govu distribuiranu prirodu.

## **Problem informatičke podrške takmičenjima u vojnom višeboju**

U takmičenjima tipa višeboja (vojni višeboj, desetboj, petboj, biatlon, ori- jentacioni višeboj, paraski) primenjuje se složeniji sistem izračunavanja rezultata i plasmana nego na takmičenjima gde je konačni rezultat onaj koji je postignut u samo jednoj disciplini. Rezultat iz svake discipline se, uvidom u tabelu, pretvara u bodovni ekvivalent i sabira se sa bodovi- ma osvojenim u ostalim disciplinama. Takmičar može nastupati i u okviru neke ekipe. Tada se njegov konačni rezultat rangira u pojedinačnom plasmanu, sabi- ra se sa rezultatima ostalih takmičara iz iste ekipe i tako se dobija ekipni rezultat.

U okviru provere fizičkih sposobno- sti postoji više disciplina koje se ocenju- ju. Postignuti rezultat iz svake discipline ima svoju vrednost u bodovima koja se sabira sa bodovima osvojenim u ostalim disciplinama. Konačna ocena dobija se kada se saberu bodovi osvojeni u svim disciplinama i iz toga izračuna ocena.

Za sportske aktivnosti tipa višeboja uočene su neke karakteristike koje su opredelile prirodu i vrstu softverskog re- šenja, a to su:

- discipline višeboja odvijaju se na različitim, a često i udaljenim lokacijama;
- rešenje bi trebalo da se izvršava na personalnim računarima i pod najčešće korišćenim operativnim sistemima;
- postoji veliki broj rezultata koje treba uneti u sistem i pregledati.

Softversko rešenje koje se projektu- je treba da omogući da se trenutni rezul- tati (ukupni i rezultati iz pojedinih disci- plina) mogu pregledati po završetku bilo kog dela takmičenja. Kao nezaobilazno

nameće se omogućavanje pregleda rezultata preko lokalne računarske mreže, ali i Interneta. Kao najznačajniji zahtev organizatori takmičenja ističu automatizaciju izrade biltena takmičenja. Automatsko generisanje biltena takmičenja vodi ka tome da se eliminišu mnoge mogućnosti za pojavljivanje grešaka u njemu. To je zvanični dokument, pa ne sme da sadrži netačne podatke. Potpuna dokumentacija o projektnim zahtevima može se naći u literaturi [1].

Aplikacija treba da pruži i podršku za generisanje startne liste takmičara za sve discipline koja se formira po složenim principima. Takođe, treba generisati i sudijske liste, u koje će se upisivati rezultati takmičara.

Na slici 1 prikazan je dijagram slučajeva upotrebe na jeziku UML koji opisuje na koji način korisnici učestvuju u sistemu za informatičku podršku takmičenjima u vojnom višeboju. Kao korisni-

ci sistema pojavljuju se takmičari, sudije, grupa za obradu podataka i posmatrači [2]. Oni mogu biti u interakciji sa sistemom kroz slučajeve upotrebe koji su opisani u tekstu: unos, verifikacija podataka, pravljenje biltena i pregled rezultata.

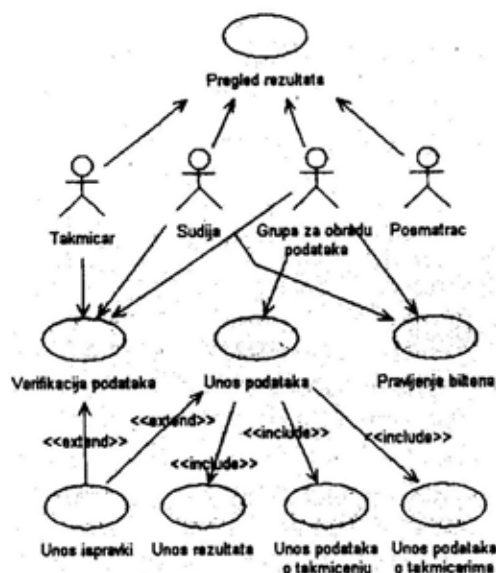
Pre početka takmičenja grupa za obradu podataka unosi podatke vezane za takmičenje: naziv takmičenja, sve tipove takmičenja, kategorije, ekipe koje učestvuju. Takođe, pre takmičenja, grupi za obradu podataka dostavljaju se prijave za takmičenje sa podacima o takmičarima: ime, prezime, datum rođenja, kategorija i ekipa u okviru koje nastupaju i startni broj.

Po pristizanju prvih rezultata grupa za obradu podataka unosi i njih, nakon čega se rezultati prikazuju, a učesnici ih verifikuju. Veoma je važno da i takmičari budu uključeni u proces verifikacije podataka jer im je u interesu da budu uneti tačni rezultati i izračunat plasman. Radi toga potrebno je da se rezultati prikažu na pogodnom mestu, gde će takmičari moći da ih vide. Ukoliko neki takmičar ima primedbe na rezultat, grupa za obradu podataka konsultuje sudije i, ako se primedba uvaži, vrši se ispravka unetih podataka.

U sistemu treba da postoje dve vrste korisnika: ovlašćeni korisnici, koji će biti u mogućnosti da ažuriraju podatke, ali i da ih pregledaju i obični korisnici koji mogu samo da pregledaju podatke.

### Predloženo rešenje informatičke podrške takmičenjima

Analizirajući opisani problem, utvrđeno je da mora da postoji deo sistema koji će obezbediti čuvanje podataka un-



Sl. 1 – UML dijagram slučajeva upotrebe koje sistem pruža u interakciji sa korisnicima



tih u sistem i podataka koje će sam sistem izračunati. Radi toga se rešenje mora sastojati od više međusobno povezanih elemenata: baze podataka, logike sistema, korisničkog interfejsa (slika 2).



Sl. 2 – Elementi predloženog softverskog sistema za podršku takmičenjima u vojnom višeboju

U bazi podataka čuvaju se podaci o takmičenjima, takmičarima, svim tipovima takmičenja sa svojim disciplinama, rezultati, tabele sa poenima i svi ostali potrebni podaci.

Logika sistema objedinjuje sve korisnike sistema sa ostalim elementima, i definiše njihove odnose. Ona posreduje između korisnika i baze podataka preko korisničkog interfejsa. Na taj način omogućava se pristup podacima i upis u bazu novih podataka o takmičarima i njihovim rezultatima. Logika sistema je zadužena i za obezbeđivanje pouzdanosti funkcionisanja sistema.

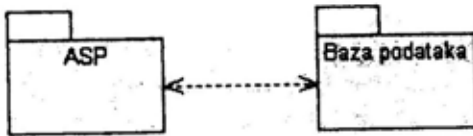
Korisnički interfejs važan je element sistema, koji mora biti prilagođen krajnjim korisnicima, i jednostavan za upotrebu. Sve do sada pomenute karakteristike problema, a pre svega njegova di-

stribuirana priroda, bile su motiv da se osnova rešenja zasnuje na Web tehnologijama, čijom se primenom mogu razvijati efikasna i relativno jeftina rešenja. Time što je odlučeno da se sistem realizuje kao Web aplikacija omogućen je pristup bazi podataka sa različitih lokacija. Za realizaciju logike sistema koristi se tehnologija aktivnih stranica. Upotreba standardnog Web čitača (engl. Web Browser) ima značajne pogodnosti. Korisnički interfejs se relativno lako realizuje kao HTML stranica. Takođe, nije potrebna posebna obuka operatera u korišćenju aplikacije, jer se komunikacija sa sistemom odvija primenom Web rešenja koja su rasprostranjena i poznata većini korisnika.

Ovim rešenjem postiže se automatsko ažuriranje Web prezentacije za prikaz korisnicima sistema. Naime, čim su podaci uneti u bazu podataka, oni su odmah dostupni korisnicima koji vrše pregled preko lokalne mreže ili Interneta, za šta je direktno zadužena logika sistema.

### Logički model i realizacija predloženog rešenja

Izrada logičkog modela aplikacije izvršena je korišćenjem objektno orijentisanog modelovanja na jeziku UML [3]. Logički model aplikacije za podršku sportskim takmičenjima tipa višeboja sastoji se od dva osnovna paketa. Jedan od njih prikazuje model baze podataka, a drugi deo modela koji se odnosi na korišćenje aktivnih stranica (slika 3). Ova dva paketa su međusobno zavisna, aktivne stranice koriste podatke iz baze podataka, a pojedine vrednosti u bazi podataka izračunavaju se i upisuju programom koji se nalazi u aktivnim stranicama.



Sl. 3 – Osnovni paketi korišćeni u modelovanju aplikacije

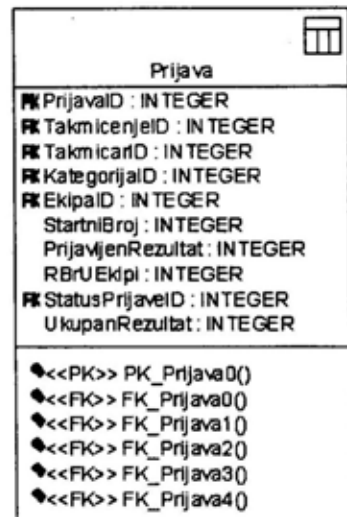
Model baze podataka izrađen je u alatu Rational Rose 2001 kako bi se uklopio u celokupni model aplikacije za podršku sportskim takmičenjima tipa višeboja. Odlučeno je da baza podataka u aplikaciji za podršku takmičenjima tipa višeboja bude relaciona. Relacione baze podataka su najrasprostranjenije u savremenim informacionim sistemima, i zadovoljavaju većinu potreba korisnika.

U [4] se opisuje način modelovanja baza podataka jezikom UML, tj. UML profil za modelovanje relacionih baza podataka, a daje se i objašnjenje zašto se baze podataka modeluju jezikom UML, a ne tradicionalnim dijagramima entitet – relacija. Ističe se da je UML jezik koji omogućava, pored modelovanja baze podataka, i modelovanje svih ostalih procesa u jednom sistemu. On sadrži više tipova dijagrama koji se mogu koristiti za različite potrebe, od specifikacije zahteva do opisivanja rasporedenosti potrebne računarske opreme. Takođe, korišćenje UML-a ne ometa način na koji se tradicionalno modeluje baza podataka, mada notacija može da bude donekle drugačija u poređenju sa uobičajenom, starom notacijom. I dalje postoje tabele, kolone, okidači, ograničenja i drugi elementi koji se koriste pri modelovanju. Oni moraju da budu opisani nešto drugačije, čime se omogućava mnogo lakša komunikacija sa ostalim timovima uključenim u proces razvoja.

Najveći element koji UML profil za modelovanje baza podataka podržava jeste baza podataka. Stereotip (engl. stereotype) <<Database>> definiše bazu podataka u komponenti UML modela. Unutar baze podataka nalazi se šema te baze koja sadrži celokupan opis modela podataka. Za jednu bazu podataka može biti vezano više šema koje se u UML modelu predstavljaju paketom sa stereotipom <<Schema>>.

U relacionim bazama podataka osnovna struktura koja se modeluje jeste tabela sa skupom slogova iste strukture koji sadrže podatke. U šemi baze podataka relacionu tabelu predstavlja klasa sa stereotipom <<Table>>, a u modelu se, umesto klase sa stereotipom, može prikazati i pomoću ikone ili dekoracije za tabelu. Kada se tabela smesti u neki paket šeme formira se veza asocijacije tabele sa šemom.

Ključevi se koriste da bi se pristupilo tabeli. Primarni ključ određuje slog u tabeli na jedinstven način, a strani ključ pristupa podacima iz druge tabele. Ključ se predstavlja pomoću ograničenja (engl.



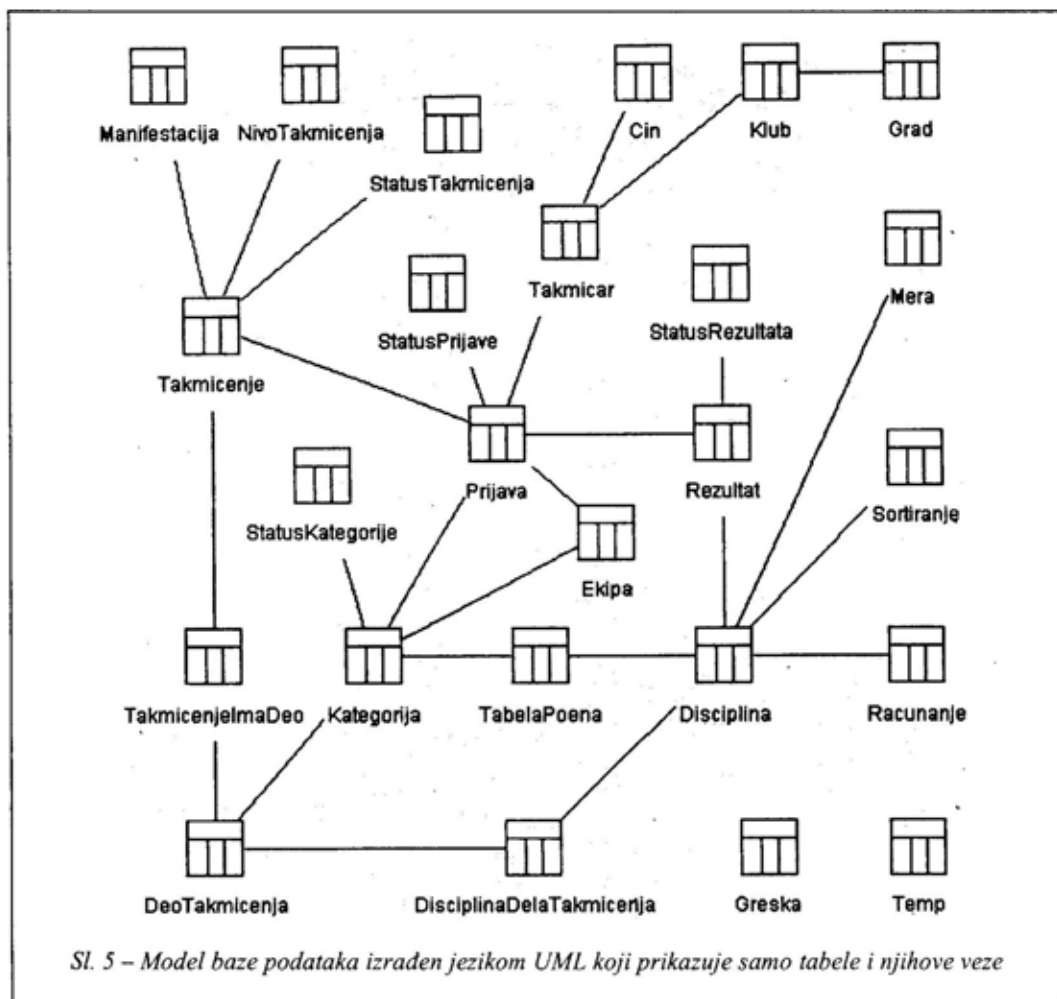
Sl. 4 – Model tabele urađen UML profilom za modelovanje baze podataka

constraint) i označenih vrednosti (engl. tagged value) kolone. Primarni ključ ima oznaku „PK“ ispred kolone, a strani ključ oznaku „FK“. Ključevi formiraju i operacije sa stereotipima <<PK>> i <<FK>>, koje predstavljaju ograničenja primarnog i stranog ključa. Opisani koncepti se mogu videti u primeru tabele iz modela baze podataka za podršku takmičenjima u vojnom višeboju koja je prikazana na slici 4.

U modelu podataka se bilo kakva zavisnost između dve tabele modeluje relacijom, koju čine asocijacija sa stereoti-

pom i skup primarnih i stranih ključeva. Zavisnost dve klase određuje da li je stereotip asocijacije između njih <<Non-Identifying>> ili <<Identifying>>. Svakoj asocijaciji pridružene su uloge koje jedna tabela ima u asocijaciji sa drugom i nalaze se sa oba kraja relacije.

Model baze podataka sistema za podršku takmičenjima u višeboju sastoji se od više tabela koje su povezane tako da se na efikasan način može doći do svih podataka upisanih u bazu. Na slici 5 prikazan je UML model koji ističe samo ta-



Sl. 5 – Model baze podataka izraden jezikom UML koji prikazuje samo tabele i njihove veze

bele u bazi podataka i veze između njih. Zbog veličine celokupnog modela on nije prikazan sa svim, ranije opisanim, elementima. Centralna tabela je „Prijava“. Svaki takmičar, pre nastupa, podnosi prijavu za učešće, u kojoj je potrebno naznačiti koji je takmičar u pitanju, na kom takmičenju nastupa, u kojoj kategoriji i za koju ekipu. Svi ovi atributi se, kao strani ključevi, prenose iz odgovarajućih tabela, što se može videti na slici 4.

Posebna prednost ovakve organizacije baze podataka jeste što omogućava pregled rezultata koji su postignuti na proteklom takmičenjima. Na taj način moguće je vršiti razne statističke analize i pratiti rezultate pojedinih takmičara kroz razne vremenske intervale.

Kod modelovanja aplikacije pojavio se problem da se modelovanje Web aplikacija ne uklapa u uobičajeni način modelovanja sistema. Web aplikacije sadrže neke karakteristike koje to onemogućavaju. Pre svega, pri njihovom modelovanju potrebno je omogućiti: odvajanje objekata na klijentu i na serveru i definisanje korisničkog interfejsa na Web strani. Zbog toga se koriste proširenja UML-a za Web aplikacije koja definišu notaciju koja se može koristiti za modelovanje komponenti Web tehnologija u skladu sa ostalim delovima sistema [5].

Proširenja UML-a za modelovanje sistema zasnovanih na Web tehnologijama izražena su kroz stereotype, označene vrednosti i ograničenja. Kombinacijom ovih mehanizama omogućava se da se sačine novi tipovi gradivnih blokova koji se mogu koristiti u modelu.

Jedan primer modela koji koristi proširenja jezika UML prikazan je na sli-

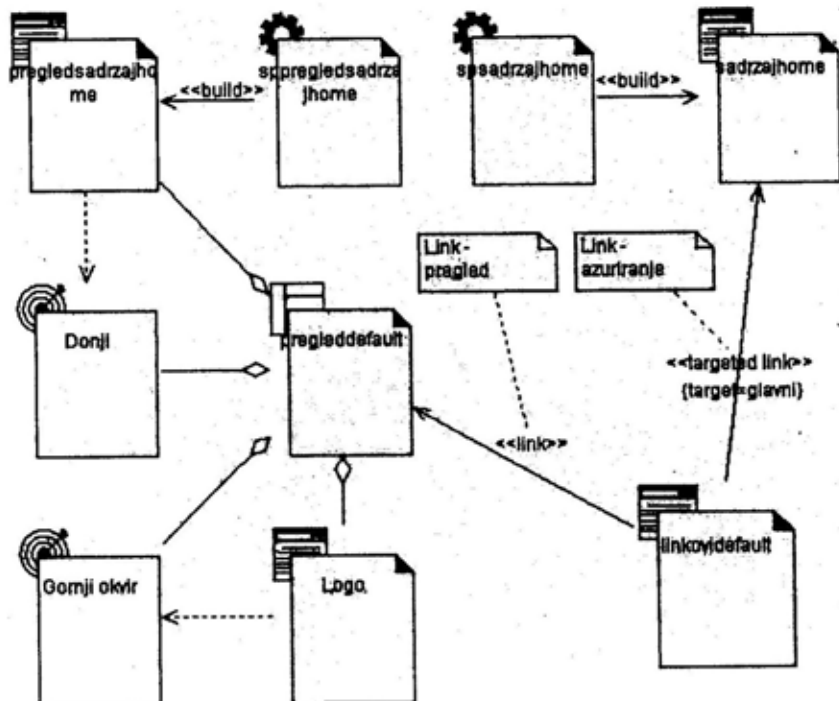
ci 6. On prikazuje dva linka koji se nalaze na početnoj Web stranici aplikacije. Preko linka pregled obični korisnici mogu pregledati postignute rezultate i ostale podatke o takmičenju i takmičarima. Preko linka ažuriranje ovlašćeni korisnici mogu unositi nove podatke u sistem i vršiti pregled unetih podataka. pisani UML model omogućava lakšu implementaciju i bolji pregled strukture sistema za podršku sportskim takmičenjima tipa višebolja. Takođe, omogućava dokumentovanje sistema time što koristi standardizovani objektno- orijentisani metod za reprezentaciju elemenata sistema.

Zbog jednostavnije upotrebe, baza podataka je realizovana u Microsoft Access-u 2002. Odustalo se od upotrebe MS SQL Servera zbog kratkog vremena koje je bilo na raspolaganju za realizaciju. Za kasnije verzije ovog projekta planira se konverzija baze podataka u MS SQL Server.

Za implementaciju logike aplikacije korišćen je Microsoft ASP [6]. Implementacija logike sistema izvedena je korišćenjem alata Microsoft Visual InterDev 6.0, a komunikacija aktivnih stranica i baze podataka korišćenjem ActiveX Data Object (ADO) mehanizama [7].

### **Praktična primena realizovane aplikacije**

Predloženo rešenje praktično je realizovano i primenjeno na *Letnjem sportskom prvenstvu Vojne akademije*, koje je održano maja 2002. godine. Ova primena omogućila je da se identifikuju nedostaci tadašnje verzije aplikacije i shvate mogućnosti daljeg razvoja.



Sl. 6 – Model koji prikazuje dva osnovna linka u aplikaciji – prikaz i ažuriranje podataka

Za potrebe takmičenja korišćena su četiri računara koja su bila povezana u lokalnu mrežu. Jedan računar bio je aplikativni server na kojem se nalazila baza podataka i sama aplikacija. Drugi računar služio je za unošenje podataka, treći je korišćen za pripremu biltena, a preko četvrtog računara vršila se projekcija postignutih rezultata i podataka vezanih za takmičenje.

Kako je primećeno, primena aplikacije naišla je na veoma pozitivne reakcije ne samo organizatora i takmičara, nego i publike. Naime, već nakon nekoliko trenutaka pošto sudije dostave zapisnik sa postignutim rezultatima, oni se unose u sistem i prikazuju se, kao i bodovi koje oni nose i trenutni plasman takmičara. Format prikazivanih rezultata prikazan je

na slici 7. Na taj način omogućeno je da rezultate kontrolišu i sudije i takmičari. Rezultat toga je i činjenica da je bila sa-

## Letnje sportsko prvenstvo Vojne akademije 2002. god.

### Oficirski višeboj

Kros trčanje na 2000m

Redni broj	Takmičar	Čin	Rezultat	Bodovi
1.	Vladan Burić	Odsjek RM	7:16.8	67
2.	Vinko Žnidarić	Odsjek KoV	7:27.0	62
3.	Radovoje Radojčić	Odsjek RM	7:29.1	62
4.	Nemanja Kojić	Odsjek RM	7:30.2	60
5.	Perica Krbavac	Odsjek RV i PVO	7:35.8	58
6.	Aleksandar Ljubisavljević	Odsjek KoV	7:45.1	55
7.	Nebojša Gačeša	Odsjek logistika	7:47.3	53
8.	Vojislav Blagojević	Odsjek logistika	7:49.7	53
9.	Dubravko Marić	Odsjek logistika	7:58.4	49
10.	Radomir Čosić	Odsjek KoV	8:00.0	49
11.	Vladimir Radunović	Odsjek RM	8:02.3	47

Sl. 7 – Rezultati jedne discipline na Web stranici koju je generisala logika sistema na serveru

mo jedna opravdana primedba na osvoje-  
ne poene za jednog takmičara koja je od-  
mah uvažena. Ova greška bila je posledica  
pogrešno unetih podataka u tabelu sa  
poenima u bazi podataka.

U skladu sa okolnostima na održa-  
nom takmičenju rezultati su unošeni tek  
po završetku takmičenja u određenoj di-  
sciplini, nakon što su sudije dostavile za-  
pisnik. Nije bilo mogućnosti da se računarska  
oprema rasporedi na lokacijama održavanja  
nadmetanja, pa je manifestacija bila uskraćena  
za potpuniju informatičku podršku, a mogućnost  
pravljjenja grešaka se povećala. Time se umanjio  
i efekat primene informatičke podrške takmiče-  
nju, pogotovo što aplikacija podržava rad  
sa udaljenih mesta. Umesto da je takmičari-  
ma omogućeno da odmah po završetku  
svoje trke pogledaju rezultat i trenutni  
plasman, oni su morali da dođu u sportski  
centar gde se nalazio računar sa projekto-  
rom koji je prikazivao rezultate.

Jedan od osnovnih zahteva organi-  
zatora bio je brzo izdavanje biltena sa re-  
zultatima. Za razliku od dosadašnjih tak-  
mičenja, bilten sa rezultatima svih discipli-  
na iz svih grana sporta na ovom prven-  
stvu je bio gotov pola sata nakon završet-  
ka poslednjeg sportskog događaja.

Pored pozitivnih iskustava u prime-  
ni aplikacije bilo je i pojedinih teškoća  
koje su, uglavnom, uspešno rešavane. Problemi  
su bili vezani više za okruženje u kojem je  
aplikacija primenjena nego za nedostatke  
samog programa. Najveći problemi koji su  
se pojavili u primeni aplikacije bili su sledeći:

– nekoliko dana pre takmičenja korisnici  
su istakli nove zahteve koji su izlazili iz  
okvira izrađenog dokumenta sa

zahtevima – tražili su da aplikacija gene-  
riše startnu listu i sudijsku listu za svaku  
disciplinu, koje se generišu po složenim  
pravilima;

– na takmičenju su učestvovali i tak-  
mičari koji su nastupali „van konkurencije“.  
Oni nisu nastupali ni za jednu ekipu, a  
njihove rezultate je trebalo čuvati ali ne  
prikazivati u zvaničnoj konkurenciji. Ovakav  
zahtev se nije slagao sa izrađenim modelom  
podataka pa je problem rešen intervencijom  
u kôdu aplikacije;

– kada se već završilo nekoliko discipli-  
na u okviru takmičenja u višeboju postavljen  
je zahtev za zbirnim pregledom rezultata  
takmičara u svim disciplinama zajedno sa  
osvojenim bodovima u svakoj disciplini i  
ukupnim brojem bodova (slika 8). Za realizaciju  
ovog zahteva bilo je potrebno na licu mesta  
dopunjavati kôd aplikacije, što je uspešno  
realizovano u pauzi takmičenja.

Svi navedeni problemi pokazuju da je u  
početnim primenama aplikacije neophodno  
prisustvo programera koji je dobro upoznat  
sa načinom rada aplikacije, kako bi mogle  
biti izvršene korekcije i dopune kôda. I pored  
nedovoljnog testiranja, odlučeno je da se ovaj  
sistem primeni i radi sticanja iskustava u pru-  
žanju informatičke podrške sportskim takmiče-  
njima [8]. U slučaju potrebe rezultati su se  
mogli i ručno izračunavati kao i do tada. Ovo  
takmičenje bila je idealna prilika da se sistem  
opropa, bez bojazni da može naneti veliku  
štetu ukoliko ne funkcioniše.

Primenjena logika pokazala se ispravnom,  
pa je poželjno dalje usavršavanje i realno  
testiranje aplikacije, pre nego što se prihvati  
kao odgovarajuće rešenje za podršku takmiče-  
njima u vojnom višeboju.

# Letnje sportsko prvenstvo Vojne akademije 2002. god.

## Vojnički višeboj

### Rezultati

Plasman	Takmičar	Ekipe	Kenopac	Bomba	Prepreke	Skok u dalj	Kros	UKUPNO
1	Borko Luković	Odsek RV i PVO	6.8 (66)	65 (56)	1:31.5 (71)	506 (48)	7:27.1 (62)	303
2	Duško Cvijanović	Odsek KoV	9.0 (50)	55 (50)	1:46.4 (50)	528 (59)	6:53.1 (79)	288
3	Mladen Drljača	Odsek RV i PVO	7.8 (58)	55 (50)	1:34.7 (66)	484 (37)	7:21.6 (65)	276
4	Marko Radisavljević	Odsek KoV	8.4 (54)	35 (38)	1:36.2 (63)	488 (39)	7:03.3 (74)	268
5	Branimir Janković	Odsek KoV	8.0 (57)	50 (47)	1:37.2 (62)	484 (37)	7:30.4 (60)	263
6	Nebojša Đorović	Odsek RV i PVO	8.2 (56)	75 (62)	1:43.5 (54)	480 (35)	7:50.9 (52)	259
7	Milan Stanković		6.7 (67)	60 (53)	1:39.2 (59)	454 (27)	8:04.3 (47)	253
8	Jožef Sekereš	Odsek RM	6.9 (65)	30 (35)	1:33.1 (69)	477 (34)	8:08.1 (45)	248
9	Nenad Dinić	Odsek KoV	11.2 (36)	35 (38)	1:33.2 (68)	490 (40)	7:52.7 (51)	233
10	Borislav Gaković	Odsek RM	7.4 (61)	25 (33)	1:45.1 (52)	453 (26)	7:37.6 (57)	229
11	Danilo Obradović	Odsek logistike	9.1 (50)	65 (56)	1:49.2 (46)	450 (25)	7:54.9 (51)	228
12	Saša Kosbić	Odsek logistike	11.6 (33)	80 (65)	1:54.2 (41)	471 (32)	7:42.1 (56)	227
13	Miladin Radivojević	Odsek RV i PVO	8.2 (56)	50 (47)	2:03.2 (33)	499 (45)	8:27.4 (38)	219

Sl. 8 – Zbirni pregled rezultata koji je implementiran u toku takmičenja

## Zaključak

U radu je prikazana primena Web tehnologije u rešavanju problema informatičke podrške takmičenjima u kojima se izračunavanje rezultata i plasmana odvija po složenim pravilima. Rešenje je realizovano radi uspostavljanja ili poboljšanja automatizacije izračunavanja i prikaza rezultata, a koncipirano je tako da može podržati automatizaciju prikupljanja rezultata korišćenjem savremene elektronske opreme. Važne prednosti ovog rešenja nad već postojećim jesu podrška unošenju i čuvanju podataka o velikom broju učesnika i korisnički interfejs koji je jednostavan za korišćenje. Ove prednosti postignute su time što je primenjena odgovarajuća tehnologija u rešavanju problema distribuirane prirode, tj. Web tehnologija. Značajno poboljšanje predstavlja mogućnost brzog generisanja biltena takmičenja.

Logički model baze podataka i Web aplikacije izrađeni su objektno orijentisanim pristupom, korišćenjem jezika za modelovanje UML i alata Rational Rose. Za modelovanje Web aplikacije korišćena su proširenja jezika UML.

Zbog postojeće hardverske i softverske infrastrukture u kojoj se sistem koristi, on je implementiran Microsoftovim tehnologijama. Baza podataka realizovana je u Accessu, a za implementaciju tehnologije aktivnih stranica korišćen je ASP. Za kasnije verzije ove aplikacije planira se konverzija baze podataka u SQL Server. Sama aplikacija realizovana je uz pomoć alata Visual InterDev.

Primenom aplikacije na takmičenju u vojnom višeboju u Vojnoj akademiji ona je testirana u realnim uslovima. Pored stečenih pozitivnih iskustava uočeni su i nedostaci koji su nakon takmičenja otklonjeni. Takođe, u interakciji sa korisnicima razmotrena je implementacija novih funk-

cionalnosti sistema, poboljšanje korisničkog interfejsa i prikaz rezultata.

Za sada je realizovana informatička podrška takmičenjima, tj. automatsko izračunavanje rezultata i generisanje biltena, ali su se otvorile i druge mogućnosti. Neke od njih se odnose na poboljšavanje informatičke podrške samom takmičenju, tj. obezbeđivanje potpunije, pouzdanije i efikasnije aplikacije za podršku takmičenjima u višeboju. Pre svega, radi smanjivanja mogućnosti pojave grešaka pri unosu rezultata, značajno je da se prikupljanje rezultata sa sportskih poligona obavlja adekvatnim raspoređivanjem računara ili obezbeđivanjem elektronskih čitača rezultata.

Pored opisane namene postoje mogućnosti proširenja aplikacije koja izlaze iz okvira podrške sportskim takmičenjima. To se, pre svega, odnosi na podršku zdravstvenoj preventivi, stručnom treniranju vrhunskih sportista i naučnoistraživačkom radu.

Značajan aspekt realizacije i korišćenja aplikacije za podršku takmičenjima predstavlja i stečeno iskustvo u radu sa korisnicima. Saradnja sa korisnici-

ma predstavlja veliki problem projektantima softverskih sistema zato što korisnici, uglavnom, nemaju potpunu predstavu o tome šta se sve može postići primenom računara. Pri izradi aplikacije za podršku takmičenjima tipa višeboja problem specifikacije zahteva u saradnji sa korisnicima rešen je tako što im je ponudena prototipska aplikacija. Na taj način korisnici su mogli da se upoznaju sa mogućnostima informatičke podrške takmičenjima i da daju sugestije za njeno poboljšanje.

#### *Literatura:*

- [1] Merdžanović, M.: Informatička podrška takmičenjima tipa višeboja u intranet okruženju, diplomski rad, Vojna akademija – Odsek logistike, Beograd, 2002.
- [2] Uputstvo o sportskim takmičenjima u Vojski Jugoslavije, Generalštab Vojske Jugoslavije, Beograd, 1996.
- [3] Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: The Unified Modeling Language User Guide, Addison-Wesley, 1999.
- [4] Naiburg, E.; Maksimchuk, R.: UML za projektovanje baza podataka, CET, Beograd, 2002.
- [5] Connalen, J.: Building Web Applications With UML, Addison-Wesley, 2000.
- [6] Buczek, G.: ASP Vodič za programere, Mikro knjiga, Beograd, 2001.
- [7] Litwin, P.: Microsoft ActiveX Data Objects (ADO) Programming, <http://www.microsoft.com/accessdev/articles/movs202.htm>, februar 2002.
- [8] Obrenović, Ž.; Ostojić N.; Živanović M.; Đurašinić M.: Informatička podrška maratonskim trkama Web zasnovano rešenje, YUINFO'2000, Zbornik radova na CD-u, Kopao-nik, 2000.



**Rezime:**

*Dostupnost prevoženja jedan je od veoma značajnih elemenata kvaliteta saobraćajno-transportne usluge, koji korisnike usluga opredeljuje za odgovarajuću granu saobraćaja. Najdostupniji je putni saobraćaj, s obzirom na razgranatost putnih komunikacija. Izgradnjom i eksploatacijom industrijskih koloseka, kao prirodnih nastavaka železničkih pruga, uz primenu novih tehnologija kombinovanog prevoženja, železnički saobraćaj postaje sve osposobljeniji za pružanje kompletne usluge, odnosno direktnog prevoženja od pošiljaoca do primaoca. Industrijski koloseci razmatrani su u ovom radu sa aspekta svog udela u podizanju nivoa kvaliteta železničke saobraćajno-transportne usluge.*

*Ključne reči: železnica, industrijski kolosek, dostupnost, utovar-istovar, prevoženje.*

---

## BRANCH LINES IN FUNCTION OF RAIL TRANSPORT SERVICE

**Summary:**

*Accessibility, being among the most important factors of transport quality, determines the means of transport. The highest level of accessibility is offered by the system of roads because of its ramifications. However, due to the construction and improvements of branch lines as logical extensions of railroad tracks, and to the application of new technologies of combined transport, the rail transport is constantly becoming better equipped for performing a full service, i.e. a direct transport from the sender to the receiver. This paper analyses the role of branch lines in improving the quality of rail transport service.*

*Key words: railroad, branch line, accessibility, loading-unloading, transport.*

---

### Uvod

Industrijski koloseci na železnici predstavljaju nastavak pruge kojim se korisnici železničke saobraćajno-transportne usluge direktno povezuju. Time se stvara mogućnost prevoženja „od vrata do vrata“, što dovodi do smanjenja troškova, povećanja brzine prevoženja i skraćivanja vremena prevoženja. Postojanjem i eksploatacijom industrijskih koloseka železnica se čini dostupnijom i svoju uslugu prilagođava i približava izvo-

ru i odredištu predmeta prevoženja. Ta mogućnost, uz primenu novih tehnologija kombinovanog prevoženja, obezbeđuje železnici ravnopravniji odnos na tržištu saobraćajno-transportnih usluga po pitanju dostupnosti zainteresovanim korisnicima. Značajan interes za industrijske koloseke imaju i železnica i korisnici usluga.

Zahtevi za saobraćajno-transportnom uslugom su sve stroži a konkurencija na tom tržištu sve oštija, što nameće potrebu za stalnim usavršavanjem orga-

nizacije i tehnologije rada na industrijskim kolosecima.

Eksploatacija industrijskih koloseka za potrebe logističke podrške Vojske je pitanje koje zaslužuje posebnu pažnju. U određenim uslovima industrijski koloseci se posmatraju kao elementi utovarno-istovarnih reiona. Njihovi prateći objekti su transportno-manipulativni prostori namenjeni za obavljanje operacija utovara i istovara tereta. Da bi što bolje odgovorili svojoj nameni oni moraju biti adekvatno dimenzionirani. Posebno značajnu ulogu u obezbeđenju većeg stepena korišćenja železnice u logističkoj podršci Vojske imaju utovarno-istovarne rampe. One svojim karakteristikama utiču na vreme utovara i istovara, propusnu moć koloseka i pruga, kao i na vreme izvršenja prevoženja.

### Saobraćajno-transportna usluga železnice

U sklopu jedinstvenog saobraćajnog tržišta postoji tržište saobraćajno-transportnih usluga, koje se može podeliti prema različitim kriterijumima. Železnica je, sa svog aspekta, izvršila podelu saobraćajno-transportnog tržišta prema [1]: vrsti saobraćajno-transportne usluge i prostoru pružanja usluge.

Tržište saobraćajno-transportnih usluga je, u suštini, kompleks odnosa koji se formira između ponude i potražnje za uslugama (slika 1) dok se kvalitet usluge definiše na osnovu zahteva korisnika. Kvalitet saobraćajno-transportne usluge je, s jedne strane, objektivno uslovljen tehničko-tehnološkim i drugim karakteristikama davaoca usluga, a, s druge strane, zavisi od subjektivnih ocena i očekivanja korisnika usluge. Kvalitet saobra-

ćajno-transportne usluge železnice u teretnom saobraćaju određuju:

– brzina prevoženja, odnosno vreme prevoženja od trenutka kada pošiljalac stavlja na raspolaganje teret, do isporuke primaocu,

– održavanje dogovorenog roka isporuke,

– pogodnost obavljanja i vreme utovarno-istovarnih operacija,

– rok za porudžbinu praznih kola,

– dostavljanje praznih kola zahtevanih karakteristika u dogovorenom vremenu,

– informisanost korisnika prevoza o izvršenju prevoznog procesa, a posebno o dolasku tereta u uputnu stanicu,

– integralnost i kompleksnost usluge, odnosno pružanje usluge „od vrata do vrata“, uključujući i administrativno-komercijalne operacije,

– bezbednost prevoženja tereta i sl.

Kvalitet saobraćajno-transportne usluge železnice u teretnom saobraćaju, posmatran sa strane ponude, izražava određene kvalitativne vrednosti koje su, u suštini, merilo kvaliteta usluge.

Na osnovu analize tehničko-tehnoloških karakteristika železnice moguće je izdiferencirati određeni zajednički skup elemenata kvalitativne vrednosti saobraćajno-transportne usluge (slika 1), u putničkom i teretnom železničkom saobraćaju, kao što su, na primer:

– redovnost prevoženja ( $R_e$ );

– tačnost prevoženja ( $T_e$ );

– brzina prevoženja ( $V_{pr}$ );

– bezbednost prevoženja ( $B_e$ );

– udobnost prevoženja ( $U_d$ );

– učestalost prevoženja ( $U_e$ );

– dostupnost prevoženja ( $D_o$ );

– sposobnost masovnog prevoženja ( $S_m$ ).

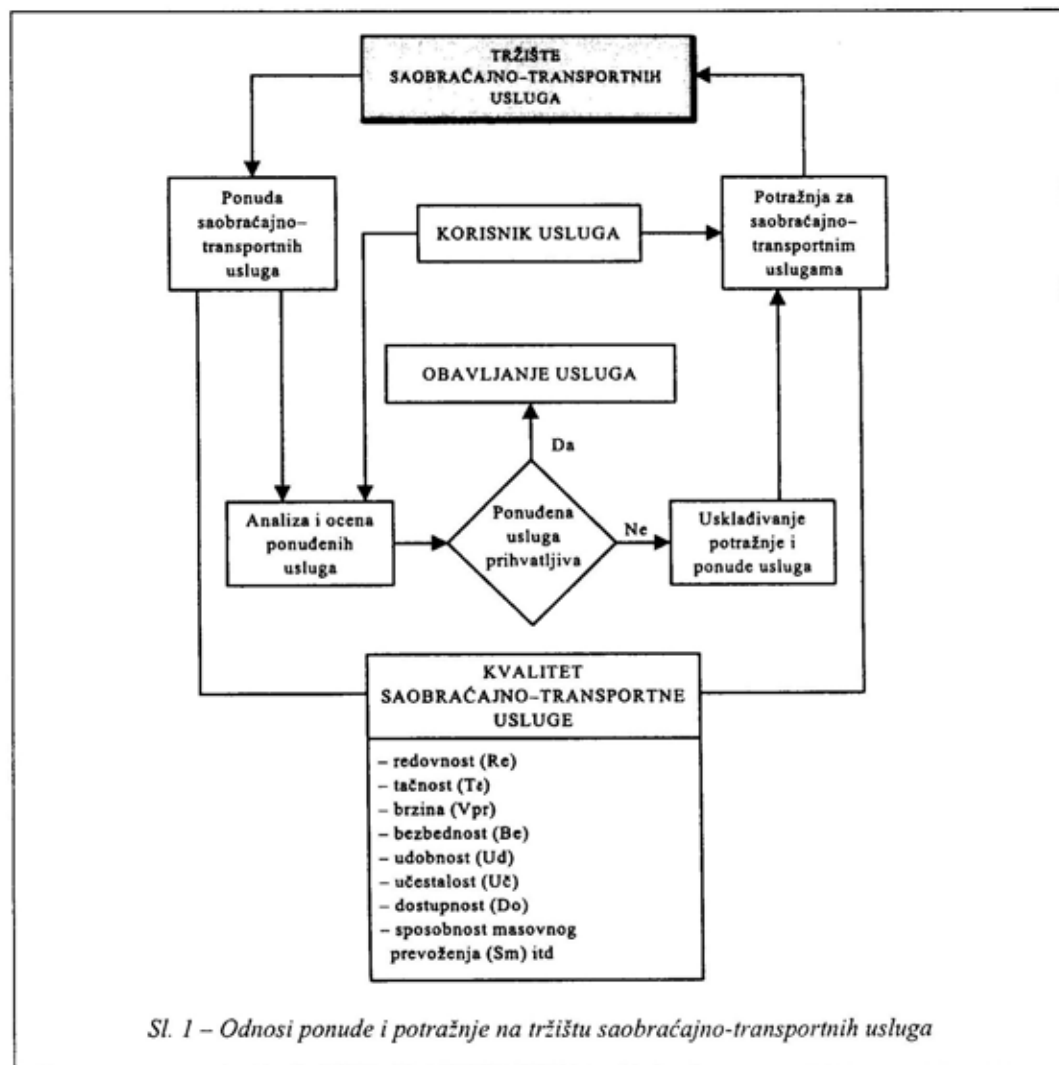
Kvalitet saobraćajno-transportne usluge železnice ( $K$ ) matematički se može izraziti kao vektor:

$$K = \vec{f}(R_e, T_e, V_{pr}, B_e, U_d, U_e, D_o, S_m) \quad (1)$$

Navedeni elementi kvaliteta saobraćajno-transportne usluge železnice, koji su uslovljeni tehničko-tehnološkim faktorima, uvek se posmatraju u sprezi sa ekonomskim elementima, odnosno ce-

nom. Osnovna karakteristika saobraćajno-transportne usluge svake grane saobraćaja, pa i železnice, definisana je kvalitetom i cenom prevoženja. Nivo vrednosti svakog elementa kvaliteta, pa i kvaliteta usluga u celini, postiže se uz određene troškove. Korisnik od ponuđača – davaoca usluge traži viši nivo kvaliteta uz što niže troškove.

Dostupnost prevoženja ( $D_o$ ), kao jedan od elemenata kvaliteta saobraćajno-



Sl. 1 – Odnosi ponude i potražnje na tržištu saobraćajno-transportnih usluga

transportne usluge, predstavlja sposobnost saobraćajne grane da svoju prevoznu uslugu prilagodi i približi izvoru i odredištu predmeta prevoženja (tereta i putnika). Najveću dostupnost pruža putni saobraćaj koji, zahvaljujući razvijenoj mreži putnih komunikacija i tehničkim karakteristikama prevoznih sredstava, ima mogućnost pružanja kompletne usluge „od vrata do vrata“.

Železnički saobraćaj, s obzirom na razgranatost mreže pruga, nema takav stepen dostupnosti kao putni saobraćaj. U poslednje vreme, uvođenjem novih tehnologija kombinovanog prevoženja, a posebno izgradnjom industrijskih koloseka, železnički saobraćaj je postao osposobljeniji za pružanje kompletne usluge.

### **Industrijski koloseci i njihove mogućnosti**

Industrijski kolosek predstavlja prirodni nastavak železničke pruge, preko kojeg se ostvaruje veza korisnika železničke usluge i železnice, odnosno njime se korisnici direktno povezuju.

Industrijski koloseci pružaju mogućnost ostvarenja prevoženja „od vrata do vrata“. Time se utiče na smanjenje ukupnih troškova prevoženja i na povećanje brzine, odnosno skraćivanje vremena prevoženja. Uz dobru organizaciju i eksploataciju oni obezbeđuju železnici značajno mesto u sistemu prevoženja tereta, i na najbolji način doprinose njenom udelu u pružanju kompletne transportne usluge.

Eksploatacija industrijskih koloseka obuhvata skup aktivnosti vezanih za rad sa kolskim pošiljkama.

Železnica je zainteresovana za gradnju industrijskih koloseka jer:

- vezivanjem korisnika za železnicu na duže vreme obezbeđuju se tereti za prevoz;

- obezbeđuje se prevoz velikih količina tereta bez angažovanja dodatnih kapaciteta za njihovo manipulisanje;

- stanični kapaciteti se oslobadaju za broj kola koja se pretovaraju na industrijskim kolosecima, za rad sa drugim korisnicima;

- prevoženjem tereta po sistemu „od vrata do vrata“ železnica se po kvalitetu usluge izjednačava sa glavnim konkurentom – putnim saobraćajem uz nižu cenu prevoza;

- povećava se konkurentnost železničkog prevoženja i na kraćim relacijama, pod uslovom da oba korisnika imaju industrijske koloseke;

- stvara se mogućnost formiranja pošiljaočevih maršrutnih vozova, čime se smanjuje manevarski rad i zadržavanje kola u stanicama formiranja, rasporednim i ranžirnim stanicama, a povećava brzina prevoženja tereta i bolje korišćenje vučnih i voznih kapaciteta.

Zbog navedenih interesa većina evropskih železničkih uprava poklanja sve veću pažnju razvoju i eksploataciji industrijskih koloseka.

Industrijske koloseke grade i eksploatišu korisnici železničkih saobraćajno-transportnih usluga, odnosno preduzeća ili ustanove, a vode ih u svojim osnovnim sredstvima. Drugi korisnici mogu koristiti industrijske koloseke na osnovu posebnog ugovora zaključenog sa vlasnikom koloseka i uz odobrenje železničke organizacije.

Vojska je jedan od korisnika industrijskih koloseka, a trenutno na mreži JŽ ima ih 26 u njenom vlasništvu, i nazivaju se vojnoindustrijskim kolosecima (VIK).

Opsluživanje industrijskih koloseka i rad na njima (utovar i istovar) obavlja se po propisima donetim kako za železnicu, tako i za korisnike industrijskih koloseka. Na osnovu šireg skupa posebnih propisa, parcijalno sadržanih u železničkim pravilnicima i uputstvima, reguliše se realizacija procesa i aktivnosti na relaciji korisnik industrijskog koloseka–železnica i tehnološki proces rada stanice.

Između železnice i korisnika industrijskih koloseka zaključuju se posebni ugovori kojima se regulišu važna pitanja, kao što su: ugovor o eksploataciji i održavanju industrijskih koloseka i uputstvo o vršenju saobraćajne službe na industrijskim kolosecima.

Postojeće stanje železnice direktno utiče na mogućnosti njenog funkcionisanja u vanrednim mirnodopskim i ratnim uslovima. Opšte stanje osnovnih sredstava železnice (pruga, lokomotiva i kola) iz godine u godinu se pogoršava, što je posledica ekonomskog stanja zemlje i nedovoljnih ulaganja u modernizaciju, investiciono i tekuće održavanje železnice.

Najveći deo pruga (2216 km) osposobljen je za brzine kretanja do 60 km/h, za brzine od 60 do 100 km/h osposobljeno je oko 1956 km, a samo oko 87 km pruga za brzine od 100 do 120 km/h. Ovako nepovoljno stanje, u vezi s brzinom i osovinskim opterećenjem, posledica je velike amortizovanosti i dotrajalosti donjeg i gornjeg stroja<sup>1</sup>. U prilog tome

<sup>1</sup> Više od 56% šina je starije od 20 godina, prosečna trulost pragova na magistralnim prugama je oko 15%, pričvrstni pribor i skretnice su dotrajale (53,8% skretnica starije je od 20

govori i podatak da vek trajanja gornjeg stroja pruga iznosi 20 do 25 godina, nakon čega se mora izvršiti kapitalni remont, a prosečna starost naših pruga je oko 36 godina.

Opšta karakteristika stanja mreže naših pruga je: nedovoljan broj utovarno-istovarnih rampi, utovarno-istovarnih koloseka, industrijskih koloseka, prilaznih puteva, a posebno njihovo nepovoljno tehničko stanje. Uz to i evidentnu zastarelost pretovarne mehanizacije dovodi se u pitanje dovoljno brzo manipulisanje teretom.

Industrijski koloseci su različitih dužina i stepena razuđenosti, i nisu ravnomerno raspoređeni na mreži železnice. Njihov raspored, uglavnom, prati opštu privrednu razvijenost pojedinih područja u zemlji. Pregled industrijskih koloseka na teritoriji ŽTP Beograd prikazan je u tabeli 1 [2].

Stanje industrijskih koloseka je takvo da im dopušteno osovinsko opterećenje iznosi 12 do 22,5 t/osovini. Koloseka sa najmanjim dopuštenim osovinskim opterećenjem (12 i 14 t/osovini) ima oko 6,6%, a koloseka sa dopuštenim osovinskim opterećenjem od 16 t/osovini ima oko 16,4%. Ovi koloseci su građeni u ranijem periodu i nije se ulagalo u njihovu modernizaciju.

Duž magistralnih pruga građeni su industrijski koloseci povoljnijih tehničko-tehnoloških karakteristika, a dopušteno osovinsko opterećenje na njima iznosi 18 do 22,5 t/osovini.

Industrijskim kolosecima prevoze se raznovrsni tereti, a u najvećem obimu to

godina), tehničko stanje elemenata donjeg i gornjeg stroja neujednačeno, a znatan broj deonica ima nepovoljne geometrijske elemente koloseka (oštre krivine, veliki nagibi nivelete, kratke prelazne krivine, neodgovarajuće nadvišenje koloseka i dr.).

Pregled industrijskih koloseka i ostvarenog obima rada na njima po sekcijama za STP u 1997. godini

Seksija za STP	Broj industrijskih koloseka	Broj službenih mesta sa industrijskim kolosekom	Obim rada na industrijskim kolosecima	
			kola	tona
Subotica	38	17	18 491	586 419
Novi Sad	39	17	13 845	547 177
Zrenjanin	37	12	7398	244 966
Ruma	38	13	21 737	804 010
Pančevo	26	10	19 960	1 428 922
Beograd	45	13	4147	148 121
Požarevac	19	9	83 649	3 383 912
Lapovo	33	17	37 630	620 392
Zaječar	22	12	26 991	785 801
Užice	27	9	55 649	1 875 051
Kraljevo	42	17	27 322	952 422
Niš	44	19	8363	264 049
Kosovo Polje	47	23	16 286	530 753
Ukupno	457	188	341 468	12 171 995

Pregled utovara i istovara na mreži ŽTP „Beograd“ u periodu 1992–1999.

God.	Ukupni obim rada s kolskim pošiljkama				Ukupan obim rada na industrijskim kolosecima				Učešće rada na industrijskim kolosecima % ukupno utovar i istovar
	utovar		istovar		utovar		istovar		
	broj kola	tona x (hilj.)	broj kola	tona x (hilj.)	broj kola	tona x (hilj.)	broj kola	tona x (hilj.)	%
1992.	383 389	11 552	422 728	11 382	212 559	6313	250 662	7946	62,17
1993.	163 262	4808	193 564	5143	95 673	2985	121 239	3756	67,74
1994.	172 930	5008	166 100	5065	98 865	3050	120 502	3838	68,38
1995.	169 491	5004	169 689	10 851	153 106	4855	189 074	6109	69,15
1996.	221 378	6686	248 120	8039	144 416	4703	180 518	5877	71,85
1997.	256 562	8118	288 545	9536	147 146	5224	195 705	6947	68,95
1998.	249 591	8033	261 307	8673	154 832	4965	167 206	5362	61,82
1999.	91 715	3019	100 308	3260	65 777	2107	71 094	2275	69,79

su masovni i rasuti tereti (šljunak, kamen, ruda, ugalj, staro gvožđe, sezonski poljoprivredni proizvodi, drvo i slično). U tabeli 2 dat je pregled ostvarenog obima rada na industrijskim kolosecima za period od 1992. do 1999. godine [2].

U posmatranom periodu na industrijskim kolosecima ŽTP Beograd obavljalo se od 61 do 71% ukupnog utovara i istovara.

Opšte stanje vojnoindustrijskih koloseka prikazano je u tabeli 3. Njihova ukupna građevinska dužina je 28 188,6

m, a korisna dužina u krugu vojnih objekata 19 722,2 m.

S obzirom na tako značajno učešće industrijskih koloseka u ukupnom obimu rada, radi njihove što kvalitetnije eksploatacije, nameće se potreba za razvojem funkcionalnog informacionog sistema industrijskih koloseka povezanog sa informacionim sistemom železnice. Informacioni sistem industrijskih koloseka trebalo bi železnici da obezbedi osnovne podatke o: vlasnicima, drugim korisnicima, zaključenim ugovorima, tehničkim karakteristikama, eksploata-

Pregled stanja vojnoindustrijskih koloseka

Red. br.	Naziv	Broj koloseka	Građevinska dužina (m)	Korisna dužina (m)	Osovinsko opterećenje (t/osov.)
1.	B. Salaši	1	2289	1812	20
2.	Nova Pazova	2	3598	3100	18
3.	S. Jovanović	2	601	200	20
4.	Pančevo Glavna	1	652	410	22
5.	Ledinci	1	1083	828	20
6.	Sopot-Kosmajski	1	1140	1000	16
7.	Grdica	2	2350	2306	16
8.	Grošnica	3	1120	1105	16
9.	Leskovac	3	722	692	16
10.	TRZ Čačak	1	1555	970	22
11.	TRZ Kragujevac	1	3890	590	20
12.	Vitanovac	1	1527	378	16
13.	Aerodrom	1	1608	600	18
14.	Pantelej	1	1294	600	16
15.	Baza-Umac	1	376	303	20
16.	Doljevac	1	657	453	16
17.	Velika Slatina	3	735	120	16
18.	Grabovnica	2	1151	310	22
19.	Lukare	1	213	186	16
20.	Leposavić	1	620	593	16
21.	Stara stanica	1	1263	1263	16
22.	Vrani Do	1	393	366	16
23.	Strahinjić	1	1184	1157	16
24.	Đeneral Janković	1	271	244	18
25.	Nikšić	1	270	135	20
Ukupno			28 188,6	19 722,2	

cionim karakteristikama, potražnji i ponudi teretnih kola, zadržavanju kola na industrijskim kolosecima, obimu rada, ostvarenim prihodima i sl.

Zadovoljenje potražnja za transportnom uslugom na železnici može se postići, pored ostalog, boljim kvantitativnim i kvalitativnim korišćenjem industrijskih koloseka. Uz to mora se voditi računa o postojanju sve strožih zahteva za transportnom uslugom, kao i o konkurenciji na saobraćajno-transportnom tržištu. To nameće potrebu za neprekidnim usavršavanjem organizacije i tehnologije rada na industrijskim kolosecima.

Jedinstvenost tehnologije i organizacije, složenost aktivnosti na industrijskim kolosecima, prirodna vezanost za železnicu, težnja za što boljom pozicijom na sa-

obraćajno-transportnom tržištu, nameću potrebu preduzimanja niza mera tehničke, tehnološke, organizacione i ekonomske prirode, kako bi se povećala efikasnost i kvalitet prevoza tereta preko industrijskih koloseka. To se, pre svega, odnosi na:

- povećanje propusne moći i statičkog opterećenja,
- unapređenje sistema održavanja koloseka i pripadajuće opreme,
- usavršavanje postojećih i izgradnju novih koloseka,
- unapređenje tehnologije rada na kolosecima,
- poboljšanje tačnosti dostavljanja kola na utovar,
- skraćivanje vremena utovara, komercijalnih operacija, primopredaje kola i drugih zadržavanja kola na koloseku, i dr.

## Industrijski kolosek kao deo utovarno-istovarnog rejon

Jedan od podsistema železnice, kao složenog saobraćajno-transportnog sistema, čine utovarno-istovarni kapaciteti (slika 2).

Pod utovarno-istovarnim kapacitetima podrazumevaju se transportno-manipulativne površine, mehanizacija i sl. U okviru transportno-manipulativnih površina organizuju se utovarno-istovarna mesta, koja su ujedno i elementi utovarno-istovarnih rejon. Pod njima se podrazumeva prostor, sa određenim građevinskim i železničkim objektima i opremom, namenjen za utovar i istovar tereta.

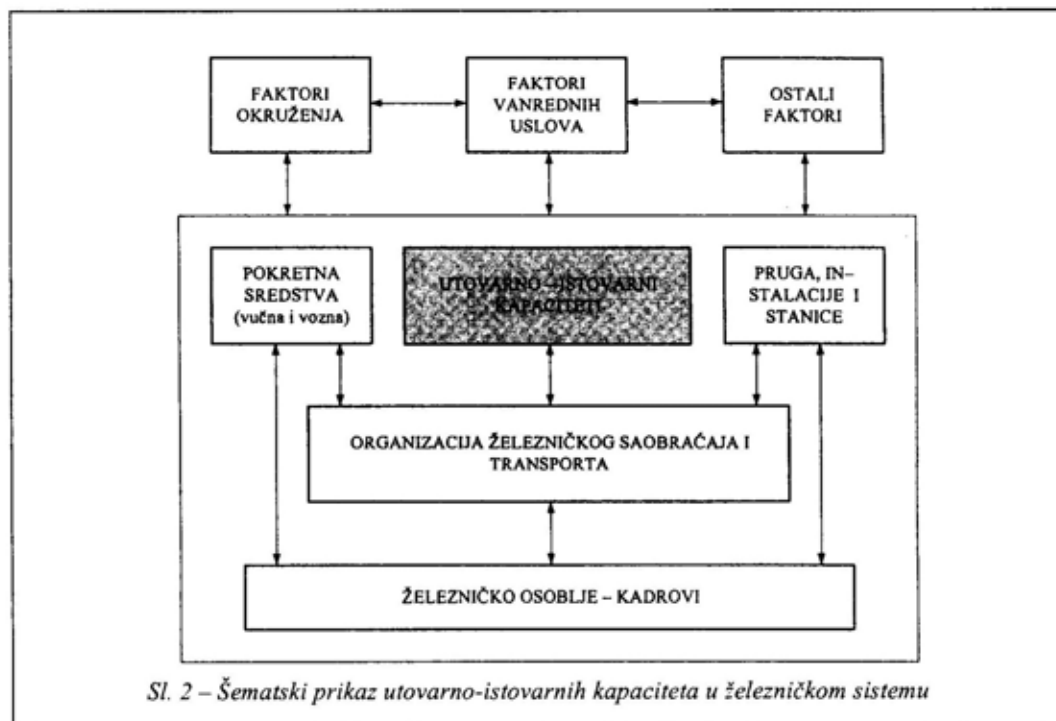
Utovarno-istovarni rejon može da se predstavi kao sistem tehnološki povezanih elemenata: pristupnog puta (PP), utovarnog (istovarnog) mesta (UM), utovar-

nog (istovarnog) koloseka (UK) i otvorene pruge (OP).

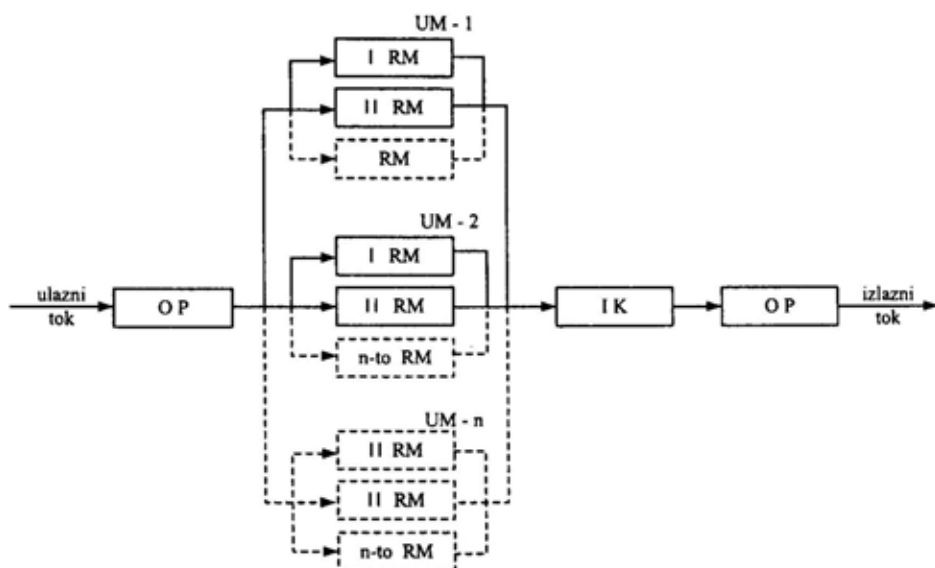
Ukoliko je utovarno-istovarni rejon lociran u zoni industrijskog koloseka, tada industrijski kolosek (IK) integriše utovarni kolosek i otvorenu prugu (slika 3).

Pristupne puteve (PP) čine putne komunikacije koje povezuju utovarno-istovarni rejon sa okruženjem. Oni su od različitog kolovoznog zastora, obično savremenog, dok se u ratnim i vanrednim mirnodopskim uslovima mora računati i na zemljane pristupne puteve.

Utovarno-istovarna mesta (UM) predstavljaju manipulativne površine na kojima se, uz pomoć mehanizacije ili bez nje, obavljaju utovar i istovar. To su obično utovarno-istovarne rampe, kao postojeća izgrađena i opremljena mesta. Pored njih, u uslovima odbrane računa se i na privremena utovarno-istovarna me-







Sl. 3 – Industrijski kolosek kao element sistema utovarnog rejona

sta koja se mogu formirati na raznim lokacijama, počev od železničkog čvora, fabričkog kruga (industrijski kolosek) do otvorene pruge. Moguće lokacije privremenih utovarno-istovarnih rejona i mesta treba istaći u planovima za funkcionisanje železnice u vanrednim mirnodopskim i ratnim uslovima.

U zavisnosti od konkretnih uslova, na utovarno-istovarnom mestu može da bude organizovano više radnih mesta (RM). Pod radnim mestom podrazumeva se manipulativna površina, sa odgovarajućom opremom ili bez nje, na kojoj se obavlja utovar ili istovar jedne grupe kola.

Transportno-manipulativni prostori – platforme namenjeni su za obavljanje operacija utovara i istovara tereta i predstavljaju sastavni deo većine stanica na mreži naše železnice. One treba da budu takve veličine da mogu da zadovolje potrebe za utovarom i istovarom odgovara-

juće količine tereta u određenom vremenu. Na mreži železnice postoji ograničen broj ovih kapaciteta, u veoma različitim građevinskom stanju.

Veličina utovarno-istovarnih frontova može da se odredi prema izrazu:

$$L_{ul} \geq \frac{1}{n_{ds} \cdot n_d} \cdot \sum_i^k n_{vi} \cdot l_{vi}(m) \quad (2)$$

gde je:

$n_{ds}$  – broj dostava kola u smeni na utovarno-istovarni front, koji je određen propusnom moći utovarno-istovarnog fronta,

$n_d$  – broj dostava, odnosno smena,

$k$  – broj vrsta kola koja dospevaju na utovar-istovar,

$n_v$  – broj kola svake vrste,

$l_v$  – dužina kola svake vrste (m).

Utovarno-istovarne rampe, kao transportno-manipulativne površine ili mesta na kojima se najčešće obavlja utovar, is-

tovar ili pretovar tereta pri prevoženju železnicom, imaju značajnu ulogu u obezbeđenju većeg stepena korišćenja železnice u vanrednim mirnodopskim i ratnim uslovima. One su, kao izgrađeni objekti, izdignuti iznad koloseka, odnosno gornje ivice šine, tako da omogućavaju olakšano manipulisanje teretom.

Na mreži naše železnice postoji više vrsta rampi koje u različitoj meri zadovoljavaju potrebe Vojske, a i odbrane u celini. Uglavnom su to stalne i prenosne, a po potrebi se grade i provizorne rampe.

Pregled utovarno-istovarnih rampi prikazan je u tabeli 4.

Stalne rampe su stacionarnog tipa, koje se grade po projektima železničkih preduzeća, na železničkim stanicama i drugim službenim mestima. U zavisnosti od svog položaja u odnosu na kolosek postoje bočne, čeone i kombinovane rampe.

Postoje određeni minimalni zahtevi u pogledu gradnji rampi, a to su: da im širina bude 6–10 m, dužina oko 200 m i da su od čvrstog materijala, sa izgrađenim pristupnim putem. Neposredno na njima ili u njihovoj blizini izgrađuju se šire platforme, sa potrebnom opremom, gde se formiraju utovarno-istovarna mesta.

Stalne rampe su, kao stabilni objekti infrastrukture, u ratnim uslovima izložene

dejstvu agresora, naročito iz vazdušnog prostora. O tome mora da se vodi računa pri planiranju utovara i istovara.

Često će se, kako u ratnim uslovima tako i u vanrednim mirnodopskim uslovima, utovar i istovar obavljati na otvorenoj pruzi, gde stalnih rampi i sličnih postrojenja nema. Tada se koriste prenosne (pokretne) rampe. One se grade, uglavnom, od drveta (manje nosivosti) i metala (veće nosivosti), kao sklapajuće ili na točkovima, tako da se lako mogu prenositi. Koriste se, po pravilu, za utovar lakih tereta, mada se mogu koristiti i za teške terete, kao što su tenkovi, inženjerske mašine i sl.

Prenosne rampe namenjene su za utovar i istovar tereta na otvorenoj pruzi ili u stanicama koje nemaju odgovarajuće stalne rampe. Prema konstrukciji, prenosne rampe najčešće se izrađuju kao sklapajuće, što omogućava njihovo lakše premeštanje, odnosno stavljanje iz transportnog (marševskog) položaja u radni, i obratno.

U Vojsci Srbije i Crne Gore usvojene su i u upotrebi sledeće prenosne rampe:

– teška prenosna rampa tip TPR-500, nosivosti 50 t, ukupne mase 1250 kg;

– pokretna utovarno-istovarna rampa tip PUIR-15, nosivosti 15 t, ukupne mase 1915 kg;

Tabela 4

Utovarno-istovarne rampe

Red. br.	Tip rampe	Dužina (m)			Širina (m)			Ukupno (komada)
		0–20	20–40	> 40	0–10	10–20	> 20	
1.	Bočne (komada)	147	73	103	236	84	3	323
2.	Dvostruko bočne (komada)	5	5	18	12	16	–	28
3.	Bočno-čeone (komada)	1	2	16	10	7	2	19
4.	Čeone (komada)	2	–	–	2	–	–	2
Ukupno (komada):		155	80	137	260	107	5	372

– laka prenosna rampa tip LPR-10, nosivosti 1 t, ukupne mase 180 kg.

Može se očekivati da u određenim situacijama neće biti ni stalnih ni prenosnih rampi, pa se tada mora pristupiti gradnji provizornih rampi. One se najčešće i koriste na otvorenoj pruzi, a često i kao dopuna stalnim i prenosnim rampama. Grade se od priručnih materijala i materijala koji se nađu na terenu (pragovi, šine, razna metalna i drvena građa, vagona vrata i sl.). Materijal, uglavnom, obezbeđuju železnički organi, a rampe grade jedinice koje ih koriste.

Veći deo današnjih utovarno-istovarnih rampi na mreži železnice nalazi se u lošem stanju, nema dovoljne kapacitete ni adekvatan razmeštaj na mreži. Izgradnja novih i modernizaciji postojećih rampi mora se posvetiti veća pažnja.

Vojska i železnica treba da sporazumno i zajednički projektuju i grade utovarno-istovarne rampe, naročito na onim mestima gde se očekuje masovniji utovar jedinica i sredstava u vanrednim uslovima i u ratu.

Najvažnija karakteristika utovarno-istovarnih mesta je njihova propusna moć, pod kojom se podrazumeva da se na njemu u određenoj jedinici vremena obavi utovar – istovar određene količine tereta ili određenog broja vozničkih sredstava, što se može predstaviti izrazom:

$$P_{m_{u-i}} = \frac{Q}{24} (t/h), \text{ ili} \quad (3)$$

$$P_{m_{u-i}} = \frac{Q}{24 \cdot P_s} (\text{kola/h}), \quad (4)$$

gde je:

$Q$  – ukupna količina tereta koji dođe na utovar u toku jednog dana ( $t$ ),

24 – broj sati u danu ( $h$ ),

$P_s$  – prosečno statičko opterećenje jednih kola ( $t/\text{kola}$ ).

Kao posledica nedovoljne propusne moći utovarno-istovarnog mesta javlja se povećanje vremena stajanja vozničkih sredstava (zadržavanja), bilo zbog obavljanja, bilo zbog čekanja na utovar – istovar. Za vreme stajanja nema transportne proizvodnje, pa njegovo povećanje utiče na povećanje transportnih troškova po jedinici transportne proizvodnje.

Propusna moć utovarno-istovarnog mesta zavisi od niza faktora:

- broj radnih mesta,
- opremljenost odgovarajućom mehanizacijom,
- tehnologija rada,
- uskladenost između mogućnosti utovarno-istovarnih mesta i železničkih vučnih i vozničkih kapaciteta, itd.

Bitna karakteristika tehnologije rada na utovarno-istovarnom mestu, koja utiče na vrednost propusne moći, jeste tehnološka povezanost sa ostalim elementima utovarno-istovarnog rejonu. Utovarno-istovarno mesto treba dobro tehnološki povezati sa pristupnim putem i utovarnim kolosekom, jer je rad svakog od navedenih elemenata usko povezan sa radom narednog elementa. Navedena karakteristika u velikoj meri karakteriše eksploatacionu pouzdanost utovarno-istovarnih mesta.

Ako se u toku vremena povećava količina dolazećeg tereta na utovar – istovar, a pri tome propusna moć utovarno-istovarnog mesta ostane ista, doći će do porasta količine tereta (broja sredstava) koja se zadržava na pristupnom putu.

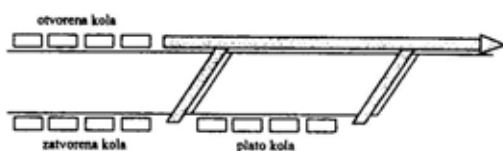
Pri nepromenjenoj propusnoj moći utovarnog mesta, kod masovnih prevoženja doći će do opadanja funkcije pouzdanosti i porasta funkcije otkaza. S time u

vezi raste i vreme zadržavanja vučnih i vozni sredstava, kao i tereta koji se utovara, što daje različite negativne efekte (bezbednosne, ekonomske i dr.).

Da bi se postigla što veća efikasnost utovarno-istovarnog mesta, potrebno je da se na njemu uspostavi odgovarajuća organizacija rada. Jedna od mogućih organizaciono-tehničkih mera za povećanje propusne moći utovarnih mesta, a time i skraćivanje ukupnog vremena potrebnog za utovar i prevoženje, jeste organizacija utovara po vrstama kola. Na utovarnim rejonima, gde za to postoje uslovi, može da se izvrši određena uslovna specijalizacija radnih mesta na utovaru, prema vrstama kola, odnosno prema vrsti tereta. To podrazumeva formiranje radnih mesta za pojedine vrste kola, kao na primer: otvorenih, zatvorenih, plato kola, itd., (slika 4).

Ovakva organizacija može da se postavi na onim službenim mestima gde postoji veći broj koloseka, rampi i sl. Koliko će utovarnih mesta biti formirano zavisi od konkretnih potreba za različitim vrstama kola, vrsta trenutno raspoloživih kola, mogućnosti utovarnog rejona i sl.

Važan zadatak jedinstvene tehnologije rada jeste da obezbedi što veće mogućnosti za paralelno utovarivanje. Organizaciju rada treba postaviti tako da se izbegne dupliranje operacija, kao na primer: pregled kola, pregled pravilnosti utovara i pričvršćenosti tereta na kolima, itd.



Sl. 4 – Organizacija utovara kola po vrstama

Kod masovnijih prevoženja, gde se na jednoj stanici ili utovarnom rejonu očekuje utovar većeg broja vozova, treba obezbediti adekvatnu tehnologiju i neprekidnost utovarnih operacija. To podrazumeva usaglašen rad svih elemenata utovarnog rejona, koji se postiže ako se ispunje sledeći uslovi:

– da je srednji interval dolaska grupa kola na utovar ( $I_d^u$ ) jednak periodu prikupljanja sredstava – tereta u utovarnom rejonu (rejonu prikupljanja) ( $T_n^u$ ), s tim da obim tereta odgovara nosivosti grupe kola, tj.:

$$I_d^u = T_n^u \quad (5)$$

– da srednje vreme utovara grupe kola ( $T_u$ ) ne bude veće od vremena prikupljanja neophodne količine sredstava – tereta za utovar, pri njihovom neprekidnom dovoženju na utovarno mesto ( $T_n$ ), tj.:

$$T_u \leq T_n \quad (6)$$

– da interval između dolaska i otpravljanja grupa kola ( $I_{do}$ ) bude veći (ili jednak) od ukupnog vremena neophodnog za obradu grupa kola na utovarnom mestu ( $T_{ob}$ ), s tim da se maksimalno iskoristi mogućnost paralelnog izvršenja operacija, tj.:

$$I_{do} \geq T_{ob} \quad (7)$$

Vreme utovara kompletnog voza jednako je maksimalnom vremenu utovara pojedinih grupa kola:

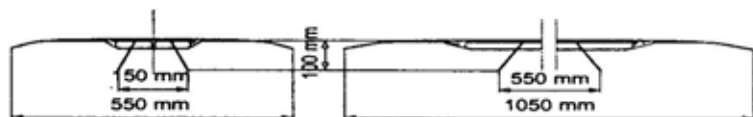
$$T_{uv} = \max(t_{ug1}, t_{ug2} \dots t_{ugn}) \quad (\min) \quad (8)$$

$$T_{uv} = \sum_{i=1}^n t_{ugi} \quad (9)$$

gde je:

$T_{uv}$  – vreme utovara voza (min)

$t_{ug}$  – vreme utovara grupe kola (min).



Sl. 5 – Dimenzije prelaznih mostića

Vremenu utovara voza ( $T_{uv}$ ) pridodaje se i vreme potrebno za sastavljanje utovarnog voza iz utovarnih grupa kola.

Radi ubrzanja procesa utovara (na primer, na bočnoj rampi), treba iznaći mogućnost da se utovar obavlja paralelno na što je moguće više radnih mesta. Najpovoljniji odnos postiže se kada je dužina rampe jednaka dužini voza ili grupe kola koja se tovari. U tom slučaju, zavisno od manevarskih karakteristika sredstava koja se utovaruju, može se formirati onoliko radnih mesta koliko ima kola u vozu ili u grupi kola, tj.:

$$n_{rm} = n_k \quad (10)$$

gde je:

$n_{rm}$  – broj radnih mesta na utovaru,

$n_k$  – broj kola.

Ukoliko karakteristike sredstava koja se utovaruju zahtevaju da se paralelno utovaruju svaka druga kola, tada je broj radnih mesta:

$$n_{rm} = \frac{n_k}{2} \quad (11)$$

Vreme utovara kompletnog voza, u prvom slučaju, jednako je maksimalnom vremenu utovara jednih kola:

$$T_{uv} = \max(t_{uk1}, t_{uk2} \dots t_{ukn}), \quad (12)$$

gde je:

$T_{uv}$  – vreme utovara jednog voza,

$t_{uk}$  – vreme utovara jednih kola.

Najpovoljnija situacija postiže se kada je dužina rampe jednaka dužini voza, jer se voz nakon obavljenih završnih operacija direktno otprema, bez prethodnih manevara (što je u praksi vrlo retko).

Najčešće će se utovar, kako u mirnodopskim, tako i u ratnim uslovima, odvijati na bočnoj rampi kraćoj od voza, a organizuje se tako da se voz pomera ili se teret utovara preko mostića, između kola (slika 5). Voz ne mora da se pomera, ako se obezbedi dovoljan broj prelaznih mostića – mosnica.

Utovar se prvo obavlja na kola do rampe, a zatim se preko prelaznih mostića sredstva pomeraju napred prema čelu voza. Ako se voz pri utovaru pomera, ukupno vreme utovara voza ( $T_{uv}$ ) jednako je zbiru vremena utovara pojedinih grupa kola ( $t_{ugi}$ ):

$$T_{uv} = t_{ug1} + t_{ug2} + \dots + t_{ugn} \quad (13)$$

odnosno:

$$T_{uv} = \sum_{i=1}^n t_{ugi} \quad (14)$$

Pri utovaru voza na čeonj rampi, zbog njenih konstrukcionih karakteristika, organizuje se samo jedno radno mesto, dok se kod kombinovanih utovarnih rampi (bočna i čeonj) obično formira jedno radno mesto na čeonom delu rampe i više radnih mesta na bočnom delu rampe.

## Zaključak

Razvijenost i stanje industrijskih koloseka i njihova eksploatacija osnovni su faktori podizanja nivoa dostupnosti, a time i sveukupnog kvaliteta železničke saobraćajno-transportne usluge. Ostvarenjem prevoženja „od vrata do vrata“ direktno se utiče na skraćenje vremena i smanjenje ukupnih troškova prevoženja. To ima značajnu ulogu u povećanju obima prevoženja železnicom, kako za potrebe privrede, tako i za potrebe saobraćajne podrške Vojske Srbije i Crne Gore. Otuda višestruki interes železnice i korisnika usluge za gradnjom, postojanjem i što boljom eksploatacijom industrijskih koloseka.

Radi povećanja kvaliteta prevoženja i sveukupne efikasnosti industrijskih koloseka, a s obzirom na postojeće stanje, prirodu i obim aktivnosti vezanih za njih, potrebno je projektovati i preduzeti adekvatne tehničke, tehnološke i organizaci-

one mere, počev od mera za povećanje propusne moći i statičkog opterećenja koloseka, do mera za skraćenje vremena utovara i sveukupnog zadržavanja kola na koloseku.

Industrijski kolosek, kao potencijalni element utovarno-istovarnog rejona koji je tehnološki povezan sa njegovim drugim elementima, ima zapaženo mesto i značaj u sistemu saobraćajne podrške Vojske, što ukazuje na potrebu jednog novog pristupa pitanju razvoja i eksploatacije industrijskih koloseka.

### Literatura:

- [1] Glibetić, S.: Tendencije kretanja potražnje saobraćajnih usluga na transportnom tržištu i njihov odraz na železnički saobraćaj, Železnice, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1988.
- [2] Bundalo, Z. i Dakić, B.: Industrijski koloseci na teritoriji ŽTP Beograd – Stanje i perspektive, Železnice, 3-4/2001, Beograd, 2001.
- [3] Jovanović, D.: Organizacija železničkog saobraćaja i transporta, VIZ, Beograd, 2002.
- [4] INKOL 2002: Prvi stručni skup o industrijskim kolosecima, Zbornik radova, Novi Sad, 2002.

*Rezime:*

*U ovom radu govori se o promenama magnetnog polja Zemlje i njihovom uticaju na tačnost izvođenja orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Pored toga, rad razmatra postojeća rešenja upotrebe popravke busole sa aspekta tih promena.*

*Ključne reči: magnetno polje Zemlje, promene magnetnog polja Zemlje, deklinacija magnetnog polja Zemlje, instrumenti koji sadrže magnetnu iglu, popravka busole, orijentacija.*

---

INFLUENCE OF THE VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD  
ON ORIENTATION

*Summary:*

*This article presents the variations of the geomagnetic field and their influence on the accuracy of orientation by instruments with a magnetic needle. The article also deals with using the existing solutions for compass corrections in correlation with the variations of the geomagnetic field.*

*Key words: geomagnetic field, variations of the geomagnetic field, declination of the geomagnetic field, instruments with a magnetic needle, corrections of the compass, orientation.*

---

**Uvod**

Potrebe za brzom i tačnom orijentacijom uslovile su razvoj metoda i sredstava za orijentaciju. U početku su to bila primitivna sredstva kojima se približno mogao odrediti pravac magnetnog severa ili magnetnog azimuta. Njihovim usavršavanjem, kao i konstrukcijom novih sredstava stvorena je široka paleta instrumenata koji su se u većoj ili manjoj meri koristili i koriste za orijentaciju.

Dominantna uloga u izvođenju orijentacije u proteklom periodu svakako pripada instrumentima sa magnetnom

iglom, zbog relativno brzog izvođenja orijentacije i niskih troškova nabavke instrumenata.

Nepoklapanje magnetnog meridijana sa geografskim, zatim vremenske i prostorne promene deklinacije magnetnog polja Zemlje, kao i neadekvatna rešenost pregleda instrumenata koji sadrže magnetnu iglu, ovaj način orijentacije čini manje pouzdanim, pogotovo u slučajevima kada je potrebno postizanje visoke tačnosti. Pomenuti problemi rešavani su uprošćenim sagledavanjem, često i neuvažavanjem saznanja o pojavama vezanim za fenomen magnetnog polja Ze-

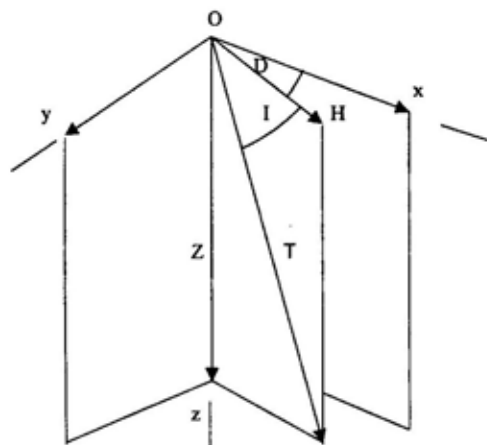
mlje. Rešenja do kojih se dolazilo ovakvim pristupom a koja se prvenstveno odnose na prostornu i vremensku promenljivost deklinacije magnetnog polja Zemlje neadekvatna su, pa čak i suprotna postojećim saznanjima nauke o magnetizmu Zemlje.

Cilj ovog rada jeste da ukaže na karakter i veličinu prostornih i vremenskih promena i da se u tom smislu sagledaju postojeća rešenja i zauzmu stavovi o izvođenju orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu.

### Elementi magnetnog polja Zemlje

Kao i svi drugi magneti i Zemlja ima moć privlačenja, pokazuje polaritet i ima svoje polje sila. Izuzimajući njenu ogromnu veličinu koja kao takva nije magnetna karakteristika, Zemlja deluje kao i bilo koji drugi sferni magnet [4].

Magnetno polje Zemlje u bilo kojoj tački može se predstaviti vektorom  $T$  koji je tangenta na magnetne linije sile u toj tački (slika 1). Vertikalna ravan u kojoj leži vektor magnetnog polja naziva se ravan



Sl. 1 – Vektor magnetnog polja Zemlje

magnetnog meridijana. Ona je bitan element za orijentaciju instrumentima koji sadrže magnetnu iglu, jer se igla uvek postavlja u ravni magnetnog meridijana.

Ako se u tačku posmatranja  $O$  postavi početak troosnog pravouglavog koordinatnog sistema, čija je ravan  $xOy$  horizontalna,  $x$ -osa se orijentiše u smeru astronomskog severa,  $y$ -osa u smeru astronomskog istoka, a  $z$ -osa naniže, onda se u ovakvom koordinatnom sistemu vektor magnetnog polja može razložiti na komponente, a njegov položaj u prostoru odrediti uglovima koje on i njegove projekcije zaklapaju sa koordinatnim osama.

Projekcija vektora magnetnog polja  $T$  na horizontalnu ravan  $xOy$  predstavlja horizontalnu komponentu  $H$ , a projekcija vektora magnetnog polja na  $z$ -osu vertikalnu komponentu  $Z$ .

Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer astronomskog i smer magnetnog severa u tački  $O$  naziva se magnetna deklinacija  $D$ . To je ugao koji horizontalna komponenta  $H$  magnetnog polja Zemlje zaklapa sa  $x$ -osom.

Ugao u vertikalnoj ravni koji vektor magnetnog polja  $T$  zaklapa sa horizontalnom ravni  $xOy$  naziva se magnetna inklinacija  $I$ .

Terenskim merenjima elemenata magnetnog polja Zemlje dobijaju se podaci o njihovim vrednostima. Na osnovu tih vrednosti izrađuju se magnetne karte na kojima je raspodela elemenata magnetnog polja prikazana izolinijama. S obzirom na to da se elementi magnetnog polja Zemlje menjaju u toku vremena, to se magnetne karte odnose na određeni period, odnosno, epohu. U zavisnosti od prostora koji obuhvataju, magnetne karte



se izrađuju za površ cele Zemlje (svetske karte), i karte koje obuhvataju manje površi, odnosno teritoriju jedne države (nacionalne karte). Prikazivanjem elemenata magnetnog polja Zemlje na svetskim kartama gubi se osobenost magnetnog polja na malim prostorima, pa takve karte predstavljaju globalno magnetno polje Zemlje. Na nacionalnim kartama karakter magnetnog polja je vernije prikazan u odnosu na svetske, ali se i kod njih zbog razmera, preglednosti karte i dr. ne uočavaju lokalne nepravilnosti, pa se za njih može reći da predstavljaju globalno (regionalno) polje te države.

### Deklinacija magnetnog polja Zemlje

Kako je magnetna deklinacija ugao u horizontalnoj ravni koji smer astronomskog severa  $N_a$  obrazuje sa smerom magnetnog severa  $N_m$  u tački  $O$ , računanje magnetne deklinacije svodi se na određivanje vrednosti astronomskog<sup>1</sup>  $A_{za}$  i magnetnog<sup>2</sup> azimuta  $A_{zm}$  orijentacione tačke, odnosno njihove razlike (slika 2).

Deklinacija  $D$  tačke  $O$  izračunava se po sledećem izrazu:

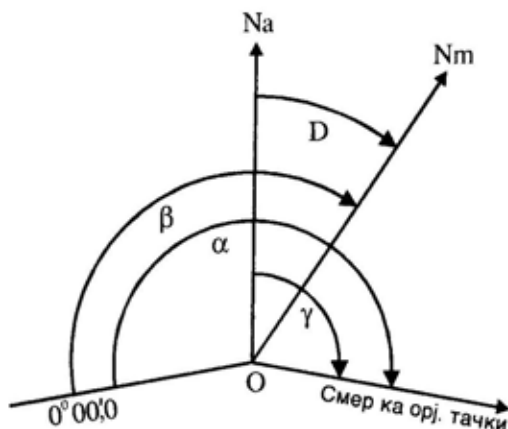
$$D = A_{za} - A_{zm} = \gamma - (\alpha - \beta), \quad (1)$$

gde je:

$\gamma$  – geografski azimut orijentacione tačke,  
 $\alpha$ ,  $\beta$  – mereni horizontalni uglovi u odnosu na smer magnetnog severa i na smer ka orijentacionoj tački čija razlika predstavlja magnetni azimut.

<sup>1</sup> Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer astronomskog severa i smer ka orijentacionoj tački u nekoj tački  $O$ .

<sup>2</sup> Ugao u horizontalnoj ravni koji obrazuju smer magnetnog severa i smer ka orijentacionoj tački u nekoj tački  $O$ .



Sl. 2 – Određivanje deklinacije magnetnog polja Zemlje

Smer astronomskog severa, odnosno, vrednost astronomskog azimuta, određuje se astrogeodetskim metodama opažanjem Sunca ili nekog drugog nebeskog tela, dok se smer magnetnog severa, odnosno vrednost magnetnog azimuta određuje nekom od magnetnih metoda.

### Prostorne promene magnetnog polja Zemlje

Kada se govori o prostornoj promenljivosti magnetnog polja Zemlje, prvenstveno se misli na njegovu površinsku raspodelu. Pošto se izvor magnetizma nalazi u unutrašnjosti Zemlje, linije magnetnih sila koje se prostiru oko njega moraju proći kroz Zemljinu koru. Ona se sastoji od magnetski heterogenih materijala koji izazivaju deformacije magnetnog polja. Merenja izvršena na Zemljinoj površi ukazuju na veoma prostrane zone izgrađene od stena različite permeabilnosti kao što su planinski venci, geološki bazeni, regionalni rasedi i dr. Ovi tektonski oblici u velikoj meri deformišu oblik linija sila, tako da one odstupaju od svog

normalnog oblika. Takve deformacije uslovljavaju regionalne i lokalne anomalije različitih površina i intenziteta. Ovakva površinska raspodela namagnetisanja uslovljava je nemogućnost definisanja preciznog matematičkog modela prostorne promene elemenata magnetnog polja, pa bi se sa aspekta orijentacije, moglo govoriti o površinama sa većim i manjim anomalijским vrednostima.

U okviru radova koje je u proteklom periodu izvodio Vojnogeografski institut, može se uočiti da je ovakav karakter polja zastupljen i kod nas. Promene deklinacija, vrednosti i do pola stepena (tabela 1), uočavaju se i na kompenzacionim površinama aerodroma<sup>3</sup> (slika 3).

Tabela 1  
Vrednosti deklinacija na kompenzacionoj površini aerodroma Priština

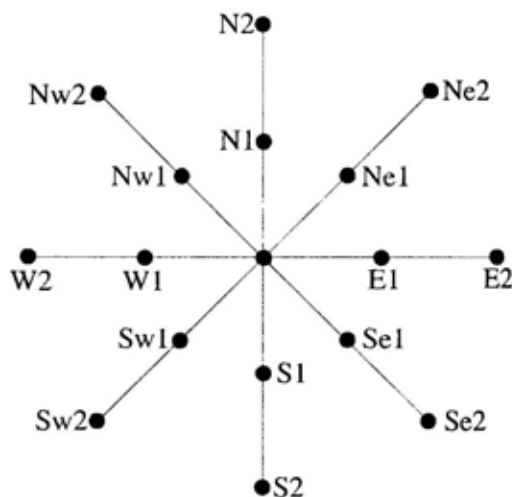
Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije	Tačka merenja	Vrednost deklinacije
N1	2,45	E1	2,63	S1	2,43	W1	2,50
N2	2,52	E2	2,63	S2	2,55	W2	2,42
Ne1	2,53	Se1	2,55	Sw1	2,72	Nw1	2,38
Ne2	2,55	Se2	2,58	Sw2	2,57	Nw2	2,48

Vrednosti deklinacija date su u stepenima.

U okviru svojih radova Vojnogeografski institut je izvršio merenja deklinacije na delu Zlotske geomagnetne anomalije. Prostor na kojem su vršena merenja predstavljaju njive pod ratarskim kulturama i ne stiče se utisak da se radi o anomalijama.

Merenja su izvršena na 93 tačke (slika 4), koje se nalaze na međusobnom rastojanju od 45 m dok su visine instrumenta bile 1,6 m [2].

<sup>3</sup> Prostor gde se vrši baždarenje kompasa na avionima i gde se tačke premera nalaze na međusobnom rastojanju od 2,5 m.



Sl. 3 – Tačke kompenzacione površine



Sl. 4 – Projektovana mreža tačaka

Da bi se uočila promenljivost deklinacije po vertikalnom gradijentu (visini), izvršena su merenja i pri visini instrumenta od 1,1 m.

Iz rezultata dobijenih obradom merenja (tabela 2), može se uočiti izrazito anomalijški karakter ovog područja. Raspon deklinacija kreće se od 31,23 stepeni na tački F1 do -44,5 stepeni na tački S2. Takođe, obradom merenja u redu D može se uočiti promena po vertikalnom gradijentu, odnosno visini, koja se kreće u granicama od 20 do 30 minuta.

S obzirom na prethodno izloženo, a imajući u vidu merenja deklinacije koja

Vrednosti deklinacija na delu Zlatske geomagnetne anomalije [2]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	19,28	16,37	13,78	10,28	-22,35	-11,06	-3,32			
B	17,02	17,8	2,72	12,05	-4,27	-33,53				
C	15,78	13,1	15,98	15,9	-2,53	-41,05				
D <sub>1,6</sub>		16,57	19,97	7,93	-16,43	-28,5				
D <sub>1,1</sub>		16,42	19,58	7,73	-17,08	-28,85				
E	25,17	15,03	15,9	2,7	-15,73	-21,88				
F	17,15	31,23	24,9	-5,53	-17,38	-15,22				
G		27,68	16,99	-14,15	-13,68	-12,52	-9,83			
H		22,6	1,9	-10,25	-11,32	-10,77	-9,28			
I			3,02	-12,68	-12,03	-10,87	-9,57			
J			3,58	-4,73	-9,57	-12,48	-10,58			
K					-19,15	-14,92	-12,53	-10,49		
L					-18,50	-16,55	-13,63			
LJ					-7,17	-16,47				
M						-14,63				
N		-10,78	-12,08	-13,07	-13,4	-13,98	-15,02			
O		-8,93	-8,53	-7,73	-7,05	-6,03	-4,35	-4,58	-4,23	-4,78
P	-10,17	-13,23	-16,5	-21,23	-31,05					
R	-14,88	-25,77	-28,22							
S	-26,72	-44,5	-37,5							

su izvršili Vojnogeografski institut i Geomagnetski zavod, može se konstatovati sledeće:

- prostornu raspodelu elemenata magnetnog polja Zemlje, a samim tim i deklinacije nije moguće matematički definisati;

- površi gde se deklinacija menja u granicama do pola stepena zahvataju veći deo prostora naše državne teritorije;

- postoje područja sa izraženim anomalijama gde se vrednosti deklinacije menjaju u rasponu od nekoliko desetina stepeni;

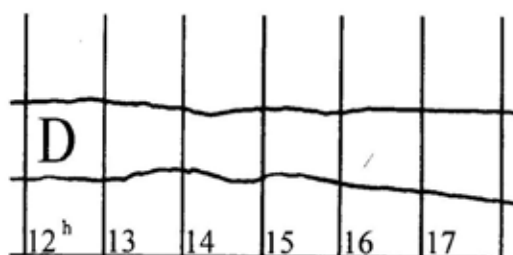
- na osnovu heterogenosti geološkog sastava tla naše zemlje, može se pretpostaviti da postoji znatan broj površi

gde se promene deklinacije kreću u rasponu od nekoliko stepeni.

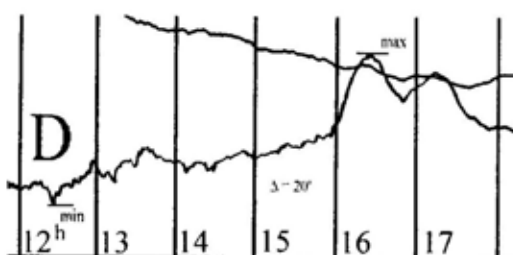
### Varijacije magnetnog polja Zemlje

Promene vrednosti elemenata magnetnog polja Zemlje u realnom vremenu nazivaju se varijacije. Redovna dnevna aktivnost svake geomagnetne opservatorije je registrovanje varijacija magnetnog polja Zemlje. Registrovanjem varijacija dobijaju se magnetogrami na kojima su grafički prikazane promene elemenata magnetnog polja u toku 24 sata po Griniču. Sa njih se može uočiti da su u nekim danima sve komponente polja podložne

ujednačenim promenama (slika 5), dok ima dana kada su te promene izraženije, pa čak i vrlo intenzivne (slika 6). Intenzivne promene intenziteta magnetnog polja Zemlje koje mogu trajati nekoliko dana nazivaju se magnetne bure. Za vreme njihovog trajanja onemogućeno je izvođenje orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Sve pojave koje izazivaju promene intenziteta magnetnog polja Zemlje u realnom vremenu u neposrednoj su vezi sa dešavanjima na Suncu [4].



Sl. 5 – Ujednačene promene deklinacije



Sl. 6 – Neujednačene promene deklinacije

Višegodišnja ispitivanja na geomagnetnim opservatorijama i sekularnim stanicama<sup>4</sup> pokazala su da elementi magnetnog polja Zemlje posle dužih intervala na istim mestima menjaju svoje vrednosti. Ove varijacije sadrže jedan postojan deo na koji se superponiraju varijacije manjeg intenziteta. Shodno tome, spore vremenske promene koje mogu da traju i po nekoliko decenija, imajući pri tome isti znak

<sup>4</sup> Stanice na kojima se u određenom intervalu objavljuju magnetna merenja.

i smer, nazivaju se sekularne (vekovne) varijacije. Sekularne varijacije definišu promenu srednjih godišnjih vrednosti elemenata magnetnog polja i izražavaju se u nanoteslama (nT), ili minutima po godini. Za prostor naše zemlje sekularne varijacije deklinacije iznose oko tri minuta ili jedan miliradijan po godini.

Stepen geomagnetne aktivnosti varira iz dana u dan, i vrlo je malo dana koji su potpuno bez znatnih poremećaja. Kako se dešavanja na Suncu ne mogu predvideti, ne mogu se predvideti ni intenzitet i dužina geomagnetnih poremećaja.

Često se za potrebe analize varijacija uvode termini srednjih časovnih, dnevnih, mesečnih ili godišnjih vrednosti. Ove vrednosti predstavljaju srednje vrednosti elemenata magnetnog polja u datim vremenskim intervalima, i kao takve nisu značajne za korekciju vrednosti elemenata magnetnog polja, a time i magnetne deklinacije u realnom vremenu.

### Orijentacija instrumentima koji sadrže magnetnu iglu

Relativno brz i jednostavan način orijentacije pomoću instrumenata koji sadrže magnetnu iglu uslovio je njihovu primenu u geologiji, geofizici, vazduhoplovstvu i dr. Za te potrebe koriste se razni tipovi busola, kompasa, goniometara i dr.

S obzirom na to da se orijentacija, uglavnom, izvodi u geografskom i pravouglom koordinatnom sistemu, pri orijentaciji instrumentima koji sadrže magnetnu iglu potrebno je poznavanje horizontalnog ugla koji zaklapa smer magnetnog i astronomskog severa ili smer magnetnog severa i x-ose pravouglog koordinatnog sistema. Ukoliko se orijentacija iz-

vodi u pravouglom koordinatnom sistemu, potrebno je poznavati vrednost meridijanske konvergencije i magnetne deklinacije, odnosno vrednost popravke busole<sup>5</sup>. Međutim, ako se orijentacija izvodi u geografskom koordinatnom sistemu onda je potrebno poznavanje samo vrednosti magnetne deklinacije.

Postupak određivanja popravke busole  $\Delta A_{zm}$  svodi se na određivanje razlika između magnetnih azimuta  $A_{zm}$  i pravougljih azimuta  $A_z$  na dve orijentacione tačke:

$$\Delta A_{zm} = A_{zm} - A_z \quad (2)$$

Izračunavanjem aritmetičke sredine ovih vrednosti dobija se konačna popravka busole koja se sa koordinatama deklinacione stanice<sup>6</sup> i vremenom određivanja upisuje na pločicu koja se čuva uz instrument.

Popravka busole važi do šest meseci, i to u granicama istočno i zapadno do trideset kilometara, a severno i južno do sto kilometara od mesta deklinacione stanice. Na rad magnetne igle utiču razne promene, tako da popravka busole nema stalno istu vrednost. Ona se menja i po vremenu i po prostoru u kojem se koristi. Promene koje utiču na veličinu popravke su godišnje, dnevne i lokalne. Godišnje promene iznose u toku jedne godine sedam do deset minuta, a otklanjaju se određivanjem popravke dva do tri puta u toku godine. Dnevne promene nastaju zbog toga što magnetna igla zauzima razne položaje u toku jednog dana, i to:

- srednji u 0, 4, 10 i 18 časova,
- zapadni maksimum u 2 i 13 časova,
- istočni maksimum u 8 i 22 časa.

<sup>5</sup> Popravka artiljerijske busole  $\Delta A_{zm}$  jeste horizontalni ugao koji zaklapa smer magnetnog severa i pozitivni smer x-ose (pravougli sever) u nekoj tački [1].

<sup>6</sup> Stajna tačka na kojoj se određuje popravka busole.

Ukupno skretanje magnetne igle u toku jednog dana (dnevna amplituda) iznosi oko petnaest minuta (četiri hiljadita). Ako se busola koristi u istom vremenu i mesecu kada je njena popravka određena, korekcija popravke zbog dnevne promene ne postoji. Međutim, ako se busola koristi u nekom drugom vremenu, što je češći slučaj, u popravku busole treba uračunati i vrednost dnevnih promena prema tabeli 3 [5].

Tabela 3

Određivanje popravaka zbog dnevnih promena

Mesec	Odstupanje magnetne igle po časovima						
	6	8	10	12	14	16	18
Januar	0,0	0,3	0,0	-0,9	-0,9	-0,3	0,0
Februar	0,3	0,6	0,3	-0,9	-1,2	-0,6	0,0
Mart	0,3	0,9	0,6	-1,2	-1,8	-0,9	0,0
April	0,6	1,5	0,6	-1,5	-2,1	-0,9	0,0
Maj	1,2	1,5	0,3	-1,5	-2,1	-0,9	0,0
Juni	1,5	1,5	0,3	-1,5	-2,1	-1,2	-0,3
Juli	1,2	1,2	0,3	-1,5	-1,8	-0,9	-0,3
Avgust	0,9	1,2	0,0	-1,5	-1,8	-0,6	0,0
Septembar	0,6	0,9	0,0	-1,5	-1,5	-0,6	0,0
Oktobar	0,3	0,9	0,6	-1,3	-1,5	-0,6	0,0
Novembar	0,0	0,3	0,3	-0,9	-1,2	-0,6	0,0
Decembar	0,0	0,3	0,0	0,6	-0,9	-0,3	0,0

Odstupanje magnetne igle dato je u podeocima busole (hiljaditima) ili miliradjanima gde je miliradijan ugao kome odgovara kružni luk dužine jednake hiljaditom delu poluprečnika tog luka. Pun krug ima 6283 miliradjana. Iz praktičnih razloga na busolama pun krug ima 6000 ili 6400 podeoka, a svaki podeljak ima vrednost 3,6 ili 3,4 minuta.

U ovom delu ukratko je izložen postupak određivanja popravke busole sa detaljnim opisom njene upotrebe propisanim „Uputstvom za topografsko-geodetsko obezbeđenje artiljerije“.

Propisani postupak određivanja popravke busole je korektan, ali postupak njene naknadne upotrebe ne oslanja se na činjenice o prostornim i vremenskim

promenama magnetnog polja Zemlje, odnosno magnetne deklinacije.

Nemogućnost definisanja matematičkog modela prostorne raspodele namagnetisanja uslovljava i nemogućnost prognoziranja prostorne promene elemenata magnetnog polja a samim tim i deklinacije. Imajući u vidu veličinu promene magnetne deklinacije na kompenzacionim površima koje se nalaze na prostoru gde je magnetno polje homogeno, kao i heterogenost geološkog sastava tla Srbije i Crne Gore, upotreba popravke busole van deklinacione stanice prema okvirima propisanim uputstvom onemogućava tačno izvođenje orijentacije. Varijacije magnetnog polja Zemlje u neposrednoj su vezi sa dešavanjima na Suncu. Promene na Suncu (erupcije i dr.) ne mogu se predvideti, tako da vrednosti vremenskih promena deklinacije iz tabele 3 nemaju upotrebnu vrednost pri izvođenju orijentacije.

## Zaključak

Na osnovu izložene prostorne i vremenske promenljivosti magnetnog polja Zemlje, odnosno magnetne deklinacije kao ključnog elementa pri određivanju popravke busole, nameće se potreba za što opreznijim prilazom izvođenju orijentacije instrumentima koji sadrže magnetnu iglu. Posebnu pažnju treba obratiti pri usmeravanju artiljerijskih oruđa, radarskih sistema i svih drugih sistema za čiji je uspešan rad ili delovanje potrebna visoka tačnost.

Popravka busole određena na terenu može da se koristiti samo na tački na kojoj je određena, pod pretpostavkom da u međuvremenu nije došlo do većih promena magnetnog polja Zemlje.

Varijacije magnetnog polja Zemlje su po intenzitetu i vremenu nepredvidiv fenomen, pa korekcija popravke busole vrednostima iz tabele 3 nema upotrebnu vrednost. Tačnu orijentaciju instrumentima sa magnetnom iglom nemoguće je ostvariti bez naknadne korekcije.

Intenzitet i brzina savremenih borbena dejstava zahtevaju brzu i tačnu orijentaciju. Iskustva iz ratova u Hrvatskoj i BiH pokazala su da su artiljerijska oruđa koja su se zadržavala na položaju posle prvog ispaljivanja brzo otkrivana i često postajala cilj, što ukazuje na nemogućnost naknadne korekcije usled prvobitne loše orijentacije.

Može se konstatovati da instrumenti sa magnetnom iglom ne zadovoljavaju kriterijume koje postavljaju savremena borbena dejstva i da ih treba zameniti sredstvima koja omogućavaju tačnije izvođenje orijentacije, kao što su teodoliti i žiroteodoliti, a zbog brzine i tačnosti posebno treba istaći savremene satelitske sisteme.

### Literatura:

- [1] Marković, D.: Geodetska geofizika, Beograd, 1998.
- [2] Prodanović, G.: Značaj magnetske deklinacije za orijentaciju ljudi i sredstava, specijalistički rad, Beograd, 1998.
- [3] Starčević, M.; Đorđević, A.: Geološki atlas Srbije, Beograd, 1996.
- [4] Stefanović, D.: Geomagnetske metode istraživanja, Beograd, 1978.
- [5] Uputstvo za topografsko-geodetsko obezbeđenje artiljerije, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1981.

## **SAVREMENA SREDSTVA ZA ELEKTRONSKO IZVIĐANJE IZVORA ELEKTRONSKOG ZRAČENJA**

### **Uvod**

U savremenim vojnim sukobima nezostavna je i borba sukobljenih strana za prevlast u eteru, što se ogleda kroz takozvani elektronski rat, odnosno protivelektronsku borbu (PEB). Osnovni zadatak PEB je onemogućavanje protivnika da koristi elektromagnetsko zračenje, a da se ono istovremeno obezbedi za sopstvene snage. PEB obuhvata elektronsko izviđanje (EI), protivelektronska dejstva (PED), tj. elektronsko ometanje i obmanjivanje elektronskih sistema protivnika, protivelektronsku zaštitu (PEZ) i protivelektronska borbena dejstva (PEBD).

Smatra se da će PEB biti oružje 21. veka i nerazdvojni element svih budućih vojnih sukoba. O njegovom značaju i ulozi, posebno u narednim decenijama, govori se i u literaturi [3, 4]. Danas služi ne samo za stvaranje pogodnih uslova za borbena dejstva nego i za dobijanje bitke (naime, svejedno je da li je, na primer, raketni sistem PVO uništen bombom ili nije obavio zadatak zbog toga što je sistem vođenja njegove rakete ometen, pa nije obavio zadatak). Da bi se protiv elektronskih sredstava protivnika mogle preduzeti efikasne mere (ometanje njihovog rada, zaštita od njihovog dejstva ili fizičko uništavanje), potrebno je doći do podataka o njihovoj lo-

kaciji i karakteristikama, što je zadatak elektronskog izviđanja. Zbog toga većina razvijenih zemalja neprestano razvija i usavršava sredstva za elektronsko izviđanje, čemu posebno pogoduje razvoj mikroelektronike i informatike. Za efikasno preduzimanje mera zaštite od elektronskog izviđanja koje preduzima protivnik, potrebno je poznavati karakteristike njegovih sredstava za elektronsko izviđanje, odnosno posedovati informacije koje su danas osnovni resurs i uslov za donošenje odluka. U ovom članku prikazan je tabelaran pregled osnovnih karakteristika 76 različitih sredstava za elektronsko izviđanje od 27 različitih proizvođača iz 6 zemalja, na osnovu podataka u zapadnim izvorima [1]. Pored toga, ukratko je objašnjeno mesto elektronskog izviđanja u PEB, odnosno u tzv. elektronskom ratu, sa težištem na pojmovima koji se koriste u literaturi, na Zapadu i dat kratak prikaz strukture, odnosno osnovnih elemenata sistema za elektronsko izviđanje, koji treba da omoguće lakše razumevanje podataka u tabelarnom prikazu.

### **Elektronski rat i elektronsko izviđanje**

S obzirom na to da su za namenu prikazanih sredstava u tabelama korišćeni i engleski nazivi, ukratko će biti objašnjeno nji-

hovo značenje u okviru mesta i uloge elektronskog izviđanja u elektronskom ratu, onako kako ga vide autori na Zapadu i povezanost sa domaćom klasifikacijom PEB.

Elektronski rat (Electronic Warfare – EW) podrazumeva bilo koju aktivnost u kojoj se koristi elektromagnetna ili usmerena energija radi kontrole elektromagnetskog spektra ili napada na protivnika. Čine ga tri osnovne celine: elektronski napad (Electronic Attack – EA, raniji naziv Electronic Counter Measures – ECM – protivelektronska dejstva), elektronska zaštita (Electronic Protection – EP) i elektronska podrška (Electronic Support – ES, raniji naziv Electronic Support Measures – ESM).

Elektronsku podršku čine dve osnovne funkcije:

– kontrola, praćenje i analiza stanja u okruženju prijemom (prislušivanjem) elektromagnetnih signala. U vezi s tim su akronimi SIGINT (Signal Intelligence) – što se odnosi na elektronsko izviđanje koje najčešće podrazumeva COMINT (Communications Intelligence) – izviđanje sredstava za vezu (telekomunikacija) i ELINT (Electronic Intelligence) – izviđanje radarskih i optoelektronskih uređaja. SIGINT se koristi i u smislu opštevojnog izviđanja, a ESM u smislu elektronskog izviđanja;

– određivanje pravca (Direction Finding – DF) dolaska signala od izvora zračenja (direction of arrival – DOA) ili određivanje ugla dolaska signala od izvora zračenja (angle of arrival – AOA). Za određivanje položaja izvora zračenja mogu da se koriste sledeće osnovne metode [2]: triangulacija; ugao i daljina; višestruko merenje udaljenosti; dva ugla i poznata razlika u visini; višestruko merenje ugla jednim pokretnim izviđačkim uređajem; interferometrija.

Ako se ima u vidu današnja razvijanost elektronskih sredstava koja služe za održavanje veze, zatim radarskih i optoelektronskih sredstava, i praktična zagađenost elektromagnetskog spektra, praktično u opsegu od najnižih pa do svetlosnih talasnih dužina, i različiti načini rada tih sredstava, počev od promene frekvencije, prenosa signala u proširenom spektru, frekventnog skakanja i kodiranja signala, može se steći gruba slika o problemu koji treba da reše sredstva za elektronsko izviđanje kada se radi o otkrivanju izvora zračenja, određivanju njihovog položaja, određivanju vrste izvora zračenja, odnosno njihovoj identifikaciji i klasifikaciji. Takve probleme više ne može da reši klasični osetljivi širokopojasni prijemnik kao sredstvo elektronskog izviđanja.

Platforme koje nose sredstva za elektronsko izviđanje vrlo su različite i mogu biti razmeštene na kopnu, vodi (pod vodom) i u vazдушnom prostoru, odnosno kosmosu (vozila, brodovi, podmornice, avioni, helikopteri, bespilotne letelice, sateliti), a može da ih nosi i čovek.

### **Struktura sredstava za elektronsko izviđanje**

Osnovni elementi sredstava za elektronsko izviđanje su antena, prijemnik i procesor.

Antena može biti posebno konstruisana ili se može koristiti ona koja služi i za druge funkcije. Pošto se pretpostavlja da je položaj izvora zračenja koji se izviđa nepoznat, potrebne su različite antene, počev od neusmerenih i širokopojasnih, pa do usmerenih kada je izvor zračenja otkriven i treba precizno odrediti njegov polo-



žaj. Za određivanje položaja izvora zračenja potrebno je ili više sredstava za izviđanje (najmanje dva, a obično tri) na različitim lokacijama (položaj se određuje presecanjem pravaca ka izvoru zračenja) ili više antena i uređaja na jednoj lokaciji.

U upotrebi su različite vrste prijemnika: sa direktnim pojačanjem (poluprovodnički širokopojasni, prijemnici sa trenutnim merenjem frekvencije) i razne varijante sa konverzijom frekvencije (superheterodinski, uskopojasni sa skeniranjem ili širokopojasni: kanalni, mikroskenirajući, optoakustički).

Širokopojasni poluprovodnički prijemnik je jednostavan, jeftin i ima veliku verovatnoću detekcije, ali i lošu rezoluciju po frekvenciji i loše karakteristike kada se radi o istovremenom određivanju karakteristika više signala. Selektivnost se povećava dodavanjem uskopojasnog filtra na ulazu (podesivi prijemnik), ali to smanjuje mogućnost detekcije.

Prijemnici sa trenutnim određivanjem frekvencije rade na principu deljenja ulaznog signala tako da prolaze različite puteve, što omogućuje određivanje fazne razlike koja je proporcionalna frekvenciji. Oni prekrivaju širok opseg sa dobrom rezolucijom po frekvenciji i nije potrebno skeniranje po frekventnom opsegu. Nedostatak im je loša osetljivost i nemogućnost istovremenog sortiranja signala.

Superheterodinski prijemnici (pretvaraju frekvenciju nosećeg signala u međufrekvenciju pomoću mešača i lokalnog oscilatora) imaju dobru rezoluciju po frekvenciji i dobru osetljivost, a brzina rada može se povećati primenom širokopojasnog lokalnog oscilatora.

Kanalni prijemnici imaju širok opseg i brz rad (primenom banke filtera za pode-

lu spektra ulaznih signala u kanale od kojih svaki ima svoj detektor), ali su skuplji od superheterodinskih prijemnika.

Mikroskenirajući prijemnici su posebna klasa superheterodinskih prijemnika sa skeniranjem, kod kojih se frekventni opseg skenira u toku vremena koje je, po pravilu, kraće od trajanja impulsa signala koji se prima. Veoma su brzi, imaju dobru rezoluciju, dinamički opseg i mogućnost istovremenog rada sa više signala. Međutim, suviše su složeni, skupi i imaju relativno mali frekventni opseg.

Optoakustički prijemnici koriste Braggove ćelije u kojima se visokofrekventni signali pretvaraju u akustičke talase kojima se dalje uzimaju odbirci svetlosnim snopovima. Ovi prijemnici imaju dobre mikroskenirajuće osobine, kao i dobru detektabilnost. Takođe konstruišu se i kombinovani prijemnici kojima se pokušavaju objediniti prednosti navedenih vrsta prijemnika.

Razvoj procesora, za razliku od razvoja antena i prijemnika, veoma je brz. Danas su, uglavnom, zasnovani na personalnim računarima ili radnim stanicama, koji lako obavljaju složena matematička izračunavanja, kao što je brza Furijeova transformacija, koje su ranije obavljali tzv. veliki računari.

## Zaključak

Za donošenje odluka neophodno je raspolagati informacijama, do kojih se dolazi na različite načine, pa i izviđanjem, u kojem važnu ulogu ima prikupljanje podataka o lokaciji elektronskih sredstava protivnika. Radi toga se koriste elektronski sistemi koji detektuju zrače-

nje elektronskih sredstava protivnika i, na osnovu toga, određuju njihove karakteristike i položaj. Precizno određivanje položaja nepoznatog izvora zračenja je komplikovano.

Još od pojave radija, kada su se pojavile prve ideje o elektronskom izvidanju, neprekidno se radi na razvoju sve moćnijih sredstava za izvidanje i na njihovoj svakodnevnoj primeni, bez obzira na to da li se radi o miru ili ratu. Podaci o sredstvima za elektronsko izvidanje, prikazani u tabeli (što se u literaturi na Zapadu podvodi pod skraćenicu SIGINT) ukazuju na tendencije razvoja, namenu i mogućnosti ovih sredstava. Brzi razvoj tehnike, posebno mikro-

procesorske, uslovio je da se u ova sredstva sve češće ugrađuju najsavremenija dostignuća nauke i komercijalno raspoloživa tehnologija (COTS), posebno kada su u pitanju procesori signala, uz izvestan stepen prilagođavanja uslovima vojne primene (robusiranje).

*Literatura:*

- [1] Herskovitz, D.: A. Sampling of SIGINT Systems, Journal of Electronic Defense, march 1997.
- [2] Adamy, L. D.: Find That Signal, Journal of Electronic Defense, january 1998. Supplement pp. 14-15.
- [3] Pokorni, S.: Vazduhoplovna sredstva za protivielektronsku borbu oružanih snaga SAD, Vojnotehnički glasnik, 3/2000, str. 340-351.
- [4] Pokorni, S.: Protivelektronska borba: Druge otkriva a sebe sakriva, list Vojska, 26. 10. 2000. str. 40-41.

Pregled karakteristika  
sredstava za elektronsko izviđanje

Naziv	Namena	Frekv. opseg	Antena	Arhitektura	Osetljivost	Procesor	Izlaz	Standard	Napomena
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zemlja proizvođač: Francuska (Dassault Electronique)									
Digit	COMINT	20-1350 MHz	-	digitalni/superheterod.	-	-	interfejs za pokazivač	COTS	odred. pravca + analiza signala uređ. za frekv. skakanjem
ESM-LS	ELINT	E-J (C, D, K)	6 ili 8 elemenata	TMF	-	68020	PC	vojni	lak, kompaktan za letelice ili brodove
Pelagie	"	E-J		superheter.	-	808486/P5	interfejs za pokazivač	robustan	prenosni/automatizovan rad
Phalanger	"	E-J (C, D, K)		"	-	68030	link podataka/radna stanica	vojni	lak, kompaktan za letelice
Strategie	"	C-J (K)		"	-	"	radna stanica	"	taktički zemaljski ESM, ELINT sistem
Suricate	"	"		"	-	"	"	"	zemaljska stanica za vazdušne ciljeve
Zemlja proizvođač: Francuska (Thomson CSF Communications)									
TRC 6100	DF	0,3-3000 MHz	interfero-metar	do 5 prijemnika	0,5-3 $\mu$ V/m	P5 i DSP	softver	vojni/robust.	brzi digitalni DF/2-GHz BFT
TRC 8025	SIGINT	"	bilo koja standardna	do 4 prijemnika	faktor šuma 7 dB	digitalni/BFT		COTS/vojni	digitalni prijemnik/dobra zaštita od ometanja
Zemlja proizvođač: Francuska (Thomson CSF, Radar & Contre Mesures)									
ASTAC	SIGINT	C-K	interfero-metar	mikroskani-rajua	-	-	interfejs za pokazivač	vojni	podvesni ili unutar aviona
SCARE	"	C do K	-	"	-	-	-	vojni	za bespilotne letelice
SIGINT Sultis	COMINT/ELINT	A - K	interfero-metar	-	-	-	interfejs za pokazivač	-	dimenzije zavise od tipa aviona
Zemlja proizvođač: Italija (Electronica S.p.A.)									
ALR-733	ELINT	C-J (K)	neusmerena	superheterod.	-	RISC	interfejs za pokazivač/link podataka	-	može i sa antenom za DF
ALR-741-R	"	"	"	TMF	-	"	interfejs za pokazivač	-	"

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Delos	COMINT	VHF-UHF	"	superheterod.	-	COTS	interfejs za pokazivač/ostalo	-	mobilni COMINT i DF sistem
Dicnisis	"	"	razni	višekanalni	-	"	"	-	modularni, za više operatora
ELT-888(V)2	ELINT	C-J (K)	neusmerena/obrtna	superheterod.	-	"	interfejs za pokazivač/link podataka	-	može i sa monoimpulsnom antenom za DF
G-100 serija	COMINT	VHF-UHF	neusmerena	"	-	"	interfejs za pokazivač	-	jedan ili dva operatora
Zemlja proizvođač: Izrael (Elisra Eletronic Systems. Ltd.)									
CR-2740A	ELINT	0,5-18 GHz	tanjir	superheterod.	110 dBm	razni	232/eternet	vojni	mobilni ELINT sistem/fleksibilan sistem
GES-210/E	"	"	"	superheterod./digitalna TMF	80 dBm	razni	prema zahtevu	"	vazduhoplovni ESM/ELINT sistem
Zemlja proizvođač: Izrael (Rafael-Eletronic Systems. Div.)									
RAF-5100G	DF	20-2700 MHz	rešetka	dupli kanal	110 dBm	DSP	audio/interfejs za pokazivač	COTS	koristi algoritme za superrezoluciju
Zemlja proizvođač: Izrael (Tadiran Systems)									
TC/DF	COMINT/DF	2-1000 MHz (2 GHz)	-	-	-	-	232/ostali	-	otkriva i analizira 10000 signala u sekundi
TDF-1100	DF	20-1200 MHz	dipolna rešetka	višekanalni	-	P5	"	-	zasebni DF sistem za upotrebu na kopnu, moru ili u vazduhu
TDF-3100	"	1-30 MHz	rešetka	dupli kanal	-	"	"	-	interometarski DF sistem; nepokretni ili pokretni
Zemlja proizvođač: Nemačka (C. Plath GmbH)									
DFP 5300	COMINT	MF-HF	adcock	brza Furjeova transformacija	faktor šuma 14 dB	DSP/VME sabirnica	232/audio/ostali	COTS	radio-izviđački sistem/za sve vrste signala
HPO8000/SFP 5200	DF	0,01-30 MHz	"	superheterod.	0,15 µV	68000	"	"	vreme merenja < 1 hiljaditog dela sekunde
HPS8000	COMINT	MF-UHF	neusmerena	DSP	faktor šuma 5 dB	P5	232/audio/LAN	-	više operatora

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zemlja proizvođač: Nemačka (Daimler-Benz Aerospace AG, Sensor Syst.)									
AMES	ELINT	0,5-18 GHz	interfero- metar	-	< 86 dBm	-	-	-	zemaljski radarski ELINT sistem
HF 2000	COMINT	0,3-30 MHz	dipolna rešetka/petlja	DSP	-	PC kompatib.	eternet/LAN/ostali	COTS/robust.	deo HF COMINT sistema
Maigret	COMINT/DF	1-1000 MHz	"	"	faktor šuma 11 dB	"	232/422/eternet/ostalo	robustiran	brodski sistem
Sigma	COMINT	1-3000 MHz	"	"	"	"	"	COTS/robust.	zemaljski ESM sistem
Telegon 12	DF	0,01-1000 MHz	adcock/interferometar	"	faktor šuma 10/13 dB	"	eternet/LAN/ostali	COTS	DF sistem sa više režima rada/zemaljski ili brodski
VKP 4000	DF	0,5-30 MHz	"	brza Furijeova transform.	-	Motorolin DSP	-	COTS	deo HF COMINT sistema
Zemlja proizvođač: Nemačka (Rhode & Schwarz Inc.)									
NETTRAP	DF	20-1000 MHz	dopler	analogni	2 $\mu$ V/m	P5	mape	COTS/robust.	daje grafičke mape sa tragovima pravca izvora zračenja
RAMON	COMINT	10 KHz-40 GHz	razne	-	2,5 $\mu$ V/m	"	analogni/digitalni	COTS	modularna konstrukcija/za upotrebu na kopnu, moru ili u vazduhu
Zemlja proizvođač: Velika Britanija (Chelton (Electrostatics) Ltd.)									
Systems 930	COMINT	20-40 MHz	petlja	-	-	-	422/ARINC 407/ostali	COTS/robust.	SARSAT far/prekrivanje 360°
Zemlja proizvođač: Velika Britanija (Racal Radio)									
RA3796	COMINT	10 KHz-30 MHz	-	-	113 dBm	-	423/eternet/ostali	robust.	6 digitalnih HF prijemnika u kontejneru od 5,7 m
RDF 3725	DF	1,6-1000 MHz	adcock	-	-	DSP	audio	"	proračunava 50 azimuta u sekundi
Zemlja proizvođač: SAD (Applied Signal Technology Inc.)									
Model 1235/1238	SIGINT	0,4-0,5/0,8-1 GHz	-	-	-	-	audio/link podataka	COTS/robust.	prati 60 kanala/adaptivno oblikovanje snopa zračenja

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Model 196	COMINT	250 MHz	-	-	-	SPARC	digitalni	COTS/robust.	prati i identifikuje satelitske transpondere analizator i deskremler radio-linkova
Model 256LC	SIGINT	5,925-6,425 GHz	-	-	-	-	-	-	-
Zemlja proizvođač: SAD (ARGO Systems)									
AR-1080	SIGINT	2-18 GHz	interfero-metar	superheterod.	75 dBm	na bazi VME	-	robustiran	vreme merenja manje od hiljaditog dela sekunde
AS-900	ELINT	"	monopol	digitalno TFM	65 dBm	"	-	"	"
Dragonfly	COMINT	20 MHz-2 GHz	interfero-metar	široko + uskopojasni	105 dBm	DSP	audio/video	"	brzina skaniranja 125 GHz u sekundi sa 25 KHz rezolucijom
Zemlja proizvođač: SAD (Condor Systems)									
ALR-801	ELINT	0,5-18 GHz	neusmerena/obrtna	TFM/superheterod.	do 90 dBm	PC	-	robustiran	ESM sistem za priobalnu patrolu/ELINT sistem
AN/ALR-81 EP-2060	ELINT/SIGINT	0,5-40 GHz	"	"	"	DSP	232/422/eternet/ostali	COTS/vojni/robust.	ELINT/ESM/SIGINT sistem
CS-3701	SIGINT	2-18 GHz	interfero-metar	TFM	60 dBm	PC	-	robustiran	taktički mikrotalasni osmatrački sistem
CS-5060	ELINT	0,5-18 GHz	neusmerena/obrtna	TFM/superheterod.	do 85 dBm	"	-	"	ELINT/ESM sistem
Zemlja proizvođač: SAD (Andrew Sci Comm.)									
5101-A1	COMINT	0,01-32 MHz	-	VXI	12,5 dBm	DSP	232/ostali	COTS	može se rekonfigurirati reprogramiranjem
5101-B1	"	20-3400 MHz	neusmerena	VXI	"	"	"	"	"
SCR-2800	ELINT	0,5-18(40) GHz	"	superheterod.	90 dBm	68020	422/488	COTS/vojni/robust.	mikrotalasni prijemnik/MF video i audio izlazi
SCR-2900DF	"	0,5-18 GHz	neusmerena/obrtna	"	"	SPARC20/68040	232/422/488/ostali	COTS/robust.	ima 2048 izvora zračenja u biblioteci/500 MHz opseg
SCR-2940DF	"	0,1-40 GHz	logaritamska/neusmerena/obrtna	"	"	"	"	"	"
SCR-7204 AF	COMINT	0,1-2,6 MHz	HF-UHF	skanirajuća	120 dBm	Motorola HC16	audio/video/ostali	"	12 MF opsega/veliki dinamički opseg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zemlja proizvođač: SAD (Locheed Martin Federal Systems Ltd.)									
AN/APR-48	SIGINT	-	8 planarnih rešetki	TFM/superheterod.	-	1750A	1553	-	na AH-64/precizno DF na B-52 Spirit
AN/APR-50	"	-	"	"	-	-	-	-	sposobnost identifikacije izvora zračenja
AN/APR-76	"	5 oktava mikrotalas.	"	superheterod.	-	-	1553	-	
Zemlja proizvođač: SAD (Rockwell-Collins Avionics & Communications Div.)									
MSS-1500/2100	SIGINT	5 kHz-2 GHz (60 GHz)	dopler	superheterod./brza Furijeova transformacija	1 dM	PC/Microsoft Windows NT kompatibilan	link podataka	-	ima dimenzije aktinašne/RS-232 link za PC
USQ-1113/UST	COMINT	20-2500 MHz	blade/whip	superheterod.	"	PC kompatib.	interfejs za pokazivač/link podataka	vojni	sistem za EC avionskih uređaja veze
Zemlja proizvođač: SAD (Sanders, Locheed Martin Company)									
AN/SPRD-7	ELINT	-	-	-	-	-	-	-	taktički DF sistem
AN/MSR-3	COMINT	-	-	-	-	-	-	-	TACJAM-A/taktički C3CM sistem
AN/SRS-1	ELINT	-	-	-	-	-	-	-	prikupljanje signala; borbeni DF sistem
Outboard	COMINT	-	-	-	-	-	-	-	prikupljanje signala i DF sa dometom iza horizonta
Zemlja proizvođač: SAD (Southwest Research Institute)									
AN/SPRD-502	COMINT	MF/HF/VHF/UHF	montirana na stub	dupli kanal	-	-	-	vojni	brodski COMINT i DF sistem
CDA DF	DF	0,3-30 MHz	AN/FLR	paralelna	130 dBm	VME	-	COTS	DF procesor/višestrukih paralelnih kanali
HFX-1000/1010	COMINT	2-30 MHz	monopol/petlja	"	do 1 μV/m	"	-	robustiran	interferometrički DF sistem (aparature phase)
MBS/506A	"	0,5-2000 MHz	AS/506	dupli kanal	-	VXI	dajnijsko upravlj.	"	za parolne avione u RM
MBS-525	"	0,5-1000 MHz	AS-145	"	-	VME	"	"	AS-420 COMINT sistem za kopnene snage
MBU-535	"	HF/VHF/UHF	AU/506	širokopojasna	-	"	-	"	za prikupljanje signala na podmornicama

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zemlja proizvođač: SAD (TCI/BR)									
802 HF	DF	1,5-30 MHz	po izboru korisnika	višekanalni DSP	zavisi od antene	TCI model 8060	232/eternet/ostali	COTS/robust.	otkrivanje lokacije sa refleksijom od jonosfere
803 HF	"	20-2700 MHz	"	"	"	"	"	"	veže se na antenu i prijemnik po želji korisnika
8074	COMINT	0,1-30 MHz	-	-	faktor šuma 15 dB	80486 & DSP	"	COTS	virtualni upravljački panel/digitalni HF prijemnik
8250	"	1,5-30 MHz	po izboru korisnika	višekanalni	"	"	232/ostali/eternet	"	digitalno upravljanje spektrom/ do 12 prijemnika
9050	SIGINT	HF-UHF	"	po izboru korisnika	"	po izboru korisnika	232/eternet/ostali	"	digitalna klasifikacija signala
Zemlja proizvođač: SAD (Tech Comm. Inc.)									
TC-5025M	DF	0,1-3,4 GHz	rešetka	DSP	6 dBs+ N/N	DSP	serijski/paralelni	COTS	DSP DF processor
TC-512H serija	"	0,05-3 GHz	"	superheterod.	20 µV/m	"	-	robustiran	DF antena za COMINT
TC-525A	COMINT	0,1-2000 MHz	"	-	šum + 6 dB	-	232/488/ostalo	-	prenosni u AN/PRC-77 kucištu

Legenda:

Značenje oznaka frekventnih opsega (engleske oznake):

MF 300-3000 kHz; HF 3000-30000 kHz; VHF 30-300 MHz; UHF 300-3000 MHz; A 0,1-0,25 GHz; B 0,25-0,5 GHz; C 0,5-1,0 GHz; D 1,0-2,0 GHz; E 2,0-3,0 GHz; F 3,0-4,0 GHz; G 4,0-6,0 GHz; H 6,0-8,0 GHz; I 8,0-10,0 GHz; J 10-20 GHz; K 20-40 GHz.

Značenje oznaka u koloni „IZLAZ“:

232 ima značenje RS 232; 422 RS 422; 488 IEEE 488, 1555 Mil-Std 1553.

Značenje skraćenica i termina:

ARINC (Aeronautical Radio Inc.) – kompanija SAD čije dimenzije kucišta elektronskih uređaja su međunarodni standard; BFT – brza Furijeova transformacija (fast Fourier transform – FFT); COMINT (Communications Intelligence) – izvidanje sredstava veze (telekomunikacija); COTS (commercial of the shelf) – ugrađeni elementi za komercijalne uređaje; DF (Direction Finding) – određivanje pravca izvora zračenja; DSP (digital signal processor) – digitalni procesor signala; ECM (Electronic Counter Measures) – elektronske protivmere ili protiv elektronska dejstva (PED); ELINT (Electronic Intelligence) – elektronsko izvidanje; ESM (Electronic Support Measures) – elektronske mere podrške ili elektronsko izvidanje za potrebe protiv elektronskih dejstava; LAN (Local Area Network) – lokalna mreža; P5 – Intelov Pentijum mikroprocesor; PC (personal computer) – personalni računar; SIGINT (Signal Intelligence) – prikupljanje podataka (izvidanje) elektronskih izvora zračenja; TMF – trenutno merenje frekvencije; robustan (rigged) – uređaj raden prema zahtevima komercijalne primene ali prilagođen za primenu u vojsci.



Na Kopaoniku je od 10. do 14. marta 2003. godine održan, deveti po redu, simpozijum o računarskim naukama i informacionim tehnologijama, YU INFO 2003. Kako organizatori ističu, to je jedan od najvećih simpozijuma o informatici u Srbiji i Crnoj Gori na kome je do sada bilo preko 5000 učesnika, održano preko 1000 predavanja i prezentacija, a veliki značaj daje i učešće 50 stranih predavača sa svetski poznatih univerziteta i iz velikih internacionalnih kompanija.

Simpozijum je otvoren na svečanoj sednici kojom su predsedavali profesor dr Miodrag Ivković, profesor dr Veljko Milutinović, mr Dušan Korunović i profesor dr Dušan Surla. YU INFO 2003 proglasio je otvorenim pomoćnik ministra za nauku, tehnologiju i razvoj Vlade Srbije, profesor dr Miodrag Ivković, koji je pozdravio preko 500 učesnika skupa, i istakao značaj simpozijuma i kvalitet objavljenih radova.

Mr Dušan Korunović izneo je osnovne podatke o ovogodišnjem simpozijumu. Istakao je da je prihvaćeno 170 radova koji su raspoređeni u 11 programskih oblasti a to su:

- Internet,
- Multimedija,
- Informacioni sistemi,
- Razvoj softvera i alati,

- Računarska simulacija,
- Računarske mreže i komunikacije,
- Računarski hardveri,
- Sistemi za podršku odlučivanja,
- Veštačka inteligencija i ekspertni sistemi,
- E-vlada i e-poslovanje,
- Primenjena informatika.

Na simpozijumu je bio planiran bogat program društvenih i marketinških aktivnosti u okviru kojih su održane prezentacije 16 domaćih i inostranih firmi.

Profesor dr Veljko Milutinović predstavio je predavače iz inostranstva. Naglasio je da na ovogodišnjem simpozijumu uglavnom učestvuju stručnjaci koji rade na svetski poznatim univerzitetima i u velikim kompanijama, a poreklom su iz naše zemlje. Među stranim naučnicima koji su učestvovali na skupu YU INFO 2003 najpoznatiji je profesor dr H. J. Siegel sa Colorado State University, SAD, koji je jedan od vodećih svetskih stručnjaka u oblasti računarskih nauka. Posle otvaranja skupa, na plenarnoj sednici, profesor Siegel održao je veoma zanimljivo i edukativno predavanje na temu heterogenih računarskih sistema. Izneo je osnovne teorijske podatke o ovim sistemima, a zatim je govorio o istraživanjima kojima se bavi grupa naučnika na čijem je čelu. Govorio je i o problemima sa kojima se susreću u istraživanju i koje tek treba da reše.

Jedna od novina na skupu YU INFO 2003 bila je i ta što nisu svi radovi bili predstavljeni usmenim putem, već je bilo i takozvanih poster-sekcija. Štampani radovi u okviru ovih sekcija izlagani su na panoima gde su ostali učesnici skupa mogli da ih pročitaju i diskutuju sa autorima.

YU INFO 2003 su okarakterisale i dve zanimljive prateće aktivnosti. Profesor dr Veljko Milutinović je sa grupom saradnika predstavio istraživanja koja su rađena u poslednjih 12 meseci na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Oni su govorili o modernim WWW aplikacijama i konceptu Semantičkog WEB-a, o inverznom inženjerstvu u domenu Internet aplikacija, problemima vezanim za urbanizam, datamining istraživanjima, itd. Takođe, izvršena je prezentacija diplomskih radova iz oblasti Interneta diplomaca Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada, kojima je mentor profesor dr Zora Konjović.

U zborniku radova sa skupa YU INFO 2003 nalazi se 14 radova pripadnika Vojske Srbije i Crne Gore koji su raspoređeni u sedam programskih oblasti. U izradi ovih radova učestvovalo je ukupno 20 autora iz Vojske. Značajna je bila zastupljenost radova pripadnika Vojne akademije, Smera službe informatike. U četiri programske oblasti bilo je 9 radova u čijoj izradi je učestvovalo 11 autora sa Smera službe informatike – pet oficira i šest studenata završne godine.

U okviru oblasti „Razvoj softvera i alati“, objavljena su tri rada o metamodelskim transformacijama strukturnih izvora podataka, čiju izradu je inicirao i vodio mr Dragan Gašević. Jedan rad razmatra teorijske postavke ovog koncepta, drugi opisuje praktično realizovano direktno in-

ženjerstvo baza podataka korišćenjem metamodelskih transformacija, a treći opisuje inverzno inženjerstvo XML Schema, zasnovano na istim principima. U istoj programskoj oblasti nalazi se i rad koji opisuje komponentni pristup softverskom rešenju nadgrađenih Petri mreža.

U oblasti „Računarska simulacija“ nalaze se i dva rada autora sa Vojnotehničkog instituta, kao i jedan rad u oblasti „Veštačka inteligencija i ekspertni sistemi“ koji opisuje primenu neutralnih mreža u određivanju parametara pravila u rasplnutim ekspertnim sistemima. U ovoj oblasti nalazi se i rad koji govori o rasplnutom Web servisu.

Autori iz Vojne akademije objavili su i rad na temu primene OLAP analize kod sistema za podršku odlučivanju, a posebno se ističe rad „O mogućnosti realizacije testova prostoće velikih brojeva na TI TMS320C54x signal procesorima“, mr Gorana Đorđevića i još trojice autora. Ovaj rad opisuje kriptografsku zaštitu podataka, pri čemu se posebno analizira način odabira tajnih parametara u asimetričnim algoritmima zaštite. Rad predstavlja nastavak istraživanja autora koji su prošle godine dobili nagradu od Društva informatičara Srbije za najbolji rad iz oblasti informatike u Srbiji za 2002. godinu.

Na skupu je bilo zapaženo učešće studenata Vojne akademije, Smera službe informatike, koji su uz pomoć profesora dr Alempija Veljovića objavili postignute rezultate u svojim seminarskim i diplomskim radovima.

Svi radovi mogu se naći u zborniku radova na CD-u, a štampan je i zbornik apstrakata u kojem se nalaze kratki sadržaji svih objavljenih radova.



## prikazi iz inostranih časopisa

### NOVA MUNICIJA KOMPANIJE RUAG\*

Kompanija RUAG prikazala je prošle godine program svojih najnovijih dostignuća u razvoju municije. Najistaknutiji među njima su:

- nove vrste municije za streljačko naoružanje, među kojima je municija kalibra .338 za snajper švajcarske armije, koji je vrlo precizan i na rastojanjima preko 550 m;

- minobacačka municija MAPAM 60 mm (MAPAM – Mortar Anti-Personnel/-Anti Materiel);

- sistem SM-EOD 33P za različite tipove artiljerije;

- modularni eksplozivni penetrator MEP, sposoban da prodire kroz betonske blokove i barikade od vreća sa peskom.

#### *Modularni eksplozivni penetrator MEP*

Usled dezintegracije nekadašnjih geopolitičkih blokovskih snaga suštinski su se promenile i ratne opasnosti. Opasnostima od klasične tenkovske bitke, danas se daje

manji značaj. S druge strane, povećavaju se konflikti niskog intenziteta u obliku terorizma i sukoba u urbanim sredinama. To je dovelo do povećanih zahteva za oružjem koje se opaljuje sa ramena, a mogu da ruše zidane objekte. U skladu sa ovim stvorene su razorne bojne glave za postojeće protivtenkovske sisteme. Međutim, mnoga raspoloživa rešenja nisu zadovoljavajuća, jer su ubojni mehanizmi tih bojnih glava obično zasnovani na prethodnom punjenju i odvojenoj granati za proboj, što izaziva sledeće nedostatke:

- u poređenju sa originalno oblikovanom bojnog glavom obično je potrebno ugraditi dodatnu masu, što menja spoljnu balistiku i zahteva neophodne korekcije pri gađanju;

- značajna kolateralna šteta nastaje ispred cilja pri iniciranju probijajućeg punjenja, što smanjuje iskoristivost tog oružja u urbanim područjima;

- složeni koncept koji se odnosi na dva nezavisna i funkcionalno različita punjenja vrlo je skup.

To su razlozi što je kompanija RUAG, u saradnji sa južnoafričkom firmom Denel, razvila jednostavniji i efikasniji proizvod – modularni eksplozivni penetrator MEP (Modular Explosive Penetrator).

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 7/2002.

MEP je zasnovan na razornim bojnim glavama koje mogu brzo da se prilagode svim poznatim protivtenkovskim sistemima, čime se postižu sledeće prednosti:

- mogu se ispaljivati iz bilo kojeg tipa municije (MEP ili HEAT) i oružja, bez izmene sklopova za nišanje;

- ne prouzrokuju kolateralne štete ispred cilja;

- nudi optimalan odnos cena – performanse;

- koncept se može proširiti i na druge modularne mogućnosti upotrebe (npr. termobarične i dr. efekte).

Penetrator popunjen eksplozivom i kompletiran upaljačem ugrađuje se u bojnu glavu, koja ima potpuno istu spoljnu geometriju i masu kao originalne bojne glave (identična je i spoljna balistika).

Kada bojna glava udari u cilj (pojačana betonska – ciglena skloništa, peščani zakloni i lako oklopljena vozila), penetrator prolazi kroz njegovu strukturu. Neposredno nakon proboja penetrator se inicira i izaziva eksploziju unutar prostora, vozila ili iza barijere, realizujući svoje fragmentacione efekte.

Ovaj princip kompanija RUAG je patentirala i uspešno demonstrirala na sistemima PANZER-FAUST, koji je na upotrebi u oružanim snagama Švajcarske.

### *Minobacačka municija MAPAM*

Vojnici se na bojnopolju opterećuju raznom opremom, a istovremeno se zahteva njihova pokretljivost i brzina dejstva. Municija MAPAM poboljšava agilnost vojnika, jer se sa manjom ma-

som obezbeđuju bolje performanse municije.

MAPAM povećava ubojnost, a time znatno povećava i borbenu efikasnost. U zavisnosti od sistema minobacačkog oružja, može se koristiti u okviru vatrene dometa od 70 do 3500 m. Ovom municijom obezbeđuju se veoma efikasna dejstva protiv neoklopljenih vozila, aviona na stajankama i vojnika na otvorenom prostoru.

Municija MAPAM uspešno je prošla kvalifikacije i tipsku klasifikaciju na švajcarskom komandoskom minobacačkom sistemu 87, kalibra 60 mm. Povoljni testovi ostvareni su i sa američkim lakim četnim minobacačem M 224.

Prefragmentisana čelična kugla i epoksidna osnova fragmentacionog tela (više od 2500 kuglica) smeštena u tankoj ljusci kao i deo eksplozivnog punjenja, čine glavne strukturne elemente efikasne modularne konstrukcije. Poboljšana ubojnost ostvarena je visokom energijom čeličnih kuglica u koherenciji sa udarnom površinom.

Pogonski sistem sastoji se od pripale i četiri dodatna punjenja u obliku potkovice. Individualno, pogonski sistem može da se prilagodi zahtevima korisnika u okviru mehaničkih ograničenja konkretnog minobacača. Dva tipa švajcarskih mehaničkih upaljača za tačkaste ciljeve i superbrzi upaljača, koji se ovde koriste, zadovoljavaju vojne standarde MIL-STD 1316.

M. Krbavac



## MODULI ZA KOREKCIJU LETA AVIO BOMBI\*

Intenzivan razvoj oružja za PVO predstavlja značajan poticaj za stvaranje avio municije sposobne za efikasno uništavanje ciljeva na udaljenostima bezbednim za nosače municije.

Projekti za opremanje slobodnopadajućih avio bombi, u sklopu „pametne“ municije, obično uključuju ugradnju inercijalnih navigacionih sistema integrisanih sa sistemima satelitske navigacije. Taj pristup omogućava bacanje avio bombi sa bezbednih rastojanja, ali i znatno povećava njihovu cenu, bez obzira na to koja se vrsta cilja uništava. Osim toga, ovo čini avio bombe zavisnim od rada satelita i nekih posebnih zahteva sistema na nosaču, posebno pri promeni podataka.

Ruska firma Bazalt radi na projektu zasnovanom na diferenciranom pristupu u razvoju „pametnih“ avio bombi i kasetnih bombi svih tipova i razmera. Taj pristup uključuje opremanje modernizovanih i novorazvijenih savremenih slobodnopadajućih avio bombi posebnim modulima za korekciju leta, čime se postiže nov kvalitet i znatno proširuje njihova borbena primena.

Prve osnovne verzije avio bombi sa modulima za korekciju leta bile su bombe mase 500 kg (FAB-500 M-62, BETAB-500) sa poboljšanim aerodinamičkim karakteristikama u odnosu na standardne, i pojednostavljenim aeromehaničkim sistemom za stabilizaciju putanje. Efikasan dovoljeni domet ovih bombi (domet pri kojem je efikasnost njihove upotrebe uporediva sa efikasnošću precizno vodene muni-

cije) iznosi 6 do 16 km. Maksimalni domet njihove efikasne upotrebe protiv površinskih ciljeva doseže 40 km.

Prednosti ovog oružja nad vodenom municijom su očigledne: maksimalna jednostavnost i niska cena izrade, visoka funkcionalna pouzdanost i apsolutna otpornost na ometanje. Pored toga, nije potrebno da se razmenjuju podaci sa nosačem municije.

Performanse avio bombi FAB-500 M-62 su takve da se mogu upotrebljavati za uništavanje vojnoindustrijskih objekata, železničkih čvorova, lakooklopljenih ciljeva i nezaštićene opreme, žive sile i poljskih fortifikacija.

Ugradnja modula za korekciju leta na slobodnopadajuće avio bombe ne zahteva naknadno podešavanje niti upotrebu specijalne opreme, i može se izvršiti i na borbenom položaju.

Opremanje avio bombi i kasetnih bombi modulima za korekciju leta znatno proširuje taktičke mogućnosti frontovske avijacije i avijacije velikog dometa, i povećava efikasnost izvršavanja borbenih zadataka. U sklopu ovog projekta, firma Bazalt radi i na razvoju modula za površinske ili tačkaste ciljeve, sa dometom do 90 km i optimalnim odnosom cena-efikasnost.

Modularna izrada i unifikacija osnovnih sklopova raznih verzija modula za korekciju leta omogućava smanjenje vremena njihovog razvoja i pojednostavljenje njihove optimizacije.

Radi ostvarenja dometa od 90 km, avio bombe opremljene modulima za korekciju leta imajuće specijalno konstruisane udarno-detonatorske pogone. Bazaltova nevodena avio municija sa različitim bojnim glavama (trenutno-fugasne, fragmentacione, zapaljive, eksplozivne gorivo-va-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar–decembar 2002.

zduh, protivtenkovske, samonavodne, itd.) ugrađena je u novu generaciju avio bombi sa modulima za korekciju leta i udovoljava savremenim zahtevima za do met i tačnost, uz istovremeno sačuvane osnovne prednosti, kao što su visoka efikasnost, pouzdanost i jednostavna izrada.

M. Krbavac



## MULTISPEKTRALNI OPTRONIČKI SISTEMI\*

Ratovi visokog intenziteta i izdvojeni vojni konflikti stvaraju glavobolje i političarima i vojsci. Takođe, međunarodni terorizam je postao rafiniraniji i rasprostranjeniji. Traže se sve sofisticiranija oružja za brzo reagovanje i uništenje protivnika sa visokim stepenom verovatnoće. Savremeni ratovi se vode vrlo preciznim oružjima koja se odlikuju visokom tačnošću, brzinom odgovora, automatizacijom i veštačkom inteligencijom. Uz to, osnovni zadatak sistema naoružanja ostaje nepromenjen već stolicima: dostaviti određenu količinu energije na zahtevano mesto kako bi se savladao cilj(evi) fizički ili psihološki.

Razvoj novih efikasnih tipova naoružanja zahteva neortodoksne pristupe i rešenja, najčešće povezana sa „inteligencijom“ oružja velike preciznosti. Na primer, SAD su razvile bespilotnu borbenu letelicu X-45A (X-45B) koja poseduje moćnu veštačku inteligenciju koja im omogućava autonomno pronalaženje cilja, izbegavanje napada protivnika, saradnju sa drugim avionima i nezavisnu

upotrebu naoružanja protiv neprijateljevih ciljeva. Ova letelica će se koristiti za neutralisanje protivničke PVO i napad na ciljeve koji je štite. Očekuje se da će ove letelice biti najefikasnije protiv PVO opremljene sistemima S-300 PMU i S-400. Planira se da ova sredstva budu opremljena tako da mogu izvoditi borbena dejstva tipa vazduh-vazduh.

Inteligentni sistem oružja velike preciznosti jeste sistem savremenih taktičkih i tehničkih karakteristika koji, zbog svoje osnovne funkcije fizičkog uništenja ciljeva, ima mogućnosti da primi zahtevanu informaciju sa raznih senzora preko višestrukih kanala, obradi je i analizira u toku približavanja cilju, koriguje svoje dejstvo u zavisnosti od ponašanja cilja, i da upotrebi zahtevane informacije za formiranje originalnog algoritma dejstva optimalnog za uslove uništenja cilja, i istovremeno sadejstvo sa drugim sistemima oružja koji izvršavaju slične zadatke ili zadatke podrške. Takođe, inteligentni sistemi oružja moraju biti sposobni da prenesu informacije svim zainteresovanim korisnicima.

Kada se govori o inteligentnim optroničkim sistemima, ili inteligentnom naoružanju, treba odrediti koja su svojstva inteligencije korišćena u tom sistemu ili oružju. Ljudska inteligencija može obraditi informaciju na više racionalnih načina, mada oni nisu uvek optimalni. Tehnička sredstva uključena u obradu podataka u uskoj interakciji s operatorom, takođe mogu da se nazovu inteligentnim. To se odnosi, pre svega, na sve optičke i optroničke sisteme koji opažaju 80 do 85% informacija u okolini nišana.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 2002.

Boja je jedna od najstabilnijih osobina svakog objekta. Spektralna rezolucija optroničkog sistema zavisi od broja sistemskih spektralnih pojasa ili „spektralnih prozora“ koji se koriste za prikupljanje podataka na sceni. Broj takvih prozora je važan za pouzdano prepoznavanje cilja. Teorija prepoznavanja oblika govori o tome da ako se broj spektralnih pojasa povećava tačnost prepoznavanja raste samo do izvesne tačke i tada, kako povećanje raste dalje, ono pada, jer širenje spektralnih pojasa zahteva višestruke statističke proračune ponovo rastućeg prostora između limitiranih i prepodešavanje količine spektralnih uzoraka.

Koristeći elemente koje je projektovao i izradio Centralni istraživački institut za elektronske uređaje, istraživački institut Ciklon razvio je trokanalni kolor noćni ekran sa realnom kolor reprodukcijom, i uporedio ga sa optroničkim pojačivačem slike druge plus generacije. Upoređivanje je pokazalo da je domet prepoznavanja cilja kolor ekrana za 7 do 10% veći nego kod pojačivača, a taj domet može i dalje da se povećava.

Jedan pravac u razvoju inteligentnih multispektralnih optroničkih sistema predstavlja povećanje broja spektralnih kanala, dovođenje blizu karakterističnim dimenzijama funkcija, uz uvažavanje spektralnog zračenja i refleksije cilja korišćene pri njegovoj detekciji i prepoznavanju. Na primer, karakteristična dimenzija multispektralnog podatka u talasnom području od 0,4 do 15,0  $\mu\text{m}$ , definisana za refleksiju i emisiju energije sa Zemljine površine, iznosi oko 6.

Važno je da se u razmatranju spektralnih slika najvećeg broja objekata koriste visok nivo korelacije rezultirajuće

od fizičke prirode optičkog zračenja i određivanja pravila opisivanja te prirode, npr. Zakon Plankovog zračenja. To doводи do zaključka da je moguće smanjiti broj spektralnih slika (spektralnih prozora, spektralnih odnosa) do tri-četiri i ponekad do dva.

Glavna prepreka u razvoju inteligentnih multispektralnih optroničkih sistema jesu poteškoće proizvodnje relativno jeftinih visokoosetljivih širokopojsnih fotodetektora sa velikom prostornom, spektralnom i vremenskom rezolucijom. Pokušaji u razvoju takvog sistema u obliku Furijerovih spektrometara ili višekanalnih video spektrometara, često ne uspeavaju, jer je teško udovoljiti raznim zahtevima, kao na primer, mogućnosti rada u realnom vremenu.

Efektivnost multispektralnih optroničkih sistema znatno zavisi od informacije o parametrima i karakteristikama ciljeva (odraz, interferencija, fonovi), tako da nije slučajno što ima malo objavljenih podataka o odrazu vojnih ciljeva.

Sadašnje tendencije u razvoju inteligentnih multispektralnih optroničkih sistema dovele su do zahteva da se koriste kanali koji rade na različitim spektralnim područjima. Ultraljubičasto frekventno područje poznato je kao veoma korisno za te potrebe. Međutim, projektanti optroničkih sistema do sada nisu uspjeli da ponude u razvoju naoružanja i vojne opreme malogabaritne TV uređaje sa kanalima u ultraljubičastom talasnom području.

Institut Ciklon, zajedno sa Centralnim istraživačkim institutom Elektron, razvio je ultraljubičasti kanal visoke osetljivosti koji sadrži optronički instrument baziran na TeCs fotokatodi i specijalni osetljivi na ultraljubičaste zrake CCD



*Univerzalni termovizijski modul spojen na konvencionalnu minijaturnu TV kameru*

(768 × 580 pxl) koji su direktno povezani putem fiberoptičkog diska. Ultraljubičasti modul uključuje filter i sočiva, kao i sklop za elektronsku obradu slike. Spektralno područje kanala je 200 do 320 nm, a rezolucija mu je 400 TV linija sa operativnom iradijacijom  $1 \times 10^{-13}$  W/e. Početak iradijacije je  $1 \times 10^{-16}$  W/e (pri rezoluciji od 200 TV linija).

Ciklon je razvio široku paletu tehničkih slikovnih sistema koji funkcionišu u vidljivom frekventnom području. Neki od njih rade pri minimalnom nivou zračenja od  $10^{-6}$  lux i u specijalnim režimima, kao što je zatvoreni režim, režim kompenzacije bočnog i stražnjeg osvetljenja, itd.

Sledeći Ciklonov razvojni proizvod je koaksijalna TV kamera ogledalo/sočivo niskog nivoa, koja nema pokretnih delova. Ona radi na dva ugaona polja istovremeno:  $5,2^\circ \times 6,9^\circ$  i  $2,3^\circ \times 3,0^\circ$ , obezbeđujući pojavu „slika u slici“. Fokusne udaljenosti kanala su 120 mm i 53 mm, a maksimalno osvetljenje operativne scene je  $10^{-2}$  luxa.

Ciklon posvećuje pažnju i dugotalasnom IC frekventnom području (8 do 12  $\mu$ m). To područje nudi bolje talasno prenošenje kroz zadimljenu i prašnjavu atmosferu bojnog polja i veću osetljivost prema ciljevima čija je temperatura bliska normalnoj, kao što su građevine, automobili, ljudstvo, itd.

Prve neskenirajuće PtSi i LnSb zrake, koji obezbeđuju izvanrednu sliku, razvio je institut Elektron za područje 3 do 5  $\mu$ m. Međutim, područje 8 do 12  $\mu$ m je znatno pogodnije za uslove kakvi su na bojištu zbog nekoliko razloga, a jedan od njih je veća otpornost na optičko ometanje.

Nedavno je Ciklon razvio univerzalni modul termovizijskog kanala koji je zasnovan na mikrobolometričkom zraku (320×240 pxl) osetljivosti najmanje od 70 mK pri fokusnom broju ravnom 1. Minimalni modul ima prečnik 75 mm i dužinu 170 mm. Taj modul je sada u fazi završnih ispitivanja, a institut je spreman da ih isporučuje kupcima.

Obećavajući projekat Ciklona je termovizor QWP formata 128×128 pxl i 320 × 256 pxl. On će se koristiti za otkrivanje cilja, nišanje, itd., gde je odnos kvalitet – cena termovizijskog kanala od posebnog značaja.

Za primenu kanala 8 do 12  $\mu$ m sa nižom performansom, instituti Ciklon i Elektron nude termovizor i TV kanal niskog nivoa integrisane kao jedinstveni modul. Brzi razvoj optroničkih sistema i realne povoljne okolnosti ostvarene sa malogabaritnim TV modulom ubrzali su razvoj stereovizijskog sistema za pilote helikoptera montiranog na šlemu.

Kombinujući optroničke sisteme sa radio-elektronskim, hemijskim, akustičkim i drugim sensorima, kao i kompjute-



rima velike brzine i informatičkim vezama, moguća je pouzdana detekcija u realnom vremenu, klasifikacija i identifikacija raznih objekata i ostvarivanje prvog i realnog koraka u pravcu razvoja inteligentnih sistema oružja velike preciznosti.

M. Krbavac



## **BUDUĆNOST SISTEMA ZA NOĆNO OSMATRANJE PEŠADIJE\***

Još od uvođenja u upotrebu aktivnih IC sistema pre skoro pola veka, sistemi za noćno osmatranje i njihove tehnologije prošle su kroz veoma značajan razvojni proces. U periodu šezdesetih godina prošlog veka dostignuća u elektronici omogućila su zamenu principa pasivnog rada i uvođenje uređaja za pojačanje slike. Prvi takvi sistemi sa elektrostatičkom inverznom fotokatodom i svetlosnim pojačanjem putem elektronskog akceleratora koristili su se u Vijetnamskom ratu.

Sedamdesetih godina razvija se tzv. druga generacija (GEN-2) pojačivača slike sa mikropločom MCP (Micro Channel Plate) i sledeća GEN-2 Plus sa manjim porama u MCP i pojačanim fosfornim premazima. Treća generacija (GEN-3) uvedena je u upotrebu ranih osamdesetih godina, i još predstavlja savremenu tehnologiju, mada su već na putu razvoja uređaji četvrte generacije.

Mada su performanse pojačivača slike po parametrima praktičnog dometa, rezolucije, geometrijske distorzije, fotoosetljivosti i faktora povećanja progresivno poboljšavane u svakoj narednoj gene-

raciji, uređaji za noćno osmatranje za individualnu upotrebu, zasnovani na cev-nim pojačivačima slike, imaju još uvek brojne mane. Najistaknutija od njih je relativno ograničeno vidno polje (obično oko 40°, ili više od 50° za neke skoro razvijene, pa i 60° za neke opcije), što je veliki problem za pilote helikoptera koji koriste naočari za noćno osmatranje pri niskom letu nad zemljom. Osim toga, naočari za noćno osmatranje su beskorisne u uslovima totalne zamućenosti (unutar zgrada ili pećina). Ograničenja i nedostaci ovih pojačivača slike prevaziđeni su na termalnim pokazivačima slike – termovizorima.

Prve termovizijske naočari za individualnu upotrebu u pešadiji bile su AN/PAS-13 TWS (Thermal Weapon Sight), koje su u upotrebi od 1995. godine u Armiji SAD. Taj uređaj ima detektor (HgCdTe) sa Poltier-efektom, čvrstim termo-električnim hlađenjem, a međusobno zamenljivi optički elementi u funkciji su oružja na koje se ugrađuje. Odlikuje se standardnim i digitalnim video izlaznim spojevima, koji omogućavaju da slika bude prikazana u okularu i na udaljenoj lokaciji, kakva je vizir na šlemu.

Slična rešenja nastavljena su u programima „Vojnik budućnosti“ koji su u toku u mnogim zemljama. Tradicionalni šlem se zamenjuje kompleksnom strukturom koja integriše nekoliko senzora i sistema, uključujući termovizijsku kameru sa monokularnim vizikom – displejom.

Dalje usavršavanje očekuje se u razvoju termovizijskih ekrana zasnovanih na silika, stroncijum ili barijum titanit detektorima, koji ne iziskuju intenzivno hlađenje i mogu se upotrebljavati znatno duže (minimalna apsorpcija energije).

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 7/2002.

Pored toga, znatno je smanjena cena postojećih sistema. Na primer, cena monokularnih naočara AN/PVS-7 drastično je smanjena sa oko 6000 dolara osamdesetih godina na 3000 dolara devedesetih godina, da bi komercijalna cena u ovoj dekadi znatno pala, tako da bi se mogla u raznim varijantama koristiti i za civilne potrebe.

### *Performanse pojačivača slike*

Fotoreakcija cevi, ili fotoosetljivost, glavni je faktor za određivanje ukupnog odnosa signal – šum. To je ponekad definisano parametrima efikasnosti na definisanoj talasnoj dužini, i direktna je mera mogućnosti cevi da identifikuje fotone sa posmatrane scene. Izražava se u mikroamperima po lumenu (mA/lm).

Inovacije u strukturama fotokatode i najnoviji trendovi u tehnologijama aktiviranja površina dovela je do fotokatoda GEN-3 sa 30% većom efikasnošću u odnosu na ranije modele, obezbeđujući jači početni signal koji može naknadno bez problema da se pojača. To se konačno prevodi u bolji odnos signal – šum i, prema tome, smanjuje na minimalni nivo preostalo okolno svetlo, što je potrebno za otkrivanje i pozitivnu identifikaciju cilja. Na primer, Armija SAD je utvrdila minimalni odnos signal – šum za cevi GEN-2, 4,5, a za GEN-3, 16,2.

U uslovima smanjenja intenziteta preostale okolne svetlosti rezolucija postaje drugi kritični parametar za određivanje performansi sistema za noćno osmatranje zasnovanih na tehnologijama pojačivača slike. To se izražava u parametrima ciklus/milijarda za sistem u celi ni, dok se razolucija cevi izražava paro-

vima linija po milimetru (lp/mm). Za do-bijanje valjane slike, standardna cev GEN-2, izrađena po tehnologiji Omni II sa 12-mikronskim porama, daće rezoluciju od najmanje 36 lp/mm, dok model GEN-3 Omni III sa 8–9 mikron-pora povećava to na 45–50 lp/mm.

Za Omni IV program, vodeći proizvođači, kao što su ITT Night Vision i Litton Electro-Optical Systems, razvili su uređaje sa 6 mikron-pora, što je dalje povećalo rezoluciju do 64 lp/mm. Za pretvaranje tih slika u parametre praktičnih performansi, ITT tvrdi da pod vrlo slabim svetlosnim uslovima (zvezdana svetlost zaklonjena oblacima ili u šumama), AN/PVS-7 sistem sa cevi OMNI IV GEN-3 daje 50% veći domet za identifikaciju cilja nego sistemi iz GEN-2 opremljeni cevima Omni II.

### *Dalji razvoj i komercijalni učinak*

Uprkos očiglednih prednosti termovizijskih ekrana po parametrima performansi, pokušaj da se pojačivači slike potisnu u drugi plan pokazao se neispravnim. Obe tehnologije i rezultirajući sistemi imaju svoje operativno i komercijalno mesto u doglednoj budućnosti. Danas je evidentno da i pojačivači slike i termovizija imaju svoje specifične prednosti, pa su tako i optimalno prilagođeni da ispune sve strože zahteve tržišta.

Kod termovizora cilj je dalje poboljšanje performansi u parametrima termalne osetljivosti, otpornosti na lasersko zračenje i smanjenje mase i dimenzija, dok će pojačivači slike održati i realno poboljšati svoju komercijalnu poziciju putem odgovarajuće minijaturizacije procesa. Tipičan primer takvog trenda je mi-

nijaturni osmatrački noćni nišan AP/PVS-17 kojim se opremaju puške M4, ili niskoprofilne naočari za noćno osmatranje AN/PVS-21 koje će se isporučivati jedinicama za specijalne namene vojske SAD počev od 2003. godine.

Sledeća generacija cevnih pojačivača slike imaće savremene fotokatode sa pojačanom osetljivošću (do 1,7  $\mu\text{m}$ ) u infracrvenom talasnom području, dok će u isto vreme efikasnost u plavo-zelenom području takode da se poboljša (+40°). Povećanje praktičnog dometa i vidnog polja takode su u toku.

Protekle dekade, performanse i ukupne karakteristike cevnih pojačivača slike, korišćene u mnogim individualnim naočarima za noćno osmatranje i nišani, pretrpele su znatna poboljšanja i danas su rezultat mnogih istraživačkorazvojnih programa pod oznakom OMNI (Omni-bus) I, II, III i IV. Ta poboljšanja prilagođena su ne samo za cevne pojačivače GEN-3 već i za ranije modele GEN-2/GEN-2 Plus, koji su još uvek vrlo traženi za vojne i bezbednosne potrebe.

Osnovna razlika između ranijih cevnih pojačivača slike i ovih iz GEN-3 je u tome što ovi poslednji imaju galijum-arsenid (GaAs) fotokatode umesto prethodnih multialkalnih modela. To je rezultiralo boljom rezolucijom i fotoosetljivošću u spektralnom području 450 do 950 nanometara. Pored toga, mikrokanalna ploča MCP ima jonsku zaštitu (tanak film) koja povećava životni vek pojačivača slike. Međutim, film jonske zaštite ima i neželjeni efekat koji se ogleda u smanjenju odnosa signal – šum, pa zbog toga firma Northrop Grumman odnedavno primenjuje nefilmovane mikroploče MCP.

Proizvođači tehnologija GEN-3 još uvek proizvode i uređaje iz GEN-2 zbog njihovih optimalnih rešenja odnosa cena – efikasnost. Na primer, neki proizvođači su modifikovali svoje uređaje GEN-2, prvobitno razvijene sa 18-mikronskim MCP, sa 6-mikronskim blokovima, što je dovelo do poboljšanja rezolucije na 57 lp/mm, a nedugo zatim i na 64 lp/mm kod modela Omni IV GEN-3.

Što se tiče budućeg razvoja tehnologija pojačivača slike, neki proizvođači smatraju da 5-mikronske pore imaju posebne mogućnosti (na primer, najnovije ITT mikroploče imaju 6,34 miliona pora, za razliku od prethodnih standarda sa 3,14 miliona).

Firma Northrop Grumman, uz već spomenutu tehnologiju besfilmovanih mikroploča, uvodi automatsku zabranu i smanjenje svetlosnog venca slike. Autozabrana odnosila se na automatsko uključivanje fotokatode za različite radne cikluse, što pogoduje širokim dinamičkim performansama za vreme zasićenja (visok svetlosni nivo) u radu sa povećanjem rezolucije od 12 lp/mm na minimum 46 lp/mm. To predstavlja značajan napredak u postojećim tehnologijama i omogućava funkcionisanje pri niskom intenzitetu svetlosti.

Proizvođači još ne otkrivaju detalje o budućoj četvrtoj generaciji, ali neke studije pokazuju da su stručnjaci u SAD na putu ostvarenja direktne elektronske pobude u CCD anodi (Charged Coupled Device), što će obezbediti direktan video-kompatibilan izlaz za aplikacije senzorske fuzije. Radi se i na razvoju kombinovanih naočara za noćno osmatranje i termovizora, namenjenih, uglavnom, za pilote helikoptera.

Može se reći da, i pored specijalno razvijenih dimnih zavesa i IC apsorbujućih materijala radi pariranja uređajima za osmatranje noću, oni uspevaju da zadrže pouzdanu dominaciju nad tim protivmerama.

Predviđa se da će pešadinci uskoro moći efikasno da deluju danju i noću, i u uslovima veštačkog zatamnjenja na bojnopolju.

M. Krbavac



## **POBOLJŠANJE FRANCUSKIH OKLOPNIH VOZILA\***

Francuska armija uskoro će započeti preuzimanje prvih 300 poboljšanih oklopnih vozila AMX-10RC 6 × 6, kojima je produžen životni vek za narednih 15 godina.

Oklopno vozilo AMX-10RC, koje je zamenilo starija vozila Panhard EBR 8×8, intenzivno se koristilo u francuskoj armiji u raznim krajevima sveta, uključujući Afriku, Balkan i Srednji istok.

Francuska armija i Giat Industries, kao sveukupni izvođač, rade na poboljšanju ovog vozila. Komanda francuske armije obezbeđuje šasije i izvršava poboljšanja kompletima koje obezbeđuje Giat Industries. Firma Giat modernizuje kupolu, ugrađuje je na poboljšanu šasiju i realizuje završne radove pre upućivanja vozila u jedinice.

Poboljšanje AMX-10RC izvodi se u tri tradicionalne ključne oblasti za oklopna sredstva – održivost, pokretljivost i vatrena moć, kao i digitalizacija.

Oklop i kupola su zavarene aluminijske oklopne konstrukcije koje štite komandira, nišandžiju, punioca i vozača od vatre iz streljačkog oružja i parčadi granata. Čelične ploče velike tvrdoće na trupu i kupoli obezbeđuju dodatnu zaštitu od dejstva streljačkog oružja. Na obe strane kupole montiran je nosač za četiri bacača granata. Mogu se izbacivati granate različitih namena, kao što su dimne, protiv žive sile i mamci. Sa prednje leve strane kupole montiran je sistem LIRE za IC protivdejstva, koji treba da se suprotstavi protivtenkovskim vodenim raketama sa poluautomatskim sistemima vođenja.

Postolje kupole prošireno je radi obezbeđenja dodatnog prostora za posadu.

Vozilo AMX-10RC ima hidropneumatski sistem elastičnog oslanjanja kojeg podešava vozač, čime se ostvaruje dobra prohodnost po neravnim terenima. Ugrađeni su nova transmisija i sistem elektronskog praćenja, čime je poboljšana ukupna pouzdanost. Upravljanje je poboljšano primenom najnovijih sigurnosnih regulacija, a iz sistema kočenja odstranjeni su azbestni materijali:

Standardno vozilo AMX-10RC je amfibijsko i pogoni se mlaznicama za vodu koji se nalaze sa obe strane na zadnjem delu vozila, dok poboljšana verzija nema tu karakteristiku.

Očekivalo se da top 105 mm G2, koji koristi standardnu NATO municiju, zameni top 105 mm F2, ali je odlučeno da se top F2 zadrži i uvede nova protivtenkovska municija.

Desno od topa ugrađena je termalna kamera Thales Caster, kojom je prvobitno opreman i srednji tenk AMX-30 B2 a koji se sada povlači iz upotrebe. Ugrađen

\* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 5. mart 2003.

je novi hidraulični cilindar za elevaciju topa, a predviđa se i uvođenje sistema Thales za identifikaciju na bojnopolju tipa „prijatelj – neprijatelj“.

Pre nekoliko godina otpočela je digitalizacija sredstava u francuskoj armiji. Kupola vozila AMX-10RC biće opremljena sistemom za upravljanje u borbi SIT V1, komunikacijskim sistemom Thales PR4G i globalnim sistemom za pozicioniranje. Sistem za upravljanje u borbi biće ugrađen i na srednje tenkove Lerc i izviđačka vozila Panhard.

Prvi ugovor za poboljšanje vozila AMX-10RC obuhvata dva prototipa koja su isporučena prošle godine, 88 kompleta šasija i integralni paket podrške.

Prvi prototip prošao je fabrička ispitivanja krajem prošle godine, a zatim i državne kvalifikacione testove. Drugi prototip ispitivan je radi vrednovanja ključnog sistema održavanja.

Prema tekućim planovima biće poboljšano ukupno 6 serija vozila AMX-10RC, a završne verzije biće isporučene 2008. i 2009. godine. Prema podacima Giat Industries AMX-10RC bi mogao biti poboljšan i u mnogim drugim oblastima, uz kasniju ugradnju sistema za identifikaciju kao i kompleta za smanjenje radarske i IC slike. Tu je i osnovni komplet za protivelektronsku borbu koji je već testiran u formi prototipa prve generacije. Sistem druge generacije trebalo bi da sadrži nove prijemnike za lasersko upozorenje, IC ometače, senzore ultraljubičastog zračenja i nove sisteme bacača granata Galix.

Francuska armija je niz godina razvijala oklopna borbena vozila točkaše, koja su dobro prilagođena za brzo razvi-

janje sa kopna, mora ili iz vazdušnog prostora. Uz više od 300 vozila AMX-10RC poboljšano je i 4000 oklopnih transporterata, preko 1000 oklopnih izviđačkih vozila i 192 oklopna vozila Panhard ERC 90 F4 6 × 6.

M. Krbavac



## NOVA RUSKA TERENSKA VOZILA\*

Na četvrtoj međunarodnoj izložbi Moskva 2002. prikazani su najnoviji proizvodi ruskih proizvođača motornih vozila, kao što su KamAZ, Ural, ZIL, UAZ, MAZ i dr. Takođe, učestvovala su i neke druge kompanije, prikazujući nova klasična vozila, koja su postala sve traženija.

Kompanija CayMan iz St. Peterburga prikazala je motorno vozilo specijalne namene *Vepr*, namenjeno za istraživačke zadatke na nepristupačnim terenima. Ono može da se koristi nezavisno, za duge marševe i kao bazna stanica. Karoserija vozila opremljena je uređajima za zagrevanje i kondicioniranje vazduha.

*Vepr* može da savladuje uspon od 35°, vertikalne prepreke visine do 0,8 m i ima gaz od 1,5 m. Za specijalne zadatke vozilo može da se opremi raznom opremom. Njegova kabina i boravišni modul izrađeni su od legure aluminijum-magnezijum. Vozilo ima centralni sistem za naduvavanje pneumatika i mehanizam za blokiranje diferencijala.

Prikazan je i model putničko-teretnog vozila *Barkhan*, koje može da prevo-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar 2002.

zi 12 vojnika, ili 7 vojnika i 700 kg tereta, a da istovremeno vuče prikolicu sa teretom od 1,6 t. Specijalne verzije vozila *Barkhan* razvijaju se za potrebe istraživanja, saniteta, vojne i dr. službe.

Zapažena su i vozila GAZ-29751 *Tigar* i GAZ-29752, konfiguracije 4 × 4 i 4 × 2, respektivno, namenjena za prevoz ljudstva i opreme. Oba vozila opremljena su dizel motorima snage od 136 do 158 kW.

Uljanovski automobilski zavod UAZ prikazao je oklopljena vozila UAZ-2966, koja se mogu koristiti kao komandna ili sanitetska, za prevoz ljudstva, opreme i vuču prikolica. Vozilo poseduje hidrauličnu transmisiju i opružno elastično oslanjanje.

Namensko vozilo *Škorpion* razvijeno od vozila UAZ-3151, namenjeno je za borbena dejstva u protivničkoj pozadini, za pratnju transporta i prebacivanje ljudstva za vreme specijalnih zadataka. Ovo vozilo ima sistem zaštite koji se sastoji od oklopnih ploča i vetrobrana otpornog na dejstvo streljačke municije. Vozilo ima dve verzije sistema za ugradnju oružja: postolje za bacač granata i mitraljez PKM i kružno postolje za mitraljez KPVT, sa nosačem za protivtenkovske vodene rakete i drugo naoružanje.



Sl. 1 – Vozilo specijalne namene *Vepr*



Sl. 2 – Vozilo GAZ-29751 *Tigar*



Sl. 3 – Dvodavno vozilo SV-2P *Laska*

Na izložbi je po prvi put prikazano vozilo za rehabilitaciju i evakuaciju ranjenika, izrađeno na bazi terenskog vozila GAZ-3308 *Sadko*, koji ima pogon na sva četiri točka. Ovo vozilo je osposobljeno za ukazivanje prve pomoći, brzu evakuaciju iz opasnih rejonaa, a može se koristiti u svim klimatskim područjima. Medicinsko odeljenje sadrži pet ležaja za pacijente i tri radna mesta za medicinsko osoblje.

Veliki interes pobudilo je vozilo SV-2P *Laska* – dvodavno gusenično amfibijsko vozilo, nosivosti 2 t korisnog tereta. Srednji specifični pritisak na podlogu ovog vozila ne prelazi 0,01 MPa. Vozilo ima hidrostatičku transmisiju, dve podesive pumpe za

četiri glavna hidromlaza i jednu pumpu za uređaje transmisije. Kapacitet prednjeg vozila je četiri čoveka i vozač, dok drugo vozilo prima 10 ljudi.

Automobilni zavod Likinski prikazao je svoj novi oklopni autobus koji se može koristiti za organizaciju inspeksijskih mesta ili uporišta. On obezbeđuje komforne uslove za smeštaj ljudstva.

Komplet za smanjenje odraza vojne automobilske opreme zaslužuje posebnu pažnju. Razvio ga je Centralni istraživački institut za radio i elektronske sisteme, a sadrži radio-apsorbujuće pokrivke, toplotnu zaštitu radi smanjenja prosečne temperature objekta u IC spektru i izobličavanje boje objekta. Komplet smanjuje odraz objekta u granicama radio-dometa do vrednosti koje su realne za zemaljsku buku. Prosečne temperature zaštićenog vozila snižavaju se na 14 do 20°C i malo se razlikuju od onih u okolini.

U optičkom spektru prosečna osvetljenost ovako zaštićene opreme korespondira se okolinom, dok slika iskrivljenosti boje ima faktor korekcije pozadine od 0,8 do 0,9. Kao rezultat toga, izviđačkim sredstvima se smanjuje mogućnost otkrivanja sa 20 do 30 km na 5 do 6 km, što znatno umanjuje vreme upotrebe precizno vođenog oružja.

Opremanje motornih vozila individualnim kompletom za smanjenje odraza povećava njihovu cenu za 5 do 10% i masu za najviše 200 kg, što govori o povoljnom odnosu cene i efikasnosti.

M. Krbavac

## GrANT – NOVA GENERACIJA BESPILOTNIH LETELICA\*

Po svojim osnovnim taktičkim i tehničkim karakteristikama, sistem GrANT, sa minijaturnom daljinski upravljanom letelicom, može da se smatra novom generacijom bespilotnih letelica. Odlikuje se jedinstvenom kombinacijom dometa, visine, izdržljivosti i funkcionalne korisnosti. Daljinski upravljana letelica ima mali radarski, akustički i optički odraz i sposobna je za horizontalno prizemljenje. Pošto je ova letelica potpuno autonomna u toku leta, lako se obezbeđuje prikrivenost segmenata sistema na zemlji. Upotreba GPS i originalnih tehnika za osmatranje obezbeđuje tačno određivanje koordinata cilja. Proizvodna i operativna cena letelice GrANT prilično je niska, što je čini atraktivnom i za civilne i za vojno-policijske potrebe.

Kao civilni sistem, GrANT se može koristiti za nadgledanje okoline, šuma, požara i poplava, nadzor gasovoda i naftovoda, depoa, električnih dalekovoda i puteva, kao i za procenu šteta izazvanih potresima ili drugim nesrećama. Kao vojno-policijski sistem može da bude najefikasniji za zadatke patroliranja državne granice (posebno na teško pristupačnim područjima), nadgledanje kritičnih zona i objekata, izviđanje bojnog polja, rano otkrivanje ciljeva i korekciju artiljerijske i raketne vatre, procenu šteta, mere protiv elektronske zaštite, uključujući frekventno skakanje i izvršavanje drugih zadataka, u zavisnosti od konfiguracije nosećeg kompleta.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar–decembar 2002.



Lansirna masa (kg)	20
Operativni domet (km)	70
Krstareća brzina (km/h)	120
Autonomija (h)	3-4
Operativna visina (km)	0-5
Broj istovremeno upravljanih letelica	4
Maksimalno pozicioniranje cilja MSE (m)	10

Sistem GrANT sadrži transporter-lanser, koji je ugrađen na šasiji vozila UAZ-3303 i može da nosi dve do četiri letelice (osnovne verzije), kao i mobilnu upravljačku stanicu na šasiji vozila UAZ-3962. Broj naknadno opsluživanih letelica može da varira. Prema ispoljenim zahtevima celokupni komplet opreme može da se ugradi na jedno vozilo tipa KamAZ ili Ural, ili na brod manjeg deplasmata. Posada ima pet članova uključujući i vozače.

Sistem GrANT se odlikuje:

- trupom od kompozitnih materijala male mase i velike čvrstoće, kao i malim radarskim odrazom;

- efikasnim prigušenjem šuma i sezonskom kamuflažom, što smanjuje zvučne i optičke signale (letelica ne stvara realan šum i nevidljiva je za neopremljenog posmatrača);

- malom masom i optimalnim dobro izbalansiranim taktičkim i tehničkim karakteristikama, što obezbeđuje nisku proizvodnu i operativnu cenu;

- lansirnim katapultom (sa odbacujućim punjenjem) koji ne zahteva pogon;

- horizontalnim prizemljenjem bez posebnih uređaja;

- mogućnostima izvršenja preko 100 zadataka;

- jednostavnim povezivanjem sa bilo kojim automatizovanim komunikacijskim i taktičkim sistemom ili sistemom za upravljanje vatrom.

Postoji nekoliko modularnih tipova konfiguracija noseće opreme, kao što su:

- tri TV kamere na žiroskopskoj platformi;

- IC skener i IC filmska kamera u spektralnom području 8 do 14  $\mu\text{m}$ ;

- laserski daljinomer;

- specijalni signalni radio-odašiljač;

- digitalna fotografska kamera koja šalje podatke u realnom vremenu.

Operativna cena bespilotnog sistema GrANT uporediva je sa onom od aviona An-2 i helikoptera Mi-2 i Mi-8. Predstavlja rezultat najboljih ruskih ostvarenja u razvoju bespilotnih letelica za poslednjih 25 godina. Po parametrima ukupnih taktičkih i tehničkih karakteristika to je jedan od najboljih bespilotnih sistema u svojoj klasi.

M. Krbavac



## **RADNA STANICA ZA BRODSKE RADIO-ELEKTRONSKE SISTEME\***

Uređaji za komandovanje značajne su komponente brodskih radio-elektronskih sistema i kompleta koje razvija Istraživačka i proizvodna ruska asocijacija Altair. Njihova pouzdanost i operativna gotovost određuju efikasnost upotrebe broskog naoružanja.

Zamor operatora, mogućnost adekvatne procene situacije i brzina reaganja, znatno zavise i od ergonomskih karakteristika uređaja za komandovanje.

Operativni zapis i analize uloge uređaja za komandovanje pokazuju da je visok nivo unifikacije u njihovoj izradi sasvim moguć. Od 1997. godine firma Al-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar 2002.



tair je usmerila svoje aktivnosti na razvoj objedinjene multifunkcionalne automatizovane radne stanice za operatora. Taj pristup eliminisaće raznolikost tipova komandnih uređaja, smanjiće troškove izrade i vreme razvoja opreme za komandna mesta i poboljšati operativne uslove. Mnogo pažnje usmereno je na zadovoljnije ergonomskih zahteva za komplete komandnih uređaja i njihove funkcionalne sposobnosti. Jednu takvu operativnu radnu stanicu razvila je firma Altair.

Radi rešenja problema razvoja jedinstvenog uređaja, namenjenog za izvršavanje širokog spektra upravljačkih zadataka, projektanti su razvili radnu stanicu čija je multifunkcionalnost ostvarena uvođenjem minimalnog broja promena u paketu softvera, uz nepromenjene strukturne uslove. Osnovna radna stanica ima ograničen broj specijalnih uređaja neophodnih za konfiguraciju raznih verzija stanica (tzv. osnovni komplet specijalnih uređaja).

Osnovna multifunkcionalna radna stanica sadrži: jedinicu osnovnog sistema Euromehonica 3U sa odgovarajućim softverom; LCD informacijski modul i objedinjeni upravljački panel.

Verzije upravljačkog panela razlikuju se po broju i lokaciji prekidača i mogućnostima grafičkog manipulatora.

Radna stanica sadrži:

- procesor mobilni Pentium 3 Coremine 400 MHz;

- kompaktnu PCI sistemsku magistralu, sa 64 MB osnovne memorije i 128 MB nepromenjive fleš memorije;

- operativni sistem Majkrosoft Windows NT 4.0 (ili drugi IBM PC kompatibilni operativni sistemi);

- video karticu 1600 × 1200 pixela sa 4 MB memorije;

- disk interfejs kontroler;

- ravni kolor likvidkristal monitor, veličine ekrana 18 inča, rezolucije 1280 × 1024 pixela, definicije boja 24 bita, frekvencije skeniranja 60 Hz;

Maksimalna masa radne stanice iznosi 75 kg, a potrošnja energije 600 W.

Struktura Euromehonica 3U omogućava ugradnju sedam dodatnih modula u slobodne prostore osnovne jedinice radi proširenja funkcija.

Posebna pažnja posvećena je ergonomskoj izradi i tehničkoj estetici, kao glavnim faktorima za poboljšanje komfora i efikasnosti operatora. Masa i dimenzije stanice su smanjene zbog originalne izrade i sklapajućih delova upravljačkog panela.

Radna stanica objedinjava: jedinstveni displej sistem, osnovni sistem Euromehonica 3U, unikatni (po parametrima izrade i veličini) upravljački panel i jedinstvenu ventilatorsku jedinicu za hlađenje osnovnog sistema i LCD sistema.

Ovakva izrada obezbeđuje lak pristup sistemskim jedinicama i njihovim modulima, kao i ugradnju dodatnih HUB koncentratora.

U donjem delu stanice smeštena je periferna konektorska ploča, a konzola upravljačke table smeštena je u sredini. Jedan njen deo može se rasklopiti i spustiti niže, te učvrstiti u tom položaju, čime se smanjuju ukupne dimenzije. Fiksni deo konzole nosi panel koji može da se rasklapa. U njemu je smešten upravljački panel sa tastaturom i grafičkim manipulatorom. Priključni i obrtni mehanizmi upravljačkog panela smešteni su unutar

okvira konzole. Upravljački panel je opremljen monitorom od tečnog kristala, ima rasklopivi naslon za ruke i noge i pruža optimalne uslove za rad operatora.

Objedinjena multifunkcionalna radna stanica može lako da se modifikuje u različite verzije upravljačkih uređaja. Altair proizvodi tri verzije radnih stanica:

– ARM-01, za brodsko komandno mesto za upravljanje sistemima naoružanja;

– ARM-02, za sisteme obrade radar-skih podataka za različite brodske komplekse;

– ARM-03, za prijem i obradu optičkih podataka.

Postavljanje dodatnih modula u baznu stanicu predstavlja put izgradnje upravnih stanica širokog spektra. Firma Altair radi na kompletiranju radne stanice za brodske raketne sisteme Shtil-1 i Moskit-MVE.

M. Krbavac





## tehničke novosti i zanimljivosti

### RAKETA IRIS-T NADOMAK SERIJSKE PROIZVODNJE\*

Početkom juna 2002. godine uspešno su završena vatrena ispitivanja rakete kratkog dometa vazduh-vazduh IRIS-T. To je bio poslednji korak i preduslov za probnu proizvodnju i serijsku izradu.

Zajednički državno-fabrički test za vrednovanje vatrene učinka obuhvatio je dva programirana gađanja i pet tragačko-vodenih gađanja na cilj, koji je predstavljala bespilotna letelica Meteor MIRACH, na opitnom poligonu Salto di Quirra na Sardiniji.

Rakete IRIS-T ispaljene sa ispitnog aviona F-4F nemačkog opitnog centra WTD 61, sa različitim vrednostima uglova, ostvarile su direktne pogotke u svim slučajevima traganja i vođenja na ciljeve udaljene do 10 km. I ciljevi i avion za lansiranje leteli su velikim subsoničnim brzinama, kao i na srednjim brzinama. Lansiranje se odvijalo pri maksimalnom g-opterećenju i vrlo visokim uglovima leta aviona za lansiranje. Gađanje je obuhvatalo i složene uslove, jer su i rakete i vosokomanevrišući bespilotni ciljevi to omogućavali.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY 7/2002.

Dva programirana gađanja pri visokim napadnim uglovima i ekstremnom g-opterećenju uspešno su potvrdila simulacione modele. Postupak akvizicije, praćenja i mogućnosti tačnog pogađanja raketom IRIS-T ciljeva sa niskim IC odrazom u teškim uslovima za gađanje pokazao se kao izvanredan.

Razvoj programa IRIS-T završava se po planu, a serijska proizvodnja i isporuke planirane su za 2004. godinu. Zaključivanje ugovora za serijsku proizvodnju između država i BGT kao nosioca industrijske proizvodnje u završnoj je fazi. Po prvi put posle Drugog svetskog rata jedan ambiciozni multinacionalni industrijski tim, pod vodstvom nemačke kompanije BGT, stavio je na raspolaganje svoje sistemske kapacitete i ostvario razvoj rakete vazduh-vazduh.

M. K.



### TRADICIJA I INOVACIJE BELGIJSKE FABRIKE ORUŽJA FN\*

„Fabrique Nationale“, mnogo poznatija kao „FN“ ili „FN-Herstal“ iz Li-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY 3-4/2002.

ježa u Belgiji, više od 100 godina proizvodi individualno naoružanje i municiju za potrebe vojske, policije, sporta i lova. Za potrebe vojske FN proizvodi kolektivno naoružanje kao što su mitraljezi sa odgovarajućim postoljima i opremom za montažu na čamce ili avione.

Posle kratkog vremena rada u sastavu francuske kompanije GIAT, ova fabrika je danas potpuno u vlasništvu belgijske kompanije Herstal Group, koja ima fabrike u SAD, Japanu, Portugalu i predstavništva u više od 90 zemalja.

Naoružanje FN koristi mnoge međusobno zamenljive delove, pribore i druge elemente u proizvodnji i logističkoj podršci. Najveći deo familije naoružanja FN koristi se u preko 40 zemalja sveta.

Od savremenih automatskih jurišnih pušaka, FN proizvodi FNC puške kalibra  $5,56 \times 45$  mm, koje funkcionišu na principu korišćenja barutnih gasova, i čuvene mitraljeze MINIMI istog kalibra koji, zajedno sa većim mitraljezom MAG kalibra  $7,62 \times 51$  mm, omogućava jednostavnu promenu režima vatre okretanjem regulatora ispod cevi. Mitraljez MINIMI je posebno široko upotrebljiv i efikasan zbog svojih malih dimenzija – dužina 1040 mm i masa 7,1 kg u standardnoj verziji. Ovaj mitraljez Armija SAD je masovno koristila u ratu u zalivu.

Od teških mitraljeza FN proizvodi modernizovane verzije čuvenog mitraljeza 12,7 mm „50 Cal“, koji ima mogućnosti brze i lake zamene cevi kao nijedan drugi mitraljez. Osim toga, radi ugradnje na helikoptere i subsonične avione izrađena su specijalno modifikovana postolja vrlo malih dimenzija, za 250 ili 400 zrna. Ta postolja mogu se kombinovati sa tri ili četiri lansirne cevi za rakete 70 mm.

Najsavremeniji proizvod FN danas je modularna automatska puška F2000, kalibra  $5,56 \times 45$  mm sa visokim stepenom univerzalnosti. Konfiguracija puške može se menjati vrlo brzo zbog njene modularne konstrukcije. Automatska puška F2000 može se lako opremiti lansirnom cevi za granate male brzine kalibra 40 mm. Dva vertikalno pomična mehanička nišana omogućavaju nišanje kada se ne koristi sistem za upravljanje vatrom. Bez municije ovo oružje ima masu 3,6 kg u verziji puške, odnosno 4,6 kg kada je ugrađen lanser. Dužina cevi u kombinovanoj verziji iznosi 400 mm, a ukupna dužina 727 mm. Optički nišan omogućava uvećanje 1,6 $\times$ . Puška F2000 koristi univerzalni okvir M16 sa 30 zrna.

Firma FN razvila je i municiju za svoj automat P90 i pištolj kalibra  $5,7 \times 28$  mm. Za vreme demonstracije ove municije ispaljene iz P90, na udaljenosti od 100 m, dobijeni su bolji rezultati i probojnost u odnosu na municiju  $9 \times 19$  mm. Osim toga, ova municija smanjuje rikošet, što je posebno važno za borbu u urbanim sredinama. Municija još nije dobila certifikat NATO, mada su pištolj FN i automat P90 do sada plasirani u više od 20 zemalja. Automat P90 dužine 500 mm ima masu od samo 3 kg.

M. K.



## NAVIGACIONI SISTEM ZA IZVIĐAČKO VOZILO FENNEK\*

Poslovna jedinica korporacije Northrop Grumman, LITEF GmbH iz Frajburga, odabrana je za opremanje hibrid-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY 7/2002.

nim navigacionim sistemima za izviđačka vozila FENNEK. Hibridna konfiguracija omogućava navigaciju pri radu bez raspoloživosti GPS i pri ometanim GPS signalima. Tačnu informaciju o položaju vozila, vođenje i pozicioniranje, omogućava sistem LITEF koji se sastoji od inercione navigacione jedinice integrisane sa satelitskim GPS prijemnikom.

Vozilo FENNEK razvijale su firme Krauss-Maffei Wegmann iz Nemačke i SP Aerospace i Vehicle Systems B.V. iz Holandije za potrebe nemačke i holandske vojske. To je lako oklopljeno izviđačko točkaško vozilo sa tročlanom posadom. Opremljeno je osmatračkim sistemom koji sadrži termovizor, CDD dnevnu kameru i laserski tragač za identifikaciju i lokaciju ciljeva.

Isporuka 577 primeraka hibridnih navigacionih sistema planirana je u periodu od 2003. do 2007. godine. Hibridnim navigacionim sistemom LITEF opremaju se i tenkovi Leopard 2 u Danskoj, Nemačkoj, Španiji, Švedskoj i Holandiji, kao i nemačko izviđačko vozilo FUCHS NBC.

M. K.



## **NEMAČKA ARMIIJA NARUČUJE SAMOHODNE MINOBACAČE 120 mm\***

Nemačka agencija za nabavke naoružanja sklopila je ugovor sa firmom Rheinmetall Landsysteme za nabavku samohodnih minobacačkih sistema 120 mm ugrađenih na šasiju najnovijih oklopnih lakih vozila Wiesel 2.

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 5. mart 2003.

Sistem je projektovan kao lakooklopljeni minobacač 120 mm za potrebe nemačke armije. Ovi sistemi treba da se uvedu u upotrebu početkom naredne godine radi sprovođenja sveobuhvatnih ispitivanja.

Predviđena je nabavka 94 ovakva sistema do 2006. godine.

Nemački industrijski konzorcijum, sada pod vodstvom Rheinmetall Landsysteme, radi na izradi samohodnog minobacača 120 mm već nekoliko godina, a baziran je na modifikovanoj šasiji vozila Wiesel 1. Drugi članovi konzorcijuma su Rheinmetall W&M, Honeywell Regelsysteme i ESG Elektroniksystem i Logistik. Razvoj teče od 1996. godine kada je demonstriran prvi prototip.

Minobacač 120 mm sa glatkom cevi je već korišćen na oklopnim transporterima M113 nemačke armije. Rheinmetall je razvio specijalni protivtrzajući sistem, koji omogućava korišćenje minobacača sa šasije lakog vozila Wiesel 2. Pre opaljenja vozilo se stabilizuje pomoću dva stabilizatora koji se nalaze na zadnjoj strani vozila. Režim vatre iznosi tri zrna na 20 sekundi.

Minobacačem može da se rukuje uz potpunu oklopnu, nuklearnu, biološku i hemijsku zaštitu posade.

Pored standardnih trenutnofugasnih granata, koje se ispaljuju na rastojanja do 6 km, ovaj minobacač može da gađa i granata HE-L 120 mm, čiji je domet do 8 km.

M. K.



## **NOVI OBLIK FRANCUSKOG BORBENOG VOZILA PEŠADIJE\***

Tri prva nova francuska borbena vozila pešadije biće završena 2005. godine a

\* Prema podacima iz časopisa Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

zatim će uslediti prva proizvodna serija od 54 borbena vozila i 11 komandnih vozila u 2006. godini.

Francuska armija očekuje da isporuka 550 borbenih vozila pešadije i 150 komandnih vozila zameni sadašnjih 760 borbenih transportera AMX-10P. Proizvodnja treba da se odvija tempom od 100 vozila godišnje i trajaće do 2013. godine.

Prema sadašnjoj koncepciji borbeno vozilo pešadije je točkaš konfiguracije 8 × 8, sa borbenom masom od 26 t, uz moguće povećanje do 32 t. Vozilo će moći da se transportuje i avionima tipa A400 ili C17.

Borbeno vozilo će biti opremljeno poslednjom generacijom kupole za jednog člana posade sa topom 25 mm M811 i spregnutim mitraljezom 7,62 mm. Okretanje i elevacija biće na električni pogon, a nišandžija će imati dnevno-termovizijski nišanski sistem i laserski daljinomer. Komandir odeljenja moći će da upravlja kupolom iz unutrašnjosti vozila. Uz nišandžiju i vozača borbeno vozilo će prevoziti i 9 vojnika uključujući i komandira odeljenja, koji komanduje vozilom i ukrcnim delom posade.

Pored borbenih vozila pešadije i komandnih vozila, očekuju se i druge verzije, kao što su transporter za protivtenkovske grupe opremljene protivtenkovskim vodenim raketama kratkog dometa, inženjerska vozila opremljena dozerom i hidrauličnim kranom, kao i pokretni topovski sistem sa glatkocevnim topom 105 ili 120 mm.

Kao eksportna varijanta, vozilo se nudi sa kupolom za dva člana što smanjuje zapreminu raspoloživu za odeljenje u kojem se prevoze vojnici.

Izvozni marketing je već počeo, i obuhvata brojne potencijalne kupce u Evropi i na Srednjem istoku.

Model borbenog vozila pešadije prikazan je prošle godine na Evropskoj izložbi naoružanja Eurosatory.

M. K.



## VOJNA VOZILA URAL\*

Savremena motorna vozila Ural, počevši od vozila Ural-375, sa pogonom na svih šest točkova, koje je ranih osamdesetih godina zamenio Ural-4320, pa do najnovijih, i dalje pokazuju velike prednosti za armiju. Prednosti ovih vozila su očigledne: mogućnost čuvanja pod vedrim nebom, lako održavanje kao i brojna projektna rešenja optimizirana kroz dugogodišnju saradnju i upotrebu kod glavnih korisnika. Posebno su važne dobre terenske mogućnosti i povećana zaštita posade u borbenim uslovima.

Udovoljavanje porodice motornih vozila Ural savremenim tehničkim zahtevima i unifikacija mnogih delova i sklopova, čini ih osnovnim armijskim vozilima i omogućava njihovu efikasnu upotrebu zajedno sa oklopnim jedinicama, kako pri marševanju, tako i na prednjim pozicijama za vuču artiljerijskih sredstava i transport opreme i ljudstva.

Šasije motornih vozila Ural mogu nositi različito naoružanje i vojnu opremu: višecevne raketne lansere, elektronsku izviđačku i komunikacijsku opremu, komandna mesta, razne tehničke sisteme, aerodromsku opremu, remontna sredstva i dr.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 2002. god.

Motorna vozila Ural i šasije namenjene za vojsku specijalno su površinski zaštićene i opremljene nosačima za naružanje u kabini, delovima za spajanje sa uređajima za hemijsku i radiološku dekontaminaciju, sistemom za sprečavanje radio-smetnji, kompletom za zamračivanje, unutrašnjim osvetljenjem, montažnim sedištem za filtroventilacionu jedinicu i uređajem za noćno osmatranje.

Kvalitet svih armijskih vozila Ural kontrolišu vojni organi. Sistemom kvaliteta ispunjavaju se uslovi ISO 9001-94 koji su potvrđeni certifikatima TUV-CERT (Nemačka), Ruskim državnim komitetom za standarde i Vojnim registrom.

Razvojna strategija Zavoda Ural usmerena je na poboljšanje proizvodnog asortimana i kreiranje novih familija vozila, koje bi mogle udovoljiti savremenim zahtevima. U poslednjih nekoliko godina Zavod je našao razuman kompromis između mogućnosti za visoku prohodnost i nosivost.

Klasa motornih vozila visoke prohodnosti i velike korisne nosivosti predstavljena je familijom vozila Ural-5323, kamiona konfiguracije 8 × 8, opremljenih motorom YaMZ-238B (220 kW sa turbo punjačem). Ova verzija omogućava optimalnu distribuciju mase između osovina, visoku korisnu nosivost, maksimalno korišćenje montažnih mogućnosti, dobro manevrisanje i stabilnost.

Ovaj zavod jedini u Rusiji proizvodi 4-osovinske kamione sa pogonom na sve točkove. Ural-5323 ima standardnu ili dugačku šasiju. Korisna nosivost šasije je 10 ili 15 t. Za policijske snage razvijeno je vozilo Ural-532303 (8×8) i Ural-432009 (6×6) s oklopnom kabinom. Prohodnost i manevarske sposobnosti oklo-



*Kamion Ural 6 × 6*

pljenih kamiona jednako su visoke kao kod osnovnih modela. Uz to, ova vozila imaju zaštićen rezervoar za gorivo i kućište za smeštaj akumulatora.

Ural-532303 i Ural-432009 namenjeni su za prevoženje različitih funkcionalnih modula za transportne i druge potrebe, kao i za vuču prikolica po svim vrstama puteva i terena. Zavod Ural je 2001. godine reorganizovan i postao deo RusPromAvto holding kompanije.

Familija vozila Ural danas obuhvata nekoliko desetina verzija koje se razlikuju u podvozu, dužini šasije za montažu opreme specijalne namene, snazi motora, itd. Sva motorna vozila Ural koriste dizel motore proizvedene u Jaroslavskom zavodu za motore, uključujući i YaMZ-236NE2 motor koji zadovoljava standarde Euro-2. Ovaj motor ima turbo punjenje i posredno vazdušno hlađenje, što je povećalo njegovu snagu na 170 kW.

U 2002. godini Zavod je proizveo oko 10 250 kamiona, a u prvih 7 meseci izvezeno je 2860 vozila. Vozila Ural koriste se u više od 40 zemalja jer su se pokazala veoma pouzdanim i po vremenskim i po borbenim kriterijumima.

M. K.



## DIMNI RASPRŠIVAČI ISL 66D\*

Britanska kompanija Istec prikazala je novo vozilo sa dimnim raspršivačem kalibra 66 mm. Modularni sistem raspršivača omogućava različiti broj cevi, a mogu se isporučivati kao jednodijelne ili kao standardne 6-kontejnerske jedinice. Izrađeni su od aluminijuma i nerđajućih čelika, a cevi sistema mogu se skidati radi čišćenja, bez upotrebe specijalnih alata.

Verzije koje se isporučuju su:

– ISL 66SD-V je montažna varijanta dimnog raspršivača koja se zavrtnjevima pričvršćuje na vozila koja su opremljena instalacijom i priključcima prema vojnim standardima. Upravljačka kutija za aktiviranje montira se u kabini, a mogu da je koriste i vozač i komandir;

– ISL 66SD-B je odvojeni sistem koji se brzo može ugraditi na vozila. Samostalna jedinica sadrži dimni raspršivač, baterije, uređaj za upravljanje vatom i montažnu opremu.

Hermetizovana baterija ima jednogodišnji vek trajanja, a u kompletu je i rezervna baterija. Kada je opremljena standardnim Istec priključcima, ISL 66SC može da se aktivira za nekoliko sekundi. Prednost ovog načina upotrebe je u tome što operator može usmeravati dim i, ako je potrebno, brzo vršiti dopunjavanje. Raspršivač je modularne konstrukcije, a cevi se mogu postavljati pod različitim uglom.

M. K.



## NOVI MOBILNI RADIO-KOMUNIKACIJSKI UREĐAJI\*\*

Kasnih devedesetih godina Radio-tehnički zavod iz Rjazana započeo je se-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY 7/2002.

\*\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-december 2002.

Opis i karakteristike	Radio-stanice	
	R-168-0,5 UE(S)	R-168-0,5 UE
<b>Komponente:</b>		
– radio-primopredajnik	+	+
– upravljački panel	+	–
– komplet mikrofon-telefon	–	+
– antenski uvodnik	+	–
– komplet antena	–	+
– komplet akumulatora	+	+
– panel za snimanje radio-podataka	+	+
<b>Režimi rada:</b>		
– slanje i prijem glasa i digitalnih informacija	+	+
– jedno/dvofrekventni simpleks koji obezbeđuje zvučno-frekventni poziv i mogućnost prigušenja šuma	+	+
– broj unapred određenih frekvencija	8	4
– snimanje radio-podataka	+	+
– skeniranje frekvencija na četiri fiksirane frekvencije	+	+
– čuvanje prijema	+	+
– mogućnost kriptozastite (CISS)	+	+
<b>Tehničke karakteristike:</b>		
– operativno frekventno područje (MHz)	94–100	30–47,975 47–72,975 70–107,975
– osetljivost prijemnika (µV)	0,6	0,8
– izlazna snaga predajnika (W, min)	1,0	0,25; 1,0
– domet veze sa antenom Ash–1,5 M (km)	–	5–7
– prosečno vreme između neispravnosti (h)	–	manje od 10 000
– temperaturni interval rada (°C)	–30 do +55	–30 do +55
– dimenzije primopredajnika (mm)	140×59×41	287×104×57
– masa kompleta opreme (kg)	0,75	2,6

rijsku proizvodnju nove generacije radio-komunikacijskih uređaja Akveduk i Granit. To su UKT frekventno-modulisani radio-komunikacijski sistemi – radio-stanica R-168-0,5UE(S), namenjena za jedinice specijalne namene, i radio-stanica taktičkih komandi R-168-0,5 UE.

Radio-stanice imaju ugrađeni kriptografski informatički zaštićeni si-



stem CISS (cryptographic information security system).

Sistem Granit može da se koristi u oružanim snagama, specijalnim službama i civilnim organizacijama za izgradnju zajedničke komunikacijske mreže.

M. K.



## **SPECIJALIZOVANA TEHNIČKA SKLONIŠTA\***

Euro-Shelter, zajednička kompanija koju su osnovale francuska kompanija Giat Industries i britanska kompanija INSYS Ltd., već 25 godina projektuje razna tehnička skloništa.

Na Evropskoj izložbi 2002. godine u Parizu kompanija je prikazala svoje proizvodne mogućnosti od projektovanja do integralne logističke podrške. Široke proizvodne mogućnosti kreću se od prototipa do serijske proizvodnje, od otkrivenog skloništa do integrisanog sistema sa mnoštvom proizvoda i aplikacija za taktičke, logističke i medicinske potrebe.

Kao specijalista za tehnička skloništa, Euro-Shelter nudi ISO skloništa, pri državajući se međunarodnih transportnih

i posebnih vojnih standarda i zahteva, uključujući širok izbor proširujućih kontejnera, izrađenih od aluminijuma ili čelika, koji se mogu proširivati 2, 3, 4 ili 5 puta u odnosu na početnu zapreminu. „Rastezanje“ se izvodi pomoću kliznih mehanizama, čvrstih ploča ili naduvavajućih panela. Program, takođe, uključuje izradu polumobilnih skloništa i sklapajućih kabina.

Širok izbor aplikacija sadrži sisteme veza i taktičkih komunikacija, sisteme za detekciju i analizu, uređaje za osmatranje i kontrolu, radarske stanice i komandna mesta, civilne veze, logističke sisteme kao što su kuhinje, perionice i stambene prostorije.

Mobilni, modularni i autonomni projekat bolničke namene omogućava bolničke zahvate u roku od dva sata od dolaska na zadatak lokaciju. Taj sistem se već primenjuje u Bosni, na Kosovu, Sierra Leone i Omanu, i ima isti tehnički nivo kao bolnička infrastruktura. Zbog svoje vrlo visoke mobilnosti ova tehnička skloništa omogućavaju medicinsku i drugu logističku podršku i najudaljenijim i izolovanim populacijama.

M. K.



\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY 7/2002.

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Vojske Srbije i Crne Gore, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i razvoj, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Vojske Srbije i Crne Gore.

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), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćunica (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 Vojske Srbije i Crne Gore.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, tekući račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

*Tehničko uređenje*

Mirko Obradović

*Lektor*

Dobriła Miletić, profesor

*Korice*

Milojko Milinković

*Korektor*

Bojana Uzelac

Cena: 180,00 dinara

Tiraž 1.000 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)

