

SADRŽAJ

	ANALIZA TEHNIČKE PODRŠKE VOJSKE SRBIJE I CRNE GORE U 2003. GODINI	5
Profesor dr Siniša Borović, dipl. inž. Mr Nevenka Tanašćuk, dipl. mat.	AUTOMATIZOVANI SISTEM PODRŠKE ODLUČIVANJU U PROCESIMA JAVNE NABAVKE	9
Dr Miladin Nikolić, dipl. inž. Sc Miroslav Stojanović, pukovnik, dipl. inž.	KVANTIFIKACIJA OSNOVNIH KRITERIJUMA LOGISTIKE ..	26
Mr Dragan Đukić, potpukovnik, dipl. inž. Dr Vasilije Mišković, pukovnik, dipl. inž.	ANALIZA UTICAJA SNABDEVENOSTI REZERVNIM DELOVIMA NA ISPRAVNOST BORBENIH VOZILA U BORBENIM DEJSTVIMA	37
Dr Slavko Pokorni, pukovnik, dipl. inž. Profesor dr Rifat Ramović, dipl. inž.	POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST REZERVIRANOG TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA SA ČETIRI CENTRALE	49
Dr Zoran Ristić, pukovnik, dipl. inž.	NEKE KARAKTERISTIKE PROTOČNIH OTVORA HIDRAULIČNE KOČNICE TRZANJA ARTILJERIJSKIH ORUĐA	58
Dr Radun Jeremić, pukovnik, dipl. inž.	NEKI ASPEKTI PERFORMANSI RAKETNIH GORIVA I PRAVCI RAZVOJA ČVRSTIH RAKETNIH GORIVA	67
Dr Radinko Gligorijević, dipl. inž. Dr Jeremija Jevtić, dipl. inž. Mr Đuro Borak dipl. inž.	KVALITET BUDUĆIH ULJA ZA MOTORE NISKIH EMISIJA .	75
Marko Pejić, poručnik, dipl. inž.	AERODIGITALNI SENZORI – LH SYSTEMS ADS 40	87
Dr Miljko Erić pukovnik, dipl. inž.	XI TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR 2003 – prikaz naučno-stručnog skupa –	99

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Lako oklopno vozilo Kobra – M. K.	101
Nove američke puške – S. A.	104
Razvoj sistema za buduća brza dejstva – M. K.	105
Turska uvodi novi samohodni top 155 mm – M. K.	108
Napredak nanotehnologija – M. K.	109
Sistem za praćenje naprezanja trupa broda – M. K.	110
Alternativni pogoni podmornica – M. K.	112
Novi koncept za brze brodove – M. K.	113

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Nove rakete za sistem PVO S-400 – M. K.	115
Izraelski puščani bacač granata – M. K.	116
Veća vatrena moć borbenog vozila Warrior – M. K.	116
Novi tenkovski top 120 mm – M. K.	117
Smart municija za topove velikog kalibra – M. K.	118
Artiljerijski sistem Thunderbolt – M. K.	119
Protivtenkovski sistem Javelin – M. K.	119
Prototip samohodnog topa 105 mm – M. K.	120
Avionska protivbrodska raketa Jakhont – M. K.	121
Laserski vođena avionska bomba LGB-250 – M. K.	121
Nove ruske avionske bombe – M. K.	122
„Trajna“ municija kompanije Boeing – M. K.	123
Ruske kacige sa sistemom za nišanje – M. K.	124
Izraelski obaveštajno-izviđački sistem Solid Mirror – M. K.	124
Poboljšani kineski lovac FBC-1M – M. K.	125
Studija o pentamaran fregati – M. K.	126

Profesor dr Siniša Borović,
dipl. inž.
Ministarstvo odbrane SCG,
Beograd
Mr Nevenka Tanašćuk,
dipl. mat.
NIS Jugopetrol,
Beograd

AUTOMATIZOVANI SISTEM PODRŠKE ODLUČIVANJU U PROCESIMA JAVNE NABAVKE

UDC: 658.715 : 519.863

Rezime:

U poslednjoj fazi procesa javne nabavke komisija se susreće sa problemom izbora najboljeg ponuđača, odnosno onog čija ponuda u najvećoj meri ispunjava zahteve i uslove koji su navedeni u konkursnoj dokumentaciji. Mora se doneti odluka uz uvažavanje više različitih, a često i protivrečnih kriterijuma. Za rešavanje ovakvih i sličnih problema razvijen je čitav niz metoda koje pripadaju oblasti višekriterijumske analize i rangiranja. Uzimajući u obzir karakteristike problema izbora ponuđača u procesu javne nabavke, iz skupa navedenih metoda izdvojena je metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP), kao osnovna metoda za rangiranje ponuđača. Za eventualnu kontrolu izvršenog rangiranja predlaže se familija metoda PROMETHEE I–II.

Ključne reči: javna nabavka, postupak, kvalifikacija, kriterijum, ugovor.

AUTOMATIC DECISION SUPPORT IN A TENDER PROCESS

Summary:

In the last phase of a tender process, the Commission has a problem with choosing the best bidder, i.e. the one whose offer meets the highest requirements in the Tender documentation. A decision has to be made taking into account many different, and very often contradictory, criteria. For solving this one as well as similar problems, numerous methods, belonging to the multicriteria analysis and ranking, are developed. Taking in to account the characteristics of a problem imposed by choosing the bidder in a Tender process, one of the mentioned methods, the method of analytical hierarchy process (AHP) has been chosen as a basic method for ranking bidders. For the performed ranking control, the PROMETHEE I–II, method family is proposed.

Key words: tender, procedure, qualification, criteria, contract.

Uvod

Zakon o javnim nabavkama (ZJN) kao i druga zakonska i podzakonska akta, te opšta akta Naftne industrije Srbije (NIS), uslovia su potrebu da se u procesu sprovođenja javnih nabavki izradi jedinstvena, naučno zasnovana metodologija, bazirana na višekriterijumskoj analizi i automatizuje predložena metodologi-

ja, koristeći najsavremenija dostupna softverska dostignuća.

Budući da je to kod nas, relativno, nova materija i u praksi još nedovoljno verifikovana, timski se pristupilo sveobuhvatnom snimanju posla. Pri tome je posebno naglašeno detaljno proučavanje i sagledavanje zakonskih i podzakonskih akata i regulative, kao i druge literature iz predmetne oblasti. Takođe, obavljene

su konsultacije sa poznavacima problema, pre svega iz Uprave za javne nabavke i korišćena iskustva drugih pravnih lica koja podležu ovom zakonu. Celokupan posao realizovao je projektni tim ⁴⁰.

Analiza poslovnog procesa

OBLASTI PRIMENE PROCEDURA JAVNE NABAVKE

Procedure Zakona o javnim nabavkama primenjuju se u oblastima nabavke dobara, radova i usluga.

Nabavka dobara obuhvata:

- kupovinu dobara (sa plaćanjem odjednom ili na rate),
- zakup dobara,
- lizing dobara (sa pravom kupovine ili bez toga prava).

Ugovor o javnoj nabavci dobara može obuhvatiti i pružanje usluga, ako su one nužno vezane za isporuku dobara (montaža, prevoz, osiguranje ili druge usluge koje u konkursnoj dokumentaciji definiše naručilac).

Nabavka radova odnosi se na:

- izvođenje radova,
- projektovanje i izvođenje radova povezanih sa specifičnim aktivnostima navedenim u Aneksu II Zakona,
- rad pri izgradnji građevinskog objekta, uzetog kao celina, koji ispunjava sve ekonomske i tehničke uslove naručioca.

U predmetu ugovora o javnoj nabavci usluga su navedene u aneksima I A i I B, koji su sastavni deo ZJN. Za razliku od nabavki dobara i radova kod nabavki usluga utvrđene su usluge pri čijem nabavljanju se ne primenjuju odredbe ZJN.

Imajući u vidu spektar delatnosti NIS-a, a i iz izloženog može se konstatovati da su predmet javnih nabavki skoro sva dobra, usluge i radovi predviđeni ZJN, što ovaj projekat čini izuzetno kompleksnim.

OSNOVNA NAČELA JAVNIH NABAVKI

Načelo *ekonomičnosti i efikasnosti* predviđa obavezu naručioca da preduzme mere sa ciljem da obezbedi da se postupak sprovođenja javne nabavke i izbor ponuđača vrši u rokovima i na način propisan Zakonom i sa što manje troškova vezanih za realizaciju javne nabavke.

Načelo *obezbeđivanja konkurencije među ponuđačima* podrazumeva:

- da naručilac ne može da ograniči konkurenciju među ponuđačima,
- da subjekti koji su pripremali konkursnu dokumentaciju, ili pojedine njene delove, ne mogu nastupati kao ponuđači ili kao podizvođači niti mogu saradivati sa ponuđačima pri pripremanju ponude,
- da naručilac ne može od ponuđača da zahteva da kod javnih nabavki angažuje određenog podizvođača, niti da izvede neku drugu transakciju, ako posebnim zakonom ili međunarodnim sporazumom nije drugačije predviđeno, ili ako u konkursnoj dokumentaciji nije navedeno.

Načelo *transparentnosti* podrazumeva da su informacije o elementima postupka nabavke dostupne svim zainteresovanim ponuđačima, da je postupak otvoren za uvid ponuđača u svim svojim segmentima, i da su pravila učešća u postupku napisana razumljivo.

Načelo *jednakosti ponuđača* predviđa zabranu naručiocu da određuje uslove koji bi značili:

- teritorijalnu diskriminaciju među ponuđačima,
- predmetnu diskriminaciju među ponuđačima,
- ličnu diskriminaciju među ponuđačima,
- diskriminaciju koja bi proizlazila iz klasifikacije delatnosti koju obavlja ponuđač.

VRSTE POSTUPAKA U JAVNIM NABAVKAMA

Postupci koji predstavljaju pravilo u javnim nabavkama su:

- otvoreni,
- restriktivni,
- postupak sa pogađanjem (predstavlja izuzetak od opštih pravila).

Otvoreni postupak je postupak u kojem sva lica, koja imaju interes za dobijanje ugovora o javnoj nabavci, mogu dostaviti svoje ponude u skladu sa prethodno definisanim zahtevima naručioca, predviđenim u konkursnoj dokumentaciji.

Restriktivni postupak sprovodi se u dve faze.

U I fazi zainteresovani ponuđači podnose prijave za utvrđivanje kvalifikacije. Uz prijavu ponuđači podnose dokaze o ispunjavanju propisanih statusnih, finansijskih, kadrovskih i tehničkih uslova. Rezultat završetka prve faze je lista kvalifikovanih ponuđača, koja može da bude utvrđena za period od jedne do tri godine, i koja je osnov za otpočinjanje druge faze postupka.

U II fazi kvalifikovani ponuđači podnose ponude za konkretnu nabavku.

Postupak sa pogađanjem može se sprovoditi u dva slučaja.

Bez prethodnog objavljivanja, ako zbog:

- objektivnih razloga, ili iz razloga povezanih sa zaštitom isključivih prava, nabavku mogu ispuniti samo određeni isporučioči dobara, pružaoci usluga ili izvođači radova;

- vanrednih okolnosti, odnosno zbog nepredviđenih događaja, naručilac nije mogao da postupi u rokovima određenim za otvoreni i restriktivni postupak.

Posle prethodnog objavljivanja poziva za prijavljivanje za otvoreni ili restriktivni postupak ako:

- u otvorenom ili restriktivnom postupku uopšte nije dobio ponude, ili su ponude neodgovarajuće ili neprihvatljive, pod uslovom da se sadržina raspisane konkursne dokumentacije u osnovi ne menja. Naručilac mora da objavi obaveštenje da će ugovor biti dodeljen po postupku sa pogađanjem i da je u taj postupak uključio sve ponuđače čije su ponude bile date u otvorenom ili restriktivnom postupku i koje su bile u skladu sa zahtevom za priznavanje kvalifikacija;

- u izuzetnim slučajevima, kada zbog prirode nabavke naručilac ne može prethodno u celini da utvrdi cenu.

KONKURSNA DOKUMENTACIJA

Da bi se u postupku javne nabavke ostvario osnovni cilj, tj. nabavka dobara, radova ili usluga najboljeg kvaliteta, a koliko je moguće, uz što povoljniju cenu, potrebno je vrlo pažljivo pristupiti pripremi konkursne dokumentacije, u kojoj, pre svega, treba jasno, nedvosmisleno i sveobuhvatno definisati sve zahteve.

Obim i sadržina konkursne dokumentacije zavise od:

- vrste postupka koji se sprovodi,
- predmeta nabavke.

Odredbama Zakona propisani su različiti *obavezni elementi konkursne dokumentacije* (konkursna dokumentacija može da sadrži i druge elemente koji su, s obzirom na predmet javne nabavke, neophodni za izradu ponude), u zavisnosti od toga za koju vrstu postupka se ona priprema.

KRITERIJUMI ODLUČIVANJA I PONDERI

Prema Zakonu o javnim nabavkama najznačajniji *opšti kriterijumi* za ocenjivanje ponuda odnose se na ekonomski najpovoljniju ponudu i najnižu ponuđenu cenu.

U okviru ove grupe ekonomski najpovoljnije ponude, prema čl. 55 Zakona, predviđeni su sledeći kriterijumi:

- 1) rok isporuke dobara, ili izvršenja usluga ili radova;
- 2) tekući troškovi;
- 3) troškovna ekonomičnost;
- 4) kvalitet i primena odgovarajućih sistema QA/QC ili standarda;
- 5) estetske i funkcionalne karakteristike;
- 6) tehničke i tehnološke prednosti;
- 7) postprodajno servisiranje i tehnička pomoć;
- 8) garantni period, vrsta i kvalitet garancija i garantovane vrednosti;
- 9) obaveze u pogledu rezervnih delova;
- 10) postgarancijsko održavanje;
- 11) ponuđena cena;
- 12) mogućnosti tipizacije i unifikacije;

13) obim angažovanja podizvođača, i dr.

Specifični kriterijumi zavise, prvenstveno, od predmeta nabavke (dobra, usluge, radovi). Njihov izbor, rangiranje i dodeljivanje pondera zavisi od opredeljenja komisije. Specifični kriterijumi, takođe, moraju biti opisani, vrednovani, ne smeju biti diskriminatorni i moraju biti u logičnoj vezi sa predmetom nabavke.

Mogući specifični kriterijumi su:

- 1) tekući troškovi (održavanje, povezani troškovi i dr.);
- 2) kvalitet i primena odgovarajućih sistema kvaliteta;
- 3) estetske i funkcionalne karakteristike;
- 4) tehničke i tehnološke prednosti;
- 5) postprodajno servisiranje i tehnička pomoć;
- 6) obaveze u pogledu rezervnih delova;
- 7) postgarancijsko održavanje;
- 8) mogućnost tipifikacije i unifikacije;
- 9) obim angažovanja podizvođača;
- 10) obaveze u pogledu obuke radnika;
- 11) reference stručnih lica koja će biti angažovana (broj i vrsta);
- 12) posedovanje, vrsta i izdavalac ISO sertifikata, itd.

Razrađen je algoritamski blok-dijagram tokova informacija i dokumentacije u procesu javne nabavke, a saglasno ZJN ^a4°. U ovom radu prikazan je samo deo blok-dijagrama (slike 8 i 9).

Rešenje problema primenom višekriterijumske analize

U poslednjoj fazi procesa javne nabavke komisija se susreće sa problemom izbora najpovoljnijeg ponuđača, tj. onog

čija ponuda u najvećoj meri ispunjava zahteve i uslove koji su navedeni u konkursnoj dokumentaciji. Mora se doneti odluka uz uvažavanje više različitih, a često i protivrečnih kriterijuma. Problem je trivijalan ako je konkurisao mali broj ponuđača, ili ako neveliki broj ponuda ispunjava sve zahteve i uslove iz konkursne dokumentacije. Međutim, realne situacije su obično složenije. Najčešće postoji veći broj ponuđača čije ponude zadovoljavaju postavljene zahteve, pa se postavlja pitanje kako iz skupa približno jednako dobrih ponuđača odabrati najboljeg, uz uvažavanje definisanih kriterijuma. Problem se dalje komplikuje činjenicom da nisu svi kriterijumi iste važnosti, niti im se dodeljuju iste vrednosti pondera, kao i čest slučaj kada vrednosti kriterijuma nisu kvantitativne, već su izražene kvalitativno. Takođe, i mišljenja svih članova komisije nemaju istu težinu i značaj.

Opisani problemi sa kojima se susreće komisija predstavljaju tipičan zadatak višekriterijumske analize i rangiranja, sa sledećim karakteristikama:

- veći broj varijanti za odlučivanje – ponuđača,
- veći broj kriterijuma po kojima se donosi odluka,
- postojanje konflikta kriterijumima,
- nejednaka važnost kriterijuma,
- neuporedivost jedinica mere – vrednosti kriterijuma izražene su u različitim jedinicama mere,
- kvalitativne vrednosti kriterijuma – vrednosti pojedinih kriterijuma mogu se izraziti samo opisno.

Za rešavanje ovakvih i sličnih problema razvijen je niz metoda koje pripa-

daju oblasti višekriterijumske analize i rangiranja – VišeAtributnom Odlučivanju (VAO).

Metoda VAO omogućava da se iz skupa ponuđenih izabere najprihvatljivija varijanta a^* , a na osnovu definisanih kriterijuma. U modelima VAO kriterijumi su zadati atributima. Postoji konačan broj unapred zadatih varijanti za izbor, pri čemu ne postoje eksplicitno definisana ograničenja, već su ona uključena u attribute.

Model VAO odgovara loše struktuiranim problemima i ima sledeću opštu postavku:

$$(\max)\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x), \quad n \geq 2\}$$

uz ograničenja:

$$x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$$

gde je:

n – broj kriterijuma (atributa), $j = 1, 2, \dots, n$,

m – varijante (akcije), $i = 1, 2, \dots, m$,

f_j – kriterijumi (atributi), $j = 1, 2, \dots, n$,

a_i – varijante (akcije) za razmatranje, $i = 1, 2, \dots, m$,

A – skup svih varijanti.

Pri tome su poznate i vrednosti f_{ij} svakog razmatranog kriterijuma f_j , dobijene sa svakom od mogućih varijanti

$$a_i: f_{ij} = f_j(a_i), (i, j).$$

Model VAO se na ustaljeni način prikazuje preko matrice, koja se naziva matricom odlučivanja:

VAO je oblast koja se ubrzano razvijala u poslednjih dvadeset godina. Kao odgovor na rastuću kompleksnost realnog sveta razvijani su različiti modaliteti kretanja kroz realne probleme čija su glavna obeležja kompleksnost, dinamič-

Tabela 1

Matrica odlučivanja

j i		Kriterijumi				
		f_1	...	f_j	...	f_n
Varijante	A_1	f_{11}		f_{1j}		f_{1n}
	...					
	A_i	f_{i1}		f_{ij}		f_{in}
	...					
	A_m	f_{m1}		f_{mj}		f_{mn}
W_j		W_1		W_j		W_n
+/-						

nost i višeznačnost. Razvijeno je više metoda za rešavanje problema VAO (posebno višekriterijumskog rangiranja), među kojima se posebno mogu izdvojiti: ELECTRE, VIKOR, AHP, PROMETHEE i dr.

IZBOR METODE ZA REŠAVANJE PROBLEMA

Pri rešavanju realnog problema, pored definisanja relevantnih kriterijuma, postavlja se pitanje izbora odgovarajućeg metoda. U savremenoj literaturi apostrofirana su dva kriterijuma kao posebno značajna sa aspekta korisnika-donosioca odluke, u izboru višekriterijumskog metoda, a to su lakoća korišćenja i razumljivost.

Izbor najboljeg višekriterijumskog metoda u potpunosti je determinisan karakteristikama samog problema, nivoom kompleksnosti kao i iskustvom korisnika.

Kada su evidentirane sve varijante, bira se metod dovoljno reprezentativan, obuhvatan i kompleksan da vrši vrednovanje, selekciju i izdvajanje najboljeg ili traženog broja varijanti.

Uzimajući u obzir karakteristike problema izbora ponuđača u procesu jav-

ne nabavke, iz skupa navedenih metoda izdvaja se metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesata (AHP), kao osnovna metoda za rangiranje ponuđača. Kao metoda za eventualnu kontrolu izvršenog rangiranja predlaže se familija metoda PROMETHEE I–II.

KARAKTERISTIKE MODELA VIŠEATRIBUTNOG ODLUČIVANJA (VAO)

Za modele VAO, nezavisno od metode koja se koristi za rešavanje problema, značajni su sledeći aspekti:

- kvantifikacija kvalitativnih atributa,
- modifikacija atributa istog kriterijuma,
- normalizacija i linearizacija atributa,
- definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma.

Kvantifikacija kvalitativnih atributa

U realnim problemima koji se rešavaju metodama višekriterijumskog rangiranja, priroda kriterijuma je često takva da kriterijumske vrednosti varijanti nije moguće izraziti brojnim vrednostima, već se one izražavaju opisno. Rešavanje modela VAO u opštem slučaju zahteva korišćenje kvantitativnih brojnih podataka, tako da ih je, u slučajevima kada postoje kvalitativni (opisni) podaci, potrebno pretvoriti u brojne podatke. U tu svrhu razvijeno je i u praksi se primenjuje više metoda, kao što su linearna skala za kvantifikaciju kvalitativnih atributa i ekspertsko ocenjivanje.

Kvantifikacija atributa koji imaju kvalitativna obeležja, primenom linearne



Sl. 1 – Linearna skala kvantifikacije

skale transformacija, vrši se jednostavnim utvrđivanjem brojne vrednosti atributa u skladu sa prethodno definisanom skalom brojnih vrednosti (slika 1).

Ekspertske ocene su subjektivne ocene vrednosti pojedinih kriterijuma koje daju eksperti (članovi komisije), zasnovane na stručnosti i iskustvu u datoj oblasti, a daju se u nekom rasponu ocena, na osnovu kojih se formira jedinstvena grupna ocena.

Normalizacija i linearizacija atributa

Normalizacija i linearizacija kriterijumskih vrednosti varijanti vrši se radi upoređivanja kriterijuma različitih vrednosti i različitih jedinica mere. Osnovni smisao ove transformacije atributa jeste eliminisanje jedinica mere i svodenje kriterijumskih vrednosti na bezdimenzionalne vrednosti. Uobičajeno je da se u nekom od koraka metode VAO koristi neki od postupaka vektorske normalizacije ili linearne skale transformacije.

Vektorska normalizacija:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2}}, \text{ za } \max f_j,$$

$$r_{ij} = 1 - \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2}},$$

za prevođenje $\min f_j$ u $\max f_j$

Linearna skala transformacija:

$$l_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, \text{ za } \max f_j,$$

$$l_{ij} = 1 - \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, \text{ ili } l_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_j^{\min}}$$

za $\min f_j \Rightarrow \max f_j$

ili

$$l_{ij} = \frac{f_{ij} - f_j^{\min}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, \text{ za } \max f_j,$$

$$l_{ij} = \frac{f_j^{\max} - f_{ij}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, \text{ za } \min f_j \Rightarrow \max f_j$$

gde su:

$$f_j^{\max} = \max(f_{ij}, i=1,2,\dots,m);$$

$$f_j^{\min} = \min(f_{ij}, i=1,2,\dots,m).$$

Definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma – pondera

Određivanje relativnih težina kriterijuma u modelima višekriterijumskog odlučivanja uvek predstavlja specifičan problem koji je neminovno praćen subjektivnostima. Ovaj postupak veoma je značajan i ima bitan uticaj na krajnji rezultat odlučivanja. Realni problemi najčešće nemaju kriterijume istog stepena značajnosti, zbog čega je potrebno definisati faktore značajnosti pojedinih kriterijuma koristeći odgovarajuće težinske koeficijente (težine) ili tzv. pondere za kriterijume. Ako njihov zbir iznosi 1 to su normalizovane težine. Problemu određivanja težina kriterijuma mora se posvetiti posebna pažnja. Pretpostavlja se da

komisiju čini grupa eksperata koja radi na pripremi dokumentacije i na pripremi odluke, pa je problem određivanja težina kriterijuma moguće rešiti primenom metoda ekspertskeg ocenjivanja.

KARAKTERISTIKE IZABRANIH METODA V A O

Metoda analitičkih hijerarhijskih procesa – AHP

Analitički Hijerarhijski Proces (AHP), koji je razvio Tomas Saaty početkom sedamdesetih godina dvadesetog veka, predstavlja alat u analizi odlučivanja, kreiran da pruži pomoć donosiocima odluke u rešavanju kompleksnih problema odlučivanja u kojima učestvuje veći broj donosilaca odluke, veći broj kriterijuma i u višestrukim vremenskim periodima. Razvijen je originalan softver iz klase sistema za podršku odlučivanju Expert Choice. Metoda AHP provodi se kroz četiri faze.

1. *Strukturiranje problema* sastoji se od dekomponovanja bilo kog složenog problema odlučivanja u seriju nivoa, pri čemu svaki nivo predstavlja manji broj upravljanih atributa.

2. *Prikupljanjem podataka* i njihovim merenjem otpočinje druga faza metode AHP. Donosilac odluke dodeljuje relativne ocene u parovima atributa, jednog hijerarhijskog nivoa i to za sve nivoe celokupne hijerarhije. Pri tome se koristi (do sada najpoznatija) skala devet tačaka. Završetkom ovog procesa dobija se odgovarajuća matrica upoređivanja po parovima koji odgovaraju svakom nivou hijerarhije.

3. *Procena relativnih težina* je treća faza metode AHP. Matrica poređenja, po parovima, prevodi se u probleme određivanja sopstvenih vrednosti, radi dobijanja normalizovanih i jedinstvenih sopstvenih vektora, težina za sve attribute na svakom nivou hijerarhije.

4. *Određivanje rešenja problema* podrazumeva nalaženje tzv. kompozitnog normalizovanog vektora. Pošto se odredi vektor redosleda vrednosti kriterijuma u modelu, određuje se, u okviru svakog posmatranog kriterijuma, redosled važnosti varijanata u modelu. Na kraju, izvodi se sveukupna sinteza problema, tako što se učešće svake varijante množi sa težinom posmatranog kriterijuma, a zatim se te vrednosti sabere za svaku varijantu posebno. Dobijeni podatak predstavlja težinu posmatrane varijante u modelu. Na osnovu dobijenih podataka za težine svih varijanata određuje se njihov poredak.

Pored opisanog osnovnog postupka metode AHP postoji i varijanta provođenja metode sa unapred definisanim kvantitativnim kriterijumskim vrednostima varijanti i definisanim vrednostima pondera.

U slučaju izbora ponuđača u procesu javne nabavke postoje kvantitativne vrednosti kriterijumskih vrednosti varijanti (to su vrednosti kriterijuma sadržani u ponudama) i definisane vrednosti pondera kriterijuma, pa se može primeniti varijanta metode AHP sa matricom odlučivanja sa kvantifikovanim vrednostima kriterijuma. Procedura ove varijante AHP je određena na sledeći način:

1. *Strukturiranje problema* i formiranje stabla potpuno su isti kao i u osnovnoj varijanti metode.

2. Za svaki kriterijum računa se normalizovana vrednost njegovog pondera:

$$w_j = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

3. Za svaki kriterijum posebno računa se zbir kriterijumskih vrednosti varijanti a_{ij} :

$$s_j = \sum_{i=1}^m a_{ij},$$

a zatim se elementi matrice a_{ij} transformišu u elemente

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}, \quad (j = 1, \dots, n)$$

koji predstavljaju učešće svake varijante u okviru posmatranog kriterijuma.

Za kriterijume za koje se određuje minimalna vrednost sabiraju se recipročne vrednosti kriterijumskih vrednosti varijanti.

4. Sveukupna sinteza problema izvodi se tako što se učešće svake varijante množi sa težinom posmatranog kriterijuma, a zatim se te vrednosti sabiru za svaku varijantu posebno. Dobijeni podatak predstavlja težinu posmatrane varijante u modelu. Na osnovu dobijenih podataka za težine svih varijanata određuje se njihov poredak.

Skup metoda PROMETHEE I–III

Skup metoda PROMETHEE – Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluation, razvio je J. P.

Brans sa svojim saradnicima 1984. godine i one se neprestano usavršavaju. Metode su namenjene za rangiranje elemenata nekog skupa pri višekriterijumskom odlučivanju.

Metoda PROMETHEE I daje parcijalni poredak elemenata ili varijanata, PROMETHEE II određuje potpuni poredak, a metoda PROMETHEE III daje intervalni poredak elemenata. Familija metode PROMETHEE zasnovana je na uopštavanju pojma kriterijuma sa šest tipova generalizovanih kriterijumskih funkcija, i na osnovu njih definisanim matematičkim relacijama za rangiranje. Metoda omogućava i uvođenje težina za pojedine kriterijume. Postupak provođenja metode sastoji se od sledećih koraka:

1) Formiranje početne matrice – početne matrice za VAO.

2) Izbor tipa generalizovane kriterijumske funkcije u skladu sa definisanim tipovima generalizovanih kriterijumskih funkcija.

3) Određivanje višekriterijumskog indeksa preferentnosti na osnovu vrednosti jednokriterijumskih indeksa preferentnosti dobijenih u zavisnosti od tipa generalizovane kriterijumske funkcije.

4) Definisanje relacija rangiranja u zavisnosti od tipa metode i rangiranja varijanti.

Arhitektura informacionog podsistema za javne nabavke

Postavljanjem arhitekture određenog Informacionog PodSistema (IPS) gradi se i podloga za koordinirani razvoj aplikacija i baze podataka, a u skladu sa potrebama neposrednih korisnika i raspoloživim resursima. Dizajniranje arhitekture informacionog podsistema za JN ba-

zira se na Modelu podataka i Modelu funkcija. Informacioni podsistem JN sadrži module i procese čiji je opseg definisan grupama poslovnih funkcija.

Definisanje baze matičnih kataloga obuhvata:

- organizacione jedinice (delovi NIS-a kao i niži nivoi),
- poslovne partnere (ponuđače),
- ugovore,
- izveštavanje iz matičnih kataloga:
 - interaktivno,
 - batch.

Definisanje baze kriterijuma odlučivanja čine:

- opšti kriterijumi,
- potkriterijumi nižih nivoa,
- izveštavanje po osnovu kriterijuma:
 - interaktivno,
 - batch.

U fazi pripreme konkursne dokumentacije tenderska komisija definiše

kriterijume za ocenu prispelih ponuda, a u skladu sa karakteristikama predmeta javne nabavke.

Na slici 2 dat je primer razloženog kriterijuma sa prvog nivoa.

Obrada kriterijuma obuhvata:

- evidentiranje kriterijuma za konkretnu nabavku,
- određivanje težina izabranih kriterijuma,
- normalizaciju kriterijuma,
- zaključivanje kriterijuma.

Saglasno ZJN u fazi pripreme tenderske dokumentacije dodeljuju se i vrednosti pondera kriterijuma, odnosno određuje se relativna važnost svakog kriterijuma. Procedure višekriterijumskog rangiranja uslovljavaju normalizaciju kriterijuma (o čemu je bilo više reči u poglavlju Normalizacija i linearizacija atributa). Na slici 3 dat je primer normalizovanih vrednosti pondera kriterijuma.

UNOS KRITERIJUMA

[Uputstvo](#)

Nivoi		(1) Prvi nivo	(2) Drugi nivo	(3)	(4)	(5)
ID_0	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2	
1	Kvalitet opreme	Max	0	0	0	
ID_1	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2	
* 1	Kvalitet servera	Max	0	0	0	
* 2	Kvalitet radnih stanica	Max	0	0	0	
ID_2	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2	
1	Maticna ploca	Max	0	0	0	
2	Procesor	Max	0	0	0	
3	Memorija	Max	0	0	0	
4	Hard disk	Max	0	0	0	
5	Graficka kartica	Max	0	0	0	
6	Modem	Max	0	0	0	
7	CD/DVD	Max	0	0	0	
*	0		0	0	0	
* 3	Kvalitet monitora	Max	0	0	0	
* 4	Kvalitet stampaca	Max	0	0	0	
* 5	Kvalitet ostale opreme	Max	0	0	0	
*	0		0	0	0	

Record: 7 of 7

Stampa Kriterijuma za konkursnu dokumentaciju

Normalizacija

Sl. 2 – Primer razloženog kriterijuma sa prvog nivoa

UNOS KRITERIJUMA

[Uputstvo](#)

Prvi nivo (1) Drugi nivo (2)

ID_0	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2
1	Kvalitet opreme	Max	25	0,25	0
ID_1	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2
1	Kvalitet servera	Max	22	0,22	0,055
2	Kvalitet radnih stanica	Max	22	0,22	0,055
ID_2	Naziv	Tip	Ponder	Norm1	Norm2
1	Maticna ploca	Max	20	0,2	0,011
2	Procesor	Max	20	0,2	0,011
3	Memorija	Max	20	0,2	0,011
4	Hard disk	Max	7,5	0,075	0,004125
5	Graficka kartica	Max	15	0,15	0,00825
6	Modem	Max	7,5	0,075	0,004125
7	CD/DVD	Max	10	0,1	0,0055
0			0	0	0
3	Kvalitet monitora	Max	22	0,22	0,055
4	Kvalitet stampaca	Max	17	0,17	0,0425
5	Kvalitet ostale opreme	Max	17	0,17	0,0425
0			0	0	0

Record: 1 of 7

Stampa Kriterijuma za konkursnu dokumentaciju

Normalizacija

Sl. 3 – Primer normalizovanih vrednosti pondera kriterijuma

VERIFIKACIJA PONUDA

[Uputstvo](#)

Sifra ponude: P1 Datum Prijema: 12.7.2003

Naziv: MBSOft

Ulica: Hilendarska

Broj: 2

Mesto: Beograd

Drzava: SCG

Tel. Fiksni: 011/3254672 Tel. Mob: 063/546324

Fax: 011/3254672 e-mail: mbssoft@eunet.yu

☒ Status Blagovremenosti ☒ Status Ispravnosti ☒ Status Prihvatljivosti

Sl. 4 – Primer verifikacije ponuda

Obrada ponuda obuhvata:

- interaktivno evidentiranje ponuda,
- interaktivno pretraživanje ponuda,
- verifikaciju ponuda,
- zaključivanje ponuda.

U drugoj fazi rada komisije prispеле ponude se otvaraju i evidentiraju u bazi podataka, nakon čega se vrši njihova verifikacija. Na slici 4 dat je primer verifikacije ponuda.

Izbor najpovoljnijeg ponuđača obuhvata:

- određivanje kriterijumskih vrednosti,

- VKR – poredak ponuđača,
- grafički prikaz poretka ponuđača,
- štampu poretka ponuđača,
- štampu međurezultata po pojedinačnim kriterijumima.

U sledećoj fazi obrade JN vrši se unos vrednosti kriterijuma za svaku ponudu pojedinačno, pri čemu se koristi i skala za kvantifikaciju. Na slici 5 dat je primer forme za unos vrednosti kriterijuma.

Nakon unosa vrednosti kriterijuma za sve verifikovane ponude realizuje se opcija višekriterijumskog rangiranja, ko-

Sl. 5 – Forma za unos vrednosti kriterijuma

ja rezultira tabelarnim poretkom ponuđača, kao i grafičkim prikazom.

Na slikama 6 i 7 prezentiran je tabelarni i grafički prikaz ponuđača respektivno.

Kontrola rezultata višekriterijumskog rangiranja ponuđača realizovana je, za sada, u DOS okruženju, pri čemu je primenjen skup naučnih, u praksi verifikovanih metoda PROMETHEE I–III.

Javne nabavke (JN) obuhvataju:

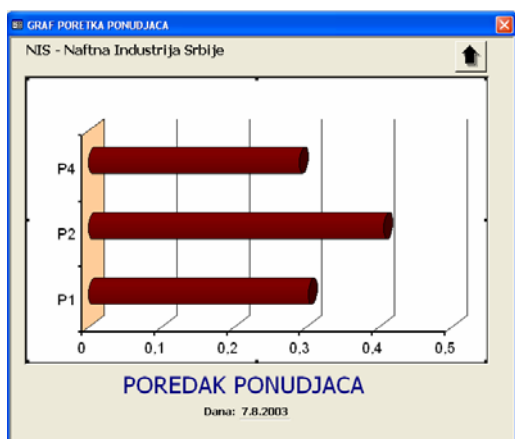
- evidentiranje podataka o JN,
- izveštavanje po osnovu JN:
 - interaktivno,
 - batch.

Arhiviranje podataka o JN obavlja se u bazi podataka, i na osnovu njih vrši se odgovarajuće izveštavanje koje je: za-



Sifra Ponude	Ukupno
0,406718894641	
P1 0,302748294858	
P4 0,290532810501	

Sl. 6 – Tabelarni poredak ponuđača



Sl. 7 – Grafički prikaz ponuđača

konom propisano, operativno i obuhvatno izveštavanje posloводства.

Zakon o JN obavezuje arhiviranje podataka.

Operativno izveštavanje obuhvata:

- zakonom propisani obrazac A za podnošenje podataka o JN,
- zakonom propisani obrazac B za podnošenje podataka o JNMV (Javne Nabavke Male Vrednosti),
- specifikacije ponuda,
- specifikaciju JN po: vrsti postupka, vrsti predmeta, predmetima, ponuđačima, datumu i sl.

Izveštavanje posloводства specifičira se iz operativnih izveštaja ili se definišu novi izveštaji shodno zahtevima.

Priprema i izrada konkursne dokumentacije, prema planu, treba da se koliko to bude moguće, tipizuje i automatski priprema.

Ona obuhvata:

- javni poziv za oglašavanje u „Službenom glasniku RS“ i dnevnom listu,
- uputstvo ponuđačima i obrazac ponude,
- uputstvo i obrazac za kvalifikaciju,
- obrazac izjave o prihvatanju uslova iz javnog poziva i konkursne dokumentacije,
- opšte uslove ili model ugovora,
- obrazac sa elementima profakture,
- obrazac garancije za ponudu,
- obrazac garancije za dobro izvršenje posla,
- tehničku dokumentaciju.

Budući da se očekuju zakonske izmene, aktivnosti u vezi s automatizacijom pripreme konkursne dokumentacije odložene su za kasnije.

Model podataka informacionog sistema

Osobine modela

Pri kreiranju modela podataka koji se odnosi na poslove JN u NIS-u rukovodilo se osnovnim načelima izrade integralnog modela podataka jednog informacionog sistema, a to su:

- sveobuhvatnost – model podataka sadrži sve bitne podatke neophodne za uspešno odvijanje poslovnih procesa;
- jednoznačnost – svaki podatak u sistemu se obuhvata samo jedanput;
- verodostojnost – radi izbegavanja mogućih grešaka i drugih nedostataka intencija je da se podaci obuhvataju, po mogućnosti, na mestu njihovog nastanka;
- nezavisnost – model podataka je nezavisan od postojeće organizacione strukture poslovnog sistema i odražava realnost samog poslovanja;
- fleksibilnost – model se gradi na bazi snimljenog postojećeg stanja, ali omogućava prilagođavanja i dopune koje proisteknu iz eventualnih izmena ili proširenja funkcija poslovanja;
- efikasnost – sadržaj modela podataka pruža dovoljno informacija da se iz njega mogu relativno brzo i lako dizajnirati baze podataka, odnosno entiteti i pripadajući atributi;
- model je nezavisan i od hardvera i softvera, kao i načina na koji će biti realizovana baza podataka.

Opseg modeliranja

Modeliranjem je obuhvaćeno kompletno poslovanje vezano za JN, iako će se realizacija automatizacije odvijati po segmentima. Logički model podataka za projekat JN rađen je korišćenjem CASE

alata ERwin (programski paket ERwin je proizvod U. S. firme PLATINUM technology). ERwin podržava IDEF1X i IE (Information Engineering) metode, a podaci modelirani ovim metodama lako su preinačivi u relacioni model podataka na kome se zasnivaju relacione baze podataka. Pomoćnim alatima, u okviru CASE alata, moguće je pregledati i štampati različite delove ERM dijagrama, a što je od posebnog značaja za deo tima za realizaciju projekta.

Opšti nivo modela sadrži:

- dijagram entiteta i veza (The Entity Relationship Diagram – ERD), tj. pregled entiteta i njihovih veza;
- relacioni model (The Key Based model – KB) koji obuhvata skup informacija o entitetima iz modela sa postavljenim ključevima.

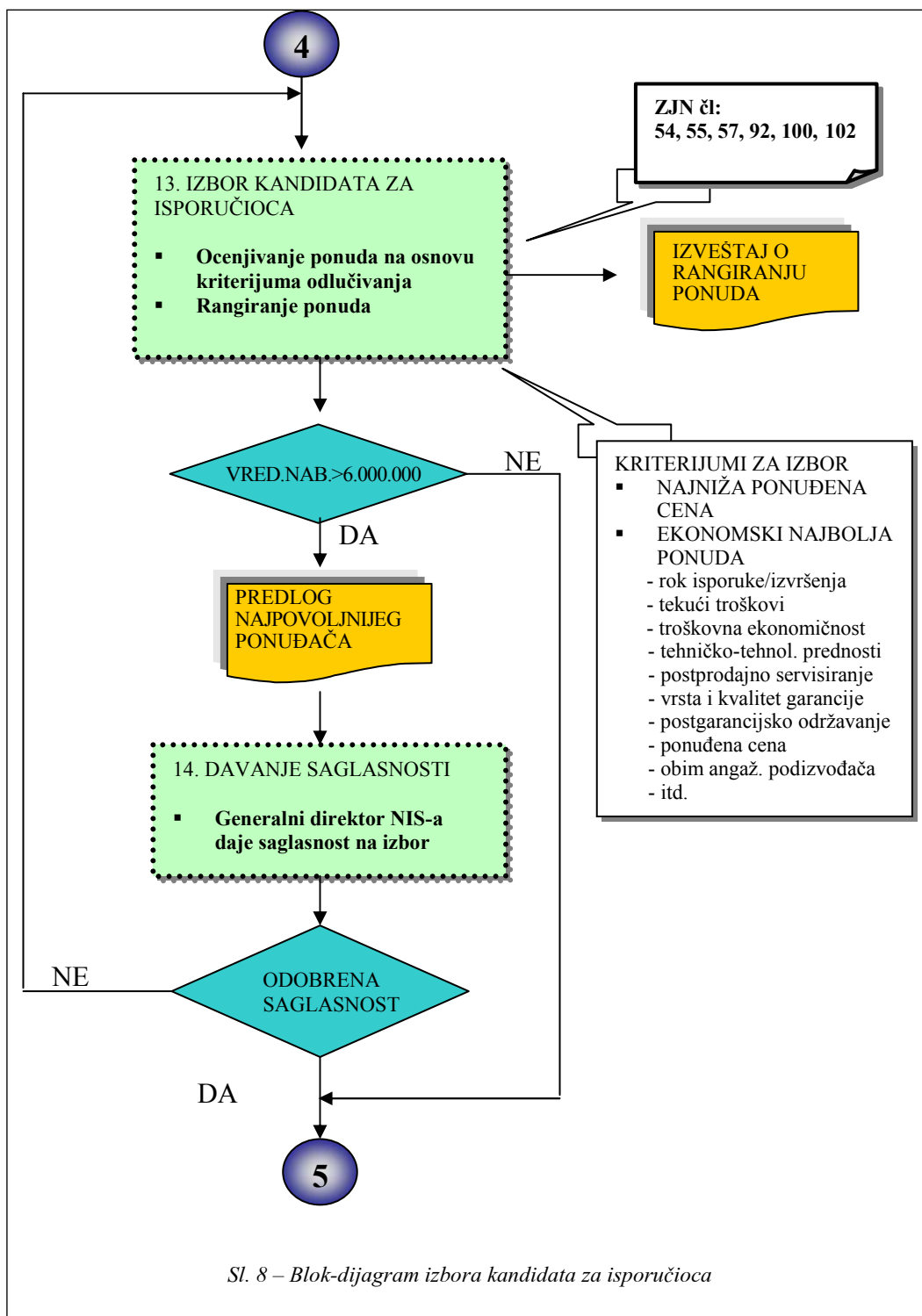
Niži nivo modela sadrži:

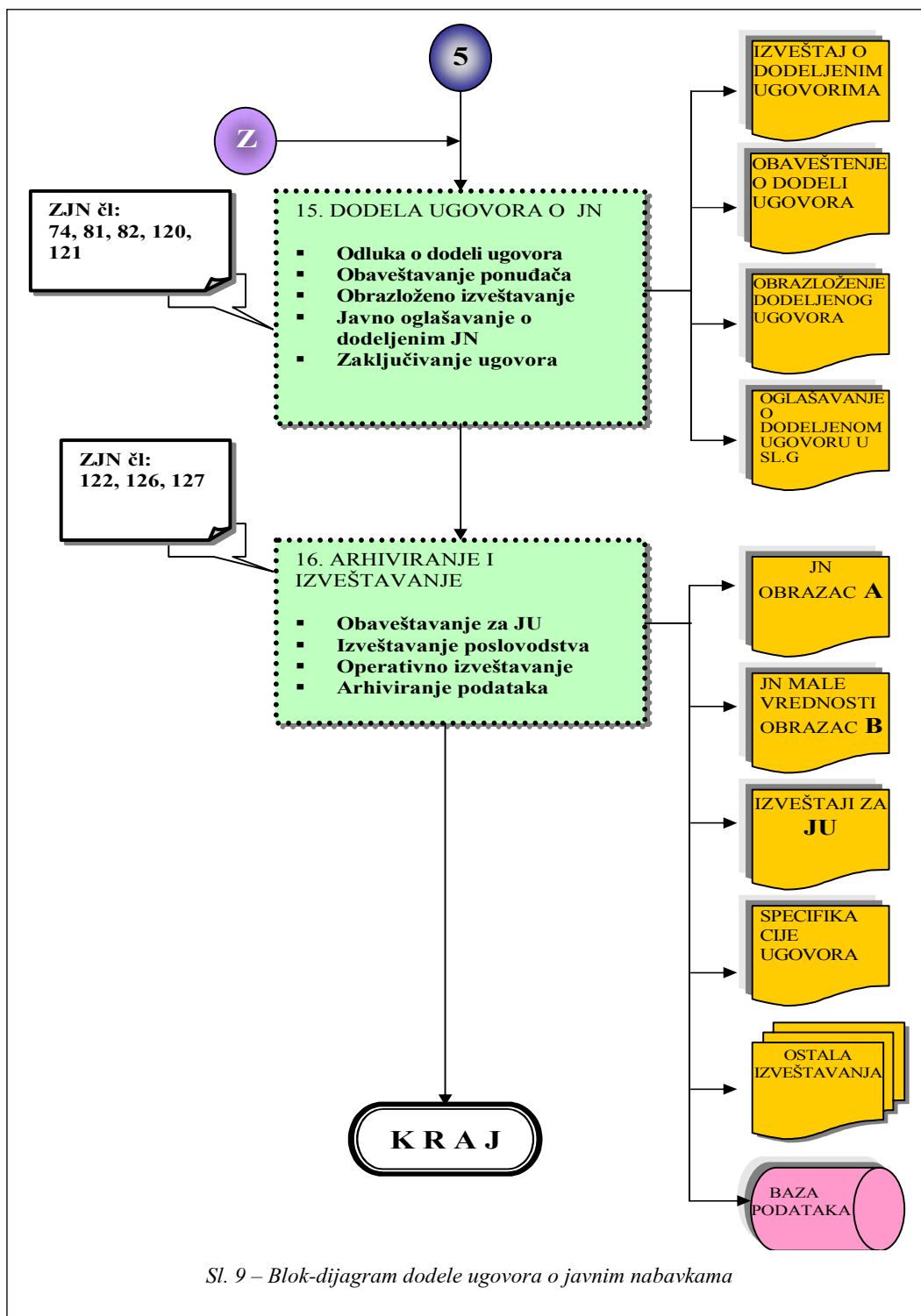
- detaljni model atributa (The Fully Attributed model – FA) sa opisima podataka;
- transformacioni model (The Transformation Model – TM).

Ovakav način organizacije podataka omogućava automatsko, efikasno i brzo izveštavanje o entitetima, atributima i relacijama na svim nivoima.

Budući da NIS, kao i svi njegovi organizacioni delovi, imaju automatsku obradu, to su matični katalozi već definisani, pa se neće, ovom prilikom, detaljnije razmatrati. To su, pre svega: katalog korisnika projekta, katalog organizacionih jedinica, katalog poslovnih partnera i katalog ugovora.

Ostali najkarakterističniji entiteti iz domena javnih nabavki odnose se na: kriterijume odlučivanja, status tendera, ponude i javne nabavke.





Realizacija izvodačkog projekta

Logički model podsistema JN, definisan glavnim projektom, čini osnovu realizacije konceptualnog modela JN u informatički model, a koji daje podršku poslovnim procesima praćenja JN u NIS-u.

Budući da su JN, zbog sistema zaštite informacija, relativno zatvoren sistem, to je realizacija urađena na PC, odnosno Client-Server platformi. Aplikacije su objektno orijentisane sa Access 2002 bazom podataka.

Izvođački projekat odvijao se kroz sledeće faze:

1) Fizički dizajn. Osnovni zadatak ove faze je analiza mogućih pristupa u realizaciji logičkog dizajna, a obuhvata i aktivnosti:

- integraciju logičkog modela sa modelom mreže, hardverom i softverom,
- topologiju izvršavanja (lokacija programa i procedura),
- konfiguraciju i način rada komunikacione mreže, kao i procenu izvodljivosti transakcija,
- help-desk koordinaciju,
- back-up i recovery proceduru, zaštite i sl.
- standarde (razvoj i okruženje).

2) Implementacija fizičkog dizajna obuhvata razvoj programa i procedura na razvojnom okruženju.

3) Testiranje se poklapa sa fazom razvoja softvera i odigrava se na testnom okruženju, čija je konfiguracija približna ciljnoj, tj. produkcionoj.

4) Obuka korisnika. Tim za realizaciju projekta treba da izvrši obuku određenog broja kadrova, koji će činiti bazu instruktorskog kadra za dalju obuku članova tenderskih komisija. Ova faza obuhvata, takođe, i izradu odgovarajućih korisničkih uputstava za rad sa Projektom JN.

5) Uvođenje podsistema. Ova faza obuhvata aktivnosti uvođenja projekta na selektovanim lokacijama, obuku odgovarajućeg kadra, produkciono testiranje, kao i definitivnu predaju projekta sa pripadajućim uputstvima i drugom dokumentacijom.

Projekat je u najvećem delu realizovan i već se primenjuje u praksi, a predstoji kompletiranje izveštajnog modula, kao i zvanična primopredaja korisniku.

Zaključak

Savremene računarske tehnike i tehnologije omogućavaju automatizaciju aktivnosti i procesa koji se odnose na javne nabavke, uz primenu naučno zasnovanih metoda višekriterijumske analize i odlučivanja. Dosledna primena pomenute tehnologije treba da omogući jednostavniji, efikasniji i objektivniji rad tenderske komisije, kao i koordinaciju i sinhronizaciju delovanja svih njenih članova.

Značaj je utoliko veći što je automatizovana relativno nova oblast privredne aktivnosti, pri čemu su primenjene najnovije, naučno zasnovane i u praksi proverene metode višekriterijumske optimizacije.

Projekat je razvijen tako da se može primeniti u različitim slučajevima nabavke dobara, usluga i radova, a ne samo u javnim preduzećima.

Literatura:

- ^{a1}° Nikolić I.; Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija, Beograd, 1996.
- ^{a2}° Borović, S.; i Đukić, R.: Priprema odluke u nabavci tehničkih sredstava primenom familije metoda PROMETHEE, Beograd, 1988.
- ^{a3}° Brans, J. P.: A Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis, Operational Research '84, North Holland, 1984.
- ^{a4}° Automatizacija JN u NIS-u, Projektni tim, 2003.

Dr Miladin Nikolić,
dipl. inž.
Sc Miroslav Stojanović,
pukovnik, dipl. inž.

KVANTIFIKACIJA OSNOVNIH KRITERIJUMA LOGISTIKE

UDC: 355.41 : 519.863

Rezime:

U radu su analizirani, definisani i kvantifikovani efektivnost i efikasnost, kao osnovni operativni kriterijumi, i troškovi, kao ekonomski kriterijum, koji služe za ocenjivanje funkcionisanja sistema uopšte i posebno sistema logistike, na osnovu kojih se može definisati niz drugih kriterijuma. Analizirani su i parametri koji utiču na ove kriterijume, kao i njihov matematički model, prilagođen za praktičnu primenu. Ukazano je na mogućnosti i ograničenja u primeni ovih kriterijuma kod organizacionih, tehničkih i bioloških sistema, kao i na mogućnosti optimizacije u izgradnji i funkcionisanju pojedinih sistema.

Ključne reči: logistika, kriterijum, efektivnost, efikasnost, troškovi, optimizacija.

QUANTIFICATION OF THE BASIC LOGISTICS CRITERIA

Summary:

Effectiveness and efficiency, as basic operational criteria, and costs, as basic economic criteria, are analysed, defined and quantified. These criteria are used for assessing any system functioning, logistics system in particular, as well as for defining other criteria. The parameters influencing these criteria are analysed as well as their mathematical model, adapted for practical implementation. Possibilities and limitations while applying these criteria in organizational, technical and biological systems have been pointed out. Possible optimizations in particular systems design and functioning have been stressed as well.

Key words: logistics, criterion, effectiveness, efficiency, costs, optimization.

Uvod

Kriterijumi u opštem smislu, a time i kriterijumi logistike, predstavljaju meru ili merila pomoću kojih se na kvantitativan ili kvalitativan način izražava stepen (nivo) osposobljenosti određenog sistema (tehničkog, biološkog, organizacionog i dr.) za izvršavanje (realizaciju) definisanih zadataka, u skladu sa postavljenim (usvojenim) ciljevima. Pri tome se, zavisno od karakteristika posmatranog siste-

ma, može odrediti jedan ili (najčešće) više kriterijuma, pri čemu se teži da se kriterijumima definiše, pre svega, dobijanje kvantitativne ocene funkcionisanja (osposobljenosti) sistema.

Između ciljeva, zadataka i kriterijuma (pokazatelja funkcionisanja) posmatranog sistema postoji uzročno-posledična veza. Ciljevi sistema definišu se na osnovu opšteg (višeg) interesa. Operacionalizacija njihovog dostizanja ostvaruje se preko zadataka sistema, a vrednovanje

rezultata funkcionisanja sistema vrši se pomoću kriterijuma sistema. Zavisno od postignutih rezultata, preko „signala povratne veze (sprege)“ aktiviraju se odgovarajuće akcije koje sugerišu da u sistemu ništa ne treba menjati ili da se preispitaju i eventualno redefinišu ciljevi i/ili zadaci. U složenim organizacionim sistemima, ciljevi sistema se raščlanjuju na potciljeve, koji takođe mogu imati svoje potciljeve za koje se definišu odgovarajući zadaci, i tako redom sve dok se ne dođe do elementarnih ciljeva i zadataka (ciljevi i zadaci koji se odnose na osnovne – elementarne organizaciono-tehnološke strukture). Na blok-šemi „drвета ciljeva i zadataka“ posmatranog sistema, kvadratima ili pravougaonicima prikazuju se ciljevi, a strelicama, koje spajaju više sa nižim ciljevima, označavaju se zadaci, čijom se realizacijom ostvaruju dati ciljevi. Ispod ciljeva najnižeg nivoa prikazuju se parametri i kriterijumi sistema.

Strogo posmatrano, moglo bi se reći da se pod kriterijumom sistema posmatra takva kvalitativna ili kvantitativna (numerička – brojna) karakteristika koja određuje stepen (nivo) osposobljenosti posmatranog sistema za izvršenje (realizaciju) određenog pred njim postavljenog zadatka, uz korišćenje (utrošak) određenih resursa. Pošto numeričke vrednosti kriterijuma predstavljaju realne brojeve, može se govoriti o preslikavanju skupa procesa funkcionisanja sistema na skup realnih brojeva unutar intervala vrednosti kriterijuma. Na taj način svaki definisani kriterijum može se smatrati zadatom funkcijom na skupu procesa funkcionisanja posmatranog sistema.

Opšta ocena funkcionisanja sistema može se dobiti pomoću dve grupe gene-

ralizovanih kriterijuma – operativnih i ekonomskih. Pomoću operativnih kriterijuma (kriterijuma operativnosti) ceni se nivo (stepen) osposobljenosti sistema za realizaciju zadataka, odnosno nivo realizacije zadataka, a pomoću ekonomskih kriterijuma (kriterijuma ekonomičnosti) dobija se odgovor na pitanje po kojoj se ceni (troškovima ili utrošku resursa) realizuju usvojeni (postavljeni) zadaci.

Kvantitativni izrazi generalizovanih kriterijuma ocene funkcionisanja sistema treba da zadovolje sledeće zahteve:

- da numerički i na najopštiji način karakterišu stepen (nivo) realizacije zadatka;
- da su jednostavni za izvođenje proračuna (za primenu i dobijanje vrednosti kriterijuma);
- da ih karakteriše mogućnost normiranja, tj. da imaju malu disperziju.

Operativni kriterijumi

U svojstvu operativnih kriterijuma, za ocenu funkcionisanja logističkih sistema koriste se kriterijumi efektivnosti¹ i kriterijumi efikasnosti², kao i niz drugih kriterijuma izvedenih iz ova dva osnovna.

Efektivnost sistema odnosi se na domen strateškog (strateškog) planiranja, koje je usmereno na utvrđivanje razvoja logističkog sistema, dok je efikasnost sistema vezana za domen operativnog pla-

¹ Efektivnost (lat. effectivus) označava učinak, uspešnost, korist, a usmerena je na strateško planiranje, realizaciju ciljeva razvoja sistema i ostvarivanje kvaliteta proizvoda ili usluga koje tržište zahteva, odnosno prihvata.

² Efikasnost (lat. efficacitus) označava uspešnost sistema i odnosi se na operativne zadatke u toku funkcionisanja (eksploatacije) sistema. Sadrži pojmove, odnosno principe racionalnosti, ekonomičnosti i rentabilnosti. Može se posmatrati na različite načine, ali je zajednički da se pod efikasnošću podrazumeva sposobnost da se ostvare postavljeni ciljevi ili zadaci sa datim resursima.

niranja, koje je orijentisano na planiranje realizacije operativnih – tekućih zadataka.

Ako se za efektivnost može reći da je funkcija kvaliteta proizvoda ili usluga, onda je efikasnost funkcija organizacije u kojoj se efektivnost realizuje. Zbog toga, malo je koristi ako je određena organizacija efikasna ukoliko ne daje adekvatne rezultate, to jest nema smisla da organizacija bude efikasna ukoliko je odabran pogrešan cilj. Znači da efektivnost predstavlja osnovu za postizanje uspeha, a efikasnost minimalan uslov za opstanak, kada je uspeh već postignut. Drugačije rečeno – dok efektivnost znači raditi prave stvari, efikasnost znači raditi stvari na pravi način. Biti efektivan i efikasan znači raditi prave stvari na pravi način. Uvažavajući navedeno, u logistici savremenih oružanih snaga prednost se daje efektivnosti, a zatim efikasnosti.

Efektivnost sistema (za tehničke sisteme – tehnička efektivnost) i troškovi životnog veka sistema vezani su za idejno rešavanje (dizajniranje), projektovanje i izgradnju organizacionih sistema, odnosno proizvodnju ili nabavku određenih tehničkih sistema (sredstava NVO), a efikasnost i troškovi funkcionisanja sistema predstavljaju elemente za vrednovanje postojećeg (realnog) sistema.

Efektivnost sistema $E(t)$ definiše se, u matematičkom smislu, kao verovatnoća da će sistem u određenom vremenu biti u radu, uz propisani režim upotrebe i uz provođenje propisanih mera održavanja (provođenje propisanih preventivno-korektivnih programa održavanja), a izražava se kao proizvod pouzdanosti $P(t)$, funkcionalne podobnosti (podobnosti za funkcionalnu upotrebu) $FP(t)$ i raspoloživosti (gotovosti) za namensku upotrebu $R(t)$, tj:

$$E(t) = P(t) \cdot FP(t) \cdot R(t) \quad (1)$$

S obzirom na to da svaka od komponenti efektivnosti može poprimiti vrednost u intervalu od 0 do 1, iste vrednosti može poprimiti i efektivnost sistema, s tim da će njena vrednost uvek biti jednaka ili manja od najmanje vrednosti pojedinih komponenti efektivnosti. Komponente efektivnosti, kao i ukupna efektivnost sistema, razmatraju se i usvajaju još u fazi razvoja sistema, pri čemu se analiziraju njihove vrednosti za celokupni (programirani) životni vek sistema.

Prve dve komponente efektivnosti (pouzdanost i funkcionalna podobnost) predstavljaju lična (inherentna) svojstva sistema, i sastavni su element njegovog ustrojstva (konstrukcije). Pouzdanost, po definiciji, kao verovatnoća rada bez otkaza u toku vremena, ima statističku vrednost, a veličine koje se analiziraju i posmatraju su slučajnog karaktera. Ona predstavlja najvažniji element kvaliteta proizvoda i usluga. Zbog toga u poslednjih tridesetak godina ona dobija istaknuti značaj kao primenjena naučna grana koja se direktno oslanja na teoriju verovatnoće i matematičke statistike. Potreba za poznavanjem konkretnih parametara pouzdanosti procesa, usluga, tehničkih proizvoda i njihovih komponenata sve je veća, a pouzdanost se sve više ugrađuje u osnovne deklarisanе karakteristike proizvođača i zahteve korisnika. Funkcionalna podobnost predstavlja skladno „dizajnirani odnos“ taktičko-tehničkih karakteristika (zahteva naručioca i tehničko-tehnoloških mogućnosti) posmatranog sistema, koje omogućavaju da sistem na opti-

malan način realizuje svoju osnovnu funkciju, uz minimalan utrošak resursa. Pouzdanost i funkcionalna podobnost razmatraju se, usvajaju i u sistem ugrađuju u toku njegovog razvoja. U toku funkcionisanja (eksploatacije) sistema menjaju se vrednosti ove dve komponente, pa se njihovo očuvanje u granicama usvojenih vrednosti vrši po odgovarajućim programima preventivnog i korektivnog održavanja. Zbog toga se za praktične potrebe proračunavanja efektivnosti sistema tokom njegovog životnog veka može uzeti da su vrednosti pouzdanosti i funkcionalne podobnosti poznate kao konstrukcione konstante, tj. da je $P(t) = K_1$, a $FP(t) = K_2$, odnosno da je $K_1 \cdot K_2 = K$. U tom slučaju efektivnost sistema u realnim uslovima funkcionisanja (eksploatacije) definiše se izrazom:

$$E(t) = K_1 \cdot K_2 \cdot R(t) = K \cdot R(t) \quad (2)$$

Raspoloživost (gotovost) sistema za namensku upotrebu, kao treća komponenta efektivnosti sistema je složena jer njena vrednost istovremeno zavisi od usvojenih konstrukcionih rešenja (svojstava) sistema (koja pored pouzdanosti obuhvataju i pogodnost za održavanje, kao element funkcionalne podobnosti), od karakteristika funkcionisanja sistema i od postojeće organizacije održavanja.

Raspoloživost (gotovost) sistema definiše se, u matematičkom smislu, kao verovatnoća da će sistem u razmatranom periodu vremena (T) biti raspoloživ za namensku upotrebu, u realnim uslovima eksploatacije, uz sprovođenje planiranih aktivnosti održavanja i podrške održavanju. Izražava se kao odnos vremena kada je sistem raspoloživ za namensku upotrebu i ukupno razmatranog vremena (T), tj.

$$R(t) = t_r / (t_r + t_o) = t_r / T \quad (3)$$

gde je:

t_r – vreme kada je sistem raspoloživ za upotrebu;

t_o – vreme kada je sistem izvan upotrebe;

T – ukupno razmatrano vreme.

Vreme neraspoloživosti sistema za upotrebu (t_o), predstavlja komponentu raspoloživosti sistema na koju utiču tri različita vremenska parametra, i to:

$$t_o = t_{adm} + t_{log} + t_{od} \quad (4)$$

gde je:

t_{adm} – vreme neraspoloživosti sistema zbog administrativnog čekanja, na koje utiču razlozi izvan sistema održavanja (informisanje o zastoju sistema i druge administrativne mere);

t_{log} – vreme neraspoloživosti sistema na koje utiču logistički razlozi (nedostatak rezervnih delova i čekanje na njihovu nabavku, neraspologanje adekvatnom strukturom i brojem specijalizovane radne snage za održavanje, neraspologanje adekvatnom opremom i prostorom za održavanje i drugo);

t_{od} – efektivno vreme za održavanje, koje zavisi od pogodnosti za održavanje razmatranog sistema.

Prve dve komponente vremena neraspoloživosti sistema odnose se na karakteristike organizacije u kojoj se odvija održavanje, a treća komponenta predstavlja lično svojstvo, koje karakteriše konstrukcija sistema. Zbog toga se vreme održavanja razmatra kao konstanta, jer je za najveći broj tehničkih sistema normirano posebnim propisima (u Vojski je normiranje vremena održavanja regulisano Uputstvima TU-V, tj. jedinstvenim normativima za održavanje tehničkih sredstava).

Može se uočiti da raspoloživost (gotovost) sistema istovremeno zavisi od njegovih konstrukcionih svojstava i od karakteristika organizacije u kojoj funkcioniše i realizuje se njegovo održavanje.

Efektivnost sistema detaljno se analizira i proračunava u fazi razvoja sistema, kada se usvajaju pojedine komponente efektivnosti u odnosu na njenu željenu, odnosno moguću (projektovanu) vrednost, a što se usklađuje sa visinom troškova koji „pokrivaju“ efektivnost sistema u njegovom životnom veku. Pri tome moraju se činiti određeni kompromisi između želja (vrednosti efektivnosti) i mogućnosti (visine troškova za dostizanje željene efektivnosti), s obzirom na to da se ta dva zahteva ne mogu istovremeno optimizirati (ne može se maksimizirati efektivnost uz istovremenu minimizaciju troškova životnog veka sistema). Moguće je da se za definisanu (usvojenu) efektivnost minimiziraju troškovi životnog veka sistema ili da se za unapred definisane (ograničene) troškove životnog veka traži maksimalna efektivnost sistema, što je u praksi češći slučaj. Rešavanje ovog problema detaljnije je prikazano u ^a4°.

U realnim uslovima funkcionisanja (eksploatacije) sistema značajna je analiza njegove efektivnosti, posebno sa stanovišta raspoloživosti u razmatranom periodu mira ili rata (vrši se a priori ili a posteriori, zavisno od cilja i mogućnosti realizacije analize), što je za sistem komandovanja veoma značajno. U tom slučaju za vrednosti pouzdanosti i funkcionalne podobnosti sistema uzimaju se njihove konstrukcione vrednosti (kao konstante sistema), a raspoloživost se izračunava na osnovu snimljenih parametara za određeni period (a posteriori proračun),

ili na osnovu parametara dobijenih simulacijom procesa funkcionisanja posmatranog sistema (a priori proračun). Proračun efektivnosti na ovaj način vrši se prema izrazima (2), (3) i (4).

Sve što je do sada rečeno o efektivnosti odnosi se na pojedine elemente sistema, odnosno na pojedina tehnička sredstva. Međutim, u realnim uslovima funkcionisanja (eksploatacije) sistema neophodno je odrediti efektivnost za pojedine grupe istovetnih elemenata sistema, odnosno za pojedine grupe istovetnih tehničkih sredstava (određene vrste vazduhoplova, brodova, tenkova, transportnih vozila, artiljerijskog naoružanja i drugih istorodnih sredstava NVO) ili za pojedine grupe sistema sa različitim elementima ili sredstvima koji poseduju određene zajedničke karakteristike (svi tipovi borbene avijacije, sva borbena vozila, motorna vozila točkaši, celokupno artiljerijsko ili streljačko naoružanje, određene vrste sredstava veze, i dr.). Tada proračun efektivnosti određene grupe treba da obuhvati sve elemente (sredstva) iz sastava te grupe. Međutim, to je teško izvodljivo zbog poteškoća oko utvrđivanja pojedinih parametara efektivnosti za pojedine grupe (posebno ako se sastoje od različitih elemenata, odnosno sredstava), pa se zbog praktičnih razloga može proračunavati samo raspoloživost, dok pouzdanost i funkcionalnu podobnost treba razmatrati kao konstrukcione karakteristike, odnosno kao unapred zadate konstante (ekspertski procenjene za grupe sa različitim elementima), koje ulaze u proračun efektivnosti.

Dakle, kada se, radi pojednostavljenja proračuna, uzimaju u obzir konstrukcione (procenjene) vrednosti parametara

pouzdanosti i funkcionalne podobnosti, za j posmatranih elemenata, odnosno sredstava ($j = 1, 2, \dots, n$), koja pripadaju i -toj grupi ($i = 1, 2, \dots, m$), raspoloživost te grupe elemenata (sredstava) u posmatranom periodu (T) bila bi:

$$Ri(t) = \sum_{j=i}^n t_{rij} / \left(\sum_{j=i}^n t_{rij} + \sum_{j=i}^n t_{oij} \right) = \sum_{j=i}^n t_{rij} / n_i \cdot T \quad (5)$$

Istovremeno, efektivnost posmatrane grupe elemenata (sredstava) sistema računala bi se prema izrazu:

$$Ei(t) = (K_1 K_2) i \cdot Ri(t) = K_i Ri(t) \quad (6)$$

Teoretski, moguće je izračunavanje vrednosti efektivnosti sistema i za više grupa elemenata (sredstava), odnosno za sistem u celini, u kojem se pojedine grupe bitno razlikuju po pitanju konstrukcijskih karakteristika. Međutim, praktično nije moguća realizacija takvog zahteva, jer je vrlo komplikovano izračunavanje pouzdanosti i funkcionalne podobnosti za grupe sa različitim elementima (sredstvima). Umesto toga, za potrebe sistema komandovanja moguće je proračunavanje približne vrednosti efektivnosti sistema, s tim da se za pouzdanost i funkcionalnu podobnost uzmu vrednosti koeficijenata (K_1 i K_2), odnosno vrednost koeficijenta K_i za pojedine grupe elemenata (sredstava) sistema. Pri tome, ako nije moguće da se na drugi način odrede vrednosti navedenih koeficijenata, moguće je da se ekspertski jedna grupa elemenata (sredstava) proglasi za etalon, i da joj se dodeli maksimalna vrednost koefi-

cijenta, a ostalim grupama da se dodele relativne vrednosti koeficijenata u granicama od nule do usvojene maksimalne vrednosti. U tom slučaju, za m grupa elemenata (sredstava) posmatranog sistema, za razmatrani period vremena (T), raspoloživost (gotovost) bi se računala pomoću izraza:

$$Rsis(t) = Rij(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{rij} / \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{rij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{oij} \right) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{rij} / \sum_{i=1}^m n_i \cdot T \quad (7)$$

Približna vrednost efektivnosti sistema računala bi se pomoću sledećeg izraza:

$$E_{sis}(t) = \prod_{i=1}^m K_i \cdot R_{sis}(t) \quad (8)$$

Efektivnost sistema, dobijena prema izrazu (8), naziva se *logistička efektivnost* i predstavlja osnovni (najznačajniji) kriterijum za ocenjivanje funkcionisanja logističke organizacije, jer pokazuje sa kojom verovatnoćom će sistem funkcionisati bez otkaza u razmatranom periodu. Ovom kriterijumu daje se prednost u odnosu na kriterijum efikasnosti. Umesto logističke efektivnosti može se izračunati samo raspoloživost sistema prema izrazu (7), koja se naziva *logistička raspoloživost* i koja pokazuje prosečnu raspoloživost (gotovost) sistema za namensku upotrebu u razmatranom periodu, a što je za sistem komandovanja od posebnog značaja.

Efektivnost sistema kao, najznačajniji logistički kriterijum, analizira se i računa u toku razvoja (dizajniranja i projektovanja) sistema s ciljem da se optimiziraju troškovi životnog veka sistema, a u toku kojeg se analizira i računa za određeni period funkcionisanja (eksploatacije), kako bi se za taj period realnije sagledale vrednosti efektivnosti i logističke obaveze. S obzirom na poteškoće koje se javljaju pri utvrđivanju osnovnih parametara efektivnosti, možda je interesantnije (svakako jednostavnije) da se u periodu funkcionisanja (eksploatacije) sistema analizira i računa samo raspoloživost sistema, s obzirom na to da se na njenu vrednost u tom periodu može uticati, a da se na pouzdanost i funkcionalnu podobnost ne može uticati (jer su njihova svojstva definisana još u toku razvoja sistema i ugrađena u njegovu konstrukciju, programima održavanja se drže u dozvoljenim granicama, a putem modifikacija i adaptacija menjaju im se konstrukciona svojstva). U realizaciji određenih istraživačkih zadataka, za dobijanje numeričkih pokazatelja za pojedine parametre efektivnosti i za efektivnost u celini, bez obzira na to da li se to radi u periodu razvoja ili funkcionisanja (eksploatacije) sistema, preporučuje se primena metoda simulacije funkcionisanja (eksploatacije) sistema, uz korišćenje savremene računarske tehnologije. Takođe, za dobijanje efektivnosti u uslovima realnog funkcionisanja sistema neophodno je raspolagati računarski sređenim podacima o parametrima efektivnosti u posmatranom periodu, koji se koriste za automatizovano proračunavanje efektivnosti prema izrazima (5–8). Primeri ovako definisane efektivnosti mogu se naći u ³, 4 i 9°.

Izloženi model za utvrđivanje efektivnosti odnosi se, pre svega, na tehničke sisteme, a može se koristiti i za organizacione sisteme. Međutim, uz odgovarajuću interpretaciju model se može primeniti i za utvrđivanje efektivnosti bioloških sistema, gde izvršnu ulogu u realizaciji određenih zadataka direktno realizuje čovek ili neka životinja. Pri tome, vrlo je bitno da se izuče i definišu odgovarajući parametri pouzdanosti i funkcionalne podobnosti (pogodnosti za realizaciju odgovarajućih zadataka), dok se parametri raspoloživosti (gotovosti) bitno ne razlikuju od odgovarajućih parametara za tehničke sisteme, s tim da parametar „vreme za održavanje“ sistema treba zameniti parametrom „zdravstvena podrška“ (preventivna i kurativna). Parametri pouzdanosti i funkcionalne podobnosti u vezi su sa određenim osobinama ljudskog bića, odnosno posmatrane vrste životinja: prirodne osobine (starost, fizičke dimenzije, fizička kondicija, inteligencija, karakterne crte i sl.), nivo obrazovanja, odnosno kvantum raspoloživog znanja, nivo obučenosti za namenske zadatke i dr. Za realizaciju određenih zadataka treba definisati vrednosti etalon-parametara pouzdanosti i funkcionalne podobnosti, koje treba komparirati sa parametrima odgovarajućih izvršilaca tih zadataka, na osnovu čega se mogu dobiti vrednosti pouzdanosti i funkcionalne podobnosti. Parametri raspoloživosti mogu se dobiti snimanjem funkcionisanja posmatranog biološkog sistema kroz određeno vreme, ili simulacijom procesa funkcionisanja tog sistema na elektronskom računaru. Na taj način moguće je istražiti efektivnost odgovarajućih bioloških struktura u realizaciji njihovih zadataka: određene medicinsko-sa-

nitetske i veterinarske ekipe i timovi, posebno oblikovane tehničko-tehnološke strukture za obavljanje posebnih zadataka u tehničkoj, intendantskoj, saobraćajnoj, građevinskoj i drugim službama, kao i u određenim rodovima vojske. U vezi s tim može se istražiti optimizacija odnosa efektivnosti i troškova.

Efikasnost sistema E definiše se u matematičkom smislu kao odnos (količnik) između izlaza (output) i ulaza (input), tj. kao odnos proizvoda i resursa (dobiti i ulaganja, potreba i mogućnosti), odnosno efekata i sredstava, što, u suštini, predstavlja ekonomski koncept. Matematička interpretacija efikasnosti, u najopštijem obliku, glasi:

$$E = O \text{ (output)} / I \text{ (input)} \quad (9)$$

Polazeći od opštih zahteva, najcelishodnija ocena efikasnosti u sistemu logistike može se dobiti pomoću uporedne analize dva pokazatelja kriterijuma operativne efikasnosti ^{a2o}. Prvi pokazatelj operativne efikasnosti treba da karakteriše realnu (faktičku) efikasnost na osnovu ocene stanja i mogućnosti funkcija logističke podrške, a označava se sa *Ef*. Može se dobiti proračunom na osnovu podataka koji karakterišu stanje potfunkcija i elemenata logistike, ili predviđanjem (prognoziranjem) njihovog stanja. Drugi pokazatelj operativne efikasnosti treba da odredi zadatak (traženu) efikasnost, koja je neophodna za realizaciju postavljenih zadataka, a označava se sa *Et*.

Operativna ocena stepena realizacije postavljenog zadatka određuje se pomoću izraza:

$$Ef/Et \geq 1, \text{ tj. } Ef \geq Et \Rightarrow \text{realizacija zadatka zadovoljava,} \quad (10)$$

$$Ef/Et < 1, \text{ tj. } Ef < Et \Rightarrow \text{realizacija zadatka ne zadovoljava.}$$

Na taj način izražava se kvantitativan odnos između faktičke i tražene efikasnosti sistema. Pri tome, neophodno je da se pri ocenjivanju operativne efikasnosti koriste i vremenski pokazatelji (kriterijumi). U tom slučaju koriste se sledeći odnosi:

$$Tf/Tt \leq 1, \text{ tj. } Tf \leq Tt \Rightarrow \text{zadaci se realizuju ne samo potpuno već i pravovremeno,} \quad (11)$$

$$Tf/Tt > 1, \text{ tj. } Tf > Tt \Rightarrow \text{zadaci se ne izvršavaju u zadato vreme i neophodna su dodatna istraživanja radi definisanja koje zadatke treba realizovati pravovremeno, a koje ne.}$$

Radi dobijanja što meritornije ocene za preduzimanje mera za povećanje efikasnosti sistema logistike, u skladu sa preporukama* pogodno je da se u svojstvu kriterijuma (pokazatelja) efikasnosti koriste dva posebna kriterijuma – kriterijum operativne efikasnosti i kriterijum sposobnosti sistema.

Kriterijum operativne efikasnosti E_k , pokazuje koliki je doprinos k-te strukture sistema logistike u ukupno ostvarenoj efikasnosti logistike. Njegove vrednosti su u granicama od 0 do 100%, a izražava se na sledeći način:

$$E_k = \left[(E_k^u - E_k^o) / E_k^u \right] \cdot 100[\%] \quad (12)$$

* Tarakanov, Ovčarov, Tiriškin: Analitičeskie metodi isledovaniya sistem. Sovjetskoe radio, Moskva, 1979.

Kriterijum sposobnosti U_k za k-tu strukturu sistema logistike izražava se na sledeći način:

$$U_k = (E_k^u - E_k^o) / (E_k^i - E_k^o) \quad (13)$$

gde je:

E_k^u – vrednost kriterijuma efikasnosti logističke organizacije pri uzimanju u obzir doprinosa k-te strukture logistike;

E_k^o – vrednost kriterijuma efikasnosti logističke organizacije bez uzimanja u obzir doprinosa k-te strukture logistike;

E_k^i – vrednost kriterijuma efikasnosti logističke organizacije kada posmatrana k-ta struktura maksimalno realizuje zadatke koji se pred nju postavljaju.

Očigledno je da kriterijum U_k može da poprimi vrednosti između 0 i 1. Pri $E_k^u = E_k^o \Rightarrow U_k = 0$, što znači da k-ta struktura ne doprinosi ukupnoj efikasnosti logističke organizacije. Obrnuto, pri $E_k^u = E_k^i \Rightarrow U_k = 1$, što znači da posmatrana k-ta struktura zadovoljava maksimalnim zahtevima logističke organizacije.

Izrazi (9–13) mogu se podjednako koristiti za izračunavanje efikasnosti tehničkih, bioloških, organizacionih i drugih sistema.

Efikasnost sistema, kao drugi po značaju logistički kriterijum, vezan je za eksploataciju (funkcionisanje) sistema, pa samim tim zavisi od postavljene organizacije i njenih realnih mogućnosti. U suštini numerička vrednost efikasnosti sistema je količnik izlaza (autputa) iz sistema i ulaza (inputa) u sistem, odnosno dobiti i ulaganja, ostvarenog i uloženog, faktičkog i traženog i sl. Takođe, za efikasnost sistema bitno je i vreme realizacije zadatka, koje treba da bude kraće ili

jednako unapred određenom vremenu. Pored toga, u svojstvu kriterijuma efikasnosti sistema mogu se koristiti još dva posebna kriterijuma – kriterijum operativne efikasnosti i kriterijum sposobnosti sistema, čije vrednosti predstavljaju doprinos pojedinih elemenata sistema njegovoj ukupnoj efikasnosti. Navedeni kriterijumi efikasnosti mogu se podjednako koristiti kod tehničkih, bioloških, organizacionih i drugih sistema.

Ekonomski kriterijumi

Pokazatelji vojno-ekonomskih kriterijuma vezani su za ekonomičnost³ posmatranog sistema i predstavljaju određena ulaganja (u istraživanja, kadrove, infrastrukturu, opremu i sl.) i utrošak određenih resursa (novac, radna snaga, materijalna sredstva, energija i dr.) u funkciji realizacije definisanih zadataka u toku pojedinih faza životnog veka posmatranog sistema (konceptija, odnosno dizajniranje sistema, razvoj, izgradnja – proizvodnja, odnosno nabavka, eksploatacija i održavanje i „umiranje“, odnosno povlačenje iz upotrebe i otuđivanje iz vojske). To znači da se preko ovih kriterijuma mogu izraziti ukupne potrebe za određenim resursima za životni vek u celini, ili za pojedine njegove faze posmatranog sistema.

Racionalna upotreba, odnosno efikasno korišćenje ograničenih resursa, mora se vršiti primenom određenih organizacionih i ekonomskih principa. Tome se može obezbediti maksimiziranje učinka logističke podrške na borbenu sposobnost, odnosno na namensku ulogu vojske.

³ Ekonomičnost predstavlja meru kvaliteta sistema sa stanovišta ulaganja, odnosno troškova ulaganja (ulazni faktori) i vrednosti dobijene u sistemu (izlaz iz sistema).

Optimizacija kriterijuma logistike

Za razliku od efektivnosti i efikasnosti, za koje se želi da poprime maksimalne vrednosti, teži se da ekonomski pokazatelji (kriterijumi) poprime minimalne vrednosti.

Istovremeno se žele postići maksimalni efekti uz minimalan utrošak resursa, što u matematičkom smislu nije moguće. S obzirom na to da je nemoguće istovremeno optimizirati ove dve veličine, moguće je da se jedna od njih optimizira, a da se druga fiksira na neku vrednost. Moguće je postići maksimalne efekte za zadate troškove (ograničeni utrošak resursa) ili minimizirati troškove (utrošak resursa) za unapred zadate efekte. Zbog toga se u praktičnoj realizaciji (izgradnji i funkcionisanju) određenih sistema pribegava izboru kompromisnih rešenja. Danas postoji veliki broj usavršenih metoda, prilagođenih za primenu pomoću elektronskog računara⁵⁰.

Na osnovu strukturno-funkcionalnog modela određenog logističkog sistema, i odabranih kriterijuma za ocenu efektivnosti i efikasnosti, mogu se formirati dve operativne i matematičke postavke zadatka.

Prva operativna postavka zadatka ima za cilj dobijanje takve strukture logističkog sistema koja će omogućavati da se zadaci uspešno izvršavaju pri minimalnom utrošku resursa (minimalni troškovi). Koristi se u uslovima kada resursi nisu ograničeni ili kada ih ima toliko da u potpunosti zadovoljavaju potrebe.

Druga operativna postavka zadatka podrazumeva da se snage i sredstva koriste tako da efekti budu maksimalni, odnosno da se maksimalno zadovolje potre-

be korisnika sredstava ili usluga, tj. teži se da $E_f / E_t \Rightarrow$ maksimum. Primenjuje se u uslovima postojanja ograničenih resursa za realizaciju zadataka, sa težnjom da se potpuno ili maksimalno zadovolje potrebe onih korisnika koji imaju najvažniju ulogu u realizaciji zadataka.

Dakle, nije moguća istovremena maksimizacija efekata i minimizacija utroška resursa, već je moguće da se jedna od te dve veličine minimizira ili maksimizira, a druga „fiksira“. Naime, za definisane efekte potrebno je minimizirati utrošak resursa ili za date resurse tražiti maksimalne efekte.

U savremenim uslovima, primenom neke od numeričkih metoda i računarske tehnologije (hardver/softver), moguće je doći do vrlo povoljnih kompromisnih rešenja u izboru odnosa efekti – troškovi za pojedine faze „života“ ili za životni vek u celini određenih logističkih sistema. U svim vojskama u miru se više ekonomiše, jer se raspolaže ograničenim (fiksiranim) finansijskim sredstvima, pa se pribegava maksimizacija učinaka (efekata). Nasuprot tome, u ratu se definiše (fiksira) realizacija određenih ciljeva, pa je moguće optimizirati (minimizirati) troškove, odnosno utrošak raspoloživih resursa za realizaciju tih ciljeva.

Zaključak

Za objektivno ocenjivanje bilo kog sistema, pa tako i logističkih sistema, nužno je postojanje dve grupe kriterijuma, od kojih jedni služe za merenje efekata (operativni kriterijumi), a drugi za registraciju utrošaka resursa (ekonomski kriterijumi). Kao dva najznačajnija operativna kriterijuma, u radu su obrađeni efektivnost i efikasnost, za koje

su date definicije, relevantni parametri i matematičke interpretacije. Za izgradnju i funkcionisanje sistema vezan je utrošak odgovarajućih resursa koji se definišu kao ekonomski kriterijumi (utrošak novca, repromaterijala i energije, korišćenje kadrova, prostora, alata, opreme, infrastrukture i dr.).

S obzirom na to da je za ove dve grupe kriterijuma predznak rasta suprotan (težnja je da efekti rastu, a da troškovi padaju) nije moguća istovremena optimizacija obe grupe kriterijuma. Moguće je da se efekti „fiksiraju“, a troškovi optimiziraju (minimiziraju), ili da se troškovi ograniče, a efekti optimiziraju (maksimiziraju), što je u praksi češći slučaj, posebno u miru. Time je stvorena realna mogućnost za dobijanje kvantitativne ocene o izgrađenosti i funkcionisanju istraživanog sistema, odnosno odgovora na pitanje – da li sistem „radi prave stvari na pravi način“.

Literatura:

- ^{a1°} Eklz. Logistika u nacionalnoj odbrani. Beograd, VIZ, 1964.
- ^{a2°} Goluško. I. M., Varlamov, N. V.: Osnovi modelarovanja i avtomatizaciji upravljenja tilom. Moskva, Voenizdat, 1982.
- ^{a3°} NIR u tehničkoj službi. Usavršavanje sistema održavanja TMS u KoV OS i snabdevanja rezervnim delovima: definiranje i izbor kriterija, ograničenja i pokazatelja valjanosti sistema održavanja TMS KoV OS i snabdevanja r/d u miru i ratu (elaborat). VVTŠ KoV JNA, 1985.
- ^{a4°} Nikolić, M.: Efikasnost funkcionisanja sistema tehničkog obezbeđenja združenih taktičkih jedinica u oružanoj borbi (doktorska disertacija). Zagreb, VVTŠ KoV JNA, 1989.
- ^{a5°} Nikolić, I., Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija (metode, primena u logistici, softver). CVŠ VJ, Beograd, 1996.
- ^{a6°} Nikolić, M.: Logistička podrška savremenih oružanih snaga (studija). SP GŠ VJ, 1997.
- ^{a7°} Tomanović, R., Nikolić, M.: Komparativna analiza pozadinskog obezbeđenja i logističke podrške savremenih oružanih snaga (studija). SP GŠ VJ, 1998.
- ^{a8°} Fokusirana logistika (Prevod smernica fokusirane logistike SAD do 2010. god.). SP GŠ VJ, 1998.
- ^{a9°} Grupa autora: Varijantna rešenja organizacije održavanja materijalnih sredstava u Vojsci Jugoslavije na logističkim osnovama (projektni zadatak), KTOB VTA VJ, 2000.
- ^{a10°} Ilić, R.: Vojnoekonomska moć odbrane SR Jugoslavije. Centar ŠONID, ŠNO, 2000.
- ^{a11°} Mišković, V., Stanojević, P.: Kriterijumi za ocenu varijantnih rešenja organizacije logističke podrške – pozadinskog obezbeđenja. U: VTG, 2001, 1.

Mr Dragan Đukić,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 5003, Novi Sad
Dr Vasilije Mišković,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija –ŠNO,
Beograd

ANALIZA UTICAJA SNABDEVENOSTI REZERVNIH DELOVIMA NA ISPRAVNOST BORBENIH VOZILA U BORBENIM DEJSTVIMA

UDC: 623.438-7 : 355.415.2

Rezime:

Snabdevenost rezervnim delovima znatno utiče na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima. Oblik i kvantifikaciju promene gotovosti borbenih vozila, u zavisnosti od verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima, moguće je sagledati primenom metode modelovanja i simulacije. Osnovni faktori, koji utiču na gotovost borbenih vozila su: struktura sistema snabdevanja, nivo snabdevanja posmatrane strukture i verovatnoća popunjenosti rezervnim delovima svakog nivoa. Najvažniji rezultati sprovedenog istraživanja su: sagledavanje uticaja osnovnih faktora, prvenstveno snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila, u borbenim dejstvima.

Ključne reči: rezervni delovi, sistem snabdevanja, borbena vozila, gotovost.

ANALYSIS OF SPARE PARTS SUPPLIES INFLUENCE ON COMBAT VEHICLE READINESS IN COMBAT OPERATIONS

Summary:

Spare parts supplies stocks have a significant influence on proper functioning of combat vehicles in military operations. The form and quantifying of change of military vehicle readiness dependence on spare parts supplies will be recognized by applying the method of modelling and simulation. The basic factors influencing the readiness of combat vehicles are as follows: supply system structure, supply level for a given structure and probability of being supplied by spare parts at all supply levels. The most important result of the research is the knowledge of the basic factors influence, particularly the spare parts supplies influence on the combat vehicle readiness in military operations.

Key words: spare parts, supply system, combat vehicle, operational readiness.

Uvod

Osnovni preduslov za uspešno izvođenje borbenih dejstava je održavanje visokog stepena borbene gotovosti jedinica i vojske u celini na koju ispravnost borbenih vozila, s obzirom na njihov značaj i masovnu upotrebu u vođenju savremenih ratova, ima vrlo bitan uticaj. Zato je potrebno stvoriti preduslove za održava-

nje borbenih vozila u ispravnom stanju, odnosno obezbediti njihovo brzo dovođenje u ispravno stanje u slučajevima nastupanja otkaza ili oštećenja različitih podsklopova, sklopova i agregata, što zahteva preduzimanje različitih radnji održavanja, koje se razlikuju po složenosti tehnologije rada. Uspešnost održavanja umnogome zavisi od raspolaganja potrebnim rezervnim delovima. Zbog nu-

žnosti da se borbena vozila na kojima je nastao otkaz brzo vrata u eksploataciju, posebno u vreme borbenih dejstava, raspolaganje potrebnim asortimanom i količinama rezervnih delova predstavlja neminovnost. To nameće potrebu da se rezervni delovi nabavljaju, skladište i čuvaju na određenom nivou snabdevanja, i po zahtevu doturaju do krajnjeg korisnika. Pri tome se stalno vrši razmena informacija, koje su pokretač svih radnji održavanja borbenih vozila i snabdevanja rezervnim delovima.

Međutim, raspolaganje zalihama rezervnih delova predstavlja znatan trošak, pa nije svejedno kolike su te zalihe i kako su raspoređene po nivoima snabdevanja i u prostoru. To se naročito odnosi na rezervne delove za tehnička sredstva, čiji je značaj takav da u određenim momentima mogu presudno da utiču na ishod sukoba, kao što su, na primer, borbena vozila. Ako se zna da raspoložive zalihe rezervnih delova imaju znatan uticaj na ispravnost borbenih vozila, a da je za kvalitetno projektovanje sistema snabdevanja i kvalitetno odlučivanje u toku funkcionisanja sistema snabdevanja potrebno poznavanje i oblika i kvantiteta tog uticaja, onda je očigledno da je potrebno da se takav uticaj analizira.

Analizu je moguće sprovesti preko sagledavanja uticaja osnovnih faktora. Izdvajanje relevantnih faktora sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima je u funkciji cilja analize. U ovom slučaju, na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima utiče nekoliko osnovnih faktora u sistemu snabdevanja rezervnim delovima:

- organizaciona struktura sistema snabdevanja rezervnim delovima;
- nivo u sistemu snabdevanja rezervnim delovima;
- popunjenost rezervnim delovima svakog nivoa snabdevanja;
- pouzdanost toka informacija u informacionom sistemu snabdevanja.

Pod pojmom *struktura sistema snabdevanja rezervnim delovima* podrazumeva se na koliko nivoa je struktuiran posmatrani sistem, pri čemu se, u ovom slučaju, razmatra četvoronivojski sistem (dva na taktičkom nivou, operativni i stratezijski nivo) i tronivojski sistem snabdevanja rezervnim delovima (dva na taktičkom i stratezijski nivo snabdevanja).

Ne razmatraju se vrste i količine rezervnih delova po nivoima snabdevanja, nego se operiše verovatnoćom popunjenosti rezervnim delovima po nivoima snabdevanja. Za ovu analizu se pretpostavlja da je informacioni sistem idealan, odnosno da ne postoji mogućnost zaturanja ili gubljenja informacija, nego da funkcioniše upravo onako kako je projektovan.

Prezentirani rezultati u ovom radu odnose se samo na direktan uticaj snabdevnosti rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima, i to samo za period borbenih dejstava.

U posmatranim sistemima snabdevanja rezervnim delovima ne razmatraju se troškovi zaliha rezervnih delova po nivoima. Analiza je izvršena samo na osnovu proračuna gotovosti za određeni nivo popunjenosti rezervnim delovima, bez analize *koliko košta taj nivo gotovosti*.

Model za istraživanje uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima

Istraživanje uticaja sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima na realnom sistemu nije moguće. Radi toga pribegava se modelovanju sistema izradom adekvatnih simulacionih modela, koji mogu opisati realni sistem održavanja borbenih vozila, sistem snabdevanja rezervnim delovima i veze koje postoje među tim sistemima.¹ Te veze su vrlo čvrste i bez njih oba navedena sistema ne bi mogla zadovoljavajuće da funkcionišu. Za potrebe ovog rada korišćen je, kao bazični, model iz [1], koji se zasniva na opštem modelu borbenih dejstava. U ovom radu izvršena je redukcija samo onih rezultata koji se odnose na borbena vozila. Ukupno je posmatrano 521 borbena vozila, koliko ih je, po opštem modelu borbenih dejstava, bilo u stanju operativne gotovosti na početku izvođenja borbenih dejstava.

Nezavisna varijabla je *verovatnoća zadovoljenja tražnje za rezervnim delovima* na svim nivoima snabdevanja, odnosno, *verovatnoća popunjenosti rezervnim delovima*, a predstavlja odnos između broja odmah realizovanih tražnji za rezervnim delovima i ukupnog broja tražnji. Ova varijabla generiše se prema planu eksperimenta.

¹ Modeli sistema za trionivojsku i četvoronivojsku strukturu sistema dati su u radu „Kvantifikacija i oblik uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sistema“ objavljenom u Vojnotehničkom glasniku br. 2/2003. Plan eksperimenta je istovetan kao u navedenom radu, s tim da se u ovom radu izdvajaju samo rezultati za jednu grupu sredstava (borbena vozila) i oni se analiziraju.

Zavisna varijabla je *operativna gotovost borbenih vozila*. Uslovno, gotovost se može odrediti kao odnos srednje vrednosti ispravnih tehničkih sredstava prema ukupnom broju tehničkih sredstava u nekom vremenskom periodu [1]. U ovom radu operativna gotovost se prikazuje kao odnos broja ispravnih borbenih vozila u momentu posmatranja (na kraju 12. dana izvođenja borbenih dejstava, odnosno u 288. času od početka simulacije) i broja ispravnih borbenih vozila na početku izvođenja borbenih dejstava, izraženo u procentualnom obliku.

Plan i rezultati eksperimenta

Da bi se istražio uticaj svakog od navedenih faktora izvedeni su eksperimenti sa promenom verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima po nivoima snabdevanja. Eksperiment je organizovan tako da promena verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima po nivoima snabdevanja poprma vrednosti od 0,1 do 0,99, isključujući vrednost 0,2, i to tako da:

- na svim nivoima snabdevanja rezervnim delovima promena bude istovetna,
- promena se vrši na jednom posmatranom nivou snabdevanja rezervnim delovima, a na ostalim nivoima ima modelom zadate parametarske vrednosti.

Nakon izvedenih eksperimenata izvršena je statistička obrada broja ispravnih borbenih vozila za svaku grupu eksperimenata, na osnovu čega je formirana tabela, u kojoj su prikazane srednje vrednosti broja ispravnih borbenih vozila na kraju 12. dana borbenih dejstava, odnosno, u 288. času od početka simulacije (po simulacionom vremenu).

Pregled ispravnosti borbenih vozila na kraju 12. dana borbenih dejstava

Redni broj grupe eksperimenata	Oznaka eksperimenata			Parametri u eksperimentu - vrednost verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima				Srednja vrednost broja ispravnih borbenih vozila										Oblik aproksimativne teorijske krive linije
	Pouz. toka infor.	Struktura sistema	Nivo snabdevanja	Nivo bataljona	Nivo brigade	Operativni nivo	Strategijski nivo	Vrednost verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na posmatranom nivou snabdevanja										
0,1								0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1.	6	1	1	-	-	-	-	338	354,6	363,6	366,4	377,4	373,4	382,8	385,8	386	polinom 3. stepena	
2.	6	1	2	-	0,4	0,5	0,5	359,8	352	359,8	362	364,6	363,7	370,7	377,6	369,6	polinom 2. stepena	
3.	6	1	3	0,2	-	0,5	0,5	352	354,4	357,8	361,5	366	378,9	373,8	376,4	380,8	polinom 2. stepena	
4.	6	1	4	0,2	0,4	-	0,5	356,2	360,2	362,1	358,8	360,2	358,4	362,6	365,4	365	logaritamska funkcija	
5.	6	1	5	0,2	0,4	0,5	-	356,2	354,2	358,5	353,4	358,8	359,6	361,8	363,2	367	eksponencijalna funkcija	
6.	6	2	1	-	-	-	-	353,2	358,4	352,6	363,2	359,2	359,2	364,1	364,6	363,2	polinom 3. stepena	
7.	6	2	2	-	0,4	-	0,7	344,8	351,4	354,6	359,4	356	367,2	369,6	367,4	366,8	polinom 3. stepena	
8.	6	2	3	0,2	-	-	0,7	352,2	350,6	356,4	359	359,1	356,6	357,6	361,2	357	polinom 3. stepena	
9.	6	2	4	0,2	0,4	-	-	350,2	351,6	349,7	360,6	357,4	359,2	360,1	358,5	357,3	polinom 3. stepena	

Prva kolona u tabeli označava grupu sprovedenih eksperimenata. Pripadnost grupi eksperimenata određena je sa sledeća tri elementa:

- pouzdanošću toka informacija. Informacija o tome da li je u eksperiment uključena verovatnoća gubljenja ili zaturanja informacija označena je cifrom u koloni 2 (bez gubljenja ili zaturanja informacija – 6, sa gubljenjem ili zaturanjem informacija – 7);

- strukturom sistema snabdevanja rezervnim delovima koja je posmatrana, što je označeno cifrom u koloni 3 (četvo-

ronivojska struktura – 1, tronivojska struktura – 2);

- nivoom u posmatranoj strukturi sistema snabdevanja na kojem je vršena promena verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima, što je označeno cifrom u koloni 4 (istovetno na svim nivoima – 1, na nivou bataljona – 2, na nivou brigade – 3, na operativnom nivou u četvoronivojskoj strukturi i na strategijskom nivou u tronivojskoj strukturi – 4, na strategijskom nivou u četvoronivojskoj strukturi – 5).

U kolonama od 5 do 8 prikazane su parametarske vrednosti verovatnoće po-

popunjenosti rezervnim delovima na ostalim nivoima snabdevanja u sistemu. U kolonama od 9 do 17 prikazane su srednje vrednosti broja ispravnih borbenih vozila u zavisnosti od vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na posmatranom nivou snabdevanja i parametarskih vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na ostalim nivoima u sistemu snabdevanja.

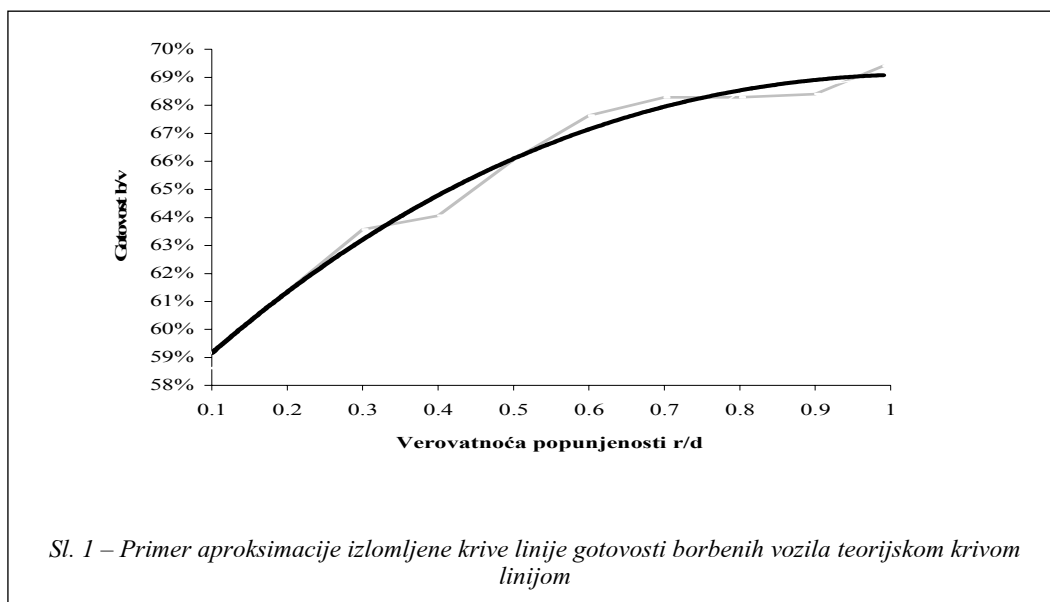
Odnos prikazanih srednjih vrednosti broja ispravnih borbenih vozila na kraju 12. dana borbenih dejstava i broja ispravnih borbenih vozila na početku borbenih dejstava pretvoren je u procentualni iznos, čime je dobijena gotovost borbenih vozila, prema navedenom određenju. Povezivanjem ovako dobijenih vrednosti gotovosti borbenih vozila za svaku vrednost verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima, za svaku grupu eksperimenata dobijena je izlomljena kriva linija. Kako bi se prikazao trend gotovosti borbenih vozila u zavisnosti od verovatnoće popu-

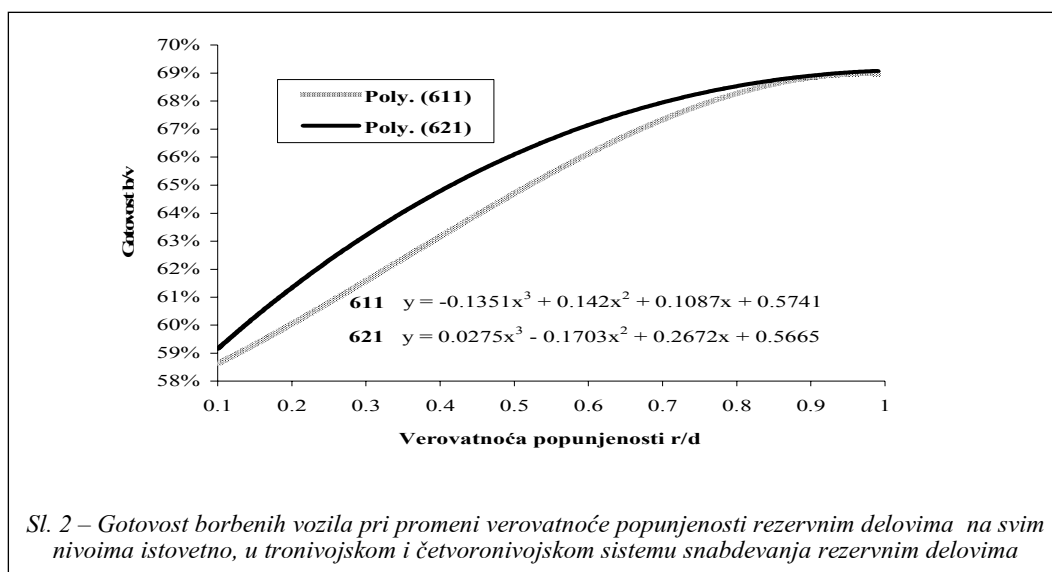
njenosti rezervnim delovima, izlomljena kriva linija aproksimirana je teorijskom neprekidnom krivom linijom (slika 1). Na osnovu teorijskih krivih linija izvršeno je međusobno upoređivanje gotovosti borbenih vozila u zavisnosti od verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima.

Analiza uticaja strukture sistema snabdevanja rezervnim delovima

Uticaj strukture sistema snabdevanja rezervnim delovima može se prikazati i objasniti rezultatima eksperimenata, pri kojima je vršena promena verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima istovetno na svim nivoima, u tronivojskom i četvoronivojskom sistemu snabdevanja (slika 2). Na taj način minimizira se uticaj nivoa snabdevanja, a do izražaja dolazi uticaj strukture sistema snabdevanja rezervnim delovima.

Funkcija gotovosti borbenih vozila, pri promeni verovatnoće popunjenosti re-





zervnim delovima istovetno na svim nivoima, u četvoronivojskom sistemu snabdevanja, označena brojem 611, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma trećeg stepena, kao i funkcija gotovosti borbenih vozila pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima istovetno na svim nivoima, u tronivojskom sistemu snabdevanja, označena brojem 621. Zapaža se da gotovost borbenih vozila ima veće vrednosti za sve vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima pri tronivojskom sistemu snabdevanja rezervnim delovima, osim u segmentu vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima iznad 0,8, u kojem se razlika vrednosti gotovosti borbenih vozila bitno smanjuje. Već za vrednost verovatnoće popunjenosti 0,9, teorijske krive gotovosti borbenih vozila, primenom tronivojskog i četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima, imaju jednake vrednosti.

Gotovost borbenih vozila, dobijena eksperimentom sa promenom verovatno-

će popunjenosti rezervnim delovima u četvoronivojskom sistemu snabdevanja, za vrednost verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima 0,1, za 0,6% je manja od vrednosti gotovosti borbenih vozila dobijene eksperimentom sa promenom verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima u tronivojskom sistemu snabdevanja. Razlika gotovosti je 3,1 borbenih vozila ili oko jedan oklopno-mehanizovani vod.

Sa porastom verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima povećava se i razlika gotovosti borbenih vozila. Najveća je u segmentu verovatnoće popunjenosti između 0,3 i 0,4 i iznosi 1,6%, što je 8,33 borbenih vozila ili nešto manje od 3 oklopno-mehanizovana voda. Razlika gotovosti je osetna do vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima 0,7. Za veće vrednosti verovatnoće popunjenosti razlika gotovosti se smanjuje, a izjednačava za vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima iznad 0,9, kada dolazi do zasićenja obe teorijske

krive gotovosti borbenih vozila. To znači da se sa povećanjem verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima iznad 0,9 ne povećava gotovost borbenih vozila u borbenim dejstvima, bez obzira na to da li je primenjen tronivojski ili četvoronivojski sistem snabdevanja, odnosno, da pri visokim vrednostima verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima uopšte nije bitno koji je sistem snabdevanja rezervnim delovima primenjen.

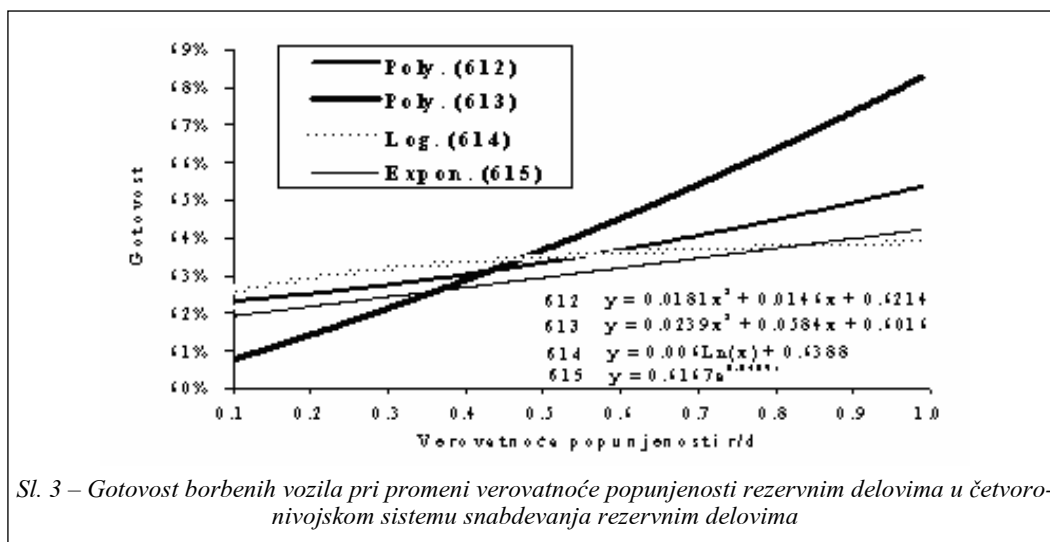
Upoređujući vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima, pri istim vrednostima gotovosti borbenih vozila u četvoronivojskom i tronivojskom sistemu snabdevanja rezervnim delovima, zapaža se da razlika verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima isnosi 0,1 u segmentu od 0,3 do 0,6, što ukazuje na to da se sa manjom verovatnoćom popunjenosti rezervnim delovima u tronivojskom sistemu snabdevanja može postići ista vrednost gotovosti borbenih vozila. To je vrlo bitno s obzirom na stvarnu snabdevenost rezervnim delovima u realnom sistemu snabdevanja. Uzimajući u

obzir broj nivoa snabdevanja rezervnim delovima može se zaključiti da se primenom tronivojskog sistema snabdevanja može ostvariti izvesna ušteda u zalihama rezervnih delova u odnosu na četvoronivojski sistem snabdevanja.

Razlika gotovosti borbenih vozila, u segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima od 0,1 do 0,8, jasno ukazuje na prednosti koje ima tronivojski sistem snabdevanja rezervnim delovima. Razlika je najizraženija u segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima kakva je u realnom sistemu snabdevanja. Očigledno je da eliminacija operativnog nivoa iz sistema snabdevanja rezervnim delovima ima izrazit pozitivan efekat.

Uticaj pojedinačnih nivoa snabdevanja rezervnim delovima na gotovost borbenih vozila u borbenim dejstvima

Na slici 3 prikazani su grafički rezultati simulacije za eksperimente sa promenom verovatnoće popunjenosti rezer-



vnim delovima po nivoima snabdevanja u četvoronivojskom sistemu snabdevanja rezervnim delovima.

Funkcija gotovosti borbenih vozila, pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na nivou bataljona, označena brojem 612, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma drugog stepena. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 62,3%, a pri verovatnoći popunjenosti 0,99 vrednost gotovosti je 65,4%. Ukupna razlika gotovosti borbenih vozila za granične vrednosti verovatnoće popunjenosti 0,99 i 0,1 je 3,1%, što je 16,1 borbenih vozila ili oko 1,5 oklopno-mehanizovana četa. Srednji prirast gotovosti borbenih vozila na segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima od 0,1 do 0,5 je oko 0,2%, pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1. Ukupna razlika gotovosti na tom segmentu je 1%, što je 5,2 borbenih vozila ili oko dva oklopno-mehanizovana voda. Na segmentu verovatnoće popunjenosti od 0,5 do 0,99 razlika gotovosti je 2%, što je 10,4 borbenih vozila ili nešto više od oklopno-mehanizovane čete.

Funkcija gotovosti borbenih vozila, pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na nivou brigade, označena brojem 613, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma drugog stepena. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 60,8%, a pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 vrednost gotovosti je 68,3%. Ukupna razlika gotovosti borbenih vozila za granične vrednosti verovatnoće popunjenosti 0,99 i 0,1 je 7,5%, što je 39 borbenih vozila ili oko jedan oklopno-meha-

nizovani bataljon. Srednji prirast gotovosti, pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1, na segmentu od 0,1 do 0,5, jeste oko 0,7%. Razlika gotovosti na tom segmentu je 2,9%, što je 15,1 borbenih vozila ili oko 1,5 oklopno-mehanizovana četa. Na segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima od 0,5 do 0,99 srednji prirast gotovosti je oko 0,9%, a razlika gotovosti 4,7%, što je 24,5 borbenih vozila ili oko 2,5 oklopno-mehanizovane čete.

Funkcija gotovosti borbenih vozila, pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na operativnom nivou, označena brojem 614, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku funkcije prirodnog logaritma. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 62,5%, a pri verovatnoći popunjenosti 0,99 vrednost gotovosti je 63,9%. Ukupna razlika gotovosti borbenih vozila za granične vrednosti verovatnoće popunjenosti 0,99 i 0,1 je 1,4%, što je 7,3 borbenih vozila ili nešto više od dva oklopno-mehanizovana voda. Na segmentu verovatnoće popunjenosti od 0,1 do 0,4 razlika gotovosti je 0,8%, što je 4,2 borbenih vozila ili nešto više od oklopno-mehanizovanog voda. Već iznad vrednosti verovatnoće popunjenosti 0,4 teorijska kriva gotovosti poprima gotovo konstantnu vrednost. Srednji prirast gotovosti na tom segmentu verovatnoće popunjenosti je oko 0,08%, pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1, a razlika gotovosti je 0,5%, što je 2,6 borbenih vozila ili nešto manje od oklopno-mehanizovanog voda.

Funkcija gotovosti borbenih vozila pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na stratezijskom nivou,

označena brojem 615, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku eksponencijalne funkcije prirodne osnove. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 61,9%, a pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 vrednost gotovosti je 64,25%. Ukupna razlika gotovosti je 2,35% pri verovatnoći popunjenosti 0,99 i 0,1, što je 11,9 borbenih vozila ili nešto više od jedne oklopno-mehanizovane čete. Ne može se izdvojiti ni jedan segment verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na kojem ima bitne promene u rastu gotovosti borbenih vozila. Pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima za 0,1 srednji prirast gotovosti borbenih vozila je 0,25%.

Međusobni odnos uticaja snabdevenosti nivoa snabdevanja na gotovost borbenih vozila slikovito se može prikazati ukoliko se posmatra razlika gotovosti pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 i 0,1. U odnosu na snabdevenost rezervnim delovima na nivou bataljona uticaj snabdevenosti na nivou brigade je 2,41 puta izraženiji. U odnosu na snabdevenost na operativnom nivou uticaj snabdevenosti na nivou brigade je 5,3 puta izraženiji, a u odnosu na snabdevenost na strategijskom nivou, uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na nivou brigade je 3,26 puta izraženiji.

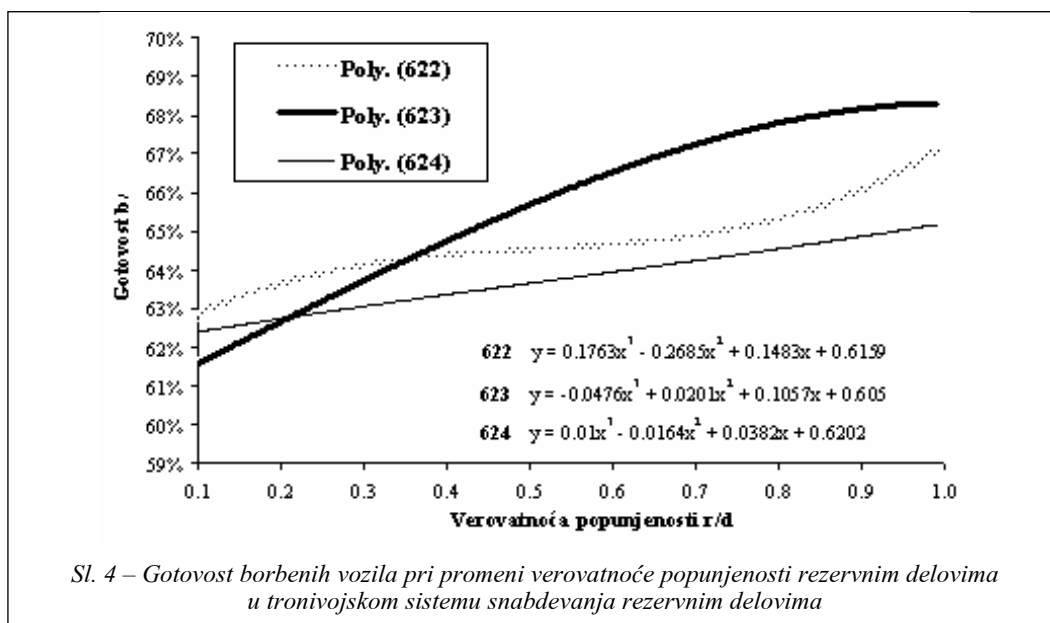
Značaj popunjenosti rezervnim delovima na taktičkom nivou, odnosno na nivou brigade i na nivou bataljona, na gotovost borbenih vozila vrlo je izražen u odnosu na značaj popunjenosti rezervnim delovima na operativnom i strategijskom nivou, iz jednostavnog razloga što je u modelu nastajanja gubitaka generisan, u

relativnom odnosu, veći broj otkaza i oštećenja koji se mogu otkloniti realizacijom radova nivoa LR, nego što je broj otkaza i oštećenja koji se mogu otkloniti realizacijom radova nivoa SR i GR. Osim toga, vreme potrebno za realizaciju radova nivoa LR na nivou bataljona (do 6 h) i na nivou brigade (do 24 h) višestruko je kraće od vremena realizacije radova nivoa SR (24 do 150 h) i GR (80 do 600 h) [1].

Eksperimenti sa promenom verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na operativnom i na strategijskom nivou imaju približne vrednosti gotovosti borbenih vozila, pri čemu međusobna razlika ne prelazi 0,7%, za sve vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima.

Na slici 4 prikazani su grafički rezultati simulacije za eksperimente sa promenom verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima po nivoima snabdevanja u tronivojskom sistemu snabdevanja rezervnim delovima.

Funkcija gotovosti borbenih vozila pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na nivou bataljona, označena brojem 622, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma trećeg stepena. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 62,8%, a pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 vrednost gotovosti je 67,1%. Ukupna razlika gotovosti borbenih vozila je 4,3%, pri vrednostima verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima 0,99 i 0,1, što je 22,4 borbenih vozila ili nešto više od dve oklopno-mehanizovane čete. Funkcija gotovosti borbenih vozila ima blagi rast za vrednosti verovatnoće popu-



njenosti rezervnim delovima u segmentu od 0,1 do 0,35. Prirast gotovosti na tom segmentu je oko 0,35% pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1, dok je ukupna razlika gotovosti na tom segmentu oko 1,4%, što je 7,3 borbenih vozila ili nešto više od dva oklopno-mehanizovana voda. U segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima od 0,35 do 0,7 funkcija gotovosti ima tačku infleksije. Razlika gotovosti borbenih vozila na tom segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima je 0,5%, što je 2,6 borbenih vozila ili nešto manje od jednog oklopno-mehanizovanog voda. Izrazit rast gotovosti počinje od vrednosti verovatnoće popunjenosti 0,7, pa je razlika gotovosti borbenih vozila 2,4% za vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima 0,99 i 0,7.

Funkcija gotovosti borbenih vozila pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na nivou brigade,

označena brojem 623, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma trećeg stepena. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 61,6%, a pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 vrednost gotovosti je 68,3%. Ukupna razlika gotovosti je 6,7%, što je 34,9 borbenih vozila ili više od tri oklopno-mehanizovane čete.

Funkcija gotovosti borbenih vozila ima izražen rast za vrednosti verovatnoće popunjenosti na segmentu od 0,1 do 0,8. Na tom segmentu razlika gotovosti je 6,2%, što je 32,3 borbenih vozila ili nešto više od tri oklopno-mehanizovane čete. Srednji prirast gotovosti je oko 0,6%, pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1. Iznad vrednosti verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima 0,8, teorijska kriva ima vrlo mali prirast. Na segmentu verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima od 0,8 do 0,99 razlika gotovosti bor-

benih vozila je 0,5%, što je 2,6 borbenih vozila ili nešto manje od jednog oklopno-mehanizovanog voda.

Funkcija gotovosti borbenih vozila pri promeni verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na strategijskom nivou, označena brojem 624, aproksimirana je teorijskom krivom u obliku polinoma trećeg stepena. Vrednost gotovosti borbenih vozila pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,1 je 62,4%, a pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima 0,99 vrednost gotovosti je 65,2%. Ukupna razlika gotovosti je 2,8%, što je 14,5 borbenih vozila ili oko 1,5 oklopno-mehanizovana četa. Funkcija gotovosti borbenih vozila ima stalni blagi rast i ne može se izdvojiti ni jedan segment verovatnoće popunjenosti rezervnim delovima na kojem ima bitne promene u rastu. Srednji prirast gotovosti je oko 0,3% pri promeni verovatnoće popunjenosti za 0,1.

Upoređujući razliku gotovosti borbenih vozila po ovim eksperimentima može se zaključiti da najveći uticaj na gotovost borbenih vozila ima snabdevenost rezervnim delovima na nivou brigade. U odnosu na snabdevenost rezervnim delovima na nivou bataljona, uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na nivou brigade je 1,55 puta izraženiji, a u odnosu na snabdevenost na strategijskom nivou izraženiji je 2,39 puta.

Zaključak

Da bi se istražio uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima, bilo je neophodno analizirati uticaj strukture sistema snabdevanja, tronivojske i

četvoronivojske, uticaj svakog nivoa snabdevanja i uticaj snabdevenosti rezervnim delovima svakog nivoa snabdevanja. Izvršeno je eksperimentisanje na razvijenom simulacionom modelu održavanja, izvlačenja i evakuacije u borbenim dejstvima, prema planu eksperimenta. Rezultati eksperimenata predstavljaju statistički obrađen broj ispravnih borbenih vozila na kraju 12. dana borbenih dejstava, a prikazani su u grafičkoj formi pogodnoj za analiziranje uticaja navedenih faktora sistema snabdevanja rezervnim delovima.

Iz sprovedenog istraživanja može se zaključiti da:

- tronivojski sistem snabdevanja rezervnim delovima, u svim izvedenim eksperimentima, daje veću gotovost borbenih vozila u borbenim dejstvima u odnosu na četvoronivojski sistem snabdevanja;

- isti nivo gotovosti borbenih vozila može se postići manjim zalihama rezervnih delova, primenom tronivojskog sistema snabdevanja, nego što je to potrebno primenom četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima;

- snabdevenost rezervnim delovima na taktičkom nivou ima presudan uticaj na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima;

- snabdevenost rezervnim delovima na nivou brigade ima najveći uticaj na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima;

- povećanje snabdevenosti rezervnim delovima na taktičkom nivou snabdevanja ima neuporedivo veći uticaj na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima nego povećanje snabdevenosti rezervnim delovima viših nivoa snabdevanja;

– istovetna popunjenost rezervnim delovima na svim nivoima snabdevanja obezbeđuje veću gotovost borbenih vozila u oba primenjena sistema snabdevanja, ali samo pri verovatnoći popunjenosti rezervnim delovima iznad 0,4;

– kada je snabdevenost rezervnim delovima vrlo visoka nije bitno koji sistem snabdevanja je primenjen – troni vojski ili četvoronivojski;

– verovatnoća popunjenosti rezervnim delovima iznad 0,8 nema ekonomskog opravdanja, jer se daljim povećanjem zaliha ne povećava gotovost borbenih vozila.

Rezultati istraživanja nedvosmisleno pokazuju da bi se uvođenjem troni vojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima postigla veća gotovost borbenih vozila u borbenim dejstvima, što bi moglo intenzivirati istraživanja na polju projektovanja sistema snabdevanja rezervnim delovima i u operativnom upravljanju sistemom.

U narednim istraživanjima bilo bi neophodno odrediti asortiman rezervnih delova za reprezentativna borbenih vozila, koji bi se čuvao na pojedinim nivoima snabdevanja, u skladu sa nadležnostima svakog nivoa u sistemu održavanja. S obzirom na istražen uticaj verovatnoće po-

punjenosti rezervnim delovima svakog nivoa snabdevanja, asortiman rezervnih delova uslovljen je željenim nivoom gotovosti borbenih vozila u borbenim dejstvima. Pri određivanju asortimana težište bi trebalo da bude na onim rezervnim delovima koji ispoljavaju direktan uticaj na gotovost borbenih vozila, što je presudno za period borbenih dejstava.

Uvođenjem troni vojskog sistema snabdevanja nastali bi izvesni troškovi, kao posledica nužnih preformacija pojedinih ustanova i skladišta rezervnih delova. Međutim, kako bi se tada celokupne rezerve rezervnih delova informatički objedinile, predislokacija postojećih skladišta sa sadašnjih lokacija ne bi bila neophodna.

Literatura:

- [1] Stanojević, P.; Bukvić, V.; Mišković, V.: Model za simulaciju sistema održavanja, izvlačenja i evakuacije u borbenim dejstvima, studija, Vojnotehnička akademija VJ, Beograd, 1999.
- [2] Đukić, D.: Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost borbenih vozila u borbenim dejstvima, magistarski rad, Vojna akademija, Beograd, 2003.
- [3] Mišković, V.; Bukvić, V.; Stanojević, P.: Kvantifikacija i oblik uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sistema, Vojnotehnički glasnik, 2/2003.
- [4] Stanojević, P.: Uticaj tehničkih faktora na organizacionu strukturu sistema održavanja, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
- [5] Stanojević, P.; Bukvić, V.; Mišković, V.: Osnovna analiza karakteristika predloženog varijantnog rešenja organizacije održavanja materijalnih sredstava, studija, Vojnotehnička akademija VJ, Beograd, 2000.

Dr Slavko Pokorni,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd
Profesor dr Rifat Ramović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Beograd

POUZDANOST I RASPOLOŽIVOST REZERVIRANOG TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA SA ČETIRI CENTRALE

UDC: 621.39.004.15 : 519.217

Rezime:

U radu su predstavljeni grupisanje stanja, dijagrami stanja i rezultati analize pouzdanosti (srednje vreme do otkaza) i raspoloživosti devet varijanti telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks-vezama, bez dijagonalnih veza, sa jednom i sa dve dijagonale, bez i sa rezerviranim i potpuno pouzdanim telekomunikacionim centralama. Date su i zavisnosti verovatnoće ispravnog rada (pouzdanost) od vremena, za određen skup ulaznih podataka za svaku od varijanti.

Ključne reči: pouzdanost, raspoloživost, telekomunikacioni sistem, modeli Markova.

RELIABILITY AND AVAILABILITY OF A REDUNDANT TELECOMMUNICATION SYSTEM WITH 4 STATIONS

Summary:

The paper presents groups of states, diagrams of states and results of analysis for reliability (mean time to failure) and availability of nine variants of a telecommunication system comprising four telecommunication stations connected in a ring by duplex lines, without diagonal lines or with one and two diagonal lines, without and with redundant and with reliable telecommunication stations. The diagrams for reliability versus time for assumed input data for each variant are given.

Key words: reliability, availability, telecommunication system, Markov models.

Uvod

Pouzdanost i raspoloživost važni su pokazatelji kvaliteta bilo kojeg tehničkog sistema. Njihovo određivanje kod složenijih sistema, posebno redundovanih i opravljivih, može biti komplikovano i zahtevati dosta vremena i napora. Za formiranje modela pouzdanosti i raspoloživosti takvih sistema pogodni su modeli Markova [1–4]. Na osnovu tako dobijenih modela pouzdanosti i raspoloživosti mogu se upoređivati različite varijante konkretnog sistema radi izbora optimalne varijante.

Problem se javlja kada je broj stanja, u kojem se sistem može naći, veliki, jer je tada potrebno rešavati veliki broj jednačina, što može biti vrlo teško, a nekad i praktično nemoguće. Ovaj problem može se prevazići pogodnim grupisanjem pojedinih stanja, pa se sistem jednačina postavlja za grupe stanja u kojima se posmatrani sistem može naći, čime se smanjuje broj jednačina. U tom slučaju potrebno je naći uslove verovatnoće prelaza između pojedinih grupa stanja, što podrazumeva sprovođenje praktično istog postupka proračuna, ali za manji

broj stanja u okviru pojedinih grupa stanja između kojih se traže uslovne verovatnoće prelaza. Ovaj pristup autori su razvili i primenili na nekoliko primera telekomunikacionih sistema [5–10].

Do sada su u [5, 6] izvedene relacije za pouzdanost i raspoloživost za telekomunikacioni sistem od četiri u prsten povezane TK centrale sa neredundovanim TK centralama, a u [7, 10] prikazani su modeli za pouzdanosti i za varijantu sa redundovanim TK centralama i analizirana pouzdanost za različite brzine opravki, dok su u [8] izvedene relacije za srednje vreme do otkaza za obe varijante i za vezu pouzdanosti i troškova realizacije sistema koji omogućuju optimizaciju sistema sa stanovišta cena/pouzdanost. U [9] su prikazani dijagrami stanja za pouzdanost i raspoloživost i izvedene relacije za uslovne intenzitete prelaza telekomunikacionog sistema sa četiri TK centrale vezane u prsten i sa dve dijagonalne veze.

Model isplativosti rezerviranja, odnosno optimizacije troškova zbog rezerviranja TK centrala za varijantu sistema sa četiri TK centrale povezane u prsten izveden je u [8].

U ovom radu komparativno se analizira pouzdanost i raspoloživost rezerviranog telekomunikacionog sistema koji se sastoji od četiri telekomunikacione (TK) centrale, odnosno primopredajnika povezana u prsten dupleks vezama, kao osnovne konfiguracije. Rezerviranje se sastoji u uvođenju jedne ili dve dijagonalne veze između TK stanica u prstenu, i uvođenju po jedne rezervne TK centrale za svaku od TK centrala. Pored uporednog pregleda stanja svih varijanti, dati su i dijagrami stanja svih varijanti na osno-

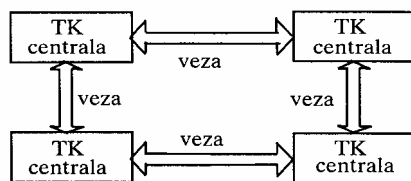
vu kojih je obavljeno izvođenje relacija za pouzdanost i raspoloživost primenom modela Markova. Postupak izvođenja i dobijene relacije ovde nisu prikazane zbog njihovog obima, ali za određene varijante su prikazane u ranijim radovima autora, kako je to u uvodu navedeno.

Konfiguracije sistema

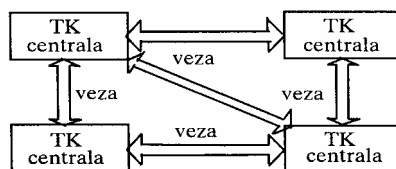
Razmatraju se telekomunikacioni sistemi koji se sastoje od četiri telekomunikacione (TK) centrale koje mogu biti nerezervirane ili rezervirane, a povezane su dupleks vezama:

- u prsten, kao na slici 1;
- u prsten sa jednom dijagonalom, kao na slici 2;
- u prsten sa dve dijagonale, kao na slici 3.

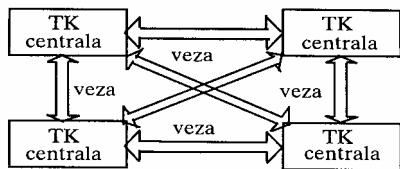
Ako se uzme u obzir da u svakoj od ovih varijanti TK centrale mogu biti ne-



Sl. 1 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten dupleks vezama



Sl. 2 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i jednom dijagonalom



Sl. 3 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i dve dijagonale

rezervirane ili rezervirane, onda se razmatra ukupno šest varijanti. Kasnije u proračunima je uzet i slučaj potpuno pouzdanih TK centrala, pa se, u stvari, razmatra ukupno devet varijanti.

Komunikacija između dve TK centrale može se ostvariti direktno između centrala koje su povezane linijom veze u prsten, ili preko tranzitne centrale (u slučaju otkaza jedne linije veze u prstenu, dve TK centrale između kojih je otkazala linija veze mogu da komuniciraju preko TK centrale koja se nalazi između njih).

Sistemi rade ispravno, ako su sve četiri TK centrale (ili njihove redundanse u rezerviranoj varijanti) ispravne, i ako je moguće uspostaviti vezu između njih. Sistemi ne rade ispravno ako je bar jedna TK centrala (i njena redundansa u rezerviranoj varijanti) neispravna ili ako su sve TK centrale (ili njihove redundanse u rezerviranoj varijanti) ispravne, ali ne postoji mogućnost uspostavljanja veze između svake od njih.

Stanja sistema

S obzirom na to da, u opštem slučaju, može da otkaze svaka od linija veza i svaka od četiri TK centrale, broj stanja u kojima se može naći sistem sa slike 1, a pogotovo sistem na slici 2 ili 3 je veliki,

što veoma komplikuje proračun pouzdanosti i raspoloživosti. Radi pojednostavljenja proračuna, sva ta stanja se mogu, na primer za varijantu na slici 1, svrstati u pet grupa koje se mogu nazvati osnovnim stanjima, a ostala stanja proglasiti za podstanja osnovnih stanja, i na taj način formirati sistem jednačina, imajući u vidu da treba odrediti i uslovne intenzitete prelaza između pojedinih grupa stanja, kao što je to objašnjeno i urađeno u [4, 5, 6]. Za sisteme na slici 1, 2 i 3 pregled grupisanja stanja, zavisno od toga koliko je telekomunikacionih centrala i linija veza ispravno (oznaka +) ili neispravno (oznaka –) i broja podstanja za svako stanje, prikazan je u tabeli 1.

U koloni su za broj podstanja dati brojevi podstanja za nerezerviranu varijantu sistema i rezerviranu varijantu sistema odvojeni kosom crtom. Indeks „p“ uz broj u istoj koloni označava da sistem radi ispravno (povoljno stanje), a brojevi bez indeksa da sistem tada ne radi ispravno. Sistem na slici 1 ima pet grupa stanja, sistem na slici 2 – 8 grupa, a sistem na slici 3 – 10 grupa stanja.

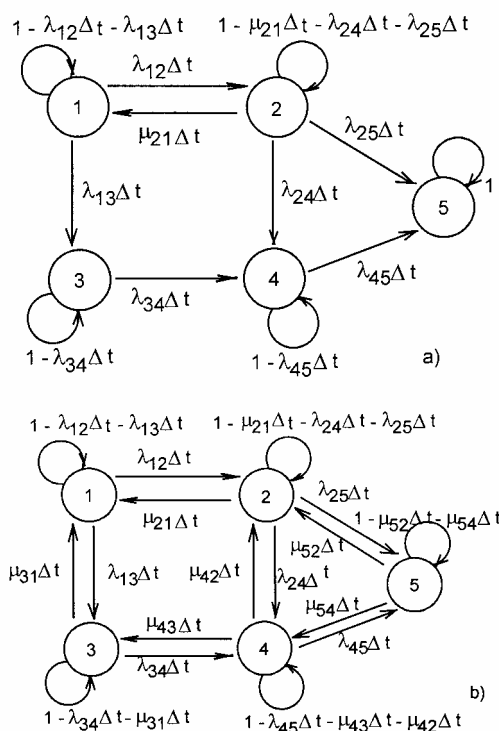
Zbog obima i komplikovanosti sistema jednačina, izraza za uslovne intenzitete prelaza, kao i konačnih izraza koji se dobijaju za pouzdanost i raspoloživost ovih sistema, oni ovde nisu prikazani, jer su za sistem sa slike 1 prikazani u radovima [6, 7, 10], a za sistem sa slike 3 u [9].

Dijagrami prelaza između pojedinih stanja za pouzdanost i raspoloživost, za sisteme na slikama 1, 2 i 3 prikazani su na slikama 4, 5 i 6 respektivno. Dijagrami prelaza između pojedinih stanja za varijante sa rezerviranim TK centralama po obliku su isti kao i za sisteme sa nerezerviranim TK centralama, ali sa drugačijim intenzitetima prelaza između pojedinih stanja.

Tabela 1

Grupisanje stanja sistema po varijantama
(nerezervirani/rezervirani)

R. br.	Varijanta sistema sa 4 TK centrale								
	Prsten			Prsten sa 1 dijag.			Prsten sa 2 dijag.		
	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.	TK centrale	Linije veza	Broj podstanja ner./rez.
1.	+	+	1p/16p	+	+	1p/16p	+	+	1p/16p
2.	+	1-	4p/64p	+	1-	5p/80p	+	1-	6p/96p
3.	bar 1-	+	15/65	+	2-	2p/128p	+	2-	15p/240p
4.	bar 1-	1-	60/260	+	2-	2/32	+	3-	16p/256p
5.	+	bar 2-	176/891	bar 1-	+	16/65	+	3-	4/64
6.				bar 1-	1-	75/325	bar 1-	+	15/65
7.				bar 1-	bar 2-	150/650	bar 1-	1-	90/390
8.				+	bar 3-	256/1296	bar 1-	2-	225/975
9.							bar 1-	3-	300/1300
10.							+	bar 4-	325/1782
Ukupno			256/1296			507/2572			997/4914



Sl. 4 – Polazni grafički prikaz modela Markova za
a) pouzdanost, b) raspoloživost sistema sa 4 TK
centrale povezane u prsten

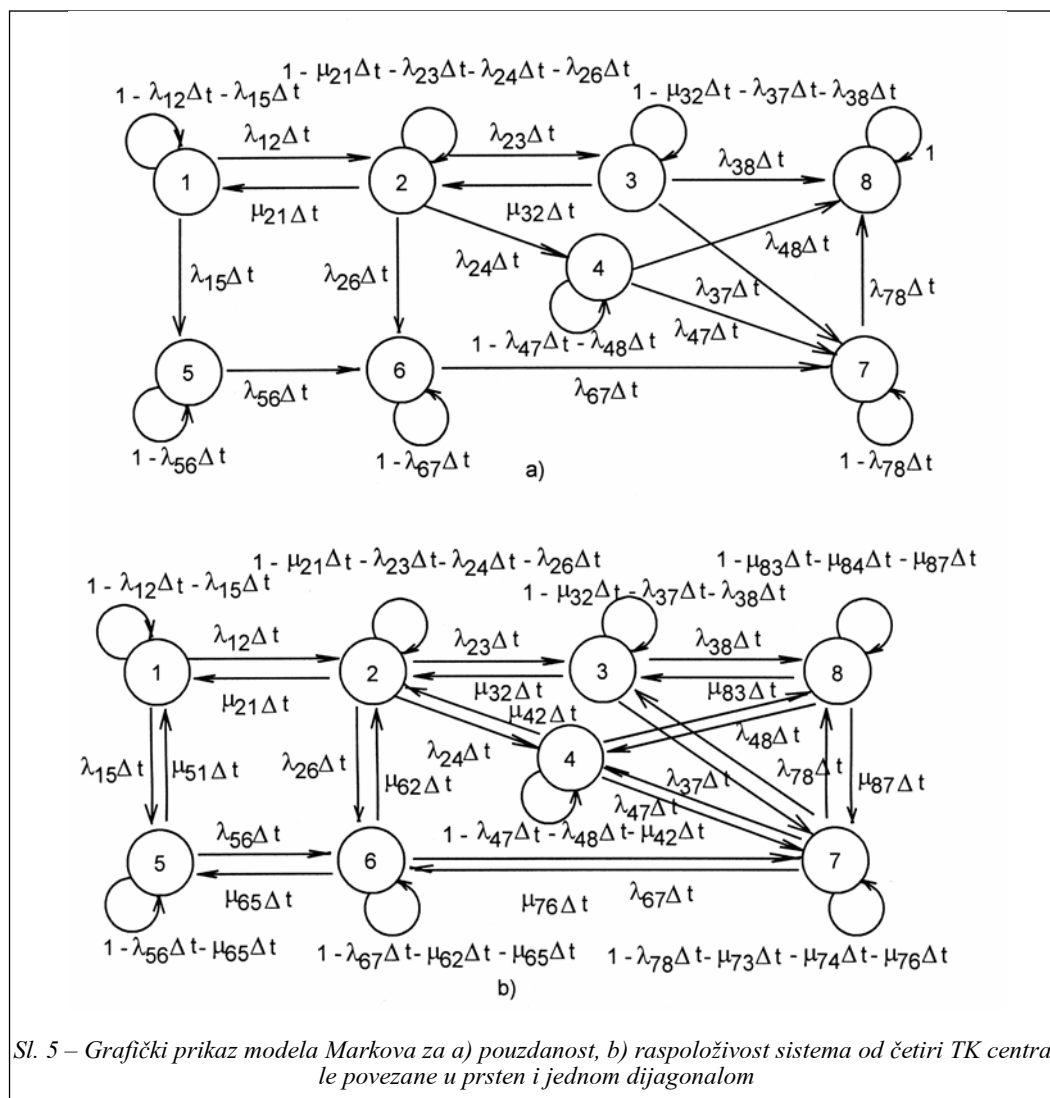
Rezultati proračuna

Rezultati proračuna raspoloživosti (A) u stacionarnom režimu i srednjeg vremena do otkaza (MTTF), za intenzitet otkaza TK centrala (primopredajnika) $\lambda_p=0,00001 \text{ h}^{-1}$ i linija veza $\lambda_v=0,00005 \text{ h}^{-1}$, kao i intenzitet opravke TK centrala $\mu_p=0,1 \text{ h}^{-1}$ i linija veza $\mu_v=0,1 \text{ h}^{-1}$ prikazani su u tabeli 2. Na slikama 7 do 9 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti od vremena, za nekoliko različitih vrednosti intenziteta otkaza linija veza (prikazane su na dijagramima u uokvirenim poljima), uključujući i ove prethodne podatke za intenzitet otkaza i opravke TK centrala i linija veza, za sistem vezan u prsten (slika 1) za pouzdane, nerezervirane i rezervirane TK centrale, respektivno. Slično, na slikama 10 do 12 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti za sistem sa jednom dijagonalnom vezom (slika 2), a na slikama 13 do 15 prikazani su dijagrami zavisnosti pouzdanosti za sistem sa dve dijagonalne veze (slika 3).

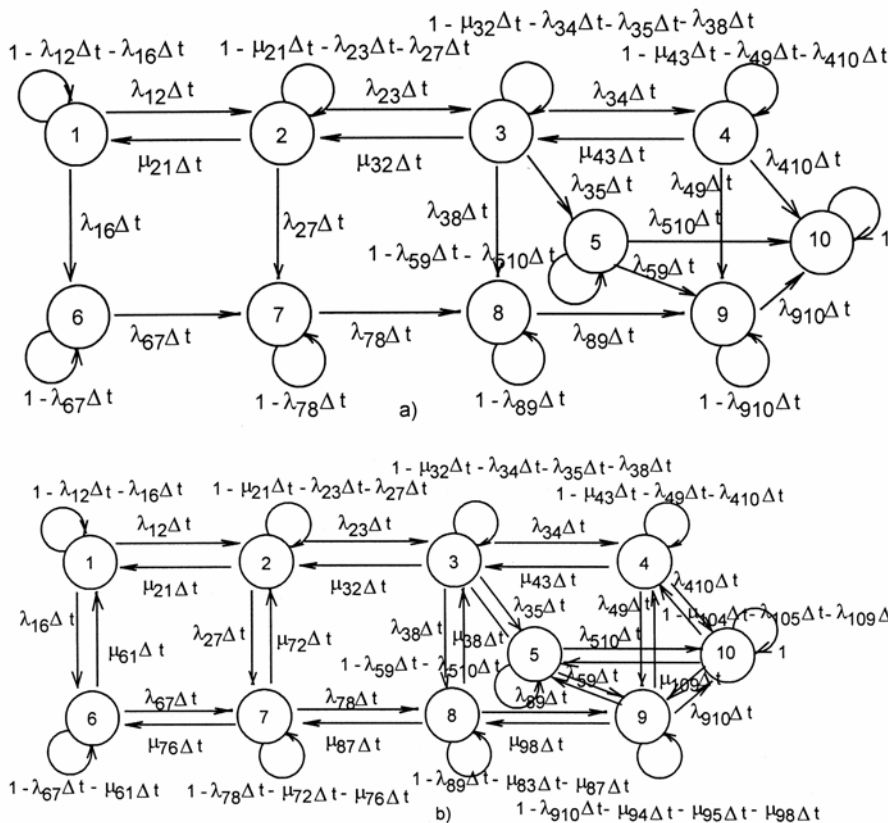
Tabela 2

Raspoloživost (A) i srednje vreme do otkaza (MTTF)

TK centrale	Raspol./pouzdl.	Varijanta sistema		
		var. na slici 1	var. na slici 2	var. na slici 3
Nerezervirane	A	0,9996	0,9980**	0,9996
	MTTF	248 070	249 290	249 910
Rezervirane	A	0,9998	0,9970**	1
	MTTF	1 940 700	1 979 300	1 997 900*
Pouzlane	A	1	1	1
	MTTF	1 941 400	1 980 100	1 995 900

* – $\lambda_v = 0,0001 \text{ h}^{-1}$; ** – $\mu_p = 0,01 \text{ h}^{-1}$ 

Sl. 5 – Grafički prikaz modela Markova za a) pouzdanost, b) raspoloživost sistema od četiri TK centrale povezane u prsten i jednom dijagonalom



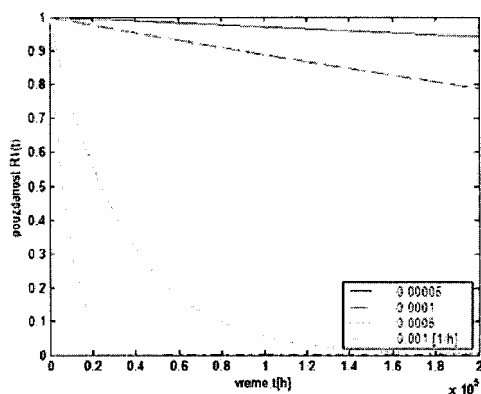
Sl. 6 – Grafički prikaz modela Markova za a) pouzdanost, b) raspoloživost sistema od četiri TK centrale povezane u prsten i dve dijagonale

Rezultati pokazuju da sistem sa dve dijagonale ima najbolje karakteristike u pogledu pouzdanosti i raspoloživosti, a da se sistemi sa rezerviranim TK centralama približavaju mogućnostima sistema sa pouzdanim TK centralama. Iz tabele 2 takođe se vidi da se rezerviranjem TK centrala znatno povećava MTTF u odnosu na nerezervirani sistem. Za razumevanje rezultata za raspoloživost u tabeli 2, treba imati u vidu da je za intenzitet opravke centrala u varijanti sistema sa jednom dijagonalom (slika 2) uzeto $\mu_p = 0,01 \text{ h}^{-1}$, a ne $0,1 \text{ h}^{-1}$ kao za ostale va-

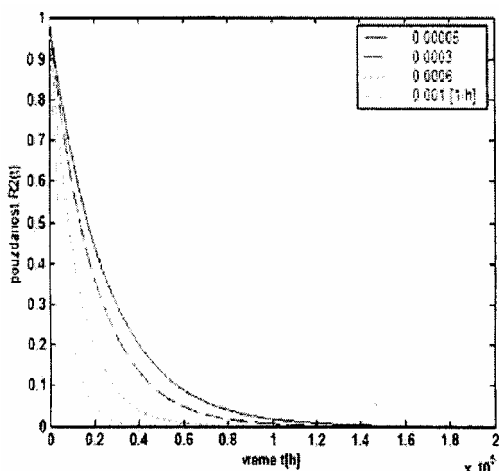
rijante (ti rezultati su u tabeli 2 označeni sa dve zvezdice).

Zavisnost pouzdanosti od vremena, za sistem sa TK centralama vezanim u prsten, pokazuje da kod varijante sa nerezerviranim TK centralama brzo dolazi do opadanja pouzdanosti sa vremenom (slika 8), dok se varijanta sa pouzdanim TK centralama ne razlikuje bitno od varijante sa rezerviranim TK centralama (slike 7 i 9). Takođe, uočava se da povećanje intenziteta otkaza linija veza (podaci u okviru na slikama) znatno utiče na smanjenje pouzdanosti sistema, pogotovo

ako se radi o sistemu sa nerezerviranim TK centralama. Očigledno je da se, uz odgovarajući nivo pouzdanosti linija veza i rezerviranjem TK centrala, može postići pouzdan sistem u celini.

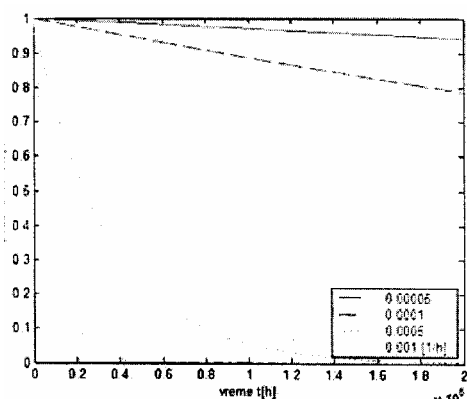


Sl. 7 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa pouzdanim TK centralama

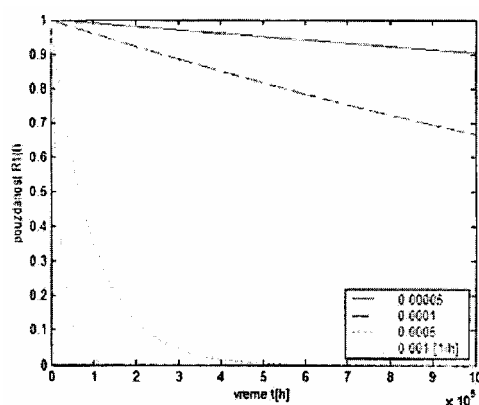


Sl. 8 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa nerezerviranim TK centralama

Slični zaključci mogu se izvesti i za varijantu sistema sa jednom dijagonalnom vezom (slike 10 do 12) i sa dve dijagonalne veze (slike 13 do 15), s tim što je opadanje pouzdanosti sa vremenom blaže kod sistema sa dve dijagonalne veze i rezerviranim TK centralama (slika 15) u odnosu na sistem sa jednom dijago-

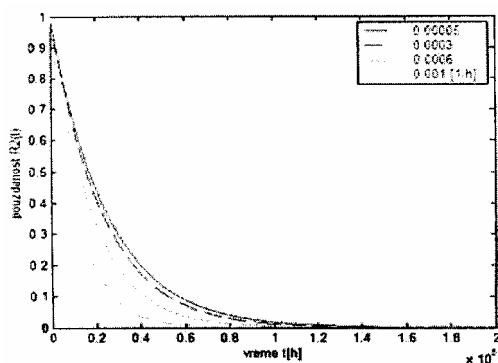


Sl. 9 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 1 sa rezerviranim TK centralama

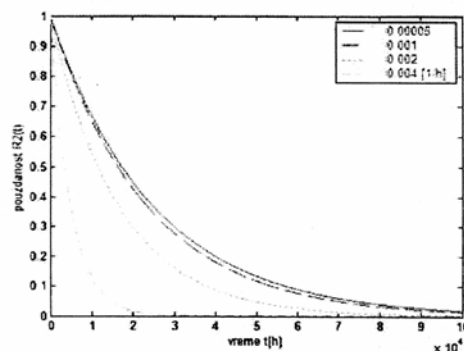


Sl. 10 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa pouzdanim TK centralama

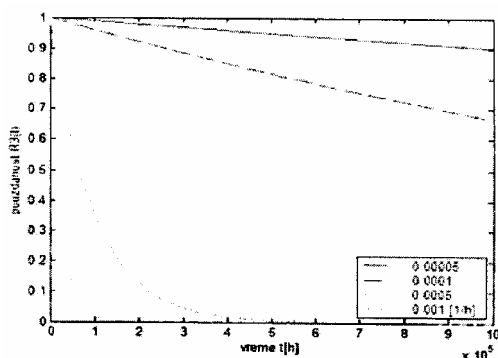
nalnom vezom i rezerviranim TK centralama (slika 12), pogotovo ako se radi o manje pouzdanim linijama veza. To znači da je uvođenje dijagonalnih linija veza ekvivalentno izvesnom rezerviranju linija veza. Iz prikazanih rezultata može se uočiti da uvođenje dijagonalnih veza uto-liko više utiče na povećanje pouzdanosti ukoliko su linije veze nepouzdanije, tj. njihov intenzitet otkaza u odnosu na intenzitet otkaza TK centrala je veći ($\lambda_p \ll \lambda_v$), slično kao kod paralelne konfiguracije elemenata sa stanovišta pouzdanosti.



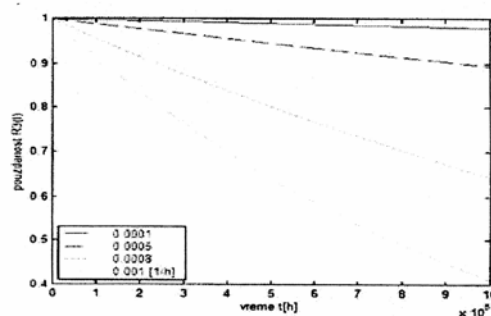
Sl. 11 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa nerezerviranim TK centralama



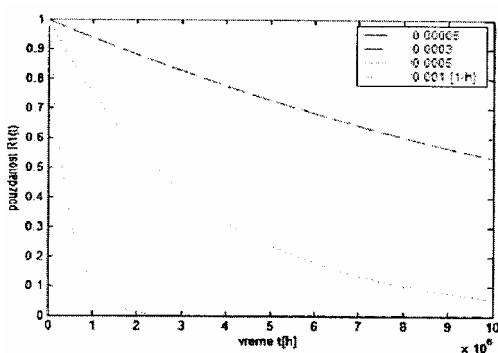
Sl. 14 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa nerezerviranim TK centralama



Sl. 12 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 2 sa rezerviranim TK centralama



Sl. 15 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa rezerviranim TK centralama



Sl. 13 – Pouzdanost sistema prikazanog na slici 3 sa pouzdanim TK centralama

Zaključak

U radu su analizirani pouzdanosti i raspoloživosti za devet varijanti telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks veza: varijanta veze u prstenu (bez dijagonalnih veza), varijanta sa jednom i varijanta sa dve dijagonale. Svaka od ove tri varijante posmatrana je i u sledeće tri varijante: bez rezerviranja i sa rezerviranjem telekomunikacionim centralama, i sa potpuno pouzdanim telekomunikacionim centralama.

Prikazane su mogućnosti grupisanja stanja radi smanjenja broja jednačina koje treba rešavati pri analizi pouzdanosti i raspoloživosti sistema sa velikim brojem stanja primenom modela Markova.

Prikazani su i dijagrami stanja, rezultati dobijeni za srednje vreme do otkaza i raspoloživost u stacionarnom stanju, kao i dijagrami zavisnosti verovatnoće ispravnog rada (pouzdanost) od vremena za određeni skup ulaznih podataka za svaku od varijanti.

Rezultati analize, odnosno proračuna pouzdanosti za razmatrane varijante telekomunikacionog sistema, pokazuju da sistem od četiri TK centrale povezane u prsten i sa dve dijagonalne veze ima najbolje karakteristike u pogledu pouzdanosti i raspoloživosti, i da se sistemi sa rezerviranim telekomunikacionim centralama približavaju mogućnostima sistema sa pouzdanim telekomunikacionim cen-

tralama. Isplativost rezerviranja može se analizirati kako je predloženo u [8].

Literatura:

- [1] Clymer, J. R.: System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall Int. Inc., Toronto, 1990.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [3] Pokorni, S.; Ramović, R.; Parčina, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, zbirka rešenih zadataka, VA VI, Beograd, 1997.
- [4] Pokorni, S.: Pouzdanost i održavanje tehničkih sistema, Vojna akademija, Beograd, 2002.
- [5] Ramović, R.; Pokorni, S.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2001, str. 141–144.
- [6] Pokorni, S.; Ramović, R.: Analiza pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri telekomunikacione centrale povezane u prsten, Vojnotehnički glasnik, 3/2000, str. 255–262.
- [7] Pokorni, S.; Ramović, R.: Analiza pouzdanosti i raspoloživosti jednog telekomunikacionog sistema modelima Markova, 5. međunarodna konferencija DQM-2002.
- [8] Pokorni, S.; Ramović, R.: Optimizacija pouzdanosti i troškova redundovanja jednog telekomunikacionog sistema, Zbornik radova SYM-OP-IS-2002, str. XI-1–XI-4.
- [9] Ramović, R.; Pokorni, S.; Miroslavljević, B.: Modelovanje pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2002, str. 125–128.
- [10] Pokorni, S.; Ramović, R.: Reliability and availability of telecommunication system of four ring connected stations, Communications in Dependability and Quality Management, An International Journal, Vol. 6, No. 1, 2003, pp 6–17.

Dr Zoran Ristić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

NEKE KARAKTERISTIKE PROTOČNIH OTVORA HIDRAULIČNE KOČNICE TRZANJA ARTILJERIJSKIH ORUĐA

UDC: 62-592.2.000.532.5 : 623.41/.42

Rezime:

U radu su prikazani tipični oblici protočnih otvora hidrauličnih kočnica artiljerijskih oruđa i njihove osnovne karakteristike. Izvršena je analiza koeficijenata protoka tečnosti i koeficijenta otpora proticanja tečnosti za različitu geometriju protočnih otvora na osnovu eksperimentalnih podataka. Data je metodologija određivanja koeficijenta otpora proticanja tečnosti i uticaj na veličinu sile otpora hidraulične kočnice trzanja.

Ključne reči: hidraulična kočnica, artiljerijska oruđa, protočni otvori, koeficijent otpora proticanja.

SOME CHARACTERISTICS OF THE ORIFICE AREAS IN HYDRAULIC RECOIL BRAKES ON ARTILLERY WEAPONS

Summary:

This work presents some common forms of the orifice area in hydraulic recoil brakes and their basic characteristics. The analysis of the fluid flow coefficient and the flow resistance coefficient is performed for various geometry surface areas on the basis of experimental data. The methodology of determining the flow resistance coefficient and its influence on the hydraulic braking force has been given.

Key words: hydraulic brake, artillery weapon, orifice area, flow resistance coefficient.

Uvod

Problem proticanja tečnosti kroz cevi, naročito poslednjih godina, inicirao je relativno veliki broj eksperimenata i teorijskih radova iz te oblasti. U većini ovih radova razmatraju se zakonitosti proticanja uglavnom idealne tečnosti, a manje viskoznih tečnosti, posebno ne na način koji odgovara realnom procesu u hidrauličnoj kočnici (HK) oruđa. Neki autori problem hidrauličnih kočnica oruđa tesno vezuju bilo za studiju proticanja kroz cevi, bilo kroz dijafragme. Sve zavisi od toga da li se otvor za proticanje teč-

nosti u klipu HK razmatra kao „cev“ ili samo kao „otvor“ u tankoj pregradi.

Bitna razlika između ovih otvora je u tome što kod cevi najveći značaj ima dužina i prečnik, a kod dijafragmi ulazni i izlazni oblik otvora. Treba naglasiti da su protočni otvori u hidrauličnim cilindrima na kočnicama oruđa, koji propuštaju tečnost s jedne strane klipa na drugu, vrlo slični dijafragmama. Uloga dijafragme HK sastoji se u stvaranju razlike pritiska između jedne i druge strane dijafragme, kao i da naglim smanjenjem preseka za proticanje u cilindru transformiše energiju pritiska u kinetičku energiju.

Hidraulično funkcionisanje dijafragme karakteriše se, pre svega, koeficijentom protoka ξ_p , a kada se radi o problemu HK, i koeficijentom otpora proticanja k . Oba koeficijenta određuju se na isti način, merenjem protoka Q (m^3/s) pod izvesnim pritiskom. Za viskozne tečnosti važi relacija [1]:

$$Q = \xi_p a \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (1)$$

gde je:

μ – koeficijent kontrakcije,

a – presek protočnog otvora,

Δp – razlika pritiska između dve tačke s jedne i druge strane dijafragme,

ξ – koeficijent gubitaka (obuhvata unutrašnja trenja realne tečnosti),

ρ – gustina protočne tečnosti,

Ako se uzme da je $\xi_p = \xi_p$ onda se prema (1) za koeficijent protoka dobija:

$$\xi_p = \frac{Q}{a \sqrt{2\Delta p / \rho}} \quad (2)$$

Analogno, prema [2], za koeficijent otpora proticanja k dobija se ista relacija. Ovako definisani koeficijenti međusobno se razlikuju za veličine pada pritiska Δp merenog u prostoru iza dijafragme. U praktičnoj upotrebi postoji određeni broj dijafragmi koje su normalizovane, sa tačno određenim dimenzijama i hidrauličnim karakteristikama. U praksi HK mogu se naći slučajevi više varijanti osnovnih tipova dijafragmi, pri čemu se svaka od varijanti može kombinovati sa prstenastim oblikom protočnog otvora.

Neki rezultati eksperimenata ovih dijafragmi mogu da se primene i na pro-

točne otvore u HK, uz veću ili manju tačnost rezultata, s obzirom na to da su i metode merenja protoka u principu mnogobrojne i vrlo različite.

Cilj je da se iz dobijenih rezultata sa merenjem protoka dođe do zaključka koji će korektno moći da se primeni na određivanje hidrauličnih karakteristika nekog već usvojenog protočnog otvora u HK određenog tipa.

Eksperimentalna istraživanja

U široj literaturi [3 i 4] mogu se naći brojni podaci o eksperimentalnom određivanju koeficijenta protoka i otpora tečnosti kroz različite tipove dijafragmi. Rezultati su prikazani u funkciji Re-broja koji se može odnositi na otvore prečnika u dijafragmi ili na presek same cevi u kojoj je smeštena dijafragma. Dijafragme, geometrijski slične i postavljene u slične cevi, takođe se mogu izraziti u funkciji od Re-broja i odnosa prečnika dijafragme i cevi.

$$\xi_p = f \left(\text{Re}, \frac{d}{D} \right)$$

Od brojnih eksperimenata sa dijafragmama, raznih autora (Johansen, Hodgson, Daugherty, Witte, Hansen, Jakob i dr.), ovde će biti navedeni neki važniji rezultati koji su karakteristični za HK. Pri tome, treba napomenuti da je za HK mnogo značajnije poznavanje i određivanje koeficijenta otpora proticanja k . Prema karakteru promene k u funkciji od Re-broja važno je da se odredi vrednost Re pri kojem k postaje konstantno. Budući da se pri određivanju k pad pritiska Δp meri u tačkama gde tečni mlaz potpu-

no ispunjava cilindar, to se između posmatranih preseka moraju uvažiti svi padovi pritiska prema Bernuli-Bordinoj jednačini. Tako se, za realne tečnosti na osnovu poznatih jednačina i jednačine kontinuiteta, u slučaju naglog proširenja preseka za pad pritiska dobija [2]:

$$\Delta p = \frac{1}{k^2} (1 - m)^2 \frac{\rho w^2}{2} \quad (3)$$

gde je:

k – koeficijent otpora proticanja,

$k = f(Re)$, $m = (d/D)^2$ i

w – brzina strujanja tečnosti.

Relacija (3) omogućava da se za definisane protočne otvore u HK određenog tipa, korišćenjem eksperimentalnih ili proračunskih rezultata, mogu sasvim korektno utvrditi vrednosti koeficijenta otpora (k). Ova činjenica iskorišćena je u daljem radu.

Očigledno je da bi koeficijent k trebalo da se razlikuje od koeficijenta protoka ξ_p za veličinu pada pritiska iza dijafragme koji se obično ne obuhvata merenjem protoka. Međutim, iz eksperimentalnih rezultata određivanja zavisnosti vidi se da ξ_p , $k = f(Re)$ na dijafragmama sa različitim otvorima (Ruppel je ispitao 26 dijafragmi sa otvorima $m = 0,04 \div 0,6$, a Dumez sa tečnostima raznih viskoznosti i $Re < 1000$). Eksperimenti Shlaga i Wittea pokazali su da:

- ispred dijafragme razlika između pritiska dobijenog standardnim merenjem u blizini protočnog otvora i pritiska dobijenog u tački gde tečni mlaz potpuno ispunjava cev, može dostići 15% standardnog pritiska;

- iza dijafragme, pri čemu je merenje pritiska vršeno na odstojanju od 3D

do 5D, ova razlika pritiska može dostići 50% standardnog pritiska za odnos $d/D = 0,2$, odnosno 5% standardnog pritiska za odnos $d/D = 0,7$.

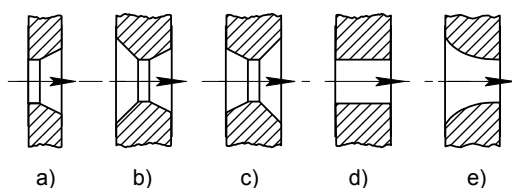
Kako je u HK protočni otvor mali u odnosu na cev, tj. hidraulični cilindar u kome se kreće klip ($m < 0,04 \div 0,09$), može se očekivati da će i razlike između koeficijenata k i ξ_p biti relativno male. Pri većim Re -brojevima oba koeficijenta su konstantna, a koeficijent k može se dobiti iz ξ_p , tako što se pri $d/D = (0,05 \text{ i } 0,1)$ koeficijent ξ_p poveća za 1%, odnosno 2% [2]. Takođe, utvrđeno je da pri velikim Re brojevima koeficijenti protoka i otpora teže da se izjednače sa koeficijentom kontrakcije tečnosti μ . Kod srednjih i malih Re brojeva oba koeficijenta teže da se izjednače, i oba se potpuno razlikuju od koeficijenta kontrakcije.

Za protivtrajuće uređaje uopšte, a za HK posebno, značajno je da se za razne oblike protočnog otvora utvrdi pri kojem najmanjem Re -broju koeficijent protoka postaje konstantan ($\xi_p = \text{const}$). U odnosu na klasičnu metodu, poboljšani model proračuna hidrauličnih parametara kočnice treba da omogućiti utvrđivanje vrednosti $k = f(Re)$ za celi proces kretanja klipa pri trzanju.

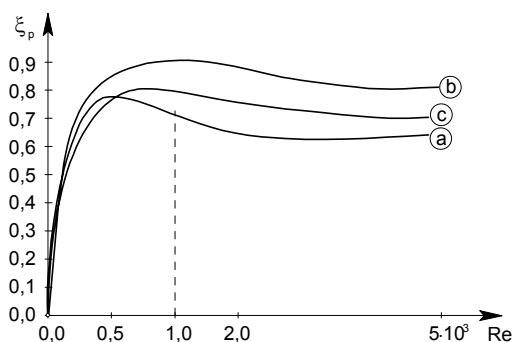
Od brojnih eksperimentalnih rezultata sa kružnim otvorima, čiji je odnos $d/D < 0,3$, a koji se navode u [2] i [5], na slici 1 predstavljeni su samo oni koji su tipični i najčešće korišćeni pri projektovanju HK na artiljerijskim sistemima.

Iz eksperimentalnih istraživanja, koja su uporedno predstavljena na slici 2, za navedene protočne otvore može se istaći sledeće:

- za protočni otvor u tankoj pregradi sa prednjom ravnom površinom (Johan-



Sl. 1 – Oblici protočnih otvora hidraulične kočnice



Sl. 2 – Koeficijent protoka $\xi_p = f(Re)$

sen, Hodgson – slika 1a), koeficijent protoka ξ_p postaje približno konstantan počev od $Re = 100$. Sa povećanjem Re brojeva ξ_p raste, ima maksimum i teži prema vrednosti $\xi_p \cong 0,62$;

– za konvergentno-divergentni protočni otvor (Witte – slika 1b), cilindrični deo skoro da ne postoji. Koeficijent protoka ξ_p je konstantan, počev od $Re = 500$, i teži prema vrednosti $\xi_p \cong 0,92$;

– protočni otvor obrnut je u odnosu na prethodni (Hansen, slika 1c), ima vrlo kratak ulazni konus, a cilindrični deo skoro da i ne postoji. Maksimum se postiže kod $Re = 1000$, a konstantna vrednost za ξ_p je pri $Re = 5000$;

– protočni otvor cilindričnog tipa (slika 1d) daje promenljive vrednosti koeficijenta ξ_p . Kod dužih otvora ξ_p postaje konstantan tek za vrednosti $Re \geq 1000$, a za kraće otvore mora se približno uzeti da je konstantan kod $Re \geq 2000$;

– protočni otvor u zaobljenoj dijafragmi (slika 1e) sa odnosom $m = 0,05$ daje približno konstantan koeficijent ξ_p pri $Re \cong 1000$, a sa odnosom $m = 0,36$ pri $Re = 500$. Kod odnosa prečnika $m = 0,05$, ξ_p teži vrednosti 0,77, a za $m = 0,36$ prema 0,9.

Može se konstatovati da protočni otvor tipa Johansen ima najkonstantniji, a cilindrični protočni otvor najpromenljiviji koeficijent protoka ξ_p i, prema tome, koeficijent otpora k proticanja tečnosti. Ovu činjenicu treba imati u vidu, naročito pri projektovanju protočnih otvora kod pojedinih tipova HK, a time i ukupne veličine potrebne sile hidrauličnog otpora trzanju. Na kraju, treba podsetiti da prema podacima o HK, postojećim modelima u vezi sa istraživanjem koeficijenta otpora proticanja, još uvek nisu pouzdano i tačno određene pripadajuće vrednosti koeficijenta za celi proces trzanja.

Analiza koeficijenta otpora proticanja tečnosti

U dostupnim izvorima obično se daju različite vrednosti koeficijenta otpora proticanja tečnosti k , tabela 1. S druge strane, u postojećoj metodologiji proračuna HK (klasični metod), za koeficijente otpora k uzimaju se konstantne vrednosti na celom putu trzanja, što nije korektno i tačno.

Tabela 1
Vrednost koeficijenta otpora proticanja

Autori	Osnovno proticanje	Dopunsko proticanje
$k_1 = \frac{1+\xi}{\mu^2}$ (Toločkov)	$k_1 = 1,2 \div 1,6$	$k_2 = (3 \div 4) k_1$
$k_1 = \frac{1+\xi}{c^2 \mu_r^2} + \left(\frac{a}{A+a} \right)$ (Orlov)	$1,1 < k_1 < 4$	$k_2 = 3 \div 5$

Oznake veličina u tabeli 1 su:

ξ – koeficijent unutrašnjeg trenja tečnosti;

μ – koeficijent kontrakcije tečnosti za otvore sa oštrim ivicama;

$C \cong 0,9 \div 0,95$ – koeficijent gubitaka usled trenja tečnosti;

$\mu_r \cong 0,5 \varphi_r^2$ – koeficijent kontrakcije tečnosti za otvore sa zaobljenim ivicama;

$\varphi_r = 1 + 1,77 \frac{r}{\sqrt{a}}$ – geometrijska karakteristika otvora (r – radijus zaobljenja);

a, A – površina preseka kanala i cilindra kočnice.

Prema [6] obično se uzima da je $0,5 < C \mu_r \leq C$ i $0 < r \leq 0,235 \sqrt{a}$.

Postavlja se pitanje da li se ovi rezultati mogu primeniti na protočne otvore u HK? Sa gledišta hidrauličnog funkcionisanja i s obzirom na konstrukcione oblike, očigledno je da postoji više razloga koji sprečavaju prostu primenu rezultata opita sa dijafragmama na protočne otvore HK. Među njima su karakteristični sledeći:

- u HK od početka do kraja trzanja režim i brzina proticanja se više puta menjaju, a često i presek protočnog otvora;

- pokretanje tečnosti iz stanja mirovanja vrši se naglo, sa velikim brzinama strujanja, pri čemu je lako moguće da se izazove turbulencija strujanja;

- protočni otvori kočnica često su komplikovani (po obliku i dimenzijama), tako da u celini nemaju nikakve veze sa uobičajenim otvorima eksperimentalne hidromehanike. Kako je dijafragma obično predstavljena jednom tankom pregradom sa vrlo malom dužinom otvora, dotle su protočni otvori HK često dugački deset do dvadeset prečnika sa naglim promenama pravca i preseka;

- stvaranje emulzije u tečnosti usled oscilovanja lafeta oruđa pri opaljenju (mešanje sa vazдушnim mehurima) može da izazove vrtloženje tečnosti i formiranje turbulentnog režima i pri manjim Rebrojevima nego pri ispitivanju u stabilnim laboratorijskim uslovima.

Sve to pokazuje da se dobijeni eksperimentalni rezultati pri laboratorijskim ispitivanjima ne mogu dosledno primeniti na HK, osim kao polazna i gruba uprošćenja.

Ukoliko se oblik protočnog otvora HK više razlikuje od normalnih dijafragma, utoliko je nesigurnija vrednost koeficijenta otpora proticanja k koja bi se odredila prema sličnosti sa ovim dijafragmama. Način određivanja koeficijenta k zavisiće od toga u kom stepenu je protočni otvor komplikovaniji od najprostijeg otvora, tj. dijafragme.

Koeficijent otpora k , čija je vrednost data u vrlo širokim granicama (tabela 1), ili je vezana za rezultate eksperimenta sa normiranim dijafragmama, predstavlja najslabiju stranu klasične metode za određivanje hidrauličnog pritiska u HK. Klasična metoda, razvijena na osnovu korigovanog Toričelijevog zakona [2], daje relativno jednostavan oblik za hidraulični otpor kočnice, a time i jednostavnije rešenje jednačine kretanja trzajuće mase. Ova metoda, uz određene korekcije koje se pre svega odnose na „retuširanje“ (dodatna dorada) već izrađenih protočnih otvora, i danas se koristi pri projektovanju kočnica na oruđima sve dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati.

Autori klasične metode posmatraju koeficijent k kao korektivni koeficijent koji sadrži sve ono što izaziva razliku u proticanju između idealnih i viskoznih tečnosti. Njime se obuhvata korekcija pada pritiska zbog viskoznosti, vrtloga, oblika i dužine protoč-

nog otvora, i brzine proticanja. Imajući u vidu raznolikost protočnih otvora HK, zavisno od konstrukcionog rešenja, veličine koeficijenta k koje navode pojedini autori skoro da nemaju nikakvu praktičnu vrednost. Za HK razvrstane prema obliku i dužini protočnog otvora, različiti su i uslovi po kojima se određuju vrednosti parametara proticanja. Prema [2] kod HK sa vrlo kratkim protočnim otvorima koje obezbeđuju dugačko trzanje, veličina koeficijenta k usvaja se sa srednjom vrednošću koja je konstantna na celoj dužini trzanja, a određuje se prema dijagramu prikazanom na slici 2.

Kod HK, sa dužinama otvora za proticanje od 20 do 50 mm, koje ostvaruju promenljiva trzanja, brzina proticanja tečnosti brzo dostiže svoju maksimalnu vrednost. Pri takvoj brzini, koja zatim postepeno opada na preostalom – većem delu ukupne dužine trzanja, Re-broj je dovoljno veliki, pa se može uzeti da je koeficijent otpora konstantan, a hidraulični pritisak proporcionalan brzini proticanja w^2 . Pri tome se ne može zanemariti uticaj dužine protočnog kanala. Kod oruđa sa kratkim trzanjem (veliki uglovi elevacije cevi), brzina proticanja tečnosti na početnom delu puta trzanja raste, a u toku druge polovine opada. Proticanje je, prema tome, jako promenljivo, a time i vrednost koeficijenta k .

U slučaju HK sa više protočnih kanala raznih oblika, dužine i pravca, koje se u praksi ređe susreću, očigledno je da bi bilo izuzetno teško da se svi otpori obuhvate nekim zajedničkim koeficijentom koji bi se unapred odredio. Pad pritiska između ulaza u protočni kanal i krajnjeg izlaza može se tada izraziti jednim kompleksnim izrazom u kojem se nalaze hidraulične vrednosti za svaku pojedinačnu sekciju protočnog kanala [2, 5].

Za postavljanje tačnijeg modela hidrauličnog funkcionisanja HK, bez obzira na konstrukciona rešenja, treba uvažiti sledeće činjenice:

- hidraulični režim u kočnici vrlo je promenljiv u toku samo jednog trzanja, kao i od jednog do drugog opaljenja metka u funkciji temperature;

- koeficijent otpora proticanja k , koji obuhvata sve faktore promena realne slike procesa strujanja tečnosti, praktično je nemoguće tačno definisati i analizirati bez pouzdanih eksperimentalnih rezultata;

- pri trzanju tečnost protiče kroz protočne otvore u kočnici uvek kroz najmanje tri faze, od kojih su početna i završna u laminarnom režimu, a srednja u laminarnom ili turbulentnom režimu [6];

- faktori koji utiču na promenljivost funkcionisanja su: viskoznost tečnosti, specifična masa tečnosti, oblik i dimenzije protočnog otvora, oblik ulaza i izlaza protočnog otvora, kao i uslovi ispred i iza protočnog otvora.

Na osnovu navedenog ukupni pad pritiska u kočnici, u odnosu na klasični model Toričelijeve teoreme, korigovane eksperimentalnim koeficijentom k [7], može se korektnije definisati. Naime, on treba da se izrazi kao suma padova pritiska: u samom protočnom kanalu, zbog promene površine preseka, i zbog naglog ili koničnog suženja i proširenja otvora. U teorijskom smislu, na ovaj način je poznata Bernuli-Bordina relacija [8], proširena članom koji sadrži gubitke usled unutrašnjeg trenja tečnosti. Prema tome, pritisak u svakoj tački trzanja, u opštem slučaju, jeste suma laminarnog, turbulentnog i Bernuli-Bordinog člana. Koliko će članova kojim se definiše laminarni ili turbulentni režim strujanja tečnosti u kočnici biti konstitutivno za opštu jednačinu pritiska zavisi od konstrukcionih oblika i di-

menzija kanala kroz koje tečnost treba da prođe za vreme trzanja. U svakom slučaju, jednačina hidrauličnog pritiska u kočnici, izražena u funkciji brzine kretanja klipa je kompleksna, kao i ukupni hidraulični otpor kočnice u toku trzanja.

Ovakav prilaz u definisanju dinamičkog modela ponašanja hidraulične kočnice može poslužiti za njenu matematičku formalizaciju i poboljšanje klasične metode projektovanja HK oruđa.

Prema podacima u dostupnoj literaturi, ne postoji a priori egzaktni model za određivanje koeficijenta otpora proticanja tečnosti koji se može jednoznačno primeniti na HK. Pošto su prethodno utvrđeni parametri od kojih zavisi promenljivost koeficijenta otpora proticanja k , posebno je važno da se za određeni tip HK odredi zakonitost promene $k = f(x, t)$ na ukupnom putu trzanja. Ideja je da se u dijapazonu graničnih vrednosti k prema podacima iz literature (tabela 1) metodom simulacije na usvojenom modelu definiše zakon $k = f(x, t)$ koji obezbeđuje isti ili približno isti nivo promene sile hidrauličnog otpora kočnice utvrđene eksperimentalnim putem. Korektnost celog postupka potvrdiće ili demantovati stepen odstupanja veličina dobijen na osnovu uporedne analize proračunskih i eksperimentalnih rezultata.

Treba naglasiti da je potpuno i tačno definisanje koeficijenta k praktično nemoguće bez opsežnih eksperimentalnih istraživanja na konkretnim rešenjima HK artiljerijskih sistema u realnim uslovima. Ovakva ispitivanja zahtevaju složenu mernu opremu i znatna materijalna sredstva koja u našim uslovima sada nisu moguća. Radi toga posebno su vredna istraživanja izvršena u VTI [9] tokom sedamdesetih godina na određenom broju artiljerijskih sistema.

U dostupnoj literaturi iz ove oblasti u novije vreme takođe nisu poznati niti objavljeni rezultati eksperimentalnih istraživanja.

Neka saznanja o ovom problemu, prema [10], koja su objavljena u SAD, a namenjena za potrebe US Army Armament Research And Development Command – Dover, mogu korisno da posluže za praktično određivanje koeficijenta otpora k . Naime, metodologija određivanja koeficijenta k opisuje se kao pokušaj i greška iterativnog postupka proračuna. Na početku procesa usvaja se određena vrednost koeficijenta k i izračunava pritisak tečnosti (kriva pritiska) prema matematičkom modelu. Ako proračunska kriva pritiska nije podudarna ili približna testiranoj (eksperimentalnoj) krivi pritiska, koeficijent k se menja i kriva pritiska ponovo proračunava. Procedura se nastavlja sve dok se ne utvrdi prihvatljiva vrednost koeficijenta k . Ako HK ima promenljivu dužinu trzanja, k se utvrđuje najpre za kratko trzanje, a nakon toga se procedura ponavlja za duge trzajuće protočne otvore (kanale).

Zavisno od tipa HK, zatim od toga kako su protočni otvori definisani, kao i od vrste hidraulične tečnosti koja se koristi, koeficijent k je u granicama $0,5 \leq k < 1,0$. Međutim, ove vrednosti nisu univerzalne za postojeće slučajeve konvencionalnih trzajućih uređaja, pa se koeficijenti otpora k moraju definisati za svaki konkretni trzajući uređaj.

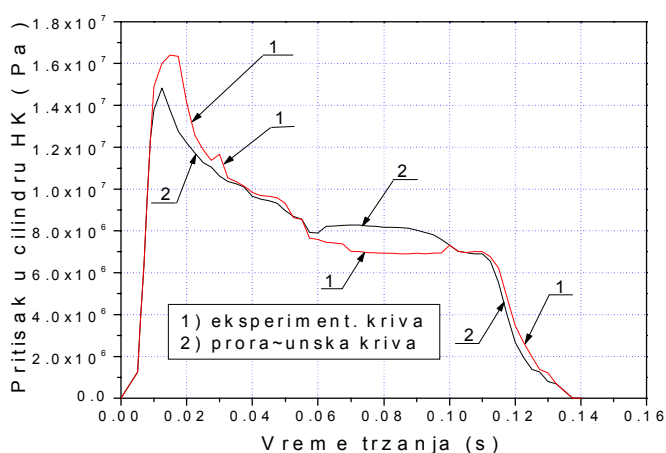
U procesu izbora potrebnog koeficijenta otpora k u obzir treba da se uzme veličina koeficijenta otpora za dugo trzanje (najveće dozvoljeno trzanje), vreme trzanja i pik (vrh) krive pritiska tečnosti. Realno je, i za praksu korektno, da pri

dugom trzanju dođe do slaganja oko 1% rezultata ili manje, za krive pritiska na celoj dužini trzanja, kako je prikazano na slici 3.

Prema polaznim podacima koji su generisani korišćenjem odgovarajućeg kompjuterskog modela [10], dobijeni su rezultati proračuna za sledeće artiljerij-

ske sisteme: M119 E5, M119 L, M123 L MOD i M123 HMD1. Karakteristične vrednosti proračunskih veličina prikazane su u tabeli 2.

Na osnovu sprovedene analize, konačno su za koeficijente otpora proticanja utvrđene tražene vrednosti (posebno označena kolona u tabeli 2).



Sl. 3 – Eksperimentalna i proračunska kriva pritiska

Tabela 2

Vrednosti proračunskih veličina artiljerijskih sistema

Veličine	M119 ES	M119 L	M123 LMOD	M123 HMD1
	Koeficijenti otpora proticanja			
k_L – kanali klipnjače	0,66	0,61	0,63	0,62
k_s – uski otvori (prorezi)	0,63	0,63	0,58	0,60
k_p – otvori na klipu	0,95	0,95	0,95	0,95
k_H – šupljine klipa	0,50	0,50	0,60	0,60
k_i – lavirintni otvori	0,95	0,95	0,95	0,95
p_m – maksimalni pritisak tečnosti	154,8 bara	89,6 bara	150,1 bara	239,4 bara
t_r – vreme trzanja	0,1320 s	0,151 s	0,1440 s	0,1265 s
x_λ – dužina trzanja	0,592 m	0,870 m	0,914 m	0,659 m
$\Delta\epsilon$ – poklapanje kriva pritiska relativna greška	1,05 %	-3,73%	2,98%	5,46%

Zaključak

Geometrijski oblici protočnih otvora i hidraulični gubici i otpori koji nastaju pri proticanju tečnosti u cilindru kočnice, dominantno utiču na dinamičko ponašanje HK trzanja artiljerijskih oruđa.

U radu su opisane važnije karakteristike tipičnih oblika protočnih otvora, i prikazana uporedna analiza sa raznim oblicima dijafragmi na osnovu eksperimentalnih rezultata.

Utvrđeno je da se dobijeni eksperimentalni podaci u slučaju dijafragmi ne mogu korektno i dosledno primeniti na protočne otvore u HK trzanja, već da se mogu uzeti samo kao polazno i grubo uprošćenje. Iz analize koeficijenata otpora proticanja tečnosti kroz protočne otvore u cilindru kočnice sledi da on nije konstantan, kako se uzima u klasičnom modelu proračuna HK. Za tačno definisanje koeficijenta otpora neophodna su

eksperimentalna merenja na konkretnim rešenjima HK u realnim uslovima. S obzirom na to, u radu su opisana iskustva koja mogu korisno da posluže za praktično određivanje vrednosti koeficijenta otpora proticanja tečnosti (k).

Literatura:

- [1] Ristić, Z.: Prilog numeričkoj analizi hidrauličnog sistema za kočenje kretanja cevi oruđa (doktorska disertacija) VTA, Beograd, 1999.
- [2] Stanisavljević, B.: Projektovanje artiljerijskih sistema, (knjiga 2) – Teorija hidroelastičnih sistema, VTI, Beograd, 1960.
- [3] Pečarnik, N.: Tehnička mehanika fluida, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [4] Ašković, R. i dr.: Hidraulika: Teorijske osnove ispitivanja i merenja, OMO, Beograd, 1985.
- [5] Rivals, A.: Cours de matriels d'Artillery, Tom III, Paris, 1954.
- [6] Perme, B.: Mehanika fluida, VTA, Beograd, 1998.
- [7] Jovanović, R.: Eksperimentalno određivanje koeficijenata proticanja u hidrauličnim kočnicama oruđa, NTP br.10, VTI Beograd, 1971.
- [8] Jašin, M.: Rasčot parametrov gidrodemferov s diskretno izmeniščimsja oknami, Mašinostroenie, Moskva, 1981.
- [9] VTI Beograd: Elaborat br. 35–418, Izbor optimalne metode proračuna HES oruđa, Beograd, 1974.
- [10] Arora, J.; Hauge, E.: A Gide to Designe of Artillery Recoill System, US AADCOM, Dover, 1977.

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

NEKI ASPEKTI PERFORMANSI RAKETNIH GORIVA I PRAVCI RAZVOJA ČVRSTIH RAKETNIH GORIVA

UDC: 621.45.07-66

Rezime:

Radi povećanja korisnog tereta raketnih sistema naponi istraživača u oblasti raketnih goriva usmereni su, pre svega, na osvajanje novih sastava sa visokim sadržajem energije, koji će obezbediti veći zapreminski specifični impuls. U radu je dat kratak pregled dosadašnjeg razvoja raketnih goriva, sa posebnim osvrtom na najnovija dostignuća u poboljšanju energetskih karakteristika postojećih sastava, kao i osvajanje potpuno novih sastava visokoenergetskih čvrstih raketnih goriva.

Ključne reči: visokoenergetska raketna goriva, hidrazin-nitroformat, ultrafini aluminijum.

SOME ASPECTS OF ROCKET PROPELLANT PERFORMANCES AND SOLID ROCKET PROPELLANT DEVELOPMENT TENDENCIES

Summary:

In order to increase payloads in missile systems, research work in the domain of rocket propellants concentrates on conquering new, high-energy compositions providing a greater volume specific impulse. A short survey of rocket propellant development up to present days is followed by the most recent achievements in enhancing energy characteristics of existing compositions and in conquering completely new compositions of high-energy solid rocket propellants.

Key words: high-energy rocket propellants, hydrazine-nitroformate, ultra-fine aluminium.

Uvod

Raketna goriva su hemijske smeše goriva i oksidatora, koja sagorevanjem u raketnom motoru proizvode odgovarajuću energiju koja obezbeđuje silu potiska neophodnu za let rakete.

Razvoj raketa bio je uslovljen razvojem raketnih goriva. Ako se izuzme upotreba crnog baruta kao raketnog goriva (u Kini još u 7. veku, a u Evropi u 18. i 19. veku), onda se može tvrditi da je epoha razvoja i šire primene raketnih go-

riva započela sa Drugim svetskim ratom ^{a1°}. U SAD je formiran sastav na bazi balistita, poznat pod oznakom JP i JPN, a u SSSR-u je proizvedeno slično dvobazno gorivo sa dodatkom dinitrotoluena, poznato kao kordit. U Nemačkoj je u toku rata konstruisana prva raketa na tečno gorivo, pod oznakom V-2, koja je kao gorivo koristila 75%-tni metil-alkohol sa tečnim kiseonikom kao oksidatorom ^{a2°}.

Veliki napredak ostvaren je osvajanjem proizvodnje kompozitnih goriva tehnologijom livenja, čime su se mogla

proizvesti pogonska punjenja željenih prečnika. Prva kompozitna goriva bila su na bazi asfalta, kao vezivne komponente, koga je ubrzo zamenio polisulfid, zatim polivinil-hlorid, a pedesetih i šezdesetih godina 20. veka proizvedena su termostabilna veziva na bazi poliuretana i polibutadiena sa znatno boljim karakteristikama od prethodnih. Kao oksidator najpre je korišćen kalijum-perhlorat koji je kasnije zamenjen mnogo boljim amonijum-perhloratom, koji i danas ima najširu primenu. Za poboljšanje energetskih svojstava, kao gorivna komponenta, dodavani su metalni prahovi od kojih najveću primenu ima aluminijum u prahu.

Prema svom agregatnom stanju raketna goriva mogu biti tečna, čvrsta i hibridna.

Tečna raketna goriva

Kod raketa na tečno gorivo oksidator i goriva komponenta smešteni su u odvojenim rezervoarima i doziraju se pomoću sistema cevi, ventila i turbopumpi u komoru za sagorevanje, gde se mešaju i sagorevaju. Motori na tečno gorivo složenije su konstrukcije u odnosu na motore na čvrsto gorivo, ali imaju i mnogo prednosti. Njihova osnovna prednost je što omogućuju kontrolu doziranja goriva u komoru, čime je moguće menjati potisak u toku leta, isključivanje i ponovno startovanje raketnog motora. S druge strane, tečna raketna goriva imaju manju gustinu od čvrstih, što zahteva veće rezervoare za njihov smeštaj, čime se povećava ukupna masa raketnog sistema.

Temperatura skladištenja takođe je vrlo bitna. Goriva sa niskom temperatu-

rom skladištenja, tzv. kriogena goriva, zahtevaju termičku izolaciju, čime se masa sistema povećava. Pojedina tečna goriva su vrlo agresivna, što zahteva primenu specijalnih otpornih materijala u konstrukciji rezervoara i sistema za doziranje.

Načelno, tečna goriva mogu se podeliti na tri grupe: goriva na bazi naftinih derivata, kriogena goriva i hipergoli.

Od naftinih derivata kao gorivo koristi se visokorafinisani kerozin koji predstavlja smešu složenih ugljovodonika. On se najčešće primenjuje u kombinaciji sa tečnim kiseonikom kao oksidatorom. Specifični impuls ovih goriva znatno je manji u odnosu na kriogena goriva.

Kriogena goriva najčešće predstavljaju kombinaciju tečnog vodonika i tečnog kiseonika koji se skladište na vrlo niskim temperaturama (vodonik prelazi u tečno stanje na -253°C , a kiseonik na -183°C).

Zbog niske temperature kriogenih goriva vrlo je teško da se čuvaju duže vreme, pa nisu pogodna za primenu u raketnim sistemima namenjenim za vojne svrhe. Uz to, tečni vodonik ima vrlo malu specifičnu masu, što iziskuje znatno veće rezervoare u odnosu na druga goriva. Bez obzira na to, zbog visoke efikasnosti ovih goriva (imaju 40% veći specifični impuls u odnosu na ostala raketna goriva) ona uvek imaju prednost kada problem skladištenja nije izražen i kada faktor vremena nije bitan.

Tečni vodonik i tečni kiseonik najčešće se primenjuju u visokoefikasnim raketnim motorima kosmičkih raketa nosača (tabela 1).

Kod hipergolnog goriva dolazi do spontanog pripaljivanja pri kontaktu oksidatora i gorivne komponente, tako da

Tabela 1

Prikaz nekih raketnih sistema i njihovih goriva ³⁰

Raketa	Stepen	Raketno gorivo	Specifični impuls (s)
Atlas/Kentaur	0	tečni O ₂ /rafinisani kerozin	259/292 (vak.)
	1	tečni O ₂ /rafinisani kerozin	220/309 (vak.)
	2	tečni O ₂ /tečni H ₂	444 (vak.)
Titan II	1	N ₂ O ₄ /Aerozine 50*	259
	2	N ₂ O ₄ /Aerozine 50	312 (vak.)
Saturn V	1	tečni O ₂ /rafinisani kerozin	260
	2	tečni O ₂ /tečni H ₂	424 (vak.)
	3	tečni O ₂ /tečni H ₂	414 (vak.)
Spejs Šatl	0	čvrsto	242/269 (vak.)
	1	tečni O ₂ /tečni H ₂	455 (vak.)
	OMS**	N ₂ O ₄ /monometil-hidrazin	313 (vak.)
	RCS***	N ₂ O ₄ /monometil-hidrazin	260–280 s (vak.)

* smeša hidrazina i dimetil-hidrazina (50: 50)

** sistem za orbitalno manevrisanje (orbital maneuvering system)

*** reaktivni kontrolni sistem (reaction control system)

ne zahtevaju izvor pripaljivanja. Lako startovanje i mogućnost ponovnog starta čini ova goriva idealnim za sisteme koji služe za manevrisanje vasijskim brodovima (npr. Spejs Šatl). Takođe, hipergoli se nalaze u tečnom stanju i na običnoj temperaturi, tako da nisu izraženi problemi njihovog skladištenja. Hipergolna goriva obično čine hidrazin, monometil-hidrazin ili nesimetrični dimetil-hidrazin. Oksidator je najčešće azottetraoksid (N₂O₄) ili azotna kiselina (HNO₃).

Hibridna raketna goriva

Raketni motori sa hibridnim gorivima predstavljaju kombinaciju motora sa čvrstim i tečnim gorivom, mada postoje i kombinacije čvrsto-čvrsto i čvrsto-gasovito, koje se teško mogu primeniti kod zemaljskih raketa. Jedna komponenta je u čvrstom stanju, obično gorivna, dok je druga, najčešće oksidator, u tečnom ili gasovitom stanju. Oksidator se pomoću brizgaljki direktno ubrizgava u produkte sagorevanja čvrste komponente, čime se efikasnost sagorevanja izrazito povećava.

Ova goriva imaju visoke performanse, a glavna prednost im je što se brzina sagorevanja može podešavati u određenim granicama, pa čak i zaustaviti i ponovo startovati.

Čvrsta goriva

Raketni motori na čvrsta goriva najjednostavnije su konstrukcije. Za razliku od motora na tečno gorivo, raketni motori na čvrsto gorivo se ne mogu gasiti i ponovo startovati. Postoje dve osnovne vrste čvrstih goriva – homogena i kompozitna. I jedna i druga imaju relativno veliku gustinu, stabilna su na normalnoj temperaturi i ne zahtevaju posebne uslove skladištenja.

Homogena goriva najčešće su dvobazna, sadrže dve osnovne komponente; nitrocelulozu i nitroglicerol, a mogu biti i jednobazna (sadrže samo jednu osnovnu komponentu – nitrocelulozu). Pored osnovnih komponenti goriva sadrže, u manjim količinama, i različite dodatke (plastifikatore, stabilizatore, balističke modifikatore, itd.).

Specifični impuls homogenih goriva obično se kreće do 210 s u standardnim uslovima. Njihovi produkti sagorevanja ne sadrže dimove, pa su pogodna za rakete taktične namene. Često se primenjuju i za izradu buster motora vođenih i višestepenih raketnih sistema.

Savremena kompozitna goriva najčešće su na bazi poliuretana ili polibutadiena, kao vezivne komponente, amonijum-perhlorata, kao oksidansa, i metalnih prahova, najčešće aluminijuma, koji sagorevanjem oslobađaju veliku količinu toplote i time podižu temperaturu sagorevanja. Imaju bolje mehaničke i energetske karakteristike od homogenih goriva (tabela 2), pa se

uglavnom upotrebljavaju za izradu pogonskih punjenja marševskih motora kod raketnih sistema taktičke namene, kao i za izradu buster motora velikih raketnih sistema (npr. za nosač rakete Titan).

Tendencije u razvoju čvrstih raketnih goriva

Većina raketnih goriva koja se i danas primenjuju razvijena je pedesetih i šezdesetih godina 20. veka. U tabeli 3 prikazani su najčešći tipovi čvrstih raketnih goriva koji se primenjuju u svetu i kod nas.

Tabela 2

Uporedni pregled osnovnog sastava i specifičnog impulsa različitih vrsta raketnih goriva

Gorivo	Osnovni sastav	I_{sp} (s)
Crni barut	kalijum-nitrat, sumpor, drveni ugalj	≈ 125
Dvobazno	nitroceluloza, nitroglicerina, asfalt, amonijum-perhlorat	≈ 200
	polisulfid, amonijum-perhlorat	≈ 180
	polisulfid, amonijum-perhlorat	≈ 200
	poliuretan, amonijum-perhlorat	$\approx 225-230$
	polibutadien, amonijum-perhlorat	$\approx 230-235$
	poliuretan, aluminijum, amonijum-perhlorat	≈ 240
	polibutadien, aluminijum, amonijum-perhlorat	≈ 245
	polibutadien akrilnitril, aluminijum, amonijum-perhlorat	≈ 250
	kompozitno modifikovana dvobazna goriva (NC, NGL, HMX, Al)	≈ 275
Tečno	PBAA, aluminijum, amonijum-perhlorat	≈ 275
	kerozin, tečni kiseonik	≈ 300
	tečni vodonik, tečni kiseonik	≈ 450

Tabela 3

Sastavi nekih karakterističnih tipova čvrstih raketnih goriva

Gorivo	Tip	Sastav
J.P.N., Balistit (SAD)	homogeno dvobazno	nitroceluloza (51,5%), nitroglicerina (43%), difilitalat (3%), ostali dodaci (2,5%)
Cordit (Rusija)	homogeno dvobazno	nitroceluloza (56,5%), nitroglicerina (28%), etilcentralit (4,5%), dinitrotoluen (11%)
SRB gorivo (SAD)	kompozitno	polibutadien akrilnitril (12%), amonijum-perhlorat (70%), aluminijum prah (16%), ostali dodaci (2%)
NGR gorivo (SCG)	homogeno dvobazno	nitroceluloza (), nitroglicerina (), plastifikator (), ostali dodaci ()
PU gorivo (SCG)	kompozitno	amonijum-perhlorat (65%), poliuretan (21%), aluminijum prah (12%), ostali dodaci (2%)

Razvoj i usavršavanje raketnih goriva odvija se u dva pravca. Jedan je poboljšanje performansi postojećih vrsta goriva dodavanjem novih komponenti, primena efikasnijih balističkih modifikatora ili, osvajanje novih oksidatora i veziva. Na drugoj strani vrše se istraživanja radi osvajanja potpuno novih goriva koja bi imala mnogo bolje performanse od postojećih.

Poboljšanje performansi postojećih goriva

S obzirom na relativno mali specifični impuls, težišta istraživanja u području čvrstih raketnih goriva su usmerena, pre svega, na poboljšanje energetskih svojstava, zatim zakonitosti brzine sagorevanja, smanjenje osetljivosti na spoljne impulse, poboljšanje mehaničkih karakteristika, itd.

Za poboljšanje energetskih svojstava dvobaznih goriva najpre su dodavani amonijum-perhlorat i aluminijum, čime su dobijena tzv. kompozitnomodifikovana dvobazna goriva (CMDDB). Ova vrsta goriva korišćena je npr. za pogon trećeg stepena rakete „Minitmen“. Dalje poboljšanje energetskih svojstava ove vrste goriva postignuto je dodatkom nitramina, heksogena ili oktogena, koji imaju veliku specifičnu masu i energiju, što se naročito pozitivno odrazilo na poboljšanje zapreminskog specifičnog impulsa. Goriva sa dodatkom HMX-a našla su primenu kod raketnih sistema „Trident“, „MX“ i drugih. Međutim, dodatkom HMX-a povećana je i njihova osetljivost, što onemogućava da se koriste za raketne sisteme većih gabarita.

Što se tiče kompozitnih raketnih goriva, istraživanja su usmerena na poboljšanje energetskih svojstava postojećih sastava dodatkom energetskih komponenti, na razvoju novih veziva, oksidatora, kao i metalnih prahova.

Kao veziva i danas se najčešće koriste polimeri na bazi poliuretana i polibutadiena (CTPB – karboksi terminirani polibutadien, HTPB – hidroksiterminirani polibutadien, PBAN – polibutadien akrilonitril i PBAA – kopolimer butadiena i akrilne kiseline), koji su razvijeni šezdesetih godina 20. veka. Usavršavanje veziva usmereno je, pre svega, u pravcu povećanja njihove energetske moći, poboljšanja reoloških karakteristika i smanjenja toksičnosti produkata sagorevanja.

U tom smislu proizvedena su nova energetska veziva tipa nitropolimera, od kojih je primenu našao nitrouretan (NU), zatim polimeri na bazi fluora i ugljenika (fluorougljenici), poliglicidilazid (GAP), poli 3,3 bis^aazidomethyl^o oxetane (BAMO), poly 3-nitrometoxymetil oxetane (PLN) poliglicidil-nitrate (PGN) i druga. Pored toga, za povećanje energetske moći standardnim sastavima kompozitnih goriva u određenom odnosu dodaju se i nitraminski eksplozivi NMX i RDX, a vrše se i ispitivanja goriva sa najnovijim nitraminskim eksplozivom HNIW (heksanitro-heksaazoisovurcitan).

Što se tiče gorivnih komponenti primenu su našli metalni hidridi kao što su LiH i LiAlH₄, MgH₂, LiBH₄, ili, pak, AlH₃ i BeH₂, koji su nestabilni, pa se moraju vezati u komplekse sa organskim molekulima da bi bili stabilni. Sastavi na bazi berilijuma daju najveći specifični impuls, ali pri sagorevanju stvaraju otrovne produkte. Od metalnih prahova, pored aluminijuma, magne-

zijuma, bora, berilijuma, perspektivu ima gorivo na bazi cirkonijuma, jer ima visoku temperaturu sagorevanja i veliku specifičnu masu (6,49.), pa se dobija veliki zapreminski specifični impuls.

Od oksidanasa je razvijeno nekoliko novih jedinjenja sa znatno većom energijom od amonijum-perhlorata, kao što su nitronijum-perhlorat NP (NO_2ClO_4), litijum-perhlorat, LiClO_4 , hidrazinijumdiperhlorat, $\text{N}_2\text{H}_6(\text{ClO}_4)_2$. Međutim, zbog izuzetno velike osetljivosti na spoljne impulse, nemaju značajniju primenu u raketnim gorivima.

Nova dostignuća u razvoju čvrstih raketnih goriva

Do sada se kao oksidator u kompozitnim raketnim gorivima uglavnom koristio amonijum-perhlorat. Međutim, nedavno je Holandska agencija za svemirska istraživanja, u okviru Evropske svemirske agencije (ESA), razvila energetski jači oksidator, hidrazin/nitroformat ($\text{N}_2\text{H}_5\text{C}(\text{NO}_2)_3$) ⁴⁰. U kombinaciji sa savremenim vezivima, kao što su glicidil azid polimer (GAP), BAMO (poly 3,3 bis^aazido-methyl^o oxetane), PLN (poly 3-nitro-methoxy-methy oxetane) ili PGN (poly glycidyl nitrate), ovaj oksidans ne samo da povećava performanse raketnih motora na čvrsto gorivo već i sa ekološkog aspekta ne utiče na zagađenje okoline, jer pri sagorevanju ne oslobađa otrovni hlorovodonik.

Glavni produkti sagorevanja su azot, voda, ugljen-dioksid, azotovi oksidi i, ako je gorivu dodat aluminijum, aluminijum-oksid.

U početku proizvodnje glavni problem je bio kristalografske prirode, odnosno tendencija hidrazin-nitroformata

(HNF) da formira igličastu kristalnu formu različitih veličina i oblika. To je onemogućavalo proizvodnju goriva sa visokim udelom čvrste frakcije, za koja je poželjan sferični oblik oksidatora. Dalja istraživanja bila su usmerena na rešavanje ovog problema (primenom različitih postupaka kristalizacije i rekristalizacije) koji je ublažen ali još uvek nije potpuno rešen.

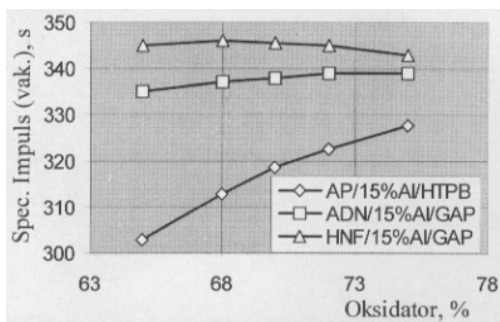
U toku razvoja posebna pažnja posvećena je definisanju pogodnog umreživača, katalizatora polimerizacije i postupka polimerizacije. Iako postupak još uvek nije optimizovan već se proizvode goriva za potrebe eksperimentalnih balističkih ispitivanja.

Istraživanja ovih goriva fokusirana su na kombinaciju HNF sa GAP i aluminijumom. Pokazalo se da ovo gorivo ima veliku brzinu sagorevanja, ali i tendenciju znatnog povećanja brzine sagorevanja sa pritiskom (eksponent brzine sagorevanja je $\approx 0,8$).

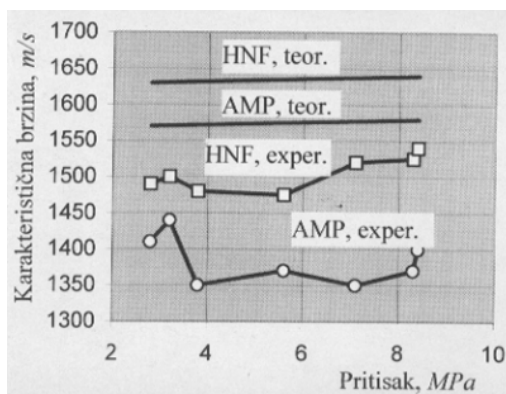
Daljim istraživanjem identifikovani su balistički modifikatori kojima je eksponent brzine sagorevanja snižen na 0,59, a istraživanja se nastavljaju radi njegovog daljeg smanjenja.

Istraživanja su pokazala da, iako je HNF visokoenergetski oksidans, njegova termička dekompozicija odvija se umereno, čak i na temperaturama iznad 260°C . To je vrlo važno za praktičnu upotrebu ovih goriva u raketnim motorima.

Teorijski proračuni i balistička ispitivanja goriva na bazi GAP/Al/HNF u eksperimentalnom motoru pokazala su da pri istim uslovima daju do 10% veći specifični impuls u odnosu na najbolja konvencionalna goriva na bazi HTPB/AL/AP (slike 1 i 2).



Sl. 1 – Uporedne teorijske performanse nekih sastava RG (ADN – amonijumdinitrid)



Sl. 2 – Teorijske i eksperimentalne vrednosti karakteristične brzine HTPB goriva na bazi AMP i HNF

Na slici 2 prikazani su uporedni rezultati merenja karakteristične brzine (ona daje direktne informacije o sagorevanju i performansama goriva, a množenjem sa koeficijentom potiska dobija se specifični impuls).

Očekuje se da će se ovim gorivom postići još veći specifični impuls, jer još uvek nije postignuta potpuna optimizacija sastava. U poslednjih nekoliko godina vrše se intenzivna istraživanja dvobaznih i kompozitnih goriva sa dodatkom ultrafinog aluminijuma u prahu (čiji je komercijalni naziv „Alex“), čija je granulacija reda veličine 50 do 200 nanometara.

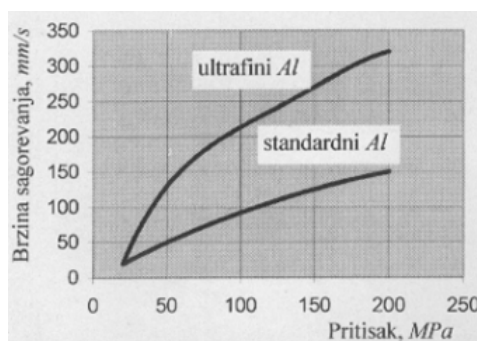
Dokazano je da ultrafini aluminijum povećava brzinu sagorevanja kompozitnih goriva za 70%, a dvobaznih goriva i do 100% u odnosu na sastave sa standardnim aluminijumom, uz istovremeno smanjenje eksponenta brzine sagorevanja pri visokim pritiscima (280 MPa) sa 0,8 na 0,66, kao i povećanje stabilnosti sagorevanja (slika 3) ^{5, 6}.

Zbog izuzetno efikasnog sagorevanja ultrafini aluminijum povećava zapreminski specifični impuls, kako kod čvrstih goriva, tako i kod tečnih i hibridnih.

S obzirom na veliku brzinu sagorevanja (100 do 400 mm/s), goriva sa ultrafinim aluminijumom pogodna su za izradu dodatnih punjenja koja služe kao akcelerator klasičnih projektila, zatim kao buster ili pripala kod raketnih motora koji rade pri visokim pritiscima.

Hipotetička goriva

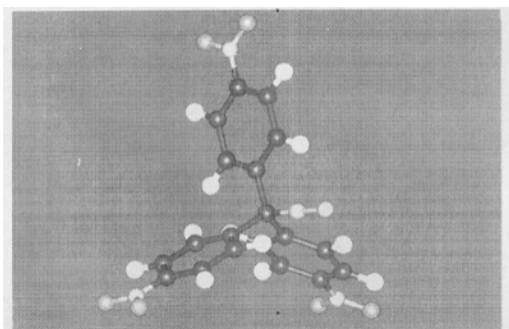
Ratno vazduhoplovstvo SAD nedavno je pokrenulo ambiciozan program čiji je cilj smanjenje mase kosmičkih letelica. Jedan od načina za to je sinteza novih hemijskih jedinjenja koja bi se



Sl. 3 – Zavisnost brzine sagorevanja CTPB goriva od pritiska sa standardnim i ultrafinim aluminijumom

upotrebljavala kao raketna goriva, a koja bi imala mnogo veću gustinu, veći specifični impuls i bila jeftinija. Istraživanja se sprovode u Superkompjuterskom centru Arktičkog regiona (ARSC) gde se uz pomoć moćnih računara obavlja modeliranje i definisanje kompleksnih hemijskih jedinjenja visoke energije i gustine, koja bi se mogla upotrebiti kao raketna goriva ^{a7°}.

Kao rezultat ovih istraživanja dobijena je teorijska struktura jednog jona, kao potencijalne osnove za sintezu poliazotnih jedinjenja koja se mogu upotrebiti u visokoenergetskim raketnim gorivima (slika 4). Značajniji rezultati tek se očekuju u budućnosti.



Sl. 4 – Teorijski model strukture trifenilmetildiazonijum jona

Zaključak

Cilj istraživanja u oblasti čvrstih goriva usmeren je na dobijanje goriva sa što većom energijom, odnosno što većim zapreminskim specifičnim impulsom. Zato

se istraživanja odvijaju paralelno u dva pravca. S jedne strane, naponi su usmereni na poboljšanje i optimizaciju sastava postojećih goriva dodatkom novih, energetski jačih komponenti, a s druge strane intenzivno se radi na sintezi potpuno novih hemijskih jedinjenja za dobijanje visokoenergetskih goriva. Jedan od poslednjih značajnijih napredaka ostvaren je sintezom novog, energetski jakog oksidatora, hidrazin-nitroformata, koji je u kombinaciji sa poliglicidil-azidom, kao vezivom, doprineo povećanju specifičnog impulsa za oko 10%.

Značajno poboljšanje balističkih performansi, pre svega brzine sagorevanja, ostvareno je zamenom standardnog aluminijuma u prahu sa ultrafinim aluminijumom. Na taj način kod dvobaznih raketnih goriva ostvareno je povećanje brzine sagorevanja za više od dva puta.

Literatura:

- ^{a1°} Bedard, A.: Solid Rocket Propellants, Encyclopedia Astronautica, www.astronautix.com, 2003.
- ^{a2°} ^olakovij, M.: Goriva za raketni pogon, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 2002.
- ^{a3°} Braeunig, R. A.: Rocket and Space Technology, www.users.comkey.net, 2003.
- ^{a4°} Schöyer, H.F.R.: ESA's New Solid Propellant based on Hydrazine Nitroformate, Propulsion and Aerothermodynamics Division, ESTEC, European Space Agency. www.esa.int, 2003.
- ^{a5°} Baschung, B. i dr.: Combustion Phenomena of a Solid Propellant based on Aluminium Powder, www.argonide.com, 2003.
- ^{a6°} M. M. Mench, C. L. Yeh, and K. K. Kuo: Propellant burning rate enhancement and thermal behavior of ultra-fine aluminum powders (Alex), 29th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 1998.
- ^{a7°} J. Boatz: Designing New Materials-Advanced Rocket Propellants, www.arsc.edu, 2003.

Dr Radinko Gligorijević,
dipl. inž.

Dr Jeremija Jevtić,
dipl. inž.

Mr Đuro Borak,
dipl. inž.
IMR-Institut,
Beograd

KVALITET BUDUĆIH ULJA ZA MOTORE NISKIH EMISIJA

UDC: 621.434 : 621.892

Rezime:

U tekućoj dekadi ovog milenijuma proizvođači motora moraju postići dvostruko smanjenje potrošnje goriva, pa time i emisije CO₂ i desetostruko smanjenje nivoa emisija, pre svega NO_x i čestica. Za dostizanje tog cilja moraju se razviti nove specifikacije ulja, čiji doprinos smanjenju potrošnje goriva i nivou štetnih emisija postaje sve važniji. Trend razvoja ulja kreće se u pravcu nižih viskoznih gradacija sa nižim sadržajem sumpora, fosfora, sulfatnog pepela i nižom isparljivošću, čime se postiže smanjenje emisije, kao i potrošnje goriva.

Ključne reči: motori SUS, motorna ulja, emisije.

FUTURE LUBRICANTS QUALITY FOR LOW EMISSION ENGINES

Summary:

In the current decade of this millenium automobile manufacturers must achieve an additional twofold increase in fuel efficiency and a tenfold reduction of emission of CO₂ and pollutants, especially NO_x and particles. To achieve this goal, a new specification of engine lubricants, whose contribution to fuel efficiency and reduction of emissions cannot be neglected, is to be developed. Development trends in lubricants move towards low viscosity, low content of sulfur, phosphorus, sulfate ash and low volatility, resulting in emission reduction and increase of fuel efficiency.

Key words: engines, engine lubricants, emissions.

Uvod

Smanjenje emisije štetnih polutanata i CO₂ kod motora lakih i teških vozila (automobila i kamiona) veliki je problem auto-industrije. Jedan od načina smanjenja ove emisije jeste smanjenje potrošnje goriva na koju direktno utiče potrošnja ulja. Zbog toga je veoma bitno povećati kvalitet ulja koje može obezbediti maksimalnu ekonomičnost potrošnje goriva i veći interval zamene ulja.

Duži interval zamene ulja vrlo je važan kod dugolinijskih kamiona teškaša

(šlepera), jer smanjuje troškove za ulje, filtere, organizaciju čuvanja rezervi i dr. Mada su finansijske uštede zbog dužeg intervala zamene motornog ulja znatne, smanjenje potrošnje goriva donosi veće uštede, jer je cena goriva, naročito u kamionskom prevozu, značajnija stavka od cene ulja, s obzirom na to da njihovi dizel motori rade dugi period pod visokim opterećenjem. Neka istraživanja [1–3] na teškim dizel motorima ukazuju da korišćenje sintetičkog motornog ulja SAE 5W40, umesto „konvencionalnog mineralnog ulja“ ili mineralnog baznog ulja „premium“ 15W40, može doneti uštedu

goriva od 3%. Podaci kompanije MAN ukazuju na moguću uštedu od 2%, dok podaci Forda (za Mondeo 1,8 l) ukazuju na uštedu od 0,6% pri korišćenju ulja 5W20 umesto ulja 5W30 [4]. Svaka ušteda goriva donosi i smanjenje štetnih emisija i emisije CO₂. ACEA specifikacije A4, B4 i E4 definišu zahteve za ulja benzinskih i dizel motora u pogledu ekonomičnosti potrošnje goriva.

Dakle, pored svih drugih zahteva, od motornih ulja se zahteva smanjenje emisije CO₂, emisije izduvnih gasova, pre svih emisije NO_x, i emisije čestica i eliminacija njihovog štetnog uticaja na katalitičke konvertore i senzore u izduvnom sistemu.

Konvencionalna mineralna bazna ulja najčešće se dele prema stepenu zasićenja, sadržaju sumpora i viskozitetnog indeksa i, prema API, svrstavaju se u četiri grupe (tabela 1).

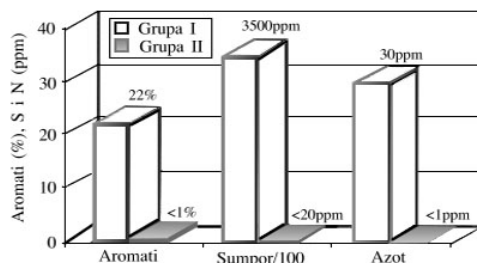
Tabela 1

API kategorizacija baznih ulja

Grupa	Sadržaj S-a (%)	Zasićenje (%)	V. I.	Noack %
I	> 0,03	< 90	80-120	30
II	≤ 0,03	≤ 90	80-120	25
III	≤ 0,03	≤ 90	≥ 120	11
IV	Svi polialfaolefini (PAO)			11
V	Ostala koja nisu uključena u grupe I-IV			<11

Konvencionalna mineralna bazna ulja iz grupe I imaju prilično visok sadržaj sumpora i aromata (do 25%) i nivo zasićenja preko 75% (slika 1). Sa slike 1 vidi se da ulja iz grupe II imaju znatno manji sadržaj aromata (1%) u odnosu na ulja iz grupe I.

Sve rigorozniji zahtevi u pogledu radnih uslova i smanjenja emisije, doveli su do ekspanzije sintetičkih motornih ulja čije su prednosti u odnosu na mineralna ulja sledeće:



Sl. 1 – Karakteristike ulja grupe I i II prema API 5°

- veoma dobre reološke karakteristike, kako na niskim, tako i na visokim temperaturama;
- ispunjavaju dva kontradiktorna zahteva – nizak viskozitet i mala isparljivost;
- veoma visoka otpornost na prekid uljnog filma;
- bolja antihabajuća i antizaribavajuća svojstva;
- dobra disperziona svojstva;
- smanjenje potrošnje goriva i ulja,
- produženje perioda zamene;
- visoka otpornost na oksidaciju;
- dobra biorazgradljivost – sintetička ulja koja sadrže estre su 75% biorazgradiva, dok su mineralna ulja u najboljem slučaju 20% biorazgradiva;
- niska toksičnost i manja količina produkata sagorevanja (neka sintetička ulja daju 10% manje azotovih oksida, 15% manje CO i 10% manje HC).

Na primer, sintetičko SAE 0W40 u odnosu na mineralno ulje SAE 15W40 smanjuje emisiju čestica za oko 11%, a okside azota oko 5% [6]. Naša ispitivanja [7] pokazuju slične rezultate, s tim što se emisija NO_x smanjuje za oko 12%.

Glavni nedostatak nekih sintetičkih ulja je njihova agresivnost na zaptivke izrađene od materijala na bazi nitrila i akrila, kao i još uvek visoka cena.

Može se zaključiti da će glavni trend u razvoju motornih ulja biti:

- korišćenje nižih viskozitetnih gradacija (5W30, 0W30, 0W20) koje smanjuju potrošnju goriva, a time i emisiju HC, CO, NO_x, čestica i CO₂. Tako, na primer, pri korišćenju ulja 5W30, umesto 20W30, potrošnja goriva može se smanjiti do 3% [8]. U proteklim dekadama trend je bio 20W50 → 15W40 → 10W40;

- poboljšanje temperaturne (oksidacione) stabilnosti, što znači smanjenje obrazovanja depozita, a time i smanjenje habanja klipnog sklopa i razvodnog mehanizma;

- produženje perioda zamene ulja (50 000 km za putnička vozila i više od 200 000 km za teške kamione);

- smanjenje isparljivosti, što je veoma bitno zbog smanjenja emisije čestica. Tako, na primer, ulje sa isparljivošću 20% ima 60% veću emisiju čestica od ulja čija je isparljivost 10%;

- visok indeks viskoziteta;

- nizak sadržaj sumpora (0,2%), sulfatnog pepela (0,5%) i fosfora (0,05%);

- niske emisije i dobra biorazgradivost.

Uticaj ulja na emisiju motora

Do pre nešto više od jedne decenije potrošnja ulja u motorima bila je, zbog ekonomskih i komercijalnih razloga, uglavnom briga proizvođača motora, rafinerija ulja i proizvođača aditiva.

Sve stroži zakonski propisi o zaštiti životne sredine, a pre svega o smanjenju emisije NO_x i čestica dizel motora, fokusirali su pažnju na smanjenje potrošnje ulja, čiji doprinos ukupnoj emisiji čestica se ne

može zanemariti, naročito kada se sadržaj sumpora u gorivu drastično smanjuje: od 2000 ppm do 2000. godine na sada važećem limitu od 350 ppm, do 10 ppm u 2008. godini (slika 2). Dakle, kako se zakonskim propisima sadržaj NO_x i čestica smanjuje tako se i kvalitet ulja povećava. Uticaj ulja na emisiju motora zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika ulja od kojih su najvažnije sadržaj sumpora, sulfatnog pepela, aromata i isparljivost.

Treba istaći da ACEA, u odnosu na API, definiše sledeće kategorije ulja:

- A1-96, A2-96, A3-96, A4-98, A5-02

- za benzinske motore,

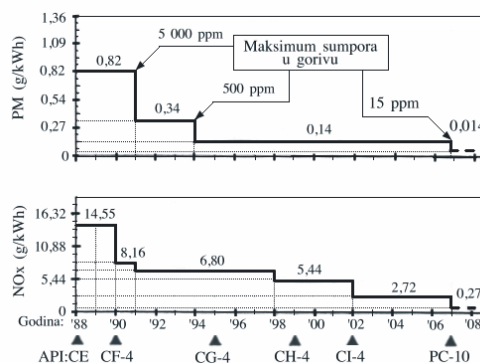
- B1-96, B2-96, B3-96, B4-98, B5-02

- za lake dizel motore,

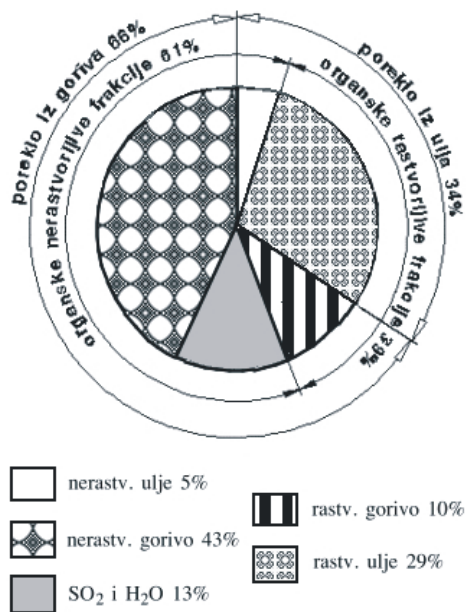
- E1-96, E2-96, E3-96, E4-98, E5-02

- za teške dizel motore.

Jedan od načina za smanjenje izduvnih emisija NO_x, HC i čestica pri radu motora jeste ne samo smanjenje potrošnje goriva već i smanjenje potrošnje ulja. Ispitivanja [8–12] pokazuju da ulje znatno utiče na ukupnu emisiju čestica, što prikazuje slika 3. Kao što se uočava sa slike 3, čestice u izduvnoj emisiji dizel motora nastaju sagorevanjem i isparavanjem goriva (66%) i sagorevanjem i isparavanjem ulja (34%).



Sl. 2 – Povećanje kvaliteta ulja sa smanjenjem granica emisije ⁹⁰



Sl. 3 – Udeo pojedinih frakcija u emisiji čestica pri radu jednog teškog dizel motora ^a11°

Frakcije čestica se, prema rastvorljivosti, mogu podeliti na:

- organski nerastvorljive (INSOLF), koje čine 61% u ukupnoj masi čestica;
- organski rastvorljive (SOF), čiji je udeo u ukupnoj masi čestica oko 39%.

Organski rastvorljive frakcije sastoje se od visokomolekularnih jedinjenja (>C₁₄) koje potiču od nesagorelog goriva i ulja za podmazivanje.

Organski nerastvorljive frakcije sačinjavaju čađ i manji sadržaj metala i sulfati sa vezanom vodom.

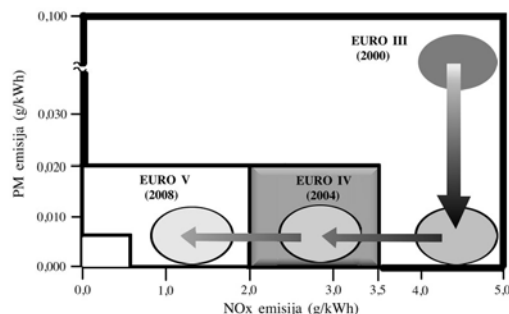
Organski nerastvorljive frakcije koje potiču od ulja iznose oko 5%, što približno odgovara 0,027 g/kWh. Znatno veći udeo ulja nalazi se u organski rastvorljivim česticama – oko 29%, dok je za iste te frakcije udeo goriva oko 10%. Ako se posmatraju samo organski rastvorljive frakcije onda je udeo ulja znatan – preko 70%.

Na nivo emisije čestica pri radu dizel motora utiču fizičko-hemijske karakteristike goriva i ulja, konstruktivne karakteristike motora, radni uslovi motora i potrošnja goriva i ulja. Čestice od ulja potiču sa zidova cilindara motora i zbog propuštanja na vodicama ventila.

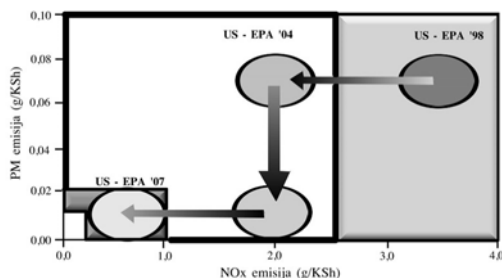
Pri radu motora dolazi do prodiranja ulja u cilindar. Deo ulja ne sagori, što takođe doprinosi emisiji čestica. Za smanjenje SOF frakcije u česticama veoma je bitno smanjiti potrošnju ulja u motoru, a ona zavisi od konstrukcije motora, od radnih uslova i od kvaliteta ulja. Potrošnja ulja kamionskih dizel motora kreće se od 6 g/h, pri lakim uslovima rada i niskom broju obrtaja, do 230 g/h, pri punom opterećenju i nominalnom broju obrtaja. U odnosu na potrošnju goriva potrošnja ulja se kreće od 0,1 do 0,4%.

Buduća motorna ulja

Sadašnji zakonski propisi o emisijama lakih i teških vozila sa benzinskim i dizel motorima su umereni u odnosu na predložene – Euro IV i Euro V (slika 4), kao i EPA 04 i EPA 07 (slika 5). Tako strogi zahtevi mogu se ispuniti primenom novih automobilske tehnologije i kvali-



Sl. 4 – Euro IV i Euro V – propisi za emisije koje nastaju pri radu teških dizel motora



Sl. 5 – US-EPA – propisi za emisije koje nastaju pri radu teških dizel motora

tetnijih goriva i ulja, što ukazuje na to da industrija motora i industrija nafte moraju zajednički raditi radi dostizanja postavljenih granica emisija.

Kao što je poznato, pri radu benzinskih motora emisiona ograničenja postižu se konstrukcionim modifikacijama, kroz sofisticiranu elektronsku kontrolu rada i korišćenjem katalitičkih konvertora. Proizvođači motora i vozila nastoje da cena proizvoda bude što manja, pa produžavaju vek konvertora. To otvara pitanje uticaja pojedinih komponenata iz motornog ulja na obrazovanje emisija kao i na trajnost katalitičkih konvertora, što je rezultiralo u nacrtu specifikacije ILSAC GF-4 koja ograničava sadržaj fosfora i sumpora u ulju.

Laki dizel motori su dosadašnja emisiona ograničenja postizali novim tehnološkim modifikacijama, uključujući direktno ubrizgavanje, common rail i recirkulaciju izduvnih gasova. Smatra se da ovi motori neće moći da ispune buduće propise bez korišćenja emisionih kontrolnih sistema, uključujući dizel oksidacione katalizatore za NO_x i filtere za dizel čestice. To znači da buduća ulja moraju imati redukujući uticaj na emisije i emisione kontrolne sisteme koji moraju dobro funkcionisati u toku celog veka motora ili u toku pređenih 250000 do

300 000 km. Ovi zahtevi uticaće na formulisanje budućih motornih ulja benzinskih i dizel motora, i odnose se, pre svega, na: sadržaj sumpora, sadržaj fosfora, sadržaj sulfatnog pepela, sadržaj aroma, isparljivost i viskozitet.

U tabeli 2 prikazan je sadržaj sumpora (mas.), fosfora, sulfatnog pepela i hlora kod nekoliko tipičnih sadašnjih komercijalnih motornih ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila.

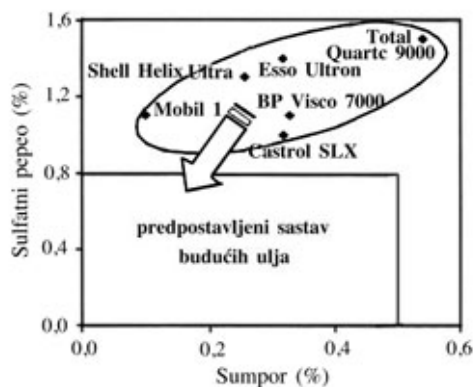
Tabela 2
Karakteristike na tržištu najzastupljenijih ulja za benzinske i dizel motore

Tip ulja	Sumpor (%)	Sulfatni pepeo (%)	Hlor (ppm)	Fosfor (%)
BP Visco 7000	0,33	1,1	199	0,10 limit prema ILSAC GF-2, GF-3, AP SI, SL spec.
Castrol SLX	0,32	1,0	<10	
Esso Ultraton	0,32	1,4	55	
Mobil 1	0,10	1,1	116	
Shell Helix Ultra	0,26	1,3	11	
Texaco Havoline F3 Energy	0,36	—	—	
Total Quartz 9000	0,54	1,5	260	

Sumpor u uljima

Poznato je da je sumpor inhibitor performansi katalizatora zbog jače absorpcije, i da se „bori“ sa štetnim gasovima za mesto na površini katalizatora. Nivo sumpora u gorivu vrlo je važan faktor za buduća ulja, jer kako se njegov nivo u gorivu smanjuje tako sumpor iz ulja ima sve veći uticaj.

Budući propisi o emisijama motornih vozila imaće bitan uticaj na sastav budućih ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila. Slika 6 ilustruje sastav sadašnjih u odnosu na buduća ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila.



Sl. 6 – Sastav sadašnjih komercijalnih ulja u odnosu na buduća ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila

Nedavni predlog specifikacije GF-4 daje granicu sumpora u ulju od 0,5%. Međutim ima mišljenja da bi sadržaj sumpora trebalo ograničiti na 0,2%. Za jedan savremeni tipični putnički automobil sa potrošnjom ulja od 40 do 50 g /1000 km, koji koristi gorivo sa 30 ppm sumpora, znači da će učešće sumpora iz ulja biti oko 10% u ukupnoj količini sumpora u izduvnom sistemu. Sumpor u motornim uljima potiče, uglavnom, iz: baznog ulja, cinkdialkilditiofosfata (ZnDTP) – antihabajući aditiv, deterdženata na bazi metala, neorganskih modifikatora trenja i nekih inhibitora

Udeo pojedinih izvora sumpora u ulju prikazan je na slici 7, a tabela 3 prikazuje procentualni doprinos pojedinih komponenata ulja ukupnom sumporu u ulju sastava A i B.

Kao što se vidi iz tabele 2, sadržaj sumpora se u sadašnjim komercijalnim uljima kreće od 0,1 do 0,6%, dok se iz tabele 3 vidi da su antihabajući aditivi glavni izvor sumpora.

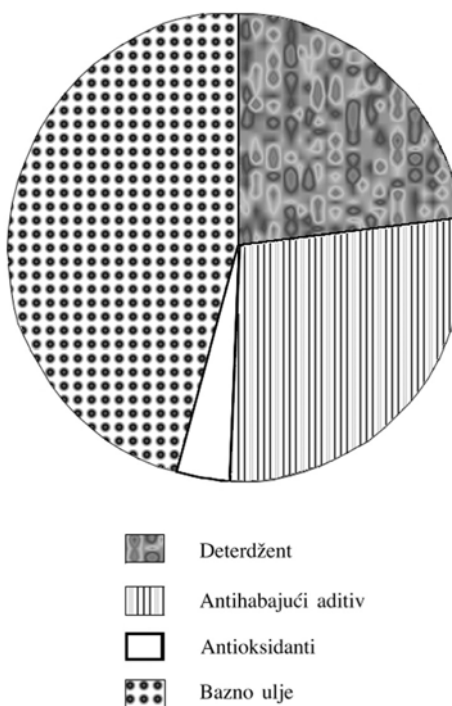
U tabeli 4 prikazan je sastav nekog budućeg ulja X, pri čemu su fiksirani iz-

nos sulfatnog pepela u deterdžentu od 0,73% i fosfora u antihabajućem aditivu od 0,05%.

Tabela 3
Izvori sumpora, sulfatnog pepela i fosfora u motornim uljima

Ulje A A3 /B3,SJ / CF, 500 / 505, 229.1	Sumpor (%)	Sulfatni pepeo (%)	Fosfor (%)
Deterdžent	0,14	0,95	0,0
Antihabajući aditivi	0,20	0,13	0,10
Bazno ulje	0,41	0,0	0,0
Ukupno	0,75	1,08	0,10
Ulje B A3 / B3 / B4, SL / CF, 229.3	Sumpor (%)	Sulfatni pepeo (%)	Fosfor (%)
Deterdžent	0,14	1,14	0,0
Antihabajući aditivi	0,19	0,13	0,09
Bazno ulje	0,0	0,0	0,0
Ukupno	0,34	1,27	0,09

ACEA E5, API CH - 4, MB p.228.3



Sl. 7 – Učešće pojedinih izvora sumpora u ulju
14°

Tabela 4

Izvori sumpora, sulfatnog pepela i fosfora u budućim motornim uljima

Ulje X	Sumpor (%)	Sulfatni pepeo (%)	Fosfor (%)
Deterdžent	0,0 – 0,40	0,73	0,0
Antihabajući aditivi	0,10	0,07	0,05
Bazno ulje	0,40 – 0,0	0,0	0,0
Ukupno	0,50	0,80	0,05

Kao što su u proteklim dekadama zakonske regulative o emisijama bile generator novih tehnologija u industriji motora i proizvodnji kvalitetnijih goriva i motornih ulja, tako će i buduće specifikacije motornih ulja biti određivane budućim emisionim regulativama.

Sulfatni pepeo u uljima

Kada pepeo koji potiče iz ulja dospe u izduvni sistem on može obrazovati depozite u emisionim kontrolnim sistemima, smanjujući njihovu aktivnost ili ih čak blokirati. Naročito su filteri za čestice dizel motora osjetljivi na sulfatni pepeo.

Tipične vrednosti sadržaja sulfatnog pepela sadašnjih najpoznatijih komercijalnih evropskih ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila kreću se od 1 do 1,5% (tabela 2). U tabeli 4 prikazan je sadržaj sulfatnog pepela u budućim motornim uljima.

Sulfatni pepeo u uljima (tabela 3) potiče iz deterdženata na bazi metala, antihabajućih aditiva (ZnDTP) i drugih aditiva na bazi metala.

Deterdženti na bazi metala imaju višestruku ulogu u ulju. Ne samo da čiste metalne površine, već i obezbeđuju neutralizaciju kiselina iz goriva i sprečavaju proces degradacije ulja. Tako, na primer, za novu „vectru“, Opel propisuje zamenu ulja na 300 000 km za benzinske

motore, a 50 000 km za dizel motore (ili dve godine), izuzev ako se godišnje prelazi manje od 5000 km, kada se zamena obavlja posle 12 meseci. Prema tome, smanjenje deterdženata na bazi metala nije lak zadatak, mada ima sugestija da bespepelni disperzanti mogu preuzeti ulogu deterdženata na bazi metala, ali ostaje problematična njihova kompatibilnost sa fluoroelastomernim zaptivkama. Peugeot S.A. u svoje putničke automobile sa dizel motorima ugrađuje filtere za čestice, i preporučuje da se čiste svakih 80 000 km. Takođe, Peugeot preporučuje doziranje bespepelnih baznih aditiva u gorivu za olakšanje regeneracije filtera za čestice. Bazirano na 25 ppm koncentraciji metala u gorivu, korišćenje ulja sa 1,1 % sulfatnog pepela i pri potrošnji ulja od 0,15 kg/1000 km može se izračunati da se za pređenih 80 000 km u filteru akumulira 230 g pepela.

Ako se predvidi čišćenje filtera na 160 000 km i dozvoli akumulirani pepeo u filteru od 200 g, onda bi prihvatljiv sadržaj sulfatnog pepela bio 0,8 %. Ipak, očekuje se da sledeća generacija specifikacije ACEA ograniči sulfatni pepeo na 0,5%. Pošto smanjenje sadržaja sulfatnog pepela utiče na produženje veka filtera, treba ograničiti i sadržaj pepela u gorivu. S obzirom na to da je potrošnja goriva hiljadu do dve hiljade puta veća od potrošnje ulja, to znači da i iznos sulfatnog pepela u gorivu treba da bude toliko puta manji, što iznosi oko 2 mg/kg. Očekuje se predlog da to bude 5 mg/kg, dok su sadašnje vrednosti u gorivu 100 mg/kg.

Fosfor u uljima

Fosfor je indiciran kao faktor koji utiče na benzinske katalitičke konventore,

zbog formiranja staklastih depozita. Mada je štetan uticaj na dizel oksidacione katalizatore manji, specifikacije ulja u SAD obraćaju veliku pažnju na nivo fosfora u uljima. Tako, na primer, fosfor smanjuje efikasnost katalizatora za 15% do 30%.

Tipična vrednost sadržaja fosfora u najrasprostranjenijim evropskim vrstama ulja za benzinske i dizel motore putničkih automobila iznosi 0,10% (tabela 2), kako je to i limitirano specifikacijama ILSAC GF-2, GF-3 i API SJ i SL. Za buduća ulja (tabela 6 i 7) predviđa se limit fosfora od 0,05%, kao što je to i u nacrtu specifikacije ILSAC GF-4.

U motornim uljima fosfor potiče iz antihabajućih i antioksidacionih aditiva a naročito iz ZnDTP koji je veoma važan sastojak ulja, tako da njegova zamena uopšte nije jednostavna. Glavni sastojci antihabajućih aditiva bez fosfora baziraju se na sumporu, njihova cena je viša nego ZnDTP, a efikasnost nižeg stepena. Modifikatori trenja omogućavaju da se ovi nedostaci prevaziđu.

Hlor u uljima

Hlor u uljima nema funkcionalni značaj. On se, uglavnom, pojavljuje kao katalizator u izvesnim starijim aditivima u procesu proizvodnje, dok ga novije tehnologije ne koriste. Ako je hlor vezan u organskim molekulima, u procesu sagoravanja može dovesti do obrazovanja PCB i dioxina. Neki proizvođači automobila propisuju maksimalni sadržaj hlora u preporučenim uljima. Iz tabele 2 vidi se da neka ulja, kao Castrol SLX i Shell Helix Ultra, sadrže vrlo male količine hlora, dok druga, kao Total i BP Visco, sadrže znatno veće količine hlora.

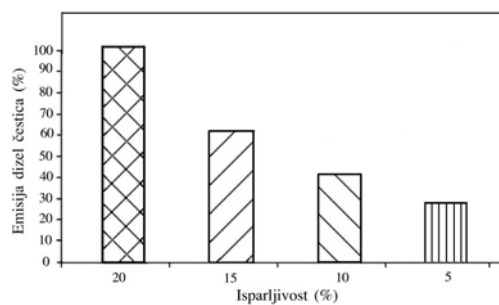
Aromati u uljima

Sa povećanjem sadržaja aromata, naročito policikličnih (PAH), emisije čestica od ulja se povećavaju, jer dolazi do kondenzacije PAH na česticama čađi, a sa starenjem ulja ova pojava se intenzivira. Vrednosti PAH su oko dva puta veće kod motora sa indirektnim ubrizgavanjem nego kod motora sa direktnim ubrizgavanjem. Dakle, aromati u ulju utiču na emisije koje nastaju pri radu dizel motora analogno uticaju aromata iz goriva, tj. povećanju emisije NO_x , HC i čestica.

Aromati su odgovorni za degradaciju ulja usled oksidacije čiji rezultat je povećanje viskoznosti, pa poboljšanje oksidacione stabilnosti ulja zahteva smanjenje sadržaja aromata.

Isparljivost ulja

Veoma važna karakteristika ulja, koja utiče na emisiju čestica, jeste i isparljivost ulja ili Noack vrednost (slika 8). Ulje sa isparljivošću od 15% ima oko 50% veću emisiju čestica nego ulje sa isparljivošću od 5%. Zbog toga Porše za svoje automobilske motore propisuje ulja čija isparljivost mora biti ispod 12%, a ACEA propisuje limite za ulja u zavisno-



Sl. 8 – Uticaj isparljivosti ulja na emisiju čestica
a15°

sti od viskozitetne gradacije i kvalitetnog nivoa. Na primer, vrednosti su:

A1-96 $\leq$ 15% B1-96 $\leq$ 13% E1-96 $\leq$ 13%
A2-96 $\leq$ 13% B2-96 $\leq$ 13% E2-96 $\leq$ 13%
A3-96 $\leq$ 13% B3-96 $\leq$ 13% E3-96 $\leq$ 13%

Kao ACEA i API propisuje limite za isparljivost u zavisnosti od istih faktora. Na primer:

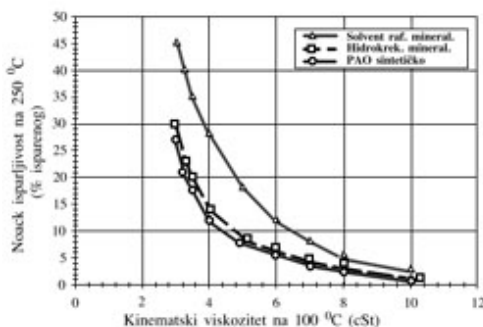
API SH: SAE 10W30 – 20%, SAE 15W40 – 18%,

ILSAC GF-2 daje 22% maks, a ILSAC GF-3 daje 15% maks.

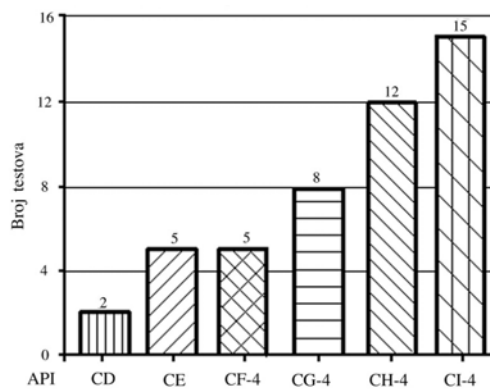
Ulje sa manjom Noack vrednošću daje ne samo manji iznos organskih rastvorljivih već i manji iznos nerastvorljivih frakcija. Sa smanjenjem isparljivosti uglavnom raste viskozitet ulja na mineralnoj bazi, a u znatno manjoj meri na sintetičkoj bazi (slika 9), što je nepovoljno sa aspekta potrošnje ulja, jer sa povećanjem potrošnje ulja raste i emisija CO₂. Sa smanjenjem viskoziteta ulja smanjuje se potrošnja goriva, što vodi smanjenju emisije CO₂ i emisije CO, HC, NO_x i čestica.

Karakteristike budućih ulja

Karakteristike budućih ulja za benzinske i dizel motore (tabela 4), zahtevaju i nove testove koji će pratiti proveru kvaliteta budućih ulja (slika 10).



Sl. 9 – Korelacija isparljivosti i viskoziteta ulja¹⁶



Sl. 10 – Rast broja testova za proveru kvaliteta ulja za dizel motore⁹

Ulja za benzinske motore

U SAD su zahtevi za niskoemisio-nim uljima benzinskih motora obuhvaćeni nacrtom specifikacije ILSAC GF-4. Glavne razlike u odnosu na sadašnje specifikacije ILSAC GF-3 odnose se na smanjenje sadržaja fosfora na 0,05%, ograničenje sumpora na 0,5%, uvođenje novog motornog testa za ocenu habanja i zgušnjavanja ulja – sekvenca IIIG. Pored uvođenja starenja u sekvenci VIB, test ekonomičnosti potrošnje goriva biće proširen, a granice pooštrene. Sekvenca IVA test habanja ventila ostaje identična, ali zbog smanjenja sadržaja antihabajućeg aditiva ZnDTP (cinkditiiofosfata), to će biti jedan od kritičnih testova. Najzad, test TEOST MHT-4 na probnom stolu biće znatno stroži zbog smanjenja maksimalnog iznosa depozita na 25 mg u odnosu na 45 mg u GF-3.

U Evropi poboljšana specifikacija ACEA 2002 za ulja benzinskih motora, uzima se kao oštra baza za niskoemisio-ne zahteve – za izvesno vreme, mada je sledeće poboljšanje realno očekivati u 2004 godini. Umesto selektivne sekvence

III F, benzinska sekvenca ACEA oslanja se na PSA TU5 JP-L4 motorni test za povećanje viskoziteta. Postoje dva testa za taloge, sekvenca VG i M111 za crne taloge. Habanje ventila obuhvaćeno je PSA TU3 MS, a ekonomičnost potrošnje goriva testom DCM111 FE.

Ulja za dizel motore

Habanje brega i klipnog sklopa dizel motora obuhvaćeno je testom na DC OM 602A, kao i povećanje viskoziteta. Odnos između količine čađi i povećanja viskoziteta obuhvaćen je sa PSA XUD 11BTE. Čistoća klipova ocenjuje se korišćenjem VW ICTD, VW TDI i PSA XUD 11, ekonomičnosti potrošnje goriva pomoću M111 FE, a Ford Puma – novi dizel test za ekonomiju goriva biće razvijen u CEC-u.

U tabeli 5 sumirani su navedeni testovi za benzinske i dizel motore (* kritični test, n/a = neraspoloživ).

Tabela 5
Motorni testovi za buduća niskoemisiona ulja

Ozn. Test	Benzinski motori		Dizel motori
	SAD	Evropa	Evropa
Habanje	IVA*	TU3MS	OM 602A *
Povećanje viskoziteta	IIIG (n/a)	TU5 *	XUD 11 *, OM 602A
Talozi	VG	M111BS *	
Čistoća	IIIG, MHT-4 *		TD12 *
Ekonomija goriva	VI-B *	M111FE *	Ford Puma (n/a)

Antihabajuće osobine

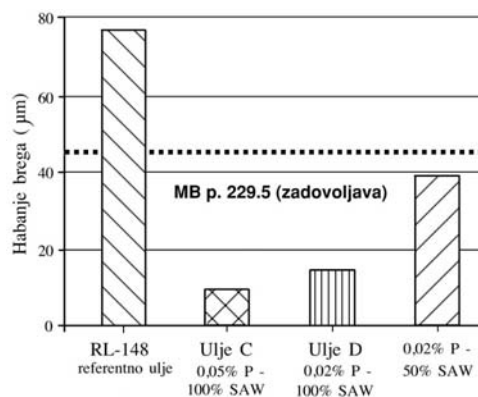
Što se tiče antihabajućih osobina ulja sekvenca IVA koristi se za ulja benzinskih motora, a CEC L-51-A-97 (OM 602A) test za ulja dizel motora.

Tabela 6 prikazuje rezultate niskoe-misionih ulja sa 0,05% P prema OM 602A (ulje C) i sekvence IVA (ulje Q) u odnosu na referentno ulje (ulje B) prema zahtevima MB p.229.5. Kao što se vidi, nije došlo do povećanog habanja iako je sadržaj fosfora bio dosta nizak.

Tabela 6
Antihabajuće osobine niskofosfornih ulja [17]

Osobine	Granice	Predložene granice	Ulje C	Ulje Q	Ulje B ref.
Sumpor (%)		0,50	0,12	0,19	0,34
Fosfor (%)		0,05	0,05	0,05	0,09
Sulfatni pepeo (%)		0,80	1,0	0,82	1,27
OM 602A	B3 Granice				
Habanje brega (μm)		50,0	8,8		30,9
Uglačenost cilindra (μm)		7,0	0,3		0,2
Habanje cilindra (μm)		20,0	9,4		7,4
Povećanje viskoznosti @ 40° C		90	33		32
Sekvenca IVA	GF-4 Granice				
Habanje brega (μm)		120		15,2	

Na slici 11 prikazana je osetljivost motora OM 602A u odnosu na habanje brega nisko emisionih ulja sa smanjenjem sadržaja fosfora (antihabajući sistem–SAW).



Sl. 11 – Habanje brega po testu OM602A u funkciji sadržaja fosfora u ulju ^a17°

Čistoća klipova

Čistoća klipova se u sekvenci ACEA procenjuje prema motornom testu CEC L-78-T-99 (VW TD12) (54 h, 300°C).

Tabela 7 prikazuje karakteristike ulja (ulje D) sa niskim sadržajem fosfora (0,02%), sumpora (0,7%) i sulfatnog pepela (0,95%).

*Tabela 7
Karakteristike ulja sa niskim sadržajem
sulfatnog pepela prema testu VW TDI [18]*

Osobine	Granice	Predložene granice	Ulje D
Sumpor (%)		0,50	0,07
Fosfor (%)		0,05	0,02
Sulfatni pepeo (%)		0,80	0,95
VW TD12		B4-98 Granice	
Klip		62	61
Klipni prsten		0,7	0,6

Uočava se da ulje D zahteva dalja poboljšanja, ali je indikativno da ulje sa niskim sadržajem sulfatnog pepela ispunjava propisane zahteve.

Oksidaciona otpornost i promena viskoziteta

Oksidacioni procesi, naročito u području klipnih prstenova, dovode do znatnog povećanja viskoziteta ulja.

Smanjenje fosfora (ZnDTD) i sulfatnog pepela (povećanje sadržaja disperzanata) može dovesti do znatnog smanjenja antioksidacionih karakteristika niskoemisionih ulja.

Antioksidacione karakteristike ulja za dizel motore u sekvenci ACEA procenjuju se prema testu OM 602A. Kao što se vidi iz tabele 6, ulje C obezbeđuje visok nivo zaštite od povećanja viskoziteta prema MB. p.229.5. Za benzinske motore antioksidacione karakteristike u sadašnjim sekvencama API i ILSAC pro-

cenjuju se motornim testom preko sekvence III (80h, za buduće 160h).

Disperzivnost i kontrola taloga

Kao što je poznato, čađ se formira u difuznom plamenu pri sagorevanju goriva. Zbog određenog prođuvavanja, tanak film ulja, pri spuštanju kroz cilindar, meša se sa produktima sagorevanja goriva u zoni klipnih prstenova i na zidovima cilindra, dospevajući u korito motora. Čađ povećava viskozitet ulja, doprinosi obrazovanju depozita, i habanju. Povećanje viskoziteta zbog povećanja sadržaja čađi, procenjuje se motornim testom CEC L-56-T-98 (XUD 11BTE). Pri sagorevanju siromašne smeše može doći do formiranja taloga. Oni se procenjuju pomoću dva testa, sekvenca VG i CEC L-53-T-95 (M111 – crni talozi).

Zaključak

Motorno ulje je postalo važan faktor, pošto, pored ostalog, doprinosi i emisiji štetnih komponenata. U svetu se sve više koriste niskoemisiona ulja, odnosno ulja nižih viskozitetnih gradacija sa niskim sadržajem sumpora, fosfora, sulfatnog pepela i niskom isparljivošću.

Sve stroži zakonski propisi o emisijama vode ka ekspanziji sintetičkih motornih ulja, koja u odnosu na mineralna smanjuju emisiju NO_x za oko 12%, emisiju čestica za oko 10% i emisiju HC za oko 10%, dok potrošnju goriva smanjuju za oko 2%.

Rastući zahtevi u pogledu kvaliteta ulja povećavaju i broj testova za proveru njegovog kvaliteta.

Zahvaljujući zakonskoj regulativi u prethodnim dekadama kvalitet motornih ulja je povećan. Takođe, i buduće specifikacije motornih ulja biće uslovljene regulativama koje će određivati nivo sledećih emisija.

Literatura:

- [1] Kennedy, S. i dr.: A Synthetic Diesel Engine Oil with Extended Laboratory Test and Field Service Performance, SAE Paper 95 2553.
- [2] Jetter, K. i dr.: Extended Oil Drain Performance Capabilities of Diesel Engine Oils, SAE Paper 98 2718.
- [3] Kelly, K. i dr.: Performance of an Advanced Synthetic Diesel Engine Oil, SAE Paper 2000-01-1993.
- [4] Auto Technology Intern. Jan. 2001.
- [5] Geehan, J. i dr.: Lubricants that Optimise Diesel Engine Fuel Economy and Allow Extend Oil Drains, 13-th Intern. Colloq. Tribology, Esslingen 2002.
- [6] Manni, M. i dr.: Impact of Fuel and Oil Quality on Deposits, Wear and Emissions from a Light-Duty Diesel engine with EG8, SAE Paper 2000-01-1913.
- [7] Gligorijević, R., Jevtić, J.: The Impact of Lube Oil Characteristics on Emission from Diesel Engine, Nordtrieb 2002, Stockholm 2002.
- [8] Korcek, S. i dr.: Automotive Lubricant for next Millenium, Tribology 2000 plus, Esslingen 2000.
- [9] Geehan, J. i dr.: API CI4: The First Oil Category for Diesel Engines Using Cooled Exhaust Gas recirculation, 13-th Intern. Colloq. Tribology, Esslingen 2002.
- [10] Luther, R.: Characteristics of Environmentally Compatible Engine, 13-th Intern. Colloq. Tribology-Lubrication Engineering, Esslingen 2002.
- [11] Hilden, L., Mayer, J.: The Contribution of Engine Oil to Particulate Exhaust Emissions from high – Duty Diesel Powered Vehicles, SAE Paper 841395, 84.
- [12] Lepperhoff, G., Houben, M.: Particulate Emission and Soot Formation Processes by Diesel Engines, I Mech E, 10-12, 1990.
- [13] Cartellieri, W., Herzog, P.: Swirl Supported of Quiescent Combustion for 1990's Heavy-Duty Diesel Engines-Analysis, SAE Paper 880342.
- [14] Internal Chevron Oronite data.
- [15] Luther, R.: Characteristics of Environmentally Compatible Engine Oils, 13-th Intern. Colloq. Trib., Esslingen 2002.
- [16] Froelund, K. i dr.: Impact of Oil Consumption on Particulate Emissions for Diesel Engines, Fisita 02, F02 V327.
- [17] CEC L-51-A-97 (OM 602 A) Engine tests.
- [18] CEC L-78-T-99 Engine tests.

Marko Pejić,
poručnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

AERODIGITALNI SENZORI – LH SYSTEMS ADS 40

UDC: 528.711.1

Rezime:

U radu su prezentovane osnove prikupljanja prostornih podataka metodom daljinske detekcije i klasičnim fotogrametrijskim metodom. Ukazano je na kompromis između dva metoda koji nudi digitalna aerokamera. Kompanija LH Systems proizvela je digitalnu aerokameru ADS 40 koja nudi sasvim nov koncept prikupljanja prostornih podataka. Sistem kamere obezbeđuje panhromatske i trodimenzionalne informacije koristeći tri CCD linije i opcipno još pet linija iz multispektralnog opsega. Kamera skenira teren sa prostornom rezolucijom od 25 cm, površine od 300 kvadratnih kilometara, uz vreme trajanja leta koje je nešto kraće od jednog sata.

Ključne reči: daljinska detekcija, fotogrametrija, digitalna aerokamera, rezolucija, trolinijski senzor, multispektralna slika, matematički model snimanja.

AIRBORNE DIGITAL SENSORS – LH SYSTEMS ADS 40

Summary:

This paper presents basics of collecting spatial data with remote sensing and the classical photogrammetric method. A compromise between two methods, offered by a digital aero camera, is also suggested. The LH Systems has produced a new camera concept called Airborne Digital Sensor (ADS 40) which uses a new way of collecting spatial data. The camera system provides panchromatic and stereo information using three CCD lines and up to five more lines for multispectral imagery. The performance of the camera allows a three dimensional and multispectral image with a ground sample distance of 25 cm for an area of 300 square miles within a flight time shorter than one hour.

Key words: remote sensing, photogrammetry, digital aerial camera, resolution, three line sensor, multispectral imagery, mathematical model.

Uvod

Globalnim razvojem industrije i porastom populacije na Zemlji javlja se sve veća potreba za prostornim podacima. Oni treba da omoguće široku lepezu informacija koje su korisne u različitim sferama primene.

Daljinska detekcija već se neko vreme pojavljuje kao nezamenjiv metod prikupljanja podataka masovnog (prostornog)

karaktera. Definiciju ovog ustaljenog termina kod nas je dao veliki broj autora. Ovde će biti navedena samo jedna koja potpuno objašnjava metod i otklanja sve eventualne stručne nesporazume: „Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija putem sistema koji nisu u direktnom, fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom“ [Evelyn Pruitt 1960].

Princip daljinske detekcije jednostavno se može sagledati na osnovu slike 1.

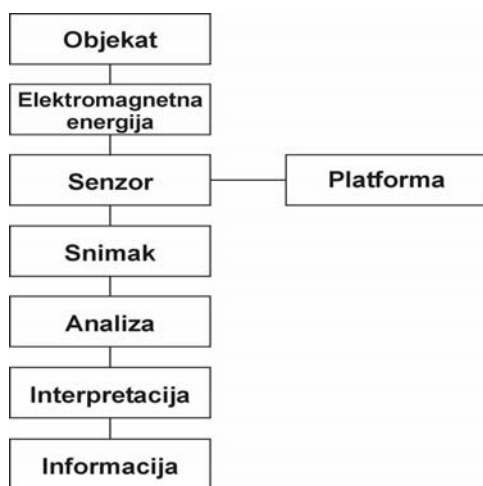
Za realnost, koja se apstrakuje ovim metodom, zainteresovani su različiti korisnici, a s obzirom na to da je objekat snimanja Zemljina površina, daljinska detekcija se primenjuje u geonaukama; u geodeziji i kartografiji za kartiranje, u geologiji za utvrđivanje geološke građe terena, u poljoprivredi za pedološki sloj i

različite kulture, u šumarstvu za vegetacioni pokrivač, u hidrologiji za vode, itd. Tu su još i neke specifične potrebe, poput praćenja i predviđanja elementarnih nepogoda i prirodnih katastrofa usled pomeranja tla, zaštita životne sredine i druge. Takođe, važno je reći da sistem daljinske detekcije ima dugu tradiciju u vojnim primenama.

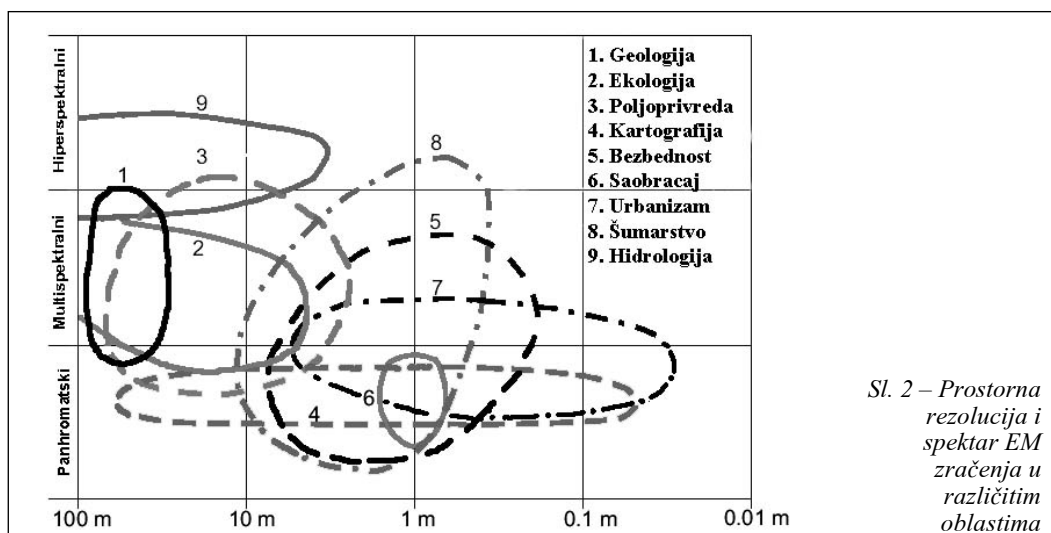
Na slici 2 prikazano je devet najvažnijih oblasti primene daljinske detekcije u funkciji njihovih potreba za prostornom i spektralnom rezolucijom.

Na slici 3 ilustrovana je potrebna prostorna rezolucija i period obnavljanja snimanja (dopune) za svaku oblast primene.

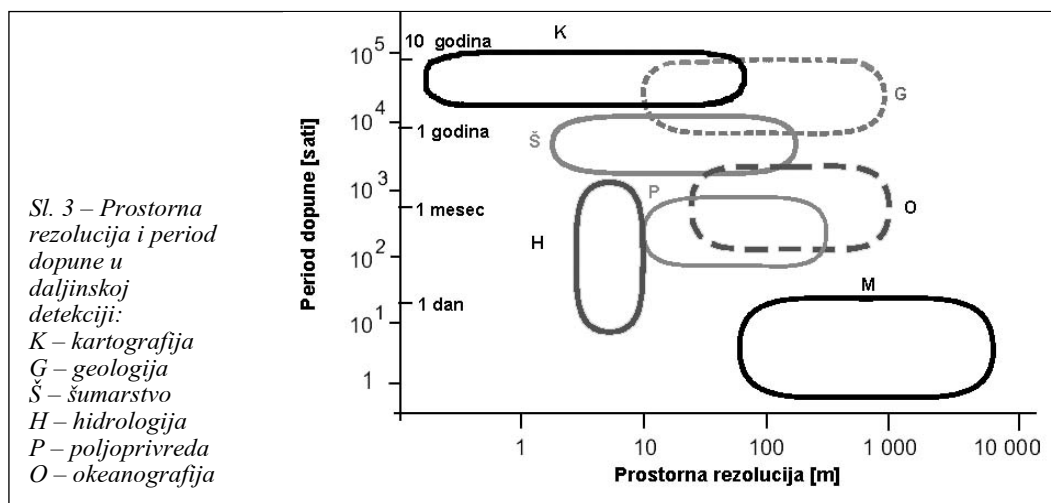
Razvojem informacionih tehnologija omogućeno je da daljinska detekcija, u kombinaciji sa GIS-om i njegovim aplikacijama, pruži korisne informacije kako tematskog, tako i prostornog karaktera. Ovakvi generisani informacioni modeli od posebnog su značaja u naučnim istraživanjima, a pored toga za njih su zainteres-



Sl. 1 – Princip daljinske detekcije



Sl. 2 – Prostorna rezolucija i spektral EM zračenja u različitim oblastima



sovane različite organizacije, vladine institucije, privatne kompanije i pojedinci.

Geodetska nauka posebno je zainteresovana za položajne informacije koje se dobijaju metodom daljinskog istraživanja. Prioritet i osnovni pokazatelj kvaliteta geodetskog proizvoda, ma u kom obliku on bio (numerički podatak, snimak, karta ...) njegova je položajna tačnost. U tom smislu, za kartiranje sadržaja sa položajnom tačnošću santimetarskog reda veličina, neophodni su izvorni podaci koji poseduju taj ili veći stepen tačnosti. Pored toga, sve je zapaženija tendencija da ti podaci budu, po mogućnosti, izvorno u digitalnom obliku. Snimci koji su do sada eksploatisani, a koji su primarno bili u digitalnom obliku, za noseću platformu su koristili satelite. S obzirom na veliku orbitalnu visinu, i tehničko nesavršenstvo senzora, rezolucije snimaka uglavnom su metarske. Kada se tome doda visoka cena snimaka, rezultat je da se ovi snimci nisu upotrebljavali za krupnorazmerno kartiranje. U poslednje vreme na tržištu se nalaze satelitski snimci

čije su prostorne rezolucije ispod 1 m. U većini slučajeva nemoguća je autonomnost korisnika u kreiranju kvaliteta snimka u smislu njegove tačnosti, prostornog zahvata, itd. S druge strane, postojeći sistemi za aerofotogrametrijska snimanja, i pored potpune automatizovanosti, autonomije u radu i razvijene softverske podrške, zasnovani su na fotografskom principu, pa je proizvod aerofoto snimanja merna fotografija. Ovakvi podaci, koji su u analognom obliku, prevode se u digitalni oblik skeniranjem. Skeneri moraju biti visokih performansi, u pogledu rezolucije skeniranja i tačnosti, što utiče na cenu procesa.

Potencijal i principi senzora visoke rezolucije

U svetu su danas fotogrametrija i daljinska detekcija glavni snabdevači informacija o prostoru, objektima i pojavama na njemu. Prelaskom sa analitičke na „softcopy“ fotogrametriju sa digitalnim registrovanjem i obradom snimaka, kao i

korišćenjem GPS podataka, došlo se do racionalne i precizne metode u automatskoj izradi topografskih karata, potrebnih geodetskih podloga i prikupljanju drugih informacija o čovekovoj okolini. Danas su digitalni snimci uobičajeni u geodeziji. Takođe, interpretacija snimaka i prepoznavanje objekata vrši se uz automatsku podršku.

Digitalna fotogrametrija nastala je pojavom digitalnih sistema za izradu snimaka, jednodimenzionalnih, rednih ili površinskih senzora, koji se već dugo uspešno koriste u satelitskoj daljinskoj detekciji. Za fotogrametriju je mnogo interesantnija digitalna aero kamera. Korišćenje digitalnih skenera na avionima dugo nije uzelo maha. Ove kamere su se koristile za snimanja u bliskom domenu. Za vojne potrebe u svetu se uveliko koriste digitalne kamere sa sensorima, koje u potpunosti zadovoljavaju postavljene zahteve. Ovi snimci su manjeg formata od standardnih aerofotogrametrijskih snimaka.

Razvoj senzora visoke prostorne rezolucije

U prvom pokušaju da se konstruiše avio senzor u merne svrhe, ulogu pionira u ovom poduhvatu ostvarilo je društvo Photometrics. Korišćen je površinski senzor LFIS (Loral Fairchild Imaging System), veličine 4K×4K. U kameri su isprobana tri tipa senzora, i svi su imali dva glavna nedostatka: slab nivo zasićenosti u elektronima i veliki broj defektnih linija. Matrica senzora očitava se sa 1 Mpiksel/s, što omogućava tri snimka u minuti.

Februara 1993. godine izvršeno je prvo aerosnimanje digitalnom kamerom

po maglovitom i oblačnom vremenu. Visina leta bila je 3500 m, brzina aviona 360 km/h, a uzdužni preklop oko 55%. Snimljeno je pet redova sa po 9 snimaka koji pokrivaju površinu 12 h 24 km². Vizuelnom kontrolom snimaka uočene su senke po ivicama. Blještanje zbog refleksije svetlih površina je smetnja koja je smanjila odnose signal/šum na iznos 40. Zbog greške postavljanja senzora upravno na optičku osu objektiva kamere od 0,3 mm javila se nejasnoća na desnoj strani snimka koja je ispravljena naknadno pri obradi snimaka. Sračunati su ortofotosi i izrađen fotoplan sastavljanjem odabranih korisnih površina.

I pored brojnih nedostataka ovog eksperimenta koji je izveden pod nepovoljnim uslovima i sa nedovoljno ispitanom opremom, postignuti su ohrabrujući rezultati. Uočeno je da se detalj dobro reprodukuje u senkovitim zonama, pa je preporučeno da se ova tehnologija primenjuje za snimanje urbanih zona.

Kamera Loral Fairchild Imaging System pokazala je nedostatke koji nisu mogli da se prevaziđu. Zato je bilo potrebno naći novu kameru (Mitić, 1994). U narednom periodu bilo je manje ili više uspešnih pokušaja konstruisanja avio-senzora visoke prostorne rezolucije. Nakon jednodecenijskog razvoja senzora visoke rezolucije, na tržištu se konačno pojavila kamera ADS40 (Airborne digital sensor).

Zahtevi za senzore visoke rezolucije

Aerofotogrametrijske kamere sa pratećom opremom decenijama su bile nezamenjive ako je bilo potrebno prikupiti podatke visoke položajne tačnosti. Merna

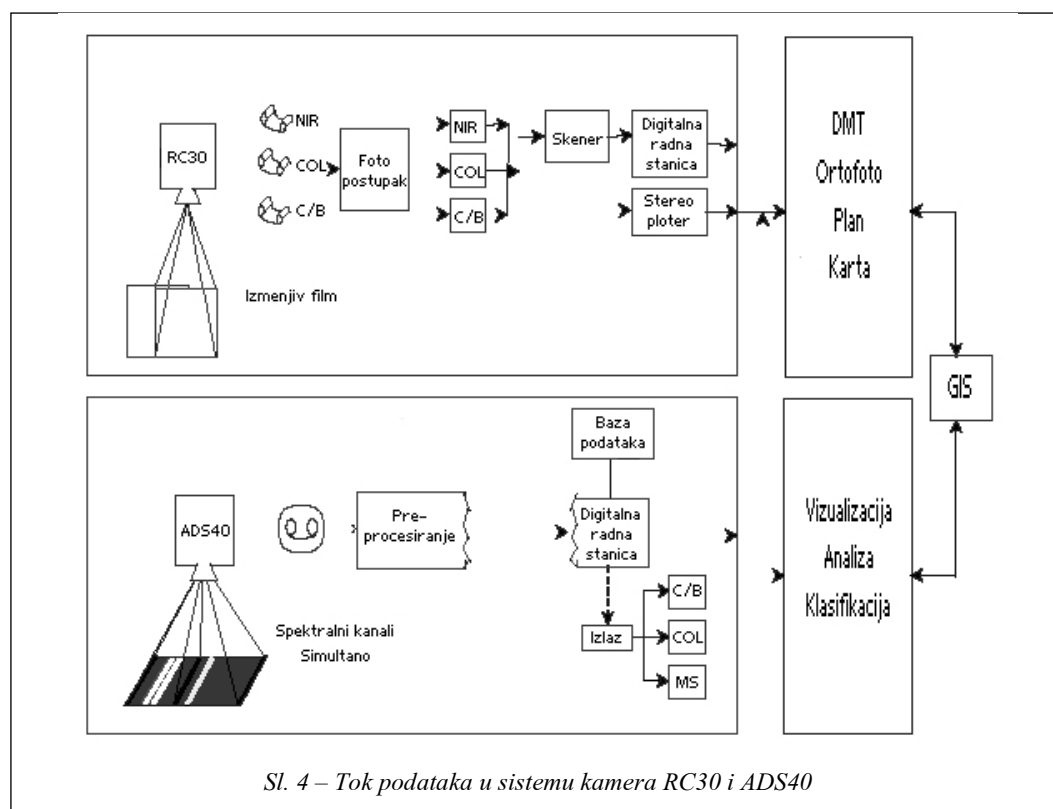
fotografija poseduje visoku moć razdvajanja. Visine leta aviona relativno su male, pa su prostorne rezolucije aerofoto-snimka dostigle vrednosti manje od 0,15 m. Snimci se skeniraju, a zatim se sadržaj kartira ili prave digitalni modeli terena. Korišćenjem različitih filtera moguće su i različite tehnike aerofoto snimanja.

Razvojem industrijske tehnologije i usavršavanjem CCD senzora stvoreni su uslovi za plasiranje na tržište merne aerokamere koja zadovoljava većinu geodetskih potreba sa aspekta prostorne rezolucije (0,16 m). Na slici 4 prikazan je tok podataka u klasičnom sistemu za snimanje (RC30) i sistemu digitalne aerokamere ADS40.

Da bi avio-digitalni senzor bio uticajniji na području na kojem je decenija-

ma bila neprikosnovena aerofotogrametrijska kamera, on mora da ispuni određene zahteve:

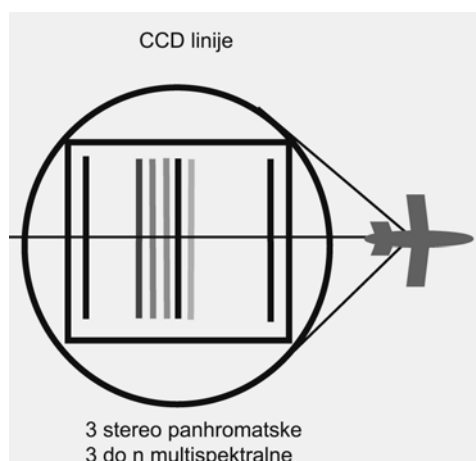
- široko vidno polje duž i upravno na pravac leta, radi smanjivanja vremena i troškova snimanja;
- linearne karakteristike, visoka osetljivost i veliki dinamički opseg;
- veličina CCD elemenata (piksel na slici) koja treba da omogući visoku prostornu rezoluciju;
- registrovanje područja van vidljivog dela spektra EM zračenja, što je potrebno u različitim sferama primene daljinske detekcije;
- kratke ekspozicije i periodi praznog hoda;



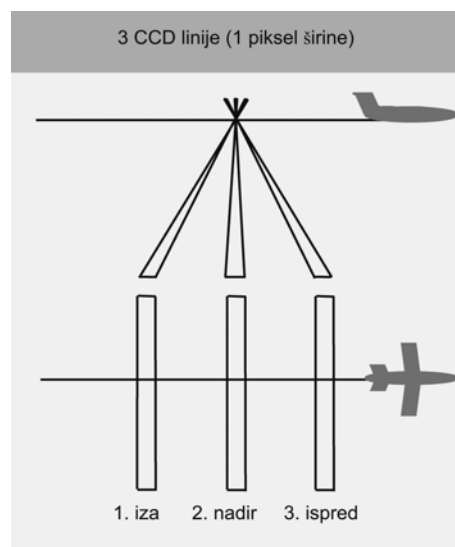
- radiometrijska kalibraciona procedura, kako bi se omogućila pouzdanost senzorske osetljivosti;
- obezbeđenje stereoefekta jednom kamerom.

Konstrukcija i karakteristike kamere ADS40

Sredinom 2000. godine zajedničkim projektom nemačkog aerokosmičkog centra (DLR) i LH Systems (Leica), postala je dostupna kamera koja pravi kompromis između klasičnih i satelitskih snimaka. Ona istovremeno snima u tri pravca: ispred, iza i u nadiranju. Obezbeđuje, dakle, panhromatske stereo informacije uz pomoć tri CCD linije i još pet iz multispektralnog područja, uključujući tu dve iz bliskog dela spektra svetlosnog zračenja (NIR) (slika 5). Svaka CCD linija za panhromatska merenja poseduje 24 000 elemenata, što rezultira vidnim poljem od 64° duž pravca leta (FOV). Žižna daljina objektiva je 62,5 mm. Poseduje dinamički opseg od 12 bita i period snimanja od 1,2 ms po liniji. Usled ovakvih performansi



Sl. 5 – Multispektralni potencijal kamere ADS40



Sl. 6 – Geometrijske karakteristike trolinijskog digitalnog senzora (Rainer Sandau 2000)

ADS40 obezbeđuje multispektralni i tro-dimenzionalni prikaz terena prostorne rezolucije od 0,25 m za snimljeno područje od oko 800 km², uz vreme leta oko 1 čas (Hans P. Roeser 2000).

Koncept trolinijskog senzora omogućuje informacije o objektima na Zemlji iz tri različita ugla, što omogućuje stereoskopsku vidljivost u procesu restitucije. Svaki linijski senzor detektuje pri jednom prolazu oblast (strip) širine 1 piksela. Povezivanjem svih snimljenih traka duž pravca leta nastaje snimak terena. Sa slike 6 jasno se vidi da se mogu kombinovati trake 1 i 2, 2 i 3, i 3 i 1, kako bi se postigao stereoeffekat u restituciji.

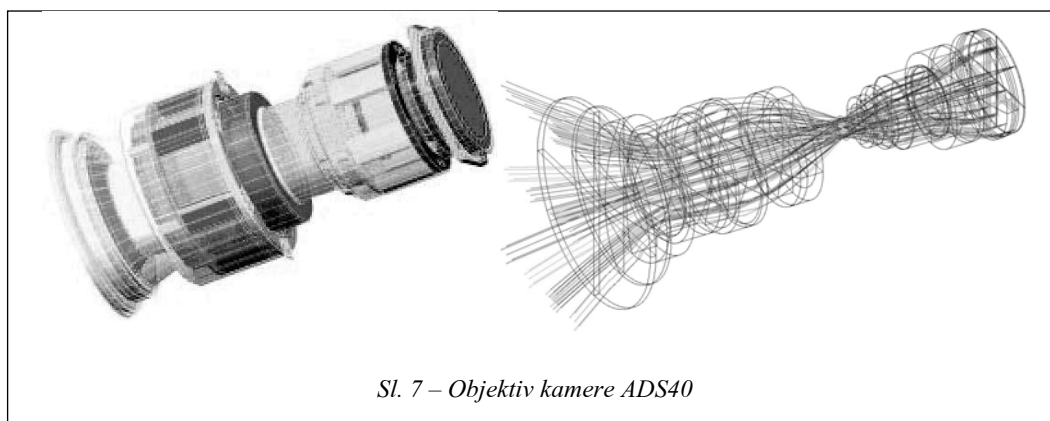
Senzor je optimiziran tako da svi njegovi parametri poput dimenzija, ravnih karakteristika, faktora konverzije, linearnih karakteristika, elektronskog interfejsa i cene odgovaraju postavljenim zahtevima.

Senzori visoke prostorne rezolucije pretpostavljaju kvalitetan optički sistem.

Objektiv prikuplja i prosleđuje prostorne, spektralne i radiometrijske podatke sa Zemljine površine do linijskog senzora. Po dimenzijama, težini, rezoluciji i svetlosnoj propustljivosti objektiv instaliran na ADS40 je sličan onom na kameri RC30. Međutim, razlike postoje, shodno različitim formama registrovanja podataka, pa su primenjena različita konstrukciona rešenja. Dok je minimalizovanje efekta distorzije prioritet kod mernih filmskih kamera, to je telecentričnost kod svih digitalnih kamera, a naročito kod ADS40, gde je zahtev za multispektralnom informacijom visoke rezolucije, prioritet.

Nekoliko spektralnih područja između 400 nm (plavo) i 900 nm (infracrveno), implementirano je u kompleksni sistem pomenutog objektiva, sa pratećim filterima za svako područje. Filteri su postavljeni neposredno uz CCD senzor iz konstruktivnih razloga. Zahtev koji je postavljen pred ovakav sklop jeste da filteri ne bi smeli da menjaju spektralnu moć prepoznavanja duž celog vidnog polja kamere. ADS40 koristi osam paralelnih senzorskih linija, tri panhromatska i pet spektralnih (crvena, zelena, plava i dve infracrvene). Na slici 7 prikazan je objektiv ove kamere.

Gubitak ugaone simetrije između objekta snimanja i objekta na snimku u ovakvoj konstrukciji, prisutan je jer nije moguće postići idealnu telecentričnost objektiva. Primaran zahtev je da vrednosti rezolucije na snimku moraju biti konstantne u celom vidnom polju, u oba smera duž i širom pravca leta aviona. To treba ostvariti uprkos varijacijama temperature, vazdušnog pritiska i visine leta. Greške su svakako neizbežne, međutim one treba da budu sistematskog karaktera, kako bi se omogućila rektifikacija snimaka u kasnijim fazama obrade. Radi toga konstrukcione karakteristike kamere koje odgovaraju zahtevima za visoku prostornu rezoluciju teško je postići. Prema tome, svi zahtevi koji su postavljeni pred kameru kao što su široko vidno polje, širok spektralni opseg, visoka rezolucija, telecentričnost i stabilnost u odnosu na spoljne uticaje ostvareni su pomoću objektiva koji je sličan onom na kameri RC30. Karakteristike ADS40 dobre su u onoj meri u kojoj su konstruktori uspeli da savladaju objektivna ograničenja, koja usled rane faze razvitka senzora još nisu na nivou na kojem bi mogli biti u budućnosti. Karakteristike kamere prikazane su u tabeli.



Sl. 7 – Objektiv kamere ADS40

Glavne karakteristike kamere ADS40

Zižna daljina	62,5 mm	Plava	428–492 nm
Veličina piksela	6,5 μ m	NIR1	703–757 nm
Panhromatske linije (preklop)	2 $\times$ 12 000 piksela	NIR2	833–887 nm
RGB i NIR linije	12 000 piksela	Dinamički opseg	12-bit
Vidno polje (popreko)	46°	Radiometrijska rezolucija	8-bit
Stereo ugao napred-nadir	26°	Prostorna rezolucija (H = 3000 m)	16 cm
Stereo ugao napred-nazad	42°	Linearni zahvat senzora (H = 3000 m)	3,75 km
Stereo ugao nadir-nazad	16°	Frekvencija čitanja po liniji	200–800 Hz
Crvena	608–662 nm	Memorijski kapacitet misije	200–500 GB
Zelena	533–587 nm		

Fokusnu ravan (slika 8) čini četiri CCD kućišta, termo kontrola CCD senzora i interfejs između optike, filtera i okoline. Svaka CCD panhromatska linija sadrži dva linearna reda sa po 12k elemenata (piksela) raspoređenih sa 0,5 piksela pomaka. Linije koje registruju oblasti RGB, NIR1 i NIR2 koriste jedan red sa 12 000 elemenata po liniji.

Fokusna ravan sadrži CCD linije sa minimumom neophodne elektronike. Svaka 24k CCD linija je sastavljena od dve 12k linije, koje se procesiraju potpuno odvojeno. Svaki par 12k može se nezavisno koristiti za različite delove spektra, a naravno i svaka 12k linija posebno. Dakle, sistem ADS40 teoretski se može upotrebiti kao 3 $\times$ 24k (pan.) + 6 $\times$ 12k (kolor) CCD linija. To je omogućeno zahvaljujući kompleksnoj elektronskoj štampanoj ploči. U svakoj ploči inkorporirane su sve neophodne funkcije za

kompletno procesiranje analognog signala (ASP). Raspored elektronskih elemenata na ploči postavljen je tako da odgovara ergonomske zahtevima kamere.

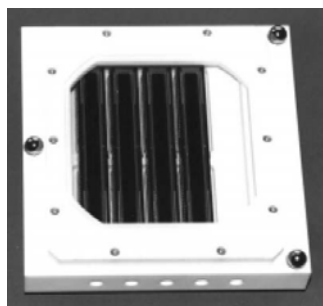
Kompjuterski sistem kamere čini nekoliko komponenti:

- kompjuter kao kontrolna jedinica i platforma za procesiranje podataka;
- sistem za skladištenje podataka slikovnog formata i drugih neophodnih parametara snimanja;
- elektronika pozicionog sistema;
- interfejs pilota i operatora kamere;
- I/O jedinica kao interfejs ostalih senzora i uređaja.

Karakterističan deo kompjutera je magistrala velike brzine za protok slikovnih podataka, dizajnirana tako da omogućiti kompresiju podataka u realnom vremenu brzinom od 40 MB/s. Podržana su dva formata – jpeg i lossless.

Sistem za skladištenje podataka, koji se skupljaju tokom leta, konstruisan je shodno ekstremnim uslovima koji vladaju tokom leta. Kapacitet diska omogućuje autonomiju leta do četiri sata, sa brzinom zapisa od 40 do 50 MB/s.

Interfejs operatora kamere konstruisan je tako da omogućuje lako praćenje snimanja. Posедуje terminal visoke rezolucije i sistem „touch screen“. Interfejs pilota potpuno je nezavisan od operatora, i instaliran je u kokpitu letelice.



Sl. 8 – Fokusna ravan

Jedinica I/O predstavlja fleksibilan interfejs ka eksternim uređajima. Baziran je na modulnom principu i pruža mogućnost povezivanja sa budućim multisenzorskim kontrolnim sistemom. Tako, biće omogućeno kombinovanje ADS40 zajedno sa ostalim sistemima za snimanje, kao što su kamera RC30, žirostabilizator PAV30, kao i svaki drugi senzorski sistem, na primer spektrometar ili laserski skener.

FCMS (Flight and sensor control management system) kontroliše, koordinira i prati podsisteme kamere i prezentuje informacije uz pomoć grafičkog interfejsa, tako da se u toku snimanja mogu vršiti određene korekcije, kako bi se ispunili



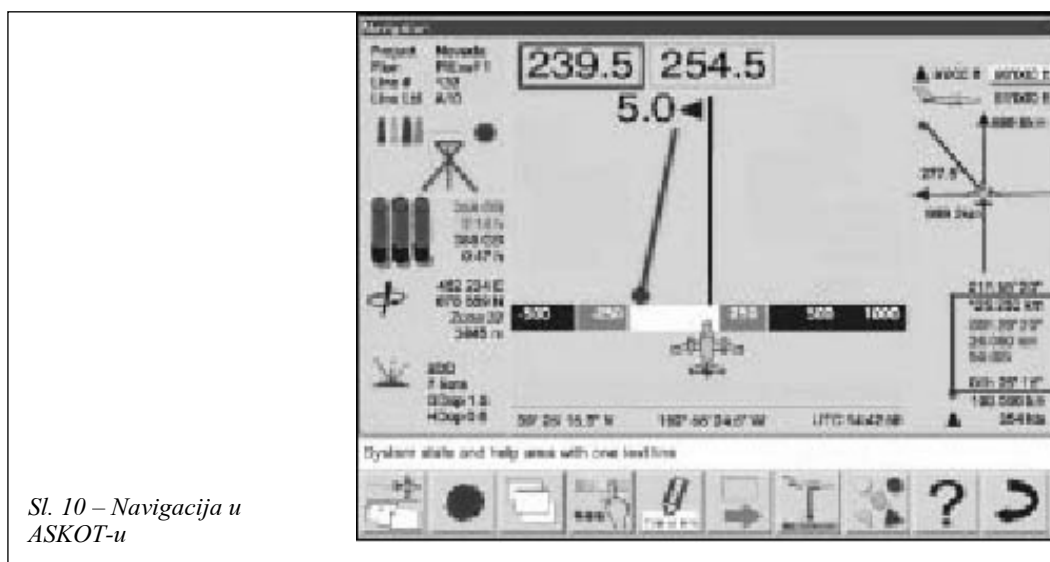
Sl. 9 – Komponente FCMS

postavljeni zahtevi snimanja. Komponente ovog sistema prikazane su na slici 9.

Upravljanje letom vrši se uz pomoć napredne softverske podrške sa razvijenim help funkcijama i uputstvima u Windows okruženju, sa grafičkim displejom „touch screen“.

Navigacioni sistem obezbeđuje precizno održavanje planiranog kursa za koji je odgovoran isključivo pilot. U odnosu na sistem RC 30 nema bitnijih promena, pa se koristi ista aplikacija ASKOT (Aerial Survey Control Tool), koja omogućuje, pored održavanja planiranog kursa, pozicioniranje i precizno održavanje visine. Operator i pilot mogu imati različita okruženja u smislu praćenja snimanja, odnosno mogu sami kreirati svoje okruženje u grafičkom i drugom smislu. Takođe, moguće je izvršiti snimanje bez operatora kamere, odnosno pilot može u nekim projektima sam obaviti snimanje. Na slici 10 prikazan je izgled ekrana tokom navigacije.

Senzorska kontrola je sistem koji funkcioniše potpuno automatski. Kontro-



Sl. 10 – Navigacija u ASKOT-u

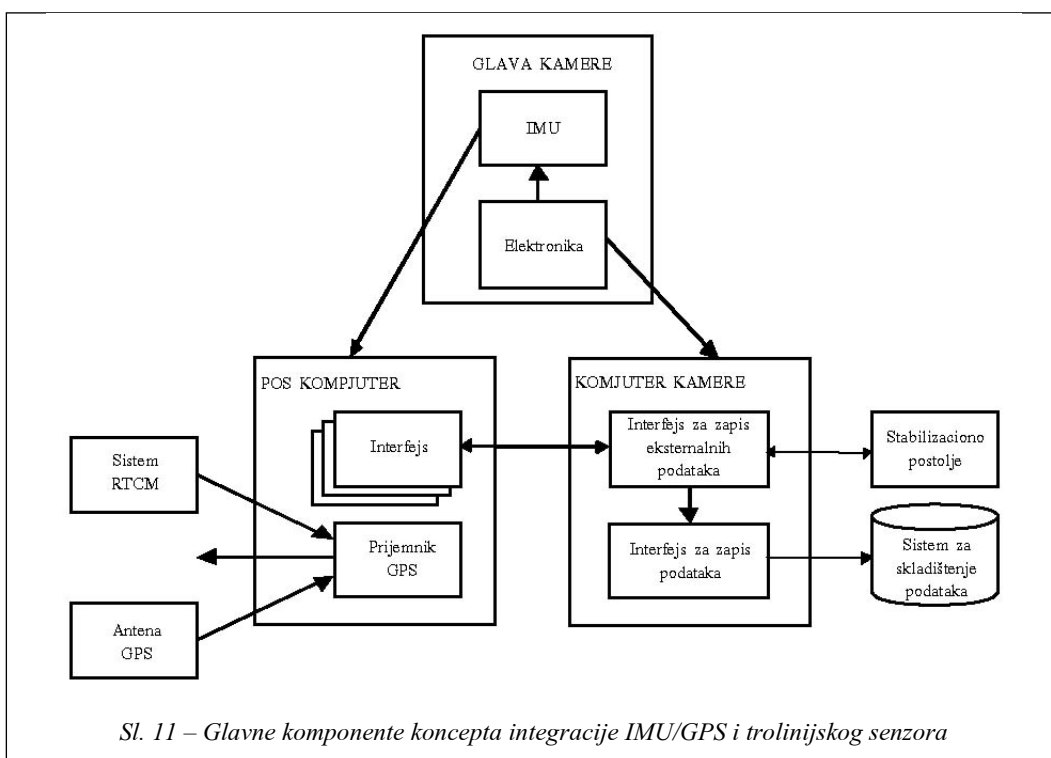
lišu se parametri bitni za realizaciju snimanja, koje indirektno definiše operator ili plan snimanja. Podaci o greškama u toku leta bitni su za kasniju manipulaciju snimcima.

Test i servis opciono omogućuju analizu raznih parametara koju vrše stručni timovi, radi unapređenja i razvoja sistema ADS40.

Pozicioni sistem kamere

Da bi se snimci visoke rezolucije, nastali pomoću linijskog skenera, koristili za kartiranje objekata, oni moraju biti vezani za terenski koordinatni sistem. Principijelno, postoje dva koncepta. Triangulacija rektifikovanih snimaka vrši se uz pomoć, u fotogrametriji ustaljenih, matematičkih modela uz odgovarajuću softversku podr-

šku. Drugi način je da se u toku samog leta prikupljaju parametri potrebni za orijentaciju (položaj centra projekcije, parametri ugaonog kolebanja postolja kamere i eventualno koordinate kontrolnih tačaka na terenu). Prvi metod (indirektni) jeste vremenski zahtevniji, dok je drugi (direktni) ekonomski opravdaniji, i primenjen je u sistemu kamere ADS40. Pronađen je optimalni način prikupljanja neophodnih podataka na osnovu GPS prijemnika – Internal Position and Orientation System (POS) i senzora inercijalne merne jedinice (IMU) integrisanih u kameru, i korišćenje samo nekoliko pouzdanih koordinata referentnih GPS tačaka. Prednosti ovakvog koncepta orijentacije su da se obrada rektifikovanih snimaka znatno skraćuje i da je odnos cene i kvaliteta izlaznih rezultata na zadovoljavajućem nivou.



Sl. 11 – Glavne komponente koncepta integracije IMU/GPS i trolinijskog senzora

Integriranost sistema orijentacije sa fokusnom ravni CCD senzora (slika 11) ima veliki značaj u smislu redukovanja orijentacionih tačaka na terenu.

U sistem za orijentaciju uključene su četiri glavne komponente: internalna merna jedinica (IMU), POS kompjuterski sistem, GPS L1/L2 (faze nosećih talasa) prijemnik i softver za postprocesiranje GPS merenja.

Matematički model snimanja pomoću senzora ADS40

Senzor ADS ne koristi skupo žiro-stabilizaciono postolje. Transformacija koordinata obavlja se pomoću precizno merenih koordinata GPS antene u letelici, i parametara nestabilnosti fokusne ravni. Rešenje, koje je takođe primenjeno na sistemu za aerofotogrametrijska snimanja RC30, svodi se na određivanje koordinata projekcionog centra kamere uz pomoć ekscentrično postavljene GPS antene i merenja vrednosti kolebanja fokusne ravni (ω , φ i κ) kamere usled turbulencija i nepreciznosti navigacije, uz pomoć IMU modula. To teorijski isključuje potrebu za terestričkim merenjima, odnosno za aerotrijangulacijom. Međutim, u kombinaciji sa kontrolnim (orijentacionim) tačkama može se poboljšati tačnost definitivnih koordinata na snimku, pa se radi toga koncept kontrolnih tačaka merenih na terenu još uvek primenjuje.

Iako se georeferenciranje u svim fazama odvija potpuno automatizovano u grafičkom okruženju ORIMA, i merenja vrše uz pomoć aplikacije APM softverskog paketa SOCKET SET, ovde će biti naveden i ukratko prikazan matematički model aerometrijskog snimanja uz pomoć kamere ADS40.

Polazna jednakost za transformaciju merenih koordinata na PC platformi lokalnog koordinatnog sistema, čiji je primitiv piksel, u terenski koordinatni sistem koji ima za datum elipsoid WGS84, ne razlikuje se od klasičnog modela.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GPS} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PC} \quad (1)$$

Kao što se vidi u jednakosti (1), da bi se koordinate prevele iz lokalnog sistema u referentni GPS okvir, potrebno ih je rotirati matricom rotacije $R = f(\omega, \varphi \text{ i } \kappa)$, urazmeriti (λ) i translirati za vrednost vektora koordinata projekcionog centra kamere (X_0, Y_0, Z_0).

Razlika u odnosu na konvencionalni pristup u modelovanju terenskih koordinata je u činjenici da, za razliku od skoro trenutnog nastajanja aerofoto snimka, ovde snimak nastaje sukcesivno, skeniranjem linija širine jedan piksel. Dakle, svaka linija ima svoje parametre transformacije koji se prikupljaju u toku leta, i mora se odvojeno tretirati. Međutim, iz praktičnih razloga, a u svrhu racionalizacije, koristi se princip interpolacije svih koordinata snimka na osnovu samo pojedinih senzorskih linija koje poseduju veću pouzdanost u smislu tačnosti parametara apsolutne orijentacije:

$$\begin{aligned} x_i &= F(X_i, Y_i, Z_i, X_k, Y_k, Z_k, \omega_k, \varphi_k, \kappa_k, \\ &\quad X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}, \omega_{k+1}, \varphi_{k+1}, \kappa_{k+1}) \\ y_i &= G(X_i, Y_i, Z_i, X_k, Y_k, Z_k, \omega_k, \varphi_k, \kappa_k, \\ &\quad X_{k+1}, Y_{k+1}, Z_{k+1}, \omega_{k+1}, \varphi_{k+1}, \kappa_{k+1}) \end{aligned} \quad (2)$$

Kolinearna jednakost (2) omogućuje dobijanje slikovnih koordinata tačke i , koje predstavljaju funkciju od fiksnih orijentisanih linija k i $k+1$, za koje su

poznati parametri apsolutne orijentacije (Müller 1991). Rastojanje između susednih fiksni linija definisano je kriterijumom minimalizovanja sistematskih grešaka koje su prouzrokovane nestabilnošću fokusne ravni u toku snimanja.

Zaključak

Za nezavisno vrednovanje performansi sistema za aerosnimanje ADS40 potrebno je testirati kameru. S obzirom na to da nije postojala takva mogućnost, na osnovu dostupne literature i iskustava u ovoj oblasti mogu se izvesti određeni zaključci:

- kamera poseduje samo jedan objektiv, uz mogućnost registrovanja multispektralnih podataka tokom jednog snimanja, što obezbeđuje ekonomičnost snimanja sa bogatim asortimanom informacija o snimljenom terenu;

- sistem trolinijskog CCD senzora omogućuje kartiranje, uz izbor željenih linija za stereo restituciju;

- moguće je snimiti velika područja za kratak period, uz nivo kvaliteta u smislu prostorne rezolucije (0,16 m, N=3000 m) koji odgovara većini geodetskih potreba. Ta činjenica opravdava visoku početnu ulaganja u ovu kameru, uz uslov optimalne eksploatacije;

- senzor još uvek ne omogućuje rezolucije kojima raspolaže aerofoto kamera, tako da će se filmski princip koristiti još neko vreme u fotogrametriji;

- nije obavezna triangulacija u većini slučajeva;

- kompatibilnost celog sistema kamere i mogućnost kombinovanja sa drugim sistemima (npr. RC30), uz softversku podršku u operativnom sistemu Windows, na PC plat-

formi, ne zahteva veća ulaganja u nabavku dodatne opreme i obuku kadra;

- nema potrebe za razvijanjem filma, kao ni za skeniranjem fotosnimaka, već su izvorni podaci u digitalnom obliku, pa se sa njima lakše manipuliše;

- u odnosu na satelitske snimke, pored veće prostorne rezolucije, nezavisno se može planirati i ostvariti željeni nivo kvaliteta snimaka;

- snimci se skladište na odgovarajućim medijima, uz zagarantovan nivo kvaliteta i nakon dužeg perioda.

Imajući u vidu vrednost prostorne rezolucije senzora može se pretpostaviti da se kamera ADS40 može koristiti u procesu izrade geobaze podataka topografske karte 1:25 000, kao i ostalih geodetskih podloga (ortofoto, sitnije razmere karata, itd.).

Literatura:

- [1] Eckardt, A.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Performance of the imaging system in the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [2] Börner, A.: Institute for Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Test results obtained with the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [3] Scholten, F.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Digital 3D data acquisition with high resolution stereo camera-airborne (HRSC-A), ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [4] Hans, P.: ROESERA, DLR Institute of Sensor Technology and Planetary Exploration, Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin, Germany: New potential and applications of ADS, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [5] Pavlović, R.; Čupković, T.; Marković, M.: Daljinska detekcija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd 2001.
- [6] Sandau, R.: LH Systems GmbH, Switzerland: Design principles of the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [7] Schuster, R.: Institute of Space Sensor Technology and Planetary Exploration: Calibration of the LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [8] Tempelmann, U.: LH Systems GmbH, Switzerland: Photogrammetric software for LH SYSTEMS ADS40 airborne digital sensor, ISPRS 2000 Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [9] www.lhsystems.com (ADS40_Software_Brochure.pdf; ADS40_Brochure.pdf; ADS40_Product_Description.pdf).

Dr Miljko Erić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

XI TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR 2003

– prikaz naučno-stručnog skupa –

Od 26. do 28. novembra 2003. godine, u beogradskom Centru SAVA u organizaciji Društva za telekomunikacije, JP PTTS „Srbija“ a. d. Beograd u saradnji sa Elektrotehničkim fakultetom iz Beograda, Jugoslovenskom sekcijom IEEE i nizom sponzora, održan je XI telekomunikacioni forum – TELFOR 2003.

Na otvaranju ovogodišnjeg naučno-stručnog skupa, bilo je prisutno preko 1500 učesnika, pretežno inženjera elektronike i telekomunikacija. Nakon uvodne reči profesora Đorđa Paunovića, predsednika organizacionog odbora, skup je na svečanoj ceremoniji otvaranja pozdravio predsednik Vlade republike Srbije Zoran Živković, istakavši značaj telekomunikacija za opštu komunikaciju među ljudima i za sveukupni razvoj društva. U okviru svečane ceremonije otvaranja, ministar za nauku, tehnologiju i razvoj republike Srbije, profesor Dragan Domazet, održao je predavanje na temu „Razvoj informatičko-telekomunikacione privrede u Srbiji“.

Ovogodišnji TELFOR obilovao je različitim sadržajima, od kojih posebno treba istaći: 10 autorskih sekcija, na kojima je u okviru 52 sednice izloženo oko 160 radova iz različitih oblasti telekomunikacija; studentsku sekciju, u okviru koje je izloženo 12 radova studenata; pet struč-

nih seminara; prezentaciju novih knjiga i veći broj komercijalnih prezentacija domaćih i inostranih firmi iz šire oblasti telekomunikacija.

U radu TELFOR-a, u svojstvu autora ili koautora, učestvovalo je preko 300 učesnika među kojima je bilo i autora iz Engleske, Austrije, Švajcarske, Finske, Nemačke, Ukrajine, Libije i Makedonije.

U okviru autorskih sekcija izloženo je oko 190 recenziranih radova u 11 tematskih celina, i to: politika i usluge u telekomunikacijama, telekomunikacione mreže, komutacioni sistemi, radio-komunikacije, sistemi prenosa signala, računarske komunikacije, obrada signala, optičke komunikacije, primenjena elektromagnetika, multimedija i video, studentska sekcija.

Kao i svake godine do sada, i ove godine na TELFOR-u je izložen veći broj radova po pozivu domaćih i stranih autora, iz oblasti mobilnih radio-sistema, optičkih komunikacija, komutacionih sistema i obrade signala.

Takođe, u okviru rada TELFOR-a održano je nekoliko veoma posećenih stručnih seminara od kojih su posebnu pažnju privukli radovi:

– „Primena savremenih softverskih alata za obradu signala i analizu sistema“, čiji su autori profesor dr Ljiljana Milić,

profesor dr Miroslav Lutovac, docent dr Dejan Tešić i Jelena Čertić;

– „Telekomunikacione pristupne mreže“, grupe autora sa Elektrotehničkog fakulteta iz Beograda na čelu sa profesorom dr Miroslavom Dukićem;

– „Tehnologije fiksnih širokopojskih mreža“, autora dr Đurđa Budimira, sa Wensmister univerziteta iz Londona.

Održana je i prezentacija novih knjiga. Posebnu pažnju posetilaca privukla je prezentacija monografije „50 godina Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu“. Takođe, prikazano je novo izdanje međunarodnog časopisa *Facta Universitatis: „Special Issue on Digital Signal Processing“* u kojem su publikovani radovi iz specijalne sekcije iz digitalne obrade signala sa prošlogodišnje konferencije TELFOR. Prikazane su i knjige „Zbirka rešenih zadataka iz mobilnih telekomunikacija“ grupe autora sa Elektronskog fakulteta u Nišu i „Mreže za pristup“ autora sa ETF u Beogradu.

Pored navedenog, ovogodišnji TELFOR je obilovao nizom pratećih sadržaja, kao što su tehničke i komercijalne prezentacije domaćih i poznatih svetskih firmi telekomunikacione i prateće opreme.

Učešće pripadnika Vojske SCG u radu konferencije TELFOR 2003 bilo je vrlo zapaženo. U svojstvu autora ili koautora u radu konferencije učestvovalo je 14 pripadnika Vojske – dva iz Vojnotehničkog instituta, šest iz Vojne akademije, tri iz Uprave VOJ i po jedan iz Uprave ARJ PVO, Uprave za istraživanje, razvoj i proizvodnju MO i iz Instituta IPME sa 10 izloženih stručnih i naučnih radova. Takođe, treba istaći da je jednom od sednica sekcije za radio-komunikacije predsedavao pripadnik Vojske SCG.

Rad TELFOR-a je, kao i prethodnih godina, bio veoma dobro medijski praćen. Zbornik radova sa ovogodišnjeg TELFOR-a ove godine je po prvi put realizovan samo na CD-u i dostupan je u elektronskoj formi na adresi: www.telfor.org.yu/on-line-r.html. Treba, takođe, istaći da se za TELFOR ne plaća kotizacije i da troškove učešća snose organizatori.

Opšti je utisak da je stručni nivo radova i na ovoj konferenciji bio na zavidnom nivou. Može se uočiti da TELFOR svake godine postaje sve sadržajnije i da po svojoj sveukupnosti i porukama ide u susret vremenu koje dolazi.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Balkanska 53

Telefoni: (011) 36-12-506, lok.: 23-495

Telefaks: (011) 36-12-506

POZIV NA PRETPLATU za 2004. godinu

Pretplaćujemo se na časopis:

broj primeraka

1. „Vojnotehnički glasnik“

(stručni i naučni časopis)

Godišnja pretplata **800,00 dinara.**

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963

.....

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd. Poručioći uplaćuju iznos pretplate na tekući račun broj **840-51485-84 RC MO – za VIZ (sa pozivom na broj za svaki časopis)** i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac tel.:

Mesto Ulica br.

Dana

Potpis naručioca

.....

M. P.

Uputstvo saradnicima

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički priloz originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje

Mirko Obradović

Lektor

Dobрила Miletić, profesor

Korice

Milojko Milinković

Korektor

Bojana Uzelac

Cena: 200,00 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)