

## SADRŽAJ

|                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Dr Vitomir T. Miladinović,</b><br>pukovnik, dipl. inž.                                                                                                                 | ZADOVOLJENJE POTREBA KORISNIKA SREDSTAVA<br>NVO – PRIMENA KANO MODELA U PROCESU OPRE-<br>MANJA .....                                                        | 261 |
| <b>Mr Zoran Novaković,</b><br>kapetan I klase, dipl. inž.                                                                                                                 | PRIMENA METODA EKSPERTSKOG OCENJIVANJA PRI<br>OCENI PROFESIONALNOG RIZIKA .....                                                                             | 275 |
| <b>Docent dr Miljko Popović,</b><br>pukovnik, dipl. inž.                                                                                                                  | BORBENI ZAOKRET AVIONA .....                                                                                                                                | 287 |
| <b>Dr Danilo Ćuk,</b><br>dipl. inž.                                                                                                                                       | UTICAJ POVEĆANJA DOMETA NA DINAMIČKU STA-<br>BILNOST ARTILJERJSKIH RAKETA SA OLUČASTIM<br>KRILIMA .....                                                     | 296 |
| <b>Mr Srđan Mitrović,</b><br>kapetan I klase, dipl. inž.<br><b>dr Marinko Aleksić,</b><br>potpukovnik, dipl. inž.<br><b>mr Zoran Đorđević,</b><br>potpukovnik, dipl. inž. | MODIFIKACIJA RAČUNARSKOG DELA BRODSKOG<br>PROTIVPODMORNIČKOG SISTEMA .....                                                                                  | 308 |
| <b>Milorad Pavlović,</b><br>dipl. inž.<br><b>Gordana Jurin,</b><br>dipl. inž.                                                                                             | PRIMENA SISTEMA ZA MONITORING BUKE I MATLAB-a<br>ZA PRORAČUN NIVO A AVIONSKE BUKE .....                                                                     | 320 |
| <b>Vanredni profesor<br/>dr Vlado Đurković,</b><br>dipl. inž.                                                                                                             | METODOLOGIJA POSTAVLJANJA DIFERENCIJALNIH<br>JEDNAČINA PRI ISTRAŽIVANJU DINAMIČKIH PARA-<br>METARA KONSTRUKCIJE LANSIRNE RAMPE NA VO-<br>ZILU TOČKAŠU ..... | 329 |
| <b>Docent dr Vojislav Batinić,</b><br>dipl. inž.                                                                                                                          | ODREĐIVANJE SOPSTVENIH UČESTANOSTI I OBLIKA<br>OSCILOVANJA DELOVA PLANETARNOG PRENOSNI-<br>KA PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA .....                      | 343 |
| <b>Docent dr Mirko Borisov,</b><br>pukovnik, dipl. inž.                                                                                                                   | NOVA TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA REŠENJA U KARTO-<br>GRAFSKOM IZDAVAŠTVU .....                                                                                      | 354 |
| <b>Profesor dr Slavko Pokorni</b><br>dipl. inž.                                                                                                                           | DQM 2007 – prikaz naučno-stručnog skupa – .....                                                                                                             | 363 |
| <b>Mr Srđan Mitrović,</b><br>kapetan I klase, dipl. inž.                                                                                                                  | ETRAN 2007 – prikaz naučno-stručnog skupa – .....                                                                                                           | 367 |

---

**SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA**

---

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| Ruski potcevni bacači granata – M. K. ....                       | 371 |
| Bacač granata XRGL40 – M. K. ....                                | 373 |
| Artiljerijski raketni sistem T-300 – M. K. ....                  | 374 |
| Mobilni minobacački sistem Agrab – M. K. ....                    | 375 |
| Laki mobilni artiljerijski raketni sistem LIMAWS(R) – M. K. ..   | 376 |
| Digitalizovana vučna haubica M777 – M. K. ....                   | 377 |
| Brazilska raketa četvrte generacije MAA-1B – M. K. ....          | 378 |
| Kineska termobarička raketa WPF 2004 – M. K. ....                | 378 |
| Višecevni raketni lanser WR-40 Langusta – M. K. ....             | 379 |
| Višecevni raketni lansirni sistem GMLRS – M. K. ....             | 380 |
| Britanski lovac Eurofajter Tajfun uskoro operativan – M. K. .... | 380 |
| Kineski teški lovac J-11B – M. K. ....                           | 381 |
| Testiranje novih Avaksa – M. K. ....                             | 381 |
| Najveća izraelska bespilotna letelica Eitan – M. K. ....         | 382 |

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-  
INFORMACIONU DELATNOST

Direktor

Pukovnik  
MILAN CRNOGLAVAC

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Pukovnik  
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

UREDIVAČKI ODBOR

Pukovnik  
dr DANKO JOVANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)

Profesor  
dr BRANKO KOVAČEVIĆ, dipl. inž.

Profesor  
dr SLOBODAN JARAMAZ, dipl. inž.

Profesor  
dr LAZAR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
profesor dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr MILJKO ERIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)

Pukovnik  
profesor dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
LJUBOMIR SAMARDŽIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr BRANISLAV JAKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr JUGOSLAV RADULOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr ZORAN FILIPOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik  
dr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik  
mr NEBOJŠA GAČEŠA, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

\* \* \*

Odgovorni urednik

Potpukovnik  
**mr Nebojša Gačeša, dipl. inž.**  
(tel. 2681-565, 23-504)

Sekretar redakcije

**Zora Pavličević**  
(tel. 3201-493, vojni 23-493)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

[www.mod.gov.yu/04publikacije/04-glasnik.htm](http://www.mod.gov.yu/04publikacije/04-glasnik.htm)

Pretplata tel.-fax: 3612-506, tekući račun:  
840-19540845

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

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

## STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

# VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

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



# 3

GODINA LV • JUL–SEPTEMBAR 2007.

**Dr Vitomir T. Miladinović,**  
pukovnik, dipl. inž.

## **ZADOVOLJENJE POTREBA KORISNIKA SREDSTAVA NVO – PRIMENA KANO MODELA U PROCESU OPREMANJA**

UDC: 623.4 : 32.019.5

### *Rezime:*

*U radu je, na osnovu istraživanja i dugogodišnjeg iskustva autora, prikazana mogućnost primene Kano modela zadovoljenja zahteva korisnika u procesu opremanja Vojske sredstvima naoružanja i vojne opreme.*

*Ključne reči: Kano model, zadovoljstvo korisnika.*

---

### **SATISFACTION OF THE MILITARY EQUIPMENT USERS – APPLICATION OF THE KANO MODEL AT THE SUPPLY PROCESS –**

#### *Summary:*

*Based on the results of own researches and author's long-range experiences, in this paper is presented possibility of application of the Kano model of user's needs satisfaction in the military equipment supply process.*

*Key words: Kano model, user's needs satisfaction.*

---

### **Uvod**

Polazeći od definicije pojma „kvalitet“, datoj u [11], prema kojoj je kvalitet „nivo do kojeg skup svojstvenih karakteristika ispunjava zahteve“, kao i prvog principa upravljanja kvalitetom „Usmeravanje na korisnike“, prema kojem organizacija „treba da razume aktuelne i buduće potrebe korisnika, treba da ispunji zahteve korisnika i da nastoji da pruži i više od onoga što korisnici očekuju“, dolazi se do logičnog zaključka da su potrebe, zahtevi i očekivanja korisnika osnovni polazni parametri procesa opremanja Vojske sredstvima NVO, a da je stepen zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika osnovno merilo uspešnosti tog procesa. Osim toga, poštovanje i primena drugih

principa upravljanja kvalitetom (trećeg: „Uključivanje osoblja“, četvrtog: „Procesni pristup“ i šestog: „Stalna poboljšavanja“), u procesu opremanja Vojske sredstvima NVO neophodan je faktor za postizanje očekivanih rezultata tog procesa.

Na osnovu dugogodišnjeg iskustva autora u razvoju sredstava NVO, kao i rezultata istraživanja [7] proizašao je zaključak da se pri opremanju Vojske (u procesima razvoja ili nabavke sredstava NVO, a naročito u fazi definisanja karakteristika sredstva) nedovoljno uzimaju u obzir potrebe, zahtevi i očekivanja svih kategorija korisnika i da se nedovoljno utvrđuje stepen zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika razvijenim (ili nabavljenim) sredstvom. Rezultat takvog pristupa je odstupanje pojedinih

nih (često veoma značajnih) karakteristika sredstava NVO od potrebnih za uspešno izvršavanje zadataka jedinica i ustanova Vojske, a samim tim i otežano (i manje uspešno) izvršavanje zadataka.

Utvrdjivanje potreba, zahteva i očekivanja korisnika, kao i utvrđivanje (merenje) stepena njihovog zadovoljenja osnovne su i nezaobilazne aktivnosti u procesima razvoja novih proizvoda svih uspešnih organizacija u svetu. Za te svrhe razvijeno je više veoma efikasnih metoda i tehnika, čijom primenom se obezbeđuje postizanje visokog nivoa kvaliteta proizvoda, a time i visokog stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika. Jedna od njih je *Kano model zadovoljenja zahteva korisnika*.

Cilj ovog rada je da ukaže na neophodnost suštinske primene principa upravljanja kvalitetom u procesu opremanja Vojske sredstvima NVO, kao i na mogućnosti primene Kano modela zadovoljenja zahteva korisnika u tom procesu.

### **Potrebe, zahtevi i očekivanja korisnika**

U procesu opremanja Vojske, pri definisanju karakteristika sredstava NVO koje obezbeđuju zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika, odlučujući značaj imaju sledeći postupci:

- utvrđivanje *potreba* korisnika,
- identifikovanje *očekivanja* korisnika u pogledu zadovoljenja njihovih potreba,
- definisanje *zahteva* korisnika kojima se jasno i jednoznačno iskazuju njihove potrebe.

### **KORISNIK**

U praksi se pojam *korisnik* često pogrešno zamenjuje pojmom *naručilac*.

U izvesnim slučajevima (u zavisnosti od vrste proizvoda) naručilac može biti i korisnik. Međutim, u velikom broju slučajeva, korisnik nije naručilac, a naručilac je samo veza između isporučioaca i korisnika, a njegov zadatak je da, obezbeđenjem odgovarajućih sredstava, omogući zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika.

U pogledu NVO, gde se, kao korisnik, u opštem slučaju, pojavljuje Vojska preko velikog broja različitih pojedinačnih (direktnih ili indirektnih) korisnika, pojam korisnik može da bude upotrebljen tako da obuhvata i pojam naručilac, pa će, u ovom radu, pojam korisnik biti tako korišćen.

Pod pojmom korisnik sredstava NVO podrazumevaju se:

- *organizacione celine* Vojske različitih nivoa (jedinice i ustanove) i različitih karakteristika, koje proizlaze iz karakteristika njihovih osnovnih zadataka,
- *pojedinci* (direktni korisnici) različitih vrsta i nivoa čije karakteristike proizlaze iz načina korišćenja određenog sredstva NVO i nivoa odgovornosti u organizacionoj celini kojoj pripadaju.

*Organizacione celine*, kao korisnici sredstava NVO, međusobno se, prvenstveno, razlikuju po karakteristikama osnovnih zadataka, npr. prema pripadnosti rodu/sluzbi, iz čega proizlazi način upotrebe određenog sredstva NVO i njihove potrebe u pogledu karakteristika tog sredstva.

*Pojedinci*, kao korisnici sredstava NVO, mogu biti razvrstani u više grupa u skladu sa sledećim kriterijumima:

- način korišćenja sredstava NVO,
- nivo (rang) pojedinca u organizacionoj celini.

Primena ovih kriterijuma i razvrstavanje korisnika prema njima zavisi i od karakteristika određenog sredstva NVO.

Prema načinu korišćenja sredstava NVO mogu se razlikovati dve osnovne grupe korisnika:

- korisnici kojima određeno sredstvo NVO predstavlja osnovno sredstvo za izvršavanje zadataka, npr.: vozač – vozilo; operater – uređaj; vojnik – lično naoružanje, odeća, obuća, ...; lice koje vrši održavanje NVO – alat za održavanje NVO;

- korisnici kojima određeno sredstvo NVO predstavlja pomoćno sredstvo za izvršavanje zadataka, npr.: putnik – vozilo; vlasnik robe koja se prevozi – vozilo; lice koje vrši održavanje – sredstvo NVO.

Prema nivou (rangu) pojedinca u organizacionoj celini mogu se razlikovati dve osnovne grupe korisnika:

- direktni korisnici – izvršioci, rukovaoci ...;

- starešine organizacionih celina svih nivoa.

Međutim, granice među grupama dobijenim razvrstavanjem prema ovim kriterijumima nisu krute, jer je jasno da se isti pojedinac, u zavisnosti od situacije, može naći u više grupa (npr.: starešina je istovremeno i putnik u vozilu, lice koje se bavi održavanjem može da bude istovremeno i vozač motornog vozila ili rukovalac nekim uređajem itd.). Suština ove podele je da pojedinac razmatra različite aspekte korišćenja određenog sredstva NVO i prikuplja podatke o potrebama korisnika u skladu s tim. Zbog toga je potrebno da se razvrstavanje korisnika vrši posebno za svako pojedinačno sredstvo, u skladu sa konkretnim potrebama.

## POTREBE

Potreba se može definisati kao želja ili namera da se postigne određeni cilj. Potrebe se zadovoljavaju sredstvima koja imaju takve osobine da omogućavaju potpuno ili delimično postizanje tih ciljeva.

Svaki korisnik, u vezi sa izvršavanjem zadataka, ima određene potrebe koje proizlaze iz ciljeva i uslova izvršavanja zadataka. S obzirom na složenost zadataka Vojske, kao i složenost pojma korisnik NVO u Vojsci, jasno je da je dijapazon njihovih potreba veoma širok. Iz toga sledi da je i asortiman sredstava za zadovoljenje potreba korisnika, takođe, veoma širok. Pri tome je logično da se istim sredstvom može zadovoljiti više potreba i da se ista potreba može zadovoljiti većim brojem sredstava.

Stepen zadovoljenja potreba korisnika zavisi od karakteristika, ciljeva i uslova izvršavanja zadataka, karakteristika sredstva NVO i karakteristika korisnika. Takođe, stepen zadovoljenja potreba korisnika menja se u zavisnosti od promena nabrojanih faktora.

## ZAHTEVI

Da bi bile zadovoljene, potrebe treba da budu iskazane zahtevom. Zbog toga je, prema [8], zahtev definisan kao potreba ili očekivanje koji su iskazani, u principu podrazumevani ili obavezni. To znači da su potrebe, na odgovarajući način, jasno i jednoznačno opisane čime su stvoreni potrebni uslovi za obezbeđenje odgovarajućih sredstava za njihovo zadovoljenje.

Zahteve definiše korisnik ili naručilac, što zavisi od: složenosti sredstva, karakteristika korisnika, sposobnosti korisnika da iskaže svoje potrebe, odnosa između korisnika i naručioca, itd.

S obzirom na definiciju pojma korisnik sredstva NVO, jasno je da, u procesu definisanja (iskazivanja) zahteva za novo sredstvo NVO, sve kategorije korisnika ne učestvuju na isti način. Pri tome se, u okviru tog pojma, mogu razlikovati dve grupe:

- organizacione celine i pripadnici Vojske koji, kao direktni korisnici, samo iskazuju svoje potrebe (u skladu sa svojim zadacima), i

- organizacione celine i pripadnici Vojske koji, u skladu sa svojim mestom u organizacionoj strukturi Vojske, imaju ulogu naručioca koji treba da, na osnovu iskazanih potreba direktnih korisnika i drugih faktora, definiše zahteve za sredstvo NVO.

Postupak definisanja zahteva je u slučaju nabavke ili razvoja sredstava NVO jedan od ključnih procesa od čijih rezultata zavisi zadovoljenje potreba i očekivanja korisnika, tj. izvršenje određenih zadataka Vojske. Zahtevi za obezbeđenje novog sredstva NVO iskazuju se u obliku posebnog dokumenta – *Taktičko-tehnički zahtevi*, koji treba da sadrži zahteve koji se odnose na najznačajnije tehničke i eksploatacione karakteristike sredstva (namena i uslovi upotrebe, performanse, zahtevi u vezi sa održavanjem, itd.). Sledi da je postupak definisanja *Taktičko-tehničkih zahteva* veoma složen proces sa velikim brojem veoma različitih učesnika – korisnika sredstva NVO, čije potrebe treba da budu zadovoljene u najvećoj mogućoj meri.

#### OČEKIVANJA

Da bi na osnovu prikupljenih potreba korisnika mogli da budu definisani zahtevi u pogledu pojedinih karakteristika strukture asortimana nbv (neborbenih

vozila), neophodno je da budu identifikovana očekivanja korisnika u pogledu zadovoljenja njihovih potreba.

Očekivanja korisnika u vezi sa zadovoljenjem potreba mogu da budu veoma različita, u zavisnosti od karakteristika potreba i karakteristika korisnika. Najjednostavnije, a time i najopštije, ali najmanje definisano, jeste očekivanje korisnika da njegove potrebe u svemu budu zadovoljene, što očekuju svi korisnici, bez obzira na realne mogućnosti zadovoljenja potreba. U zavisnosti od karakteristika potrebe, a time i mogućnosti i načina za njeno zadovoljenje, ovo očekivanje može da bude zadovoljeno u manjoj ili većoj meri. Međutim, sa aspekta definisanja optimalnog načina za zadovoljenje potrebe, ovakvo očekivanje nije upotrebljivo, jer ne daje nikakve konkretne podatke.

Očekivanja korisnika mogu da se odnose na različite aspekte potrebe.

1. *Način zadovoljenja potrebe.* U pogledu načina zadovoljenja potrebe moguća su dva različita očekivanja:

- korisnik očekuje da njegova potreba bude zadovoljena na najbolji mogući način, pri čemu podrazumeva primenu rešenja koja imaju najviše performanse u tehničkom, tehnološkom, estetskom i svakom drugom pogledu. Ovakvo očekivanje ima za posledicu nezadovoljstvo korisnika rešenjem koje predstavlja optimalni kompromis između njegovih želja i realnih mogućnosti, čak i kada to rešenje, po svojim karakteristikama, predstavlja značajno unapređenje u odnosu na postojeća;

- korisnik očekuje da njegova potreba bude zadovoljena na jedan određen način, tj. na način koji on poznaje, razu-

me i može lako da prihvati. To, međutim, ne mora da bude najbolje rešenje, ali je sa aspekta tog korisnika najprihvatljivije, a druga rešenja, iako su realno bolja, korisnik može da prihvati sa odbojnošću i nepoverenjem.

U oba slučaja korisnik očekuje značajan kvalitativan pomak u pogledu stepena zadovoljenja svojih potreba.

2. *Prioritet (rang) potreba i redosled zadovoljenja.* Korisnik očekuje da sve njegove potrebe budu zadovoljene bez obzira na njihov značaj za izvršavanje zadatka ili način zadovoljenja. Međutim, s obzirom na veoma čestu objektivnu nemogućnost istovremenog zadovoljenja svih potreba, uslovi za zadovoljenje potreba obezbeđuju se postupno, u skladu sa različitim faktorima koji definišu prioritete u procesu zadovoljenja potreba korisnika. Međutim, očekivanja korisnika u vezi sa prioritetima u procesu zadovoljenja njihovih potreba nisu uvek u skladu sa prioritetima definisanim na osnovu relevantnih i objektivnih faktora.

3. *Vreme (rok) za zadovoljenje potrebe.* Korisnik očekuje da njegova potreba bude zadovoljena u što kraćem roku, pri čemu je taj rok, najčešće, nerealno kratak.

U zavisnosti od karakteristike korisnika, potreba i sredstava za zadovoljenje tih potreba, moguća su i brojna druga očekivanja. Takođe, treba imati u vidu činjenicu da se očekivanja korisnika menjaju u skladu sa promenama objektivnih okolnosti koje proizlaze iz karakteristika njegovih zadataka, ali i u skladu sa saznanjima korisnika o mogućnostima zadovoljenja određenih potreba. Zbog toga je nužan stalan uvid u trendove promena potreba i očekivanja korisnika.

## Kano model zadovoljenja zahteva korisnika

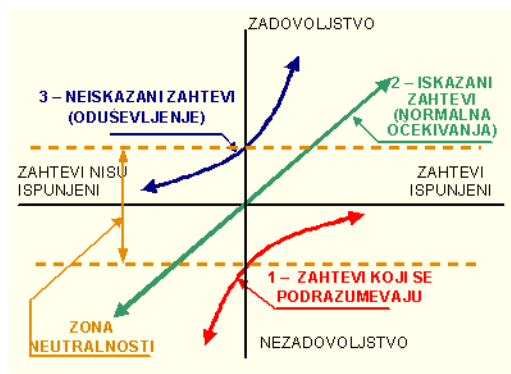
Japanski profesor Norijaki Kano (Noriaki Kano, Tokyo Rika University) razvio je 1984. godine metodu za analizu i ocenjivanje stepena zadovoljenja zahteva i očekivanja korisnika koji je u literaturi poznat kao Kano model zadovoljenja zahteva korisnika ili kraće *Kano model*.

Prema Kano modelu ([2], [1], [9], [3], [4], [5], [6], [8] i dr.), karakteristike (osobine) proizvoda ili usluge razvrstavaju se prema stepenu zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika koje se postiže postojanjem ili nepostojanjem (u većoj ili manjoj meri) razmatrane karakteristike. U vezi s tim, može se govoriti i o razvrstavanju zahteva i očekivanja korisnika u zavisnosti od stepena zadovoljstva korisnika potpunim ili delimičnim zadovoljenjem ili nezadovoljenjem određenog zahteva i/ili očekivanja.

U zavisnosti od stepena zadovoljenja potreba, osećanja korisnika se kreću (slika 1) u rasponu od velikog zadovoljstva (oduševljenja) do ekstremnog nezadovoljstva, pri čemu postoje određeni oblici osećanja koja se ne mogu iskazati ni kao zadovoljstvo zbog zadovoljenja zahteva, niti kao nezadovoljstvo zbog nezadovoljenja zahteva. Takva osećanja pokazuju indiferentnost (neutralnost) korisnika u odnosu na neku karakteristiku, što se može iskazati stavom „može se i bez toga, ali ni sa tim se ništa značajno ne menja“ ili „svejedno mi je da li to postoji ili ne postoji“ i sl.

Zahtevi i očekivanja korisnika, kao i karakteristike proizvoda kojima se zadovoljavaju određeni zahtevi i očekivanja korisnika, prema Kano modelu (slika 1), razvrstavaju se u tri grupe:





Sl. 1 – Kano model zahteva korisnika

– *zahtevi koji se podrazumevaju* (ili zahtevi čije je zadovoljenje očekivano), tj. zahtevi koje korisnik ne iskazuje, ali se podrazumeva da budu zadovoljeni. Zadovoljenje tih zahteva ne izaziva znatno zadovoljstvo korisnika, ali neispunjenje tih zahteva izaziva nezadovoljstvo korisnika (linija 1). To znači da se postizanjem karakteristika proizvoda u skladu sa ovim zahtevima sprečava nezadovoljstvo korisnika, ali je, da bi korisnik bio zadovoljan proizvodom, potrebno da proizvod sadrži i druge osobine neophodne za zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika. Jedan deo ovih zahteva sadržan je u zakonima i drugim normativnim aktima, standardima i tehničkim propisima, čija primena je obavezna i zbog čega se ti zahtevi posebno ne iskazuju već se podrazumeva njihovo zadovoljenje. Druga grupa ovih zahteva proizlazi iz opšteprihvaćenih i uobičajenih („nepisanih“) normi koje važe u odnosima između isporučioaca i korisnika;

– *iskazani zahtevi* (ili normalni zahtevi), tj. zahtevi koje korisnik jasno iskazuje. Zadovoljstvo korisnika zavisi od stepena zadovoljenja tih zahteva (linija 2) i može da se kreće u rasponu od pot-

punog nezadovoljstva do visokog zadovoljstva. Ovi zahtevi se, najčešće, iskazuju u pisanoj formi (specifikacija, ugovor i sl.), a u slučaju razvoja sredstava za potrebe Vojske taktičko-tehničkim zahtevima za razvoj sredstva NVO. Da bi korisnik bio zadovoljan potrebno je da proizvod sadrži zahtevane karakteristike, a nivo (stepen) njegovog zadovoljstva je u skladu sa stepenom ostvarenja iskazanih zahteva, tj. sa odgovarajućim performansama proizvoda;

– *neiskazani zahtevi* (ili zahtevi čije ispunjenje izaziva oduševljenje), tj. zahtevi koje korisnik nije iskazao, ali proizvod ili usluga sadrže određene karakteristike koje prevazilaze uobičajena ili iskazana očekivanja korisnika i izazivaju njegovo oduševljenje (linija 3). Ovi zahtevi se veoma teško identifikuju, ali je njihov uticaj na stepen zadovoljstva korisnika izuzetno značajan.

Kano model može da se primenjuje u dve situacije:

– pri ocenjivanju stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika postojećim proizvodom za utvrđivanje potreba za poboljšanjima i

– pri razvoju novog proizvoda za utvrđivanje novih (aktuelnih i perspektivnih) potreba, zahteva i očekivanja korisnika, kao i stepena uticaja realizacije pojedinih zahteva na zadovoljenje potreba i očekivanja korisnika i rangiranje zahteva u skladu s tim.

Pri ocenjivanju stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika postojećim proizvodom razvrstavaju se postojeće osobine proizvoda, a pri razvoju novog proizvoda razvrstavaju se (rangiraju) zahtevi i očekivanja korisnika koja tek treba da budu ostvarena novim

proizvodom, tj. moguće osobine. Pri tome zahtevi i očekivanja korisnika mogu da budu iskazani od strane korisnika ili na neki drugi način i neiskazani, ali na odgovarajući način utvrđeni ili pretpostavljeni od strane isporučioaca ili naručioaca koji je u ulozi posrednika između isporučioaca i korisnika.

Kano model koristi se za uvrđivanje stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika tako što se, na osnovu mišljenja korisnika o pojedinim karakteristikama proizvoda ili usluge prikupljenih primenom odgovarajućih metoda za prikupljanje i obradu podataka, karakteristike proizvoda razvrstavaju i rangiraju prema uticaju na zadovoljstvo ili nezadovoljstvo korisnika posmatranim proizvodom ili uslugom. Na bazi ovako izvršenog razvrstavanja i rangiranja karakteristika identifikuju se potrebe za poboljšanjima i definišu potrebne korektivne akcije i njihov redosled u skladu sa uticajem na zadovoljstvo korisnika.

Osnovni način prikupljanja podataka o stepenu zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika pri primeni Kano modela je anketa pomoću posebno koncipiranog upitnika, koji sadrži tri grupe pitanja koja se odnose na različite aspekte zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja, ([2], [9]).

Prva grupa pitanja odnosi se na postojanje određenih osobina proizvoda ili usluge. Za svaku karakteristiku proizvoda postavljaju se dva pitanja: a) kakva je reakcija korisnika (šta on misli ili oseća) u slučaju kada razmatrana karakteristika postoji, i b) kakva je reakcija korisnika (šta on misli ili oseća) u slučaju kada razmatrana karakteristika ne postoji.

Cilj ove grupe pitanja je sagledavanje mišljenja korisnika o potrebi postojanja određene osobine proizvoda ili usluge, čime se omogućava razdvajanje bitnih (potrebnih) od nebitnih (nepotrebnih) osobina i fokusiranje na osobine koje su korisniku potrebnije.

Na primer, ako želimo da utvrdimo šta korisnici misle o ugradnji mitraljeza na krovu kabine nekog terenskog automobila, pitanje (izraz) a treba da glasi: „Na krovu kabine treba da bude ugrađen mitraljez“, a pitanje (izraz) b: „Na krovu kabine ne treba da bude ugrađen mitraljez“.

Za svako pitanje predviđeno je 5 mogućih odgovora koji obuhvataju raspon od potpunog zadovoljstva do potpunog nezadovoljstva razmatranom karakteristikom, a mogu biti formulisana na više načina, tako da izražavaju sledeće:

– *ocena 1 (najviša)* – potpuno zadovoljstvo korisnika posmatranom karakteristikom,

– *ocena 5 (najniža)* – potpuno nezadovoljstvo korisnika posmatranom karakteristikom,

– *ocena 3 (srednja)* – neutralan stav prema posmatranoj karakteristikici (ni zadovoljstvo, ni nezadovoljstvo),

– *ocena 4* – nizak stepen zadovoljstva (tek nešto više od neutralnog stava),

– *ocena 2* – nizak stepen nezadovoljstva (tek nešto niže od neutralnog stava).

Na primer:

1 – „Dopada mi se“,

2 – „Tako treba (mora) da bude, (to očekujem)“,

3 – „Svejedno mi je (neutralan sam)“,

4 – „Mogu da prihvatim“,

5 – „Ne dopada mi se“,

ili

1 – „Oduševljen sam“,

2 – „To je osnovna potreba i ja očekujem da to bude tako“,

3 – „Svejedno mi je (nisam zainteresovan)“,

4 – „Ne dopada mi se, ali mogu da prihvatim“,

5 – „Ne dopada mi se i ne prihvatam to“,

ili

1 – „Biću posebno zadovoljan time“,

2 – „To je moj osnovni zahtev“,

3 – „Biće mi svejedno (to ne utiče na mene)“,

4 – „To će biti u maloj meri neugodno“,

5 – „To će mi biti veliki problem“, itd.

Formulacija pitanja zavisi od situacije u kojoj se primenjuje Kano model, kao i od vrste proizvoda na koji se upitnik odnosi. U tabeli 1 dat je primer pitanja sa mogućim odgovorima.

Tabela 1

|                                                                                                          |                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1-a: Klupe za vojnike u tovarnom sanduku teretnog automobila FAP 2026 BS/AV treba da budu tapacirane.    | 1 – Biću posebno zadovoljan time           |
|                                                                                                          | 2 – Očekujem da to bude tako               |
|                                                                                                          | 3 – Biće mi svejedno (to ne utiče na mene) |
|                                                                                                          | 4 – Ne dopada mi se, ali mogu da podnesem  |
|                                                                                                          | 5 – Ne dopada mi se i ne prihvatam to      |
| 1-b: Klupe za vojnike u tovarnom sanduku teretnog automobila FAP 2026 BS/AV ne treba da budu tapacirane. | 1 – Biću posebno zadovoljan time           |
|                                                                                                          | 2 – Očekujem da to bude tako               |
|                                                                                                          | 3 – Biće mi svejedno (to ne utiče na mene) |
|                                                                                                          | 4 – Ne dopada mi se, ali mogu da podnesem  |
|                                                                                                          | 5 – Ne dopada mi se i ne prihvatam to      |

Korisnik koji ocenjuje proizvod mora da da odgovore na oba pitanja (a i b), tj. da zaokruži jednu od predloženih ocena za svaku razmatranu karakteristiku proizvoda. Očigledno je da se primenom opisanog upitnika može dobiti 25 različitih parova odgovora, pri čemu jedan par odražava stav jednog korisnika.

Za obradu rezultata ankete i ocenjivanje uticaja razmatranog zahteva ili karakteristike proizvoda koristi se tabela za ocenjivanje koju je izradio profesor Norijaki Kano (tabela 2).

Tabela služi za razvrstavanje razmatrane karakteristike proizvoda u jednu od tri opisane grupe prema Kano modelu. Kombinovanjem odgovora na oba pitanja, tj. u preseku reda sa ocenom na pitanje a i kolone sa ocenom na pitanje b u tabeli za ocenjivanje stavovi korisnika u odnosu na posmatranu karakteristiku (osobinu) proizvoda razvrstavaju se u jednu od sledećih grupa – kategorija [9]:

Tabela 2

| Zahtev: ...                    |   | Odgovor na pitanje <i>b</i> |          |          |          |          |
|--------------------------------|---|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                |   | 1                           | 2        | 3        | 4        | 5        |
| Odgovor na<br>pitanje <i>a</i> | 1 | <i>D</i>                    | <i>O</i> | <i>O</i> | <i>O</i> | <i>Z</i> |
|                                | 2 | <i>S</i>                    | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>M</i> |
|                                | 3 | <i>S</i>                    | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>M</i> |
|                                | 4 | <i>S</i>                    | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>N</i> | <i>M</i> |
|                                | 5 | <i>S</i>                    | <i>S</i> | <i>S</i> | <i>S</i> | <i>D</i> |

– *O* – *oduševljenje*: posmatrana osobina je sa gledišta korisnika atraktivna, a njeno postojanje izaziva najviši stepen njegovog zadovoljstva,

– *M* – *mora*: posmatrana osobina mora da postoji bez obzira na to da li je iskazana zahtevom korisnika ili ne; to je obavezna osobina definisana standardom, tehničkim propisom, zakonom ili drugim obavezujućim dokumentom,

– *S – suprotno*: posmatrana osobina proizvoda ne samo da je nepotrebna korisniku, već on očekuje suprotnu,

– *Z – zahtevano*: osobina koju zahteva i očekuje korisnik, a njegovo zadovoljstvo direktno zavisi od postojanja ili nepostojanja te osobine,

– *D – diskutabilno*: ova ocena označava da je pitanje postavljeno pogrešno ili da je lice koje je ispitivano pogrešno razumelo pitanje ili je greškom zaokružilo (izabralo) pogrešan odgovor,

– *N – neutralno*: posmatrana osobina nije posebno značajna za korisnika – on je nezainteresovan za nju i svejedno mu je da li osobina postoji ili ne.

Ocena uticaja posmatrane osobine na zadovoljstvo korisnika dobija se sabiranjem ocena svih anketiranih korisnika, i to [2]:

– ako je:

$(Z + O + M) > (N + S + D)$ , tada se najveće M ili O ili Z uzima za ocenu posmatrane osobine,

– ako je:

$(Z + O + M) < (N + S + D)$ , tada se najveće N ili D ili S uzima za ocenu posmatrane osobine.

Druga grupa pitanja odnosi se na ocenu stepena zadovoljstva korisnika postojećim osobinama proizvoda koji se ocenjuje. Za ocenjivanje stepena zadovoljstva postojećim osobinama proizvoda može da se koristi, prema [9], skala ocena od 1 do 7, pri čemu ocena 1 znači potpuno nezadovoljstvo korisnika tom osobinom proizvoda, a ocena 7 potpuno zadovoljstvo (oduševljenje) posmatranom osobinom proizvoda.

Treća grupa pitanja odnosi se na relativan značaj za korisnika osobina koje se ocenjuju, što pomaže da se utvrde pri-

oriteti u razvoju novog i poboljšavanju postojećeg proizvoda. Za utvrđivanje relativnog značaja osobina koje se ocenjuju može se, prema [9], koristiti skala ocena od 1 do 7, pri čemu ocena 1 znači da je posmatrana osobina potpuno nevažna (beznačajna), a ocena 7 znači da je posmatrana osobina veoma značajna.

Pri koncipiranju upitnika veoma je važno da sve osobine budu zastupljene u sve tri grupe pitanja.

Detaljnou analizom popunjenih upitnika dolazi se do zaključaka o potrebama i načinima poboljšavanja karakteristika postojećih proizvoda ili usluga, kao i o pravcima razvoja novih proizvoda, koji će omogućiti veći stepen zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika.

### **Primena Kano modela u procesu opremanja Vojske sredstvima NVO**

#### *Istraživanje potreba, zahteva i očekivanja korisnika*

Imajući u vidu složenost pojma korisnik u Vojsci, tj. veoma veliki broj međusobno veoma različitih grupa korisnika, čije potrebe, zahtevi i očekivanja proizlaze iz karakteristika zadataka koje izvršavaju, očigledno je da je dijapazon potreba, zahteva i očekivanja korisnika određenog sredstva NVO veoma širok i raznovrstan, što zavisi od njegove namene, složenosti, mogućih načina primene i drugih karakteristika. Zbog toga postupak utvrđivanja potreba, zahteva i očekivanja korisnika mora da bude koncipiran i izveden tako da omogući:

– potpuno i detaljno sagledavanje i razumevanje potreba, zahteva i očekivanja korisnika nbn čije je zadovoljenje uslovljeno upotrebom određenog sredstva NVO;

– razvrstavanje (klasifikaciju i kategorizaciju) potreba, zahteva i očekivanja korisnika prema unapred definisanim kriterijumima koji treba da obuhvate njihove najbitnije karakteristike i da ukazuju na moguće načine njihovog zadovoljenja;

– rangiranje potreba, zahteva i očekivanja korisnika prema značaju za izvršenje zadataka jedinica.

Postupak utvrđivanja potreba, zahteva i očekivanja korisnika mora da obuhvati:

– utvrđivanje stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja raspoloživim modelom (ili modelima) sredstva NVO i

– prikupljanje podataka o potrebnim karakteristikama određenog sredstva NVO, što obuhvata: prikupljanje podataka o potrebnim vrednostima najznačajnijih eksploatacionih karakteristika sredstva NVO koje imaju direktan uticaj na izvršenje zadataka jedinica Vojske, kao i

– prikupljanje podataka o drugim karakteristikama nbv koji imaju indirektni uticaj na izvršenje zadataka.

Utvrđivanje stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika raspoloživim sredstvom NVO obuhvata:

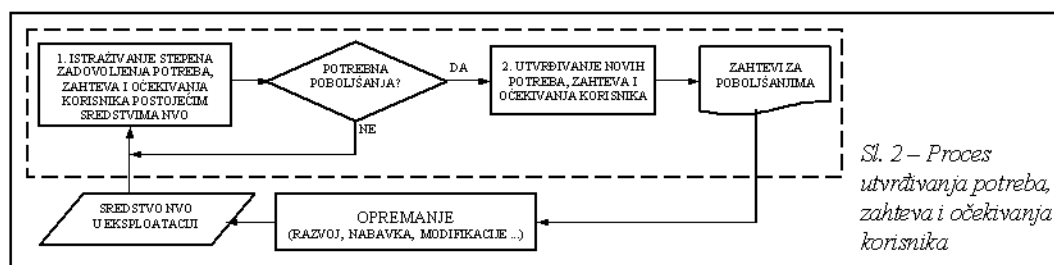
– ocenjivanje sposobnosti raspoloživog sredstva NVO da zadovolji sve potrebe korisnika i sagledavanje potrebnog stepena poboljšanja,

– utvrđivanje stepena odstupanja karakteristika postojećeg sredstva NVO od potrebnih za potpuno zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika.

Na osnovu ovih ocena moguće je sagledavanje potrebe preduzimanja mera za vršenje odgovarajućih poboljšanja.

S obzirom na to da je proces opremanja Vojske sredstvima NVO veoma složen i sastoji se od većeg broja procesa različitog stepena složenosti, utvrđivanje stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika postojećim sredstvima NVO, kao i identifikovanje novih potreba, zahteva i očekivanja korisnika, a time i utvrđivanje potreba za poboljšanjima, mora se posmatrati kao trajan složeni proces – kao jedan od potprocesa procesa opremanja ili kao nezavisan proces, čiji rezultati predstavljaju ulazne parametre procesa opremanja. Ovakav pristup zasnovan je na poštovanju i primeni 4. principa menadžmenta kvaliteta: „Procesni pristup“, kao i 6. principa: „Stalna poboljšavanja“. Na slici 2 prikazan je dijagram toka ovog procesa.

Ovaj proces teče na sledeći način: najpre se u toku eksploatacije određenog sredstva (ili grupe sredstava) utvrđuje stepen zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika tih sredstava, a na osnovu toga utvrđuje se postojanje potreba za poboljšanjima. Sledeći korak je



*Sl. 2 – Proces utvrđivanja potreba, zahteva i očekivanja korisnika*

utvrđivanje novih potreba, zahteva i očekivanja korisnika, na osnovu čega se u odgovarajućim fazama procesa razvoja definišu i realizuju mere za postizanje neophodnih poboljšanja (modifikacija – osavremenjavanje) postojećih sredstava ili obezbeđenje novih sredstava razvojem ili nabavkom na tržištu.

### *Primena Kano modela*

U procesu opremanja Vojske sredstvima NVO Kano model mora da se primenjuje u obe napred opisane situacije – pri ocenjivanju stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika postojećim sredstvom NVO i pri razvoju novog sredstva NVO, tj. u oba potprocesa koja prethode potprocesu poboljšavanja u procesu utvrđivanja potreba, zahteva i očekivanja korisnika prikazanom na slici 2.

U oba slučaja postoje dva ključna faktora od kojih zavisi dobijanje upotrebljivih rezultata. To je, najpre, definisanje oblika i sadržaja upitnika za prikupljanje podataka i obradu Kano metodom, a zatim izbor izvora informacija, tj. grupe koja će biti anketirana.

Neophodno je da budu definisane dve grupe upitnika: prva grupa upitnika treba da služi za utvrđivanje stepena zadovoljenja potrebe, zahteva i očekivanja korisnika postojećim sredstvom (ili grupom srodnih sredstava), a druga treba da služi za utvrđivanje novih (aktuelnih i perspektivnih) potreba, zahteva i očekivanja, za čije zadovoljenje treba definisati i sprovesti odgovarajuće mere.

Pri definisanju upitnika neophodno je postojanje visokog stepena korelacije između obe grupe, posebno u vezi sa postojanjem, sadržinom i rangom osobi-

na, koje u istom ili izmenjenom obliku moraju da poseduju i staro i novo sredstvo. To znači da veliki broj pitanja treba da se odnosi na iste osobine starog i novog sredstva, uz dodavanje pitanja o predviđenim ili potrebnim novim osobinama novog sredstva.

Izbor izvora informacija, tj. grupe koja će biti anketirana, treba da bude zasnovan na poštovanju i primeni prvog principa upravljanja kvalitetom „Usmeravanje na korisnike“, kao i trećeg principa „Uključivanje osoblja“. To podrazumeva uključivanje u anketu svih kategorija korisnika i drugih pripadnika Vojske koji na bilo koji način (direktno ili indirektno), u okviru izvršavanja svojih zadataka, dolaze u dodir sa razmatranim sredstvom ili posledicama upotrebe tog sredstva. U vezi s tim, potrebno je da upitnici budu koncipirani u skladu sa karakteristikama kategorija korisnika i drugih grupa koje će biti anketirane: način i uslovi korišćenja sredstva, mesto u organizacionoj strukturi, vrsta i nivo obrazovanja i dr. Veoma je značajno da upitnici budu koncipirani tako da obezbeđuju prikupljanje podataka od lica koja su kompetentna za davanje tih podataka, pri čemu se kriterijumi kompetentnosti definišu za svaku kategoriju anketiranih lica i svaku grupu proizvoda ili osobina sredstva NVO na koji se odnosi anketa. Sledi da je koncipiranje upitnika veoma složen postupak, a stepen njegove složenosti zavisi od složenosti sredstva NVO koje je predmet istraživanja.

Koncepcija procesa utvrđivanja potreba, zahteva i očekivanja korisnika primenom Kano modela zavisi od vrste i složenosti sredstva NVO na koje se proces primenjuje, cilja istraživanja, vrste i

broja korisnika i drugih faktora. Jedan mogući model ovog procesa, koji predstavlja detaljnu razradu procesa prikazanog na slici 2, biće prikazan u nastavku ovog rada.

Potproces *Istraživanje stepena zadovoljenja potreba postojećim sredstvom* treba da sadrži sledeće aktivnosti:

1. *Izbor predmeta istraživanja.* Predmet istraživanja stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika treba da budu sva sredstva NVO koja su u upotrebi u Vojsci. Dugoročnim planom potrebno je da bude definisan redosled istraživanja u skladu sa značajem sredstava za izvršavanje zadataka jedinica Vojske i drugim kriterijumima koje definišu nadležni organi Vojske (npr. vreme primene, raspoložive količine, raspored po jedinicama i dr.). Ovde je veoma značajno da bude obezbeđeno redovno periodično ponavljanje istraživanja radi utvrđivanja eventualnih promena i, u vezi s tim, potreba za poboljšanjima.

2. *Izbor (definisanje) grupa lica koja će biti anketirana (definisanje uzorka za vršenje ankete).* Anketom treba da budu obuhvaćene sve kategorije korisnika, pri čemu je veoma bitno da se izvrši rangiranje korisnika prema njihovom značaju za izvršavanje zadataka primenom razmatranog sredstva NVO, čime se definiše i prioritet za zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja.

3. *Koncipiranje upitnika.* Ova aktivnost obuhvata izbor osobina koje će biti ocenjivane, definisanje pitanja i grafičko uobličavanje upitnika. U zavisnosti od vrste, namene i složenosti razmatranog sredstva NVO, kao i broja i karakteristika kategorija korisnika koje će biti anketirane, za istraživanje će, po pravilu, biti potrebno vi-

še upitnika koji će obuhvatati pojedine aspekte posmatranog sredstva značajne za određene kategorije korisnika. Ovde je veoma značajno da se obezbedi da ocenu svake osobine sredstva NVO daju samo lica čije se korišćenje razmatranog sredstva zasniva prvenstveno i/ili u značajnoj meri na primeni razmatrane osobine sredstva.

4. *Testiranje upitnika.* Svrha i ciljevi ove aktivnosti su poznati. S obzirom na specifičnosti istraživanja potrebno je da se posebno obrati pažnja na otkrivanje mogućnosti dobijanja ocene „D – Diskutabilno“ pri razvrstavanju ocena prema tabeli 2.

5. *Korigovanje upitnika.* Po testiranju upitnika potrebno je izvršiti odgovarajuće korekcije i, u zavisnosti od broja i vrsta korekcija, izvršiti testiranje korigovanog upitnika.

6. *Anketiranje.* Za uspeh istraživanja veoma je bitan postupak planiranja i realizacije procesa anketiranja. S obzirom na dinamične promene u strukturi korisnika, kao i u njegovom okruženju, jasno je da su i promene potreba, zahteva i očekivanja korisnika takođe veoma dinamične. Zbog toga je neophodno da se, pri planiranju procesa anketiranja, obezbedi:

- učešće svih ili velike većine predviđenih učesnika ankete, čime se obezbeđuje maksimalno moguća reprezentativnost odabranog uzorka sa aspekta odslikavanja trenutne strukture korisnika;

- kratak period trajanja procesa anketiranja;

- ponavljanje procesa anketiranja u određenim intervalima, čime se obezbeđuje blagovremeno uočavanje promena potreba, zahteva i očekivanja korisnika, kao i trendova tih promena.

7. *Obrada rezultata.* Obrada odgovora na prvu grupu pitanja vrši se primenom tabele za ocenjivanje, koju je dizajnirao profesor Norijaki Kano (tabela 2), dok se za druge dve grupe pitanja primenjuju odgovarajuće statističke metode za obradu i prikazivanje rezultata.

8. *Donošenje zaključaka.* Donošenje zaključaka podrazumeva, prvenstveno, razvrstavanje pojedinih osobina sredstva NVO u grupe prema Kano modelu, a zatim identifikovanje osobina koje treba da budu poboljšane.

9. *Donošenje odluka.* Na osnovu zaključaka istraživanja nadležni organi Vojske definišu odgovarajuće postupke za poboljšavanje karakteristika razmatranog sredstva NVO. Ti postupci se mogu nalaziti u rasponu od minimalnih korekcija pojedinih manje značajnih karakteristika do razvoja ili nabavke novog i izbacivanja iz upotrebe postojećeg sredstva NVO.

Potproces *Utvrđivanje novih potreba, zahteva i očekivanja korisnika* projektuje se na osnovu rezultata prethodnog procesa, u zavisnosti od odluke u aktivnosti 9. Ovaj potproces realizuje se, po pravilu, na istom uzorku na kojem je vršeno prethodno ispitivanje, ali je moguće i određeno proširenje. U praksi je, često, donošenje zaključaka o novim potrebama, zahtevima i očekivanjima korisnika moguće i na osnovu rezultata prethodnog procesa. To je moguće u slučaju relativno jednostavnih sredstava ili karakteristika kod kojih je jasan smer mogućih poboljšanja (tzv. „jednosmerne“ karakteristike, tj. karakteristike kod kojih se poboljšanja postižu promenom vrednosti na istu stranu – povećavanjem ili smanjivanjem). U složenijim slučajevima kori-

snije je da se istraže i sagledaju stavovi korisnika. Ovaj potproces treba da sadrži sledeće aktivnosti: koncipiranje novih upitnika, testiranje upitnika, korigovanje upitnika, anketiranje, obradu rezultata, donošenje zaključaka, donošenje odluka i poboljšavanje.

U ovom procesu najznačajnija razlika u odnosu na prethodni je u strukturi i sadržaju upitnika (aktivnost 1). Oni treba da budu koncipirani tako da korisnici mogu da iskažu svoje potrebe, zahteve i očekivanja. Oni mogu da se odnose na poređenje sa nekim postojećim sredstvom ili da budu usmereni samo na utvrđivanje potrebnih karakteristika sredstva neophodnog za zadovoljavanje njihovih potreba, zahteva i očekivanja.

Naredne aktivnosti se, u principu, ne razlikuju od istih aktivnosti u prethodnom procesu, uz nužna prilagođavanja u skladu sa svrhom istaživanja.

## Zaključak

Potpuno zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika NVO jeste osnovni preduslov za potpuno izvođenje zadataka, kako jedinica i ustanova Vojske, tako i svih pojedinaca – pripadnika Vojske. Zbog toga, zadovoljenje potreba, zahteva i očekivanja korisnika sredstava NVO mora da bude osnovni cilj procesa opremanja Vojske sredstvima NVO.

Da bi ovaj cilj bio postignut, neophodno je stalno i efikasno sagledavanje stepena zadovoljenja potreba, zahteva i očekivanja korisnika sredstava NVO, kao i promena tih potreba, zahteva i očekivanja. To omogućava metoda koja je prikazana u ovom radu. Osim toga,



primenom ove metode obezbeđuju se neophodni preduslovi za ostvarivanje neophodnih poboljšavanja sredstava NVO, u skladu sa promenama potreba, zahteva i očekivanja korisnika NVO.

Treba imati u vidu da je Kano model zadovoljenja zahteva korisnika dinamičan, tj. da razvrstavanje konkretnih zahteva u pojedine grupe nije konačno – neki zahtevi, koji u jednom periodu ili u određenim uslovima izazivaju oduševljenje, mogu čak i da se podrazumevaju. Zato je neophodno da se potrebe, zahtevi i očekivanja korisnika neprekidno prate i ugrađuju u sadržaj (karakteristike) sredstava NVO.

Za dobijanje rezultata koji će što potpunije da iskažu potrebe, zahteve i očekivanja korisnika ova metoda može se kombinovati sa metodama za prikupljanje ideja, kao što su, na primer, *brainstorming* i *brainwriting*.

#### Literatura:

- [1] Bolt, A., Mazur, G. H.: Jurassic QFD – Integrating Service and Product Quality Function Deployment, The Eleventh Symposium on Quality Function Deployment, Novi, Michigan, 1999.
- [2] Guimaraes, E.: Satisfaction Beyond Needs, Staffordshire University – School of Arts Media & Design, 2005, [www.hhrc.rca.ac.uk](http://www.hhrc.rca.ac.uk).
- [3] Mazur, G. H.: QFD for Service Industries – From Voice of Customer to Task Deployment, The Fifth Symposium on Quality Function Deployment, Novi, Michigan, 1993.
- [4] Mazur, G. H.: Elicit Service Customer Needs Using Software Engineering Tools, The Seventh Symposium on Quality Function Deployment, Novi, Michigan, 1995.
- [5] Mazur, G. H.: Voice of Customer Analysis: A Modern System of Front-End Tools, With Case Studies, AQC 1997.
- [6] Mazur, G. H.: Close Encounters of the QFD Kind, Sixth Annual Service Quality Conference, 1997.
- [7] Miladinović, V.: Prilog optimizaciji strukture asortimana neborbenih vozila u Vojsci primenom metoda standardizacije i menadžmenta kvalitetom, doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2006.
- [8] Rings, C. M., Barton, B. W., Mazur, G. H.: Consumer Encounters: Improving Idea Development and Concept Optimization, 10th Symposium on QFD, Novi, Michigan, 1998.
- [9] Sauerwein, E., Bailom, F., Matzler, K., Hinterhuber, H. H.: The Kano Model: How to delight your Customers, Preprints of IX International Working Seminar on production Economists, Innsbruck, Austria, 1996.
- [10]\*\*\*, Kano's Methods for Understanding Customerdefined Quality, Center for Quality Management Journal, Vol. 2, N° 4, 1993, <http://cqmxtra.cqm.org>.
- [11]\*\*\*, JUS ISO 9000:2001: Sistemi menadžmenta kvalitetom – Osnove i rečnik, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 2001.

Mr Zoran Novaković,  
kapetan I klase, dipl. inž.  
VP 9445-1,  
Kruševac

## PRIMENA METODA EKSPERTSKOG OCENJIVANJA PRI OCENI PROFESIONALNOG RIZIKA

UDC: 335.45: 628.5

### Rezime:

Osnovni cilj utvrđivanja ocene profesionalnog rizika je preventivno delovanje u funkciji bezbednosti i zaštite zdravlja zaposlenih, tj. preduzimanje opštih i posebnih mera zaštite na radu radi eliminisanja opasnosti ili štetnosti, ili smanjivanja vremena ekspozicije zaposlenog određenim faktorima rizika u sredinama gde je ustanovljena njihova prisutnost. U mnogim slučajevima raspoloživi podaci o prethodnim štetnim događajima su nepotpuni ili nisu dovoljno statistički relevantni. Zbog toga je skup ovih podataka najčešće statistički nehomogen, pa su i rezultati statističke analize, a time i procenjeni rizici, nedovoljno tačni i nepouzdati. Radi toga se u radu predlaže i primenjuje ekspertski metod koji poništava taj nedostatak, a istovremeno omogućava otklanjanje uticaja koji se odnose na neodređenost i subjektivnost pojedinačnih ocena.

*Ključne reči:* ocena, profesionalni rizik, bezbednost i zaštita zdravlja, faktori rizika, ekspertski metod.

---

## APPLYING OF EXPERT METHOD FOR PROFESSIONAL RISK RATE

### Summary:

The main goal of professional risk rate determination is preventive action in order to secure and protect health of employees. It considers assumption of common and special working protection measures in order to eliminate any danger or damage or to reduce workers exposition time to some risk factors in their working environments. In many cases data on former noxious events are incomplete or statistically insufficiently relevant. So the set of these data is often statistically nonhomogeneous, so are the results of statistical analysis. Thereby rated risks are insufficiently accurate and unreliable. Because of all these things, in this paper is recommend and apply an expert method which annuls this shortage and simultaneously it removes influences that are the consequence of some rate indetermination and subjectivity.

*Key words:* rate, professional risk, health protection and security, risk factors, expert method.

---

### Uvod

Ekspertski sistemi nastali su kao rezultat višedecenijskih istraživanja kako bi se odredile karakteristike koje sistem treba da ima. Oslanjajući se na visok stepen znanja, iskustva, informacija o određenim zakonitostima u posmatranoj oblasti, poznavanje suštine proble-

ma i na intuiciju, eksperti<sup>1</sup> mogu, sa velikom verovatnoćom, doneti odgovarajuću odluku. To se odnosi i na uslove neodređenosti u kojima je otežana primena drugih metoda.

<sup>1</sup> Ekspert je lice koje donosi sud u spornim ili neodređenim uslovima, a njegov zadatak sastoji se u upoređivanju i ocenjivanju mogućih varijanata i izbora najverodostojnijeg rešenja u odnosu na date kriterijume.

Metod ekspertske ocene omogućuje otklanjanje uticaja koji se odnose na neodređenost i subjektivnost individualnih ocena o donetim odlukama i sudovima. Primenjuje se u svim slučajevima kada je ocenjivanje objekata ili njihovih karakteristika subjektivno, kada je postavljene zadatke o objektivnom merenju nemoguće realizovati, odnosno izmeriti na drugi način (na primer, pomoću mernih pribora ili na neki drugi način).

Pod ekspertskim ocenjivanjem podrazumeva se kompleks logičkih i matematičkih postupaka radi dobijanja informacija, od eksperata i analiza tih podataka, kako bi se izabralo racionalno rešenje. Ideja ekspertskog ocenjivanja sastoji se u tome da se pri traženju nove informacije, na osnovu polaznih informacija, formira grupa eksperata koji, primenjujući intuitivno logičku analizu, realizuju postavljeni zadatak radi donošenja kvantitativnog i kvalitativnog suda. Rezultujuće mišljenje više eksperata, primenom obrade odgovarajućih matematičkih postupaka, predstavlja rešenje postavljenog zadatka i čini ekspertsku ocenu. Te ocene su subjektivne i stepen tačnosti zavisi od znanja, iskustva i psihološkog stanja eksperta i omogućuju otklanjanje uticaja koji se odnose na neodređenost i subjektivnost individualnih ocena o donetim odlukama i sudovima.

Cilj i zadatak ekspertskih ocena svodi se, najčešće, na izdvajanje saglasnosti mišljenja (suda), skupa individualnih mišljenja eksperata, a predstavljaju njihov zbir, dok zadatak predstavlja biranje najboljih mogućih rešenja u odnosu na date kriterijume.

Određivanje nivoa mogućnosti nastanka povreda u vezi sa radom daje se

određenom skalom koja se zasniva na ekspertskoj oceni. Koristeći visok stepen znanja, iskustvo, intuiciju, poznavanje ponašanja elemenata u istim ili sličnim uslovima, eksperti donose sud o najverovatnijoj realizaciji elementarnih događaja, njihovom međusobnom odnosu i uticaju na ukupan rizik sistema. Ekspertske ocene izražavaju se u formi lingvističkih promenljivih za opisivanje mogućnosti nastanka povreda, profesionalnih bolesti ili bolesti u vezi sa radom.

Za ocenu profesionalnog rizika u praktičnoj primeni koristi se veliki broj pokazatelja koji se izražavaju različitim veličinama i jedinicama merenja. Pokazatelji za ocenu rizika zadaju se kvantitativnim vrednostima, kvalitativnim ocenama i kombinacijama. Ovi pokazatelji mogu biti prikazani u vektorskom ili skalarnom obliku, a za njihovu analizu i objedinjavanje pri oceni rizika koriste se sledeće metode (opširnije o metodama u literaturi [1]): metoda stabla događaja, metoda analize posledica (efekata otkaza) i ekspertске metode.

U nedostatku dovoljne količine informacija, adekvatna procena rizika zahteva primenu ekspertskog znanja iz oblasti relevantnih za sagledavanje podataka i primenu kvalitativnih i kvantitativnih metoda koji karakterišu posmatranje rizika.

### **Određivanje kriterijuma i pokazatelja za ocenu stanja radne okoline**

Radna okolina, kao sistem, obuhvata elemente tehnološkog sistema čije uzajamne veze i odnosi u procesu rada mogu da obrazuju takva stanja u kojima se mo-

gu ispoljiti uticaji i delovanja sa posledicama ugrožavanja ljudi. Od primenjenih sredstava za rad, predmeta rada, oblika, vrsta tehnoloških procesa, načina organizacije rada i drugih elemenata zavisi kakvi se uticaji i delovanja mogu očekivati u posmatranom sistemu radne okoline. Koji će se oblik uticaja i sa kojim karakteristikama javiti zavisi od stanja ulaznih veličina elemenata, odnosno njihovih međusobnih veza u sistemu.

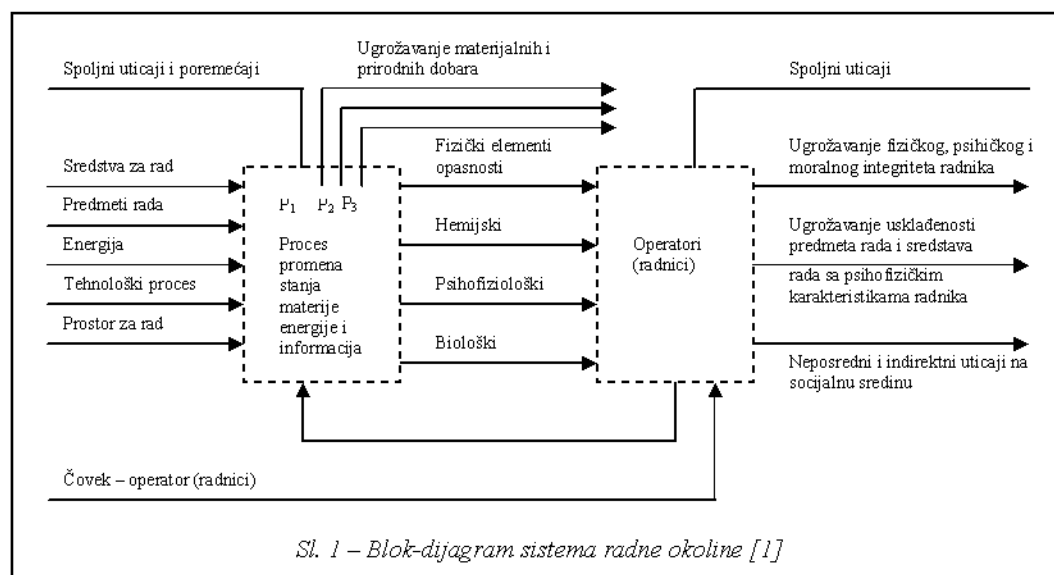
Na slici 1 prikazan je blok-dijagram sistema radne okoline sa ulaznim karakteristikama i svojstvima elemenata sistema (sredstva za rad, predmeti rada, operatori), koji svojim stanjem i vezama dovedu do procesa promene stanja u tokovima materije, energije i informacije. Sa tim promenama obrazuju se izlazne veličine sistema, koje prema prirodi mogu da budu fizičkog, hemijskog, biološkog ili psihofizičkog karaktera, a koje određuju stanje radne okoline.

U tabeli 1 dat je pregled izlaznih veličina elemenata sistema radne okoline

koji karakterišu promene stanja sistema. Uticaj izlaznih veličina elemenata iz pod-sistema neposredno se odražava na zdravlje ljudi. Uzajamne veze elemenata u procesima promene stanja u tokovima materije, energije i informacija mogu da dovedu do ugrožavanja zdravlja radnika, materijalnih i prirodnih dobara, odnosno do poremećaja optimalnih kriterijuma u podsistemu „čovek – mašina“.

Elementi koji utiču na moguće promene u radnoj okolini, koji su u analizi profesionalnog rizika definisani posebnim prilogom 1B uputstva EEZ za ocenu profesionalnog rizika, prema [2], prikazani su u tabeli 1.

Radna okolina može se posmatrati kao sistem koji se ostvaruje vezama sa tri osnovna toka: materije, energije i informacija. U njima se, u skladu sa primenjenim sredstvima za rad, predmetima rada i drugo, odvijaju promene stanja elemenata i sistema. Zbog toga je neophodno poznavanje veličina i vrednosti tih veličina koje karakterišu to stanje.



Ne postoji jedinstveni i opštepriznati metod kojim bi se objedinili pokazatelji čije se pojedinačne vrednosti dobijaju putem merenja, posmatranjem, ili nekim drugim postupkom. Zbog toga postoje različiti izbori kriterijuma i metoda za ocenu profesionalnog rizika.

Za određivanje intenziteta i vremena delovanja pojedinih izlaznih veličina primenjuju se instrumenti i drugi oblici merenja. Vrednosti dobijenih veličina izražavaju se različitim jedinicama i skalama u zavisnosti od prirode posmatranog elementa. Tako dobijene vrednosti prema intenzitetu i vremenu delovanja predstavlja-

ju jedan kriterijum za ocenu stanja sistema radne okoline. Međutim, na stanje sistema ne utiče samo jedan elemenat, nego više njih. Da bi se izvršilo njihovo objedinjavanje i da bi se izrazili preko jednog pokazatelja, potrebno je odrediti njihov međusobni odnos, raspored po prioritetu i značaju uticaja na formiranje stanja sistema radne okoline, odnosno njenog kvaliteta. Tako dobijeni odnos predstavlja drugi kriterijum za ocenu.

Određivanje odnosa među elementima (po njihovom prioritetu u odnosu na stanje kvaliteta radne okoline) vrši se primenom metoda ekspertskog ocenjivanja.

Tabela 1

*Faktori rizika sa veličinama za identifikaciju i njihovo grupisanje [2]*

| Grupa faktora      | Podgrupa faktora                             | Faktori rizika                                          |
|--------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1. Fizički         | 1.1. Mehanička energija                      | 1.1.1. Mehanički                                        |
|                    |                                              | 1.1.2. Buka                                             |
|                    |                                              | 1.1.3. Vibracije                                        |
|                    | 1.2. Energija elektromagnetnog zračenja      | 1.2.1. Ultravioletno zračenje                           |
|                    |                                              | 1.2.2. Infracrveno zračenje                             |
|                    |                                              | 1.2.3. Dinamička i stacionarna energija magnetnog polja |
|                    |                                              | 1.2.4. Mikrotalasno zračenje (radarsko)                 |
|                    |                                              | 1.2.5. Lasersko zračenje                                |
|                    | 1.3. Stanje radne sredine                    | 1.3.1. Osvećljenje                                      |
|                    |                                              | 1.3.2. Mikroklima                                       |
|                    |                                              | 1.3.3. Stanje radnog mesta                              |
|                    |                                              | 1.3.4. Primena elektrouređaja                           |
| 2. Hemijski        | 2.1. Opasne i štetne materije                | 2.1.1. Zapaljivost i eksplozivnost                      |
|                    |                                              | 2.1.2. Zapašenost                                       |
|                    |                                              | 2.1.3. Toksičnost i agresivnost                         |
| 3. Psihofiziološki | 3.1. Energetsko opterećenje                  | 3.1.1. Fizički i dinamički napor                        |
|                    |                                              | 3.1.2. Statički napor                                   |
|                    |                                              | 3.1.3. Napor uslovljen načinom rada                     |
|                    | 3.2. Informaciono-psihomotorno opterećenje   | 3.2.1. Informacioni napor                               |
|                    |                                              | 3.2.2. Monotonost                                       |
|                    | 3.3. Emocionalno i intelektualno opterećenje | 3.3.1. Emocionalni napor                                |
|                    |                                              | 3.3.2. Intelektualni napor                              |
|                    |                                              | 3.3.3. Odnos radnika prema radnom mestu                 |
| 4. Biološki        |                                              |                                                         |

## Realizacija ekspertskog ocenjivanja

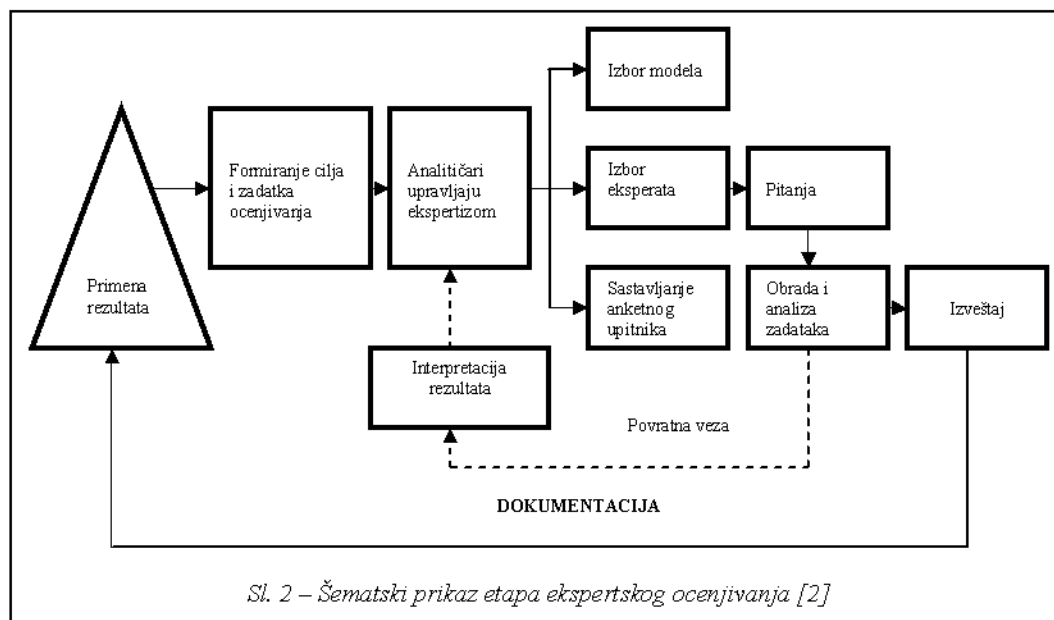
Dobijanjem međusobnog odnosa među elementima obrazuje se jedinstvena skala ocenjivanja na kojoj svakom elementu pripada određena brojna vrednost (prema intenzitetu i vremenu delovanja određuje se koja će vrednost pripasti posmatranom elementu).

Pri realizaciji ekspertskog ocenjivanja neophodno je sprovođenje kompleksa uzajamno zavisnih mera koje određuju cilj rada, uslove i oblike sprovođenja, prava i obaveze lica u sprovođenju ekspertize. Na slici 2 dat je šematski prikaz etapa sprovođenja ekspertskog ocenjivanja.

U okviru rada realizovano je ekspertsko ocenjivanje na primeru poslova iz domena obuke, eksploatacije i održavanja dela borbenih sredstava prema prethodno izvršenoj klasifikaciji izlaznih faktora rizika. Od eksperata se zahtevalo da na osnovu iskustva i znanja odrede

prioritet, značaj, uticaj elemenata opasnosti i štetnosti na stanje sistema radi povećanja bezbednosti i očuvanja zdravlja ljudi, materijalnih i prirodnih dobara. Radi toga je za eksperte formulisano upitnik sa uputstvom, kao i anketni list.

Faktori rizika borbenih sredstava identifikovani od grupe eksperata, po grupama, podgrupama, elementima i veličinama za identifikaciju, prikazani su u tabeli 1. Iz tabele se vidi da u radnoj okolini postoje mnogi faktori rizika, koji u nekim slučajevima nisu poznati onima koji rade neposredno u njihovoj blizini, a pogotovo osobama koje se kreću iz nekog razloga kroz sredinu gde su one aktivne. Upravo zbog ovih razloga potrebno je jasno, precizno i trajno označiti izvore opasnosti i štetnosti, odnosno faktore rizika i to kroz razna upozorenja i način ponašanja u određenim situacijama (ovakva upozorenja su u principu standardizovana i lako prihvatljiva). Pored pomenutih mera, radi osiguranja radnih i



životnih uslova od štetnih delovanja raznih faktora rizika pri obavljanju svakodnevnih zadataka, preduzimaju se i druge organizacijsko-tehničke mere, kao i normativno-pravne regulative, odnosno mere radi smanjenja uticaja faktora rizika.

Postavljeni zadaci radi izvršenja ekspertskog ocenjivanja su:

- izvršiti klasifikaciju i sistematizaciju izlaznih elemenata na grupe, podgrupe i faktore, da bi se ekspertima omogućilo određivanje značajnosti pojedinih faktora, te da se ocenjivanje sprovede po hijerarhijskim nivoima;
- definisati kriterijume u zavisnosti od intenziteta i vremena njihovog delovanja i kvaliteta radne okoline;
- izvršiti određivanje odnosa među faktorima rizika po njihovom prioritetu u zavisnosti od uticaja na radnu okolinu;
- izvršiti ocenjivanje faktora rizika po grupama, podgrupama i pojedinačno, primenom metoda rangiranja i bodovnog ocenjivanja;
- odrediti saglasnost mišljenja primenom metoda interaktivnog utvrđivanja koeficijenata autoriteta;
- formirati jedinstvenu skalu ocenjivanja na kojoj svakom faktoru pripada određena brojna vrednost, na osnovu raspodele bodova po grupama, podgrupama i faktorima rizika;
- izvršiti kvalitativnu ocenu i dobiti konačne rezultate sa brojem bodova, primenom obrade podataka ekspertskog ocenjivanja koji pripada svakom pojedinačnom ocenjivanom faktoru rizika;
- na osnovu vrednosti posmatranog faktora rizika i vremena njegovog delovanja na radnika odrediti funkcionalnu zavisnost ocene, izraženu u bodovima u odnosu na posmatrani faktor rizika.

Ocenjivanje prema datoj klasifikaciji izlaznih elemenata faktora rizika sprovedeno je metodom kolektivne ekspertске ocene – anketiranja, kojom se od učesnika ankete zahtevalo da na osnovu svog iskustva i znanja odrede prioritet, značaj, uticaj elemenata opasnosti i štetnosti na stanje sistema.

Obrada dobijenih rezultata izvršena je statističkom analizom, kombinacijom rangiranja i bodovnog ocenjivanja.

### Formiranje ekspertске grupe i formiranje anketnog upitnika

U postupku ocenjivanja učestvovalo je 14 eksperata. Grupu eksperata sačinjavala su lica različitih profesija i različitog stepena obrazovanja, prema pregledu u tabelama 2 i 3.

Tabela 2  
Pregled zanimanja učesnika u grupi eksperata

| Zanimanje     | Dipl. inženjeri mašinstva | Dipl. inženjeri elektrotehnike | Dipl. inženjeri informatike | Dipl. inženjeri tehnologije | Psiholozi | Lekari |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| Broj učesnika | 6                         | 4                              | 1                           | 1                           | 1         | 1      |

Tabela 3  
Pregled stepena stručnog obrazovanja učesnika u grupi eksperata

| Stepen stručnog obrazovanja | Magistri nauka | Specijalisti | Visoka stručna sprema |
|-----------------------------|----------------|--------------|-----------------------|
| Broj učesnika u grupi       | 4              | 3            | 7                     |

### Određivanje skale za ocenjivanje

Unapred urađena klasifikacija i sistematizacija izlaznih elemenata opasnosti i štetnosti sa veličinama za identifikaciju na grupe, podgrupe, elemente i para-

metre omogućavala je ekspertima da određivanje značajnosti pojedinih elemenata i ocenjivanje sprovedu po hijerarhijskim nivoima.

Ocenjivanje i sistematizacija faktora rizika je izvršena u tri nivoa ocenjivanja:

- prvi nivo ocenjivanja (označen brojevima: 1, 2, 3 i 4, u tabeli 1) predstavlja ocenjivanje i upoređivanje između grupa faktora rizika – rangiranjem;

- drugi nivo predstavlja ocenjivanje i upoređivanje podgrupa faktora rizika u okviru date grupe (označenih brojevima: 1.1., 1.2., 1.3., itd. u tabeli 1) – rangiranjem;

- treći nivo predstavlja ocenjivanje i upoređivanje faktora rizika u okviru date podgrupe (označenih brojevima: 1.1.1., 1.1.2., 1.1.3., itd. u tabeli 1) – bodovnim ocenjivanjem.

Na kraju je izvršeno ocenjivanje i upoređivanje parametara u okviru posmatranog sistema faktora rizika (faktore rizika definiše više veličina, odnosno parametara).

Parametri sistema, odnosno veličina za identifikaciju faktora rizika predstavlja osnovni nivo ocenjivanja. Svaki parametar ima određenu vrednost u sistemu, što je prikazano na slici 2. Na osnovu tih vrednosti i dobijenih težinskih koeficijenata neposredno je dobijena kvantitativna ocena uticaja i delovanja pojedinih elemenata, odnosno kvantitativno izražena ocena.

Za sprovedeno ekspertsko ocenjivanje prema anketnom upitniku i određivanje koeficijenata značajnosti, bodovnim ocenjivanjem usvojena je skala prirodnih brojeva od 0 do 1000 (opseg je usvojen proizvoljno). Prema usvojenoj skali,

shodno dobijenim koeficijentima značajnosti, izvršena je raspodela bodova po grupama, podgrupama i elementima prema određenom postupku.

#### PRVI KORAK: polazni rezultati

Polazi se od dobijenih rezultata ekspertskog ocenjivanja i izračunatih koeficijenata značajnosti (pokazuje težinski uticaj posmatranih elemenata na ocenu opasnosti), dobijenih u okviru grupe elemenata, za grupe elemenata: fizički (F), hemijski (H), psihofiziološki (PF) i biološki (B) elementi opasnosti i štetnosti, prema tabeli 4.

Tabela 4  
Težinski koeficijenti dobijeni ekspertskom ocenama  
za posmatrane grupe elemenata

| Elementi                 | F | H      | PF     | B      |
|--------------------------|---|--------|--------|--------|
| Koeficijenti značajnosti | 1 | 0,5559 | 0,8058 | 0,2850 |

DRUGI KORAK: korekcija dobijenih vrednosti za koeficijente značajnosti

Zbog nejednakog broja podgrupa koje su obuhvaćene pojedinim grupama izvršena je korekcija dobijenih vrednosti za koeficijente značajnosti. Određivanje vrednosti u procentualnom udelu važnosti svakog ocenjivanog člana izvršeno je prema sledećem postupku:

$$F + H + PF + B = 1 + 0,5559 + 0,8058 + 0,2850 = 2,6468$$

Iz prethodnog proizilazi da je:

$$F = \frac{1}{2,6468} = 0,3778, X = \frac{0,5559}{2,6468} = 0,2100,$$

$$PF = \frac{0,8058}{2,6468} = 0,3045, B = \frac{0,2850}{2,6468} = 0,1077$$



Tabela 5

Grupe elemenata sa koeficijentima nakon korekcije  
dobijenih vrednosti koeficijenata značajnosti

| Grupa elemenata                     | F      | H      | PF     | B      |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Korigovani koeficijenti značajnosti | 0,3778 | 0,2100 | 0,3045 | 0,1077 |

**TREĆI KORAK:** korekcija vrednosti zbog nejednakog broja podgrupa

Zbog nejednakog broja podgrupa u okviru posmatrane grupe izvršena je korekcija nakon drugog koraka dobijenih vrednosti za grupe elemenata (F, H, PF, B).

Grupa „fizički elementi“ sadrži tri podgrupe (F = 3), grupa „hemijski elementi“ sadrži jednu podgrupu (H = 1), grupa „psihofizički elementi“ sadrži tri podgrupe (PF = 3) i grupa „biološki elementi“ sadrži jednu podgrupu (B = 1), pa je:

$$F = 0,3778 \cdot \frac{3}{8} = 0,1417, X = 0,2100 \cdot \frac{1}{8} = 0,0263,$$

$$PF = 0,3045 \cdot \frac{3}{8} = 0,1142, B = 0,1077 \cdot \frac{1}{8} = 0,00455$$

Primenjujući nove vrednosti dobija se da je:

$$F = \frac{0,1417}{0,2956} = 0,4794, \quad X = \frac{0,0266}{0,2956} = 0,0888,$$

$$PF = \frac{0,1142}{0,2956} = 0,3863, \quad B = \frac{0,0135}{0,2956} = 0,0455$$

Tabela 6

Grupe elemenata sa koeficijentima nakon korekcije  
vrednosti zbog nejednakog broja podgrupa

| Grupa elemenata      | F      | H      | PF     | B      | Σ      |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Korigovane vrednosti | 0,1417 | 0,0263 | 0,1142 | 0,0135 | 0,2956 |
|                      | 0,4794 | 0,0888 | 0,3863 | 0,0455 | 1      |

**ČETVRTI KORAK:** raspodela bodova prema utvrđenim težinskim koeficijentima

Raspodela broja bodova koji prema utvrđenim težinskim koeficijentima pripadaju posmatranim grupama elemenata (F, H, PF i B) izvršena je tako što je ukupan broj raspoloživih bodova (1000) raspodeljen prema dobijenim vrednostima u prethodnom koraku:

$$F = 1000 \cdot 0,4794 = 479 \text{ bodova,}$$

$$X = 1000 \cdot 0,0888 = 89 \text{ bodova,}$$

$$PF = 1000 \cdot 0,3863 = 386 \text{ bodova,}$$

$$B = 1000 \cdot 0,0455 = 46 \text{ bodova}$$

Tabela 7

Grupe elemenata sa raspodelom bodova prema  
utvrđenim težinskim koeficijentima

| Grupa elemenata  | F   | H  | PF  | B  | Σ    |
|------------------|-----|----|-----|----|------|
| Raspodela bodova | 480 | 88 | 386 | 46 | 1000 |

Prema prethodno navedenom postupku izvršena je raspodela u podgrupama faktora rizika, odnosno među faktorima rizika.

Dobijeni rezultati sa brojem bodova za grupe elemenata, podgrupe i faktore rizika primenom automatske obrade podataka ekspertskog ocenjivanja za dati primer prikazani su na slici 3, gde je šematski, u obliku stabla, prikazan broj bodova koji pripada pojedinačno svakom faktoru rizika. Dobijeni broj bodova odnosi se na maksimalne vrednosti koje može imati posmatrani faktor kao i na maksimalno vreme njegovog uticaja i delovanja.

U slučajevima kada se uslovi rada ocenjuju u radnoj sredini u kojoj se ne dozvoljava prekoračenje maksimalno dobijenih vrednosti, raspodela se vrši za izmerene vrednosti za osmočasovno radno vreme.

### Kvantitativna ocena radne sredine

Na osnovu vrednosti posmatranog parametra i vremena delovanja određuje se funkcionalna zavisnost ocene izražene u bodovima u odnosu na posmatrani parametar. Funkcionalna zavisnost izmerenih vrednosti posmatranog faktora i stepena uticaja na uslove rada sastoji se u određivanju intervala u kojem se može naći vrednost faktora i intervala koji odražava stepen uticaja na uslove rada prema izmerenoj vrednosti posmatranog faktora.

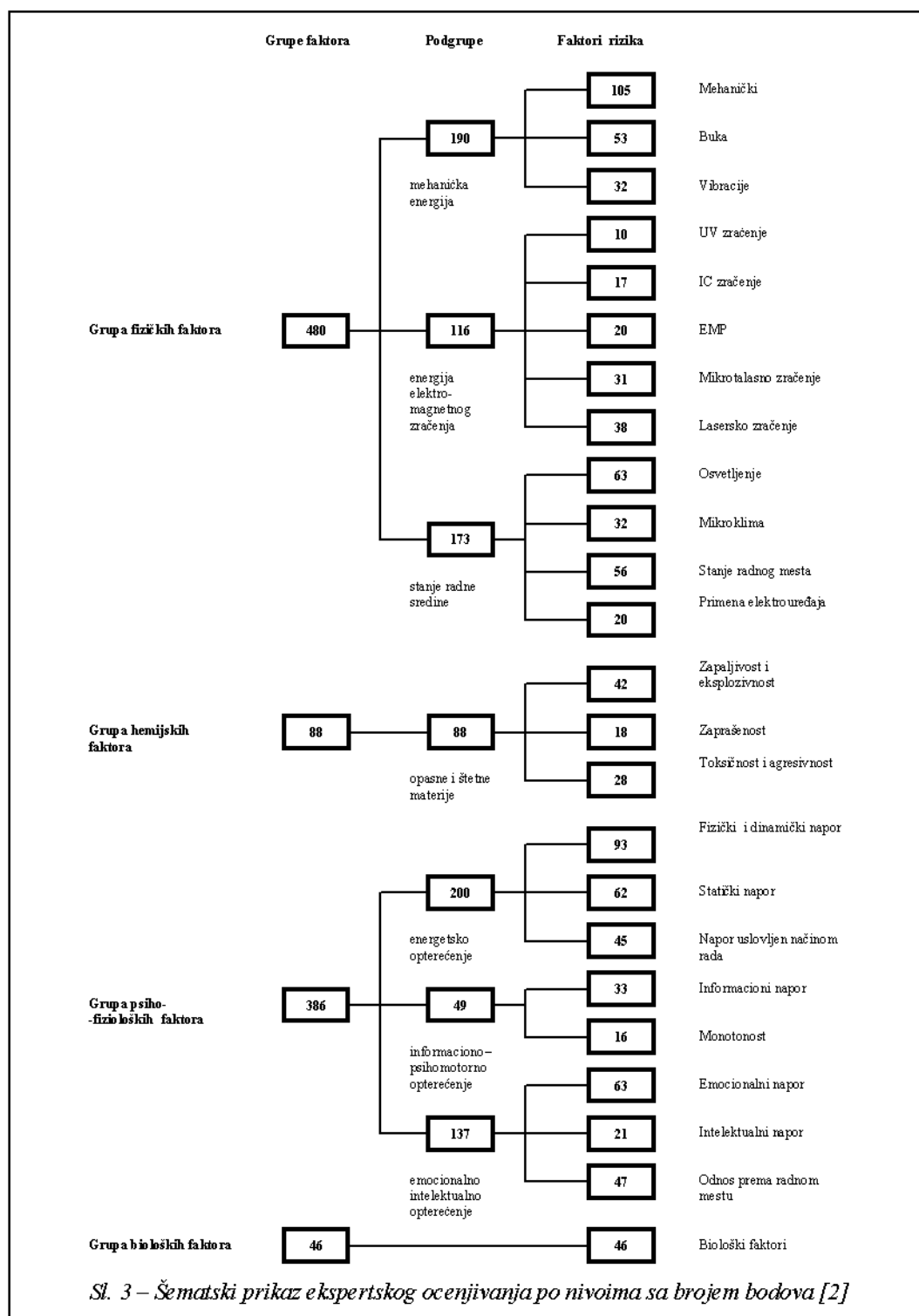
Zavisno od cilja posmatranja sistema radne sredine, ovi intervali mogu se posmatrati sa granicama od 0 (kao minimalne vrednosti) do MDV (maksimalno dozvoljena vrednost).

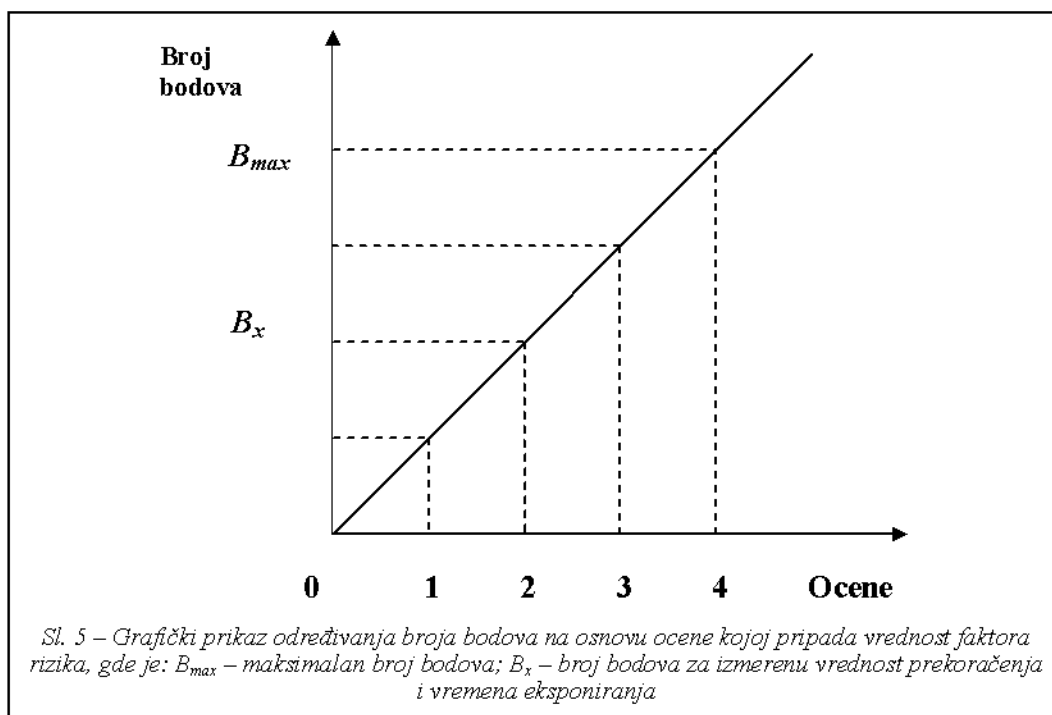
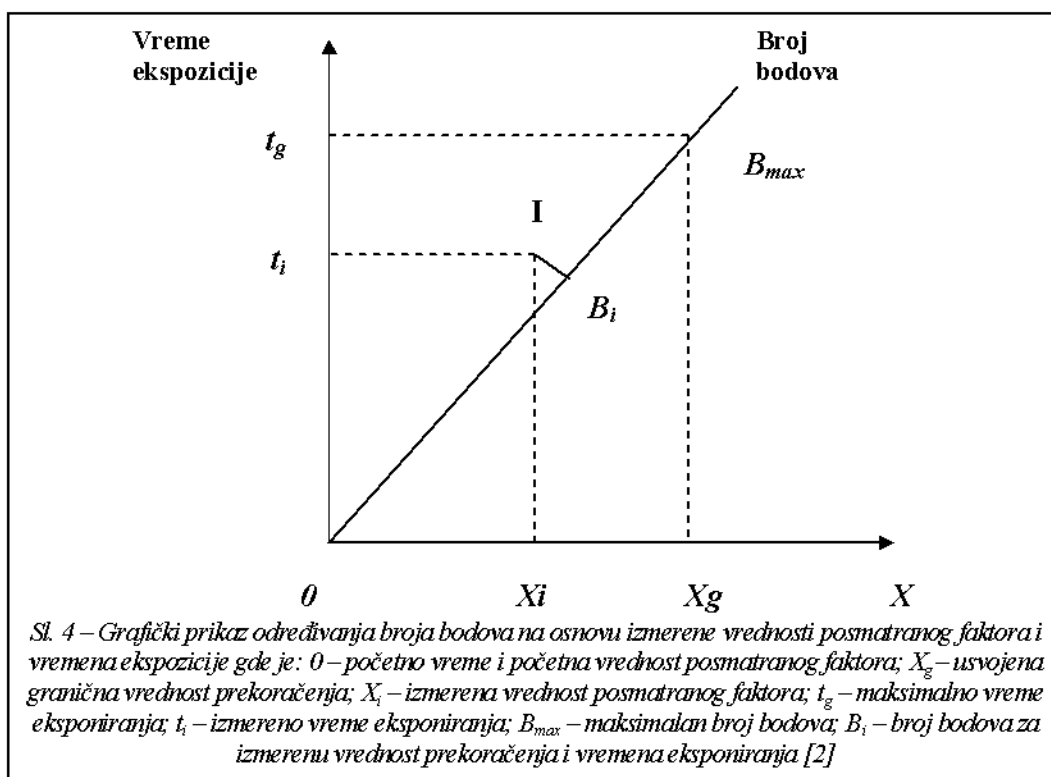
Funkcionalna zavisnost između posmatranog faktora i njegovog stepena uticaja na uslove rada, u slučajevima kada takva zavisnost postoji razrađena u naučno-stručnoj literaturi, i direktno se primenjuje, dok se u ostalim slučajevima formira grupa eksperata radi utvrđivanja funkcionalne zavisnosti. Za svaki parametar posebno se formira redosledna skala. Interval se podeli na jednak broj delova po rastućem nizu. Prema tako dobijenim intervalima eksperti će za svaku vrednost, idući od minimalne prema maksimalnoj, određivati stepen delovanja na uslove rada i na usvojenoj redoslednoj skali određivati procentualni stepen rasta uticaja. Prema tako utvrđenom procentualnom odnosu, na osnovu izmerene vrednosti određuje se procentualno i broj bodova koji odgovara toj izmerenoj vrednosti. Ovaj postupak se ponavlja dok

se ne dobije saglasnost mišljenja eksperata. Tako utvrđeni odnosi najčešće se predstavljaju grafički, kao na slici 3.

U konkretnom primeru ocenjivanja nije vršeno utvrđivanje funkcionalnih zavisnosti ekspertskim ocenjivanjem, jer to prevazilazi okvire ovoga rada. Kao primer metodološkog postupka u pristupu mogućnosti primene navedene metodologije, usvojena je linearna funkcionalna zavisnost. To znači da se sa porastom vremena eksponiranja, pri istom intenzitetu posmatranog faktora rizika, linearno povećava stepen uticaja na obrazovanje uslova rada, a da pri istom vremenskom eksponiranju sa porastom intenziteta posmatranog faktora raste i stepen uticaja na obrazovanje uslova, shodno dijagramu na slici 4.

Na prikazanom dijagramu na apscisi prikazuju se vrednosti od MDV do usvojenih graničnih vrednosti prekoračenja posmatranog parametra za ocenjivanje. Na ordinati se nanose utvrđene vrednosti vremena trajanja prekoračenja posmatranog faktora. Koordinatni početak označava nulto vreme trajanja, kao i MDV vrednosti. Izmerene vrednosti prekoračenja iznad MDV nanose se na apscisi, a vreme trajanja prekoračenja posmatranog faktora na ordinati. Dijagonala koja spaja koordinatni početak i tačku  $B_{max}$  predstavlja duž koja odgovara maksimalnom broju bodova za posmatrani parametar ocenjivanja. Za bilo koju drugu vrednost prekoračenja i vremena delovanja određuje se tačka u koordinatnom sistemu, pa se iz te tačke povuče normala na duž  $OB_{max}$  sa koje se očitava broj bodova koji odgovara izmerenoj vrednosti i vremenu delovanja.





U slučaju kada se vrednosti parametara izražavaju redoslednom skalom u klasama, maksimalan broj bodova koji pripada posmatranom parametru dodeljuje se u klasi sa najvišim rangom, a ostali broj bodova proporcionalno ostalim klasama, po redosledu prema slici 4.

U konkretnom primeru usvojena je četvorostepena skala sa jednakim intervalima, prema slici 5. Za ovaj slučaj, kada se vrednosti parametara izražavaju redoslednom skalom u klasama, maksimalan broj bodova koji pripada posmatranom parametru dodeljuje se klasi sa najvišim rangom, a ostali broj bodova proporcionalno ostalim klasama po redosledu.

## Zaključak

Dobijene vrednosti za parametre sistema, odnosno izlazne veličine za identifikaciju opasnosti i štetnosti, predstavljaju osnovni nivo ocenjivanja. Svaki parametar (faktor rizika) ima određenu vrednost u datom sistemu, u ovom slučaju za analizirana radna mesta pri radu na borbenim sredstvima. Na osnovu izmerenih vrednosti veličina i dobijenih težinskih koeficijenata, na dobijenoj skali ocenjivanja neposredno se dobija kvantitativna ocena, u odnosu na koju se kategorije radno mesto, odnosno određuje se da li na određenom radnom mestu postoji uvećani rizik.

Dobijena ocena stanja sistema radne sredine metodom ekspertskog ocenjivanja ima praktičnu primenu za:

- ujednačavanje kriterijuma za određivanje radnih mesta sa uvećanim rizikom;
- nadoknade ostvarenog dohotka po osnovu rada pod otežanim uslovima;
- upravljanje sistemom radne sredine, određivanjem kriterijuma za prioritet preduzimanja potrebnih mera za uvođenje mera otklanjanja, smanjenja ili sprečavanja rizika za ocenjivani sistem radne sredine, izmenom ulaznih elemenata sistema.

Dobijena ocena metodom ekspertskog ocenjivanja ne može da predstavlja ocenu za izmenu maksimalno dozvoljenih vrednosti i maksimalno dozvoljenih koncentracija, s obzirom na to da je to posebno oblast širokog eksperimentalnog istraživanja i posmatranja, normativno i standardizaciono definisana.

## Literatura:

- [1] Anđelković, B.: Rizik tehnoloških sistema i profesionalni rizik, monografija, Fakultet ZNR, Niš, 2003.
- [2] Novaković, Z.: Modeli za ocenu profesionalnog rizika borbenih sistema, Magistrska teza, Fakultet zaštite na radu, Niš, 2007.
- [3] Anđelković, B., Živković, N.: Primena metoda ekspertnog ocenjivanja uticaja tehnoloških sistema na životnu sredinu, Zbornik radova Međunarodne konferencije, Preventivni inženjering i životna sredina, Fakultet zaštite na radu, Niš, novembar 1995.
- [4] Janković, Ž.: Elementi za procenu rizika u sistemu „Čovek – sredstvo rada“, Zbornik radova, Fakultet ZNR, Niš, 2004.
- [5] Job Safety or Hazard Analysis (JSA / JHA): <http://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/jobhaz.html>, [http://www.oshaslc.gov/SLTC/etools/oilandgas/job\\_safety\\_analysis\\_process.html](http://www.oshaslc.gov/SLTC/etools/oilandgas/job_safety_analysis_process.html), [http://www.acusafe.com/Hazard\\_Analysis/OSHA\\_JSA\\_3071.pdf](http://www.acusafe.com/Hazard_Analysis/OSHA_JSA_3071.pdf)
- [6] Hazard and Operability Studies (HAZOP): <http://slp.icheme.org/hazops.html>, [http://www.acusafe.com/Hazard\\_Analysis/Hazard\\_Analysis-HAZOP.html](http://www.acusafe.com/Hazard_Analysis/Hazard_Analysis-HAZOP.html)
- [7] Workplace Risk Assessment and Control (WRAC): <http://www.sverdrup.com/safety/pha.pdf>

**Docent dr Miljko Popović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## BORBENI ZAOKRET AVIONA

UDC: 623.746.34 : 627.7.07

### Rezime:

*U radu su prikazane jednačine kretanja težišta aviona u borbenom zaokretu i analiza uticaja koeficijenta opterećenja i ugla nagnjanja na karakteristike borbenog zaokreta, kao što su: brzina, promena ugla nagiba putanje, prirast visine i vreme trajanja zaokreta.*

*Ključne reči: borbeni zaokret, koeficijent opterećenja, ugao nagnjanja, ugao skretanja, aerodinamička sila, potisak.*

### COMBAT TURN

#### Summary:

*The paper presents equations of motion of the aircraft center of mass in combat turn and effects of load factor and the bank angle on the characteristic of combat turn, such as: velocity, the flight path angle, increment of altitude and the time combat turn.*

*Key words: combat turn, load factor, bank angle, heading angle, aerodynamic force, thrust.*

#### Uvod

Kretanje aviona u prostornom manevru može se analizirati na više načina, zavisno od toga u kojem koordinatnom sistemu se rešavaju jednačine kretanja. Izborom polubrzinskog koordinatnog sistema za rešavanje jednačina kretanja obezbeđuje se najjednostavnije dolaženje do karakteristika borbenog zaokreta, kao što su: promena brzine, prirast visine, promena ugla nagiba putanje u odnosu na horizont i vreme trajanja zaokreta. Do sada, borbeni zaokret aviona razmatran je, nepotpuno, u [1], a horizontalni zaokret u [3].

#### Definicija borbenog zaokreta i jednačine kretanja

Borbeni zaokret bez klizanja jeste neustaljeni prostorni manevr aviona, pri

kojem se menja pravac leta i istovremeno povećava visina. Borbeni zaokret obično se razmatra kao zaokret za  $180^\circ$ . Ovaj manevr najčešće se koristi u vazdušnoj borbi, kada se nastoji da se protivniku dođe iza leđa, i to, po mogućnosti, sa nadvišenjem. Prednost u visini je gotovo uvek poželjna, jer se potencijalna energija može brzo pretvoriti u kinetičku i tako postići željena brzina.

#### Izbor koordinatnog sistema za rešavanje jednačina kretanja

Da bismo potpuno definisali koordinatni sistem, potrebno je odrediti pravac ose Oz. U dinamici leta uobičajeno je da se ona nalazi bilo u ravni simetrije, bilo u vertikalnoj ravni.

U prvom slučaju koordinatni sistem nazivamo brzinskim,  $X_v$ ,  $Y_v$ ,  $Z_v$ , a u dru-

gom polubrzinskim,  $X_v, Y_v, Z_v$ , kako je prikazano na sl. 1. Dakle, kod polubrzinskog koordinatnog sistema osa  $OZ_v$  tokom kretanja aviona uvek ostaje u vertikalnoj ravni, a osa  $OY_v$  je uvek horizontalna, što pojednostavljuje rešavanje jednačina kretanja. Prema tome, položaj polubrzinskog koordinatnog sistema u odnosu na sistem lokalnog horizonta određuje se jedino pravcem ose  $OX_v$  tj. uglovima  $\chi$  i  $\gamma$ .

Kretanje centra masa aviona može se izraziti u polubrzinskom koordinatnom sistemu. Opšta jednačina kretanja centra masa aviona u proizvoljnom koordinatnom sistemu glasi:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{R} + \vec{T} + \vec{G}$$

gde su:

$m$  – masa aviona,

$\vec{V}$  – vektor brzine,

$\vec{R}$  – aerodinamička sila,

$\vec{T}$  – sila potiska,

$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$  – težina aviona i

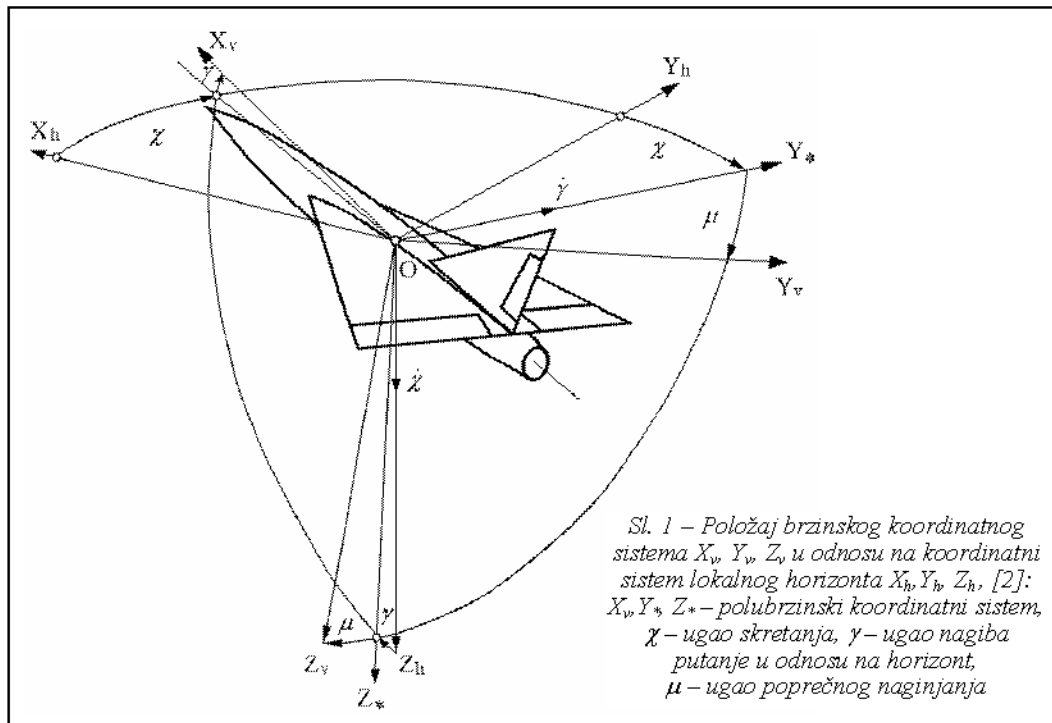
$\frac{d\vec{V}}{dt}$  – izvod brzine po vremenu (apsolutno ubrzanje tačke).

Izvod vektora brzine u rotirajućem koordinatnom sistemu osa sa ugaonom

brzinom  $\vec{\omega}$  je:  $\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{\omega} \times \vec{V}$ , pa gor-

nja jednačina primenjena na polubrzinski koordinatni sistem postaje:

$$m \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + m \cdot \vec{\omega} \times \vec{V} = \vec{R} + \vec{T} + m \cdot \vec{g} \quad (2)$$



gde je:

$\vec{\omega}^*$  – ugaona brzina obrtanja polubrzinskog koordinatnog sistema u odnosu na koordinatni sistem prividnog horizonta.

Radi razvoja jednačina kretanja težišta aviona u polubrzinskom koordinatnom sistemu potrebno je izvršiti neophodne transformacije.

Transformacija iz koordinatnog sistema lokalnog horizonta u polubrzinski koordinatni sistem ostvaruje se kroz dve sukcesivne jednoosne rotacije, i to:

– rotacijom oko ose  $OZ_h$  koordinatnog sistema lokalnog horizonta za ugao  $\chi$  (sl. 1) koja je definisana matricom transformacije  $C_1$ ;

– rotacijom oko novostvorene ose  $OY_*$  za ugao  $\gamma$  (sl. 1), koja je definisana matricom transformacije  $C_2$ ,

gde su matrice transformacija jednoosnih rotacija:

$$C_1 = \begin{bmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

Matrica transformacije iz koordinatnog sistema lokalnog horizonta u polubrzinski koordinatni sistem jednaka je proizvodu sukcesivnih jednoosnih matrica transformacija:

$$C_h^{pb} = C_2 \cdot C_1 = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \chi & \cos \gamma \sin \chi & -\sin \gamma \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ \sin \gamma \cos \chi & \sin \gamma \sin \chi & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

Transformacija iz brzinskog u polubrzinski koordinatni sistem ostvaruje se jednoosnom rotacijom oko ose  $OX_v$  brzinskog koordinatnog sistema za ugao  $\mu$ , (sl. 1). U daljem tekstu osa  $OX_v$  obeležena je sa  $OX$ .

Matrica transformacije brzinskog u polubrzinski koordinatni sistem je:

$$C_v^{pb} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \mu & -\sin \mu \\ 0 & \sin \mu & \cos \mu \end{bmatrix}$$

Matrični oblik izraza (2) za polubrzinski koordinatni sistem  $X_v = X, Y^*, Z^*$  glasi:

$$m \begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_{y^*} \\ \dot{V}_{z^*} \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z^* & \omega_y^* \\ \omega_z^* & 0 & -\omega_x^* \\ -\omega_y^* & \omega_x^* & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_{y^*} \\ V_{z^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_{y^*} \\ F_{z^*} \end{bmatrix} \quad (3)$$

gde su:

$\omega_x, \omega_y^*$  i  $\omega_z^*$  – komponente vektora ugaone brzine u pravcu osa polubrzinskog koordinatnog sistema;

$V_x, V_{y^*}$  i  $V_{z^*}$  – komponente vektora brzine u pravcu osa polubrzinskog sistema;

$F_x, F_{y^*}, F_{z^*}$  – projekcije svih spoljašnjih sila u pravcu osa polubrzinskog koordinatnog sistema.

U polubrzinskom koordinatnom sistemu su:

– komponente vektora ugaone brzine (odnosi su jasno uočljivi na sl. 1):



$$\omega_x = -\dot{\gamma} \sin \gamma, \quad \omega_y^* = \dot{\gamma} \quad \omega_z^* = \dot{\gamma} \cos \gamma$$

– komponente vektora brzine:

$$V_x = V, \quad V_{y^*} = 0, \quad V_{z^*} = 0$$

#### *Komponente aerodinamičke sile*

Transformacija komponenti aerodinamičke sile iz brzinskog koordinatnog sistema  $R^v = \{-R_x, R_y, -R_z\}$  na ose polubrzinskog koordinatnog sistema  $R^{pb} = \{-R_x, R_{y^*}, R_{z^*}\}$  vrši se pomoću matrice transformacije  $C_v^{pb}$ , korišćenjem relacije:

$$R^{pb} = C_v^{pb} \cdot R^v$$

odnosno:

$$\begin{bmatrix} R_x \\ R_{y^*} \\ R_{z^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \mu & -\sin \mu \\ 0 & \sin \mu & \cos \mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -R_x \\ 0 \\ -R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_x \\ R_z \sin \mu \\ -R_z \cos \mu \end{bmatrix} \quad (4)$$

#### *Komponente sile masa u pravcu osa polubrzinskog sistema*

Komponente sile masa u pravcu osa polubrzinskog sistema iznose:

$$G^{pb} = C_2 \cdot G^h \quad (5)$$

gde su:

$G^{pb} = \{G_x, G_{y^*}, G_{z^*}\}$  – komponente težine u polubrzinskom koordinatnom sistemu,

$G^h = \{0, 0, mg\}$  – komponente težine u koordinatnom sistemu lokalnog horizonta.

Iz jednačine (5) dobija se:

$$G_x = -mg \sin \gamma,$$

$$G_{y^*} = 0,$$

$$G_{z^*} = mg \cos \gamma.$$

#### *Komponente sile potiska*

Sila potiska najpre se projektuje na ose brzinskog koordinatnog sistema, gde su njene komponente  $T^v = \{T_{xv}, T_{yv}, T_{zv}\} = \{T \cos(\alpha - \alpha_s), 0, -T \sin(\alpha - \alpha_s)\}$ , i nakon toga u polubrzinski sa komponentama  $T^{pb} = \{T_x, T_{y^*}, T_{z^*}\}$ , pomoću relacije:

$$T^{pb} = C_v^{pb} \cdot T^v \quad (6)$$

Oдавде se dobija:

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_{y^*} \\ T_{z^*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \mu & -\sin \mu \\ 0 & \sin \mu & \cos \mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \cos(\alpha - \alpha_s) \\ 0 \\ -T \sin(\alpha - \alpha_s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \cos(\alpha - \alpha_s) \\ T \sin(\alpha - \alpha_s) \sin \mu \\ -T \sin(\alpha - \alpha_s) \cos \mu \end{bmatrix}$$

pri čemu je  $\alpha_s$  – smeštajni ugao krila aviona.

Tako su sada komponente svih spojašnjih sila u pravcu osa polubrzinskog sistema:

$$F_x = T \cos(\alpha - \alpha_s) - R_x - mg \sin \gamma,$$

$$F_{y^*} = [R_z + T \sin(\alpha - \alpha_s)] \cdot \sin \mu,$$

$$F_{z^*} = -[R_z + T \sin(\alpha - \alpha_s)] \cdot \cos \mu + mg \cos \gamma.$$

Nakon matričnog množenja izraza (3) i smene izraza za projekcije svih spoljašnjih sila u pravcu odgovarajućih osa, dolazi se do projekcija jednačina kretanja centra masa aviona u borbenom zaokretu na ose polubrzinskog sistema:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= T \cos(\alpha - \alpha_s) - R_x - mg \sin \gamma, \\ \cos \gamma m V \frac{d\chi}{dt} &= [R_z + T \sin(\alpha - \alpha_s)] \sin \mu, \\ m V \frac{d\gamma}{dt} &= [R_z + T \sin(\alpha - \alpha_s)] \\ \cos \mu - mg \cos \gamma \end{aligned} \quad (7)$$

Dakle, kretanje aviona u borbenom zaokretu opisuju jednačine neustaljenog prostornog kretanja bez klizanja.

Nakon svih prethodnih razmatranja, sada se može grafički prikazati putanja aviona u toku borbenog zaokreta i sile koje deluju na težište aviona (sl. 2).

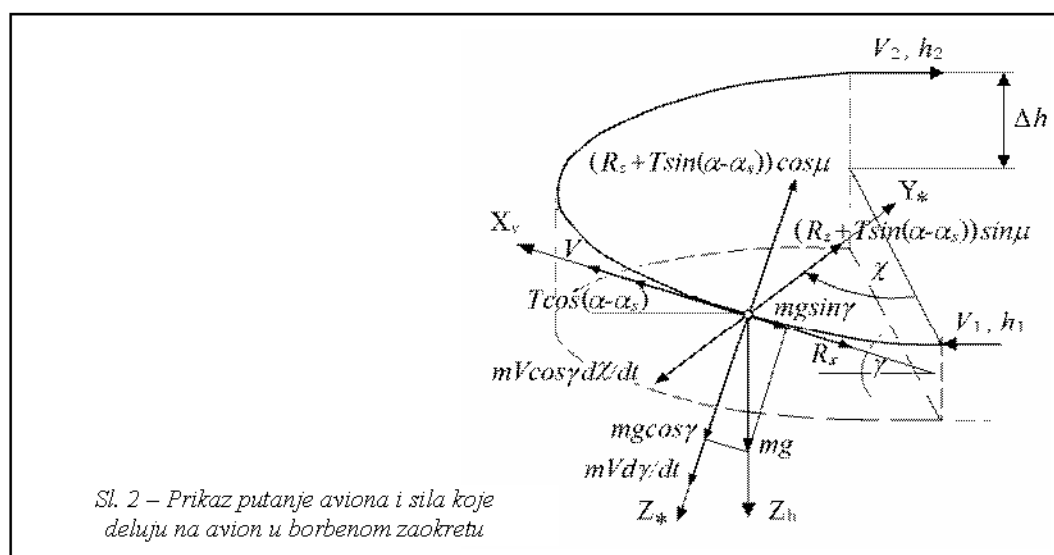
Uvođenjem koeficijenata tangencijalnog i normalnog opterećenja,

$$\begin{aligned} n_x &= \frac{T \cos(\alpha - \alpha_s) - R_x}{mg}, \\ n &= \frac{R_z + T \sin(\alpha - \alpha_s)}{mg} \end{aligned}$$

jednačine (7), sa dodatom kinematskom jednačinom  $dh/dt = V \sin \gamma$ , postaju:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= g(n_x - \sin \gamma) \\ \frac{d\chi}{dt} &= \frac{g}{V \cos \gamma} n \sin \mu \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \frac{g}{V} (n \cos \mu - \cos \gamma) \\ \frac{dh}{dt} &= V \sin \gamma \end{aligned} \quad (8)$$

Sistem diferencijalnih jednačina (8) određuje uticaj koeficijenata normalnog i tangencijalnog opterećenja na promenu brzine  $V$ , ugla nagiba putanje  $\gamma$  i ugaone brzine  $d\chi/dt$  u toku izvođenja borbenog zaokreta, za datu vrednost parametra  $\mu$ .



Sl. 2 – Prikaz putanje aviona i sile koje deluju na avion u borbenom zaokretu

Koeficijenti opterećenja  $n_x$  i  $n$  menjaju se u toku izvođenja zaokreta. Međutim, može se pretpostaviti da su konstantni. Pri tome se pretpostavlja da od vrednosti  $n = 1$  pilot na ulasku u zaokret trenutno prelazi na određeno  $n$  u samom zaokretu, i da se od njega opet trenutno vraća na  $n = 1$  na završetku zaokreta.

Ako kao nezavisno promenljivu uvedemo ugao skretanja putanje  $\chi$ , nakon deljenja prve, treće i četvrte jednačine sistema (8) sa drugom jednačinom, dobijamo sistem jednačina:

$$\begin{aligned}\frac{dV}{d\chi} &= \frac{V \cos \gamma}{n \sin \mu} (n_x - \sin \gamma) \\ \frac{d\gamma}{d\chi} &= \frac{\cos \gamma}{n \sin \mu} (n \cos \mu - \cos \gamma) \\ \frac{dh}{d\chi} &= \frac{V^2}{g} \frac{\sin \gamma \cos \gamma}{n \sin \mu} \\ \frac{dt}{d\chi} &= \frac{V}{g} \frac{\cos \gamma}{n \sin \mu}\end{aligned}\quad (9)$$

Jednačine (9) određuju promenu brzine  $V$ , ugla nagiba putanje  $\gamma$  i visine  $h$  u toku izvođenja borbenog zaokreta u zavisnosti od ugla skretanja putanje  $\chi$ , a sa  $n_x$ ,  $n$  i  $\mu$  kao parametrima. Dodata je i četvrta jednačina, koja neposredno sledi iz druge jednačine sistema (8), a koja određuje vreme  $t$  borbenog zaokreta.

Moguća varijanta borbenog zaokreta je zaokret sa  $n_x = 0$ , tj. kada je za sve vreme izvođenja zaokreta propulzivna sila  $T$  jednaka ili gotovo jednaka sili aerodinamičkog otpora  $R_x$ .

Prirast visine  $\Delta h = h_2 - h_1$ , jedna od najvažnijih karakteristika borbenog zaokreta, dobija se iz energetske jednačine, tj. iz jednakosti promena potencijalne i kinetičke energije:

$$\Delta h = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = \frac{V_1^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \quad (10)$$

### Rezultati proračuna

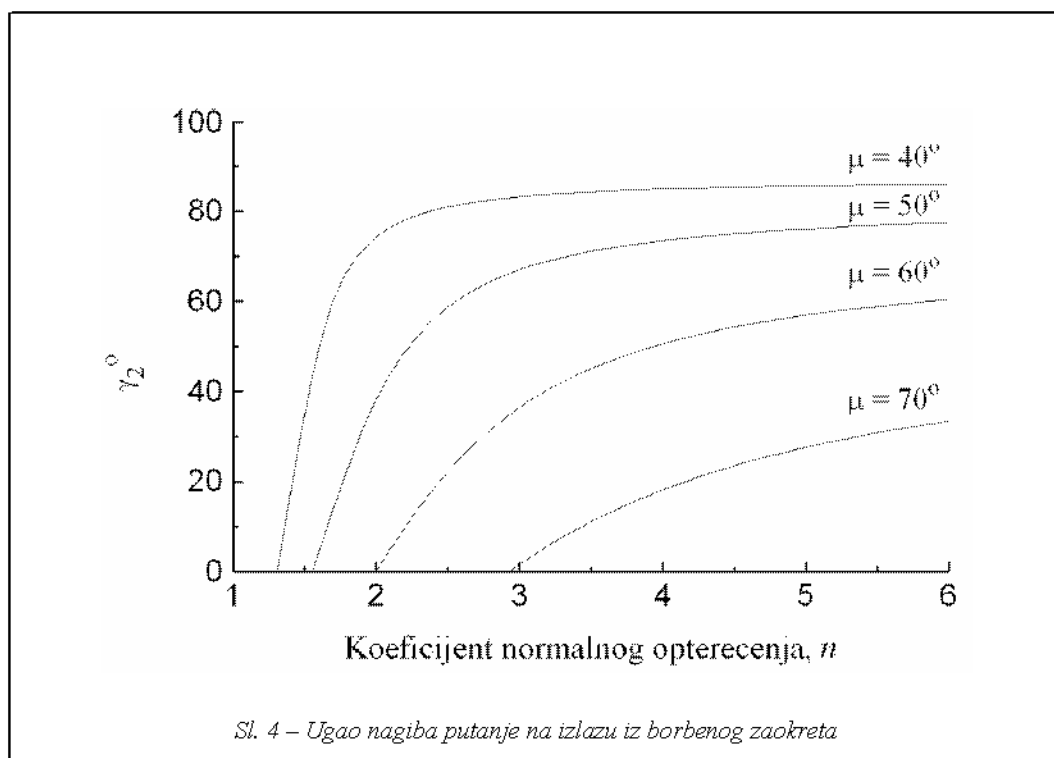
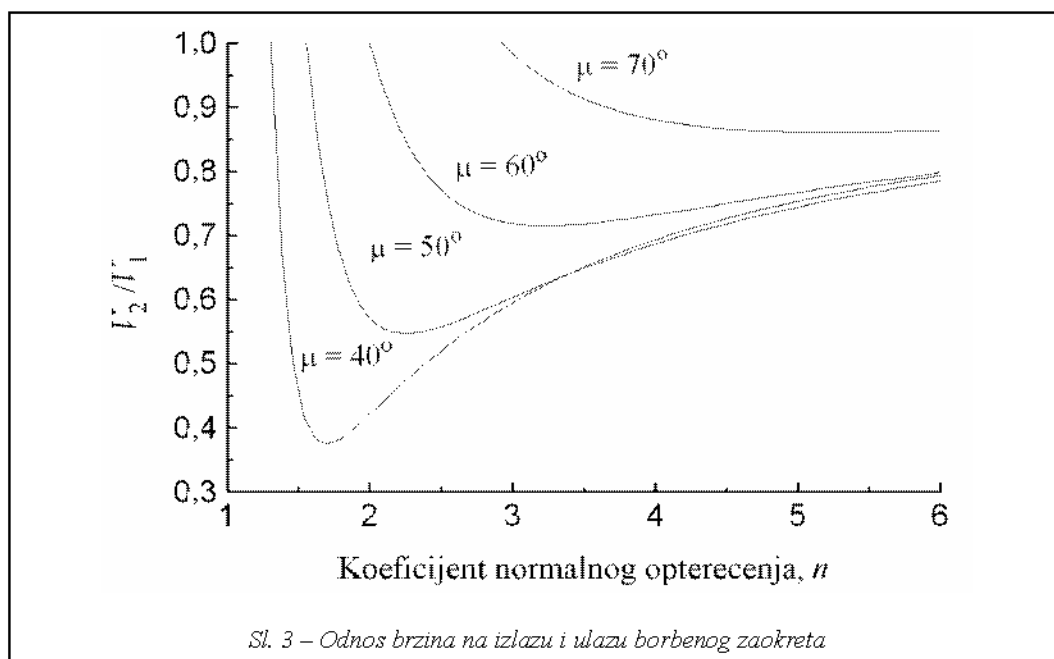
Sistem diferencijalnih jednačina (9) rešen je u MATLAB-u korišćenjem metode Runge-Kutta četvrtog reda za brzinu ulaska u borbeni zaokret  $V_1 = 310$  m/s sa korakom promene ugla skretanja  $\Delta \chi = 0,05$  rad i pri  $n_x = 0$ .

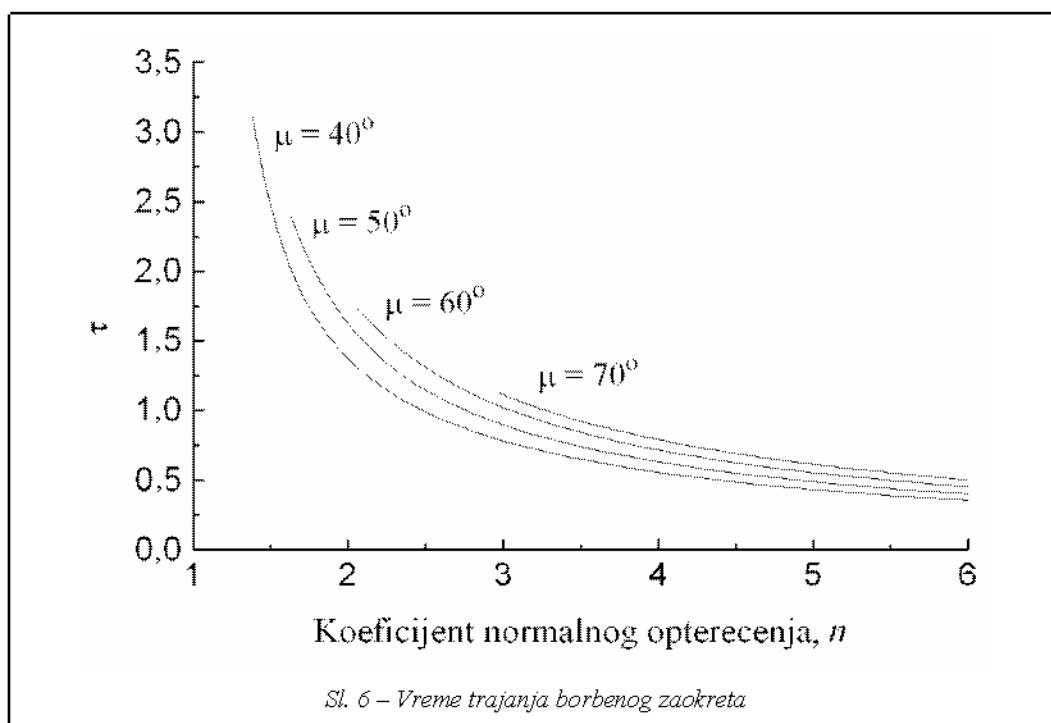
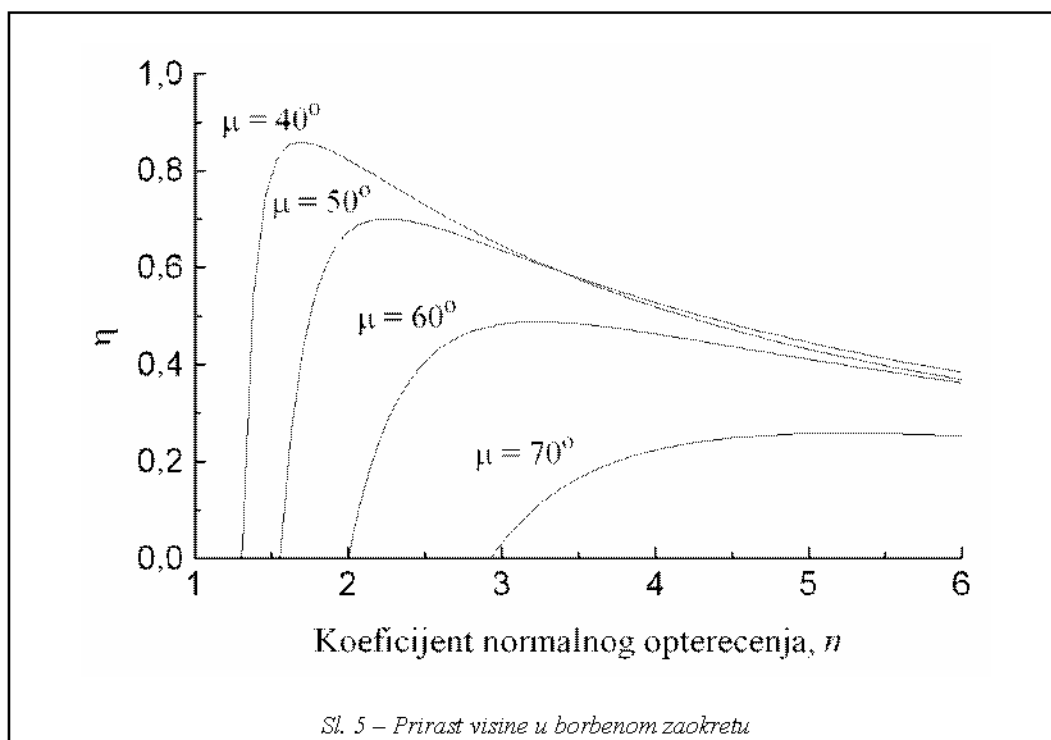
Zavisnost  $V_2/V_1 = f(n)$  prikazana je na sl. 3 za nekoliko vrednosti ugla naginjanja  $\mu$ .

Krive  $\gamma_2 = f(n)$ , ugao nagiba putanje na izlasku iz borbenog zaokreta, prikazane su na sl. 4 za nekoliko vrednosti ugla poprečnog naginjanja  $\mu$ . Presečne tačke ovih krivih sa apscisom odgovaraju pravilnom horizontalnom zaokretu za koji je  $n = 1/\cos \mu$ .

Prirast visine  $\Delta h$  prikazan je na sl. 5 u bezdimenzionalnom obliku  $\eta = \Delta h (2g/V_1^2)$  [4], u zavisnosti od koeficijenta normalnog opterećenja za nekoliko vrednosti ugla poprečnog naginjanja  $\mu$ .

Na sl. 6 prikazan je uticaj koeficijenta normalnog opterećenja  $n$  i ugla naginjanja  $\mu$  na vreme zaokreta u bezdimenzionalnom obliku  $\tau = t \cdot (g/V_1)$  [4].





## Zaključak

U radu su izvedene i analizirane jednačine kretanja aviona u borbenom zao-kretu. Jednačine kretanja rešavane su u polubrzinskom koordinatnom sistemu, iz praktičnih razloga, jer se njegovim korišćenjem najlakše dolazi do karakterističnih parametara borbenog zao-kreta.

Rezultati proračuna pokazuju:

– vreme zao-kreta se smanjuje sa povećanjem koeficijenta normalnog opterećenja i sa smanjenjem ugla nagnjanja. Sa povećanjem koeficijenta tangencijalnog opterećenja povećava se vreme zao-kreta, ali je taj uticaj umeren i sve manji

što je veći koeficijent normalnog opterećenja;

– za prirast visine optimalni uglovi nagnjanja su između 45 i 50° za sve vrednosti koeficijenta normalnog opterećenja. Prirast visine se povećava sa povećanjem koeficijenta  $n_x$ , ali za veće vrednosti koeficijenta normalnog opterećenja uticaj je mali.

## Literatura:

- [1] Rendulić, Z.: Mehanika leta, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
- [2] Nenadović, M.: Stabilnost i upravljivost letelica – prvi deo, SSNO, Beograd, 1981.
- [3] David G. Hull: Fundamentals of Airplane Flight Mechanics, Springer 2007.
- [4] Gajić, D.: Mehanika leta – Neustaljena kretanja aviona, Žarkovo, 1986.

**Dr Danilo Ćuk,**  
dipl. inž., naučni savetnik  
Vojnotehničkog instituta,  
Beograd

## UTICAJ POVEĆANJA DOMETA NA DINAMIČKU STABILNOST ARTILJERIJSKIH RAKETA SA OLUČASTIM KRILIMA

UDC: 623.463.3 : [533.6.013.4 : 629.7.01]

### Rezime:

*U radu su prikazani efekti povećanja dometa artiljerijske rakete sa olučastim krilima na njenu dinamičku stabilnost. Totalni impuls raketnog motora, uvećan za 50% i let rakete kroz slojeve atmosfere sa malom gustinom vazduha povećavaju domet rakete za više od 75% od nominalnog dometa. Međutim, let rakete kroz razređeni vazduh proizvodi teškoće koje se odnose na dinamičku stabilnost. Male promene bočnog momenta indukovano napadnim uglom i Magnusovog momenta mogu proizvesti nestabilnost kretanja i nedozvoljeni rast napadnog ugla. Određene su tolerancije bočnog momenta za osnovnu i poboljšanu varijantu rakete radi sprečavanja nestabilnog leta. Analiziran je, takođe, uticaj povećanja dometa na verovatna odstupanja rakete po dometu i pravcu.*

*Ključne reči: nevođena raketa, putanja, dinamička stabilnost, rasturanje, olučasta krila.*

---

## INFLUENCE OF RANGE EXTENSION ON DYNAMIC STABILITY FOR ARTILLERY ROCKETS WITH WRAP AROUND FINS

### Summary:

*This paper presents the effects of the range extension of an artillery rocket with wrap around fins on its dynamic stability. The increased total impulse of the rocket engine for 50% and flight through the atmosphere layers with low air density extend the range for more than 75% of the nominal range. However, the flight of the unguided rocket through the rarefied air produces difficulties related to the dynamic stability. The small changes in the side moment which is induced by the angle of attack and Magnus moment of the improved rocket can produce instabilities in flight and increase the angle of attack. The tolerances of the side moment were determined for both basic and improved type of the rocket in order to prevent instable flight. The influence of the range extension on the probable errors in range and cross-range was analyzed as well.*

*Key words: unguided rocket, trajectory, dynamic stability, dispersion, wrap around fins.*

---

### Uvod

Jedna od bitnih karakteristika razvoja savremenih višecevnih bacača raketa jeste primena raketa povećanog dometa, uz zadržavanje približno iste konfiguracije, sa mogućnošću lansiranja iz postojećih cevi. U zavisnosti od zahtevanog dometa, maksimalna brzina

na kraju rada raketnog motora postiže se dovoljnim impulsom, uz minimalno povećanje mase rakete. Time dolazi do značajne promene Mahovog broja, koji neposredno utiče na aerodinamičke derivative stabilnosti kretanja, a time i na tačnost i preciznost ispaljenih raketa. Takav pristup u modernizaciji postojećih neupravljivih raketa zahteva analizu

i proveru stabilnosti kretanja i određivanje tolerancija konstrukcionih parametara rakete, koji obezbeđuju dovoljnu stabilnost i minimalno rasturanje. Artiljerijske rakete obično imaju stabilizatore sa olučastim krilima koja su postavljena pod uglom u odnosu na uzdužnu osu, čime se generiše ugaona brzina valjanja radi smanjenja rasturanja zbog masene i aerodinamičke asimetrije konfiguracije i ekscentriciteta reaktivne sile. Pored toga, raketa mora da ima rotaciju neposredno po napuštanju lansirne cevi, što se postiže vođenjem rakete po zavojnom žlebu sa određenim korakom zavojnice. Domen promene ugaone brzine rotacije oko uzdužne ose rakete određen je uslovima koji ne dozvoljavaju da dođe do Magnusove nestabilnosti pri njenoj maksimalnoj vrednosti na kraju rada raketnog motora i rezonance pri njenoj minimalnoj vrednosti kada je najbliža učestanosti nutacionog kretanja [1], [2]. Određivanje tolerancije ugla ugradnje krila veoma je važan zadatak koji treba rešiti kod modifikovane rakete, posebno ako se imaju u vidu aerodinamičke osobine olučastih krila koje se menjaju u zavisnosti od režima leta: subsoničnog ili supersoničnog opstrujavanja.

Većina artiljerijskih raketa koristi olučasta krila zbog pogodnosti smeštaja oko cilindričnog tela pri lansiranju iz cevi. Međutim, aerodinamička konfiguracija rakete ima centralnu simetriju koja se karakteriše pojavom momenta valjanja pri nultim vrednostima napadnog ugla i ugla ugradnje krila. Isto tako, pri napadnom uglu javlja se bočni moment koji je sličan Magnusovom momentu, ali ne za-

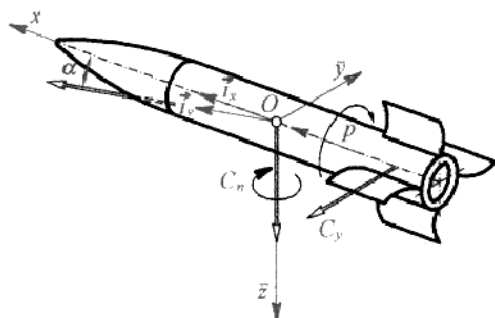
visi od ugaone brzine valjanja. Njegov uticaj na stabilnost kretanja analiziran je u radovima [3] i [4], pri čemu je uzrok nestabilnog i neregularnog leta pripisan bočnom momentu indukovanom napadnim uglom, uz zanemarivanje Magnusovog momenta.

Cilj ovoga rada jeste uporedna analiza stabilnosti kretanja artiljerijskih raketa različitog dometa i ocena tolerancija ugla ugradnje olučastih krila i bočnog momenta, koji će obezbediti zahtevanu tehničku stabilnost ugaonog kretanja. Na kraju, performanse dve varijante rakete (nominalnog i povećanog dometa) biće prikazane preko verovatnih odstupanja po dometu i pravcu za iste ulazne slučajne veličine. Numerička simulacija leta rakete izvršena je na osnovu modela „6 stepeni slobode kretanja“ za neupravljivu raketu [5], [2], pri čemu je vršen simultani proračun svih parametara stabilnosti po metodi iz [1].

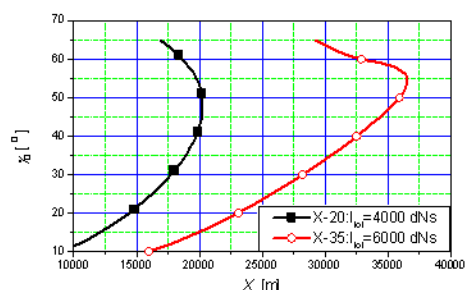
#### **Aerodinamička konfiguracija i osnovne karakteristike leta**

Posmatra se raketa sa olučastim krilima ukupne vitkosti tela  $l/d = 20-25$  (sl. 1). Zavisnost dometa od ugla lansiranja prikazana je na sl. 2. Raketni motor osnovne varijante (X-20) ima totalni impuls od  $\sim 4000$  dNs i obezbeđuje maksimalni domet od  $X = 20,3$  km, pri uglu elevacije  $\gamma_0 = 48^\circ$ . Poboljšana verzija (X-35) ima nešto veću masu (do 5% u odnosu na osnovnu varijantu), a pogonska grupa sa totalnim impulsom od 6000 dNs omogućava postizanje maksimalnog dometa od  $X = 36,5$  km, pri uglu lansiranja  $\gamma_0 = 54^\circ$ .





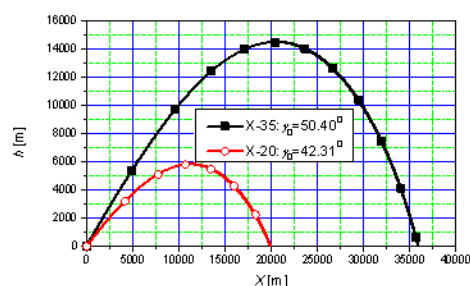
Sl. 1 – Aerodinamička konfiguracija



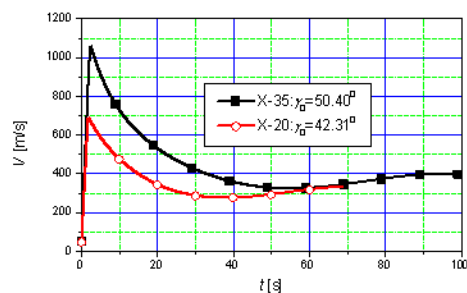
Sl. 2 – Zone lansiranja rakete

Povećanje totalnog impulsa od 50% proširuje zonu lansiranja za više od 75%, što modifikaciju čini privlačnom, uz postizanje stabilnosti i disperzije na zadovoljavajućem nivou. Sa sl. 2 odmah se uočava da je osetljivost maksimalnog dometa na promenu ugla elevacije znatno manji kod osnovne (X-20), nego kod poboljšane varijante (X-35). Zato se može očekivati da će X-35 imati veće rasturanje na cilju od onog koje je srazmerno dometu kod obe varijante. Uporedni prikaz trajektorija, brzina i ugao-nih brzina valjanja, koji približno odgovaraju maksimalnim daljinama gađanja obe varijante dat je na sl. 3, 4 i 5 respektivno. Dijagrami na sl. 3 ukazuju na to da je povećanje dometa od oko 80% rezultat ne samo uvećanog impulsa, već i kretanja rakete X-35 kroz veoma razređene slojeve atmosfere ko-

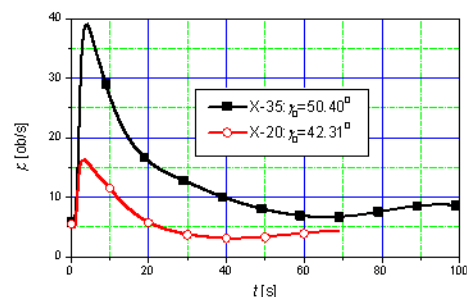
ja utiče na znatno smanjenje otpora. Ovaj efekat praktično se gubi posle  $t = 60$  s (sl. 4). Mahov broj za osnovnu varijantu je manji od 2, dok je za poboljšanu raketu do 3,1. Da bi se ocenio uticaj olučastih krila na stabilnost kretanja, za raketu X-35 treba poznavati aerodinamičke karakteristike u proširenom dijapazonu Mahovih brojeva.



Sl. 3 – Trajektorije rakete



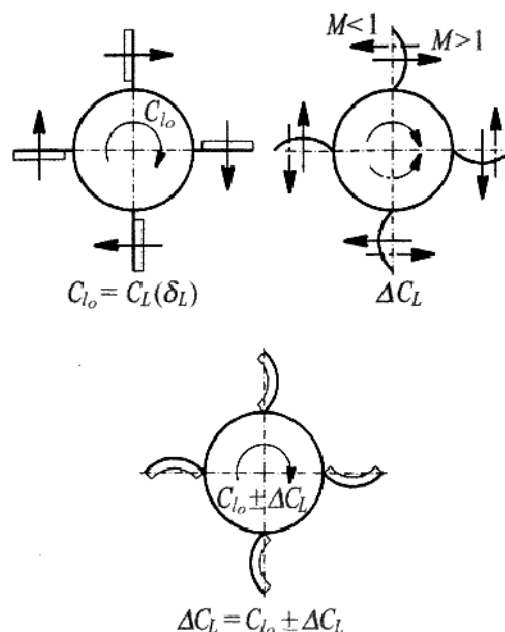
Sl. 4 – Brzina rakete



Sl. 5 – Ugaona brzina valjanja

Ugaona brzina rotacije oko uzdužne ose ima približno istu vrednost od oko 5 obrtaja/s za obe varijante rakete u trenutku napuštanja lansirne cevi, što je posledica istog ugla zavojnice žleba. Osnovna varijanta X-20 dostiže ugaonu brzinu valjanja od 16 obrtaja/s po završetku rada raketnog motora, da bi u toku pasivne faze leta opala na minimalnu vrednost od oko 3 obrtaja/s. Maksimalna vrednost ugaone brzine valjanja za X-35 je nešto manja od 40 obrtaja/s, dok je njena minimalna vrednost oko 6 obrtaja/s. Kod obe varijante minimalna vrednost ugaone brzine valjanja je iznad nutacione učestanosti, tako da ne postoji mogućnost rezonance usled aerodinamičke ili masene asimetrije rakete. Velika vrednost ugaone brzine valjanja rakete u prvih nekoliko sekundi po prestanku rada raketnog motora ukazuje na neophodnost provere dinamičke stabilnosti u zavisnosti od vrednosti Magnusovog momenta i disperzije ugaone brzine valjanja.

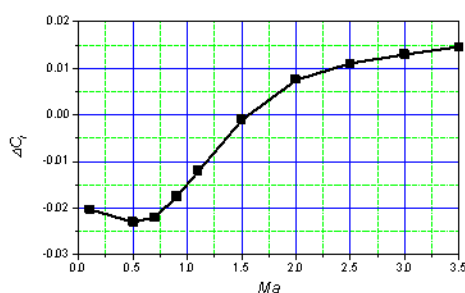
Aerodinamika olučastih krila detaljno je izučavana primenom savremenih numeričkih metoda ili ispitivanjem u aerotunelu pri različitim Mahovim brojevima [6], [7], [8] i [9]. Aerodinamički moment valjanja nastaje usled diferencijalnog otklona konzola stabilizatora u odnosu na uzdužnu osu rakete i asimetrije opstrujavanja koja je izazvana oblikom olučastih krila i javlja se i pri nultim vrednostima napadnog ugla ( $\alpha$ ) i ugla ugradnje krila ( $\delta_L$ ). Šema komponenata koeficijenta momenta valjanja prikazana je na sl. 6.



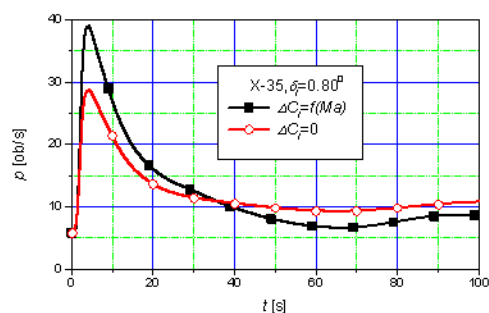
Sl. 6 – Koeficijent momenta valjanja  
M – Mahov broj

Imajući u vidu konačnu debljinu profila olučastih krila, površina konkavne strane biće uvek nešto manja od površine konveksne strane. U nadzvučnoj oblasti pritisak na konkavnoj strani je nešto veći od pritiska neporemećene struje (vazduh je komprimovan), dok je na konveksnoj strani pritisak nešto manji od referentne vrednosti (ekspandovan vazduh). Razlika u pritiscima generiše silu u smeru od konkavne prema konveksnoj strani, odnosno u smeru kretanja kazaljke na časovniku, posmatrano u pravcu leta (sl. 6), tako da se ova komponenta dodaje osnovnoj vrednosti usled diferencijalnog otklona konzola stabilizatora. Suprotno tome, u dozvučnoj oblasti pritisak na konkavnoj strani je manji od pritiska na konveksnoj strani, što rezultira u dodatnu komponentu negativnog znaka, koja smanjuje ukupnu vrednost momenta valjanja. Koeficijent dodatnog mo-

menta valjanja zbog asimetrije olučastih krila prikazan je na sl. 7 [10], a njegov uticaj na ugaonu brzinu valjanja predstavljen je dijagramima na sl. 8. U supersoničnoj oblasti ovaj moment valjanja potpomaže rotaciju, tako da je ugaona brzina valjanja na kraju rada raketnog motora za ~10 obrtaja/s veća u odnosu na vrednost koja bi se dobila kod konfiguracije sa ravnim krilima. U transoničnoj oblasti moment valjanja zbog asimetrije krila menja znak, pa je ugaona brzina valjanja manja za oko 3 obrtaja/s u odnosu na vrednost koja odgovara ravnim krilima. Efekat asimetrije olučastih krila procenjuje se na  $\sim \pm 0,2^\circ$  ekvivalentnog otklona ravnih krila, pri čemu znak vrednosti zavisi od režima opstrujavanja.



Sl. 7 – Moment valjanja zbog asimetrije olučastih krila [10]



Sl. 8 – Uticaj asimetrije olučastih krila na ugaonu brzinu valjanja

Druga specifičnost olučastih krila jeste pojava bočne sile i momenta pri postojanju napadnog ugla i nultoj vrednosti ugaone brzine valjanja. Numerička simulacija strujnog polja i aerodinamička ispitivanja [6], [7], [3] pokazala su da za konfiguraciju na sl. 1 nastaje bočna sila nalevo, posmatrano u pravcu leta i bočni moment koji je usmeren u pozitivnom smeru ose Oz. Obuhvatajući i Magnusov efekat zbog rotacije rakete, ukupni bočni moment može se predstaviti izrazom:

$$N = \frac{1}{2} \rho V^2 S d (C_{n_\alpha} + C_{n_{pm}} \frac{pd}{V}) i_x \times (i_v \times i_x) \quad (1)$$

gde su:

$i_x$  – jedinični vektor uzdužne ose projektila;

$i_v$  – jedinični vektor brzine;

$C_{n_\alpha}$  – derivativ bočnog momenta;

$C_{n_{pm}}$  – derivativ Magnusovog momenta.

Koeficijent bočnog momenta je:

$$C_n = (C_{n_\alpha} + C_{n_{pm}} \frac{pd}{V}) \sin \alpha_T \quad (2)$$

gde je:  $\alpha_T$  – totalni napadni ugao rakete.

U zavisnosti od vitkosti konfiguracije, a na osnovu aerodinamičkih eksperimentalnih i numeričkih rezultata o bočnom momentu [7], [3], procenjuju se vrednosti derivativa bočnog momenta po napadnom uglu:

$$C_{n_\alpha} = -(0,06 - 0,12) C_{m_\alpha} \quad (3)$$

Za aerodinamičku konfiguraciju rakete koja ima vitkost  $l/d = 20-25$  usvoje-

na je sledeća nominalna vrednost za derivativ bočnog momenta:

$$C_{n_a} = -0,06C_{m_a} \quad (4)$$

Na osnovu rezultata aerodinamičkog ispitivanja sličnih konfiguracija [11] procenjuje se aerodinamički derivativ Magnusovog momenta kao:

$$C_{n_{pa}} = -0,06C_{m_q} \quad (5)$$

gde je  $C_{m_q}$  aerodinamički derivativ prigušnog momenta propinjanja.

Vrednosti (4) i (5) mogu se koristiti za preliminarno aerodinamičko projektovanje i ocenu stabilnosti rakete. Definitivne vrednosti ovih aerodinamičkih derivativa moraju se utvrditi preciznim merenjem sila i momenata u aerotunelu, koja će obuhvatiti uticaje svih važnih parametara olučastih krila: ugla ugradnje u odnosu na telo rakete, ugla otvaranja krila, geometrije prednjih i izlaznih ivica krila, veze krila i tela rakete, oblika profila, površine konzole, itd.

### Dinamička stabilnost rakete

Stabilnost ugaonog kretanja raketnog projektila izučava se metodom koja je opisana u radu [1] i predstavlja generalizaciju kriterijuma stabilnosti iz [12]. Za razliku od rada [12] u kojem se određuje stabilnost kompleksnog napadnog ugla, u [1] je izvedena diferencijalna jednačina kompleksne poprečne brzine rakete u aerobalističkom (nerotirajućem) koordinatnom sistemu:

$$\ddot{\zeta} + (H - iP)\dot{\zeta} - (M + iPT)\zeta = iA + iE + G \quad (6)$$

gde su:

$$H = C_{N_a}^* - (C_{m_q}^* + C_{m_a}^*)\bar{r}_y^{-2} \quad (7)$$

$$T = C_{N_a}^* + (C_{n_a}^* / p^* + C_{n_{pa}}^*)\bar{r}_x^{-2} \quad (8)$$

$$M = [(C_{m_a}^* - C_{m_a}^* \frac{V'}{V}) + C_{N_a}^* C_{m_q}^*]\bar{r}_y^{-2} \quad (9)$$

$$A = V(C_{m_0}^* + iC_{n_0}^*)\bar{r}_y^{-2} \quad (10)$$

$$G = -\frac{d}{V}(g_{\bar{y}} + ig_{\bar{z}})[\frac{V'}{V} + (iP + C_{m_q}^* \bar{r}_y^{-2})] \quad (11)$$

$$E = \frac{\tilde{M}^F + i\tilde{N}^F}{mV}\bar{r}_y^{-2} - i[\frac{d}{mV}(F_{\bar{y}} + iF_{\bar{z}})] \quad (12)$$

$$P = \frac{J_x}{J_y} \frac{pd}{V} \quad (13)$$

$$p^* = \frac{pd}{V} \quad (14)$$

$$\bar{r}_x = \sqrt{\frac{J_x}{md^2}} \quad (15)$$

$$\bar{r}_y = \sqrt{\frac{J_y}{md^2}} \quad (16)$$

$$C^* = C \frac{\rho S d}{2m} \quad (17)$$

Veličina  $i$  predstavlja kompleksnu jedinicu  $i = \sqrt{-1}$ . Uvođenjem kompleksne poprečne brzine  $i$  bezdimenzionog puta, kao nezavisnopromenljive veličine, dobija se homogeni deo diferencijalne jednačine čiji su koeficijenti sporopromenljive funkcije bezdimenzionog puta, što omogućava primenu „metode zamrzavanja koeficijenata“ i nalaženje korenova karakteristične jednačine [1]:

$$r_j = \lambda_j \pm \phi_j' \quad (18)$$

$$\lambda_j = -\frac{1}{2} \left[ H \pm \frac{P(2T-H)}{\phi_1' - \phi_2'} \right] \quad (19)$$

$$\phi_j' = \frac{1}{2} [P \pm \sqrt{P^2 - 4M}], j = 1, 2 \quad (20)$$

Tehnička stabilnost poprečne brzine raketnog projektila određena je uslovom:

$$\lambda_j < \lambda \quad (21)$$

gde je  $\lambda$  najveća dopuštena vrednost prigušenja koja određuje maksimalnu vrednost amplitude poprečne brzine na određenom intervalu.

Primenom izraza (18) – (20) određuje se stabilnost poprečne brzine raketnog projektila bez obzira na fazu leta, kako u fazi ubrzavanja, tako i u pasivnoj fazi kad nema reaktivne sile. Na osnovu korenova karakteristične jednačine po poprečnoj brzini mogu se odrediti prigušenja kompleksnog napadnog ugla [1]:

$$\lambda_{ja} = \lambda_j + \lambda_v \quad (22)$$

$$\lambda_v = -\frac{V'}{V} \quad (23)$$

U fazi ubrzavanja  $\lambda_v < 0$ , što znači da tangentno ubrzanje stabilise napadni ugao. U pasivnoj fazi leta, pri usponu rakete, njeno gravitaciono ubrzanje i otpor destabilišu joj ugaono kretanje oko centra mase. Ako definišemo komponente prigušenja napadnog ugla koje zavise od derivativa prigušnog momenta i derivativa Magnusovog i bočnog momenta:

$$\lambda(C_{m_q}) = -\frac{1}{2} H \quad (24)$$

$$\lambda(C_{n_a}) = \frac{1}{2} \frac{P(2T-H)}{\phi_1' - \phi_2'} \quad (25)$$

dobijamo sledeći oblik faktora prigušenja napadnog ugla:

$$\lambda_{ja} = \lambda(C_{m_q}) \pm \lambda(C_{n_a}) + \lambda_v, j = 1, 2 \quad (26)$$

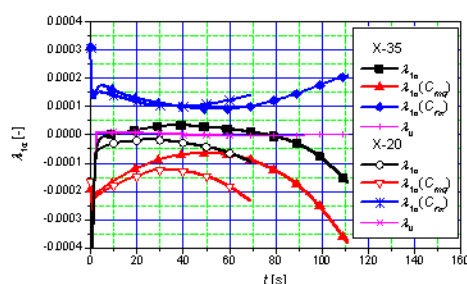
Znak „+“ odnosi se na nutacioni oblik oscilovanja, a znak „-“ na precesioni. Za aerodinamičke podatke koji su dati za konfiguraciju sa olučastim krilima, bočni i Magnusov moment destabilišu nutaciono kretanje, što znači da smanjuju apsolutnu vrednost faktora prigušenja  $\lambda_{1a}$ . Zato je nutaciono kretanje rakete kritično, s obzirom na dinamičku stabilnost, pa će se u narednom odeljku analizirati promena  $\lambda_{1a}$  u zavisnosti od vremena leta rakete.

U radovima [3] i [4] dinamički faktor stabilnosti, koji je definisan u [12], zavisi od ugaone brzine valjanja, zbog čega se granična kriva domena stabilnosti ne dostiže po ordinati, kao u slučaju kada nema bočnog momenta, već po paraboli, kada ugaona brzina valjanja raste. Analiza dinamičke stabilnosti rakete sa olučastim krilima u ovom radu izvršena je na osnovu metode iz [1], jer je dovoljno opšta da je primenjiva na proizvoljni segment putanje.

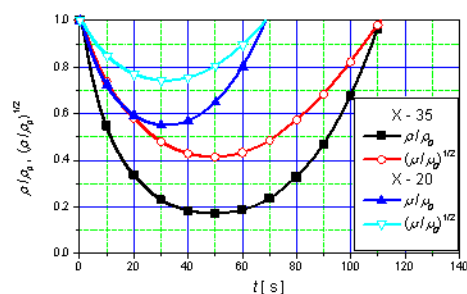
### Analiza rezultata numeričke simulacije leta i dinamičke stabilnosti rakete

U obe varijante rakete, X-20 i X-35, ugaona brzina valjanja je izvan oblasti rezonance, uprkos negativnom efektu momenta valjanja od asimetrije olučastih krila, koji u transonečnoj oblasti menja znak i usporava rotaciju rakete oko uzdužne ose do minimalne vrednosti (sl. 8).

Uporedni prikaz faktora prigušenja nutacionog oblika oscilovanja sa pojedinim komponentama iz izraza (26) dat je na sl. 9. Konfiguracija rakete X-35 je dinamički nestabilna u intervalu od 20 do 80 s, što je posledica delovanja Magnusovog (5) i bočnog momenta (4).



Sl. 9 – Prigušenje nutacionog kretanja



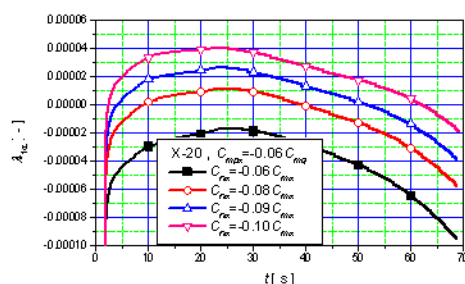
Sl. 10 – Promena gustine vazduha

Analizom pojedinih komponenata u faktoru prigušenja (26), koje su predstavljene dijagramima na sl. 9, pokazuje se da je član  $\lambda_{1\alpha}(C_{mq})$  srazmeran gustini vazduha  $\rho$ , a član  $\lambda_{1\alpha}(C_{n\alpha})$  srazmeran kvadratnom korenu gustine vazduha  $\sqrt{\rho}$ . Zbog toga prvi član u faktoru prigušenja,  $\lambda_{1\alpha}(C_{mq})$ , ima karakter

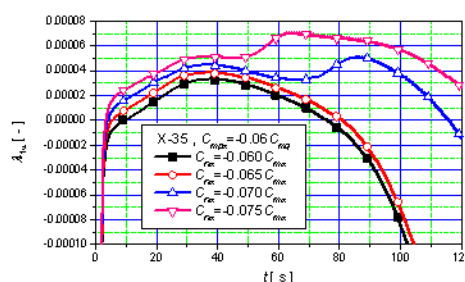
promene  $\rho/\rho_0$ , a drugi član odgovara funkciji  $\sqrt{\rho/\rho_0}$ . Ove funkcije prikazane su na sl. 10, pri čemu  $\rho_0$  predstavlja gustinu vazduha u početnom trenutku. Pošto  $\lambda_{1\alpha}(C_{mq})$  brže opada po apsolutnoj vrednosti od  $\lambda_{1\alpha}(C_{n\alpha})$ , u jednom trenutku ( $t \sim 20$  s) bočni i Magnusov moment postaju dominantni nad prigušnim momentom i nutaciono kretanje varijante X-35 postaje nestabilno u intervalu  $t \in (20, 80)$ . Povratkom rakete u gušće slojeve atmosfere ( $t > 80$  s) član  $\lambda_{1\alpha}(C_{mq})$  postaje dominantan nad  $\lambda_{1\alpha}(C_{n\alpha})$  i ugaono kretanje rakete se vraća u stabilan režim (sl. 9). Za razliku od poboljšane varijante X-35, kod koje je pad gustine vazduha u temenu putanje veći od 80% (sl. 10), kod osnovne varijante X-20 ovaj pad gustine iznosi 45% od početne vrednosti, zbog čega se ne javlja dinamička nestabilnost. Dakle, povoljna okolnost kretanja rakete kroz razređene slojeve atmosfere, koja obezbeđuje znatno povećanje dometa, praćena je mogućnošću pojave dinamičke nestabilnosti. Zato je u slučaju varijante X-35 veoma važno proceniti tačne vrednosti bočnog i Magnusovog momenta, odnosno izvršiti korekcije aerodinamičke konfiguracije radi smanjenja ovih aerodinamičkih poremećaja.

Uticaj promene bočnog momenta pri konstantnom Magnusovom momentu na faktor prigušenja  $\lambda_{1\alpha}$  prikazan je na sl. 11 za osnovnu varijantu X-20, a na sl. 12 za poboljšanu varijantu. Numeričkom simulacijom leta rakete pomoću modela „6 stepeni slobode kretanja“ dobijeni su di-

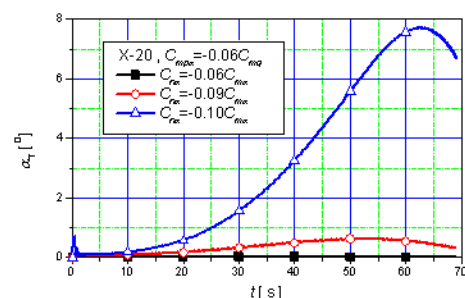
jagrami rezultujućeg napadnog ugla, sl. 13 i sl. 14, koji su u potpunosti konzistentni sa teorijom dinamičke stabilnosti i dijagramima na sl. 11 i sl. 12.



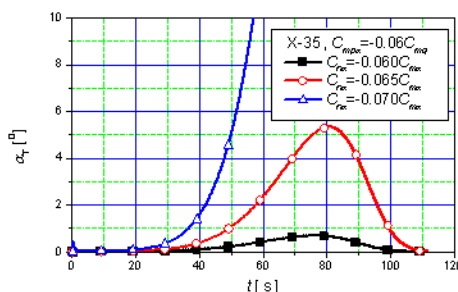
Sl. 11 – Uticaj bočnog momenta na prigušenje nutacionog kretanja za X-20



Sl. 12 – Uticaj bočnog momenta na prigušenje nutacionog kretanja za X-35

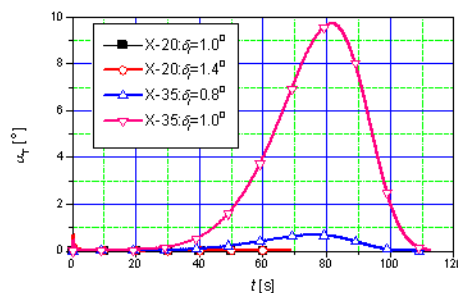


Sl. 13 – Uticaj bočnog momenta na napadni ugao za X-20



Sl. 14 – Uticaj bočnog momenta na napadni ugao za X-35

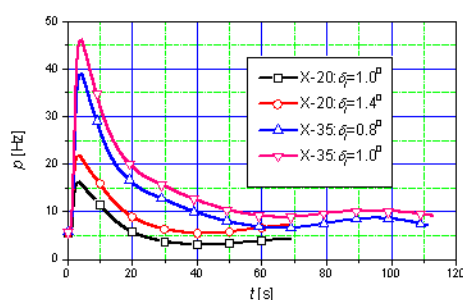
Male promene u bočnom momentu mogu dovesti do dinamičke nestabilnosti varijante X-35 i velikih vrednosti napadnog ugla. Bez obzira na to što u nekim slučajevima raketa može da savlada ovu promenu napadnog ugla i da se vrati u stabilan režim leta, radi smanjenja disperzije rakete geometrijske karakteristike olučastih krila treba optimizirati tako da generišu minimalni bočni moment. Suprotno tome, raketa X-20 je dovoljno robustna na veće promene bočnog momenta, tako da ne dolazi do velikog porasta napadnog ugla.



Sl. 15 – Uticaj ugla ugradnje krila na napadni ugao

Efekat promene ugla ugradnje olučastih krila na napadni ugao i ugaonu brzinu valjanja predstavljen je dijagramima na sl. 15 i 16, respektivno. Promena ugla

ugradnje krila od  $0,2^\circ$  može da izazove dinamičku nestabilnost i neželjeni porast napadnog ugla kod X-35 (sl. 15). Suprotno tome, kod varijante X-20 promena ugla ugradnje od  $0,4^\circ$  nema nikakvog uticaja na promenu napadnog ugla.



Sl. 16 – Uticaj ugla ugradnje krila na ugaonu brzinu valjanja

### Disperzija rakete na cilju

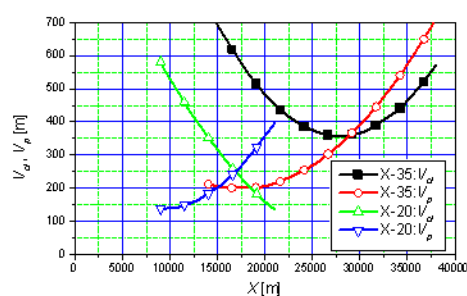
Primenom matematičkog modela „6 stepeni slobode kretanja“ i metode Monte Karlo izvršena je ocena statističkih parametara padnih tačaka obe varijante rakete u mirnoj atmosferi za parametre čije su statističke karakteristike prikazane u tabeli. Uticaj oruđa obuhvaćen je samo preko početnih poremećaja napadnog ugla  $\alpha_0$  i ugla klizanja  $\beta_0$ , kao i komponenta ugao- ne brzine projektila  $p_0, q_0, r_0$ . Sve veličine u tabeli, sem mase, imaju normalni zakon raspodele sa datom standardnom devijacijom  $\sigma_i$ . Disperzija početne mase podleže uniformnoj raspodeli sa intervalom  $\Delta m$ . Položaj ravni odstupanja sile potiska ( $\varepsilon_F$ ) i male aerodinamičke asimetrije ( $\alpha_n$ ) takođe podležu uniformnoj raspodeli sa intervalom  $(0, 2\pi)$ . Za svaki zadati domet određeni su uglovi lansiranja, pa je izvršen proračun 31 putanje. Nakon statističke obrade dobijena su verovatna odstupanja po

dometu ( $V_d$ ) i pravcu ( $V_p$ ), za obe varijante rakete (sl. 17). U slučaju varijante X-20 verovatno odstupanje po pravcu monotono raste, a verovatno odstupanje po dometu monotono opada sa daljinom cilja. Elipsa rasturanja, sa dužom osom u pravcu gađanja, pri manjim daljinama gađanja prelazi u elipsu rasturanja sa dužom osom upravno na pravac gađanja na maksimalnim dometima rakete. Varijanta rakete X-35 odstupa od ove teorijske zavisnosti slike rasturanja od daljine cilja i verovatno odstupanje po dometu  $V_d$  raste, kao i  $V_p$ , za domete  $X > 28$  km. Veće vrednosti verovatnog odstupanja po dometu kod varijante X-35 posledica je veće osetljivosti dinamičke stabilnosti na promenu slučajnih konstrukcionih parametara, pre svega ugla ugradnje krila stabilizatora ( $\delta$ ), kako je to pokazano na sl. 15 i sl. 16.

Tabela

Statistika ulaznih veličina

| Veličina        | $\sigma_i$   | Veličina            | $\sigma_i$   |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------|
| F               | 1%           | $\alpha_0, \beta_0$ | $0,1^\circ$  |
| $\varepsilon_F$ | 2 mrad       | $p_0$               | 1 rad/s      |
| $\delta_1$      | $0,07^\circ$ | $q_0, r_0$          | 0,1 rad/s    |
| $\Delta m$      | 0,200 kg     | $\alpha_n$          | $0,05^\circ$ |



Sl. 17 – Verovatna odstupanja rakete



## Zaključak

U radu su istaknute aerodinamičke specifičnosti artiljerijske rakete sa olučastim krilima, a zatim je analiziran njihov uticaj na dinamičku stabilnost rakete u funkciji povećanja dometa. Povećanje totalnog impulsa raketnog motora i let rakete kroz razređene slojeve atmosfere omogućili su znatno povećanje dometa. Međutim, smanjena gustina vazduha (i do 80% u temenu putanje rakete X-35) povećava osetljivost dinamičke stabilnosti na promenu bočnog i Magnusovog momenta ili na ugao ugradnje krila stabilizatora. Bez obzira na to što raketa u nekim slučajevima može da savlada porast napadnog ugla, ovu pojavu treba sprečiti da bi se ograničila verovatna odstupanja rakete po dometu i pravcu. Zbog toga, tolerancija ugla ugradnje krila poboljšane varijante X-35 treba da bude znatno manja u poređenju sa istim parametrom osnovne varijante X-20.

Na osnovu empirijskih vrednosti bočnog momenta izvršena je analiza dinamičke stabilnosti rakete i pokazano je pri kojim vrednostima aerodinamičkog derivativa ovog momenta dolazi do neželjenog rasta napadnog ugla, što rezultira velikim otporom i povećanim rasturanjem rakete. Numeričkom simulacijom leta rakete pomoću modela „6 stepeni slobode kretanja“ i proračunom dinamičke stabilnosti rakete dobijeni su konzistentni rezultati koji objašnjavaju uzroke nestabilnog leta rakete X-35 i veliku robustnost osnovne varijante X-20 na disperziju konstrukcionih parametara. Ukazano je na potrebu preciznog merenja bočnog i Magnusovog momenta radi optimizacije olučastih krila minimizacijom

odnosa bočnog momenta i momenta u ravni rezultujućeg napadnog ugla.

## Spisak oznaka

A – koeficijent u (6)

$C_{N_\alpha}$  – derivativ normalne sile po napadnom uglu,  $C_{N_\alpha} = \partial C_N / \partial \alpha$

$C_{m_\alpha}$  – derivativ momenta propinjanja po napadnom uglu,  $C_{m_\alpha} = \partial C_m / \partial \alpha$

$C_{m_q}$ ,  $C_{m_\alpha}$  – derivativi prigušnog momenta

$C_{m_0}$ ,  $C_{n_0}$  – aerodinamički koeficijenti momenta pri nultom napadnom uglu

$C_n$  – aerodinamički koeficijent bočnog momenta

$C_{n_\alpha}$  – derivativ bočnog momenta po napadnom uglu

$C_{n_{pa}}$  – derivativ Magnusovog momenta

$\Delta C_l$  – koeficijent momenta valjanja od asimetrije olučastih krila

d – referentna dužina rakete, m

E – koeficijent u (6)

F – potisak [N]

$F_y$ ,  $F_z$  – projekcije potiska na ose aerobalističkog koordinatnog sistema, N

$g_y$ ,  $g_z$  – projekcije gravitacionog ubrzanja na ose aerobalističkog sistema,  $m/s^2$

H – koeficijent u (6)

$J_x$ ,  $J_y$  – uzdužni i poprečni moment inercije rakete,  $kgm^2$

M – koeficijent u (6)

m – masa projektila, kg

N – bočni moment, N

$\tilde{M}^F$ ,  $\tilde{N}^F$  – projekcije reaktivnog momenta na ose aerobalističkog sistema, Nm

P – koeficijent u (6)

$p^*$  – bezdimenziona ugaona brzina valjanja,  $p^* = pd/V$

$p, \tilde{q}, \tilde{r}$  – projekcije ugaone brzine projektila u aerobalističkom sistemu, rad/s

$(r_j, j = 1, 2)$  – koreni karakteristične jednačine za kompleksnu poprečnu brzinu

$\bar{r}_x, \bar{r}_y$  – bezdimenzioni poluprečnici inercije rakete

$S$  – referentna površina,  $m^2$

$s^*$  – bezdimenzioni put,  $s^* = s/d$

$T$  – koeficijent u (6)

$t$  – vreme, s

$V$  – brzina projektila, m/s

$V_d$  – verovatno odstupanje po dometu, m

$V_p$  – verovatno odstupanje po pravcu, m

$X$  – domet rakete, m, km

$\alpha, \tilde{\alpha}$  – napadni ugao u dinamičkom i aerobalističkom sistemu, rad,<sup>0</sup>

$\alpha_n$  – ugao aerodinamičke nesimetrije rakete, rad,<sup>0</sup>

$\beta, \tilde{\beta}$  – ugao klizanja u dinamičkom i aerobalističkom sistemu, rad,<sup>0</sup>

$\alpha_T$  – rezultujući napadni ugao, rad,<sup>0</sup>

$\gamma$  – ugao nagiba putanje, rad,<sup>0</sup>

$\delta_l$  – ugao ugradnje krila stabilizatora, rad,<sup>0</sup>

$\varepsilon_F$  – ekscentricitet reaktivne sile, mrad

$(\lambda_j, j = 1, 2)$  – prigušenje nutacije i precesije po poprečnoj brzini

$(\lambda_{j\alpha}, j = 1, 2)$  – prigušenje nutacije i precesije po napadnom uglu

$\lambda(C_{mq})$  – prigušenje definisano sa (24)

$\lambda(C_{n\alpha})$  – prigušenje definisano sa (25)

$\lambda_V$  – prigušenje definisano sa (23)

$\lambda$  – dozvoljena vrednost prigušenja

$\rho$  – gustina vazduha,  $kg/m^3$

$(\phi'_j, j = 1, 2)$  – bezdimenziona učestanost nutacije i precesije

$\tilde{\zeta}$  – kompleksna poprečna brzina, m/s

$\sigma_i$  – standardna devijacija i-te veličine

$()'$  – izvod po bezdimenzionom putu  $s^*$

$\sim$  – aerobalistički koordinatni sistem  $Ox\tilde{y}\tilde{z}$

0 – početna vrednost neke veličine

$(C)^* = C \times \frac{\rho S d}{2m}$

$\times$  – vektorski proizvod

#### Literatura:

- [1] Ćuk, D.; Ćurčin, M.: Stabilnost nekih parametara kretanja neupravljivih raketnih projektila, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXVII, 1987, br. 8.
- [2] Janković, S.; Ćuk, D.: Mehanika leta projektila, Predavanja iz mehanike leta projektila na Mašinskom fakultetu u Beogradu i Tehničkoj vojnoj akademiji u Zagrebu, 1988.
- [3] Morote, J., Liano G.: Stability Analysis and Flight Trials of a Clipped Wrap Around Fin Configuration, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference and Exhibit, 16–19 August 2004, Providence, Rhode Island.
- [4] Morote, J., Liano G.: Roll Rate Stability Limits of Unguided Rockets with Wrap Around Fins, 43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit, 10–13 January 2005, Reno, Nevada.
- [5] Ćuk, D.: Program UNCPTC6D – Program za proračun kretanja neupravljivog projektila primenom modela „6 stepeni slobode kretanja“ i simultano određivanje dinamičke stabilnosti, Beograd, 2007.
- [6] Abate, G. L.; Winchenbach G.: Analysis of Wrap Around Fin and Alternative Deployable Fin Systems for Missiles, Meetings on „Subsystem Integration for Tactical Missiles (SITM) and Design and Operation of Unmanned Air Vehicles (DOUAV)“, Ankara, 9–12 October 1995.
- [7] Berner, C.; Abate, G.; Dupuis, A.: Aerodynamics of Wrap Around Fins using Experimental and Computational Techniques, Symposium on „Missile Aerodynamics“, Sorrento, Italy 11–14 May 1998.
- [8] Tilmann, C. P.; McIntyre, T. C.: Aerodynamics of Wrap Around Fins at High Supersonic Speeds, Symposium on „Missile Aerodynamics“, Sorrento, Italy 11–14 May 1998.
- [9] Swenson, M. W.; Abate, G. L.; White R. H.: Aerodynamic Test and Analysis of Wrap Around Fins at Supersonic Mach Numbers Utilizing Design of Experiments, 28<sup>th</sup> Aerospace Science Meeting&Exhibit, Reno, Nevada 10–13 January 1994.
- [10] Mandić, S.: Analysis of the Rolling Moment Coefficient of the Rocket with Wrap Around Fins, Scientific-Technical Review, Vol. LVI, No. 2, 2006.
- [11] Nicolaides, J. D.; Ingram, C. W.; Tarkowski, D. D.: Nonlinear Aerodynamic Characteristics of Sounding Rockets, J. Spacecraft, Vol. 8, No. 11, 1971.
- [12] Murphy, C. H.: Symmetric Missile Dynamic Instabilities, J. Guidance and Control, Vol. 4, No. 5, pp. 464–471, 1981.

**Mr Srđan Mitrović,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

**dr Marinko Aleksić,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
MTRZ „Sava Kovačević“,  
Tivat

**mr Zoran Đorđević,**  
potpukovnik, dipl. inž.  
Ministarstvo odbrane Crne Gore,  
Podgorica

## MODIFIKACIJA RAČUNARSKOG DELA BRODSKOG PROTIVPODMORNIČKOG SISTEMA

UDC: 629.5.017.3 : 623.46] : 004.031.43

### Rezime:

U radu je prikazana modifikacija analognog broorskog sistema za izvršenje protivpodmorničkog napada. S obzirom na to da su analogne računarske komponente sistema zastarele, a da se većina senzora i izvršnih sklopova može zadržati, modifikacija analognog protivpodmorničkog računara je i primarni cilj rada. Prikazan je postupak analize i projektovanja novog sistema, kao i rešavanje ključnih problema sa posebnim osvrtom na rad sistema u realnom vremenu. Rezultati istraživanja i testiranje funkcija sistema detaljno su analizirani. Postavljeni primarni ciljevi: povećanje efikasnosti, jednostavnije rukovanje i integracija funkcija – uspešno su ostvareni.

*Ključne reči:* sistem za rad u realnom vremenu, modifikacija, sistem za upravljanje vatrom, testiranje sistema, analogni sistem.

---

## DETERMINING COMPUTER PART OF SHIP'S ANTISUBMARINE SYSTEM MODIFICATION

### Summary:

Paper presents modification of analog ship's antisubmarine system. In regard to fact that analog computer's components are obsolete, and most of the sensors and actuators can be kept, modification of the analog computer is the primary goal of this paper. System analyses and design procedures and key problem solving are given, with special observation to real-time system functions. Research results and test of system functions are presented and analyzed in detail. Primary goals: increased efficiency, simplified handling and function integration are successfully realized.

*Key words:* real-time system, modification, weapon control system, system testing, analog system.

---

### Uvod

Modernizacija postojećih zastarelih sistema kao alternativa nabavci novih sistema je svetski trend u mnogim oružanim snagama u svim vidovima. Najčešći razlog je nemogućnost ili neisplativost nabavke novog sistema. Ugrađeni broski protivpodmornički (PPd) sistem pripada starijoj generaciji i pruža dobre osnove za modernizaciju, jer su mnoge komponente

sistema još uvek funkcionalne i u dobrom stanju. Sistem se sastoji od senzora (sonar), konzole za praćenje podvodne situacije, protivpodmorničkog analognog računara i lansera dubinskih raketnih bombi. Senzor i izvršni deo sistema (lanser) jesu komponente koje se zadržavaju, zbog svojih specifičnosti i još uvek dobrog stanja, dok su analogna računarska i upravljačka komponenta zastarele i odabrane za primarni predmet modernizacije.

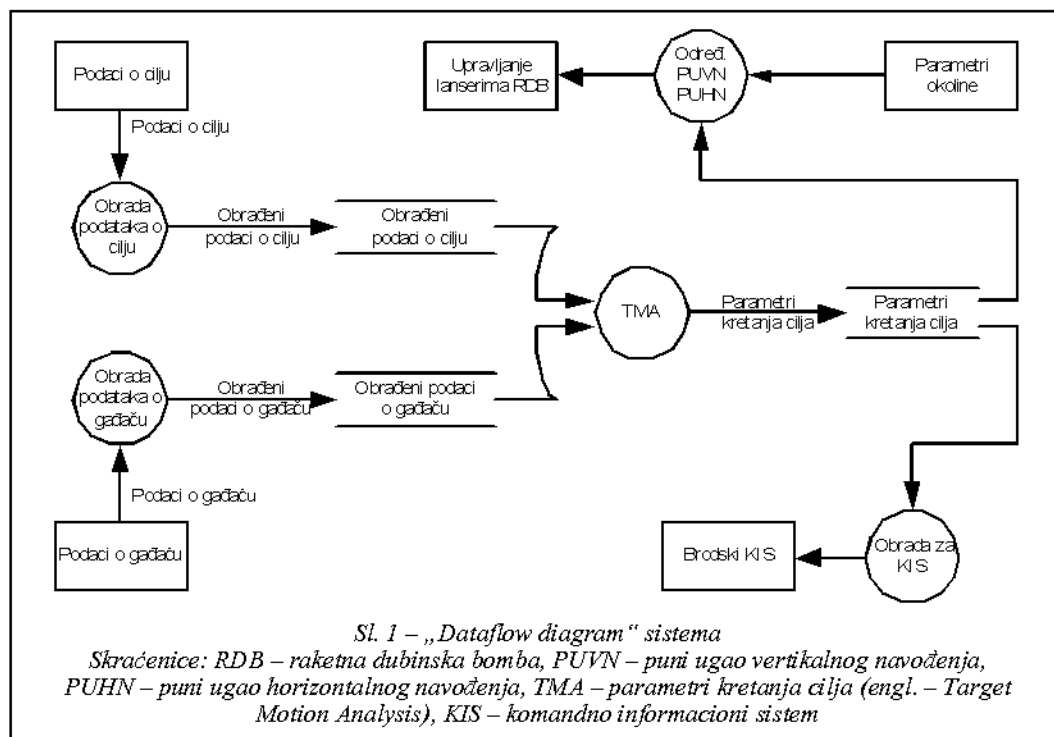
Cilj modernizacije je kraće vreme odziva sistema, tj. povećanje efikasnosti, integracija funkcija, povećana pouzdanost u radu, jednostavnije rukovanje, vremensko skraćanje obuke operatera koji je ranije posluživao analogni računar, smanjenje broja operatera, mogućnost povezivanja sa drugim sistemima novije generacije, olakšana rekonstrukcija i analiza prethodnih situacija (na starom sistemu podaci se snimaju metodom bušenja papira), olakšano i jeftinije održavanje.

Modifikacija se ne bi izvela nad celim sistemom već samo na pojedinim podsistemima, bilo njihovim modifikovanjem, bilo zamenom. U ovom radu akcenat je dat na opisu modifikacije i zamene računarskog dela sistema proverenom komercijalnom tehnologijom (engl. – commercial off-the-shelf), koja se široko primenjuje u praksi. Time se smanjuju troškovi razvoja sistema,

pošto se preskače finansiranje faza ispitivanja i razvoja u životnom ciklusu sistema [1]. Softver i hardver opšte dostupne PC tehnologije je veoma napredovao u smislu kvaliteta i jednostavnosti rada, uz korišćenje različitih grafičkih interfejsa. Sistemi su otvoreni za nadogradnju, što znatno smanjuje kompletnu cenu informatičke tehnologije i zavisnost od određenog isporučioća.

### Analiza i projektovanje

Stari sistem koristi analogni računar, koji rešava strogo namenske zadatke, sa ograničenom tačnošću, ali u realnom vremenu. Moguće je pratiti jedan cilj, a parametri za njegovo gađanje uvode se u lanser raketnih dubinskih bombi (RDB). Vreme pouzdanog rada sistema je ograničeno, sa značajnim opadanjem tačnosti pri produženom radu. Da bi borbeni sistem



mogao funkcionisati i izvan ovog vremenskog ograničenja, ugrađena je mogućnost ručnog uvođenja parametara gađanja.

Ostale karakteristike starog sistema su: veća potrošnja energije, veliki gabariti, zastarelost sklopova i komponenti, što predstavlja problem za njihovo održavanje i nabavku rezervnih delova [1].

Zamena analognog računara računom na bazi personalnog računara je, u stvari, osnovna ideja ovog projekta, a svi ostali zadaci proizilaze iz njega.

Na sl. 1 prikazan je dijagram toka podataka najopštijeg nivoa računarskog dela sistema, bez specifikacija za korisnički grafički interfejs. Može se zaključiti da je sistem veoma kompleksan i spregnut sa različitim sensorima. Da bi modernizovani sistem zadovoljio potrebe napada na podmornicu potrebno je rešiti ključne probleme [3]. To su: sprega sa analognim sistemima; interfejs čoveka sa sistemom; sinhronizacija elemenata sistema; rad sistema u realnom vremenu.

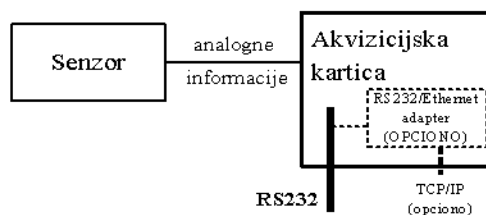
#### *Sprega sa analognim sistemima*

Za uspešno određivanje parametara gađanja potrebno je u sistem uvesti parametre o vlastitom brodu, cilju i okolini. Na osnovu izračunatih parametara gađanja upravlja se lanserima raketnih dubinskih bombi. Odluka da se zadrže analogne komponente: deo elektromehanike uvođenja parametara u lansere; ugaoni davači (selsini i rezolveri), brodski senzori (sonar, brzinomer, žirokompas...) i strujni krug paljbe, nameće potrebu rešavanja problema njihove sprege sa računarskim delom sistema. U tu svrhu koriste se paleta akvizicijskih i upravljačkih integrisanih kartica koje su korišćene u

modifikacijama drugih mornaričkih borbenih sistema [4]. Analogne naponske veličine sa senzora (sonar, brzinomer, žirokompas) i ugaonih davača (selsini ili rezolveri) u elektromehaničkom bloku za unošenje parametara gađanja se, uz pomoć akvizicijskih kartica, konvertuju u digitalne vrednosti, na osnovu kojih algoritam implementiran u mikrokontroleru kartice izračunava konkretnu brojnu vrednost očitane veličine. Na sl. 2 prikazana je blok-šema akvizicije podataka sa senzora čije su izlazne informacije analogne veličine.

Upravljačka kartica sadrži digitalni regulator (realizovan na mikrokontroleru kartice) i drajver za jednosmerni motor ili motor naizmenične struje.

Pomenute kartice imaju mogućnosti serijske RS-232, TCP/IP i I<sup>2</sup>C komunikacije sa ostatkom sistema. U zavisnosti od toga kome se prosleđuje informacija, bira se odgovarajući komunikacioni protokol. Na taj način obezbeđuju se svi neophodni ulazni podaci za modifikovani sistem.



Sl. 2 – Akvizicija podataka sa senzora

#### *Interfejs čovek – sistem*

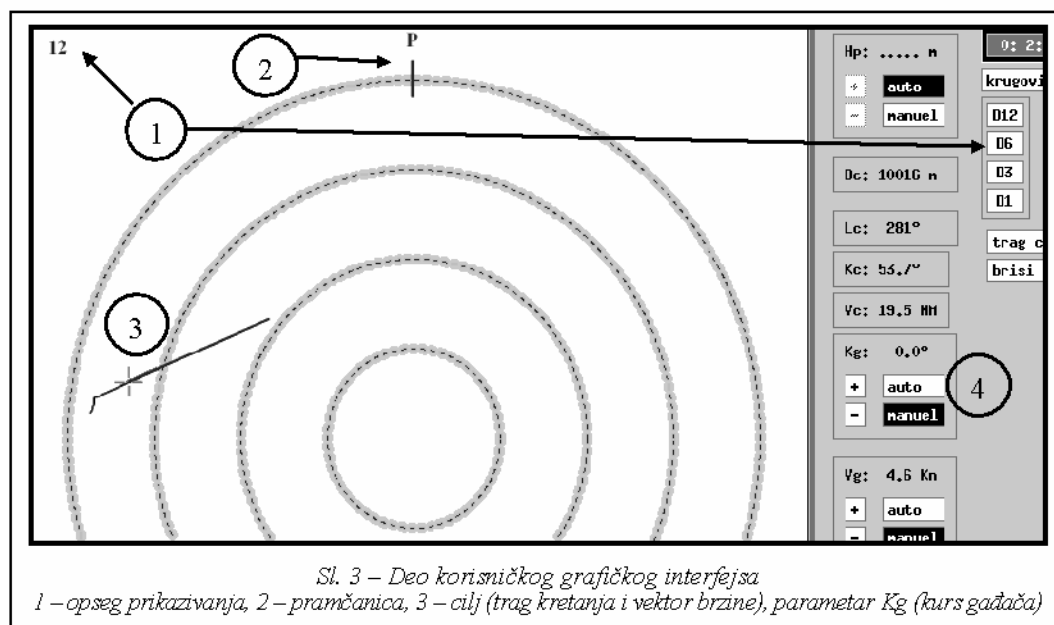
Kao osnovna radna stanica odabrana je konzola zasnovana na komercijalnim personalnim računarima, nazvana PPD (protivpodmornička) konzola. Za opera-

tivni sistem je, prema zahtevu, odabran Linux sa X-Windowsom kao korisničkim grafičkim interfejsom, jer je besplatan i omogućava izvršavanje programske aplikacije sa velikog broja različitih platformi u mreži (Micro Vax, IBM RISC System 6000, Sun Sparc, Cray) [5], pa i sa MS-Windows platformi (uz instaliran XServer), a i veliki broj alata i kompajlera za program C/C++ je besplatan. Grafički interfejs realizovan je Xt stilom (predefinisane Xlib biblioteke), a korišćeni su Xaw (Athena Widget Set) widgeti. U kodu su definisani samo neophodni parametri widgeta, a ostali (dimenzije, boje, pozicija, font ...) definisani su uz pomoć alata Editres i smešteni u datoteku tipa XResource. Na ovaj način omogućene su izmene izgleda grafičkog interfejsa bez ikakve izmene koda.

Projektovanje interfejsa *čovek-sistem* izvršeno je nakon studiozne analize potreba korisnika. Sistem je projektovan tako da bude maksimalno jednostavan i

komforan za rad. Uzeti su u obzir svi elementi postupka za izvršenje napada na podmornicu. Grafički prikaz taktičke situacije umnogome je sličan prikazu analogne konzole starog sistema, a poseduje i dodatne mogućnosti koje se jednostavno koriste. Podaci o kretanju broda i uočenom cilju kontinuirano se uvode u sistem. Izračunavanje svih podataka za izvršenje gađanja se maksimalno automatizuje. Ispaljivanje raketnih dubinskih bombi iz sistema nije omogućeno, već se ta funkcija i dalje vrši preko strujnih krugova paljbe. Na sl. 3 prikazan je deo korisničkog grafičkog interfejsa. Broj operacija koje se mogu izvršavati preko ovog interfejsa je relativno mali i dozvoljava da se sve njegove funkcije nalaze u jednom prozoru.

Glavni prozor sastoji se od dve celine. Jedna služi za prikaz položaja cilja u odnosu na brod, a drugi deo za nadgledanje situacije i, po potrebi, za ručno unošenje pojedinih parametara.



Rešavanje problema računanja pozicije u svakom trenutku i izvođenje protivpodmorničkog napada spadaju u domen problema koji se rešavaju u realnom vremenu. Brodski senzor kojim se osmatraju podvodni ciljevi je aktivan uređaj – sonar. On emituje akustičnu energiju u prostor, a na osnovu dela energije reflektovane od cilja dobije se odraz cilja na konzoli. Smer i daljina do cilja su podaci određeni sa tačnošću koja omogućava dovoljno precizno određivanje parametara kretanja cilja.

Parametri kretanja cilja su: brzina cilja, kurs cilja, dubina cilja i pozicija.

Na osnovu podataka koje nam obezbeđuju senzori sistema (daljina do cilja, smer na cilj, kurs i brzina vlastitog broda), rešavanjem ne tako komplikovanih jednačina, kao rezultat se dobija kurs i brzina cilja. Mora se uvek voditi računa o tome da sonar određuje pravu daljinu do cilja (poznatu još i kao „kosa daljina“) i da je za izračunavanje horizontalne daljine do cilja neophodan podatak o dubini cilja, koji se ne može matematički izračunati, niti odrediti pomoću sonara ugrađenog na brod. Dubina cilja se procenjuje kao taktički parametar; unapred se manuelno postavlja i može se menjati tokom izvođenja napada. Posledice velike greške u proceni dubine cilja jesu neprecizno određeni ostali parametri kretanja cilja, što dovodi do skoro sigurnog promašaja. Dakle, modernizacijom se neće izgubiti uloga komandira sistema, čije će procene i dalje biti od suštinske važnosti za uspešnost napada.

Parametri gađanja su, u stvari, i osnovni izlazni podaci računarskog dela sistema, a to su puni uglovi vertikalnog i horizontalnog navođenja. Puni ugao vertikalnog navođenja (PUVN) jeste ugao između vodene linije i smera ispaljenja raketne bombe u vertikalnoj ravni, a puni ugao horizontalnog navođenja (PUHN) – ugao između smera severa i smera ispaljenja raketne bombe u horizontalnoj ravni.

Da bi se ovi uglovi izračunali, potrebno je odrediti tačku susreta raketne bombe i vodene površine iznad cilja. Protivpodmornički projektil je raketna dubinska bomba. Projektil do cilja putuje kroz dva različita medija – vazduh i vodu. Za proračun uglova navođenja značajna je samo putanja projektila kroz vazduh, jer kroz vodu projektil putuje pod približno pravim uglom u odnosu na površinu, pogonjen raketnim motorom, do programirane dubine ili direktnog susreta sa ciljem, gde eksplodira. Za deo putanje cilja kroz vodu za proračun je potreban samo podatak o vremenu tonjenja raketne bombe do cilja.

Za određivanje tačke susreta neophodno je poznavati parametre kretanja cilja, kretanja vlastitog broda, parametre raketne dubinske bombe, kao i atmosferske prilike (vetar, temperaturu i pritisak vazduha). Kada su poznate koordinate tačke susreta moguće je odrediti i uglove navođenja lansera, ali samo u onom koordinatnom sistemu u kojem je rešavan problem susreta – u koordinatnom sistemu stabilizovanog broda. Lanseri se moraju navoditi po uglovima koji se određuju u odnosu na palubu broda koji se valja. Zbog toga se stabilizovani uglovi navođenja preračunavaju u pune uglove na-

vođenja sa uračunatim valjanjem broda. Tako dobijene vrednosti PUHN-a i PUVN-a prenose se u sistem upravljanja lanserima, koji ih zakreće u horizontalnoj i vertikalnoj ravni prema elementima iz računara.

Uglovi horizontalnog i vertikalnog navođenja lansera mogu se odrediti na dva načina: očitavanjem iz *lookup* tabele gađanja ili proračunom odgovarajućim formulama. Zbog tajnosti, tabele ili formule se ugrađuju u sistem tek pošto se odobri njegova ugradnja na objekat, pa su u radu analizirani samo parametri neophodni za izračunavanje parametara gađanja.

Sa stanovišta rada sistema u realnom vremenu, matematički problem koji se rešava zahteva ograničen broj jednostavnih jednačina čije je vreme rešavanja konstantno, jer ne sadrže petlje. Za dobijanje korektnog rešenja najvažnije je obezbediti vremensku relevantnost svih ulaznih podataka, što znači da svi ulazni podaci za jednačine moraju da se odnose na isto početno vreme [6]. Ulazne veličine se generalno mogu podeliti na tri grupe (sl. 1): parametre cilja, parametre broda i parametre okoline.

Parametri okoline su u odnosu na ostale dve grupe sporo promenljivi, te ih nije potrebno korigovati za vreme proteklo od njihovog poslednjeg unosa do trenutka u kojem se vrši proračun. Sa sadašnjim brodskim senzorima ovi parametri mogu se uneti jedino ručno, pa je interval njihovog ažuriranja veliki.

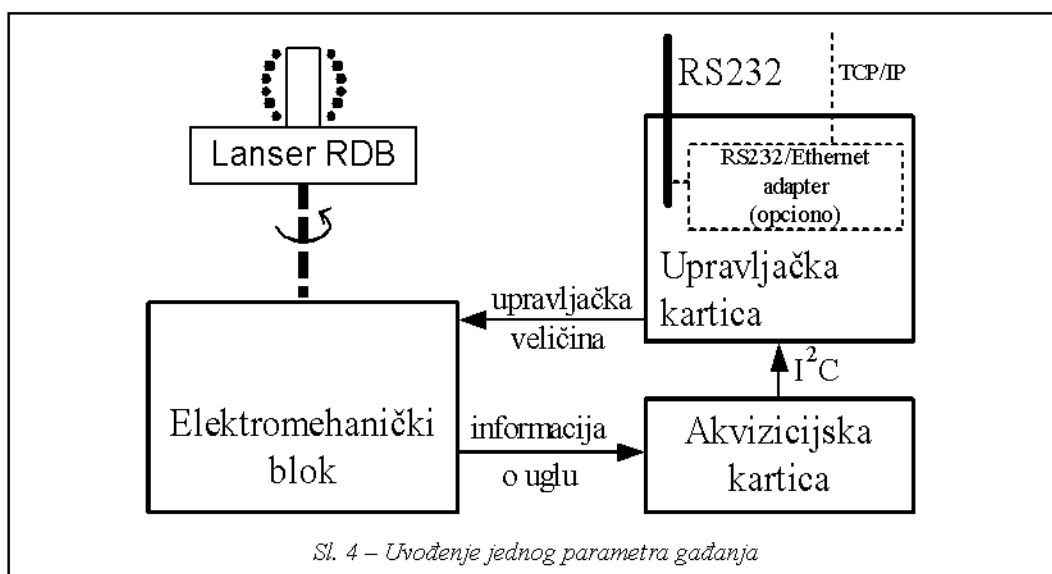
Parametri cilja i parametri vlastitog broda sastoje se od grupe veličina (vektor brzine i položaj u prostoru), čija se vremenska relevantnost u okviru grupe postiže dvostrukim baferovanjem [6], s obzirom na to da dolaze u „istom“ trenutku, ali sa različitim interfejsa. Za proračun tačke susreta potrebno je i parametre vlastitog broda i para-

metre cilja preračunati na vrednosti koje se odnose na trenutak ispaljenja raketne bombe, što znači da se u proračun uvodi vreme proteklo od poslednjeg ažuriranja do trenutka ispaljenja. Zbog spore dinamike kretanja broda gađača i cilja, vreme od trenutka proračuna do ispaljenja može se i zanemariti, što znači da je trenutak završetka proračuna istovremeno i trenutak ispaljenja. Da ovo zanemarivanje ne bi dovelo do greške, očigledno je da se lanseri u trenutku proračuna već moraju nalaziti u zadatom položaju. Parametri navođenja lansera iz računarskog dela kontinuirano se dovode do uređaja za upravljanje lanserima, kao što se i proračun tačke susreta vrši neprekidno. Očigledno je da se lansiranje raketnih bombi može izvršiti tek pošto se i vertikalni i horizontalni ugao lansera poklopi sa zadatim uglovima. Vreme potrebno za dovođenje lansera u položaj za ispaljivanje od trenutka uključenja uređaja za upravljanje lanserima zavisi od položaja cilja u odnosu na brod, i reda je nekoliko sekundi, nakon čega lanseri neprekidno „prate“ cilj na osnovu podataka prišpelih iz PPD računara.

#### *Upravljanje lanserima dubinskih bombi*

Odlika ovog sistema jeste da se akvizicija podataka sa senzora i zakoni automatskog upravljanja servo sistemima lansera realizuju lokalno na nivou mikrokontrolera. Na sl. 4 prikazana je blok-šema uvođenja jednog parametra gađanja. Elektromehanički blok sastoji se od jednosmernog motora ili motora naizmenične struje, analognog davača ugla (selsin ili rezolver), što određuje tip akvizicijske i upravljačke kartice. Komunikacija između kartica odvija se po I<sup>2</sup>C protokolu. Računari konzola sa upravljačkim i akvizicijskim karticama komuniciraju





po RS-233 protokolu (sa mogućnošću nadogradnje na TCP/IP). Lokalna realizacija zakona upravljanja i akvizicije podataka rasterećuje saobraćaj ka PPd računar i povećava robustnost sistema. Zadavanje naređenih veličina, proveru njihovog odrađivanja i obnavljanje podataka sa senzora, PPd računar vrši puno dužom i ne tako fiksnom periodom.

### Implementacija i verifikacija

Matematička složenost zadatka koji sistem rešava nije velika, ali broj ulaznih veličina i njihova priroda, interfejsi prema različitim analognim sklopovima i veliki značaj zadatka koji se rešava, čine ga kompleksnim. Zbog toga je softver implementiran i testiran postepeno i modularno, sa završnim testiranjem svih funkcija sistema.

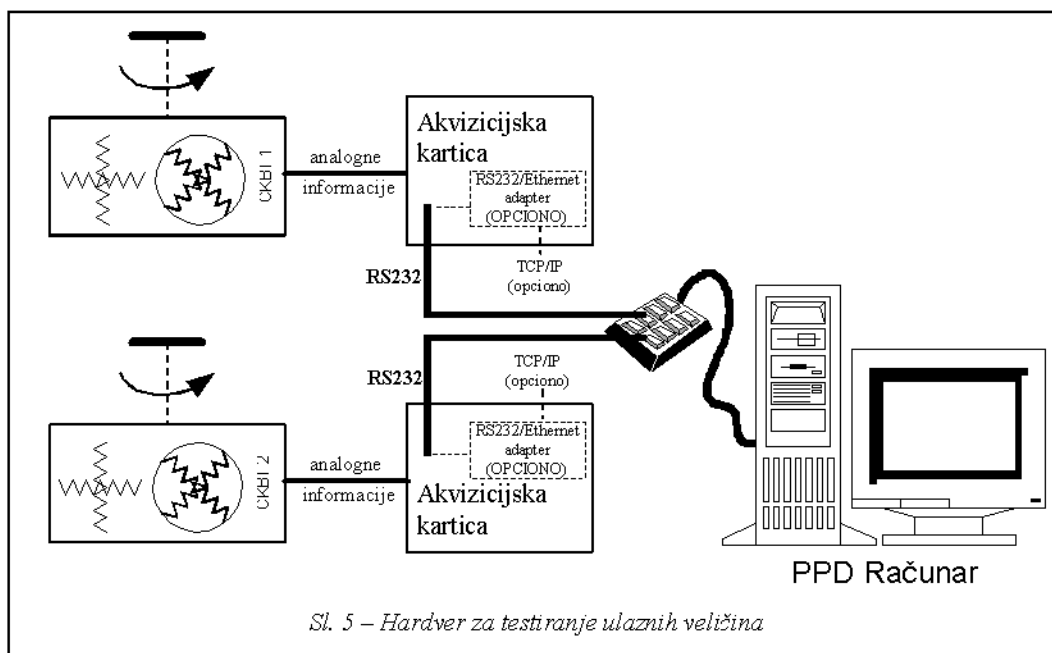
### Hardver za testiranje

Prvi složeniji zadatak koji je rešavan jeste komunikacija sa akvizicijskom karticom i prikaz očitane veličine. Testi-

ranje ove funkcije vršeno je prema sl. 5, ali se akvizicija nije obavljala sa senzora, već sa selsina koji se zakreće ručno. Tačnost očitavanja isključivo zavisi od akvizicijske kartice (greška je u granicama tolerancije), što znači da se za PPd softver proveravala samo komunikacija i korektnost prikazivanja podatka.

Sledeća implementirana i testirana funkcija bila je prikazivanje cilja i pripadajućih mu podataka na grafičkom interfejsu. Pošto su za prikazivanje cilja istovremeno potrebna dva podatka (daljina i ugao na cilj), bilo je neophodno modifikovati hardver kao na sl. 5. Korišćena su dva rezolvera (SKVT) i dve akvizicijske kartice, jedan par za daljinu do cilja, a drugi za ugao na cilj. Na taj način uspešno je testirano prikazivanje oznake cilja, vektora brzine i traga kretanja za nepokretan i pokretan cilj i/ili brod gađač i različite opsege prikazivanja (krugovi daljine).

Pomoću opisanog hardvera uspešno je testiran unos i prikaz ostalih ulaznih veličina u sistem.



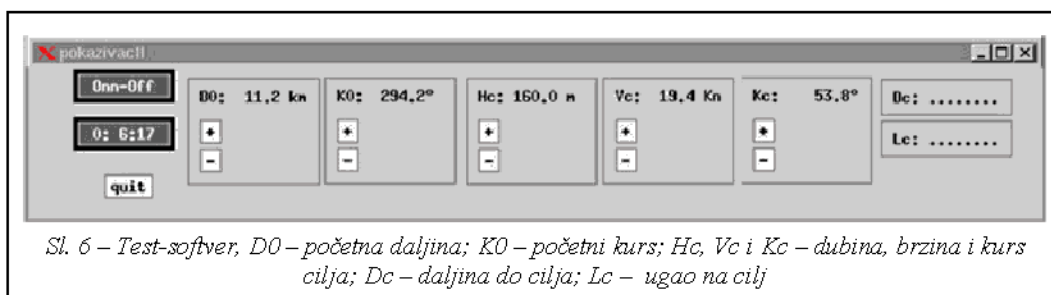
Pored znatnih prednosti testiranja PPd softvera uz pomoć ovog hardvera, ističe se jedan veliki nedostatak. Iako je rečeno da je softver testiran i za cilj i brod gađač u pokretu, korektnije bi bilo reći da se odnosi samo na brod gađač. Naime, stvarni cilj vozi brzinom i u kursu koji su nepoznati i sporo promenljivi, rezolverima koji se ručno okreću simulira se daljina i ugao na njega, te je operateru na test-hardveru nemoguće da ručno sinhronizuje rezolvere i korektno simulira cilj koji se kreće. Čak i vrlo lagano okretanje rezolvera, kao rezultat daje nagle promene kursa i brzine cilja u PPd softveru. Kretanje vlastitog broda i prikaz numeričkih i grafičkih podataka (linija pramca) uspešno su testirani ovim hardverom za brod sa nultom brzinom, a pošto je moguće iz PPd softvera ručno unositi podatke o vlastitom brodu, brod u pokretu simuliran je samim PPd softverom.

Određivanje parametara kretanja cilja i parametara za gađanje (PUVN i PUHN) uspešno je testirano samo za cilj sa nultom brzinom i za brod gađač u pokretu. Rezultate dobijene za cilj koji se kreće nije moguće verifikovati zbog nepoznatih i jako oscilujućih parametara kretanja, čiji je uzrok ranije opisan.

#### *Softver za testiranje*

Pošto test-hardver ne omogućava kompletno testiranje funkcija PPd softvera, kao rešenje nameće se projektovanje softverskog test-modula. Korisnički grafički interfejs ovog modula prikazan je na sl. 6.

On-Off dugme služi za uspostavljanje, prekid i nastavak komunikacije sa PPd softverom. U sledećem bloku prikazuje se vreme proteklo od inicijalizacije komunikacije. K0 i D0 određuju početnu poziciju cilja u odnosu na brod (ugao i daljina). U



Hc bloku postavlja se dubina podmornice (cilja), Vc je brzina cilja, a Kc njegov kurs. Daljina do cilja je Dc, a Lc ugao na cilj i to su podaci koji se šalju PPd softveru. PPd i test-softer komuniciraju preko virtuelnog porta (socket), koji se nakon inicijalizacije i uspostavljene komunikacije koristi kao i bilo koji drugi port (npr. RS-232).

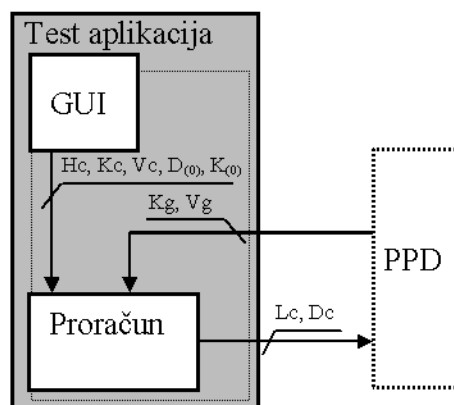
Komunikacija je dvosmerna (sl. 7). PPd softer prema test-aplikaciji šalje podatke o vlastitom brodu ( $K_g$ ,  $V_g$ ). Na osnovu ovih podataka i zadatih parametara kretanja cilja ( $H_c$ ,  $K_c$ ,  $V_c$ ,  $D_0$ ,  $K_0$ ) test-softer izračunava daljinu i ugao na cilj ( $D_c$ ,  $L_c$ ) i šalje ih PPd softveru. Na ovaj način simuliraju se podaci o realnom cilju koje bi PPd softer primao sa sonara. Test-aplikacija nam sada omogu-

ćava potpuno testiranje PPd softvera, kako funkcionalnosti njegovog grafičkog interfejsa, tako i korektnosti proračuna. Uz startovanje ovih aplikacija sa displeja različitih računara i uvođenje ograničenja brzine cilja i gađača moguće je izvesti i manje „ratne igre“, što znači da bi se test-aplikacija uz ili bez izmena mogla koristiti za trenazu operatera.

Jedan od dopunskih zahteva jeste snimanje u datoteku svih relevantnih podataka o kretanju broda gađača i cilja. Rešenje ovog zahteva moguće je iskoristiti radi testiranja PPd softvera. Za to je potrebno da se, osim podataka o cilju i gađaču koje PPd softer upisuje u datoteku, omogući i test-aplikaciji da upisuje zadate podatke o cilju. Pošto PPd softer ovu datoteku kreira iznova za svako pokretanje softvera sa drugim nazivom (IME\_VremeStarta.dat), upisuje se u kurir datoteku za upoznavanje test-aplikacije sa validnim nazivom. Analizom ovih podataka moguće je utvrditi da li je greška određivanja parametara kretanja cilja u dozvoljenim granicama.

#### *Analiza procene parametara kretanja cilja*

Za analizu greške korišćeni su podaci iz test-aplikacije u različitim režimima plovljenja cilja i broda gađača. Maksimalne dozvoljene greške su 1 čvor (za brzinu)



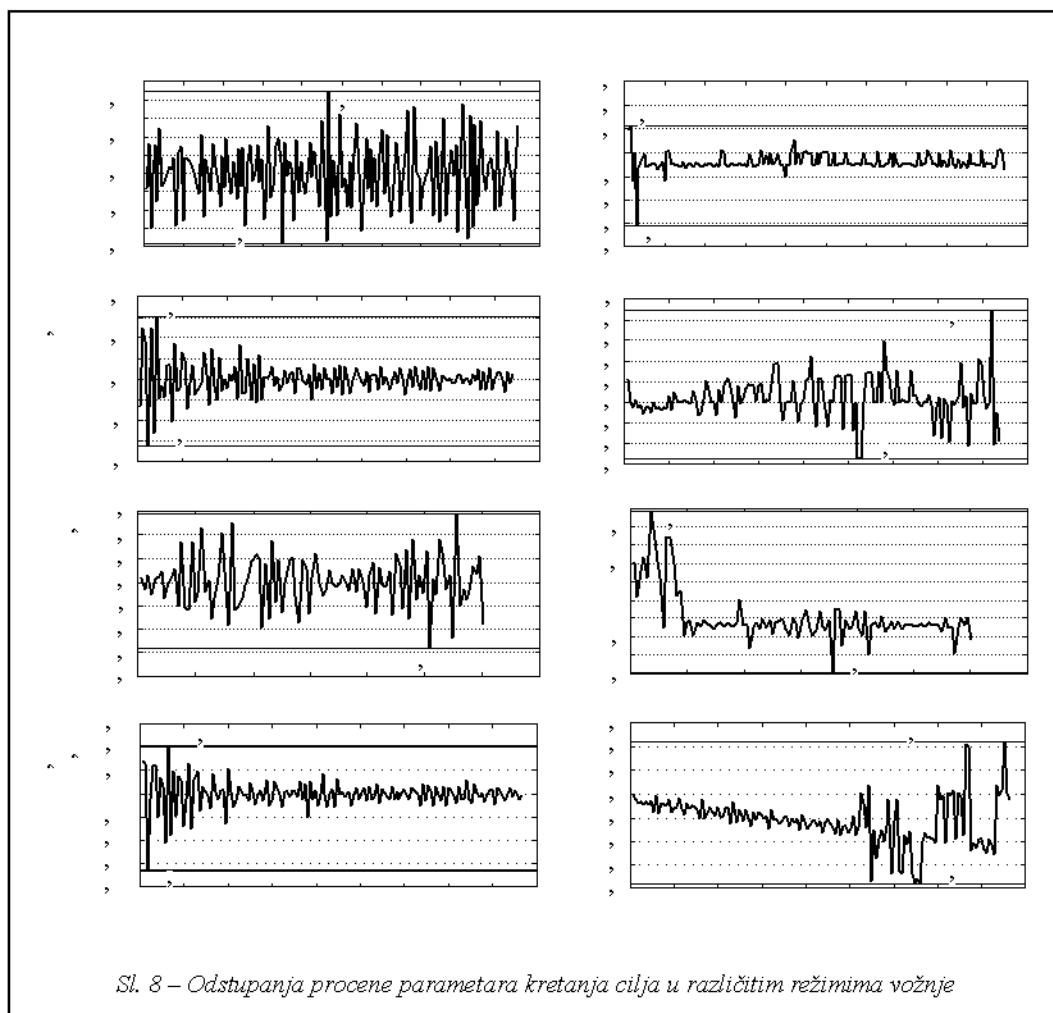
Sl. 7 – Ulazi i izlazi test-aplikacije, GUI – grafički korisnički interfej;  $H_c$ ,  $K_c$  i  $V_c$  – dubina, kurs i brzina cilja;  $D_0$  – početna daljina;  $K_0$  – početni kurs;  $K_g$ ,  $V_g$  – kurs i brzina gađača;  $D_c$  – daljina do cilja;  $L_c$  – ugao na cilj

i  $1^\circ$  (za kurs). Analizom snimljenih podataka moguće je ustanoviti vrednost greške u simuliranim režimima plovljenja. Za analizu su odabrani karakteristični očekivani uslovi rada sistema u realnom okruženju, pokriveni su svi kursevi i brzine cilja i gađača, u ograničenom broju kombinacija. Pošto su za proračun značajni podaci o relativnim parametrima kretanja i položaju cilja (u odnosu na brod), a radi jednostavnijeg opisa scenarija, u daljim analizama razmatrano je samo relativno kretanje cilja. Takođe, pretpostavljeno je

da se cilj kreće na konstantnoj dubini, koja je ispravno procenjena. Dobijeni rezultati prikazani su na sl. 8.

Prvi red na slici prikazuje rezultate kada se cilj kreće konstantnom brzinom i ne menja kurs. To je i najčešća situacija pri gađanju ukoliko gađač prvi uoči cilj.

Drugi red predstavlja scenario kada je kurs cilja konstantan, a brzina se menja po zakonu:  $V_{c(kT)} = V_{c(kT-T)} + 0,2 \text{ KN}$ , gde je  $kT$  trenutak poslednje potvrde cilja, a  $(kT-T)$  trenutak preposlednje potvrde, gde  $T$  predstavlja interval između



dve potvrde na cilj. Ovaj scenario približno odgovara izvlačenju (bežanju) cilja iz opasne zone.

Treći red na sl. 8 prikazuje odstupanje procene parametara, kada cilj vozi konstantnom brzinom, a kurs se menja po zakonu  $Kc_{(kT)} = Kc_{(kT-T)} + 3,2^\circ$ . To je scenario izbegavanja i dovođenje cilja u bezbednu zonu za eventualni protivnapad (sa suprotne strane broda gađača).

Poslednji scenario na sl. 8 ne odgovara realnim taktičkim situacijama, ali prouzrokuje permanentne i velike promene parametara kretanja cilja, te je samo zbog toga i razmatran.

#### *Analiza procene parametara kretanja cilja*

*Rezultati testiranja*

| Sc.   | $\Delta Kc [^\circ]$ |        |                     | $\Delta Vc [KN]$ |        |                     |
|-------|----------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|
|       | maks.                | min.   | maks. $ \Delta Kc $ | maks.            | min.   | maks. $ \Delta Vc $ |
| 1.    | 0,225                | -0,192 | <b>0,225</b>        | 0,226            | -0,620 | <b>0,620</b>        |
| 2.    | 0,605                | -0,644 | <b>0,644</b>        | 0,443            | -0,275 | <b>0,443</b>        |
| 3.    | 0,286                | -0,287 | <b>0,287</b>        | 0,243            | -0,197 | <b>0,243</b>        |
| 4.    | 0,400                | -0,670 | <b>0,670</b>        | 0,221            | -0,381 | <b>0,381</b>        |
| maks. |                      |        | <b>0,670</b>        | maks.            |        | <b>0,620</b>        |

U tabeli su prikazana maksimalna odstupanja procene parametara kretanja cilja dobijenih pomoću test-aplikacije za četiri prethodna scenarija. Najvažniji zaključak koji sledi jeste da maksimalna greška procene parametara kretanja cilja nikad ne prelazi dozvoljenu grešku. Opisanim načinom testiranja PPd softvera može se samo konstatovati da su rezultati proračuna u okviru zadatih specifikacija [6], ali se ne može tvrditi da oni nikad neće premašiti te granice. Zbog toga,

iako je ovo testiranje u dosadašnjem veku PPd softvera bilo najkompleksnije, nikako ne treba zapostaviti i testiranja izvršena pomoću test-hardvera. Uzimajući u obzir celokupne rezultate provere od pojedinačnih modula do integralnog softvera, budući da se ni jednom nije manifestovao otkaz ili nedozvoljena greška procene, može se konstatovati da PPd softver ispunjava neophodne kriterijume.

S obzirom na način testiranja pomoću test-aplikacije, moglo se pretpostaviti da će greške procene biti mnogostruko manje (iako se to ne zahteva). Korišćeni operativni sistem Linux nije specijalizovan za rad u realnom vremenu, a pošto je ovo sistem namenjen za rad u realnom vremenu i rezultati proračuna direktno zavise od merenja vremena, sve greške vezane za tačnost merenja intervala između dve naznake na cilj direktno se manifestuju u grešku procene parametara kretanja cilja. Vremenski interval u svim scenarijima testiranja se kretao između 2 i 3 s, a to pri maksimalnim brzinama cilja odgovara pomeraju od 15 m između dva intervala potvrde kontakta, što je 3 do 7 puta manje od dimenzija samog cilja. Ako se uzme u obzir da se potvrda kontakta daje ručno, greška merenja vremena je čak i poželjna u svrhu testiranja. U realnim situacijama najmanji interval potvrde kontakta je reda 5 s, iz čega se zaključuje da greška procene ne bi bila veća od grešaka iz tabele. Na osnovu toga moguće je zaključiti da nema potrebe za reimplementacijom softvera pod neki drugi operativni sistem namenjen za rad u realnom vremenu, jer i ova implementacija u potpunosti zadovoljava postavljene zahteve.

## Zaključak

Životni ciklus opisanog PPd sistema nije završen. Zbog poteškoća, koje nisu predmet ovog rada, on nije stigao do faze integracije u realno okruženje. Svi postavljene zahtevi za akviziciju ulaznih podataka, u pogledu funkcionalnosti korisničkog grafičkog interfejsa, kao i dopunski zahtevi, uspešno su realizovani i implementirani.

Sa stanovišta izlaznih podataka (uglovi navođenja), kao što je i ranije navedeno, obezbeđeni su svi podaci neophodni za njihov proračun, pa se s pravom pretpostavlja da bi njihova implementacija bila uspešno realizovana po dobijanju odgovarajućih jednačina ili tabela gađanja.

Može se konstatovati da se uz trenutno raspoloživu tehniku i tehnologiju stari analogni protivpodmornički računar može uspešno zameniti računarom na bazi personalnog računara, uz već usvojene hardverske modifikacije.

Sistem je otvoren za dalje usavršavanje. Za neku sledeću nadogradnju ili modifikaciju korisno bi bilo vizualizovati stanje i položaj lansera RDB. Takođe, predlaže se da se određivanje parametara kretanja cilja, sem linearno, obradi i složenijim metodama procene parametara kretanja objekta. Sa stanovišta taktike za donošenje odluke bilo bi od pomoći ugraditi proračun verovatnoće pogotka cilja, u zavisnosti od trenutne situacije na vojištu i broja ispaljenih RDB.

## Literatura:

- [1] „COSSI – Commercial Operational and Support Savings Initiative“, Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistic, Washington DC, USA, 2001.
- [2] Đorđević, Z., Aleksić, M., Mitrović, S.: „Koncepti modernizacije brodskih upravljačkih sistema“, 20. godišnjak Fakulteta za pomorstvo, Kotor, 2003.
- [3] Mitrović, S., Đorđević, Z., Aleksić, M.: „Modernization of Submarine Torpedo System“, ETF Journal of Electrical Engineering, EE Department, University of Montenegro, May 2004.
- [4] „Orca 2000 – Navigational and Torpedo system, Technical Manual“, MTRZ „Sava Kovačević“, Tivat, 2000.
- [5] Keller, B. J.: „A Practical Guide to X Window Programming“, CRC Press, USA, 1998.
- [6] Laplante, P. A.: „Real Time System Design and Analysis, an Engineer's Handbook“, IEEE Press, New York, 1997.

Milorad Pavlović,  
dipl. inž.  
Gordana Jurin,  
dipl. inž.  
Tehnički opitni centar,  
Beograd

## PRIMENA SISTEMA ZA MONITORING BUKE I MATLAB-a ZA PRORAČUN NIVOVA AVIONSKE BUKE

UDC: 629.735 : 534.83.08] : 004.4

### Rezime:

U radu je prikazan način primene sistema za monitoring buke, terminal NMT 3637B i softver 7802, firme Brüel & Kjær, u procesu sertifikacije mlaznih aviona, prema ICAO, standardu Annex 16 i algoritam za proračun EPNL nivoa buke (Effective Perceived Noise Level), koji je kreiran u okruženju MatLab. Ovim softverom sublimirani su svi potrebni ulazni podaci, akustički i neakustički, radi dobijanja traženog nivoa i svih međurezultata neophodnih za formiranje konačnog izveštaja koji se dostavlja vazduhoplovnim vlastima.

*Ključne reči:* mlazni avion, avionska buka, mera oprema, softver.

### NOISE MONITORING SYSTEM AND MATLAB APPLICATION FOR AIRCRAFT NOISE LEVEL CALCULATION

#### Summary:

*This paper presents the use of noise monitoring system, terminal NMT 3637B and software 7802, Brüel & Kjær in process of jet aircraft noise certification according to standard ICAO Annex 16 and the algoritam for calculating EPNL noise level (Effective Perceived Noise Level) that we created in MatLab environment. This software sublimated all necessary input parameters, acoustic and non acoustic in purpose of getting final result and intermediate data. Those data are important for reporting to the certificating authority.*

*Key words:* jet aircraft, aircraft noise, measuring equipment, software.

#### Uvod

Složenost postupka određivanja nivoa spoljašnje buke mlaznih aviona za potrebe sertifikacije prvenstveno se ogleda u broju ulaznih podataka, dužini njihovog vremenskog zapisa, kao i načinu merenja i obrade. Složenosti postupka doprinosi i broj merenih mesta i merenja. Uslovi i metodologija merenja definisani su međunarodnim standardom ICAO, Annex 16 [1].

Nivo buke ovih aviona izražava se u EPN dB jedinicama i daje se za referentne letne i atmosfere uslove. Ulazni podaci za proračun su akustički podaci, od-

nosno buka testiranog aviona i šum ambijenta, putanja leta, parametri leta i meteorološki podaci.

Akustički podaci, odnosno nivoi zvučnog pritiska po tercama, čije su centralne frekvencije od 50 Hz do 10 kHz, snimaju se korakom 0,5 s. Sinhronizovano sa ovim podacima snimaju se i parametri leta i pozicija aviona na putanji. Potrebna dužina vremenskog zapisa za obe vrste merenja po mernom mestu je oko 1 minut.

Referentne uslove definišu atmosferski pritisak od 1013,25 mbar, temperatura 25° C, relativna vlažnost 70%, vetar 0 m/s, standardizovane putanje poletanja

i sletanja. Odstupanje od ovih uslova ima za posledicu promenu uslova prostiranja zvučnih talasa, zbog promene atmosferskog i propagacionog slabljenja i perioda izloženosti buci.

Referentne putanje poletanja i sletanja određuju se na osnovu podataka datih u standardu i uputstvu pilotu za upravljanje avionom.

Imajući u vidu složenost merenja, kao i to da je potrebno najmanje po šest merenja na tri definisane lokacije, dve u fazi poletanja (merna mesta K1 i K2) i jedna u fazi sletanja (merno mesto K3), za akviziciju i obradu svih predviđenih podataka neophodna je savremena merna oprema sa računarskom podrškom, visoke tačnosti, koja omogućava pristup rezultatima odmah nakon završenog opita.

U radu su istaknute prednosti upotrebljene merne opreme, kratak pregled algoritma za proračun nivoa avionske buke – EPNL i njegova izrada u MatLab okruženju.

### **Avionska buka**

Deskriptor avionske buke je efektivni nivo percipirane buke – EPNL (Effective Perceived Noise Level) izražen u EPN dB jedinicama. Ovaj nivo predstavlja meru subjektivnog doživljaja avionske buke u koji su, osim jačine, inkorporirani bučnost, iritirajuće dejstvo i trajanje. Nivo EPNL određuje se proračunom PNL nivoa (Perceived Noise Level, jedinica PN dB), PNLT nivoa (Perceived Noise Level Tone-Corrected, jedinica TPN dB) i perioda izloženosti buci u toku preleta aviona. Nivo PNL uzima u obzir varijaciju čujnosti u funkciji frekvencije, PNLT doprinos tonova ili diskretnih

frekvencija često prisutnih u kompleksnom zvuku kao što je avionska buka, a EPNL i period izloženosti buci. U proračunu njihovih vrednosti figurišu nivoi buke izmereni na svakih 0,5 sekundi u 24 terčna opsega, u opsegu frekvencija od 40 Hz do 11,2 kHz.

### **Merna oprema**

Za akviziciju i obradu akustičkih podataka odabran je sistem za monitoring buke, firme Brüel & Kjær. Sistem čine terminal NMT 3637B i softver ANMS 7802. Osnovna namena ovog sistema je kontrola nivoa buke u životnoj sredini, u dužem periodu. Postavljaju se u okolini aerodroma, prometnih saobraćajnica, železničkih pruga i drugih bučnih lokacija u naseljenim mestima. Podatke sa permanentnih terminala server preuzima u korisnički definisanim intervalima, putem modema i javne telefonske mreže ili LAN komunikacije. Svi podaci se sortiraju i storniraju u sistemske baze podataka i trenutno su dostupni za prezentaciju u tabelarnom i grafičkom obliku, kao i u obliku izveštaja za događaj – event: 1 sat, 24 sata, 1 mesec snimanja, kratak izveštaj, spektar na  $\frac{1}{2}$  s, kalibracioni izveštaj). Navedeni izveštaji sadrže i statističke pokazatelje.

Dinamički opseg merenja je 110 dB, tako da je moguća akvizicija signala nivoa do 140 dB kada se koristi mikrofoni 4189. Omogućava snimanje Leq nivoa (ekvivalentni kontinualni nivo buke) ili SPL (Sound Pressure Level – nivo zvučnog pritiska) na A ili linearnoj frekventijskoj skali, sa SLOW, FAST, IMPULS ili PEAK detektorom. Postoji mogućnost definisanja minimalnog nivoa (SETL, NSETL i SENL) i minimalnog perioda trajanja događaja kao uslova za formiranje



U sklopu terminala NMT 3637B nalaze se mikrofonska jedinica za spoljašnju upotrebu, analizator nivoa buke i sistem za memorisanje podataka (sl. 1).

[illegible]

analizator  
nivo a buke  
tip 4441

sistem  
kontroler  
tip UL 0219

mikrofonska  
jedinica  
tip 4198

Mikrofonsku jedinicu za spoljašnju upotrebu 4198 čine: mikrofoni 4189, pretpojačavač 2669 C, štitičnik od vetra, kiše i ptica UA1404, stalak za mikrofoni UA 0801 i kabl dužine 10 m AO 0415. Mikrofon je od 1/2", free-field, kondenzatorski, prepolari-

7802 Ntuser Download

File Help

Live Ntuser

| Ntuser No.                            | Type | Ntuser Name | Last Update         |
|---------------------------------------|------|-------------|---------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | 4441 | Localler2   | 2014-03-17 17:00:00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2 | 4441 | Localler2   | 2014-03-17 17:00:00 |

Tools

Active Ntuser in system: 2 Connecting Name: 1st Attempt Mode: Monitor

Waiting to service: 0 Start

Data from: 1c

Reports:

- Hour Reports
- Event
- Collection

Net Connected: Not Connected

Connection time: 00:02:00

Report

Sistem za analizu čini analizator nivoa buke 4441. Analiza signala je oktavna ili terčna sa korakom 0,5 s ili 1 s, u opsegu od 12 Hz do 20 kHz i vrši se sa digitalnim filtrima, klase 1. Brzina smplovanja je 48 kHz, a referentno slabljenje 0 dB.

Sistem za memorisanje podataka je industrijski PC Pentium sa hard diskom od 20 GB i instalisanim softverom ANMS 7802 (Aircraft Noise Monitoring Software). Ovaj softver instalisan je i na notebook računaru i koristi se za konfigurisanje NMT (sl. 2), sortiranje i storniranje podataka merenja u sistemske baze na disku računara NMT, prenos istih sa NMT na notebook računar radi pregleda, prezentacije ili dalje obrade u nekim drugim programima (sl. 3). Tačnost iščitavanja podataka je 0,1 dB. Pored navedenih funkcija omogućeno je i vizuelno praćenje promene nivoa buke u realnom vremenu (sl. 4)



Sl. 4 – Vizuelizacija promene nivoa buke u realnom vremenu

Neophodni meteorološki podaci preuzimaju se od aerodromske meteorološke službe, a podaci za poziciju aviona na putanji sa GPS koji se ugrađuju na testirani avion. Za ove potrebe koristi se diferencijalni GPS – GPS System 1200, firme Leica (sl. 5 i 6).

## Algoritam za proračun EPNL

Ulazni podaci za proračun EPNL su terčni podaci za avionsku buku i ambijentalni šum i sledeći neakustički podaci: pozicija aviona na putanji, putna brzina, koordinate mernog mesta, temperatura i relativna vlažnost vazduha, u uslovima merenja i referentnim uslovima. Potrebna merna oprema i scenario merenja prikazani su na sl. 7.

Akustički podaci, odnosno nivoi zvučnog pritiska po tercama, čije su centralne frekvencije od 50 Hz do 10 kHz snimaju se SLOW dinamičkom karakteristikom detektora i linearnom frekvenциjskom skalom, sa korakom od 0,5 s. Sinhronizovano sa podacima za avionsku buku snima se i pozicija aviona na putanji. Potrebna dužina vremenskog zapisa za obe vrste merenja je oko 1 minut.

Ambijentalni šum snima se neposredno pre i nakon svakog prolaza–preleta mernog mesta u trajanju od minimalno 10 s, a optimalno 30 s. U postupku proračuna koriste se usrednjeni terčni nivoi izraženi u decibelima.



Sl. 5 – GPS System 1200, Leica



Sl. 6 – Antena GPS System 1200, Leica na avionu G-2A

Proračun nivoa EPNL može se vršiti po simplified ili integrated metodi. Po prvoj metodi koja je u ovom radu prezentovana, svodenje na referentne operative i atmosfere uslove vrši se samo u tački detekcije maksimalne buke, nivo  $PNL_{max}$ , a po drugoj u svim intervalima izračunatog nivoa  $PNL(k)$ .

Prema simplified metodi prvo se izračunava EPNL u uslovima merenja, pri

čemu su prethodno uklonjeni efekti šuma pozadine ukoliko postoje –  $EPNL_m$ , a zatim u referentnim uslovima –  $EPNL_{ref}$ .

Proračun EPNL u uslovima merenja i u referentnim uslovima dat je relacijama (1) i (2), respektivno.

$$EPNL_m = PNL_{max} + C + D \quad (1)$$

$$EPNL_{ref} = EPNL_m + \Delta_1 + \Delta_2 \quad (2)$$

gde je:

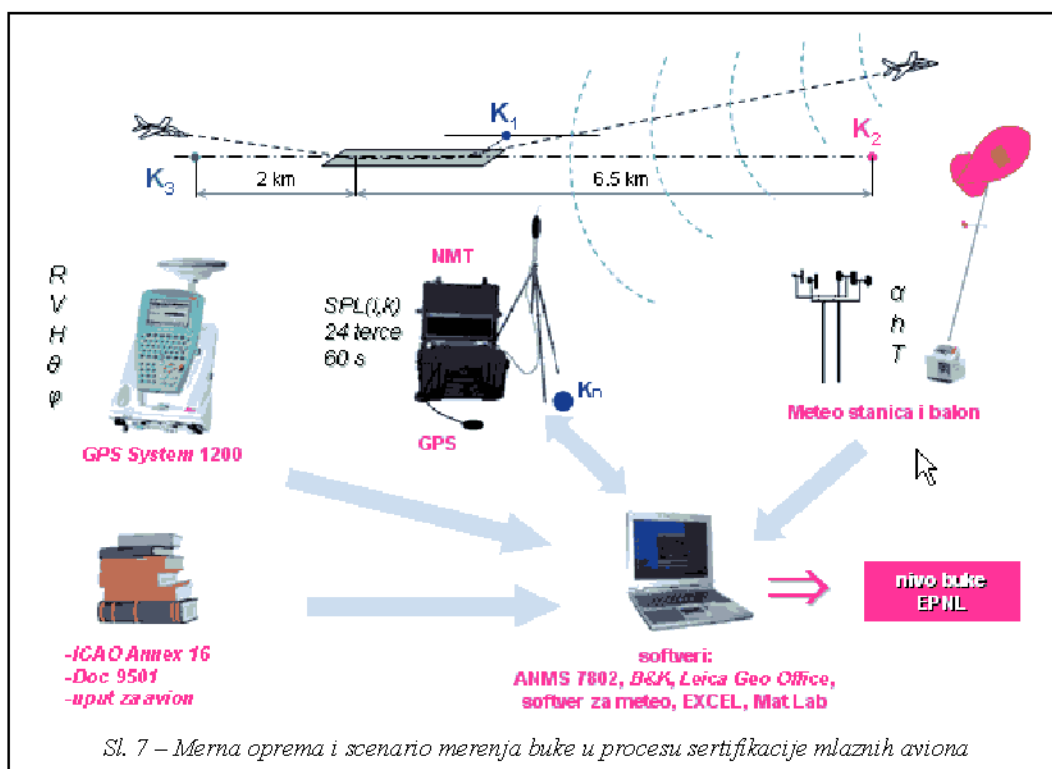
$PNL_{max}$  – maksimalna vrednost PNL nivoa,

$C$  – faktor tonske korekcije,

$D$  – korekcionni faktor za izloženost buci u uslovima merenja,

$\Delta_1$  – korekcija za meteorološke i propagacione uslove, i

$\Delta_2$  – korekcija za promenu perioda izloženosti buci.



Prvi korak pre proračuna  $EPNL_m$  je validacija uslova i podataka merenja. Proverava se koeficijent atmosferskog slabljenja na 8 kHz, koji mora biti manji od 12 dB/100 m, zatim nivo ambijentalnog šuma, koji mora biti minimalno 20 PN dB ispod maksimuma avionske buke i, na kraju, tereni nivoi avionske buke, koji moraju biti bar 3 dB iznad srednje vrednosti ambijentalnog šuma u posmatranoj terci, za sve zapise, u periodu 10 dB ispod  $PNLT_{max}$ . U slučaju nezadovoljavanja trećeg uslova postoji mogućnost korekcije primenom metoda frekvencijske ili vremenske ekstrapolacije radi otklanjanja njegovog efekta. Međutim, to nameće dodatne uslove validacije merenja, o čemu je detaljno dato u [2] i [4]. Pri primeni navedenih korekcionih metoda potrebni su i podaci o atmosferskom slabljenju i rastojanju avion – mikrofona.

#### **Softver za proračun EPNL u MatLab okruženju**

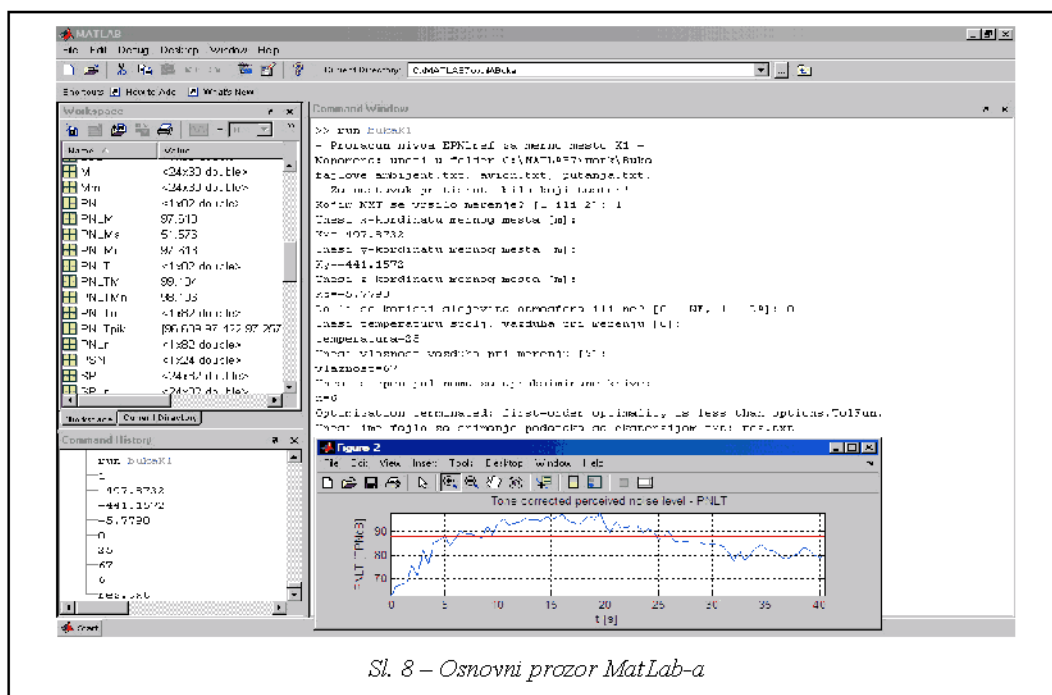
U okviru Brüel & Kjær softvera ANMS 7802 proračunavaju se i nivoi PNL,  $PNLT$  i EPNL sa korakom od 0,5 ili 1 s. Međutim, ove vrednosti za korisnika imaju samo informativni karakter, jer proračunom nisu obuhvaćene korekcije koje standard ICAO, Annex 16 propisuje. Zbog toga je za proračun EPNL izrađen softver u paketu MatLab.

Razlozi za primenu paketa MatLab su višestruki. Prvo, ovaj paket nudi izvanredne matematičke mogućnosti, drugo, ima relativno dobru grafičku vizualizaciju rezultata, treće, lako se programira (kreiranje m fajlova) i, četvrto, instalacija je podržana na računarima različitih konfiguracija i operativnog sistema.

U našem slučaju, proračun EPNL nivoa i potrebnih međurezultata za formiranje izveštaja vazduhoplovnim vlastima vrši se u programskom paketu MatLab 7.0 na notebook računaru Dell Latitude D400 (procesor: Intel Pentium M 1.4 GHz, RAM: 1GB) sa operativnim sistemom Microsoft Windows XP.

Izgled osnovnog prozora MatLab 7.0 nakon startovanja aplikacije prikazan je na sl. 8. U toolbar-u za podešavanje tekućeg direktorijuma (Current Directory), uneta je putanja foldera sa namenskim potprogramima, tj. funkcijama. Isti folder koristi se za smeštaj dela potrebnih ulaznih podataka, kao i samih rezultata. Proračun za svako od mernih mesta K1, K2 i K3 aktivira se unosom u komandni prozor (Command Window) naredbe run bukaK1, run bukaK2 i run bukaK3, respektivno. Razlog za odvajanje programa za svako merno mesto uslovljen je različitim podacima za položaj mernog mesta i putanje leta aviona u referentnim uslovima, kao i različitim postupcima proračuna rastojanja mikrofona – avion.

Aktiviranje navedenih m fajlova, pored naredbi za učitavanje podataka i snimanje rezultata, pokreće i odgovarajući niz funkcija. U optičaju su sledeće: F1 – validacija merenja, utvrđivanje prisustva efekata ambijentalnog šuma i rekonstrukcija maskiranih podataka, F2 – proračun EPNL nivoa u uslovima merenja kada ne postoji uticaj ambijentalnog šuma, F3 – proračun EPNL nivoa u uslovima merenja kada je uklonjen efekat ambijentalnog šuma, F4 – određivanje položaja i brzine aviona u trenutku maksimuma buke u uslovima merenja i referentnim uslovima, F5 – proračun korekcija



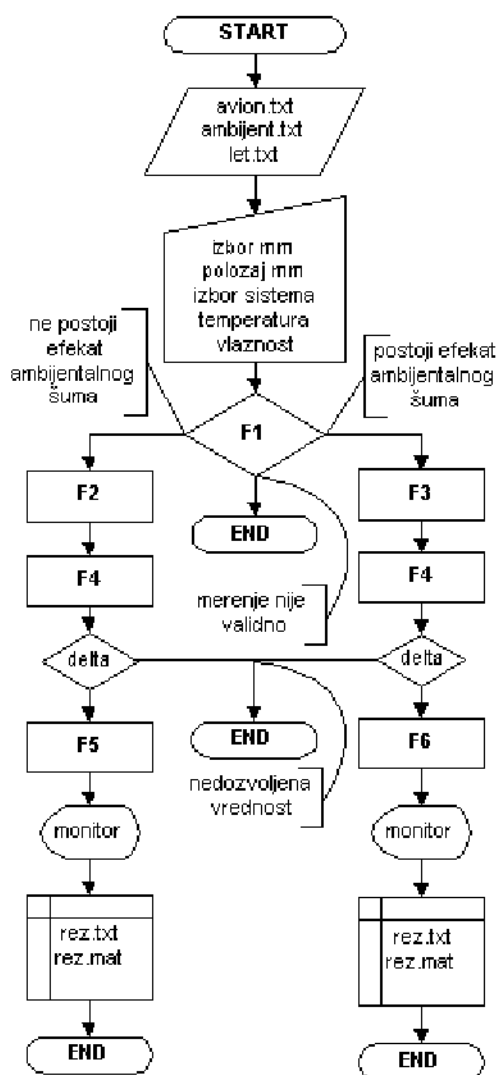
Sl. 8 – Osnovni prozor MatLab-a

$\Delta_1$  i  $\Delta_2$  za svođenje rezultata na referentne uslove pri odsustvu efekata ambijentalnog šuma i F6 – proračun korekcija za svođenje rezultata na referentne atmosfere i letne uslove posle izvršene rekonstrukcije maskiranih podataka.

Za proračun koeficijenata atmosferskog slabljenja ili grafički prikaz međurezultata u m fajlovima pozivaju se i funkcije Crtanje i AtmSl. Sam izbor funkcija u proračunu nivoa buke uslovljen je međurezultatima, što je ilustrovano kroz dijagram toka na sl. 9. Nakon prihvatanja ulaznih podataka, trajanje proračuna za svako od mernih mesta ne prelazi nekoliko sekundi.

Izlazni podaci unose se delom preko tastature u komandni prozor tokom izvršenja samih potprograma (izbor mernog sistema, koordinate mernog mesta, temperatura, relativna vlažnost, ime fajla za

smeštanje rezultata, stepen polinoma za aproksimaciju putanje leta), a delom preko unapred formiranih txt fajlova. Za svako merno mesto i svaki pojedinačan let oni nose oznake avion.txt, ambient.txt i putanja.txt i pre proračuna smeštaju se u pomenuti tekući direktorijum. Prvi sadrži SPL vrednosti snimljene buke, drugi SPL vrednosti ambijentalnog šuma, a treći parametre putanje aviona, tj. vreme, prostorne koordinate (x, y i z) i brzinu u uslovima merenja. U programu se koriste i podaci za poziciju i brzinu aviona na putanji za referentne uslove. Pri promeni tipa aviona, ovi podaci moraju se ažurirati, zamenom txt fajlova refK1.txt, refK2.txt i refK3.txt u radnom folderu sa novim. Slično važi i za promene korekcionih faktora za mikrofona, kada se vrši zamena fajlova NMT1cfr.txt i NMT2cfr.txt.

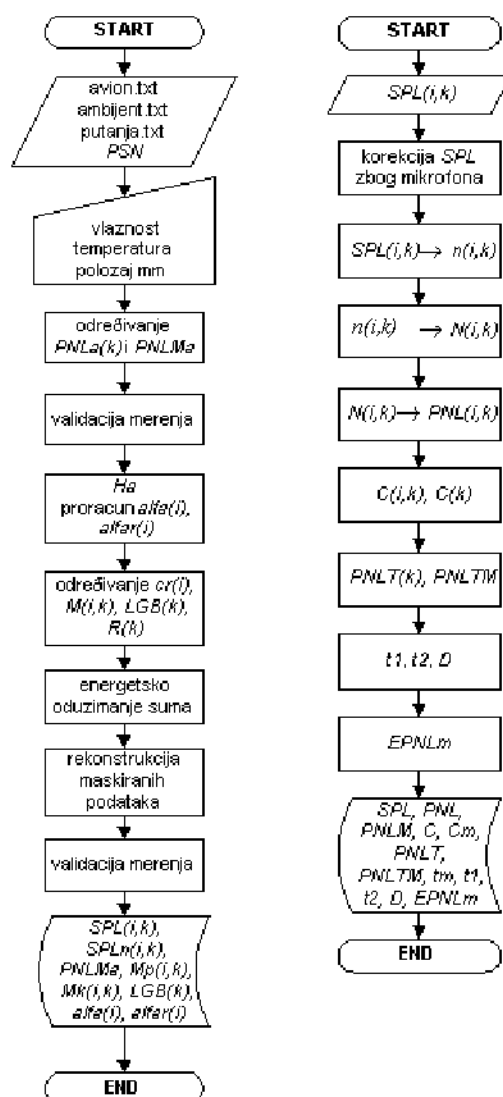


Sl. 9 – Dijagram toka pri proračunu EPNL nivoa

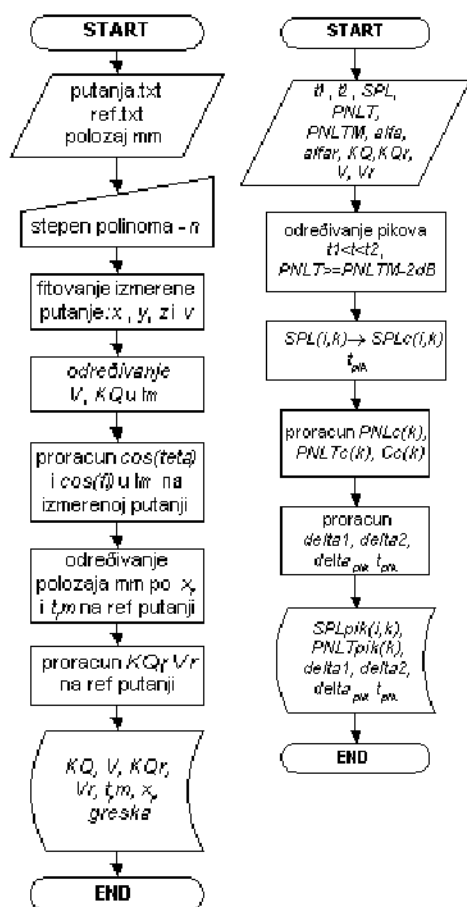
Rezultati se automatski beleže u radni folder, generisanjem dva fajla istog imena, ali različite ekstenzije. Prvi je txt formata i sadrži najbitnije rezultate, dok fajl sa ekstenzijom mat sadrži sve formirane promenljive u proračunu, kao i bitne međurezultate.

Pri svakom sledećem startovanju proračuna, pre upotrebe novih ulaznih podataka, potrebno je izbrisati radni prostor (Workspace) i komandni prozor.

U procesu formiranja opisanog softvera, testiranja su izvršena u određenim fazama na osnovu poređenja rezultata sa podacima iz standarda za poznati set ulaznih podataka. Sledeći korak u njegovom daljem razvoju je formiranje baze podataka koje identifikuju tip aviona u referentnim uslovima i realizaciju grafičkog interfejsa (GUI) radi postizanja bolje korisničke transparentnosti.



Sl. 10 – Funkcije F1 i F2



Sl. 11 – Funkcije F4 i F5

Na sl. 10 i 11 prikazani su osnovni koraci u realizaciji prethodno navedenih funkcija F1, F2, F4 i F5.

## Zaključak

U radu je istaknuta neophodnost upotrebe savremene merne opreme sa računarskom podrškom visoke tačnosti, koja omogućava pristup rezultatima odmah nakon završenog opita, kao i neophodnosti realizacije namenskog softvera radi povećanja efikasnosti merenja i skraćanja vremena obrade i dobijanja konačnih rezultata

### Literatura:

- [1] ICAO Annex 16, Environmental Protection, Volume I – Aircraft Noise, Third Edition, 1993.
- [2] Doc. 9501 – Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft – ICAO Committee on Aviation Environmental Protection, 1993.
- [3] Junin, G., Pavlović, M.: Određivanje buke radi sertifikacije mlaznih aviona, Vojnotehnički glasnik, str. 36–50, januar – februar 2005.
- [4] Junin, G., Pavlović, M.: Avionska buka i uticaj ambijentalnog šuma na tačnost merenja, Konferencija za ETRAN, Čačak, sveska II, str. 401–404, jun 2004.

**Vanredni profesor  
dr Vlado Đurković,**  
dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## **METODOLOGIJA POSTAVLJANJA DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA PRI ISTRAŽIVANJU DINAMIČKIH PARAMETARA KONSTRUKCIJE LANSIRNE RAMPE NA VOZILU TOČKAŠU**

UDC: 623.428.2.01 : 623.437.448.01

### *Rezime:*

*U radu se određuju optimalni parametri konstrukcije lansirne rampe: položaj tačke vešanja hidrocilindra na rampi, dužina i materijal rampe, koeficijent viskoznog trenja ulja u hidrocilindru, koeficijent krutosti lansirne rampe i hidrocilindra, poprečni presek rampe, itd. Radi toga postavlja se mehanički model sa tri stepena slobode kretanja i odgovarajući model u vidu sistema od tri nelinearne diferencijalne jednačine drugog reda. Numeričkom analizom dobijenog matematičkog modela (primenom programskog jezika Compaq Visual Fortran, Version 6.5) dolazi se do optimalnosti pojedinih parametara. Dobijeni rezultati, predstavljeni u grafičkoj formi, mogu da budu veoma korisni projektantima raketnih lansera, kako stabilnih, tako i mobilnih, pri razvoju novih konstrukcija i modifikaciji postojećih.*

*Ključne reči: lansirna rampa, lansiranje, dinamički model, kinetička energija, potencijalna energija, generalisane sile.*

---

## **METHODOLOGY MAKE OF DIFFERENTIAL EQUATIONS AT INVESTIGATION OF DYNAMIC PARAMETERS OF CONSTRUCTIONS OF LAUNCHER ON VEHICLE**

### *Summary:*

*This paper determines optimal construction parametrics of a missile launcher: place of hydro-cylinder on launcher, length and material of ramp of launcher, coefficient of the viscosity of friction oil in hydro-cylinder, coefficient of stiffness of launcher and hydro-cylinder, cross-section of launcher etc. In this purpose appointment mechanical model with three degrees of freedom motion and analogous model of system of three nonlinear differential equation second order. Numerical analysis obtained mathematical model (programming with language Compaq Visual Fortran, Version 6.5) coming to optimal parameters. Obtained results that are presented in graphical shapes can be very useful for designing stable and mobile missile launchers, both for development of new constructions and modification of existing structures.*

*Key words: launcher, launching, dynamic model, kinetic energy, potential energy, generalized forces.*

---

### **Uvod**

Raketni lanser spada u grupu artiljerijskih oruđa namenjenih za dejstva po živoj sili, ali i po pojedinim utvrđenim tačkama duboko u pozadini neprijatelja. Vojni teoretičari ga, stoga, svrstavaju u

grupu artiljerijskih oruđa za podršku sopstvenoj pešadiji.

Osnovni zahtev bezbednog rukovanja objektom, kao što je raketni lanser, pretpostavlja stabilnost posmatranog objekta u odnosu na preturanje, kao i stabilnost njegovih pojedinih elemenata i



sklopova, kao što je lansirna rampa. Stabilnost objekta tipa raketnog lansera ili auto-dizalice sa aspekta preturanja razmatrana je u radovima [3, 4, 5, 7, 8, 9] primenom mehaničko-matematičkog modela različitih stepena složenosti. Eksperimentalno utvrđivanje pomeranja elastično oslonjenog rama vozila u uslovima impulsnog opterećenja, i analiza elastično oslonjenog rama vozila sa nadgradnjom, razmatrana je u radovima [11, 12].

Osnovna prednost predloženog modela raketnog lansera u odnosu na postojeće modele sastoji se u tome što se pri razmatranju stabilnosti analiziranog sistema uzima u obzir uticaj nekoliko ranije zanemarenih parametara: elastičnost i prigušenje oslonca, rampe, elastičnost lansirne rampe.

### Mehanički model

Mehanički model lansirne rampe sa raketom u toku njenog lansiranja (slika 1) koji se predlaže sastoji se od krutih tela, deformabilnih elemenata sa elastičnim osloncem sa prigušenjem.

Ovakav mehanički sistem sastoji se od lansirne rampe deformabilne u vertikalnoj ravni i deformabilne oko uzdužne ose Ax, oslonjene zglobo u osloncu A i elastično u osloncu B i od raketa koje se smatraju krutim telima. Kretanje takvog mehaničkog sistema definisano je sledećim generalisanim koordinatama:  $\xi$  – pomeranje rakete po deformabilnoj lansirnoj rampi,  $u$  – ugib vrha lansirne rampe, pri čemu se svi ostali ugibi duž rampe ( $u_x$ ) izražavaju u funkciji ovog ugiba,  $\varphi$  – ugao rotacije rampe oko uzdužne ose rampe Ax usled asimetričnosti opterećenja, posebno nakon pojedinačnog lansiranja

raketa (razmatra se slučaj kretanja jedne rakete po rampi, dok ostale dve miruju).

Jednačina elastične linije lansirne rampe je nepoznata. U radovima koji su obrađivali problem dinamičke stabilnosti strele auto-dizalice [3] i radovima po pitanju raketnog lansera [1, 2, 5, 6, 10] predlagane su različite funkcije elastičnih linija, na primer, trigonometrijske funkcije ili polinomi. U ovom radu elastična linija lansirne rampe, zbog šest graničnih uslova, ima oblik polinoma:

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 = \sum_{i=0}^5 a_i x^i \quad (1)$$

Uslovi koje treba da zadovolji kriva oblika oscilovanja su:

– prva dva granična uslova: tačka A, zglobo oslonac  $O \equiv A$ ,  $x = 0$

$$y(0) = 0 \text{ (ugib zgloba jednak je nuli)}, \quad (2)$$

$$y'(0) = 0 \text{ (zglob ne prima momenat)}, \quad (3)$$

– druga dva granična uslova: tačka B, zglobo oslonac B je elastičan [1, 3], pa je transversalna sila jednaka sili elastičnosti hidrocilindra.

$$x = x_B \quad F_{tB} = F_C = EI_z y'''(x_B) = -cy(x_B) \cos \theta - b\dot{y}_B \cos \theta \quad (4)$$

$$y''(l_1) = 0, \quad M_s = 0, \quad y''(x_B) = 0 \quad (5)$$

– treća dva granična uslova: tačka D,  $x = x_D = 1$ ,

$$M_s = 0, \quad (y''(l) = 0) \text{ (vrh strele ne prima moment)}, \quad (6)$$

$$F_t = 0, \quad (y'''(l) = 0) \text{ (vrh strele ne prima transversalnu silu)} \quad (7)$$



### Kinetička energija lansirne rampe

Kinetička energija lansirne rampe sastoji se od kinetičke energije lansirne rampe usled savijanja, istezanja – pritiska i kinetičke energije usled torzije lansirne rampe, tj.:

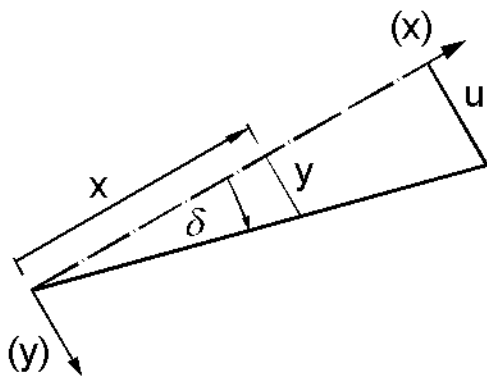
$$E_{kl} = E_{kl}^{(1)} + E_{kl}^{(2)} + E_{kl}^{(3)} \quad (13)$$

–  $E_{kl}^{(1)}$  – kinetička energija elastične deformacije lansirne rampe usled savijanja, ne uzimajući u obzir smicanje, jeste:

$$E_{kl}^{(1)} = \frac{1}{2} \rho A \int_0^l \dot{y}^2 dx = \frac{1}{2} \rho A \int_0^l \left( \frac{1}{l^2} \dot{u}^2 x^2 \right)^2 dx \quad (14)$$

$$dx = \frac{1}{2} \rho A \frac{\dot{u}^2 l^3}{l^2 \cdot 3} = \frac{l}{6} \rho A \dot{u}^2 = C_{11} \dot{u}^2$$

gde je:  $C_{11} = \frac{1}{6} \rho A$  – odgovarajuća konstanta.



Sl. 2 – Određivanje zavisnosti ugiba i brzina na osnovu proporcije

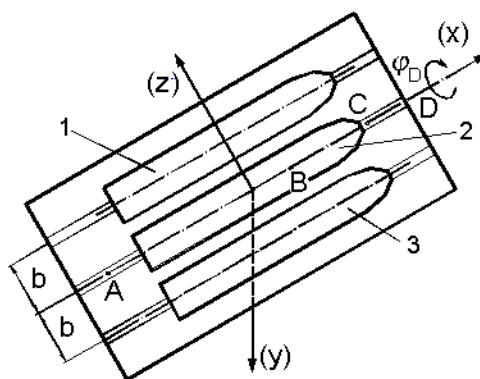
–  $E_{kl}^{(2)}$  – kinetička energija elastične deformacije lansirne rampe usled istezanja – pritiska je:

$$E_{kl}^{(2)} = \frac{1}{2} \rho I \int_0^l \left( \frac{\partial \dot{y}}{\partial x} \right)^2 dx = \frac{\rho r_0^2 A}{2} \int_0^l \frac{4 \dot{u}^4}{l^4} x^2 dx = 2 \rho r_0^2 A \frac{\dot{u}^4}{l^4} \frac{l^3}{3} = C_{12} \dot{u}^4 \quad (15)$$

gde su:  $I_0 = r_0^2 A$  moment inercije poprečnog preseka u odnosu na neutralnu osu,  $r_0$  poluprečnik inercije poprečnog preseka u odnosu na neutralnu osu,

$$C_{12} = \frac{2 \rho r_0^2 A}{2l} \text{ odgovarajuća konstanta.}$$

–  $E_{kl}^{(3)}$  – kinetička energija rampe usled torzionog pomeranja – okretanja  $\phi_D$  oko uzdužne ose Ax, prema [1] je:



Sl. 3 – Položaj raketa različitih masa i karakterističnih tačaka na rampi

$$E_{kl}^{(3)} = \frac{1}{2} I_O \dot{\phi}^2 \quad (16)$$

$$E_{kl}^{(3)} = \frac{1}{2} \int_0^l I_O \dot{\phi}_D^2 dx = \frac{1}{2} I_O \int_0^l \frac{\dot{\phi}_D^2}{l^2} x^2 dx = \frac{I_O \dot{\phi}_D^2}{2l^2} \cdot \frac{l^3}{3} = C_{13} \dot{\phi}_D^2 \quad (17)$$

$$K_{13} = \frac{I_O l}{6} \quad (18)$$

gde su:  $I_O$  – moment inercije mase rampe po jedinici dužine, tj.  $I_O = \rho I'_O$ ,  $\rho$  – gustina rampe,  $I'_O$  – geometrijski polarni moment poprečnog preseka rampe,  $C_{13} = \frac{I_O l}{6}$  – konstanta.

Konačno, kinetička energija lansirne rampe je:

$$E_{k1} = E_{k1}^{(1)} + E_{k1}^{(2)} + E_{k1}^{(3)} = C_{11} \dot{u}^2 + C_{12} \dot{u}^4 + C_{13} \dot{\varphi}_D^2 \quad (19)$$

#### *Kinetička energija rakete na lansirnoj rampi*

Kinetička energija rakete sastoji se od kinetičke energije translacije i rotacija rakete na lansirnoj rampi, tj.:

$$E_{k2} = E_{k2}^{(1)} + E_{k2}^{(2)} + E_{k2}^{(3)} \quad (20)$$

gde je:  $E_{k2}^{(1)}$  – kinetička energija rakete od translacije po lansirnoj rampi;  $E_{k2}^{(2)}$  – kinetička energija rakete od rotacije zajedno sa lansirnom rampom oko z ose (sl. 4);  $E_{k2}^{(3)}$  – kinetička energija rakete od rotacije zajedno sa lansirnom rampom oko x ose.

–  $E_{k2}^{(1)}$  – kinetička energija rakete od translacije po lansirnoj rampi je:

$$E_{k2}^{(1)} = \frac{1}{2} m_r v_r^2 = \frac{1}{2} m_r \left[ \dot{\xi}^2 + \frac{1}{l^2} (\dot{\xi} u + \dot{\xi} \dot{u})^2 + \frac{1}{l^2} (\dot{\xi} u \varphi + \dot{\xi} \dot{u} \varphi + \dot{\xi} u \dot{\varphi})^2 \right] \quad (21)$$

gde su:

$$y = \frac{u}{l} x, \quad \eta = \frac{x}{l} = \frac{\xi}{l} \quad (22)$$

a za  $\eta u = \xi \delta \Rightarrow \delta = \frac{\eta u}{\xi}$ , odnosno

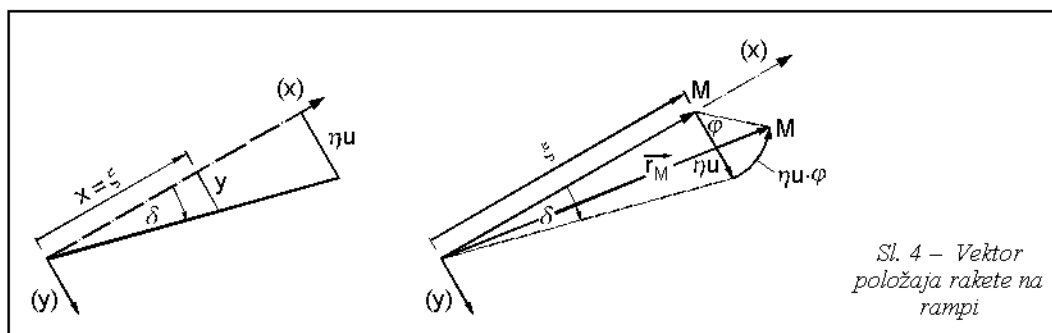
$$\delta = \frac{\xi}{l} \cdot \frac{u}{\xi} = \frac{u_D}{l} \quad (23)$$

radijus-vektor i brzina rakete glase:

$$\vec{r}_M = \xi \cdot \vec{i} + \eta u \cdot \vec{j} + \eta u \cdot \varphi \cdot \vec{k} \quad (24)$$

$$\vec{v}_r = \frac{d\vec{r}_M}{dt} = \dot{\xi} \cdot \vec{i} + \frac{1}{l} (\dot{\xi} u + \dot{\xi} \dot{u}) \cdot \vec{j} + \frac{1}{l} (\dot{\xi} u \varphi + \dot{\xi} \dot{u} \varphi + \dot{\xi} u \dot{\varphi}) \cdot \vec{k} \quad (25)$$

$$v_r^2 = \dot{\xi}^2 + \frac{1}{l^2} (\dot{\xi} u + \dot{\xi} \dot{u})^2 + \frac{1}{l^2} (\dot{\xi} u \varphi + \dot{\xi} \dot{u} \varphi + \dot{\xi} u \dot{\varphi})^2 \quad (26)$$



Sl. 4 – Vektor položaja rakete na rampi

Ako se raketa razmatra kao kruto telo, treba uzeti u obzir i članove od rotacije.

–  $E_{k2}^{(2)}$  – kinetička energija rakete od rotacije zajedno sa lansirnom rampom oko z ose je:

$$E_{k2}^{(2)} = \frac{1}{2} J_{rz} \dot{\delta}^2 = \frac{1}{2} J_{rz} \frac{\dot{u}_D^2}{l^2} \quad (27)$$

–  $E_{k2}^{(3)}$  – kinetička energija rakete od rotacije zajedno sa lansirnom rampom oko x ose je:

$$E_{k2}^{(3)} = \frac{1}{2} J_{rx} \dot{\varphi}^2 \quad (28)$$

Konačno, kinetička energija rakete je:

$$E_{k2} = \frac{1}{2} m_r \left[ \dot{\xi}^2 + \frac{1}{l^2} (\dot{\xi}u + \xi\dot{u})^2 + \frac{1}{l^2} \left( \dot{\xi}u\varphi + \xi\dot{u}\varphi + \xi u \dot{\varphi} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} J_{rz} \frac{\dot{u}_D^2}{l^2} + \frac{1}{2} J_{rx} \dot{\varphi}^2 \quad (29)$$

gde su  $J_{rz}$  i  $J_{rx}$  odgovarajući momenti inercije.

Ukupna kinetička energija mehaničkog sistema iznosi:

$$\begin{aligned} E_k &= E_{k1} + E_{k2} = E_{k1}^{(1)} + E_{k1}^{(2)} + \\ &+ E_{k1}^{(3)} + E_{k2}^{(1)} + E_{k2}^{(2)} + E_{k2}^{(3)} \\ E_k &= C_{11} \dot{u}^2 + C_{12} \dot{u}^4 + C_{13} \dot{\varphi}_D^2 + \\ &+ \frac{m_r}{2} \dot{\xi}^2 + \frac{m_r}{2l^2} (\dot{\xi}u + \xi\dot{u})^2 + \\ &+ \frac{m_r}{2l^2} (\dot{\xi}u\varphi + \xi\dot{u}\varphi + \xi u \dot{\varphi})^2 + \frac{J_{rz}}{2l^2} \dot{u}_D^2 + \frac{J_{rx}}{2} \dot{\varphi}^2 \end{aligned} \quad (30)$$

## Potencijalna energija mehaničkog sistema

Potencijalna energija mehaničkog sistema je:

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3}$$

gde su:  $E_{p1}$  – potencijalna energija lansirne rampe,  $E_{p2}$  – potencijalna energija rakete,  $E_{p3}$  – potencijalna energija oslonca.

### Potencijalna energija lansirne rampe

Potencijalna energija lansirne rampe sastoji se od potencijalne energije elastične deformacije lansirne rampe usled savijanja ne uzimajući u obzir smicanje, potencijalne energije pritiska – istezanja lansirne rampe usled dejstva aksijalnih sila i potencijalne energije lansirne rampe usled dejstva transverzalnih sila, tj.:

$$E_{p1} = E_{p1}^{(1)} + E_{p1}^{(2)} + E_{p1}^{(3)} \quad (31)$$

–  $E_{p1}^{(1)}$  – potencijalna energija elastične deformacije lansirne rampe usled savijanja, ne uzimajući u obzir smicanje je:

$$E_{p1}^{(1)} = \frac{1}{2} \int_0^l EI_{1z} \left( \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 dx = \frac{1}{2} EI_{1z} \int_0^l 0 = 0 \quad (32)$$

–  $E_{p1}^{(2)}$  – potencijalna energija pritiska – istezanja lansirne rampe usled dejstva aksijalnih sila je:

$$E_{p1}^{(2)} = \frac{1}{2} \int_0^l N(x,t) \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 dx =$$

$$= \frac{1}{2} \int_0^l N(x,t) a_1^2 dx = \frac{a_1^2}{2} \int_0^l N(x,t) dx \quad (33)$$

a usled dejstva aksijalnih sila po poljima (deonicama) lansirne rampe je:

$$E_{p1}^{(2)} = (E_{p1}^{(2)})_{1polje} + (E_{p1}^{(2)})_{2polje} + (E_{p1}^{(2)})_{3polje}$$

$$E_{p1}^{(2)} = \frac{a_1^2}{2} (l - \xi) \rho A g (l - \xi) \cdot$$

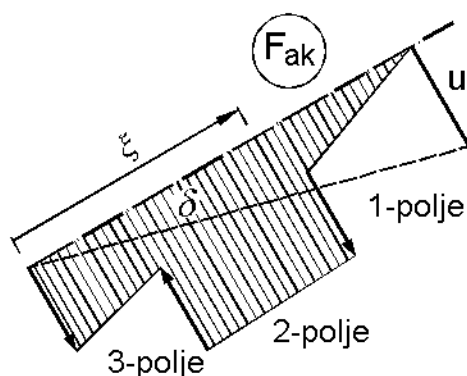
$$\cdot (\sin \alpha - \frac{u}{l} \cos \alpha) +$$

$$+ \frac{a_1^2}{2} [\rho A g (l - \xi) + m_2 g]$$

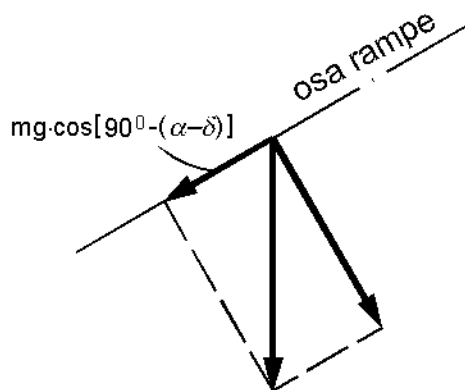
$$(\sin \alpha - \frac{u}{l} \cos \alpha) (\xi - l_1) +$$

$$+ \frac{a_1^2}{2} [\rho A g (l - \xi) + m_2 g] (\sin \alpha - \frac{u}{l} \cos \alpha) \cdot$$

$$\cdot (-ca_1 l_1 \sin \theta - b y_B \sin \theta) l_1 \quad (34)$$



Sl. 5 – Aksijalne sile duž rampe



Sl. 6 – Projekcije sile težine na uzdužnu i poprečnu osu rampe

–  $E_{p1}^{(3)}$  – potencijalna energija lansirne rampe usled dejstva transverzalne sile je:

$$E_{p1}^{(3)} = \frac{1}{2} \int_0^l F_{tr.}(x,t) y \cdot dx = \frac{1}{2} a_1 \int_0^l F_{tr.}(x,t) x dx \quad (35)$$

a s obzirom na to da na lansirnoj rampi postoje tri polja, ona je određena izrazom:

$$E_{p1}^{(3)} = (E_{p1}^{(3)})_{1polje} + (E_{p1}^{(3)})_{2polje} + (E_{p1}^{(3)})_{3polje} =$$

$$= \frac{a_1}{4} \left[ \rho A g (l - \xi) (\cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha) \right] \cdot$$

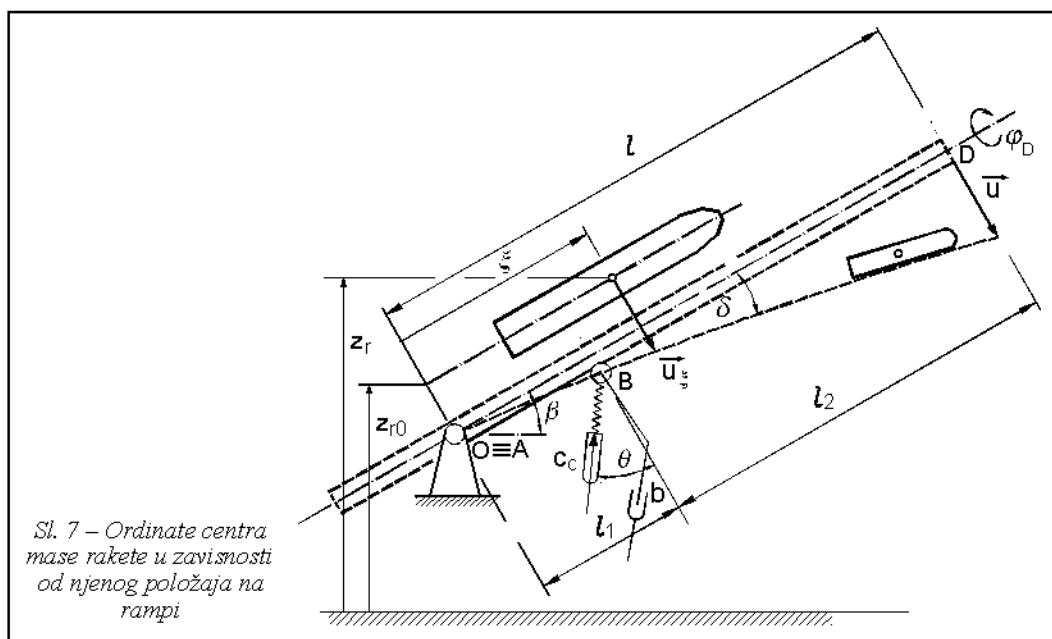
$$\cdot (l^2 - \xi^2) + \frac{a_1}{4} [\rho A g (l - \xi) + m_2 g]$$

$$(\cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha) \cdot (\xi^2 - l_1^2) + \frac{a_1 l_1^2}{4}$$

$$\left\{ [\rho A g (l - \xi) + m_2 g] (\cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha) - \right.$$

$$\left. - ca_1 l_1 \cos \theta - b y_B \cos \theta \right. \quad (36)$$

gde je:  $c$  – krutost oslonca B (hidrocilindra),  $b$  – koeficijent viskoznog trenja,  $y_B$  – ugib rampe u tački B.



Sl. 7 – Ordinate centra mase rakete u zavisnosti od njenog položaja na rampi

### Potencijalna energija rakete

Potencijalna energija rakete ima oblik:

$$E_{p2} = -m_2 g(z_r - z_{r0}) = m_2 g(z_{r0} - z_r) = m_2 g \left( \frac{u}{l} \xi - \xi \sin \beta \right) \quad (37)$$

gde su (sl. 7):  $z_r$  – trenutna ordinata centra mase rakete,  $z_{r0}$  – početna trenutna ordinata centra mase rakete.

Izrazom (37) zanemaruje se uticaj rotacije lansirne rampe oko podužne ose na potencijalnu energiju rakete.

### Potencijalna energija hidrocilindra

Potencijalna energija hidrocilindra (oslonca) ima oblik:

$$E_{p3} = -\frac{1}{2} c y_B^2 - b y_B \cdot y_B \quad (38)$$

gde je:  $c$  – krutost oslonca B (hidrocilindra),  $b$  – koeficijent viskoznog trenja,  $y_B$  – ugib rampe u tački B.

Konačno, ukupna potencijalna energija mehaničkog sistema (rampe, rakete i oslonca) iznosi:

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} = \frac{a_1}{4} \left[ \rho A g (l - \xi) \left( \cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha \right) \right] \cdot (l^2 - \xi^2) + \frac{a_1}{4} \left[ \rho A g (l - \xi) + m_2 g \right] \left( \cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha \right) (\xi^2 - l_1^2) + \frac{a_1}{4} \left[ \rho A g (l - \xi) + m_2 g \right] \left( \cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha \right) (\xi^2 - l_1^2) + \frac{a_1 l_1^2}{4} \left[ \rho A g (l - \xi) + m_2 g \right] \left( \cos \alpha - \frac{u}{l} \sin \alpha \right) - \left[ -c a_1 l_1 \cos \theta - b y_B \cos \theta \right] + m_2 g \left( \frac{u}{l} \xi - \xi \sin \beta \right) + C_{31} u^2 + C_{32} u \quad (39)$$

### Generalisane nekonzervativne sile

Generalisanom silom  $Q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, s$ ), koja odgovara generalisanoj koordinati  $q_i$ , naziva se skalarna veličina određena odnosom elementarnog rada sile koje utiču na pomeranje mehaničkog sistema izazvano elementarnim pomeranjem koordinate  $q_i$ , prema veličini tog pomeranja, tj.:

$$Q_i = \frac{\delta A_{q_i}}{\delta q_i} = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k \cdot \frac{\partial \vec{r}_k}{\partial q_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (40)$$

gde je:

$n$  – broj materijalnih tačaka,

$s$  – broj stepeni slobode kretanja,

$\vec{F}_k$  – rezultujuća aktivna sila koja deluje u  $k$ -toj tački sistema,

$\vec{r}_k$  – radijus vektor materijalne tačke,

$q_i$  – generalisana koordinata.

Ukupni rad sile koje deluju na mehanički sistem na elementarnom pomeranju sistema je

$$\delta A_{q_i} = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k \cdot \delta \vec{r}_k \quad (41)$$

gde je priraštaj radijus-vektora

$$\delta \vec{r}_k = \sum_{i=1}^s \frac{\partial \vec{r}_k}{\partial q_i} \delta q_i, \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (42)$$

uslovljen priraštajem generalisane koordinate  $\delta q_i$ .

Generalisana sila može da se izrazi i preko projekcija sile na ose Dekartovog koordinatnog sistema

$$Q_i = \sum_{k=1}^n \left( F_{kx} \frac{\partial x_k}{\partial q_i} + F_{ky} \frac{\partial y_k}{\partial q_i} + F_{kz} \frac{\partial z_k}{\partial q_i} \right), \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad (k = 1, 2, \dots, n), \quad (43)$$

gde je:

$$\begin{aligned} \vec{F}_k &= F_{kx} \vec{i} + F_{ky} \vec{j} + F_{kz} \vec{k}, \\ \frac{\partial \vec{r}_k}{\partial q_i} &= \frac{\partial x_k}{\partial q_i} \vec{i} + \frac{\partial y_k}{\partial q_i} \vec{j} + \frac{\partial z_k}{\partial q_i} \vec{k} \end{aligned} \quad (44)$$

Ako sve veze materijalnog sistema nisu idealne, npr. ako postoje hrapave oslone površine, tada pri izračunavanju generalisane sile po prethodnoj formuli, pod silom  $\vec{F}_k$ , podrazumevamo ne samo aktivne sile nego i sile nastale trenjem.

Postupak za određivanje generalisanih sila je sledeći:

a) ako su sile koje deluju na sistem potencijalne, tada se generalisane sile određuju jednostavnije, na taj način što se uzima parcijalni izvod potencijalne energije sistema po odgovarajućoj generalisanoj koordinati sa suprotnim predznakom

$$Q_i = -\frac{\partial E_p}{\partial q_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, s); \quad (45)$$

b) najrasprostranjeniji način određivanja generalisanih sila je određivanje koeficijenata u izrazu za sumu elementarnih radova pri odgovarajućim generalisanim mogućim pomeranjima, a određivanje generalisanih sila izvodi se sledećim redosledom:

– utvrđuje se broj stepeni slobode ( $s$ ) razmatranog sistema materijalnih tačaka i biraju odgovarajuće generalisane koordinate ( $q_i$ );



– prikazuju se sve aktivne sile sistema;

– ako sve veze nisu idealne, aktivnim silama dodaju se i odgovarajuće reakcije veze (npr. sile trenja);

– daje se nezavisno generalisano moguće pomeranje sistema ( $q_i$ ), jednako broju generalisanih koordinata, odnosno broju stepeni slobode sistema;

– za određivanje generalisane sile  $Q_i$  odgovarajuće  $i$ -te generalisane koordinate ( $q_i$ ) treba izračunati sumu radova svih aktivnih sila, uključujući i reakcije veza koje nisu idealne na generalisanom pomeranju ( $\delta q_i$ ). Pri tome, treba smatrati da su sva ostala generalisana moguća pomeranja ( $\delta q_1, \delta q_2, \delta q_3, \dots, \delta q_{i-1}, \delta q_{i+1}, \delta q_s$ ) jednaka nuli, tj.:

$$\delta q_1 \neq 0; \quad \delta q_1 = \delta q_2 = \delta q_3 = \dots = \delta q_{i-1} = \delta q_{i+1} = \delta q_s = 0 \quad (46)$$

Tada je generalisana sila  $Q_i$  jednaka koeficijentu pri  $\delta q_i \neq 0$ . Analogno se određuju i sve ostale generalisane sile.

Za slučaj da je kod mehaničkog sistema lakše odrediti snagu, generalisana sila se određuje kao odnos snage svih sila koje deluju na mehanički sistem pri mogućoj generalisanoj brzini  $\dot{q}_k$  prema toj generalisanoj brzini

$$Q_i = \frac{P_i}{\dot{q}_k} \quad (47)$$

$$P_i = \sum_{k=1}^n P_{ik} = \sum_{k=1}^n P_i \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \dot{q}_k} \dot{q}_k = \dot{q}_k \sum_{k=1}^n P_i \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \dot{q}_k} \quad (48)$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n F_i \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \dot{q}_k} \quad (49)$$

sledi  $P_i = \sum_{k=1}^n P_{ik} = Q_i \cdot \dot{q}_i$  odnosno

$$Q_i = \frac{P_i}{\dot{q}_k} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{ik}}{\dot{q}_k} \quad (50)$$

### Rad nekonzervativnih sila

Potražimo varijacije virtualnog rada i generalisane sile za generalisane koordinate  $\xi, u$  i  $\varphi$ .

– Varijacija virtualnog rada i generalisana sila  $Q_\xi$ , pri virtualnom pomeranju  $\xi$ , iznose:

$$\delta A_\xi = F_p \delta \xi - F_\mu \delta \xi - F_{ot.vaz.} \delta \xi \quad (51)$$

$$Q_\xi = \frac{\delta A_\xi}{\delta \xi} = F_p - F_\mu - F_{ot.vaz.} \quad (52)$$

gde su:  $F_p$  – sila potiska raketnog motara,  $F_\mu$  – otpor viskoznog trenja i  $F_{ot.vaz.}$  – otpor vazduha.

Otpor vazduha je:

$$F_{ot.vaz.} = \frac{1}{2} \rho C A v_r^2 = \frac{1}{2} \rho C A \left[ \dot{\xi}^2 + \frac{1}{l^2} (\xi \dot{u} + \dot{\xi} u)^2 + \frac{1}{l^2} (\xi u \dot{\varphi} + \dot{\xi} u \varphi + \xi \dot{u} \varphi)^2 \right] \quad (53)$$

U prethodnom izrazu je:  $\rho$  – gustina sredine kroz koju se kreće raketa,  $C$  – bezdimenzionalni koeficijent zavisen od

oblika rakete,  $A$  – površina poprečnog preseka rakete upravna na vektor brzine.

Otpor viskoznog trenja (sila trenja rakete o lansirnu rampu) jeste:

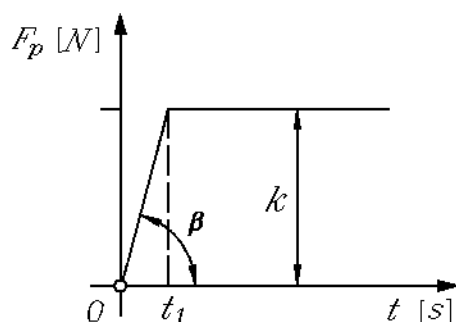
$$F_{\mu} = \mu m_r g \cos \alpha \quad (54)$$

gde je  $\mu$  – koeficijent trenja rakete o lansirnu rampu.

Sila potiska raketnog motara je:

$$\begin{aligned} F_p &= kt, \text{ za } 0 < t \leq t_1, \text{ odnosno} \\ F_p &= \text{const.}, \text{ za } t \geq t_1 \end{aligned} \quad (55)$$

Pri temperaturi vazduha  $t = 15^\circ \text{C}$ , brzina narastanja potisne sile u funkciji vremena je:  $k = 582130,98 \frac{\text{N}}{\text{s}}$ , tj.,  $\beta = 89,99^\circ$  (sl. 8).



Sl. 8 – Promena sile potiska u f-ji vremena

– Varijacija virtualnog rada i generalisana sila  $Q_u$ , pri virtualnom pomeranju  $u$ , iznose:

$$\delta A_u = -F_c \cos \theta \cdot \delta u_B = -F_c \cos \theta \cdot \frac{l_1}{l} \delta u \quad (56)$$

$$Q_u = \frac{\delta A_u}{\delta u} = -F_c \frac{l_1}{l} \cos \theta \quad (57)$$

– Varijacija virtualnog rada i generalisana sila  $Q_\varphi$ , pri virtualnom pomeranju  $\varphi$ , iznose:

$$\delta A_{\varphi_D} = 0 \quad (58)$$

$$Q_{\varphi_D} = \frac{\delta A_{\varphi_D}}{\delta \varphi_D} = 0 \quad (59)$$

### Diferencijalne jednačine kretanja mehaničkog sistema

Za izvođenje diferencijalnih jednačina kretanja koriste se Lagranžove jednačine druge vrste:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = Q_i^N, \quad i = 1, 2, 3. \quad (60)$$

Dobijeni matematički model predstavlja sistem od tri nelinearne, nehomogene diferencijalne jednačine drugog reda. Dati sistem diferencijalnih jednačina je blizak sistemima Ljapunova, a rešava se razlaganjem malih parametara u vidu reda, pri čemu se od običnih diferencijalnih jednačina prelazi na sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina po izabranim promenljivim.

Međutim, navedeni sistem se brže i jednostavnije rešava korišćenjem diskretnih numeričkih metoda, koje se veoma efikasno realizuju na računarima. Za ovakve sisteme diferencijalnih jednačina, preporučuje se metoda Runge-Kuta. Iz tog razloga potrebno je sistem diferencijalnih jednačina uz prethodnu smenu:

$$\begin{aligned} x_1 &= \xi, & x_2 &= \dot{\xi}, & x_3 &= u, & x_4 &= \dot{u}, & x_5 &= \varphi, \\ x_6 &= \dot{\varphi} \end{aligned}$$

napisati u matričnom obliku:

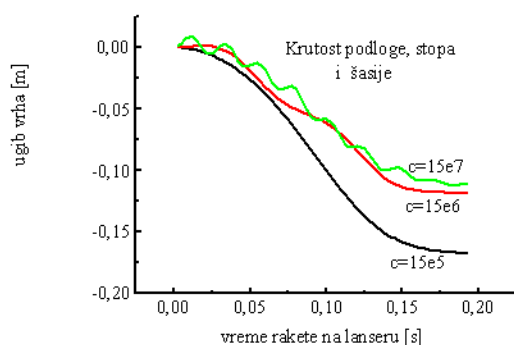
$$\begin{aligned} & \|A(\xi, u, \varphi)\| \begin{Bmatrix} \ddot{\xi} \\ \ddot{u} \\ \ddot{\varphi} \end{Bmatrix} + \|B(\xi, u, \varphi)\| \begin{Bmatrix} \dot{\xi} \\ \dot{u} \\ \dot{\varphi} \end{Bmatrix} + \\ & + \|C(\xi, u, \varphi)\| \begin{Bmatrix} \xi \\ u \\ \varphi \end{Bmatrix} = \{D(\xi, u, \varphi, \dot{\xi}, \dot{u}, \dot{\varphi})\} \end{aligned} \quad (61)$$

Ovaj sistem se transformiše na sistem od šest diferencijalnih jednačina prvog reda, pogodan za numeričko rešavanje programskim paketom FORTRAN. Numerička analiza ovog problema je urađena za konkretnu raketu.

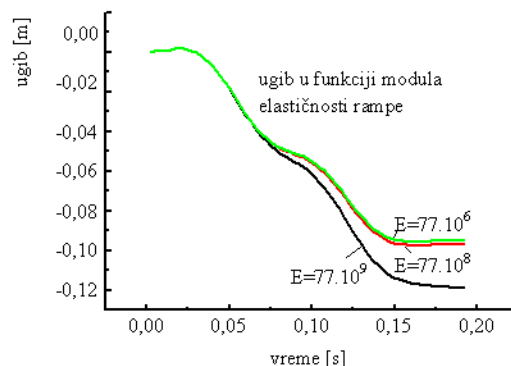
### Numerički rezultati i diskusija

Numerička analiza je vršena za slučaj kada je hidrocilindar zamenjen silom otpora linearno proporcionalnom prvom stepenu brzine tačke B (slika 1).

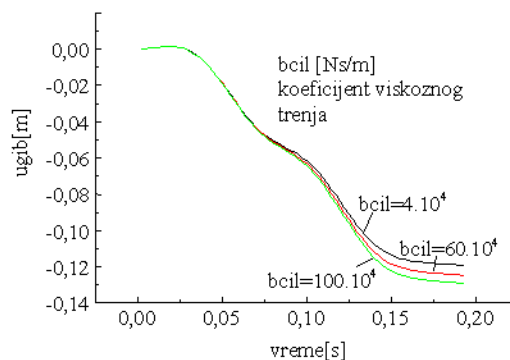
Grafički pregled dobijenih rezultata u ovom radu, kao i nekih rezultata proizašlih iz prethodnih istraživanja autora prikazan je na slikama 9–14:



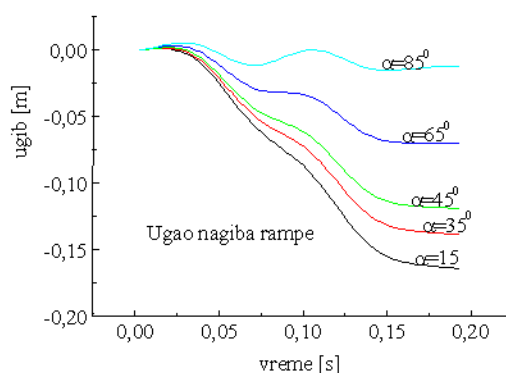
Sl. 9 – Simulacija procesa lansiranja za različite krutosti podloge, stopa i šasije



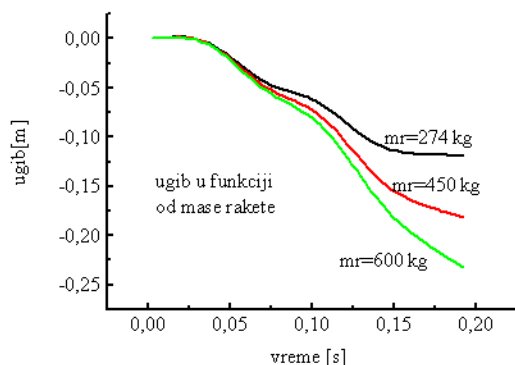
Sl. 10 – Simulacija procesa lansiranja za različite vrednosti modula elastičnosti lansirne rampe



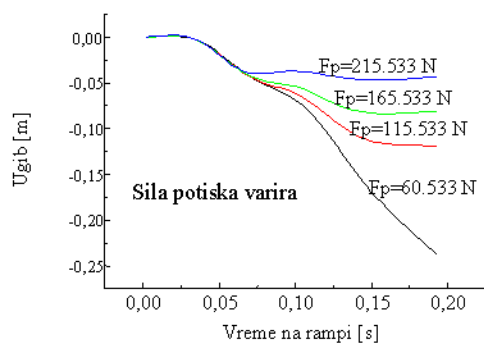
Sl. 11 – Simulacija procesa lansiranja za različite vrednosti koeficijenta viskoznog trenja hidrocilindra



Sl. 12 – Simulacija procesa lansiranja za različite vrednosti ugla nagiba lansirne rampe



Sl. 13 – Simulacija procesa lansiranja za različite vrednosti težine rakete



Sl. 14 – Simulacija procesa lansiranja za različite vrednosti sile potiska raketnog motora

## Zaključak

Ustaljenom procedurom postavljanja diferencijalnih jednačina može se opisati realni mehanički sistem, kao što je raketni lanser, a što je neophodno pri istraživanju i analizi dinamičkih parametara konstrukcije lansirne rampe na vozilu točkašu. Mehaničko-matematičkim modeliranjem i simulacijom na računaru može da se utvrdi uticaj svakog konstrukcionog i eksploatacionog parametra na ponašanje raketne rampe, što je od posebnog značaja u fazi projektovanja ili

modifikacije konstrukcije. To je od velike važnosti, jer se time optimizira konstrukcija rampe i konstrukcija samog raketnog lansera, što je veoma bitno za borbena dejstva.

S obzirom na to da se rešenje matematičkog modela može primeniti u analizi uticaja konkretnih konstrukcijskih parametara na određene osobine lansirne rampe, a time i lansera u celini, iz ovog dela istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- rad daje sveobuhvatnu dinamičku analizu lansirne rampe, kao i analizu uticaja rampe na čitavu konstrukciju lanse-  
ra;

- primenom Lagranžovih jednačina druge vrste, prikazani sistem od tri nelinearne nehomogene jednačine s promenljivim koeficijentima napisan je u matričnom obliku;

- verifikacija teoretskih rezultata izvršena je na konkretnom raketnom lanse-  
ru i lansirnoj rampi;

- jedna od osnovnih postavki dinamičkog modela jeste da posle izletanja rakete s lansirne rampe, raketni sistem prigušeno osciluje, a poremećaji pri startu rakete predstavljaju početne uslove oscilovanja;

- ugao nagiba lansirne rampe ima znatan uticaj na tok procesa oscilovanja raketnog sistema, posebno na ugib rampe, ali u manjoj meri nego krutost oslonca;

- smanjenjem vrednosti koeficijenta viskoznog trenja hidrocilindra povećava se ugib vrha lansirne rampe;

- krutost hidrocilindra u jednom određenom području dominantno utiče na ugib lansirne rampe;

– sila potiska rakete ne utiče znatno na ugib vrha lansirne rampe za razliku od modula elastičnosti lansirne rampe koji bitno utiče na ugib njenog vrha. To upućuje na zaključak da treba ispitati mogućnost primene i drugih materijala za izradu lansirne rampe osim čeličnih (na primer, duraluminijuma, koji ima gustinu, odnosno težinu koja je skoro tri puta manja od čelika, a mehaničke karakteristike koje odgovaraju čeliku srednjeg kvaliteta).

U radu je, takođe, razmatrana mogućnost ugradnje oruđa velikog kalibra na šasiju terenskog vozila 8×8 serijske proizvodnje radi analize utvrđivanja procene prihvatanja opterećenja šasije i sistema za oslanjanje u uslovima gađanja.

– Takođe, razmatrana je mogućnost ugradnje dodatnog elastičnog rama i stopa. Izvršene su odgovarajuće analize primenom metode konačnih elemenata. Rezultati proračuna potvrđeni su eksperimentima.

– U radu su eksperimentalno potvrđeni rezultati dinamičke analize ponašanja elastično oslonjene nadgradnje terenskih vozila pod dejstvom impulsnog opterećenja. Analize su vršene na matematičko-dinamičkom modelu dva sredstva ratne tehnike: raketnog lansera i haubice 155 mm.

#### Literatura:

- [1] Timošenko, S. P., Jang, D. H.: Teorija oscilacija – primene u tehnici, Građevinska knjiga Beograd, 1966.
- [2] Светлицкий, В. А.: Динамика старта летательных аппаратов, Москва „Наука“, Главная редакция физико-математической литературы, 1986.
- [3] Шелмич, Р.: Динамические нагрузки и устойчивость автокрана на упругом основании, „Строительные и дорожные машины“, Москва 4/1996., pp. 32–33.
- [4] Šelmić, R. R., Đurković, P. V.: Dinamička analiza lansirnog sistema, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema IRMES 2000, Naučno-stručni skup, Kotor, 14. i 15. septembar 2000. str. 309–314.
- [5] Šelmić, R., Đurković, V.: Analiza dinamičkih parametara lansirne rampe pri lansiranju letelice, Naučno-tehnički pregled, Vol. L, br. 3/2000, str. 40–44.
- [6] Đurković, P. V., Šelmić, R. R.: Analiza dinamike lansera na mehaničkom modelu sa elastičnim osloncima i deformabilnom rampom, Naučnotehnički pregled, vol. LI, br. 5. pp. 54–63, Beograd, 2001.
- [7] Šelmić, R., Đurković, V.: Analiza dinamičke stabilnosti raketnog lansera, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema – IRMES, Jahorina 2002, Zbornik radova, str. 505–510.
- [8] Mijailović, R., Šelmić, R. R., Đurković, P. V.: Analiza parametara uticajnih na dinamičku stabilnost raketnog lansera, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema IRMES 2004, Naučno-stručni skup, Kragujevac, 16. i 17. septembar 2004, str. 221–226.
- [9] Tasić, M., Đurković, P. V., Pantić, M.: Uticaj impulsnog opterećenja duž podužne ose na oscilovanje nosećeg rama vozila, Asocijacija za dizajn, elemente i konstrukcije ADEKO, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema IRMES 2006, Naučno-stručni skup, Banja Luka 21. i 22. septembar 2006, str. 287–292.
- [10] Šelmić, R. R., Đurković, P. V.: O linearizaciji nelinearnih diferencijalnih jednačina kretanja mehaničkih sistema, Asocijacija za dizajn, elemente i konstrukcije ADEKO, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema IRMES 2006, Naučno-stručni skup, Banja Luka 21. i 22. septembar 2006, str. 107–112.
- [11] Tasić, M., Đurković, P. V., Pantić, M.: Eksperimentalno utvrđivanje pomeranja elastično oslonjenog rama vozila u uslovima impulsnog opterećenja, XXXIII simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM – OP – IS 2006, Naučno-stručni skup, Banja Koviljača od 03. do 06. oktobra 2006, str. 633–636.
- [12] Tasić, M., Pantić, M., Đurković, P. V.: Analiza elastično oslonjenog rama vozila sa nadgradnjom, JUMV – Jugoslovensko društvo za motore i vozila, međunarodni naučno-stručni skup sa izložbom, XXI nauka i motorna vozila, Beograd od 23. do 25. aprila 2007.

**Docent dr Vojislav Batinić,**  
dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## ODREĐIVANJE SOPSTVENIH UČESTANOSTI I OBLIKA OSCILOVANJA DELOVA PLANETARNOG PRENOSNIKA PRIMENOM METODE KONAČNIH ELEMENATA

UDC: 621.83

### *Rezime:*

*U radu je prikazan metodološki pristup određivanju sopstvenih učestanosti i vibracionih modova delova planetarnog prenosnika korišćenjem metode konačnih elemenata. Modalnom analizom ostvarenom primenom metode konačnih elemenata, po pravilu, dobija se veliki broj modalnih oblika (frekvencija) sopstvenog oscilovanja. U realnim uslovima pobuđuju se samo neki od njih. Glavni cilj ovog rada jeste određivanje sopstvenih učestanosti da bi se sagledale konstrukcione mere i rešenja za sprečavanje modalnog oscilovanja.*

*Ključne reči: planetarni prenosnik, vibracije, sopstvene učestanosti, vibracioni modovi.*

---

### DETERMINING OF NATURAL FREQUENCIES AND FORMS OF OSCILLATION OF THE PARTS OF PLANETARY GEAR TRAINS USING FINITE ELEMENT METHOD

#### *Summary:*

*This paper presents methodological approach to calculation of natural frequencies and modal shapes by using of finite elements metod. Modal anaysts realised by application of finite elements method, results by the rule, in a large number of modal shapes (frequencies) of natural oscillation. In real conditions only some of them are excited. The main purpose of this paper is calculation of natural frequencies that we can recognize design effort and solutions for hindering of modal oscillation.*

*Key words: planetary gear train, vibrations, natural frequencies, vibration modes.*

---

#### **Uvod**

Vibracije mašinskih sistema su realna i nepovoljna pojava prisutna kod svih mašina, kao posledica dinamičkog stanja u kojem rade. U fazi projektovanja mašine projektant modeliranjem i konstruisanjem traži optimalni tehnički princip rada, pri čemu, pored drugih, rešava i problem vibracija.

Prenosnici koji se primenjuju u vazduhoplovstvu, automobilskoj industriji, brodskim, transportnim i drugim sistemima, a koriste planetarne setove, mogu

imati neželjeno dinamičko ponašanje s obzirom na buku i vibracije.

Vibracije i buku prenosnika snage pobuđuju sprege zubaca zupčanika, netačnost izrade elemenata, netačnost montaže, neravnomeran prenos snage po granama, obrtni momenti koji se dovode i odvođe preko prenosnika i dr. Intenzitet i frekvencija pobude zavise od parametara ozubljenja, opterećenja i tačnosti geometrije. Pobuda se ostvaruje promenom deformacija zubaca u sprezi i stvaranjem inercijalnih sila, kao i dejstvom sila sudara zubaca pri ulaženju u spregu. Habanje

i druga oštećenja, u toku rada, dovode do pojačavanja pobude. Dinamička opterećenja u setovima planetarnih prenosnika uslovljena su, osim navedenim uzrocima, još i neravnomernom raspodelom opterećenja na satelite, elastičnim deformacijama nosača satelita, vezivanjem centralnog sunčanog zupčanika i dr.

Za pravilnu ocenu dinamičkog ponašanja zupčastih prenosnika presudan uticaj ima poznavanje sopstvenih učestanosti i sopstvenih oblika oscilovanja. U radu je pokazan jedan primer rešenja kod nekoliko delova planetarnog prenosnika. Određivanje sopstvenih učestanosti izvršeno je primenom kompjuterskog paketa programa CATIA.

### O metodi konačnih elemenata

Metoda konačnih elemenata (MKE) savremena je numerička metoda koja nalazi sve veću primenu u projektovanju i proračunima mašinskih delova i konstrukcija uz primenu računara. Za razliku od drugih numeričkih metoda koje se zasnivaju na matematičkoj diskretizaciji jednačina graničnih problema, MKE se zasniva na fizičkoj diskretizaciji razmatranog kontinuuma delova konačnih dimenzija i jednostavnog oblika koji se nazivaju konačni elementi.

U fizičkom smislu, primenom MKE proučavano deformabilno telo, tj. kontinuum sa beskonačno mnogo stepeni slobode zamenjuje se diskretnim modelom međusobno povezanih konačnih elemenata sa konačnim brojem stepeni slobode kretanja. Matematički gledano, umesto sistema diferencijalnih jednačina koje definišu stanje ravnoteže celokupnog modela, primenom MKE dobija se sistem običnih algebarskih jednačina.

Pri diskretizaciji kontinuuma može se koristiti jedan tip konačnih elemenata ili kombinacija više tipova, kada se mora voditi računa o njihovom slaganju. Svi konačni elementi povezani su zajedničkim čvorovima, tako da čine prvobitnu konstrukciju. Usled postojanja velike raznolikosti problema, konstruktivnih oblika, geometrijskih veličina i uticaja kod mašinskih konstrukcija, do danas je razvijen veliki broj tipova (vrsta) konačnih elemenata, koji se razlikuju međusobno po obliku i po funkcijama oblika, odnosno interpolacionim funkcijama kojima se aproksimira polje promenljivih u konačnom elementu. Pri tome se, kao specijalna vrsta, izdvajaju izoparametarski konačni elementi, kod kojih se koriste isti čvorovi i iste interpolacione funkcije za aproksimaciju geometrije elementa i osnovnih nepoznatih u polju konačnog elementa, kao i kontakti („gap“) elementi koji se koriste pri modeliranju kontaktnih uslova kojih, takođe, ima više tipova, u zavisnosti od načina simuliranja kontakta.

Pri proučavanju nekog deformabilnog tela metodom konačnih elemenata, osnovni zadatak je izbor diskretnog modela koji najbolje aproksimira stanje deformacije i napona i granične uslove. Izbor diskretnog modela sastoji se u izboru tipa konačnog elementa koji se koristi (jedan ili više različitih), izboru njihovih posebnih osobina (ako postoje) i u izboru gustine mreže konačnih elemenata. Praktično, ne postoji egzaktan kriterijum za izbor najboljeg diskretnog modela koji obezbeđuje najveću tačnost pri rešavanju tačno definisanog zadatka. Zato je, pored poznavanja teorije konačnih elemenata, potrebno i široko inženjersko iskustvo i kvalitativno poznavanje stanja napona i stanja deformacija kod razmatranog mašinskog dela ili konstrukcije.

Na osnovu izabranog tipa konačnog elementa, svojstva materijala i drugih veličina projektovanog problema, u metodi konačnih elemenata postavljaju se veze između osnovnih veličina i formira se osnovna jednačina konačnog elementa. Grupisanjem osnovnih jednačina dobija se jednačina konstrukcije koja daje sistem linearnih jednačina za izračunavanje nepoznatih veličina.

Metoda konačnih elemenata zasniva se na postavkama mehanike kontinuuma (mehanike neprekidnih sredina). Osnovne postavke mehanike kontinuuma su opštepoznate i mogu se naći u različitoj literaturi. Ovde će se ukratko dati formulacija osnovnih jednačina MKE, opis korišćenih elemenata i postupak modeliranja kontaktnih uslova.

#### Osnovne jednačine metode konačnih elemenata

Za prikaz osnovnih jednačina u metodi konačnih elemenata koriste se varijacione metode. U zavisnosti od primenjene varijacione metode razlikuju se tri osnovna vida metode konačnih elemenata: metoda pomeranja ili metoda deformacije, metoda sila i mešovita metoda.

U metodi pomeranja ili metodi deformacija koristi se princip o minimumu potencijalne energije. Ova metoda konačnih elemenata primenjuje se kada su pomeranja ili deformacije osnovne nepoznate u čvor-nim tačkama mreže konačnih elemenata. Metoda sila zasnovana je na principu o minimumu komplementarne energije i koristi se kada su statičke veličine (unutrašnje sile, komponente napona i sl.) usvojene za osnovne nepoznate. Za mešovitu metodu konačnih elemenata, koja se koristi kada se

kao osnovne nepoznate javljaju delimično kinematičke, a delimično statičke veličine, primenjuje se Reissnerov varijacioni princip. Ovde će se detaljnije razmatrati metoda deformacije koja je korišćena u okviru numeričkog eksperimenta.

Osnovni zadatak u metodi deformacije predstavlja određivanje funkcija pomeranja, odnosno određivanje vrednosti pomeranja čvornih tačaka mreže konačnih elemenata. Kada je konstrukcija podeljena na konačne elemente međusobno povezane zajedničkim čvornim tačkama, pomeranja u bilo kojoj tački jednog konačnog elementa mogu da se odrede u funkciji pomeranja čvorova elemenata. Pri tome se usvaja da su pomeranja, deformacije i naponi neprekidne funkcije koordinata tačaka elemenata. Vektor pomeranja tačke jednog konačnog elementa, čije su komponente takođe neprekidne funkcije koordinata, ima oblik:

$$\{s\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1(x, y, z) \\ f_2(x, y, z) \\ f_3(x, y, z) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Prema tome, problem se svodi na određivanje funkcija  $f_1$ ,  $f_2$  i  $f_3$ , tako da zadovolje ravnotežne i konturne uslove problema, odnosno na određivanje vektora osnovnih parametara pomeranja jednog konačnog elementa  $\{S\}$ :

$$\{S\} = \begin{Bmatrix} \{S\}_1 \\ \{S\}_2 \\ \{S\}_3 \\ \vdots \\ \{S\}_K \end{Bmatrix} \quad (2)$$



pri čemu su  $\{S\}_k = \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix}_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$  –

vektori pomeranja čvorova elemenata.

Vektor pomeranja neke tačke u polju razmatranog konačnog elementa, dat izrazom (2), može da se odredi na osnovu poznatog vektora  $\{S\}$  i na osnovu usvojenih interpolacionih funkcija  $b_i$  kojima se vrši linearna interpolacija pomeranja i koje, najčešće, predstavljaju polinome razvijene za ove namene, tj.:

$$\{s\} = [N]\{S\} \quad (3)$$

pri čemu je  $[N]$  – matrica interpolacionih funkcija.

Na sličan način, preko interpolacionih funkcija, postavlja se i veza između koordinata neke tačke u polju elementa i koordinata njegovih čvorova.

Matrice tenzora deformacije  $\{\varepsilon\}$  i tenzora napona  $\{\sigma\}$ , u funkciji od vektora čvornih pomeranja  $\{S\}$  posmatranog konačnog elementa, izračunavaju se na osnovu izraza:

$$\{\varepsilon\} = [d]\{s\} = [d][N]\{S\} = [p]\{S\} \quad (4)$$

i izraza:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} + \{\sigma^t\} = [D][p]\{S\} + \{\sigma^t\} \quad (5)$$

pri čemu je:

$$[p] = [d][N],$$

$[d]$  – diferencijalni operator,

$[D]$  – matrica krutosti definisana u teoriji elastičnosti,

$[N]$  – interpolaciona matrica,

$\{\sigma^t\}$  – matrica tenzora napona od temperaturskih naprezanja.

### Osnovna jednačina konačnog elementa i ukupne strukture

Za određivanje vektora čvornih pomeranja jednog konačnog elementa  $\{S\}$  koristi se princip virtualnog rada, koji je prikazan u obliku:

$$(\delta u)\{F\} = (\delta \varepsilon)\{\sigma\} dV \quad (6)$$

pri čemu je  $\{F\}$  – vektor spoljašnjih sila u čvorovima elementa.

Postavljanjem jednačina za virtualni rad ovih spoljašnjih sila i virtualni deformacioni rad, odnosno virtualni elastični potencijal unutrašnjih sila konačnog elementa i izjednačavanjem ova dva virtualna rada, dobija se jednačina za određivanje vektora  $\{F\}$ :

$$\{F\} = \int_V [p]^T [D][p]\{S\} dV + \int_V [p]^T \{\sigma^t\} dV \quad (7)$$

Ako se uvedu oznake:

$$[K^e] = \int_V [p]^T [D][p] dV \quad \text{i}$$

$$\{F^t\} = \int_V [p]^T \{\sigma^t\} dV \quad (8)$$

izraz (7) transformiše se u oblik:

$$\{F\} = [K^e]\{S\} + \{F^i\} \quad (9)$$

Kada se uticaji temperaturnih naprezanja zanemare dobija se veza između čvornih pomeranja i čvornih sila, koja je u MKE poznata kao osnovna jednačina konačnog elementa:

$$\{F\} = [K^e]\{S\} \quad (10)$$

U ovim izrazima matrica  $[K^e]$  predstavlja matricu krutosti konačnog elementa, čiji elementi zavise od fizičkih karakteristika materijala, karakteristika izabranog tipa konačnog elementa i izabranih interpolacionih funkcija.

Sjedinjavanjem osnovnih jednačina, oblika (10), svih konačnih elemenata koji čine mrežu tela ili konstrukcije dobija se jednačina konstrukcije u obliku:

$$\{F\} = [K]\{S\} \quad (11)$$

pri čemu je:

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} \{F^{(1)}\} \\ \{F^{(2)}\} \\ \vdots \\ \{F^{(n)}\} \end{Bmatrix}; \quad \{S\} = \begin{Bmatrix} \{S^{(1)}\} \\ \{S^{(2)}\} \\ \vdots \\ \{S^{(n)}\} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

U ovim vektorima  $n$  predstavlja ukupan broj čvorova konstrukcije, koji je jednak zbiru ukupnog broja čvorova u mreži konačnih elemenata i broja oslonaca konstrukcije. Broj elemenata svake podmatrice u vektorima (12) jednak je

broju stepeni slobode kretanja čvorova konačnog elementa, pa vektori  $\{F\}$  i  $\{S\}$  imaju  $p \times n$  elemenata ( $p$  – broj stepeni slobode kretanja,  $n$  – broj čvorova).

Matrica krutosti  $[K]$  sastavljena je od  $n \times n$  podmatrica  $K_{rs}$  i može se napisati u skraćenom obliku kao:

$$[K] = \sum_e K_{ij}^{(e)}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad (e) = 1, 2, \dots, m$$

Određena čvorna pomeranja su unapred poznata i određena osloncima konstrukcije. Poznata čvorna pomeranja predstavljaju granične uslove konstrukcije. Kada se ovi granični uslovi uvrste u jednačinu konstrukcije (11) određeni broj jednačina se eliminiše, čime se smanjuje ukupan broj stepeni slobode sistema.

Spoljašnje sile koje opterećuju konstrukciju unose se u jednačinu konstrukcije preko komponenata sila u pravcima osa koordinatnog sistema u čvornim tačkama.

#### Osnovna dinamička jednačina konačnog elementa i ukupne strukture

U dinamičkim uslovima opterećenja, tj. kada je vektor čvornih sila za bilo koji konačni element ( $e$ ) vremenska funkcija, na sam konačni element deluju još inercijalne sile i sile prigušenja.

Specifična inercijalna sila daje se preko

$$-\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \{s\} \quad (13)$$

pri čemu su:

$\{s\}$  – funkcija pomeranja (3), koja sada zavisi i od vremenske koord.  $t$ , i  
 $\rho$  – gustina ili masa jedinice zapremine konačnog elementa.

Specifična sila prigušenja, u slučaju viskoznog trenja je:

$$-\beta \frac{\partial}{\partial t} \{s\} \quad (14)$$

pri čemu je  $\beta$  – koeficijent proporcionalnosti.

Ako se izjednače radovi spoljašnjih i unutrašnjih sila pri virtualnom pomeranju čvorova dobija se:

$$\begin{aligned} (d\{S\}^{(e)})^T \{F(t)\}^{(e)} &= \int_V (d\{s\})^T \rho \frac{\partial}{\partial t^2} \{s\} dV - \\ &- \int_V (d\{s\})^T \beta \frac{\partial}{\partial t^2} \{s\} dV - \int_V (d\{e\})^T \{\sigma\} dV \end{aligned} \quad (15)$$

pri čemu su:  $\int_V (d\{s\})^T \rho \frac{\partial}{\partial t^2} \{s\} dV$  – rad inercijalnih sila,  $\int_V (d\{s\})^T \beta \frac{\partial}{\partial t^2} \{s\} dV$  – rad sila prigušenja, i  $\int_V (d\{e\})^T \{\sigma\} dV$  – specifični unutrašnji rad.

Sređivanjem jednačine (15) dobija se osnovna dinamička jednačina konačnog elementa:

$$\begin{aligned} [m]^{(e)} \frac{\partial}{\partial t^2} \{S\}^{(e)} + [b]^{(e)} \frac{\partial}{\partial t^2} \{S\}^{(e)} + \\ + [k]^{(e)} \{S\}^{(e)} = \{F(t)\}^{(e)} \end{aligned} \quad (16)$$

pri čemu su:

$$[m]^{(e)} = \int_V [N]^T \rho [N] dV - \text{matrica inercije}$$

konačnog elementa, i

$$[b]^{(e)} = \int_V [N]^T \beta [N] dV - \text{matrica priguše-}$$

nja konačnog elementa.

Šema sastavljanja ukupne inercione matrice i matrice prigušenja ista je kao i za ukupnu matricu krutosti, tj.:

$$[M] = \sum_{(e)} [m_{ij}]^{(e)}, [B] = \sum_{(e)} [b_{ij}]^{(e)} \quad (17)$$

Osnovna dinamička jednačina za ukupnu strukturu diskretizovanu konačnim elementima je:

$$[M]\{\ddot{S}\} + [B]\{\dot{S}\} + [K]\{S\} = \{F(t)\} \quad (18)$$

pri čemu su:

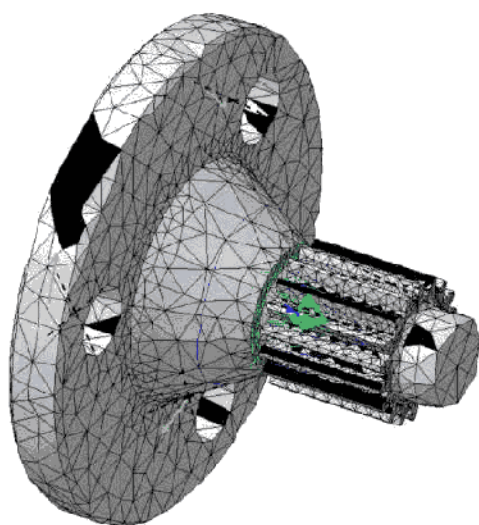
$$\{\ddot{S}\} = \frac{\partial}{\partial t^2} \{S\}, \quad \{\dot{S}\} = \frac{\partial}{\partial t} \{S\} - \text{vektori ubr-}$$

zanja i brzina čvornih tačaka strukture.

### Određivanje sopstvenih učestanosti delova planetarnog seta

Za rad planetarnih prenosnika bitne su sopstvene učestanosti ukupne strukture i isto tako sopstvene učestanosti pojedinih delova prenosnika. Ovde su objekti za analizu sopstvenih učestanosti delovi planetarnog seta, i to: nosač satelita, satelit i venačni zupčanik.

Prostorni modeli delova planetarnog seta se diskretizuju korišćenjem 3D-tetraedralnih četvoročvornih konačnih elemenata sa 12 stepeni slobode (po tri translacije u svakom čvoru). Na slici 1 prikazan je prostorni model nosača satelita, diskretizovan konačnim elementima.



Sl. 1 – Nosač satelita diskretizovan konačnim elementima

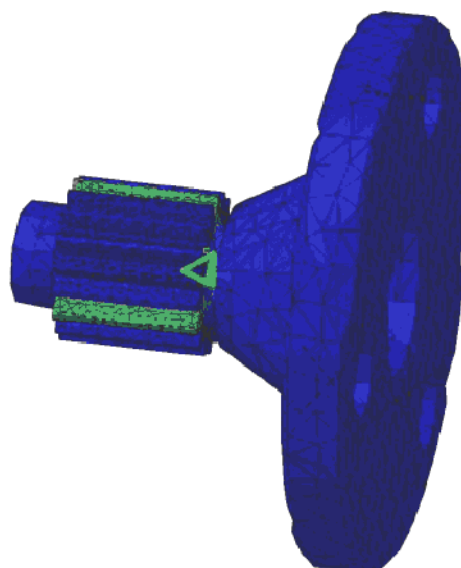
Određivanje sopstvenih učestanosti izvršeno je primenom kompjuterskog paketa programa CATIA. Pre određivanja učestanosti potrebno je izvršiti statičku analizu, tj. odrediti napone i deformacije za radno opterećenje nosača satelita. Pri tome su realne veze aproksimirane određenim „surface slider“ elementima. Nakon toga pobuda je izvršena pomoću „belog šuma“ koji obuhvata širok spektar frekvencija upravo zato da bi mogao da pobudi sve sopstvene frekvencije nosača satelita.

Na osnovu pobudnog spektra frekvencija izračunat je neki konačan broj sopstvenih učestanosti nosača satelita, a za analizu je uzeto prvih deset, čijim uspostavljanjem se bitnije utiče na dinamičko ponašanje sistema ili tela. Sopstvene učestanosti prikazane su u tabeli 1.

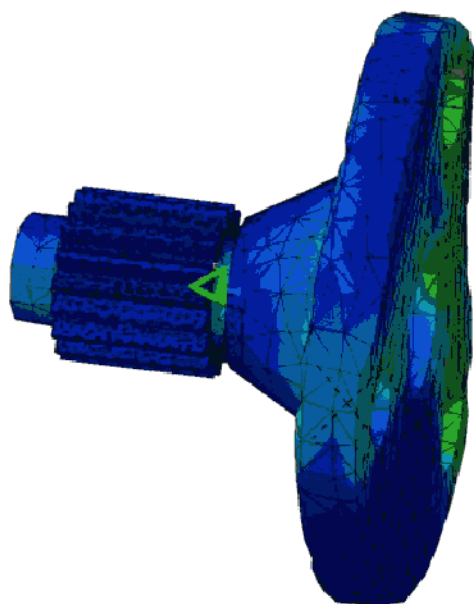
Tabela 1

|                    | Mod 1 | Mod 2 | Mod 3 | Mod 4 | Mod 5 | Mod 6 | Mod 7 | Mod 8 | Mod 9 | Mod 10 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $\Omega/\text{Hz}$ | 442   | 6664  | 6853  | 6942  | 8661  | 8691  | 9465  | 11927 | 12190 | 13707  |

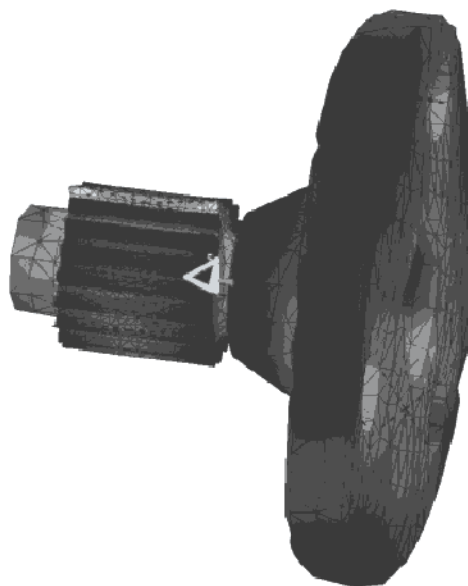
Svakoj sopstvenoj učestanosti odgovara sopstveni vektor, odnosno oblik oscilovanja, koji predstavlja kombinaciju pomeranja čvornih tačaka konačnih elemenata u funkciji njihovih mogućih pomeranja. Na slikama 2 do 5 prikazani su oblici oscilovanja nosača satelita za pripadajuće im frekvencije.



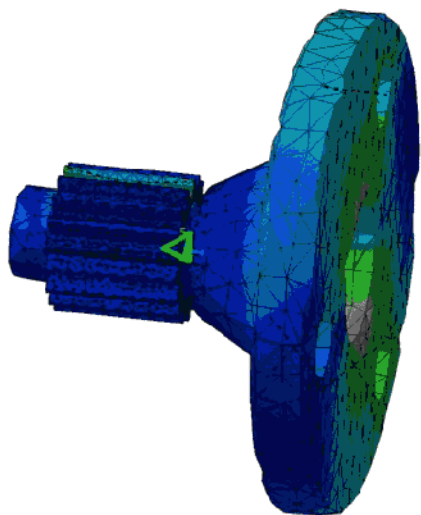
Sl. 2 – Prvi oblik oscilovanja nosača satelita pri  $f_1 = 442 \text{ Hz}$



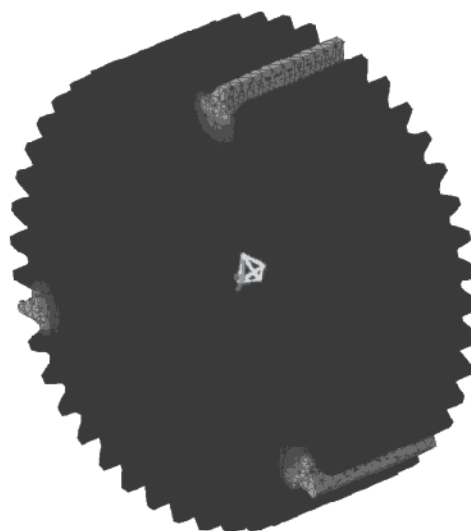
Sl. 3 – Treći oblik oscilovanja nosača satelita pri  $f_3 = 6853 \text{ Hz}$



Sl. 5 – Deseti oblik oscilovanja nosača satelita pri  $f_{10} = 13707 \text{ Hz}$



Sl. 4 – Šesti oblik oscilovanja nosača satelita pri  $f_6 = 8691 \text{ Hz}$



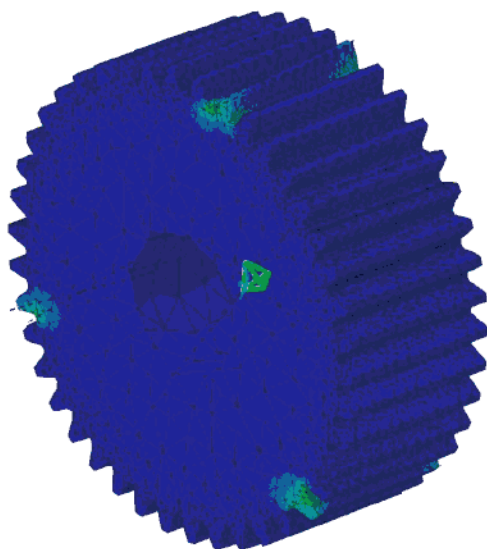
Sl. 6 – Prvi oblik oscilovanja satelita pri  $f_1 = 671 \text{ Hz}$

Na osnovu pobudnog spektra frekvencija izračunat je neki konačan broj sopstvenih učestanosti satelita, a za analizu je uzeto prvih deset, čijim uspostavljanjem se bitnije utiče na dinamičko ponašanje sistema ili tela. Sopstvene učestanosti prikazane su u tabeli 2.

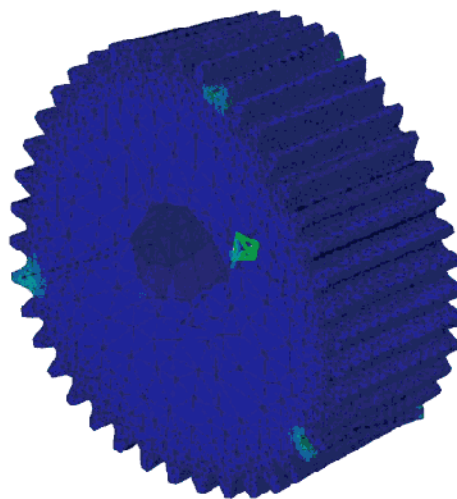
Tabela 2

|                    | Mod 1 | Mod 2 | Mod 3 | Mod 4 | Mod 5 | Mod 6 | Mod 7 | Mod 8 | Mod 9 | Mod 10 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $\Omega/\text{Hz}$ | 671   | 4489  | 11758 | 12194 | 15121 | 15184 | 16151 | 16184 | 16912 | 17000  |

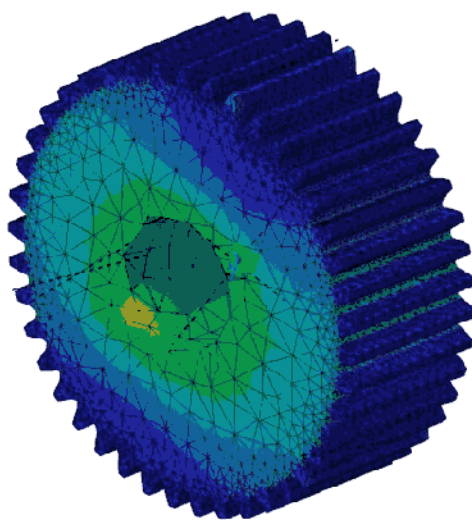
Na slikama 6 do 9 prikazani su oblici oscilovanja satelita za pripadajuće im frekvencije.



Sl. 7 – Treći oblik oscilovanja satelita pri  $f_3 = 11758 \text{ Hz}$



Sl. 8 – Šesti oblik oscilovanja satelita pri  $f_6 = 15184 \text{ Hz}$



Sl. 9 – Deseti oblik oscilovanja satelita pri  $f_{10} = 17000 \text{ Hz}$

Na osnovu pobudnog spektra frekvencija izračunat je neki konačan broj sopstvenih učestanosti venačnog zupčani-ka, a za analizu je uzeto prvih deset, čijim uspostavljanjem se bitnije utiče na dinamičko ponašanje sistema ili tela. Sopstvene učestanosti prikazane su u tabeli 3.

Tabela 3

|                    | Mod 1 | Mod 2 | Mod 3 | Mod 4 | Mod 5 | Mod 6 | Mod 7 | Mod 8 | Mod 9 | Mod 10 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $\Omega/\text{Hz}$ | 1470  | 1512  | 2743  | 2864  | 3162  | 3463  | 3648  | 3724  | 4233  | 4482   |

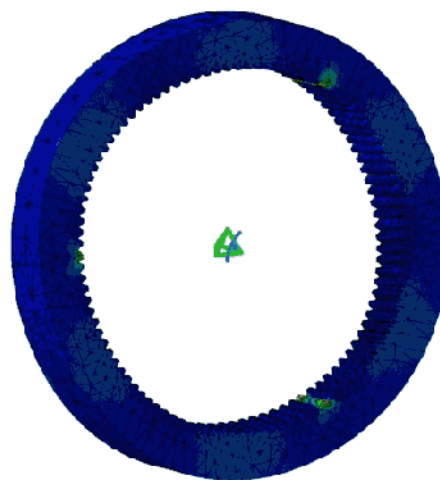
Oblici oscilovanja venačnog zupčnika za pripadajuće im frekvencije prikazani su na slikama 10 do 13.



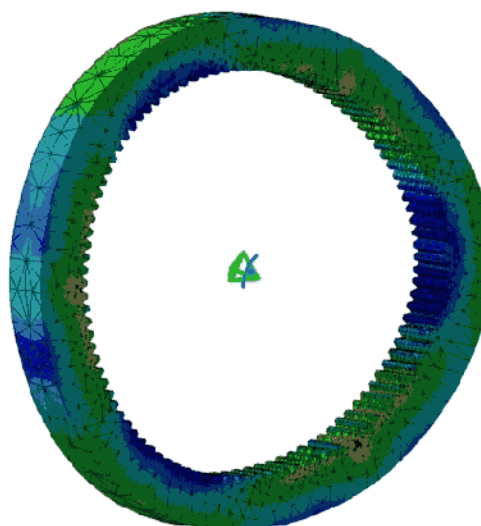
Sl. 10 – Prvi oblik oscilovanja venčanika pri  $f_1 = 1470 \text{ Hz}$



Sl. 11 – Treći oblik oscilovanja venčanika pri  $f_3 = 2743 \text{ Hz}$



Sl. 12 – Šesti oblik oscilovanja venčanika pri  $f_6 = 3463 \text{ Hz}$



Sl. 13 – Deseti oblik oscilovanja venčanika pri  $f_{10} = 4482 \text{ Hz}$

### Zaključak

Na osnovu prikazanih modalnih oblika delova planetarnog seta može se zaključiti:

- pri određenoj frekvenciji struktura se raspodeli na određeni broj zona koje osciluju svaka za sebe istom frekvencijom;

- broj modalnih zona povećava se sa povećanjem sopstvene učestanosti;
- na modalnim oblicima oscilovanja za pripadajuće im frekvencije jasno su istaknute zone sa povećanim naponima i deformacijama u kojima može doći do oštećenja strukture;
- primetna je bliskost prve i druge sopstvene učestanosti venačnog zupčanka, posmatranog seta, što bi promenom nekog od konstruktivnih elemenata trebalo da se izbegne.

*Literatura:*

- [1] Colbourne, J. R.: The geometric design of internal gear pairs, AGMA Technical Paper, 87 FTM2, 1987.
- [2] Parker, R. G., Agashe, V., Vijayakar, S. M.: Dynamic response of a planetary gear system using a finite – element contact mechanics model, ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 122, pp. 304–311, 2000.
- [3] Kahraman, A.: Natural Modes of Planetary Gear Trains, Journal of Sound and Vibration, Vol. 173(1), pp. 125–130, 1994.
- [4] Kahraman, A.: Free Torsional Vibration Characteristics of Compound Planetary Gear Sets, Mechanism and Machine Theory, Vol. 36, pp. 953–971, 2001.
- [5] Sekulović, M.: Metod konačnih elemenata, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.



**Docent dr Mirko Borisov,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vojnografski institut,  
Beograd

## NOVA TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA REŠENJA U KARTOGRAFSKOM IZDAVAŠTVU

UDC: 007 : 528.9] : 004

### *Rezime:*

*U radu se prezentuju nova tehničko-tehnološka rešenja pri formiranju baze podataka o prostoru iz koje se direktno preuzimaju podaci u izradi topografskih karata. Takođe, iznose se nove mogućnosti kartografsko-reprodukcijске pripreme za štampu i umnožavanje karata. U radu su korišćeni softverski paketi: Microstation, ArcGIS i PS/M. Brojni podaci koji se odnose na geoprostor, a koji se mogu dizajnirati GIS tehnologijom, potvrđuju neophodnost i svrsishodnost primene savremene računarske opreme u izradi i korišćenju baze podataka o prostoru za kartografsko izdavaštvo.*

*Ključne reči: kartografija, GIS tehnologija, baza podataka, topografska karta, izdavaštvo.*

### NEW TECHNICK AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN CARTOGRAPHIC PUBLISHING

#### *Summary:*

*The paper presents the new method of data processing and designing a database for the needs of capability producing topographic maps. Also it presents the new possibilities of the cartographic-reproduction preparing of data for printing and publishing. The program packages Microstation, ArcGIS and PS/M were used. Numerous information related to the geospatial, which can be quickly obtained by using GIS technology, confirms the indispensability and justification of applying modern computer equipment, as well as of designing geodatabase in map publishing.*

*Key words: cartography, GIS technology, database, topographic map, publishing.*

#### **Uvod**

Primarni cilj kartografskog izdavaštva jeste postizanje visokog kvaliteta topografskih karata (TK) kao nosioca informacija o prostoru za krajnjeg korisnika. Tehnike potrebne za klasičnu kartografsku pripremu za štampu nisu osnovni preduslov u dizajnu softvera za geografske informacione sisteme (GIS). U softveru za GIS primarno je razvijen alat za prikupljanje, organizovanje, upravljanje i analizu geoprostornih podataka (GPP), kao i prikaz rezultata upita nad podacima.

U GIS okruženjima podržano je korišćenje simbologije koje je prevashodno namenjeno pregledu na ekranu, kao i štampi rezultata analize prostora izvršene sa određenim ciljem i u odnosu na selektovani sadržaj. Međutim, ovakva simbologija ima privremeni karakter, a jasnoća sadržaja može biti potkrepljena podacima iz baze podataka, što umnogome olakšava komunikaciju korisnika sa kartom. Ovakav pristup potpuno odgovara brzim i efikasnim ciljevima analize GPP u digitalnom obliku. Istovremeno, to ne znači da prestaje potreba za kartografskom pripremom za štampu, odnosno papirnim izdanjem karte.

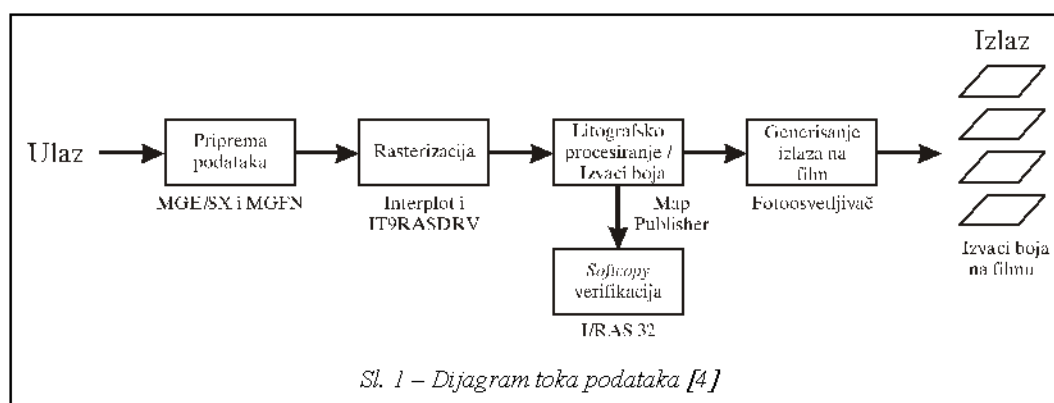
Klasične karte, nasuprot digitalnoj vrsti prikaza, predstavljaju dokument ograničen razmerom i sadržajem, pri čemu treba da zadovolje kriterijume kvaliteta i likovne izražajnosti u što većoj meri. Tradicionalna kartografska priprema za štampu podrazumeva primenu određenih metoda i tehnika radi postizanja ciljeva vizuelizacije i komunikacije korisnika sa kartom. To su, pre svega, prioriteti prikaza, transparentnost određenog sadržaja, maskiranje prema određenom kriterijumu, određivanje boja i druge specifikacije.

#### Prethodna rešenja u kartografskom izdavaštvu

Za potrebe pripreme za štampu, sa pojavom rasterskih plotera pojavljuju se odgovarajući softverski paketi. Važno je napomenuti da nijedan od njih nije mogao rešiti sve probleme pripreme za štampu bez dodatnog programiranja. Jedan od najčešće primenjivanih softverskih paketa bio je softverski paket američke kompanije Intergraph Map Production System (IMPS). Pojavio se kao svojevrsan integrisani softversko-hardverski sistem za kartografsko izdavaštvo. Si-

stem je prihvatao različite tipove ulaznih podataka i generisao kolor-separirane, ekranizovane, kompozitne rasterske fajlove koji su mogli da budu plotirani posebnim uređajem na film ili štampani kao celokupan sadržaj karte na papir. Izlaz sa tog uređaja bio je set kvalitetno urađenih filmova spremnih da se od njih izrade štamparske forme.

Sistem IMPS obuhvatao je funkcije za prikupljanje podataka, kontrolu kvaliteta podataka, kompoziciju, simbolizaciju i izlaz na različitim hardcopy uređajima. Sistem se bazira na primeni vektorske grafike kreirane u softverskom okruženju Bentley, odnosno softveru MicroStation. Fajlovi sa vektorskom grafikom se rasterizuju na odvojene „lejere“ i svaki predstavlja specifičnu simbolesku klasu. Korisnik može opcionalno da organizuje podatke u GIS sistem za kodiranje karakteristika ili dodelu atributa. Modularno GIS okruženje (Microstation GIS Environment – MGE) kompanije Intergraph obezbeđuje integrisane module za prikupljanje karakteristika podataka i kartografsku pripremu. Sam proces pripreme za štampu sastoji se od šest osnovnih celina (sl. 1).



Unos podataka predstavlja transfer digitalnih kartografskih podataka u MicroStation dizajn fajlove (vektor), kao i unos vektor/atribut baza podataka i rasterskih podataka u format koji je kompatibilan sa softverskim okruženjem MGE Map Publisherom.

Najuobičajniji izvor podataka za kartografsku pripremu u MGE Map Publisher su vektorski kartografski podaci, koji su sadržani u jednom ili više MicroStation dizajn-fajlova ili, eventualno, atributska baza podataka. Za vreme pripreme podataka dizajn fajlovi se organizuju u simboličke klase, koje su set karakteristika karata i imaju istu litografsku specifikaciju. Pri tom, organizacija podataka može da obuhvati smeštanje svake simboličke klase na odvojeni nivo dizajn-fajla. Ovaj proces je poznat i pod nazivom definisanje zasebnih slojeva.

Rasterizacija je konverzija vektorskih podataka, u dizajn-fajlu (fajlovima), u format (run-length-encoded – RLE) rasterskih fajlova. Jedan rasterski fajl kreira se za svaku simboličku klasu. Najčešće je za kreiranje svake rasterske klase neophodno dodatno programiranje ili definisanje tzv. pen tabela, kako bi se definisali parametri rastriranja (tipovi linija, puni ili prazni poligoni, širina linija i sl.). Tabele Pen integrisane su u softveru MicroStation.

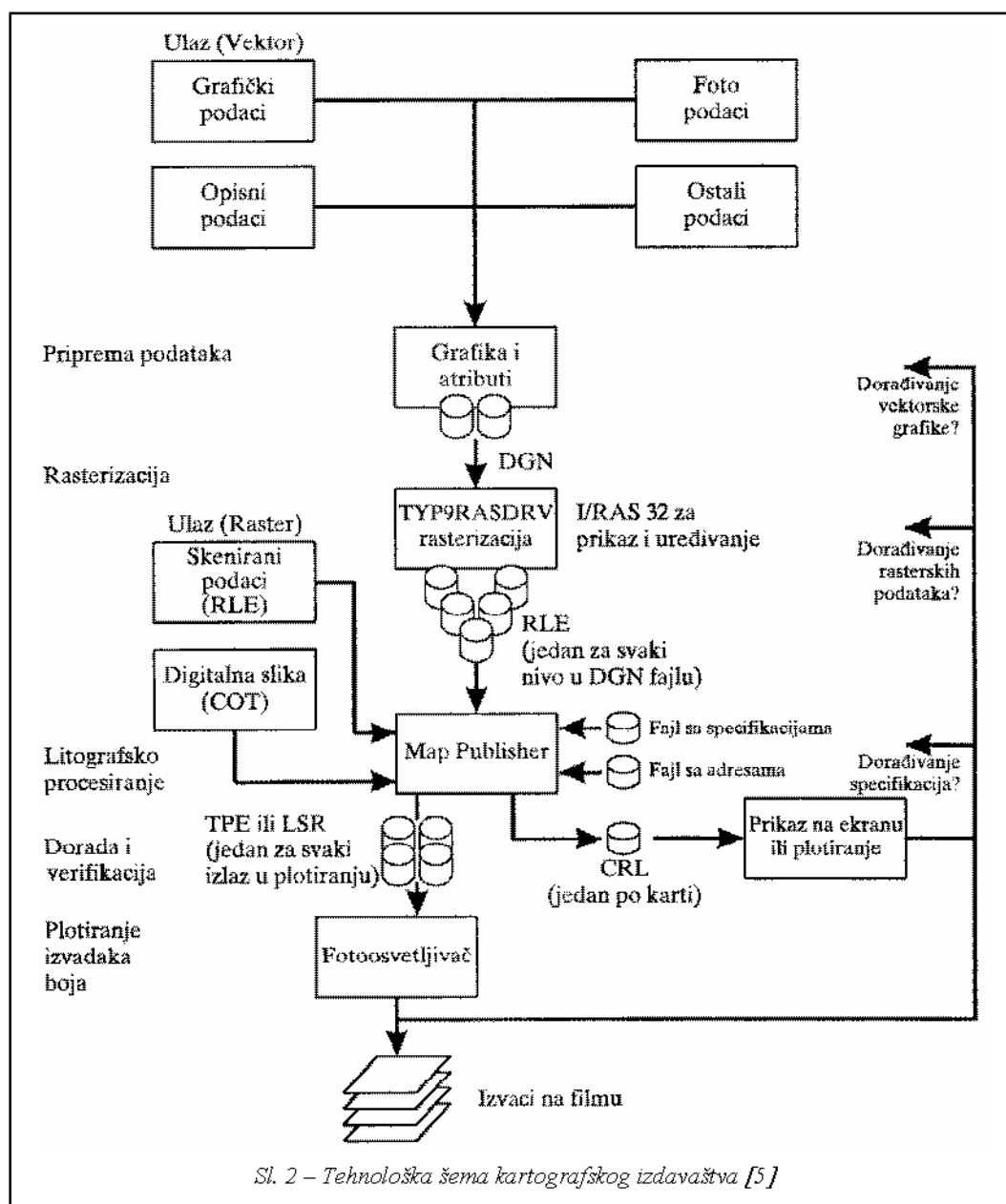
Litografsko procesiranje (odvajanje boja) jeste aplikacija za korisničko-definisanje specifikacijske tabele individualnih simboličkih klasa. Specifikacijska tabela podešava parametre za maskiranje kartografskih objekata, dodeljivanje prioriteta slojeva ili simboličkih klasa, koriš-

ćenje paterna (šara), ekranizovanje, definisanje boja za softcopy i hardcopy izlaz, odvajanje boja i kompozitni proces. Izlaz su fajlovi podataka za softcopy ili hardcopy probni otisak, ili mogu biti fajlovi podataka za generisanje kolor separacija na filmu za svaku boju (četiri fajla).

Posebni moduli u okviru paketa IMPS generišu rasterski fajl u boji ili procesiraju tzv. preview (softcopy – probni otisak), koji dopušta prikaz i pregled rezultata grafičkog dizajna i litografskih specifikacija na monitoru. Može se pregledati po principu „šta se vidi to se i dobija“ konačna rasterska slika karte na monitoru bilo koje radne stanice, koja ima mogućnosti za prikaz 256 boja ili više.

Generisanje filmova obavlja se u posebnim modulima u okviru paketa, s tim što se prethodno generiše set rasterskih fajlova odvojenih boja (za svaku boju po jedan – ukupno četiri), koji se mogu dobiti uređajima za plotiranje, na negativ ili pozitiv filmovima.

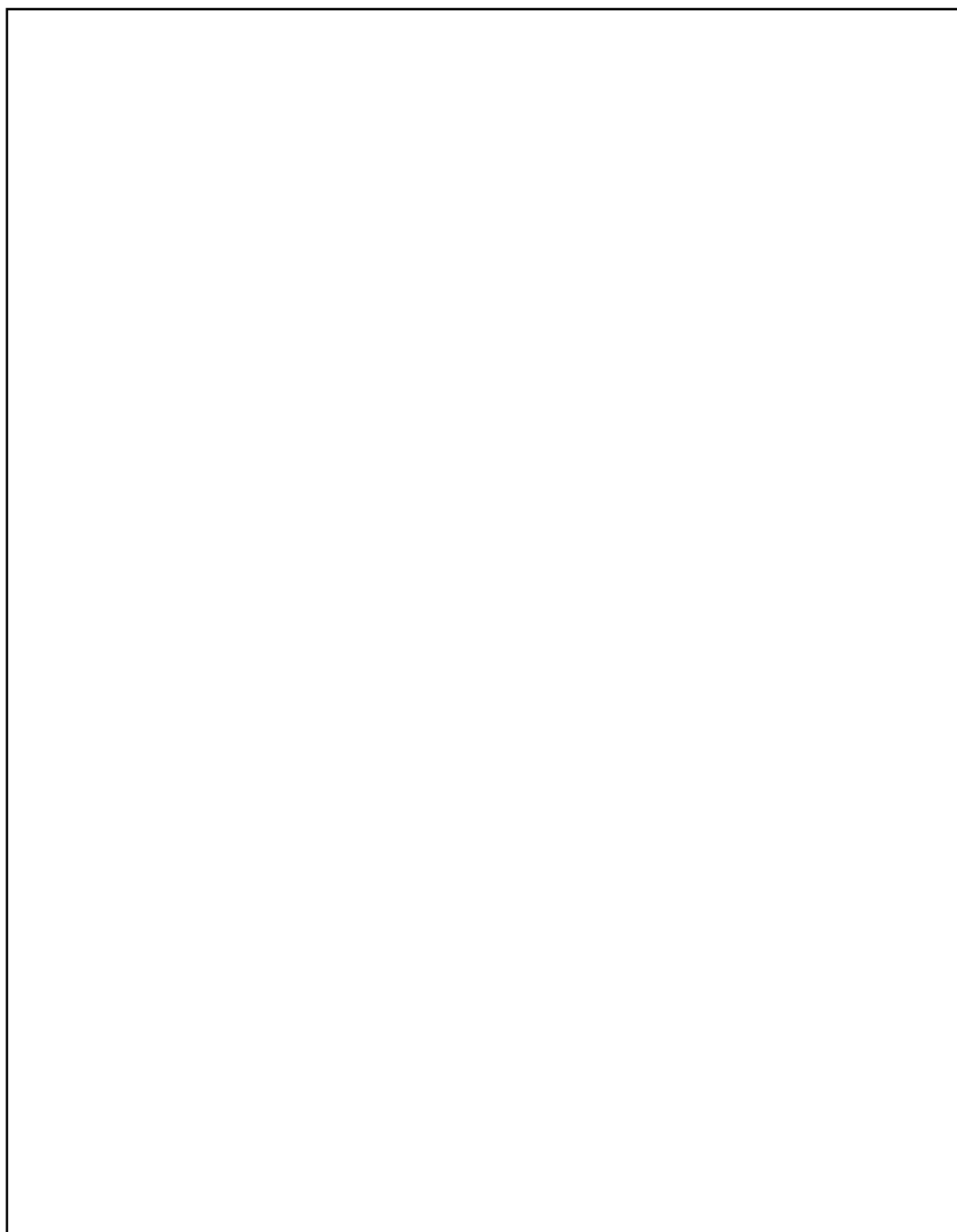
Centralno mesto u okviru kartografske pripreme u okviru paketa IMPS pripada softveru Map Publisheru (sl. 2). Ulaz u Map Publisher sastoji se od rasterskih simboličkih klasa i specifikacione tabele u kojoj korisnik definiše boje karata, ekranske boje, tipove rastera, prioritete štampanja boja i maskiranja (koja boja ide iznad koje, mešanje sa drugim bojama i sl.). Izlaz iz Map Publisher je rasterski kolor displej fajl (za softcopy prikaz na ekranu računara) ili set po bojama odvojenih rasterskih fajlova koji se plotiraju (ukupno četiri fajla, za svaku boju po jedan – Cyan, Magenta, Yellow i Black).



### Nove tehnološke mogućnosti u kartografskom izdavaštvu

Polaznu osnovu u pristupu ispitivanja novih mogućnosti iznalaženja rešenja za kartografsko izdavaštvo predsta-

vljaju opisi klasičnog postupka pripreme za štampu, kao i korišćeno rešenje pripreme za kartografsku štampu u prevashodno hardversko-softverskom okruženju, koje se zasniva na vektorskoj grafičkoj osnovi.



S obzirom na tehnološke promene, koje podrazumevaju postojanje geobaze podataka i integrisanih geoprostornih ge-

ometrijskih i negeometrijskih podataka u ArcGIS softverskom okruženju, kao i posjedovanje Dolev4Press uređaja za gene-

risanje predložaka na filmu za četvoro-bojnu štampu, postavlja se zadatak kartografske pripreme za štampu sadržaja iz geobaze podataka.

Formiranjem baze podataka o prostoru primenom GIS tehnologije, otvara se širok spektar mogućnosti dinamičkog izbora sadržaja, koji će biti prikazan na ekranu ili u obliku crteža na papiru. Takođe, u GIS okruženju moguće je koristiti funkciju zumiranja pri prikazu na ekranu. Time se obezbeđuje bolja preglednost detalja. Uz to, isti sadržaj može se prikazati u papirnom obliku, sa izabranim stepenom uvećanja prikaza. Na taj način dobija se papirno izdanje generisanog prikaza na ekranu, ali sa proizvoljno izabranim tematskim sadržajem, razmerom i simbolikom.

Da bi se obezbedila visokokvalitetna štampa TK, prema standardima kartografske vizuelizacije, potrebna je dodatna priprema i obrada sadržaja ekstrahovanog iz geobaze podataka. Potrebna dorada odnosi se na izbor sadržaja i uklanjanje nepotrebnih detalja, definisanje simbola sadržaja koji odgovara papirnom izdanju karte i organizaciju podataka po nivoima, u skladu sa pravilima vizuelizacije tematskog sadržaja karte, usvajanja fontova i sl. Pri tome, prevashodni cilj kartografskog izdavaštva ne sme da bude postizanje likovnog kvaliteta tiražne štampe karata, već tačnost i ažurnost GPP. Tehnološki postupak izrade i pripreme za štampu papirnog izdanja TK (sl. 3), obrađen je po fazama rada:

- izbor sadržaja iz geobaze podataka,
- definisanje simbolike geoprostornih podataka,
- kreiranje oblika kartografske osnove,

– kartografska obrada za list karte (selektovano područje),

- dizajniranje kartografskog sadržaja,
- izrada probnog otiska i korektura,
- generisanje separata boja za štampu i
- tiražna štampa.

Selektovanje podataka iz geobaze podataka predstavlja fazu koja je u uskoj vezi sa konceptom digitalne karte, odnosno koji sadržaj će se iz geobaze podataka izabrati, radi pripreme za štampu. Posedovanjem baze podataka može da se obavi štampanje prema zahtevima tradicionalne kartografije i krajnjom namenom papirnog izdanja karte koja se priprema. Vremenski okvir ove faze uslovljen je definicijom koncepta potrebnog sadržaja ili zahteva korisnika kome je karta namenjena.

Definisanje simbolike je faza koja obuhvata definisanje izgleda kartografskih znakova (simbola), koji predstavljaju tačkaste, linijske i površinske objekte, a odgovaraju tradicionalnom prikazu objekata na karti. Izrada digitalnog topografskog ključa predstavlja glavni rezultat te faze, kojom bi trebalo da bude definisana simbolika objekata koji se nalaze na karti. U toj fazi potrebno je usvojiti fontove sa svim potrebnim odlikama.

Kreiranje forme kartografske osnove može biti podeljeno na dva načina. Prvi način podrazumeva izradu forme kartografske osnove prema postojećoj podeli na listove, što može biti urađeno i višestruko korišćeno radi njegovog štampanja ili štampanja različitog sadržaja uz manje dorade. Drugi način izrade podrazumeva forme kartografske osnove prema zahtevu korisnika u smislu izbora sadržaja za određeno područje (van podele

na listove i standardnih dimenzija lista). Drugi način je zahtevniji u pogledu izrade forme kartografske osnove, jer je potrebno sve elemente forme usaglasiti sa izabranim područjem i prilagoditi vanokvirni sadržaj karte koja se štampa.

Kartografska obrada podataka za list karte zahteva redaktorski pregled elemenata sadržaja koji su u geobazi podataka kontinuirani za čitavu teritoriju i njihovo prilagođavanje listu karte. Sadržaj koji zahteva ovakvu vrstu obrade su geografski nazivi i neophodna je njihova obrada u skladu sa okvirom i teritorijom koju list karte predstavlja.

Dizajniranje kartografskog sadržaja odnosi se na vizuelizaciju svih elemenata sadržaja na karti i pravila koja je radi toga potrebno primeniti. Pravila prikazivanja sadržaja odnose se na definisanje prioriteta prikaza tema i maskiranje, odnosno na sadržaj koji se preklapa ili eliminiše sadržaj koji se nalazi ispod njega. Pravila su, uglavnom, jasno definisana, ali potrebno je ugraditi i mogućnosti definisanja izuzetaka, odnosno kada se od pravila odstupa i kako se takva situacija razrešava.

Izrada probnog otiska i korektura je faza kojom se ostvaruje konačna vizuelizacija izabranog i obrađenog sadržaja papirnog izdanja karte, na kojem je tek moguće proveriti prikaz sadržaja i otkloniti nedostatke. Nakon korekture potrebno je postupiti u skladu sa primedbama, odnosno ispraviti ih, ukoliko postoje, i preći na sledeću fazu. U ovoj fazi potrebno je da kartografske principe dizajna karte verifikuju kompetentna lica.

Generisanje separata boja za štampu (reprodukcijских originala – RO) jeste fa-

za u kojoj se likovni izgled karte izdvaja u četiri separata boja. Postupak realizacije četvorbojne štampe podrazumeva generisanje osnovnih izvadaka boja za tiražnu štampu listova karte, četiri osnovne boje (Cyan, Magenta, Yellow i Black). Dobijeni RO predstavljaju rasterske tonske vrednosti rangirane u rasponu od 0 do 100% za svaki piksel, svake od primarnih štamparskih boja. Time je obavljena konverzija digitalne slike u analogni signal i registrovanje tog analognog signala na film za svaku od osnovnih boja.

Na kraju, dolazi do štampe koja podrazumeva proces ofset-tehnike na osnovu dobijenih reprodukcijских originala i umnožavanje karata.

#### *Hardversko-softversko okruženje*

U skladu sa trenutnom hardversko-softverskom opremljenošću Vojnogeografskog instituta (VGI), radi obezbeđenja izloženog procesa pripreme za kartografsko izdavaštvo moraju biti ispunjeni određeni zahtevi:

a) Hardver:

- PC računar,
- rasterski ploter HP1055PS,
- osvetljivač Dolev4Press i
- uređaj za razvijanje filma.

b) Softver:

- Softver ArcGIS 9.0, kojim su organizovani prostorni podaci u geobazu podataka,
- MicroStation, softver koji omogućava grafičku obradu prostornih podataka,
- IPLIT, program koji omogućava definisanje kriterijuma za vizuelizaciju izlaznog prikaza i rasterizaciju vektorskog sadržaja, i

– PS/M USB verzija 7.0, softver koji vrši razdvajanje na četiri boje i upravlja plotiranjem predložaka na filmu.

Navedeno hardversko-softversko okruženje je potrebno i dovoljno da se proces kartografske pripreme za štampu može realizovati prema novoj metodologiji.

### *Štampanje topografskih karata*

U skladu sa postavljenim ciljem realizacije ovog zadatka, u okvirima postojeće opremljenosti VGI, došlo se do predloženog rešenja, odnosno mogućnosti realizacije štampe karata, prema zahtevima klasične kartografije i potrebe za vizuelizacijom podataka o prostoru na papirnom izdanju karte.

Topografska karta štampa se tehnikom ofset-štampe metodom kvadrihromatske reprodukcije ili, preciznije – metodom selektivno modulirane višebojne reprodukcije (Selective Modulated Multicolor Reproduction – SMMR). Ovom metodom utisak kompaktnih hromatskih površina postiže se kreiranjem standardnih struktura tačkica (elementarne obojene površine ili rasterske tačke) koje obezbeđuju vizuelan utisak željene boje. Kvalitet SMMR zavisi isključivo od uspešnosti kombinovanja papira za štampanje i štamparskih boja, odnosno optimalnog nanosa pojedinih boja, pri čemu je osnova za kreiranje set boja RO za Cyan, Magenta, Yellow i Black. Za postizanje optimalnog kvaliteta SMMR neophodno je standardizovati: radne uslove tokom procesa reprodukovanja i tehnološke postupke i njihovu kontrolu.

Pre bilo kakvih ozbiljnih i masovnih radova ovom tehnologijom reprodu-

kovanja potrebno je razraditi sistem tehnoloških postupaka. Naročito treba obratiti pažnju na njihovu kontrolu, kako bi se donela odluka da li će se primeniti neki od standardizovanih sistema kontrole reprodukovanja (Brunner, Forga, Gretag) ili će se razviti sopstveni sistem, korišćenjem nivoa znanja u ovoj oblasti.

### **Zaključak**

Formiranjem baze podataka o prostoru, upotpunjuje se podrška tehnološkom procesu izrade digitalnog kartografskog proizvoda, ali i otvaraju nove mogućnosti radi prikaza informacija o prostoru krajnjem korisniku. U stvari, na osnovu geoprostorne baze podataka moguće je generisati digitalne karte na CD ili u okruženju otvorene računarske mreže, pored njihovog prikaza na ekranu računara ili u nekoj drugoj formi (video bim). U konkretnom slučaju, unapređen je koncept kartografskog izdavaštva, te izrada aplikacija koje bi omogućile da na klasičan način budu dostupne informacije krajnjem korisniku, kao i mogućnost da ih krajnji korisnik koristi u smislu vizualizacije sadržaja i pronalaženja željenih informacija.

U skladu sa postavljenim ciljem realizacije ovog zadatka u okvirima postojeće opremljenosti VGI došlo se do predloženog rešenja, odnosno mogućnosti realizacije štampe TK, prema zahtevima klasične kartografije i potrebe za vizuelizacijom podataka o prostoru na papirnom izdanju. Svaki informacioni sistem mora zadovoljiti i fazu dobijanja izlaznih izveštaja iz sistema, radi obezbeđenja njegovog efikasnog korišćenja. Obezbeđenje mo-



gućnosti štampe karata na osnovu geopro-  
storne baze podataka predstavlja značajnu  
fazu u realizaciji digitalnog kartografskog  
proizvoda primenom GIS tehnologije.

*Literatura:*

- [1] Borisov, M.: Razvoj GIS, Monografija, Zadužbina Andreje-  
vić, Beograd, 2006.
- [2] Borisov, M., Banković, R.: Mogućnosti izrade geografskih  
karata GIS tehnologijom, Zbornik radova, Prvi Kongres  
srpskih geografa, Sokobanja, 2006.
- [3] Borisov, M.: Opšta geografska karta SR Jugoslavije  
1:1000000, Magistarski rad, Građevinski fakultet Univerzi-  
teta u Beogradu, Beograd, 1996.
- [4] Intergraph: MicroStation GIS Environment, Reference Ma-  
nual, Alabama, USA, 1991.
- [5] Intergraph: Unix Map Publisher, User Guide, Alabama,  
USA, 1991.
- [6] ESRI: ArcGIS 9, User Guide, Redlands, USA, 2004.
- [7] Roger, T.: Thinking About GIS, Redlands, USA, 2003.

**Profesor dr Slavko Pokorni,**  
dipl. inž.  
Beogradska akademija  
računarskih nauka

## **10. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA DQM 2007**

– prikaz naučno-stručnog skupa –

Dana 13. i 14. juna 2007. godine u Beogradu je, već tradicionalno, održana 10. međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću DQM-2007 (10th International Conference of Dependability and Quality Management). Organizator konferencije je DQM istraživački centar (Istraživački centar za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću) iz Prijedora kod Čačka, čiji je osnivač akademik prof. dr Ljubiša Papić, redovni član Akademije za kvalitet Ruske Federacije i dopisni član Inženjerske akademije Srbije, koji je i predsednik međunarodnog programskog odbora ove konferencije.

Ova deseta konferencija svakako predstavlja jubilej, što su istakli mnogi učesnici naglasivši izuzetan entuzijazam i zalaganje profesora Ljubiše Papića, koji je najviše zaslužan za održanje kontinuiteta i stalnog rasta kvaliteta konferencija u proteklom vremenu, koje je po mnogo čemu bilo veoma složeno.

Konferencija DQM već deceniju predstavlja forum za prezentovanje novih naučnih rezultata, razvojnih istraživanja i privrednih i vojnih primena u oblasti inženjerstva kvaliteta i inženjerstva pouzdanošti, kroz sve faze životnog ciklusa proizvoda i sistema. Zato, poslednjih godina logičnu celinu čine i konkurentno inženjerstvo i

inženjerstvo sistema. Ove su oblasti veoma interesantne i značajne i za Vojsku Srbije, pa nije neobično što se svake godine pojavljuje 10–15 radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane (MO).

Programski odbor ovogodišnje konferencije čini 30 poznatih i priznatih naučnih radnika, od čega 14 iz Srbije i 16 iz inostranstva iz 7 zemalja (Indija 2, Izrael 2, Kanada 2, Rusija 4, Španija 2, Velika Britanija 3 i SAD 1), među kojima pet akademika (tri iz Rusije i dva iz Srbije). U odnosu na prethodne godine, ukupan broj članova programskog odbora je manji, ali se broj članova iz inostranstva povećava, čime ovaj simpozijum dobija na značaju kao međunarodni.

Komisija ovog programskog odbora, od radova saopštenih na konferenciji, već tradicionalno bira dva najbolja, jedan iz oblasti akademskih istraživanja, a jedan iz oblasti primenjenih istraživanja u privredi, dok autori primaju priznanje i nagradu na narednoj konferenciji.

Ove godine je od radova saopštenih na prošloj, devetoj konferenciji, u oblasti akademskih istraživanja nagrađen rad dve koautorke: Vesne Aleksić-Marić sa Ekonomskog fakulteta u Banjoj Luci i Dušanke Stojanović sa Tehnološkog fakulteta u Banjoj Luci, pod nazivom „Upravljanje rizikom u savremenim informacionim si-

stemima“. U oblasti primenjenih istraživanja nagrađen je rad trojice koautora: Branka Nikolića, Rajka Šćepanovića i Bojana Šekularca iz preduzeća Kolubara Metal iz Vreoca, pod nazivom „Probnica za ispitivanje lisnatih opruga: principi rada i nova tehnička rešenja“.

Istaknuti radovi se razmatraju i za objavljivanje u međunarodnom časopisu, na engleskom jeziku, *Communications in DQM*, koji, opet zahvaljujući glavnom i odgovornom uredniku profesoru Ljubiši Papiću, počev od 1998. godine, u kontinuitetu, izlazi četiri puta godišnje. To je za sada jedini međunarodni časopis iz oblasti efektivnosti, kvaliteta, sigurnosti i upravljanja projektima, koji izlazi u našoj zemlji.

U Zborniku radova ovogodišnje konferencije štampano je 136 radova, 260 autora iz Srbije i inostranstva (Bosne i Hercegovine, odnosno Republike Srpske, Crne Gore, Holandije, Hrvatske, Rusije, Španije i Velike Britanije). Pripadnici Vojske i Ministarstva odbrane Srbije imaju 12 radova. Radovi koji su štampani u Zborniku prezentovani su i na CD-u.

Pored toga, ove godine, održan je i, četvrti po redu, tematski seminar na temu „Upravljanje nematerijalnim resursima i konkurentnost organizacije“, koji je organizovao profesor Miomir Stanković. U okviru seminara pripremljeno je 8 radova, koji su učesnicima podeljeni na posebnom CD-u.

Nematerijalni resursi, kao što su informacije, znanja i sposobnosti ljudi, postaju dominantni. Upravljanje nematerijalnim resursima postaje osnova za razvoj kompetencije i konkurentnosti bilo koje organizacije, pa i vojne. Cilj seminara bio

je da se ukaže na procese i metode upravljanja nematerijalnim resursima, kao i na međuzavisnost obrazovanja, kompetencije, upravljanja nematerijalnim resursima i konkurentnosti organizacije.

U vezi s tim je i tzv. koncept dematerijalizacije, koji u svom osnovnom obliku, razvijenom osamdesetih godina prošlog veka, podrazumeva apsolutnu ili relativnu redukciju utroška materijala ili energije po jedinici proizvoda. Naime, tokom istorije proces razvoja i zamene materijala stalno je uslovljavao rast nacionalnih ekonomija. Istraživanje ovih problema dovelo je do formulacije akcionog programa za ekonomično korišćenje energije i materijala – tzv. faktor četiri, koji je postao praktična preporuka za politiku zaštite životne sredine. „Faktor četiri“ označava cilj za čije ispunjenje je potrebno utrošak prirodnih resursa, sirovih materijala i energije u svakoj jedinici proizvodnje smanjiti na jednu četvrtinu trenutnog nivoa u toku narednih 20 do 30, odnosno 40 godina.

Imajući u vidu da se sadašnja politika zaštite životne sredine fokusira na otklanjanje (sanaciju) kritičnih procesa degradacije životne sredine, mnogi istraživači smatraju da je potrebna veća redukcija u eksploataciji materijala i energije. To je dovelo do formulacije novog programa, tzv. faktora deset, što u stvari znači da je potrebno utrošak prirodnih resursa, sirovih materijala i energije u svakoj jedinici proizvodnje smanjiti na jednu desetinu trenutnog nivoa, u toku narednih 30 do 50 godina.

Zbornik radova sadrži: 8 plenarnih saopštenja (autori radova su iz inostranstva: Holandija – 1, Rusija – 2, Španija – 1, Ve-

lika Britanija – 1), 43 rada su iz oblasti inženjerstva kvaliteta, 18 radova je iz oblasti inženjerstva pouzdanosti, 42 rada su iz oblasti konkurentnog inženjerstva, a 25 radova iz oblasti inženjerstva sistema.

Ove godine pojavilo se oko 10% više radova nego prošle. Zvanični jezici konferencije bili su srpski i engleski.

Za konferenciju ICDQM 2007 od pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane prihvaćeno je 12 radova, što je na nivou prethodnih godina: 7 radova je iz Vojne akademije (u jednom radu je koautor iz VP 5542 Beograd), tri rada su iz Vojnotehničkog instituta (koautori dva rada su iz Uprave za školstvo), jedan rad iz Instituta za strategijska istraživanja i jedan rad iz Generalštaba Vojske Srbije.

U oblasti inženjerstva kvaliteta objavljena su dva rada pripadnika Vojske, čiji su autori Vitomir Miladinović iz Vojnotehničkog instituta i Dragutin Jovanović iz Uprave za školstvo Ministarstva odbrane Republike Srbije. U prvom radu, pod naslovom „Primena Pareto dijagrama u procesu optimizacije karakteristika voznog parka“, na osnovu istraživanja i dugogodišnjeg iskustva autora, prikazuje se primena Pareto dijagrama u procesu optimizacije strukture voznog parka radi uočavanja pojedinih značajnih karakteristika strukture voznog parka složene konfiguracije, kao i promene tih karakteristika. U drugom radu, pod naslovom „Primena dijagrama uzroci – posledica u procesu poboljšanja bezbednosti železničkog saobraćaja“, prikazuje se primena dijagrama „uzroci – posledica“ za identifikovanje stvarnih uzroka ugrožavanja bezbednosti odvijanja železničkog saobraćaja, i utvrđivanje i analizu uzročno-posledičnih veza.

U oblasti konkurentnog inženjerstva pripadnici Vojske i MO objavili su 6 radova (5 iz Vojne akademije i jedan iz Instituta za strategijska istraživanja). U radu „Ranking criteria analysis in human resources reduction“ Nebojša Nikolić i Srđan Milenković iz Instituta za strategijska istraživanja daju jedan lični pogled na sadašnje stanje smanjenja brojnog stanja pripadnika Vojske, posebno oficirskog kadra, sa težnjom da daju doprinos boljem definisanju postojećih kriterijuma na osnovu kojih se ovo smanjenje sprovodi. Zatim, u ovoj oblasti sledi 5 radova čiji su autori iz Vojne akademije. Vojislav Batinić u radu „Analiza dinamičkog ponašanja planetarnih zupčanika“, razvija trodimenzionalni model za simulaciju dinamičkog ponašanja jednorednog planetarnog prenosnika sa pravim zupcima, koji uključuje svih šest kretanja krutih tela zupčanika i nosača satelita. Marko Andrejić i Aleksandar Majstorović, u radu „Upravljanje ljudskim resursima u sistemu odbrane“, iznose svoja razmišljanja zasnovana na praksi i nude neke praktične preporuke, za koje smatraju da mogu biti doprinos unapređenju upravljanja ljudskim resursima u sistemu odbrane, polazeći od značaja koji ima ljudski faktor. Dejan Despić, Nenad Dimitrijević i Budiša Kostić, u radu „Mogućnost primene GIS i GPS tehnologije u putnom saobraćaju“, daju prikaz mogućnosti primene savremenih tehnologija, kakve su GIS i GPS u Vojsci, u praćenju procesa i objekata u realnom vremenu i prostoru, a radi povećanja bezbednosti i efikasnosti vojnog putnog saobraćaja. Zoran Ristić i Aleksandar Kari iz Vojne akademije i Miloš Bajević iz VP 5542 Beograd, u radu „Analiza naprezanja podloge minoba-

cača primenom softverskog paketa Pro/Engineer“, modelirali su podlogu minobacača kalibra 120 mm, uz strukturnu analizu naprežanja podloge minobacača usled opterećenja koja se javljaju u toku opaljenja, i poredili rezultate simulacije sa eksperimentalnim podacima. Aleksandar Cakić, Dragan Pamučar i Nenad Dimitrijević, u radu „Primena SWOT analize na sistem integralnog transporta Vojske Srbije“ dali su prikaz primene SWOT analize kojom su došli do ciljeva daljnjeg usavršavanja integralnog transporta Vojske Srbije, kao i mogućih problema koji se javljaju kao posledica strateškog upravljanja.

U oblasti inženjerstva sistema pripadnici Vojske i MO objavili su četiri rada (dva iz Vojne akademije, jedan iz Vojnotehničkog instituta i jedan iz Generalštaba Vojske Srbije). U radu „Modeli pneumatičkih vremena odziva ventila sistema upravljivog efekta eksplozije i bojnih otrova“, Dragan Knežević iz Vojnotehničkog instituta prikazuje rezultate eksperimentalnih istraživanja i definisane modele vremena odziva ventila koji se ugrađuju u strateški važne objekte

od posebnog značaja za zemlju. Dragoljub Sekulović i Ljubomir Gigović iz Vojne akademije, u radu „Topografsko-kartografski sistem po NATO standardima“ razmatraju stanje topografskih karata, a daju i pregled razvoja topografsko-kartografskog sistema u Vojski Srbije, polazeći od teze da Partnerstvo za mir nalaže izradu novih vojnih topografskih karata. Božidar Forca iz Generalštaba Vojske Srbije, u radu „Upravljanje procesom dugoročnog planiranja odbrane Republike Srbije obrazlaže da proces upravljanja treba da se odvija u tri kompatibilne sfere: strateško-doktrinarnoj, pravno-normativnoj i organizacijsko-formacijskoj, te analizira probleme koji su s tim u vezi, među kojima je i nepostojanje strateških dokumenata koji određuju sferu odbrane. Spasoje Mučibabić iz Vojne akademije u radu „Određivanje efektivnosti u vojnoorganizacijskim sistemima“ definiše pojmove: vojnoorganizacioni sistem, kriza, konflikti, katastrofe, efektivnost i efikasnost i objašnjava njihov značaj i način određivanja.

Konferencija ICDQM održaće se i sledeće godine, 12. i 13. juna u Beogradu.

**Mr Srdan Mitrović,**  
kapetan I klase, dipl. inž.  
Vojna akademija,  
Beograd

## **51. KONFERENCIJA ZA ELEKTRONIKU, TELEKOMUNIKACIJE, RAČUNARSTVO, AUTOMATIKU I NUKLEARNU TEHNIKU – ETRAN 2007**

– prikaz naučno-stručnog skupa –

U Herceg Novom je, od 4. do 8. juna 2007. godine, održana 51. konferencija za ETRAN. Pokrovitelji konferencije bili su Ministarstvo nauke Republike Srbije i Ministarstvo prosvjete i nauke Crne Gore, a organizatori – Društvo za ETRAN i Elektrotehnički fakultet iz Podgorice, u saradnji sa IEEE Sekcijom za Srbiju i Crnu Goru, uz sponzorstvo privrednih, naučnih i društvenih organizacija iz Crne Gore i Srbije.

Konferencija ETRAN je najstarija i najuglednija naučno-stručna nacionalna konferencija, sa preko pola veka tradicije i desetinama hiljada publikovanih radova. ETRAN ima uspostavljeno partnerstvo s najvećom i najjačom stručnom organizacijom elektroinženjera na svetu – udruženjem IEEE.

Misija ETRAN-a je podsticanje stvaralaštva i širenje naučnih i stručnih znanja, kao i razvoj i primena savremenih tehnologija i široko okupljanje stručnjaka različitih profila, podsticanje njihovog interesa za naučnoistraživački i razvojni rad i postizanje rezultata koji će ubrzati afirmaciju struke u svetu i kod nas.

ETRAN okuplja stručnjake iz oblasti elektrotehnike i drugih oblasti u kojima se koriste metode i tehnike iz područja njegove delatnosti. Rad same konferencije danas se odvija u okviru šesnaest

stručnih sekcija: elektronika; telekomunikacije; računarska tehnika i informatika; automatika; nuklearna tehnika i tehnologija; akustika; antene i prostiranje; bio-medicinska tehnika; veštačka inteligencija; elektroenergetika; električna kola, sistemi i procesiranje signala; metrologija; mikroelektronika i optoelektronika; mikrotalasna i submilimetarska tehnika; novi materijali; robotika.

Ove godine za izlaganje na Konferenciji prihvaćena su 372 rada u okviru 16 stručnih sekcija, kao i 10 radova u okviru dve posebne sekcije (obrazovanje, studentski radovi). Broj prijavljenih radova neznatno je manji u odnosu na jubilarnu 50. konferenciju. U radu konferencije učestvovao je i veliki broj mladih istraživača sa fakulteta i instituta, inženjera iz privrede i javnih preduzeća iz Srbije, Crne Gore i Republike Srpske. Zbog velikog broja radova Zbornik se objavljuje u tri do četiri sveske. Da bi rad bio publikovan u Zborniku konferencije, osim pozitivne recenzije i uplaćene kotizacije, neophodno je da rad na konferenciji izloži autor ili jedan od koautora. Zbog toga se Zbornik radova objavljuje tek nakon završetka konferencije. Pre početka konferencije štampan je Program i zbornik apstrakta. Zbornik apstrakta je na ovogodišnjoj Konferenciji prvi put publikovan

i u odnosu na ranije konferencije znatno je olakšao učesnicima pripremu za stručne sekcije, jer su, osim sa naslovima radova i imenima autora, učesnici mogli da se upoznaju i sa kratkim sadržajem svakog rada prihvaćenog za izlaganje na Konferenciji ETRAN.

Stručne sekcije održane su u šest sala hotela „Centar Igalo“ i „Metropol“, u prepodnevnom i popodnevnom terminima na 55 sednica. Posećenost sesija je i ove godine bila velika.

Osim stručnih sekcija održano je jedno plenarno predavanje „Multi-axis integrated hall magnetic sensors“, okrugli sto o visokom obrazovanju u elektrotehničkim naukama, okrugli sto o nastavnim planovima i programima u domenu medicinskog inženjerstva i nastave na masters i doktorskim studijama, okrugli sto „Inicijativa za izradu zakona o buci“, godišnji sastanak IEEE sekcije za Srbiju i Crnu Goru, kao i radionica nanoETRAN.

Konferencija je svečano otvorena u ponedjeljak, 4. juna u 17.00 časova u velikoj kongresnoj sali Instituta „Igalo“. Svečanom sednicom predsedavao je prof. dr Srđan Stanković, predsednik Predsedništva Društva za ETRAN. Osim učesnika konferencije sednici su prisustvovali i zvaničnici država Srbije i Crne Gore koji su se, takođe, obratili prisutnima.

Svake godine se mladim istraživačima, učesnicima konferencije, dodeljuju nagrade za najbolji rad mladog istraživača u okviru stručnih sekcija. Uslov da neko od autora bude nominovan za ovo priznanje jeste da bude prvopotpisani na radu, da lično na Konferenciji prezentira rad i da je mlađi od 35 godina. Nakon svečanog otvaranja prof. dr Srđan Stanković je mladim istraživačima svečano

uručio plakete za najbolje radove na 50. konferenciji za ETRAN. Kapetan I klase mr Srđan Mitrović iz Vojne akademije primio je plaketu za rad „Automatsko gažiranje mobilnog robota primenom fuzzy logike“, kao najbolji mladi istraživač na 50. konferenciji za ETRAN, iz oblasti automatike. Nagrađeni radovu su publikovani na engleskom jeziku u časopisu „Journal of automatic control“, a sam časopis je autorima uručen na Konferenciji. Nagrađeni autori oslobođeni su plaćanja kotizacije za 51. konferenciju ETRAN, a Društvo za ETRAN snosilo je njihove troškove smeštaja.

U nastavku svečanog otvaranja, kako je bilo i predviđeno programom, održana je plenarna sednica. Predavanja iz oblasti razvoja nauke i tehnike održali su prof. dr Srđan Stanković i prof. dr Vlastimir Matejić. Nakon optimističkog i nadahnutog izlaganja profesora Stankovića, prisutne je u realnost vratio profesor Matejić sa svojim radom pod naslovom „Tehnološki razvoj i inovaciono društvo u Srbiji – zanemarena potreba ili nemogućnost“.

Za izlaganje na Konferenciji prihvaćeno je 26 radova pripadnika Vojske. Najviše radova (10) bilo je iz Tehničkog opitnog centra (TOC). Iz Vojne akademije (VA) prihvaćeno je pet radova za izlaganje na stručnim sekcijama i čak dva rada za izlaganje u okviru studentske sekcije. Iz Vojnotehničkog instituta (VTI) za konferenciju su prihvaćena četiri, od čega jedan rad po pozivu. Prihvaćena su još tri rada autora iz Vojske Srbije i po jedan rad iz Tehničkog remontnog zavoda (TRZ) i Vojnomedicinske akademije (VMA). Iako je ove godine znatan deo prihvaćenih radova pripadnika Vojske rezultat pojedinačnih istraživanja, ipak je

većina rezultat timskog rada autora, često iz različitih institucija.

Sledi pregled radova pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije po sekcijama. Koautori nekih radova su pripadnici institucija van Vojske i MO.

#### AKUSTIKA

– Miodrag Vračar (VTI): Petnaest godina istraživanja i razvoja u oblasti hidroakustike u Srbiji. Rad po pozivu.

#### AUTOMATIKA

– Milenko Andrić (VA): Primena neutralnih mreža u detekciji radarskih signala.

– Bojan Bondžulić (VA), Dimitrije Bujaković (VA): Poređenje metoda za segmentaciju slike.

– Dimitrije Bujaković (VA), Bojan Bondžulić (VA): Praćenje objekata na sceni primenom „Mean-Shift“ procedure.

– Tanja Nikolić (VTI): Uticaj blage rotacije letelice, vazduh-zemlja na njenu stabilnost i kinematičku stabilnost.

– Mladen Jovanović (VS): Simulaciono okruženje za bespilotnu letelicu.

– Miloš Pavić (VTI): Optimizacija trajektorije laserski vođene bombe primenom optimalnog zakona.

– Bojan Pavković (VTI): Analiza promašaja protivoklopne vođene rakete malog dometa metodom adjungovanog sistema.

#### ELEKTRIČNA KOLA, SISTEMI I PROCESIRANJE SIGNALA

– Milenko Ćirić (TRZ): Realizacija FIR digitalnih filtara primenom protočne obrade signala.

#### ELEKTRONIKA

– Marinko Aleksić (MTRZ „Sava Kovačević“, Tivat), Petar Stanojević

(Sektor za strateški razvoj NIS, Novi Sad), Srđan Mitrović (VA): Izbor koncepcija održavanja kompleksnih brodskih sistema.

#### METROLOGIJA

– Radoslav Stojić (ALSIM Simulateurs, France), Zoran Filipović (TOC): Distribuirana simulacija leta u dinamičkoj okolini.

– Aleksandar Kovačević (TOC), Dragan Stanković (Elektrotehnički fakultet, Beograd): Ispitivanje elektromagnet-ske kompatibilnosti telekomunikacionih uređaja posebne namene u ekranizovanoj prostoriji.

– Mladen Banović (TOC): Automatizovano merenje slabljenja fiksnih oslabljivača.

– Miroslav Jovanović (TOC), Zoran Filipović (TOC): Konfiguracije akvizicionih sistema za merenje relevantnih parametara u okviru programa obuke test-pilota.

– Slavko Vukanić (TOC), Zoran Šofranac (Zavod za mere i dragocene metale, Beograd): Mjerenje malih kapacitivnosti pomoću AC djelitelja DT72A.

– Milana D. Pešić (TOC): Analiza proračuna nesigurnosti merenja jednosmerne električne struje.

– Mirjana Mladenović (TOC): Analiza merne nesigurnosti etaloniranja merila relativne vlažnosti psihrometrijskom metodom.

– Slobodan Eremija (TOC): Određivanje stabilnosti primarnog etalona pritiska u opsegu (0,5 do 4) MPa.

– Zoran Knežević (TOC): Validacija automatizovanog sistema za komparaciju AC/DC termopretvarača primenom programa VEE Pro7.0.



#### MIKROELEKTRONIKA I OPTO-ELEKTRONIKA

– Ljubiša Tomić (TOC), Jovan Elazar (Elektrotehnički fakultet, Beograd): Termička modulaciona prenosna funkcija.

#### RAČUNARSKA TEHNIKA I INFORMATIKA

– Vladimir Dobrosavljević (VA), Miloš Merdžanović (VA): Distribuirano prikupljanje i obrada podataka u student-skim restoranima Vojne akademije.

#### TELEKOMUNIKACIJE

– Nenad Denić (VS), Nenad Milošević, Bojan Dimitrijević, Jasmina Spasić (Elektronski fakultet, Niš): Analiza uticaja broja antena antenskog niza na algoritam za praćenje smjera dolaska radio signala kod DS/CDMA sistema.

– Ivan Vulić (VS): Arhitektura inteligentnih mobilnih klijenata mobilnih geografskih informacionih sistema.

#### VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

– Vladislav Mišković (VMA): Uticaj upotrebe strukturnih atributa na kompleksnost induktivno naučenih propozicionih koncepata.

#### STUDENTSKI RADOVI

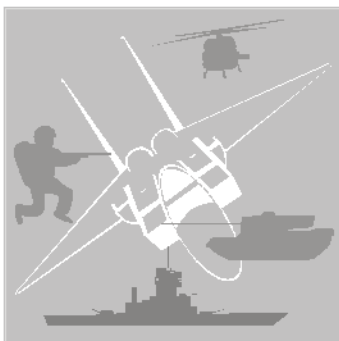
– Miodrag Lapčević (VA), Predrag Aleksandrov (VA): SMART kartica kao zdravstvena knjižica u Vojski Srbije.

– Velibor Cekić (VA), Perica Štrbac (VA): Modelovanje, simulacija i analiza procesa u multiprocesorskom sistemu.

Većina ovih radova neće se naći u Zborniku 51 konferencije za ETRAN, jer nisu izloženi na Konferenciji, što je jedan od neophodnih uslova za publikovanje. Naime, Vojska Srbije i Ministarstvo odbrane ove godine nisu finansirali troškove učešća njenih pripadnika – autora radova (osim Vojnomedicinske akademije).

U VTG br. 2/2007. u toku redakcijske pripreme potkrala se greška u članku dr Radomira S. Gordića, dipl. inž. „Modeliranje kretanja automobilskih jedinica realnim vojnim saobraćajnim tokom u koloni“. Umesto navedenog, naslov članka treba da glasi „Modeliranje kretanja realnog vojnog kolonskog saobraćajnog toka automobilskih jedinica“. Takođe, ova izmena važi i za čitav članak u delu u kojem se spominje navedena konstrukcija teksta.

Izvinjavamo se autoru i čitaocima



## savremeno naoružanje i vojna oprema

### RUSKI POTCEVNI BACAČI GRANATA\*

Potreba za većom vatrenom moći i taktičkom samostalnošću manjih pešadijskih jedinica dovela je do stvaranja kombinovanog višenamenskog oružja, koje objedinjava osobine i automatske puške i bacača granata. Tako su početkom sedamdesetih godina prošlog veka u naoružanje mnogih zemalja uvedeni potcevni bacači granata koji se koriste u kompletu sa osnovnim individualnim oružjem vojnika – automatom ili automatskom puškom. Danas su potcevni bacači granata postali prava „artiljerijska odeljenja“. Njihova osnovna taktička namena je da svojim vatrenim dejstvom do 400 m pokriju zonu nedostupnu za ručne bacače granata i razmeštaj artiljerije i minobacača. Upotrebom granata raznih tipova znatno se povećavaju mogućnosti dejstva pešadije po protivniku.

Kao što je poznato, prvi potcevni bacač granata, koji je uveden u upotrebu 1970. godine, bio je američki M203. Taj bacač bio je razrađen za granatu M406 sa čaurom koja se ranije koristila za ručni

bacač M79. Radi izvlačenja prazne čaure konstruktori su morali da primene pokretnu cev, pa je i brzina gađanja bila od 3 do 4 opaljenja u minuti.

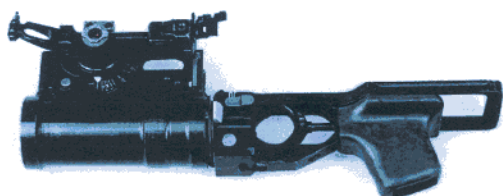
Za razliku od američkih, sovjetski konstruktori su odlučili da, pošto nisu bili vezani za staru municiju, stvore novu (granata u kompletu sa startnim punjenjem) principijelno nove konstrukcije – sa „odletajućom“ čaurom. U novoj granati nalazi se komora sa startnim barutnim punjenjem, smeštena neposredno u granati. Kao rezultat, nestala je potreba za izbacivanjem čaure posle opaljenja. Naime, strelac je dužan samo da uzme novu granatu iz torbe, ubaci je kroz prednji otvor cevi bacača i pritisne do oslonca u cev. Sve to se obavlja jednom rukom.

Rasprskavajuća granata 40 mm VOG-25 ima ispuste na vodećem prstenu koji omogućavaju rotaciju i stabilan let granate, bez dodatnog povećanja pritiska u kanalu cevi i čini bacač relativno lakim. Čeoni upaljač je udarnog dejstva, uvodi se u dejstvo 10–40 m od usta cevi, a uz to je i samolikvidirajući. On obezbeđuje bezbedno rukovanje granatom u toku transporta i trenutno njeno opaljenje pri udaru u cilj. Radijus dejstva parčadi, dobijenih organizovanim drobljenjem

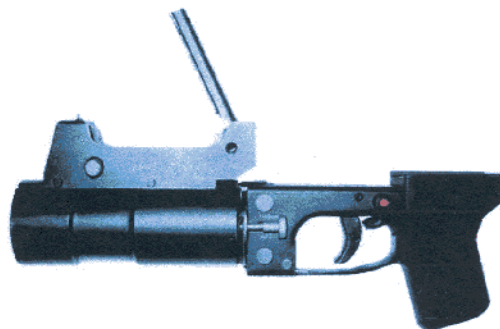
\* Prema podacima iz БОЕХХЫЙ ПАРАД, mart-april 2006.

granate u momentu eksplozije, iznosi 6 metara. Za tu granatu razrađen je i 1978. godine uveden u upotrebu bacač granata GP-25, koji se može koristiti s automati- ma AKM, AKMS, AK74, AKS74, AK74M, AK-101 i AK-103. Proizvodio se u Tulskom zavodu za naoružanje, i po licenci, u Bugarskoj.

Bacač ima izoliranu cev. Samou- vodni mehanizam za okidanje obezbeđuje visoku gotovost i bezbedno prenošenje u napunjenom stanju. Osigurač u uklju- čenom položaju blokira okidač. Radi lak- šeg rukovanja mehanizmom za okidanje na bacaču je ugrađena kratka pištoljska ručica. Punjenje se vrši preko prednjeg otvora cevi, a pražnjenje pritiskom na iz- bacivač. Granata se održava u cevi opru- žnim fiksatorom koji istovremeno služi kao osigurač pri nedovoljnom dovodu granate u cev. Punjenje s prednje strane, kao i odsustvo čaure, omogućavaju brzi- nu paljbe do pet granata u minuti. Nišan- ski uređaj je otvorenog tipa, smešten je sa leve strane i omogućava neposredno i poluposredno (po visećoj putanji) gađa- nje. Pri gađanju s visećom putanjom po nevidljivim ciljevima (ukopi, vrtače, zad- nji nagibi) neophodan ugao nagiba oružja postavlja se promenom visine nišana. Derivacija se unosi automatski pri posta- vljanju nišana. Za smanjenje uticaja trza- nja pri gađanju iz bacača, na kundak automata postavlja se gumeni zaštitnik.



*Potcevni bacač granata GP-25*



*Potcevni bacač granata GP-30*

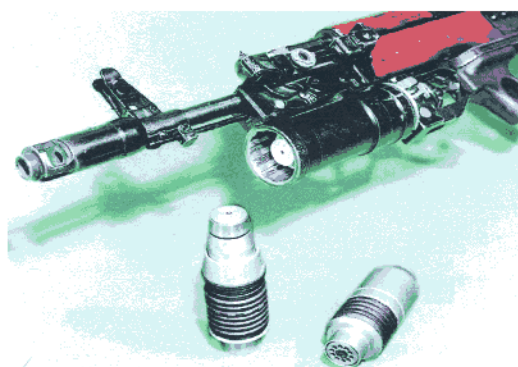
Krajem osamdesetih godina prove- dena je modernizacija GP-25, smanjena je masa i pojednostavljen nišan. Tako je 1989. godine usvojen novi bacač GP-30. On je lakši za 0,3 kg i kraći od prethod- nog bacača. Pojednostavljeni nišan pre- bačen je na desnu stranu, što je povećalo udobnost nišanjenja pri poluposrednom gađanju. Balističke karakteristike ostale su iste. Za korišćenje bacača granata GP- 30 sa streljačkim oružjem po standardi- ma NATO izrađena je varijanta GP-30U.

Osnovne karakteristike potcevnih bacača granata:

|                             | GP-25                               | GP-30 |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------|
| Kalibar, mm                 | 40                                  | 40    |
| Granate                     | VOG-25, VOG-25P, VOG-25M, VOG-25PM  |       |
| Nišanska daljina gađanja, m | 400                                 | 400   |
| Početna brzina granate, m/s | 76 (sa VOG-25P 75m/s)               |       |
| Masa bacača, kg             | 1,5                                 | 1,2   |
| Masa granate, kg            | od 0,250 (VOG-25) do 0,278 (ostale) |       |
| Dužina bacača, mm           | 323                                 | 276   |
| Brzina gađanja u minuti     | 5                                   | 5     |

Kao dopuna granatama VOG-25 ra- di poboljšanja efikasnosti pri gađanju ži- ve sile u objektima otvorenog tipa i iza zaklona, razrađena je i usvojena u naoru- žanje „podskakajuća“ granata VOG-25P.

Pri padanju na zemlju i aktiviranju upaljača pali se specijalno punjenje koje zabacuje granatu na visinu od 0,5 do 1,5 m, gde se ostvaruje vazдушna eksplozija osnovnog punjenja, čime se znatno povećava gustina polja rasprskavanja i verovatnoća pogađanja ciljeva u najosetljivija mesta.



*Automatska puška s potcevnim bacačem granata*

Poslednjih godina GNPP „Pribor“ razradio je modernizovane granate VOG-25M i VOG-25PM, koje imaju novo unificirano telo s organizovanim drobljenjem pri eksploziji. Količina i energija stvorenih parčadi obezbeđuje 1,5 puta veću verovatnoću pogađanja žive sile. Upaljač novih granata uvodi se u dejstvo 10–40 m od usta cevi bacača i pouzdano aktivira granatu pri udaru u prepreku ili zemlju. Pri padu granate u vodu, sneg ili blato, u vremenu od 14 do 19 sekundi dolazi do samolikvidacije granate. Za specijalne potrebe organa unutrašnjih poslova izrađene su dimne, svetlosne i termobarične granate, kao i granate s nadražujućim materijama. Za obuku se koristi municija s inertnom granatom ili vežbovna granata 7P44U koja može da se koristi

i kao pokazivač cilja. U tu svrhu koristi se dimno punjenje, koje u vremenu od 10 do 15 s stvara oblak dima crvenonaranđaste boje. Njihova balistika je ista kao i kod borbenih granata.

M. K.

<<<◇>>>

## BACAČ GRANATA XRGL40\*

Južnoafrička kompanija Rippel Effect završila je razvoj novog bacača granata 40 mm povećanog dometa, XRGL40, koji je prvi put prikazan na izložbi IDEX 2007 u Ujedinjenim Arapskim Emiratima.

Na bacaču XRGL40 izvođe se završni kvalifikacioni testovi i očekuje se da bude spreman za proizvodnju u aprilu 2007. godine. Sistem je deklarisan za domete preko 800 m, uz režim vatre od 6 granata za 3 sekunde. Pored standardne municije 40 mm, iz njega može da se lansirati i nesmrtonosna municija koja se koristi u bezbednosnim operacijama. Masa praznog sistema je 4,1 kg. Opremljen je podesivim teleskopskim kundakom s ugrađenim zaštitnim odbojnikom. Domet od 800 m ostvaren je granatom malog pritiska, čija je masa 230 g i brzina 125 m/s.

Integralni sistem za zaptivanje gasova obezbeđuje optimalan potisak bez povećanja pritiska u komori.

Novi XRGL40 ima okvir od 6 zrna i poluautomatski rad. Progresivno izolovana čelična cev ima specijalnu unutrašnju prevlaku, koja omogućava da izdrži visoku eroziju i silu rotacije zrna 40 mm × 51 mm srednje brzine, s početnom brzinom od 125 m/s, i ostane kompatibilan sa zrnima standardne brzine (76 m/s).

\* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 28. februar 2007.



*Bacač granata XRGL40*

Novi nišanski sistem specijalno je razvijen za XRGL40 i montiran na standardni NATO klizač radi brzog postavljanja i skidanja. Laserski daljinomer radi na baterije i automatski podešava svetlost končanice prema uslovima okoline. Pored toga, ima i specijalni dodatak za upotrebu s opremom za noćno osmatranje.

Kompanija Rippel Effect ima ekskluzivan ugovor s kompanijom Denel za razvoj i kvalifikaciju nove familije municije ERLP, za upotrebu iz bacača XRGL40, kojim će biti obuhvaćena i visoko eksplozivna i dimna zrna.

M. K.

<<<◇>>>

## ARTILJERIJSKI RAKETNI SISTEM T-300\*

Turska kompanija Roketsan konačno je objavila detalje o svom četvorocevnom artiljerijskom raketnom sistemu 300 mm, koji je isporučen Komandi turskih kopnenih snaga u neobjavljenom broju.

Novi sistem sadrži dva ključna dela: višecevni raketni lanser T-300 MBRL (multibarrel rocket launcher) i artiljerijske rakete TR-300.

Kompanija Roketsan nosilac je projekta razvoja i proizvodnje ovog sistema nevođenih raketa zemlja-zemlja, namenjenih za domaće i inostrano tržište.

Lanser T-300 MBRL ugrađen je na šasiju namenskog terenskog kamiona MAN 6×6 od 10 t, koji se koristi u turskoj vojsci za brojne druge namene. Na vozilu je potpuno zatvorena prednja upravna kabina sa pomoćnom pogonskom jedinicom i dodatni prostor za posadu neposredno iza nje. Komandna tabla ugrađena je sasvim na kraju šasije i omogućava kretanje četvorocevnog raketnog lansera levo i desno za 30° i elevaciju od 0 do + 60°.

Kada je popunjeno sa četiri rakete, vozilo ima borbenu masu od 23 t. Stabilnost platforme pri opaljenju obezbeđuju četiri hidraulična stabilizatora.

Rakete se mogu lansirati pojedinačno ili u plotunu sa intervalom od 6 s između svakog lansiranja, koje može da se vrši direktno iz kabine ili sa udaljenog baterijskog komandnog mesta. Svaki lanser ima svoj kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom i navigacioni sistem radi smanjenja međudejstva i povećanja preciznosti.

Nevođene rakete kalibra 300 mm dugačke su 4,75 m i teške 530 kg. Svaka raketa koristi kompozitno gorivo (HTPB) s maksimalnim vremenom sagorevanja od 4,5 s, koje omogućava minimalni dolet od 40 km i maksimalni dolet do 80 km (kada je opremljena kočecim prstenima) odnosno do 100 km (bez kočecih prstenova).

Rakete su opremljene bojnim glavama od 150 kg u kojima se nalazi 80 kg

\*Prerna podacima iz Jane's Defence Weekly, 4. april 2007.



eksploziva i 26 000 čeličnih kuglica, radi postizanja maksimalnog efekta po ciljevima na otvorenom prostoru. Svaka raketa opremljena je čeonim blizin-skim upaljačem kojim se obezbeđuje ubojnost do 70 m, mada fragmenti lete i dalje.

Posle tipičnog dejstva po cilju sa četiri rakete, lanser se premešta na sledeći položaj. Rakete za popunu transportuju se u individualnim kontejnerima iz kojih se raspakuju i stavljaju na lanser. U tu svrhu koristi se ugrađena hidraulična dizalica na vozilu i hidraulični potiskivač na lanseru.



*Artiljerijski raketni sistem T-300*

Sistem treba da se razvije u bateriju sa 6 do 9 lansirnih sistema, sa sličnim brojem vozila za popunu (takođe na šasijama vozila MAN) uz dodatno komandno vozilo.

Kompanija Roketsan razmatra alternativne bojne glave za sistem TR-300, kao i mogućnost pakovanja po dve ili četiri rakete u kontejneru, radi brže popune na bojištu.

M. K.

<<<<>>>>

## MOBILNI MINOBACAČKI SISTEM AGRAB\*

Agrab (škorpion) je minobacačka verzija sistema ST Kinetics 120 mm SRAMS (Super Rapid Advanced Mortar System), ugrađena na vozilu, a prvi put prikazana na ovogodišnjoj izložbi IDEX. Agrab razvila je kompanija International Golden Group za potrebe oružanih snaga Ujedinjenih Arapskih Emirata (UAE). Vozilo – platforma je verzija oklopljenog vozila 4×4 RG 31 Mk 5, zaštićenog od mina, sa ukupnom limitiranom masom od 14 t. Maksimalna putna brzina vozila je 90 km/h, a minimalni domet po putu je 800 km sa 260 litara goriva. Rezerve vode za piće su 40 litara.

Minobacač ST Kinetics SRAMS ugrađen je na zadnjem delu vozila, a masa mu je 1200 kg, uključujući cev dužine 2,1 m, protivtrzajući mehanizam i automatski punjač na ustima cevi. Punjač se opslužuje sistemom za rukovanje municijom koji se sastoji od dva spremnika sa po 23 zrna sa svake strane i dve dodatne police za narednih 12 zrna spremnih za upotrebu.

Protivtrzajući mehanizam smanjuje silu trzanja na manje od 20 t. U skladu sa zahtevom UAE, brzina vatre na Agrabu je ograničena na 10 zrna/min (mada SRAMS može da ostvari brzinu gađanja od 18 zrna/min ukoliko je zatvarač prilagođen za brži odvod gasova). Municija za minobacač Agrab, prema zahtevu OS UAE, uključuje bi-spektralne dimne, osvetljavajuće i visokoeksplozivne (HE) granate koje je razvila firma Denel, a koja nudi i IC osvetljavajuće zrna. Za dimno i osvetljavajuće zrna domet je do 7200 m i 8000 m za HE zrna (na nivou mora).

U principu, to su sve standardna glatkocevana zrna, međutim, da bi obezbedila

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, april 2007.

glatko prolaženje kroz cev pri punjenju, firma Denel je modifikovala repni deo i osvetljavajućih i dimnih zrna. Prednji deo se, takođe, prilagodio da bi sa upaljačem imao aerodinamičan oblik. Za eksplozivna zrna koriste se elektronski tempirani upaljači Fuchs, mada će se za HE zrna ponuditi i upaljači za detonacije na cilju.

Agrab nosi pomoćni baterijski uređaj za sistem kondicioniranja vazduha za posadu, za SRAMS i pripadajući sistem za upravljanje vatrom. Ovaj poslednji je izrađen na bazi Denelovog sistema za upravljanje oružjem Arachnida, koji je zajednički i za samohodne haubice 155 mm G6 i M109 i višecevne raketne bacače koje koriste oružane snage UAE.



*Mobilni minobacački sistem Agrab*

Arachnida se koristi za balističke proračune, automatsko nišanje i upravljanje minobacačem, taktičko upravljanje minobacačem, povezivanje sa višim komandnim sistemima, navigaciju vozila i GPS upravljanje. S njom je integrisan precizni hibridni navigacioni sistem s ugrađenim GPS i laserskim žiroskopom, koji omogućavaju preciznost na cilju veću od 1 hiljaditog.

M. K.

<<<<>>>>

## LAKI MOBILNI ARTILJERIJSKI RAKETNI SISTEM LIMAWS(R)\*

Kompanija Lockheed Martin UK Insys dala je ponudu za demonstraciju i izradu mobilnog artiljerijskog raketnog sistema LIMAWS(R) za potrebe Kraljevske artiljerije britanske armije. Ispitivanja prototipa sistema LIMAWS(R) (Lightweight Mobile Artillery Weapon System Rocket) bila su uspešno provedena pre nekoliko godina i obuhvatila su pokretljivost, mogućnost transporta vazдушnim transportom, prohodnost po mekim terenima i vatrena ispitivanja.

Proizvodnja sistema LIMAWS(R) biće bazirana na šasijama najnovije generacije vozila Supacat HMT 6×4, koja su visokoprophodna, a kompletan sistem moći će da se prenosi helikopterom CH-47 Chinook ili u transportnim avionima C-130 ili C-17.

LIMAWS(R) ima jedinstveni kontejner sa 6 raketa 227 mm u novoj lakoj konstrukciji koja se okreće oko stožera na zadnjem delu šasije vozila. Za potrebe lansiranja koristi se samo hidraulična elevacija vozila, ne i okretanje.

Ukupna proizvodnja od 24 sistema za potrebe Kraljevske artiljerije biće popunjena raketama 227 mm MLRS (12 raketa po sistemu). Sistem LIMAWS(R) biće opremljen najnovijim sistemom za upravljanje IFCS, kompanije Lockheed Martin, koji je poboljšan do konfiguracije univerzalnog sistema FCS (Fire Control System) i koji je već ugrađen na poboljšani višecevni raketni sistem M270 B1 koji se koristi u Avganistanu. Prema sadašnjim planovima očekuje se da sistem LIMAWS(R) bude na upotrebi u drugoj polovini 2010. godine.

\*Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 16. maj 2007.



*Laki artiljerijski raketni sistem LIMAWS(R) na vozilu HMT 6x4*

Britanska armija ima zahteve i za topovski sistem LIMAWS(G), koji je sada u fazi procena, a njegova upotreba se predviđa u skoroj budućnosti.

M. K.

<<<◇>>>

## DIGITALIZOVANA VUČNA HAUBICA M777\*

Kompanija BAE Systems Land Systems isporučila je kanadskoj armiji desetu od planiranih 12 vučnih haubica 155 mm M777.

Prve četiri haubice, iz početne partije od šest vučnih haubica, kanadske oružane snage razmestile su u sklopu svojih snaga u Avganistanu početkom 2006. godine. Kanadske oružane snage ispostavile su zahtev za ukupno 48 ovakvih sredstava. Kanadska artiljerija namerava da za ove haubice nabavi sisteme za digitalno upravljanje topom DGMS (digital gun management system), koji se isporučuju sa ugrađenim nosačima za optički nišan

firme Seiler. U normalnim dejstvima optički nišan zamenjen je topovskim nišanskim uređajem GLU (gun laying unit), koji je identičan nišanskom uređaju LDCU (Layers Display and Control Unit) a deo je automatizovanog topovskog nišanskog sistema LINAPS (Laser Inertial Artillery Pointing System) i koristi ga britanska armija.

Od ostale opreme u sklopu DGMS, na oruđu su Selexov inercioni navigacioni uređaj (INU), Webelov radar za početne brzine zrna MVR (Muzzle velocity radar) i sistem za napajanje s litijum-jonskim baterijama.

Drugi ključni elemenat u sklopu DGMS je izdvojeni komandirov terminal (DCDT) u koji je ugrađen kanadski standardni kompjuterski softver sistema za upravljanje vatrom (IFCCS) za potrebe balističkih proračuna. Kada je na vatrenom položaju, uređaj je smešten na tronožac i kablom povezan sa oruđem, odatle sa induktivnim senzorom upaljača na vođenom projektilu XM982 Excalibur. U toku premeštanja DCDT se montira na vučno vozilo i služi vozaču kao navigacioni displej, ostajući kablom spojen za inercioni navigacioni uređaj (INU) na oruđu. Veza između DCT i baterijskog komandnog mesta održava se putem UHF data radija firme Raytheon Microlight. Kompanija Selex oprema kanadske oružane snage i akustičnim detektorskim sistemom HALO Mk 2. Neki od njih su na upotrebi uz haubice M777 u Avganistanu, gde imaju ulogu u zaštiti baza i za potrebe akvizicije cilja.

M. K.

\* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, april 2007.

<<<◇>>>



## BRAZILSKA RAKETA ČETVORTE GENERACIJE MAA-1B\*

Brazilska kompanija Mectron obelodanila je na izložbi LAAD-2007 novu generaciju infracrvenih vođenih raketa vazduh-vazduh, pod oznakom MAA-1B, kao dalji razvoj rakete Piranha MAA-1. Ova, četvrta generacija raketa vazduh-vazduh predviđena je kao oružje visokih performansi, koje će se integrisati u brazilski modernizovani jurišno-odbrambeni avion Northrop Grumman F-5BR. Raketa je još u razvoju i u toku je proces sertifikacije podsistema, dok će sertifikacija leta kompletne rakete biti moguća u III kvartalu 2007. godine. Aerodinamički klirens rakete mogao bi da se iskomplikuje činjenicom da se prednje sekcije i tragač znatno razlikuju po konfiguraciji od prethodnog modela MAA-1. Model MAA-1B, poznat i kao Piranha 2, imaće dvojni tragač kao i prethodni model MAA-1, ali će IC komplet detektora biti nabavljen u Južnoj Africi. Raketa je projektovana za domet do 10 km (dvostruko više od MAA-1), a biće sposobna za opaljenja pod uglom do 90 stepeni. Kompanija Mectron planira da integriše ove rakete i u borbeni avion Mirage 2000C koji leti u sastavu brazilskih vazduhoplovnih snaga (FAB), koristeći svoju interfejs jedinicu MAA. Ona dozvoljava spajanje rakete sa nizom različitih radar-SUV sistema, ukoliko su poznati njihovi tehnički podaci za kompletiranje interfejsa.

M. K.

<<<◇>>>

\*Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 9. maj 2007.

## KINESKA TERMOBARIČKA RAKETA WPF 2004\*

Kineska kompanija Xinshidai razvila je termobaričku nevođenu raketu koja može da se lansira iz veoma rasprostranjenih ruskih ručnih bacača RPG-7.

Pod oznakom WPF 2004, sa repnim stabilizatorom raketa ima lansirnu masu od 3,2 kg, a armira se na 35–50 m ispred lansera. Početna brzina, pri efikasnom preciznom dometu od 200 m, iznosi 80 m/s, kada se gađa cilj veličine  $0,45 \times 0,45$  m.

RPG-7 se normalno razvija na nivou odeljenja i može da koristi širok asortiman nevođenih protivtenkovskih raketa s trenutnim i zapaljivim bojnim glavama, koje već proizvodi kineska industrijska korporacija NORINCO.

Operativno iskustvo pokazalo je da tradicionalne rakete za RPG-7 nisu optimalne za borbe u urbanim uslovima ili dejstva protiv pobunjenih masa, tako da sve veći broj zemalja traži i uvodi termobaričko oružje raznih tipova (eksplozivna smeša goriva i vazduha), koje je efikasno ne samo protiv građevina, već i protiv snaga u bunkerima i pećinama.



Kineska termobarička raketa WPF 2004

Prema podacima proizvođača, za upotrebu termobaričke rakete WPF 2004, nije potrebna specijalna obuka, kao ni modifikacija ručnog bacača za njihovu

\*Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 21. mart 2007.

upotrebu. WPF 2004 se može lansirati iz standardnih raketnih bacača RPG-7, kao i protivtenkovskih raketnih lansera Norinco 40 mm Type 69-1.

Kompanija već nekoliko godina proizvodi termobaričke rakete 40 mm za RPG-7, mase 4,2 kg, ukupne dužine 884 mm i dometa do 1000 m. Termobarička bojna glava Norinco razlikuje se po konstrukciji od rakete Xinshidai i ima nešto niže nominalne vrednosti natpritiska.

M. K.

<<<◇>>>

#### VIŠECEVNI RAKETNI LANSEER WR-40 LANGUSTA\*

Kompanija Hula Stalowa Wola (HSW) isporučila je prve raketne bacače WR-40 za potrebe kopnenih snaga Poljske. Sistem, koji je ranije nosio oznaku BM-21M, dodeljen je artiljerijskom centru za obuku u Torunu.

Sistem WR-40 sastoji se od poboljšanog lansera BM-21, koji je ugrađen na novo teretno vozilo Jelez P662D.35, zatim savremenog sistema za upravljanje vatrom, koji je razvila kompanija WB Electronics (nadležna za bataljonski nivo artiljerijskih sistema za upravljanje vatrom ZZKO Topaz) te od Hanivelove taktičke inercione navigacione jedinice TALIN 4000. Ti sistemi znatno povećavaju fleksibilnost upotrebe, autonomiju dejstva i ukupne taktičke mogućnosti sistema.

Sistem WR-40 je dodatno opremljen digitalnim komunikacijskim i taktičkim sistemom za upravljanje situacijom Fonet-BMS, integrisanim sa UHF radiom

Radmor RRC-9311AP. WB Elektronika obezbeđuje i personalne radio-uređaje PNR500 za članove posade.

Vozilo se pogoni turbopunjenim dizel motorom Iveco AifoCursor 8, Euro 3, snage 259 kW, koji je mnogo pouzdaniji i ekonomičniji od benzinskog motora koji je ugrađen u originalne ruske šasijske Ural 375D. Kabina posade je potpuno oklopljena do standarda STANAG 4569 Nivo 1 (zaštita od zrna 7,62×39 mm) i ima NHB sistem zaštite putem stvaranja natpritiska u kabini.

Masa sistema WR-40 je 20,2 t i može da se kreće brzinom do 85 km/h. Vozilo ima ran-flet gume i sistem za centralno regulisanje pritiska u gumama.



*Višecevni raketni lanser WR-40 Langusta*

Kompanija HSW može da proizvodi 30 do 40 lansera WR-40 za jednu godinu, tako da se godišnje može preoružati do dva raketna artiljerijska bataljona. Za sadašnji zahtev za 6 bataljona treba još oko 96 lansera WR-40. Trenutno je u Poljskoj na upotrebi 257 lansera BM-21/RM-70.

Ukupna cena projekta ne bi trebalo da prelazi 85 miliona dolara, uključujući istraživanje i razvoj, kao i troškove popune.

M. K.

<<<◇>>>

\*Prerna podacima iz Jane's Defence Weekly, 4. april 2007.

## VIŠECEVNI RAKETNI LANSIRNI SISTEM GMLRS\*

Britanska armija potvrdila je da je vođeni višecevni raketni lansirni sistem GMLRS spreman za operativnu upotrebu. Sistem uključuje Lockheed Martinov sistem za upravljanje vatrom (FFCS), vođene lansirne rakete (GMLR) i poboljšani gusenični višecevni raketni lanser M270B1.

Razvoj sistema GMLRS zajednički su finansirali Francuska, Nemačka, Italija, Velika Britanija i SAD, a prvi put su ga koristile OS SAD.

U prvoj fazi modernizovano je 12 lansera M270 do standarda M270B1, jer prethodni model nije mogao da lansirira GMLRS, a zatim i sledećih 15 lansera. Dok su u Velikoj Britaniji prihvatili američke sisteme za upravljanje vatrom (FFCS), drugi evropski partneri prihvatili su evropski sistem za upravljanje vatrom (EFCS) i njihova ispitivanja završena su u 2006. godini. Uspešna vatrena ispitivanja lansera M270B1 sa raketama GMLR izvršena su u februaru 2007. godine u SAD. Sistemi GMLRS predviđeni su za raspoređivanje u Avganistanu krajem 2007. godine. GMLRS će omogućiti precizno uništenje ciljeva na većim rastojanjima i sa mnogo manjom kolateralnom štetom. Verovatna kružna greška treba da bude oko 5 m. Raketa je opremljena unitarnom bojnomo glavom sa 91 kg eksploziva i ima domet do 70 km. Zbog svoje GPS preciznosti, sistem GMLRS neki su nazvali i „60-kilometarski snajper“. Velika Britanija će koristiti sisteme GMLRS sa lakim artiljerijskim mobilnim lansir-

nim sistemom LIMAWS(R), koji je sada u fazi ocenjivanja (sertifikacije).

M. K.

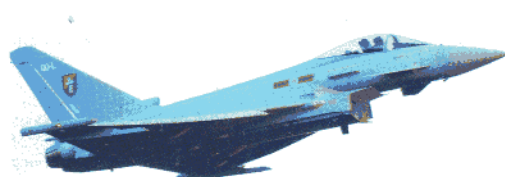
<<<<>>>>

## BRITANSKI LOVAC EUROFAJTER TAJFUN USKORO OPERATIVAN\*

Kraljevske vazduhoplovne snage Velike Britanije (RAF) pripremaju se da uvedu u operativnu upotrebu svoj višenamenski lovački avion Eurofajter Tajfun (Eurofighter Typhoon). Prve dve frontovske jedinice treba da budu operativne sredinom 2007. i u 2008. godini.

Na avionima je isproban novi softver i uvedene su nove mogućnosti. Prva dva aviona najnovijeg standarda Blok 5 treba da se isporuče eskadrili u junu 2007. godine. Najznačajnija promena na tim avionima je to što će se omogućiti operacije tipa vazduh-zemlja, što je od ogromnog značaja za budućnost aviona Tajfun.

Početakom 2008. godine treba da se stvore uslovi za upotrebu po svakom vremenu, a krajem godine višenamenske mogućnosti operativne upotrebe. Skoro ostvarenje mogućnosti dejstva vazduh-zemlja, prioritetan je zadatak za avione Tajfun.



*Britanski Eurofajter Tajfun*

\*Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 18. april 2007.

\*Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 14. mart 2007.

Početne mogućnosti Tajfuna u RAF-u bile su usmerene na zadatke PVO, ali s minimalnim mogućnostima da se suprotstave avionima tipa Tornado F3 u zadacima vazduh-vazduh. Međutim, RAF nastoji da što pre uvede jednako značajne, operativno održive mogućnosti vazduh-zemlja. Zbog toga će se te mogućnosti, koje su planirane za partiju od 5 aviona, naknadno ugrađivati i na ranije izrađene avione po programu R2. Napadne mogućnosti najpre će uključivati integraciju sistema Rafaelovog laserskog oružnog kontejnera i pojačanih GPS laserski vođenih bombi, koji daju jake i pouzdane početne mogućnosti na tom planu. Jedna od spornih odluka je i ugradnja topa 27 mm Mauser na Tajfun.

M. K.

<<<◇>>>

#### KINESKI TEŠKI LOVAC J-11B\*

Objavljeni su detaljniji podaci o kineskom teškom superlovцу sledeće generacije J-11B, koji predstavlja dalji razvoj ruskog lovca Su-27SK (kineska oznaka J-11). Avio korporacija Shenyang sklopila je 95 aviona J-11 od uvezenih ruskih komponenta, iako je u originalnom ugovoru bilo predviđeno 200 aviona, pa se pretpostavlja da će dalja proizvodnja biti usmerena na poboljšane lovce J-11B.

Iako je baziran na lovcu Su-27SK, najnoviji avion ima bitna poboljšanja, uključujući smanjeni radarski odraz, za koji se tvrdi da je smanjen sa 15 m<sup>2</sup> (kod Su-27) na manje od 5 m<sup>2</sup>, ojačan trup, poboljšan radar za upravljanje vatrom, novi sistem za kontrolu leta, kao i novi motor i staklo kokpita. Planirana poboljšanja su takva da avion uvode u četvrtu

generaciju aviona tog tipa. Trenutno se testiraju tri aviona J-11B na opitnom poligonu Yanliang.

Izgled aviona ostao je isti, ali modifikovan je vazdušni trakt motora sa štitnikom radarskih talasa uz ugradnju radarski apsorbujućih materijala. Koriste se i kineski premazi za smanjenje radarske slike. Ojačanja trupa obaviće se u skladu sa rezultatima ispitivanja u vazdušnom tunelu. Pored toga, masa praznog aviona smanjena je za oko 700 kg zbog upotrebe kompozitnih materijala. Veruje se da će se vek upotrebe povećati za daljih 10 000 časova u odnosu na Su-27SK. Veruje se da je radar ugrađen na J-11B mnogo snažniji nego Type 1473 koji je ugrađen na lovac J-10. On bi trebalo da prati do 20 ciljeva i vrši zahvat istovremeno 6 ciljeva.

M. K.

<<<◇>>>

#### TESTIRANJE NOVIH AVAKSA\*

Kompanija Boeing je, 5. aprila 2007. godine, započela testiranje svog novog avaksa (AWACS Block 40/45 E-3) na opitnom poligonu u Sietlu. Konfiguracija aviona Blok 40/45 AWACS (Aireborne Warning and Control System), poznatog i kao E-3G, uvodi namenske kompjuterske poluotvorene arhitekture, sistem poboljšane elektronske podrške i varijante radara povećane pouzdanosti AN/APY-1/2. Nova kompjuterska arhitektura sadrži novu kompjuter-displej konzolu, mogućnost integrisanja podataka iz više izvora, poboljšani interfejs čovek-mašina, novu infrastrukturu datalinka, uređaj za upravljanje u borbi, servere za lokalne mreže i rezervno upravljanje energijom. Poboljšana elektronska podrška mogla

\* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 9. maj 2007.

\* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 2. maj 2007.

bi da uključi redizajniranje radio-frekvencija prednjeg kraja (radi sprečavanja lokalnog oticanja podataka, povećanja produktivnosti–održivosti i poboljšanje otpornosti na ometanja), uvođenje višestruke platforme s mogućnostima geoloških lociranja i pojačanog predajnika za identifikaciju–detekciju. Radar povećane pouzdanosti imaće smanjeni radarski odraz, povećanu visinu preciznog pronalaženja i nižu cenu.

M. K.

<<<◇>>>

#### NAJVEĆA IZRAELSKA BESPILOTNA LETELICA EITAN\*

Letelica Eitan (čvrst) spada u red nove klase izraelskih bespilotnih letelica za velike visine i velike autonomije leta, a svoj promotivni let imala je juna 2006. godine. Poznata je i pod nazivom Heron II i četiri puta je veća od bespilotne letelice Heron koju već koristi izraelsko vazduhoplovstvo.

Sa maksimalnom masom uzletanja od 5000 kg i autonomijom leta od 50 časova, Eitan ima znatne jurišne mogućnosti i može da bude deo izraelskog antibalističkog raketnog presretačkog programa. Neki izvori navode da može da služi i kao tanker za popunu gorivom drugih aviona.

Letelicu Eitan razvila je izraelska avioindustrija (IAI) na bazi letelice Heron koja je predviđena za srednje visine i velike autonomije leta. Raspon krila letelice je 26 m, maksimalni koristan teret iznosi 1800 kg, brzina krstarenja je 200 čvorova na visini od 15 240 m (50 000 ft), a ima ugrađen motor Pratt & Whitney Canada PT6A-67 turboprop. Letelica ima savremenu avioniku, na nivou one za savremene borbene avione. Sistem će raditi potpuno autonomno i omogućiće operatoru da se više posveti izvršenju zadatka, a manje samom letu platforme.

M. K.

<<<◇>>>

---

\* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 9. maj 2007.

### *Uputstvo saradnicima*

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Republike Srbije.

Članak se dostavlja Redakciji na disketi ili CD-u (Times New Roman, srpska latinica, 12 pt, prored 1,5) i odštampan 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 prilozima originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu memih jedinica – SI. Redosled obrazača (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. 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.

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, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

*REDAKCIJA*

*Tehničko uređenje*  
Zvezda Jovanović

*Lektor*  
Dobriša Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 324,00 dinara  
Tiraž 700 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, informacije i bibliotekarstvo (CVNDIB)