

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik

SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major

dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)

General-potpukovnik

dr SLOBODAN BURSAĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik

BRANISLAV OBRADOVIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik

dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik

dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.

General-major

MILAN UZELAC, dipl. inž.

General-major

RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

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

Pukovnik

SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.

Profesor

dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Profesor

dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik

DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik

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

\* \* \*

Glavni i odgovorni urednik

Potpukovnik

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

Sekretar redakcije

Zora Pavličević

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

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.Pretplata tel.-fax: 3612-506, žiro-račun: 40818-  
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štampa-  
rija – Beograd, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI  
G L A S N I K

4-5

GODINA XLIX • JULI–OKTOBAR 2001.



## S A D R Ź A J

<b>Dr Petar Stanojević,</b> major, dipl. inž.	
<b>Vladimir Bukvić,</b> major, dipl. inž.	
<b>Dr Vasilije Mišković,</b> pukovnik, dipl. inž.	IZBOR I ANALIZA FAKTORA KOJI UTIČU NA SISTEM ODRŽAVANJA ..... 381
<b>Dr Marko Andrejić,</b> major, dipl. inž.	
<b>Andreja Andrić,</b> dipl. inž.	EKSPERTSKI SISTEM ZA PODRŠKU OPERATIV- NOG ODLUČIVANJA U OBLASTI DIJAGNOSTIKE NEISPRAVNOSTI TMS U ZDRUŽENIM TAKTIČKIM JEDINICAMA ..... 391
<b>Nikola Stojanović,</b> dipl. inž.	
<b>Dr Dragoljub M. Brkić,</b> dipl. inž.	OPTIMIZACIJA AKTIVNE REDUNDANSE SISTEMA REDNO VEZANIH ELEMENATA SA VIŠESTRUKIM OGRANIČENJEM I PRIMENOM METODE „MONTE KARLO“ ..... 404
<b>Sc Petar Gardijan,</b> potpukovnik, dipl. inž.	MOGUĆNOSTI REALIZACIJE METODA ANALIZE OTKAZA ZA MAŠINSKO SREDSTVO ..... 412
<b>Vanredni profesor dr Alempije Veljović,</b> dipl. inž.	
<b>Zoran Eremija,</b> dipl. inž.	
<b>Boško Stanković,</b> potporučnik, dipl. inž.	RAZVOJ INFORMACIONOG PODSISTEMA ZA PLA- NIRANJE ZADATAKA ..... 424
<b>Vladislav Mišković,</b> potpukovnik, dipl. inž.	PRIMENA SISTEMA INDUKTIVNOG MAŠINSKOG UČENJA U INTELIGENTNOJ ANALIZI PODATAKA ..... 429
<b>Ivica Ocokoljić,</b> potporučnik, dipl. inž.	PROGRAMSKA PODRŠKA ZA PRORAČUN VATRE- NIH MOGUĆNOSTI JEDINICA PVO ..... 439
<b>Dr Aleksandar B. Đorđević,</b> dipl. inž.	
<b>Dušan M. Karanović,</b> dipl. inž.	ISPITIVANJE ELEKTROHEMIJSKIH IZVORA ENERGIJE POSTUPKOM IZRAČUNATE KRIVULJE PRAŽNENJA ..... 452
<b>Dr Zoran Jovanović,</b> dipl. inž.	IZOLOVANI I SINERGIČKI EFEKTI MAKRO STRU- JANJA NA SAGOREVANJE KOD BENZINSKIH MO- TORA ..... 466
<b>Dr Mirjana Andelković-Lukić,</b> dipl. inž.	EKSPLOZIVI NA BAZI OKTOGENA I POLIMERNIH MATERIJALA (FLEGMATIZATORA) ..... 478

<b>Predrag Stamenković,</b> poručnik, dipl. inž.	MODEL OPERATIVNOG PRAĆENJA STANJA PUTNE MREŽE I KARAKTERISTIKA PUTNIH OBJEKATA .....	484
<b>Dr Slavko Pokorni,</b> pukovnik, dipl. inž.	TENDENCIJE RAZVOJA PASIVNIH I AKTIVNIH MAMACA .....	496

---

### **PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA**

---

Modernizacija artiljerije – M.K. ....	504
Minijaturne krstareće rakete – S.A. ....	506
Program budućeg oružnog sistema FCS – V.R. ....	507
Nova generacija avio bombi – M.K. ....	509
SABR – nova američka puška – S.A. ....	511
Nova klasa streljačkog naoružanja – M.K. ....	512
Program budućih borbenih komunikacijskih sistema – M.K. ....	514
Vozilo GMZ-3 za brzo polaganje mina – M.K. ....	517
Izviđačko vozilo Fennek 4×4 – M.Đ. ....	518
Taktički osmatrački radar Squire – M.S. ....	520
Novi prenosni radio-uređaj firme Harris – M.S. ....	521
Novi monitor visoke rezolucije Isis – M.S. ....	522

---

### **TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI**

---

Raketa vazduh–zemlja Brimstone – V.R. ....	524
Modernizacija aviona F/A – 18A/B – V.R. ....	525
Prvi transportni avion C-17 za britansko vazduhoplovstvo – M.K. ....	526
Kineski lovac J-10 – S.V. ....	526
Rusko-indijski transportni avion – S.V. ....	527
Prvi let prototipa helikoptera AB-139 – S.V. ....	527
Mogućnosti otkrivanja stealth aviona – M.K. ....	527
Novi avioni F-16 za Izrael – M.K. ....	528
Razvoj kineske borbene bespilotne letelice – S.V. ....	528
Protivtenkovski predator – S.V. ....	528
Modernizacija GPS satelita – M.K. ....	529
Razvoj novog sistema za otkrivanje mina – M.K. ....	529
Laserski vođene bombe za vazduhoplovne snage Italije – M.K. ....	530
Nove japanske protivpodmorničke rakete ASROC – M.K. ....	530
NAWV – novo oklopno vozilo točkaš – V.R. ....	531
Južnoafrički program vozila točkaša – V.R. ....	531
Rukovođenje i komandovanje iz vazdušnog prostora – M.K. ....	532

**Dr Petar Stanojević,**

major, dipl. inž.

**Vladimir Bukvić,**

major, dipl. inž.

**Dr Vasilije Mišković,**

pukovnik, dipl. inž.

Vojnotehnička akademija VJ,

Beograd

## IZBOR I ANALIZA FAKTORA KOJI UTIČU NA SISTEM ODRŽAVANJA

UDC: 62-7.001.57

### Rezime:

*Određivanje uticaja promene relevantnih ulaznih faktora na izlazne rezultate funkcionisanja sistema održavanja (SOd), odnosno na pokazatelje uspešnosti razmatranog sistema ima teorijski i praktični značaj. Uticaj faktora na SOd razmatra se preko uspostavljanja i analize zavisnosti sa određenim pokazateljima uspešnosti funkcionisanja SOd. Rezultati istraživanja omogućavaju određivanje oblika i parametara zavisnosti pokazatelja uspešnosti funkcionisanja od razmatranih faktora. Takođe, istraživanje omogućava sagledavanje oblika promene pokazatelja uspešnosti funkcionisanja u širokom rasponu ulaznih veličina tih faktora kako bi se mogle utvrditi određene tendencije. Jedan od rezultata istraživanja jeste i određivanje vrednosti karakterističnih veličina ili njihovih raspona, što bi moglo poslužiti kao osnova za ubrzavanje i olakšavanje procesa odlučivanja.*

*Ključne reči: sistem održavanja, relevantni faktori, modelovanje, simulacija.*

---

## SELECTION AND ANALYSIS OF THE MULTILEVEL MAINTENANCE SYSTEMS INFLUENCE FACTORS

### Summary:

*There are number factors of influence on performance of the maintenance systems. In this paper they are identified and strength, way and its form on the performance parameters measure its influence in two real multilevel maintenance systems. Influence factors determination and investigation of its strength, way and form can have application in function of cost/benefit analysis for all kinds of investment are the investigation goal. The results could eliminate some costly investigation or reduce it in time by indication the best ways of improving performance of analyzed systems. It could also indicate, by form, the „moment“ when any further investment is no longer worth the trouble (payable). Schedule of improvement steps can also be made.*

*Key words: maintenance system, influence factors, modeling, simulation.*

---

### Uvod

Svi sistemi održavanja (SOd) se, u načelu, mogu podeliti na dve grupe: SOd za podršku osnovne delatnosti poslovnih i drugih sistema i „servise“ za održavanje.

Kod poslovnih i drugih sistema, gde su troškovi ili opasnost od nerada tehnike daleko veći od troškova održavanja, for-

miraju se sistemi održavanja prve grupe. Osnovni cilj ovakvih SOd sastoji se u tome da se postigne što veći nivo raspoloživosti – gotovosti tehničkih sredstava (TS) koja se koriste pri obavljanju osnovne delatnosti (što kraće vreme u zastoju), uz što manje troškove. Time se postiže smanjenje [1]: gubitaka resursa, verovatnoće nekvalitetnog obavljanja po-

sla, konfuzije i zakašnjenja u planovima rada, pada motivacije zaposlenih i mogućnosti nastanka značajnih društvenih šteta (materijalnih i ekoloških). Uprave nekih ovakvih sistema smatraju da ukoliko njihovi radnici u održavanju manje rade to je održavanje bolje, jer je tehnika ispravnija, radi, donosi dohodak i ne dovodi do drugih rizika.

Sistemi druge grupe orijentisani su na slobodno tržište karakterističnih usluga održavanja i rade na dohodovnom principu kao i drugi poslovni sistemi. Imaju za cilj da povećaju sopstveni dohodak povećanjem broja (više radova održavanja, što uključuje i veću – širu ponudu mogućih akcija održavanja) i vrednosti usluga koje pružaju (ne samo kroz jednostavno podizanje cene već i kroz proširivanje obima i sadržaja mogućih akcija održavanja), uz smanjenje troškova. U ovakve sisteme spadaju i mreže servisa koje otvaraju veliki proizvođači raznorodnih tehničkih sredstava. Servisi za održavanje su, u ovom slučaju, namenjeni obezbeđivanju tzv. „postprodajnih“ usluga. Danas se strategija ovakvih organizacija zasniva na pravilu [2] „stranka na prvom mestu“, a tzv. „glavni empirijski obrazac“ glasi: „prvi proizvod prodaje prodavac, a sve naredne dobra usluga servisne službe“. Najvažniji ciljevi se određuju, prema ciljevima proizvođača, putem jednačine „zadovoljenje stranke = veće tržišno učešće = bolji rezultati poslovanja“. Servisi su u tom slučaju instrumenti za zadovoljenje i obavezivanje stranaka, a utiču na poboljšanje spoljašnjeg i internog ugleda proizvođača.

U stvarnosti, nisu retki sistemi koji predstavljaju kombinaciju prethodnih, s tim što je pripadnost jednoj od navedene dve grupe uvek više izražena.

I jedni i drugi sistemi održavanja imaju za cilj da pruže kvalitetne usluge korisnicima TS. Može se zaključiti da se kvalitet usluga održavanja, u odnosu na korisnika tehničkih sredstava, prvenstveno, sastoji u obezbeđenju i povećanju upotrebnog kvaliteta TS i njegovog elementa sigurnosti funkcionisanja (što uključuje raspoloživost, pouzdanost, pogodnost održavanja i logističku podršku SOd).

Razlike među navedenim sistemima održavanja su u domenu finansijske i upravne samostalnosti u odnosu na viši – širi sistem ili okruženje. Servisi su samostaljniji u upravnom i finansijskom smislu.

Svoje funkcionisanje većina SOd ostvaruje kroz pojedinačni i maloserijski tip proizvodnje. Sistemi održavanja, posebno oni kod velikih preduzeća, u vojsci, itd. su prema nadležnostima hijerarhijski ustrojeni s jedne strane, a sa druge su, načelno, prostorno razučeni, gde je svaka organizaciono-tehnološka celina (jedinica-podcelina sistema) zaokružena i za date uslove univerzalna. Sistemi se strukturiraju kao višenivojski da bi se rešili problemi: skraćivanje vremena zadržavanja TS na opravci, rasporeda elemenata SOd i TS u prostoru, boljeg iskorišćenja skupe i retke opreme (kao i r/d, kadra i prostora), rasterećenja viših nivoa upravljanja od tekućih i jednostavnijih poslova i omogućavanja upravnoj strukturi da putem raspodele kapaciteta izrazi prioritete u održavanju u skladu sa ciljevima osnovnog sistema. Svi elementi<sup>1</sup> SOd raspoređuju se po nivoima, po pravilu tako da podrže tehnološki proces održavanja istog nivoa i funkcionisanje nižih nivoa.

Organizacione strukture SOd obično su složene, jer je protok informacija

<sup>1</sup> Pod elementima SOd podrazumevaju se: kadar, oprema, prostor, rezervni delovi, dokumentacija, softver, itd.

veoma kompleksan prema broju učesnika i po nivoima. Efikasnost ovakvih struktura može obezbediti samo dobro koncipiran i organizovan informacioni sistem, odgovarajući tip strukture i raspodela nadležnosti. Logistički sistemi, u koje spada i SOd, pripadaju klasi sistema kod kojih je ključni faktor uspeha ubrzanje informacionih tokova i procesa donošenja odluke<sup>2</sup> [3]. Po svojim karakteristikama SOd predstavljaju, posebno oni druge grupe, prave poslovne sisteme.

Uvek postoje više ili manje uspešni SOd. Pošto je uspešnost dinamička kategorija, mora se razmatrati za sadašnji trenutak, ali i predviđati za budućnost u odnosu na konkurenciju, moguće promene u sistemu i okruženju, i trendove razvoja. S tim u vezi i problematika usavršavanja i poboljšanja uspešnosti SOd stalno je aktuelna. U [2] se navode npr. sledeći, permanentni ciljevi SOd: neprestano osmatranje tržišne situacije, *empirijsko predviđanje daljeg razvoja mnogobrojnih relevantnih faktora*, osmatranje tendencija privrednog napretka, razvoja dohotka, ponašanja potrošača (korisnika), konkurencija, itd.

Kao i na druge sisteme i na uspešnost SOd utiču izvesni faktori. Predmet ovog rada je upravo identifikacija i razmatranje uticaja pojedinih faktora na sistem održavanja, radi određivanja karakteristika budućih pravaca razvoja na osnovu njihove kvantifikacije. Razmatrani faktori determinisani su, prvenstveno, danas aktuelnim pravcima razvoja SOd, ali i realnim mogućnostima njihove kvantifikacije.

<sup>2</sup> Razlikuju se, načelno, tehnička i procesna brzina generisanja, prenosa, obrade informacija i donošenja odluke. Tehnička brzina zavisi od tehnologije koja se u ovim procesima koristi i kvalifikacije kadra. Procesna brzina zavisi od karaktera organizacione strukture, što uključuje i raspodelu nadležnosti i odgovornosti, ali i kompetenciju donosioca odluka. Danas se smatra da pošto tehnologija omogućava zavidan nivo povećanja brzine odvijanja ovih procesa težište treba preneti na ubrzanje procesne brzine [3].

Cilj istraživanja sastoji se u određivanju relevantnih faktora i kvantifikaciji njihovog uticaja na sistem održavanja i njihovom rangiranju u odnosu na značaj efekata koje daju, redosled potrebnih akcija razvoja i/ili uzročno-posledičnu vezu pri primeni u sistemu.

Uticaj faktora na SOd razmatraće se preko uspostavljanja i analize zavisnosti sa određenim pokazateljima uspešnosti funkcionisanja SOd. Istraživanje treba da omogući određivanje oblika i parametara zavisnosti pokazatelja uspešnosti funkcionisanja od razmatranih faktora. Takođe, istraživanje treba da omogući sagledavanje oblika promene pokazatelja uspešnosti funkcionisanja u širokom rasponu ulaznih veličina tih faktora, kako bi se mogle utvrditi određene tendencije. Jedan od rezultata istraživanja jeste i određivanje vrednosti karakterističnih veličina ili njihovih raspona, što bi moglo poslužiti, kao osnova, za ubrzanje i olakšavanje procesa odlučivanja.

Određivanje uticaja promene relevantnih ulaznih veličina na izlazne rezultate funkcionisanja, odnosno na pokazatelje uspešnosti razmatranog sistema, ima teorijski i praktični značaj. Teorijski značaj ogleda se u kvantifikaciji uticaja pojedinih promenljivih faktora, utvrđivanju njihove značajnosti, pravca delovanja i utvrđivanju oblika i karakteristika međuzavisnosti sa pokazateljima uspešnosti. Praktični značaj ima utvrđivanje spektra osetljivosti izlaznih rezultata na promenu ulaza, jer utvrđivanje činjenice da mala promena ulaza izaziva „burnu“ reakciju izlaza povlači za sobom potrebu utvrđivanja tačnih (stvarnih) vrednosti ulaza i povećava značaj i hitnost sprovođenja adekvatnih mera i postupaka istraživanja i razvoja. Time bi se rukovodiocima, projektantima i istraživačima SOd olak-

šao posao oko: spoznaje kvantitativnih pokazatelja na osnovu kojih će se odabrati koja je varijanta, odnosno pravac usavršavanja – razvoja najbolja i izbora redosleda koraka usavršavanja sistema ili istraživanja, gledano prema specifičnom sistemu kriterijuma. To bi u rezultatu imalo za posledicu smanjenje troškova istraživanja, ubrzanje donošenja i poboljšanje kvaliteta razvojnih odluka i smanjenje rizika od donošenja pogrešnih odluka.

### Usavršavanje – razvoj SOd

Nepreduzimanje koraka ka usavršavanju – razvoju SOd nužno bi izazvalo potencijalne rizike da se donesu pogrešne odluke. Neusavršavanje sistema vodi njihovoj sigurnoj stagnaciji i propasti, kao i pogrešne razvojne odluke. Razvoju – usavršavanju SOd može se pristupiti na dva načina, koji se razlikuju prema obuhvatu, vremenu realizacije, rizicima koje sobom nose i efektima koje njihova primena omogućava.

Prvi pristup zasniva se na usavršavanju delova, elemenata i procesa u sistemu. Ovakvi pristupi opisani su npr. u literaturi [5, 6]. Cilj se sastoji u rešavanju obično lako uočljivih problema koji „muče“ konkretne rukovodioce. Relativno brzo se realizuju, a efekti su, u odnosu na sistem, obično mali, odnosno u srazmeri sa obuhvatom problema. Rizici grešaka pri ovakvom pristupu su mali, a napredak sistema se odvija „korak po korak“. Po pravcu primene to je pristup odozdo nagore, pri čemu je neophodno uzimanje u obzir svih relevantnih faktora i karakteristika razmatranih procesa, a podstiče se i kreativnost pri stvaranju – projektovanju procesa proizvoda kod ljudi koji učestvuju u usavršavanju SOd. Ovakav pristup adekvatan je za SOd koji

se nalaze na višem nivou unutrašnje organizovanosti i tehničko-tehnološkog nivoa – „vodeće SOd“. Međutim, i „lošiji“ sistemi ga mogu primeniti, jer je bolji bilo kakav nego nikakav razvoj.

Druga grupa pristupa zasniva se na reprojektovanju sistema kao celine. Takvi pristupi su opisani u literaturi [7, 8, 9], a njihov cilj se sastoji u usavršavanju – razvoju sistema kao celine. Za svoju realizaciju traže vreme, a efekti njihove primene su veliki, jer se zasnivaju na iskorišćenju sinergetskog efekta. Napredak sistema uz ovakav pristup odvija se „skokovito“, a rizici grešaka mogu biti veći. U suštini su to pristupi odozgo nadole (ali i kombinovano), koji nude veću širinu zahvata sagledavanja problema, međusobnih veza i međuzavisnosti među procesima.

Zbog dugog vremena realizacije, smanjenja verovatnoće pojave grešaka i potrebe za otklanjanjem „očitih“ problema, dok se ne dođe do krajnjeg povoljnog rešenja, drugi pristup može se kombinovati sa prvim, naravno imajući u vidu krajnji cilj, da ne bi došlo do stvaranja „disonantnih rešenja“. Rešenja ostvorena prvim pristupom zatim se inkorporiraju u „dugoročna i sveobuhvatna“ rešenja. Ovakav pristup, posebno uz kombinaciju sa prvim, pogodan je za sisteme koji su u „krizi“, odnosno koji se na razvojnoj lestvici nalaze ispod ili mnogo ispod „najboljih“ SOd, i kojima je razvoj – usavršavanje neophodan preduslov opstanka.

Osnova za oba ova pristupa mora biti situacioni pristup (Case study approach), jer se moraju uvažiti specifičnosti svakog realnog SOd-a.

Problem koji treba da reše inicijatori razvojnih promena u SOd je dvojak. Jedan se sastoji u tome da se izabere postupak usavršavanja – razvoja, a drugi



je iznalaženje načina da se dođe do kvantitativnih pokazatelja<sup>3</sup> na osnovu kojih će se odabrati koja je varijanta – pravac usavršavanja (razvoja) najbolja, gledano prema specifičnom sistemu kriterijuma, bez eksperimenata na samom sistemu i bez većih troškova istraživanja.

Rešenje prvog problema treba prilagoditi specifičnim uslovima u kojima se konkretni SOd nalazi i njegovim konkretnim istraživačko-razvojnim mogućnostima. U slučaju drugog problema, bez obzira za koji se pristup razvoju opredeli, korisno je znati kakvi su rezultati primene za pojedine varijante – pravce usavršavanja ostvareni kod drugih SOd, jer se po analogiji mogu pretpostaviti efekti i na sopstvenom sistemu. Bez obzira na specifičnosti pojedinih SOd ovi podaci mogu u svakom slučaju poslužiti kao dobar orijentir<sup>4</sup> jer ukazuje na to šta treba raditi, odnosno koje varijante treba naglasiti. Činjenica je da moguće pravce razvoja određuje uspešnost primene pojedinih rešenja upravo kod tzv. relevantnih SOd, odnosno onih koji postižu najbolje izlazne rezultate funkcionisanja ili vodećih sistema, ali i onih kod kojih su, preduzimajući određene aktivnosti razvoja, dostigli vodeće sisteme ili postigli neke veoma dobre rezultate funkcionisanja.

U literaturi ima mnogo prikaza primene pojedinih rešenja i njihovih efekata (Case Studies). Postoje, međutim, i otežavajuće okolnosti koje usložavaju ili onemogućavaju primenu iznetih iskustava. Nivo primene razvojnih rešenja

<sup>3</sup> U današnjoj praksi gotovo je nemoguće dokazati bilo šta najvišem rukovodstvu ako to nije zasnovano na brojčanim pokazateljima. To važi i u slučajevima kada, među rukovodjima, nema dvoumljenja oko shvatanja potrebe za preduzimanjem razvojnih koraka.

<sup>4</sup> Voda, sem u specifičnim laboratorijskim uslovima, nikada ne kipi na tačno 100°C. I pored toga ovaj podatak je vrlo koristan za donošenje odluka i pojedine proračune [10].

veoma se razlikuje od primene na nivou delova TS, preko primene za pojedina TS do primene u pojedinim radionicama. Malo je prikaza primena razvojnih rešenja i odgovarajućih pokazatelja uspešnosti ostvarenih u SOd koji su višenivojski organizovani, prostorno razudeni, složeni po strukturi, broju i tehnološkim rešenjima TS koja se u njima održavaju, i u kojima se ostvaruju brojni i složeni materijalni i informacioni tokovi, a takvi su SOd tzv. „velikih“ sistema. Naredni problem je u tome što se za ilustraciju ostvarenih efekata koristi veoma široka lepeza pokazatelja, od kojih su neki karakteristični samo za posmatrani slučaj. Retko ili gotovo nikada se dobijeni efekti ne prikazuju u obliku zavisnosti od nekih ulaznih veličina, što vrednost rezultata svodi u granice pojedinačnog, na osnovu čega je teško vršiti potrebne generalizacije.

### Relevantni pokazatelji uspešnosti

Svi autori se slažu da ne postoji jedna i osnovna mera za uspešnost logističkih sistema u koje spadaju i SOd. Moguće je, međutim, odrediti opšti skup mera uspešnosti SOd.

Prema podacima koncerna Volkswagen [2] najvažnija očekivanja stranaka, po rezultatima ispitivanja mnjenja vlasnika motornih vozila, jesu: pouzdani servis, uočljiva i ljubazna usluga, stručno savetovanje i stručna preporuka, cene u skladu sa radnim učinkom, opsežna servisna ponuda i servisne usluge na kvalitativno visokom nivou i ljubaznost. Specijalno za servisnu službu najvažnija očekivanja stranaka su: tačna i brza usluga, garancija za sigurnost i kvalitet, obavezujući termini opravke, kratkotrajne opravke, lično uručivanje vozila sa preciznim

tumačenjem računa, cenovnik opravke (cena ne sme biti tajna) i povoljno radno vreme.

Ako se SOd posmatra kao logistički podsistem onda uspešnost ovakvih sistema treba odrediti skupom kriterijuma od kojih su osnovni [4]: kvalitet usluge (pouzdanost kvaliteta usluge i efikasnost njenog izvršenja), raspoloživost proizvoda – usluge koji su potrebni korisniku – kupcu, odgovornost prema zahtevima korisnika – kupca (brzo i efektivno procesiranje zahteva), brzina i pouzdanost kojom se usluga izvršava.

Pouzdanost kvaliteta usluge može se meriti pouzdanošću tehničkih sistema koji se održavaju,<sup>5</sup> a efikasnost i brzina njenog izvršenja može se meriti pokazateljima pogodnosti za održavanje (posebno kroz skraćanje vremena aktivnog održavanja). „Raspoloživost proizvoda – usluge“ u ovom slučaju odnosi se na mogućnost (verovatnoću) korisnika da ostvari traženu radnju – akciju održavanja u SOd-u, bez posebnih zastoja. Sistem održavanja će, u prethodnom slučaju, biti uspešniji što ima više raspoloživih resursa i kapaciteta (odnosno elemenata sistema održavanja), odnosno mogućnosti (veća verovatnoća) da „pozitivno“ odgovori na zahteve. Poboljšanja se ovde mogu postići i korišćenjem moderne tehnologije (za izvršenje postupaka održavanja i informacione) i permanentnom obukom kadra za održavanje. Što više resursa i kapaciteta, međutim, znači i veće troškove, ali ima za posledicu smanjenje trajanja zastoja zbog održavanja. Odgovornost prema zahtevima korisnika – kupca i brzina kojom se usluga izvršava postiže se, prvenstveno, smanjivanjem veličine administrativnih i logističkih kompone-

nata vremena zastoja zbog održavanja, što pozitivno utiče na raspoloživost. Pouzdanost kojom se usluga izvršava u nekom vremenskom periodu može se meriti odnosom broja zahtevanih i realizovanih akcija održavanja. Dohodak se kod SOd obično obračunava u odnosu na broj ostvarenih norma-časova rada na održavanju, a on je veći što je veći broj realizovanih akcija održavanja u posmatranom periodu.

Naravno, ne treba zanemariti da je izvestan broj pokazatelja uspešnosti teško merljiv ili da nema potrebe da se meri, jer zavisi od „poslovne politike“ karakterističnog SOd (npr. lično uručivanje vozila sa preciznim tumačenjem računa, postojanje cenovnika, povoljno radno vreme, ljubazna usluga, stručno savetovanje i stručna preporuka, cene u skladu sa radnim učinkom, širenje servisne ponude, itd.). Jedan od načina merenja ovakvih pokazatelja je kroz instrumentarijum tzv. sistema „obećanja kvaliteta“, „merenja dilerskog imidža“, „programa za proveru i testove za radionice“, „spoljnih testova“, „obrade reklamacija stranaka“, „telefonskim izveštajima“, itd. [2]. Na osnovu prikupljenih podataka – odgovora od korisnika i drugih, prema specijalizovanim upitnicima, a nakon statističke analize dolazi se do pokazatelja koji se prvenstveno grupišu na pozitivne i negativne, i čije se veličine uglavnom izražavaju u vidu verbalnih iskaza (npr. „visok stepen ljubaznosti osoblja“), ali i preko kvantitativnih ocena. Ovakvi pokazatelji uspešnosti suviše su karakteristični da bi se mogli izučavati na opštem nivou, ali se njihov značaj u slučaju konkretnih SOd ne može ničim osporiti.

Bez obzira na sve, sistem kriterijuma uspešnosti mora se formirati kao specifičan, s tim da danas najbolje rezultate

<sup>5</sup> Ovo znači barem zadržavanje prethodnog nivoa pouzdanosti i smanjenje broja reklamacija, jer su one, po suštini, takođe, otkazi.

daju sistemi izgrađeni kao kombinacija na osnovama specifičnog sistema kriterijuma i na osnovu pokazatelja sa kojima se može izvršiti poređenje sa najboljim sistemima bez obzira na to kojoj oblasti pripadaju [4]. Prednosti primene ovog metoda (u suštini, metod Benchmarking) jesu u tome da se može [4]: izvršiti poređenje sa konkurencijom, poboljšati zadovoljstvo (ispuniti zahtevi) korisnika – kupaca usluge, steći i održati reputacija na tržištu (okruženju), povećati profit, smanjiti troškovi, dostići vodeći status u oblasti i osigurati se od konkurencije, izvršiti identifikacija problemskih tačaka, preciznije definisati skup ciljeva sistema u budućnosti, omogućiti konstantan napredak, poboljšati motivacija zaposlenih i druge komparativne prednosti.

Efekti relevantnih faktora treba, dakle, da budu određeni na osnovu unapred zadatog sistema kriterijuma koji maksimalno moguće određuju opšti model ocenjivanja, da bi se postigla veća opštost i šira primenljivost dobijenih rezultata. Na taj način postiže se i invarijantnost dobijenih rezultata, što ukazuje na to da SOD i jedne i druge grupe, i pored razlika, mogu koristiti, u osnovi, iste *opšte pokazatelje uspešnosti funkcionisanja* – ostvarivanja postavljenog cilja, a to su:

- raspoloživost – gotovost,
- pokazatelji realizacije akcija održavanja (uključujući i realizaciju izraženu u norma-časovima),
- troškovi.

Gotovost – raspoloživost se u teoriji (inženjerstvu) održavanja uvek uzima za vršni kriterijum uspešnosti nekog SOD. Može poslužiti kao pokazatelj efektivnosti za SOD, uopšte. Izrazi za izračunavanje su poznati u teoriji. Kod vojnih sistema, gde postoje gubici TS, bilo povratni ili nepovratni, i gde je cilj SOD-a još i spasavanje TS izvlačenjem i evakuacijom,

raspoloživost se, uslovno, može odrediti kao odnos srednje vrednosti broja ispravnih sredstava prema ukupnom broju sredstava u nekom periodu, ili preko ukupnog broja ispravnih TS (ili u odnosu ukupnog broja ispravnih prema ukupnom broju) u nekom, presečnom, trenutku vremena ili za sve vreme trajanja akcije. Obično se može prikazati kao funkcija vremena. Izračunava se za celinu SOD, za sve posmatrane podsisteme, za sva TS i prema posmatranim grupama TS.

Procenat tehnoloških zahteva (izvršenih radova) koje može realizovati sistem održavanja po kategorijama TS, po nivoima, po vrstama radova – postupaka održavanja i ukupno, u nekom periodu, može biti uzet kao mera pokazatelja realizacije akcija održavanja. Kriterijum je izabran da indirektno ukaže na odnos pokazatelja kriterijuma efikasnosti,<sup>6</sup> elastičnosti i jednostavnosti. Izračunava se za celinu SOD i za sve posmatrane podsisteme. Iskazuje se kao procentualni odnos realizovanog prema ukupnom broju zahtevanih radova održavanja određene klase.

Troškovi se najefektnije, ali i najteže mogu prikazati u novčanom iznosu, jer zbog promene vrednosti novca (inflatorna kretanja), kao i problema metodologije vođenja i iskazivanja pojedinih troškova (to je problem koji uzrokuje postojeća zakonska i druga regulativa). Zbog toga je najbolje da se troškovi iskazuju u vidu veličine nekih potrebnih resursa (npr. brojem radnih mesta, brojem mašina, itd.), jer se smatra da su nepromenljivi troškovi (najveći deo troškova) proporcionalni veličini angažovanih resursa. Kod vojnih sistema troškovi održavanja mogu se iskazati i preko mogućih gubitaka TS. Gubici TS zbog nepravovreme-

<sup>6</sup> Najkraća definicija efektivnosti i efikasnosti sastoji se u pitanju: „Da li se radi prava stvar na pravi način“.

nog izvršenja radnji održavanja u ratu se određuju kao broj sredstava koja su zbog toga zarobljena u toku izvršenja borbenih dejstava. To je broj sredstava koja su na taj način izgubljena. Na taj način određuju se mogući troškovi do kojih može doći zbog neopsluženih tehnoloških zahteva. Izračunava se za celinu SOd i za sve posmatrane podsisteme i to ukupno za sva TS i prema posmatranim grupama.

### **Analiza i izdvajanje relevantnih faktora**

Dinamiku i osnovne pravce usavršavanja – razvoja diktiraju SOd koji se nalaze na višem nivou unutrašnje organizovanosti i tehničko-tehnološkog nivoa, poremećaji u traženju usluga i izmenjeni zahtevi kupaca – korisnika usluga.

Današnji trendovi razvoja SOd u domenu koncepcije – strategije<sup>7</sup> sistema održavanja su jasni – što šira primena održavanja prema stanju i prediktivnog održavanja. Poseban doprinos primeni ovih koncepcija dao je razvoj opreme za tehničku dijagnostiku i samodijagnostiku i informatičke tehnologije. Napušta se koncept plansko-preventivnog održavanja gde god je to moguće. Teži se uspostavljanju racionalnog režima eksploatacije TS, maksimalnom smanjenju potreba TS za održavanjem i povećanju učešća korisnika u održavanju (posebno kroz koncepte totalnog produktivnog održavanja i samoodržavanja – sistemi bez održavanja, karakteristični za Japan). Razlog tome je u težnji ka smanjenju broja nepotrebnih preventivnih radova, smanjivanju rizika od iznenadnih, posebno havarijskih otkaza, prenošenju dela radova na korisnike (rasterećenje SOd), smanjenju za-

stoja u održavanju i utroška rezervnih delova i drugih resursa, a time i troškova. Postoji i mogućnost otklanjanja slabih mesta na TS (putem analize geneze otkaza) i time smanjenja učestanosti otkaza.

U domenu tehnologije posebna pažnja se pridaje razvoju različitih dijagnostičkih uređaja sa težnjom da se proces dijagnostike automatizuje, poveže sa odgovarajućim informacionim i ekspertskim sistemima (čak i na globalnom – svetskom nivou), razvoju uređaja za automatsku montažu (demontažu) sklopova – delova i uređaja – postupaka za regeneraciju (revitalizaciju) delova. Evidentan je napredak u razvoju uređaja za samodijagnostiku TS. Sve više mehaničkih veličina prevodi se u električne, a one se registruju preko računara koji se ugrađuju u TS, odnosno konstrukcija se prilagođava dijagnostičkim potrebama. Dijagnostički uređaji čine TS sigurnijim (smanjuje se rizik iznenadnog otkaza), konformnijim i ekološki ispravnijim. Na taj način se smanjuje utrošak rezervnih delova iskorišćenjem njihove „rezerve pouzdanosti“ i vrši njihova supstitucija, skraćuje se vreme zastoja zbog održavanja i u velikom delu eliminišu opravke putem zamene „sumnjivih“ delova i druge greške koje su prouzrokovale veće angažovanje radne snage i finansijskih sredstava i duže zastoje zbog održavanja. Može se očekivati i povećana realizacija radova održavanja.

U smislu trendova usavršavanja organizacije [7, 8, 11, 12] jasno je da će ključni element uspeha biti adekvatan mehanizam koordinacije, odnosno adekvatna organizaciona struktura, pravila i procedure, jer će ključni problemi biti posledica decentralizacije. Drugi element uspeha je usmerenost na korisnike usluga – kupce. Za SOd su posebno važni mehanizmi integracije sa osnovnom funkcijom sistema – korisnicima (radi poboljšanja u sferi planiranja, kvaliteta usluge održava-

<sup>7</sup> U ruskoj terminologiji: sistem održavanja; u Nemačkoj: strategija održavanja; u SAD i delu domaće naučne javnosti: koncepcija održavanja ili politika održavanja.

nja<sup>8</sup> i smanjenja neplanskih zastoja) i sa institucijama koje se bave razvojem, proizvodnjom, modifikacijama i nabavkom TS.<sup>9</sup> Potrebno je iznaći i adekvatne mehanizme integracije sa spoljašnjim, specijalizovanim, uslužnim organizacijama održavanja, jer već duže postoji opšta težnja ka prenošenju dela specifičnih poslova održavanja na spoljne saradnike [1].

Jedan od ključnih mehanizama prevazilaženja problema nastalih decentralizacijom i potrebom da se zadovolje specifični zahtevi okruženja sastojace se u integraciji delova sistema prema procesima,<sup>10</sup> naravno, uz eliminaciju gubitaka u njima, i stvaranju adekvatne funkcionalne organizacione strukture (danas su to matrična, projektna ili višelinijaska funkcionalna struktura). Ključni faktor bilo kakve integracije je adekvatan informacioni sistem. Sama primena savremene informacione tehnologije bez odgovarajuće reorganizacije neće omogućiti postizanje većih efekata na ukupnu uspešnost SOd [7], jer se time ne ostvaruju efekti na procesnu brzinu prenosa i obrade informacija. To znači da će uspešnija biti ona organizaciona rešenja koja, uz integraciju prema procesima, omogućavaju povećavanje kvaliteta, pojednostavljenje i ubrzanje materijalnih i informacionih tokova u sistemu i između SOd i okoline.

<sup>8</sup> Vezano za koncept TQM, uvođenje sistema kvaliteta prema standardima ISO 9000, 10000, 14000, standardima o pouzdanosti ljudskog faktora, itd.

<sup>9</sup> Stvaranje ovih relacija zasniva se na aktuelnim konceptima integralne logističke podrške (ILS-ITOb), serije američkih vojnih i IEC standarda, čija se filozofija zasniva na integralnom i sveobuhvatnom posmatranju događaja vezanih za proizvod u toku čitavog životnog veka, odnosno pružanju podrške – obezbeđenju kvaliteta TS u toku projektovanog „životnog veka“. U primeni ovog koncepta insistira se na povećanju pouzdanosti TS, minimiziranju kvantitativnih pokazatelja pogodnosti održavanja, ugradnji test-opreme, modularnom konceptu gradnje TS radi omogućavanja primene principa agregatne zamene, izradi i projektovanju dijagnostičke opreme višestruke namene, itd. radi povećanja raspoloživosti TS i smanjenja ukupnih troškova životnog veka.

<sup>10</sup> Pod procesima se podrazumeva komplet delatnosti od nastanka nekog zahteva – potrebe do njegovog punog zadovoljenja uz orijentaciju prema korisniku – kupcu i uklanjanje svih „barijera“ funkcionisanja.

Takva rešenja uticaće posebno na izmene informacionih tokova u SOd, a one na izmene tokova materijala, radne snage, novca i drugog. Posledice se ogledaju u skraćenju vremena zastoja zbog održavanja, većoj realizaciji radova održavanja i smanjenju veličine potrebnih resursa, odnosno smanjenju troškova.

Sa stanovišta organizacione kulture sve je izraženiji i trend humanizacije odnosa. Takođe, uočava se težnja [1] da se što više aktivnosti održavanja prebaci na radnike u proizvodnji, odnosno korisnike TS, što je posebno izraženo u Japanu u okviru strategije totalno produktivnog održavanja koja zahteva angažovanje svih zaposlenih jednog sistema u procesu održavanja. U slučajevima kada je to ekonomski ili u stručnom pogledu opravdano teži se poveravanju svih poslova u vezi sa jednim tehničkim sredstvom ili grupom sličnih tehničkih sredstava, bez obzira na njihovu složenost, jednom izvršiocu održavanja, a ne kao do sada, kada je glavni kriterijum bio specijalizacija. Odnosu sa korisnikom usluga posvećuje se posebna pažnja, kao što je nekoliko puta isticano, pa se razrađuju i posebni modaliteti nagrađivanja u održavanju. Sve to zahteva permanentno obrazovanje kadra, standardizaciju metoda rada, formalizaciju i tipizaciju postupaka i poboljšanja u sistemu, a rezultat se vidi u povećanju kvaliteta usluge održavanja, skraćenju vremena zastoja i troškova.

Ključni faktori koji utiču na uspešnost funkcionisanja SOd u stvari su obeležja ili osnovne komponente sistema održavanja: koncepcija, tehnologija i organizacija. Tome bi se mogao priključiti i „ljudski faktor“. Ovako određeni faktori su suviše opšti i nepogodni za kvantifikaciju. Zbog toga je izvršena jedna vrsta hijerarhijske dekompozicije sadržaja ovih uticajnih faktora, radi dolaska do njihovo-

Struktura relevantnih faktora

Faktori I nivoa	Faktori II nivoa	Faktori III nivoa – merljivi faktori
Koncepcija	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Karakter održanih TS</li> <li>2. Karakter dijagnostičke opreme</li> <li>3. Učestanost (verovatnoća nastanka) pojedinih TZ</li> <li>4. Struktura TZ</li> <li>5. Zakonitost pojave TZ u vremenu</li> <li>6. Karakter radne snage</li> <li>7. Mogućnost prikupljanja i obrade relevantnih podataka</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Broj TZ za neki period (uključuje vremena između otkaza i održavanja)</li> <li>2. Struktura TZ po specifičnim kategorijama (u procentima)</li> <li>3. Kvalitet održavanja (broj reklamacija ili verovatnoća kvalitetnog održavanja)</li> <li>4. Rizik iznenadnog otkaza (verovatnoća)</li> <li>5. Aktivno vreme održavanja (i dijagnostike)</li> <li>6. Tačnost dijagnostike</li> </ol>
Tehnologija	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Karakter dijagnostičke opreme</li> <li>2. Karakter opreme za montažu i demontažu</li> <li>3. Karakter ostalih alata i opreme</li> <li>4. Karakter postrojenja</li> <li>5. Karakter dokumentacije</li> <li>6. Veličina i model upravljanja zalihama r/d</li> <li>7. Veličina svih potrebnih resursa (po elementima SOd)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aktivno vreme održavanja (i njegovi sastavni elementi)</li> <li>2. Logističko vreme zastoja</li> <li>3. Kvalitet održavanja (broj reklamacija ili verovatnoća kvalitetnog održavanja)</li> <li>4. Tačnost dijagnostike</li> <li>5. Količina resursa (verovatnoća zadovoljenja potrebe za nekim elementom SOd bez čekanja)</li> <li>6. Verovatnoća regeneracije i proizvodnje r/d</li> </ol>
Organizacija	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organizaciona struktura (tip-raspodela nadležnosti-odgovornosti i putevi komunikacije)</li> <li>2. Stepenn formalizacije, standardizacije i unifikacije upravljačkih postupaka (postupci, prioriteti, principi...)</li> <li>3. Stepenn automatizacije prikupljanja obrade i prenosa informacija</li> <li>4. Broj nivoa (podrške) u SOd</li> <li>5. Raspored TS i elemenata SOd u prostoru</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vreme prenosa i obrade informacija (administrativno vreme zastoja)</li> <li>2. Tačnost informacija (verovatnoća)</li> <li>3. Verovatnoća gubljenja – zaturanja informacija</li> <li>4. Logističko vreme zastoja</li> <li>5. Verovatnoća održavanja po nivoima (stepenn autonomije)</li> <li>6. Interval strpljivosti po TS i nivoima</li> <li>7. Broj nivoa</li> </ol>
„Ljudski faktor“	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Broj radnika</li> <li>2. Obučenosn ljudskog faktora</li> <li>3. Obim i sadržaj radnog zadatka</li> <li>4. Motivacija</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aktivno vreme održavanja</li> <li>2. Kvalitet održavanja (broj reklamacija ili verovatnoća kvalitetnog održavanja)</li> <li>3. Broj i struktura radne snage (verovatnoća zadovoljenja potrebe za kadrom bez čekanja)</li> </ol>

vih merljivih komponenti – pokazatelja, što je prikazano u tabeli 1.

Faktori tzv. III nivoa kvantitativno opisuju osnovne (I nivo) i izvedene faktore (II nivo) u njihovom najvažnijem delu. Izabrani su na osnovu saznanja o trendovima razvoja, uzrocima pojava i procesa u SOd i na osnovu praktičnog i teorijskog iskustva autora istraživača na rešavanju problema realnih SOd. Naravno, s tim u vezi mogući su i drugačiji pristupi.

Iz table 1 je jasno da se neki faktori trećeg nivoa ponavljaju, kada se posma-

tra prema faktorima prvog nivoa. Razlog tome je međusobno preplitanje i višedimenzionalnosn uticaja koji se ostvaruju istim sredstvima – uzrocima (npr. dijagnostičkom opremom ili informatičkom tehnologijom).

Dimenzije navedenih faktora karakteristične su za svaki pojedinačni SOd i održavanje posebnih TS, kao i njihov uticaj u odnosu na pokazatelje funkcionisanja.

– nastaviće se –

**Dr Marko Andrejić,**  
major, dipl. inž.  
**Andreja Andrić,**  
dipl. inž.  
**Nikola Stojanović,**  
dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## **EKSPERTSKI SISTEM ZA PODRŠKU OPERATIVNOG ODLUČIVANJA U OBLASTI DIJAGNOSTIKE NEISPRAVNOSTI TMS U ZDRUŽENIM TAKTIČKIM JEDINICAMA**

UDC: 007.52 : 519.816] : 623.004.64

### *Rezime:*

*U radu je prikazan ekspertski sistem za podršku odlučivanju u oblasti dijagnostike neispravnosti TMS koja su zastupljena u združenim taktičkim jedinicama. U sažetoj formi prikazane su teorijske osnove dijagnostike i ekspertskih sistema, struktura razvijenog ekspertskog sistema, način korišćenja i efekti primene. U razvijeni sistem ugrađeno je znanje eksperata za konstrukciju, dijagnostiku i održavanje tehničkih materijalnih sredstava u združenim taktičkim jedinicama i podaci iz literature iz ove oblasti. Predloženi su pravci daljeg rada na usavršavanju razvijenog ekspertskog sistema.*

*Ključne reči: dijagnostika, tehnička materijalna sredstva, odlučivanje, ekspertski sistem.*

## **EXPERT SYSTEM FOR OPERATING DECISION MAKING SUPPORT IN DIAGNOSING DEFECTS OF EQUIPMENT IN JOINT TACTICAL UNITS**

### *Summary:*

*The paper presents an expert system to support decision making in the field of diagnostics of equipment defects in joint tactical units. The theoretical bases of diagnostics and expert systems are briefly presented as well as the structure of a developed expert system, the method and the effects of its application. The developed system comprehends the Knowledge of experts in design, diagnostics and maintenance of equipment in joint tactical units as well as corresponding literature data. The guidelines for improving the developed expert systems have been proposed.*

*Key words: diagnostics, equipment, decision making, expert system.*

### **Uvod**

Iskustva iz prakse pokazuju da je u toku borbenih dejstava potrebno mnogo vremena za pravilno i brzo identifikovanje, zatim definisanje neispravnosti tehničkih materijalnih sredstava (TMS), a posebno za kvalitetno utvrđivanje uzroka trenutnog tehničkog stanja TMS-a.

Problem se još više usložava kada se učesnici u procesu komuniciranja (odaši-

ljač i primalac poruke), odnosno onaj ko izveštava o tehničkom stanju TMS-a i onaj ko treba da otkloni neispravnost, prostorno udaljeni pa se komunicira posredstvom sredstava veze.

Loša defektaža ima za posledicu da jedna ekipa odlazi iz stanice (baze) da identifikuje i definiše problem, a druga da ga reši.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Koliki značaj razvijene zemlje i moderne armije posvećuju ovom problemu pokazuje i to što se u pojedinim vojskama (SAD), u toku borbenih dejstava, na mesto zbivanja (tamo gde

Stečena saznanja iz ratne prakse takođe pokazuju da je defektaži neispravnosti TMS potrebno dati više prostora u nastavnim planovima i programima vojnih škola, a posebno onih škola koje školuju kadar koji će raditi u jedinicama za održavanje TMS.

Cilj ovog rada jeste da se prikaže razvijeni ekspertski sistem za podršku odlučivanju u oblasti dijagnostike neispravnosti TMS, inicira šira akcija u prikupljanju znanja iz oblasti dijagnostike neispravnosti TMS i podstakne dalji rad na razvoju i usavršavanju razvijenog ekspertskog sistema iz ove oblasti.

### Dijagnostika stanja tehničkih sistema

U suštini, pod dijagnozom<sup>2</sup> tehničkog stanja podrazumeva se merenje vrednosti nekih izabranih parametara da bi se utvrdilo stanje parametara<sup>3</sup> elemenata – strukturnih parametara.

Tehničko stanje objekta dijagnostike zavisi od stanja elemenata (strukture) od kojih se objekat sastoji [5]. Ocenjuje se na osnovu strukturnih (kinematski, geometrijski, statički, mehanička i molekularna svojstva materije, termički, akustički,...) i regulacionih parametara<sup>4</sup> koji karakterišu radnu sposobnost ili isprav-

se događaju neispravnosti, otkazi, oštećenja) upućuju podoficiri defektatori, koji uz konsultovanje sa profesionalnim posadama skupih borbenih sistema donose kvalitetnu dijagnozu i odlučuju gde će se otklanjati neispravnosti.

<sup>2</sup> Dijagnostikom stanja tehničkih sistema bavi se tehnika dijagnostika. To je naučna disciplina koja proučava oblike manifestacije stanja tehničkih sistema i njihovih elemenata, utvrđuje stanje tehničkih sistema i elemenata, klasifikuje otkaze sistema i elemenata i utvrđuje uzroke pojava otkaza. Takođe, tehnika dijagnostika se bavi izučavanjem metoda i tehničkih sredstava za praćenje promena stanja tehničkih sistema i prognoziranje resursa rada, bez rasklapanja sredstava [5].

<sup>3</sup> Pod parametrom se podrazumeva fizička veličina ili funkcija koja karakteriše radnu sposobnost ili ispravnost objekta dijagnostike.

<sup>4</sup> Sam naziv govori da regulišu kvalitet rada tehničkog sistema, odnosno njegovih podistema i elemenata. Odnose se na vreme, količinu, ugao i sl. u zavisnosti od vrste tehničkih sistema.

nost objekta dijagnostike, odnosno posmatranog sistema.

Navedene parametre karakterišu njihove nominalne, dopuštene i granične vrednosti. Kada vrednosti parametara dostignu graničnu vrednost dalja upotreba tehničkog sistema nije moguća ili nije preporučljiva zbog ekonomskih, bezbednosnih ili drugih razloga.

Da bi se izbeglo rasklapanje tehničkog sistema i merenje vrednosti strukturnih parametara, o njihovom tehničkom stanju zaključuje se posredno, nakon analize određenih *izlaznih*, radnih i prpratnih (parazitskih) procesa – dijagnostičkih procesa<sup>5</sup> (dijagnostičkih simptoma) vezanih za posmatrani tehnički sistem, i merenjem vrednosti određenih dijagnostičkih parametara koji karakterišu dijagnostički simptom. Suština dijagnostike tehničkih sistema svodi se na to da se pomoću dijagnostičkih parametara oceni stanje strukturnih i regulacionih parametara.

U odnosu na fizičke osobine dijagnostičkih parametara metode za dijagnosticiranje tehničkog stanja dele se na sledeće grupe:

– metode koje se zasnivaju na merenju vrednosti pokazatelja eksploatacionih svojstava TMS (funkcionalne, energetske dinamičnosti, potrošnje radnih fluida, bezbednosti rukovanja, zagađivanja okoline i sl.);

– metode kojima se mere parametri izlaznih radnih ili parazitskih procesa (vibracije, buka, temperatura i sl.);

– metode koje se zasnivaju na merenju geometrijskih veličina koje neposredno karakterišu tehničko stanje određenih elemenata (zazori, slobodni hodoovi, ekscentriteti i sl.).

<sup>5</sup> U zavisnosti od vrste TMS to mogu biti toplotno stanje, vibracioni procesi, hermetičnost, sastav ulja za podmazivanje i sl. Karakteriše ih jednoznačnost, stabilnost, informativnost i mogućnost jednostavnog i pouzdanog merenja.



Metode se, takođe, mogu podeliti na opšte (funkcionalne), koje razmatraju opšte tehničko stanje objekta i lokalne koje se bave dijagnostikom tehničkog stanja konkretnih radnih parova tribomehaničkih sistema i elemenata [5].

Dijagnostika opšteg tehničkog stanja obavlja se merenjem dijagnostičkih parametara koji karakterišu nivo efektivnosti funkcionisanja tehničkog sistema u celini ili njegovih podsistema.

Dijagnostika tehničkog stanja elemenata obavlja se analizom informacija koje sadrže statističke karakteristike vibracija i akustičkih procesa koji prate funkcionisanje sistema (vibroakustična metoda), analizom ulja za podmazivanje određenih podsistema i na druge načine, u zavisnosti od vrste TMS.

Takođe, dijagnostičke metode mogu se podeliti na univerzalne i specijalne.

Univerzalne metode<sup>6</sup> mogu se primeniti za dijagnozu tehničkog stanja velikog broja različitih tehničkih sistema, radnih parova i elemenata, a specijalne metode se primenjuju samo za konkretne parove i elemente.

Dijagnostika je proces koji se sastoji od tri faze:

- utvrđivanja trenutnog stanja tehničkog sistema;
- analize karaktera i uzroka uočenih odstupanja (retrospekcija);
- prognoze preostalog intervala u kojem sistem može da radi u granicama dozvoljenih odstupanja (preostalog resursa).

Za tehničke sisteme (TMS) kojima raspoložu jedinice Vojske od velikog je praktičnog značaja blagovremeno (još u miru), utvrditi dijagnostičke simptome,

dijagnostičke parametre i njihove veličine i uzroke koji uslovljavaju određeno konkretno tehničko stanje, kako bi se uvek znalo koliko je resursa preostalo do graničnog stanja i blagovremeno preduzeli adekvatni zahvati održavanja.

Automatizacijom korišćenja navedenih interdisciplinarnih ekspertskih znanja ostvaruju se brojni efekti: ubrjava se identifikacija (neželjenih) stanja tehničkih sistema, poboljšava kvalitet definisanja trenutnog tehničkog stanja i skraćuje vreme donošenja odluke o uzroku trenutnog tehničkog stanja kako bi se preduzele adekvatne akcije održavanja.<sup>7</sup> Takođe, time bi se znatno ubrzalo saniranje neispravnosti i oštećenja na TMS, ubrzalo vraćanje TMS u borbu i smanjilo odsustvo TMS sa bojnog polja, što je jedan od zahteva savremenog rata.

Sa dijagnostikom stanja tehničkih sistema, a posebno sa utvrđivanjem uzroka trenutnog tehničkog stanja, naročito kada su sistem, podsistemi ili elementi neispravni (u otkazu) sreću se u praksi i korisnici TMS-a i kadar koji se bavi održavanjem, a u izvesnoj meri i organi komandovanja.

### **Osnovne napomene o ekspertskim sistemima**

Istraživanja u oblasti veštačke inteligencije u poslednje dve decenije dala su vrlo značajne rezultate. Među najznačajnije se ubrajaju razvijanje i primena programa koji su poznati pod nazivom ekspertski sistemi (ES). To su programi u

<sup>6</sup> Zasnivaju se, uglavnom, na merenjima karakteristika buke, temperature, vibracija, udarnih impulsa, sastava ulja za podmazivanje i sl. u zavisnosti od vrste TMS.

<sup>7</sup> Pored navedenih konkretnih efekata, automatizacijom korišćenja navedenih interdisciplinarnih ekspertskih znanja omogućuje se brža cirkulacija znanja u sistemu i omogućava brži odziv sistema održavanja na razne pobude iz sistema i okruženja.

koje je na pogodan način ugrađena velika količina visokokvalitetnog znanja iz nekog domena ljudske aktivnosti, a koji mogu da procesiraju to znanje radi uspešnog rešavanja određenog problema na način koji bi se smatrao inteligentnim kada bi te iste probleme rešavao čovek.

U kojoj će meri jedan ekspertski sistem u svom radu ispoljavati sposobnost inteligentnog rešavanja problema koji mu je zadat zavisi, pre svega, od znanja koje je u njega ugrađeno.

Smatra se da najveće i najkvalitetnije znanje iz neke oblasti imaju ljudi koji su eksperti u toj oblasti. Radi toga se nastoji da znanje koje se ugrađuje u ekspertski sistem u toku njegovog razvoja, po svom kvalitetu i količini, bude u što većoj meri nalik znanju eksperata u toj oblasti.

Znanje koje se ugrađuje u ekspertski sistem potiče od eksperta u određenom domenu, a predstavlja najvažniji deo sistema. Po pravilu, ekspert nije stručnjak i za oblast računarstva, pa je potreban posrednik koji će pomoći da se od stručnjaka dobije i prenese u računar znanje koje on poseduje. Taj posrednik se naziva inženjer znanja (knowledge engineer). U konsultacijama sa ekspertom, ili na neki drugi način, on dolazi do činjeničnog i heurističkog znanja iz date oblasti, to znanje kodira na odgovarajući način i unosi ga u ekspertski sistem. Ovaj proces je od izuzetne važnosti za razvijanje, testiranje i dograđivanje ES i obično se označava kao proces prikupljanja (akvizicije) znanja (knowledge acquisition). Inženjer znanja često ima na raspolaganju poseban programski paket koji mu olakšava taj posao. Sa druge strane, korisnik najčešće komunicira sa ES posredstvom (preko) terminala, koristeći posebne programske pakete koji olakšavaju komunikaciju. To mogu da budu razne vrste

grafičkih interfejsa, sistemi za komunikaciju nekim formalnim ili prirodnim jezikom, kao i sistemi za prepoznavanje govora.

Iako se ES razvijaju za pojedine uske domene u određenoj oblasti ljudske delatnosti, sve se češće javlja tendencija da se sistemi vezuju za baze znanja šire namene, koje sadrže opštije znanje od onog koje se neposredno ugrađuje u ES.

### **Razlike između konvencionalnih programa i ekspertskih sistema**

Konvencionalni programi uglavnom se koriste za obradu velikih količina podataka koji su, najčešće, numeričkog tipa. Ova obrada vrši se prema jasnim i tačno definisanim algoritmima, koji korak po korak vode sistem ka rešenju problema. Ukoliko program po svojoj semantici odgovara postavljenom problemu i ukoliko su ulazni podaci tačni, konvencionalni program će rezultirati tačnim rešenjem postavljenog problema.

Ekspertski sistemi se ponašaju drugačije. Oni, uglavnom, manipulišu simboličkim podacima i ne rade po unapred zadatim algoritmima, ili ne po algoritmima u klasičnom značenju te reči. Nealgoritamski pristup jedno je od osnovnih obeležja ES. Oni su u velikoj meri interaktivni i u svakom trenutku se mogu zaustaviti. Tada korisnik može da pregleda zaključke do kojih se došlo do tada, da vrati proces zaključivanja od početka, da unese nove činjenice i sl.

Ekspertski sistemi daju zaključke koji ne moraju biti ni tačni ni pogrešni već u većoj ili manjoj meri verovatni i pouzdani.

Osnovne razlike između konvencionalnih programa i ekspertskih sistema prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1

Osnovne razlike između konvencionalnih programa i ekspertskih sistema

Konvencionalni programi	Ekspertski sistemi
Algoritmi	Heuristike
Predstavljanje i korišćenje podataka	Predstavljanje i korišćenje znanja
Znanje i metode znanja su pomešani	Odvojena baza znanja od mehanizma zaključivanja
Novo znanje zahteva reprogramiranje	Novo znanje dodaje se bez reprogramiranja

### Formalizmi za predstavljanje znanja

Stvarajući inteligentni sistem, pre svega, treba jasno razgraničiti *oblast problema u kojoj će sistem raditi i zadatke koje će ona rešavati*.

Model problemske oblasti sadrži, po pravilu, dve komponente: opšta znanja o zakonima spoljašnjeg sveta primenjena u datoj problemskoj oblasti, i znanja karakteristična samo za tu oblast u kojoj će funkcionisati inteligentni sistem. Na znanja prvog tipa odnose se, na primer, znanja o zakonima vremena i prostora realnog fizičkog sveta i znanja čisto logičkog karaktera. Navedena znanja obrazuju „neku“ univerzalnu bazu znanja koja ne zavisi od problemske oblasti. Znanja drugog tipa su zakonitosti i odnosi koji pripadaju konkretnoj oblasti.

Univerzalna i specijalna znanja mogu se čuvati u memoriji u različitom obliku.

Radi opisivanja znanja koriste se različiti jezici predstavljanja znanja, koji odgovaraju različitim modelima znanja. Jedan od osnovnih problema kod ES je način predstavljanja znanja,<sup>8</sup> jer on bitno utiče na same karakteristike sistema. Mnoge strukture koje se koriste u veštač-

koj inteligenciji rade veoma dobro kada se postave u jednostavne domene, ali kada se postave u domene realnog sveta (okruženja) počinju da se „ruše“. Problem je u tome što navedene strukture nemaju dovoljno znanja o domenu, i ne mogu da odgovore na pitanja iz tog domena. Ako se pokuša jednostavno rešavanje problema tako što će se ubaciti još informacija u sistem, brzo će doći do velikog smanjenja brzine sistema. Jedna od najvažnijih osobina sistema veštačke inteligencije je mogućnost skladištenja znanja na efikasan način, tako da je moguće stvoriti programe kojima će se pristupiti podacima za kraće vreme.

Osnovni modeli za predstavljanje znanja su:

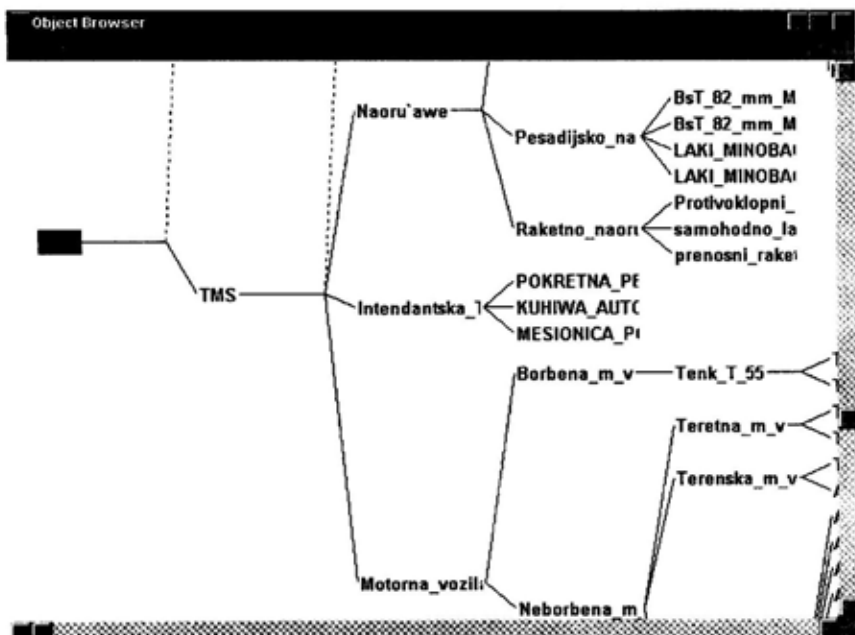
- predstavljanje znanja pomoću pravila;
- mrežni modeli;
- modeli zasnovani na korišćenju okvira.

### KAPPA – alat za razvoj ekspertskih sistema

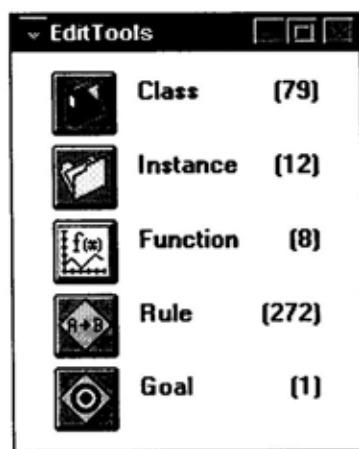
KAPPA je alat koji se koristi za razvoj ekspertskih sistema u Microsoft Windows okruženju. Snabdeven je grafičkim korisničkim interfejsom, koji olakšava korišćenje brojnih funkcionalnosti.

KAPPA koristi metodu predstavljanja znanja pomoću okvira, za predstavljanje hijerarhijskih struktura u okviru problemskog domena. Za opis mehanizama zaključivanja koriste se pravila sa ulančavanjem zaključaka unapred, unazad ili kombinovano. KAPPA ima podršku za davanje objašnjenja donetih zaključaka. Proceduralno znanje može se predstaviti funkcijama kao u višim programskim jezicima.

<sup>8</sup> Detaljnije videti u literaturi [1, 3].



Sl. 1 – Object Browser



Sl. 2 – Edit tools

Object Browser (predstavljanje hijerarhijske strukture znanja) prikazan je na slici 1.

Edit tools prikazan je na slici 2.

KAPPA obuhvata sledeće alate:

- object browser (predstavljanje hijerarhijske strukture znanja):

- edit tools za editovanje ciljeva, pravila, okvira, instanci i funkcija;
- interpreter jezika KAL;
- debugger i niz alata za praćenje procesa zaključivanja;
- KAL prevodilac;
- alat za dizajniranje Windows formi.

Za sistem KAPPA razvijen je poseban jezik KAL, za zapis baze znanja, tako da se rad sa bazom znanja može odvijati pomoću tekst editora. Baza znanja se, naime, pamti u tekstualnoj formi, kao sors-datoteka u jeziku KAL. Ova datoteka obuhvata opise svih korišćenih ciljeva, pravila, okvira, instanci i funkcija, kao i opise svih formi („sesija“ u KAPPA terminologiji), i njihovih elemenata (listbox-a, dugmadi, itd.) koji se pojavljuju u programu.

U KAPPA okruženje uključen je i tzv. KAL prevodilac koji prevodi bazu

znanja u formu C projekta. Rezultat ovog prevođenja, tj. dobijeni C projekat, može se prevesti u izvršnu verziju korišćenjem C kompajlera. Podržani su Microsoftov i Borlandov dijalekat C-a.

Primera radi, objašnjen je proces dodavanja jednog okvira u bazu znanja. U prozoru Edit tools izabere se opcija Class. U pop-up meniju izabere se New. U novootvorenom dijalogu unese se ime novog okvira i ime roditeljskog okvira. Nakon ovog koraka na ekranu se pojavljuje standardna forma Class editora (slika 3). Ova forma omogućava da se menjaju, dodaju i brišu svojstva (slot) posmatranog okvira.

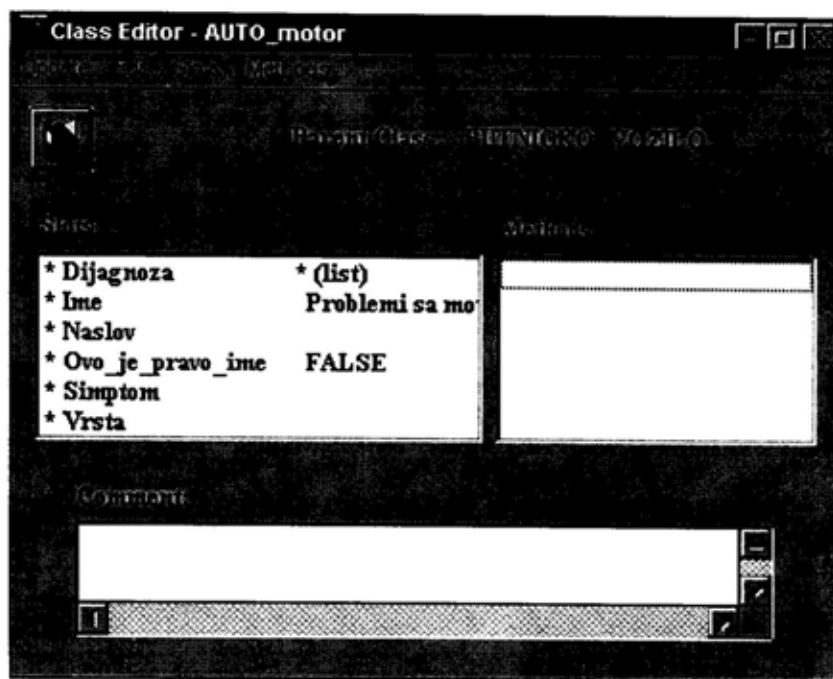
Za svako svojstvo može se otvoriti dijalog za editovanje – slot editor (slika 4), koji omogućava da se unesu, odnosno menjaju:

– dozvoljene vrednosti (skup validnih vrednosti ovog svojstva, ujedno skup vrednosti koji sistem nudi kada u procesu konsultacije od korisnika traži vrednost ovog svojstva);

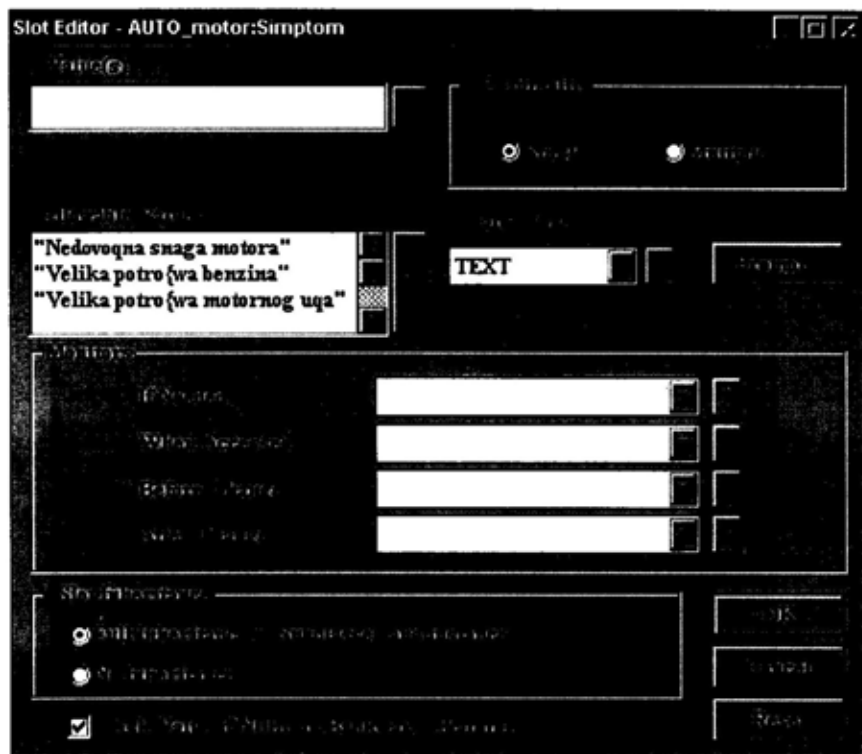
– *prompt* – formulacija pitanja koje sistem postavlja korisniku kada u procesu konsultacije od korisnika traži vrednost ovog svojstva. Naime, KAPPA ima već gotove, standardne dijaloge za obavljanje ove konsultacije – korisnik ne mora da ih posebno dizajnira;

– *if-needed*, *if-accessed* i *if-changed* procedure.

Forma za unošenje pravila (Rule Editor, slika 5), slično kao i u drugim shell-ovima, sadrži polja za „if“ i „then“ deo. Pored toga, sadrži i polje comment, koje se koristi u procesu davanja objašnjenja za donete zaključke. Za davanje



Sl. 3 – Class Editor



Sl. 4 – Slot Editor

objašnjenja, takođe, postoji ugrađena standardna forma.

### Razvoj ekspertskog sistema DEFEKTATOR

Ekspertski sistem DEFEKTATOR namenjen je da pomogne korisnicima, defektatorima i drugim zainteresovanim subjektima pri brzom i kvalitetnom identifikovanju i definisanju neispravnosti na tehničkim materijalnim sredstvima zastupljenim u združenim taktičkim jedinicama, a zatim brzom donošenju kvalitetne odluke o uzroku neispravnosti TMS.

U razvijeni sistem ugrađena su znanja koja se odnose na defektažu neisprav-

nosti na odabranim vrstama sredstava pojedinih grupa, i na odabranim sklopovima izabranih vrsta sredstava.

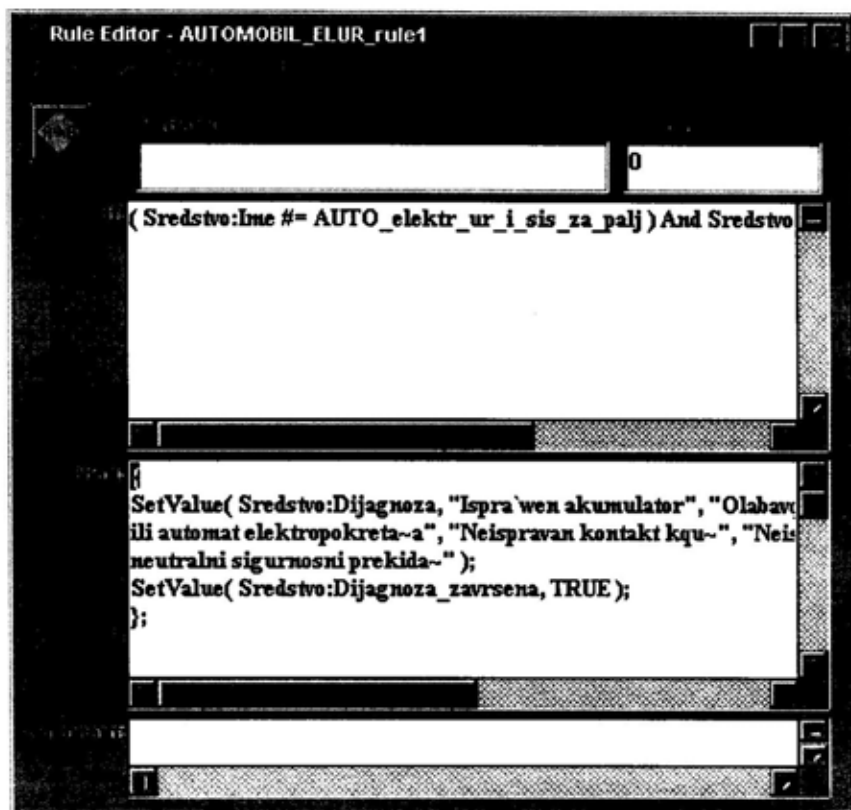
Ugrađena su znanja koja se odnose na sledeće grupe sredstava:

- naoružanje (pešadijsko, klasična artiljerija, raketno naoružanje);
- motorna vozila (neborbena – putnička, terenska i teretna i borbena m/v – tenk);
- sredstva veze (induktorska sredstva, radio-uređaji i radio-relejni uređaji);
- intendantska TMS.

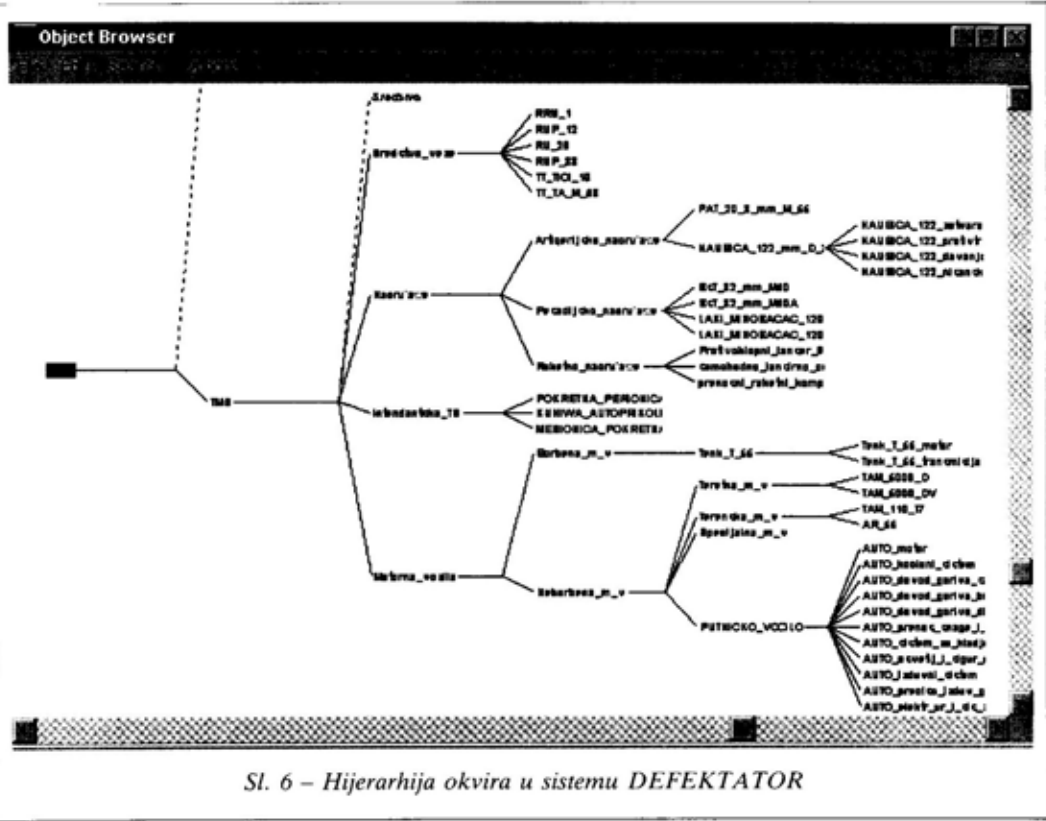
Sistem pruža informacije pri identifikovanju, definisanju i dijagnostici neispravnosti za sledeća konkretna sredstva i njihove modularne celine (sklopove, agregate, uređaje):

- bestrzajni top 82 mm M60 i M60A;
- laki minobacač 120 mm M74 i M75;
- haubica 122 mm D-30 J (zatvarač, protivtrzajući sistem, mehanizam za davanje pravca i nagiba cevi, nišanske sprave);
- pult za vođenje 9S415 i lansirna kutija 9P111 protivoklopnog lansera 9K11;
- samohodno lansirno oruđe 9P31M;
- laki prenosni raketni komplet 9K32M;
- m/v TAM 110 T7, TAM 5000 D, TAM 5000 DV (motor, transmisija, ure-

- daj za upravljanje, uređaj za elastično oslanjanje, točkovi i pneumatici);
- m/v AR-55 (motor, transmisija, uređaj za upravljanje, kočenje i elastično oslanjanje);
- tenk T-55 (motor, transmisija i hodni deo);
- RRU-1;
- RUP-12;
- RUP-33;
- TICI-10;
- TA M-63;
- pokretna perionica M63;
- kuhinja auto-prikolica;
- pokretna mehanizovana mesionica M63.



Sl. 5 - Rule Editor



Sl. 6 – Hijerarhija okvira u sistemu DEFEKTATOR

Znanje koje je ugrađeno u ovaj sistem prikupljano je duže vremena,<sup>9</sup> kroz kontakte sa većim brojem stručnjaka za konstrukciju, dijagnostiku, održavanje i upotrebu tehničkih materijalnih sredstava u združenim taktičkim jedinicama, kroz izučavanje literature koja tretira ovu oblast i na druge načine.

Znanje iz navedenih izvora je u formi pravila preneto u bazu znanja ekspertskog sistema DEFEKTATOR. U razvoju ovog ekspertskog sistema korišćene su tabele tipa pojavni oblik neispravnosti (simptom) – dijagnoza (tabela 2).

<sup>9</sup> Pored izučavanja dostupne literature i sistematizovanih iskustava autora rada, pri akviziciji znanja angažovane su i stručne katedre smeru TSi VTA VJ i SVŠ – smer TSi, kroz rad na pripremi i realizaciji „Kombinovanog logorovanja po TSi 2000. i 2001.“

Hijerarhija okvira prikazana je na slici 6.

Grafički interfejs urađen je korišćenjem alata za dizajn grafičkog interfejsa koji je sastavni deo sistema KAPPA. Osnovni princip u dizajnu samog interfejsa bio je jednostavnost i jasnoća prikaza, kako bi ga potencijalni korisnici lakše koristili.

Grafički interfejs je oličen u Windows formi, kroz koju se odvija celokupan rad sa programom (slika 7).

Opcije sa strelicama omogućavaju korisniku kretanje napred-nazad kroz stablo podele tehničkih materijalnih sredstava.

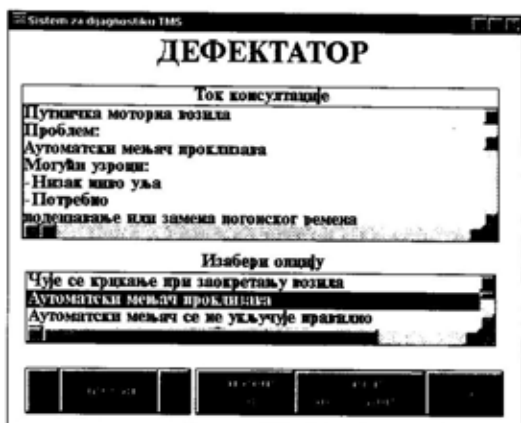
Opcija „Početak“ vraća korisnika u koren ovog stabla. Korisnik, dakle, bira stavku iz ponudjenog spiska mogućnosti



Tabela 2

Primer tabele tipa simptom-dijagnoza, korišćenih pri kreiranju baze znanja DEFEKTATOR

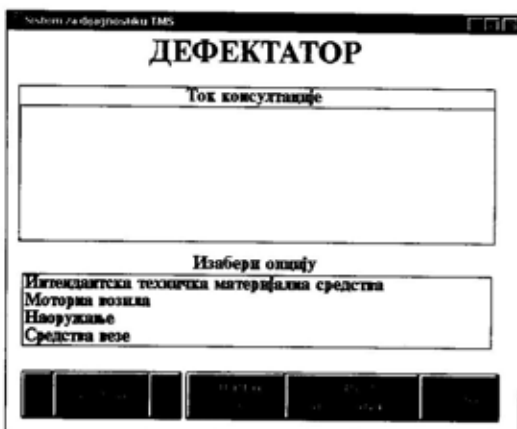
Prikaz karakterističnih neispravnosti na RRU-1		P1	P2	P3	
U1	Nakon uključenja čuje se neprekidan ton	D			
U2	Na predaji nema izlazne snage		D		
U3	Instrument nema nikakvog otklona ni pri predaji ni pri prijemu			D	
A1	Ako je akumulator prazan, zameniti ga punim, ako antena nije dobro priključena priključiti je pravilno, ako je kabal u prekidu zameniti ga ispravnim iz delova kompleta	X			
A2	Neispravan sklop izlaznog pojačala snage (prodramati instrument), ako nema otklona, uputiti na viši nivo održavanja		X		
A3	Ako je preklopnik za izbor merenja neispravan, očistiti kontakte, a po potrebi ga zameniti			X	



Sl. 8 – Primer izbora neispravnosti i defekataže za putničko motorno vozilo

sredstva, koje DEFEKTATOR poznaje. Izborom jedne od stavki i pritiskom na dugme „>“ korisnik dobija odgovor, tj. jedan ili više mogućih uzroka neispravnosti. Postoji mogućnost snimanja celokupnog toka konsultacije (opcija „Snimi konsultaciju“) i njenog brisanja. Opcija „Izlaz“ služi za završetak rada sa programom.

Dva primera izbora neispravnosti i defekataže prikazana su Windows formama na slikama 8 i 9.



Sl. 7 – Forma za komunikaciju sa sistemom DEFEKTATOR

(Listbox sa naslovom „Izaberi opciju“) i pritiskom na dugme „>“ „otvara“ odabranu stavku. Kada je izabrao željeno sredstvo korisnik dobija spisak svih simptoma, koji se mogu javiti kod izabranog



Sl. 9 – Izbor neispravnosti i defekataža za tenk T-55

## Zaključak

Razvijeni ekspertski sistem za podršku odlučivanju u oblasti dijagnostike neispravnosti pruža značajnu pomoć pri identifikovanju i definisanju neispravnosti, a posebno pri brznoj i kvalitetnoj defektaži neispravnosti TMS, odnosno, utvrđivanju uzroka neispravnosti.

Bez brze i kvalitetne defektaže neispravnosti nema ni brzog i kvalitetnog otklanjanja neispravnosti TMS, a time ni brzog vraćanja TMS u borbu (na bojno polje), što je strogi zahtev savremenog rata.

Razvijeni sistem rezultat je upornih nastojanja da se duže vremena prikupljano znanje o uzrocima i posledicama stanja TMS u združenim taktičkim jedinicama, uz angažovanje poznavaoaca sistema TOB-a, poznavaoaca konstrukcije, dijagnostike i održavanja TMS i programera, ugradi u jedan ovakav sistem i na taj način poboljša odlučivanje u oblasti dijagnostike.

U sistem je ugrađeno oko 400 pravila odlučivanja u oblasti dijagnostike neispravnosti TMS, čime su pokrivenne karakteristične vrste sredstava, karakteristični sklopovi i karakteristične neispravnosti.

Razvijeni ekspertski sistem za podršku odlučivanju u oblasti dijagnostike, zajedno sa već postojećim i dostupnim znanjima, predstavlja solidnu osnovu za dalji rad na izgradnji većeg i još kvalitetnijeg sistema, a i dobru osnovu za unapređenje rada operativnih organa, nastavnog procesa u školama i solidan prilog za izradu većih projekata usmerenih na usavršavanje obuke (Vežbaonica za taktiku tehničke službe) [6].

Razvijeni sistem može biti od koristi i teoretičarima i praktičarima. Posebno

se ističe da saznanja stečena istraživanjem i prezentovana na pristupačan način, prilagođen vizuelnoj komunikaciji, perceptivnom sistemu i logici rasuđivanja, mogu biti od velike koristi nastavnicima, planerima i donosiocima odluka sa manjim iskustvom i skromnijim znanjima, a onima koji raspolažu sa više znanja ili iskustva iz ove oblasti – za povećanje efikasnosti u radu.

Razvijeni sistem može pružiti i dragocenu pomoć u toku obuke studenata i slušalaca za vreme realizacije posebnih oblika nastave, i rešavanja zadataka na modelima bojeva i operacija, čijom realizacijom se vrši završno profilisanje budućih oficira tehničke službe.

Dalji rad na usavršavanju razvijenog sistema treba da bude usmeren na:

– povećanje obima baze znanja, u koju se ugrađuju ekspertska znanja koja se odnose na opremu koja se nalazi u upotrebi u VJ, a pre svega na inženjerske mašine, pogonsku opremu, elektroagregate i sisteme za upravljanje vatrom; zatim na ostala sredstva iz obuhvaćenih grupa kao i na ubojna i pogonska sredstva. Pored toga, dijagnostika treba da bude preciznija i edukativnija, uz uključivanje potpitanja, itd.

DEFEKTATOR treba „osposobiti“ za rad u višekorisničkom okruženju, baziranom na klijent-server metodologiji. Opis neispravnosti (dijagnoza) treba da sadrži ilustrovani opis postupka<sup>10</sup> otklanjanja neispravnosti i spisak rezervnih delova i potrebnog alata. Neophodno je, takođe, modernizovanje sistema, u informatičkom smislu, primenom „alata za razvoj ekspertskih sistema“ novije generacije.

<sup>10</sup> Prema dostupnim saznanjima ovakav sistem ima firma Audi.

*Literatura:*

- [1] Waterman, A. D.: A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Publishing Company, 1985.
- [2] Borović, S.: Ekspertni sistem za rukovođenje tehničkim obezbeđenjem, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [3] Stojanović, N.: Karakteristike i predstavljanje znanja u veštačkoj inteligenciji, diplomski rad, Niš, 2000.
- [4] Pravilo tehničke službe, SSNO, Tehnička uprava, 1979.
- [5] Stanković, R.: Održavanje transportnih sredstava, skripta, Sektor za ŠONID GŠ VJ, 1999.
- [6] Andrejić, M.; Bukvić, V.: Koncept sistema na bazi znanja za podršku obučavanja organa TS1 za rad na pripremi i organizaciji borbenih dejstava, Zbornik radova sa XXIII Jugoslovenskog simpozijuma iz operacionih istraživanja.
- [7] Andrejić, M. i dr.: Elaborat za zajedničko završno logorovanje po TS1 i InSI 98.
- [8] Andrejić, M.: Tabele odlučivanja i njihova primena u vojnoj organizaciji, Vojnotehnički glasnik broj 3/1996., Beograd, 1996.
- [9] Andrejić, M.; Bukvić, V.: Koncept sistema na bazi znanja za podršku operativnog obučavanja organa TS1, Vojnotehnički glasnik broj 2/1997., Beograd, 1997.
- [10] Carley Larry, Popravi sam svoj auto, Mladinska knjiga, 1988.

*Rezime:*

U ovom radu opisani su postupci za određivanje optimalne aktivne redundanse sistema redno vezanih elemenata, kada je redundovanje ograničeno njegovom težinom, zapreminom, cenom i minimalno prihvatljivom pouzdanošću. Za rešavanje ovog problema primenjena je metoda „Monte Karlo“ sa korišćenjem specijalno urađenog računarskog programa. Primena ovih postupaka prikazana je na jednom primeru.

*Ključne reči:* elementi sistema, redna veza, redundansa elemenata sistema, pouzdanost sistema, optimalno rešenje.

OPTIMIZATION OF ACTIVE REDUNDANCY FOR A SERIES  
SYSTEM OF ELEMENTS WITH MANY LIMITATIONS  
BY APPLYING THE MONTE CARLO METHOD

*Summary:*

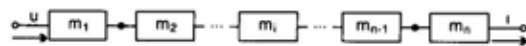
In this paper, the procedures for determining the optimal active redundancy of a series system of elements are described. The system redundancy is limited by its weight, volume and cost. For this system the minimum acceptable reliability in a specified time is required. For the determination of the series of acceptable results of active redundancy, the Monte Carlo method was applied, and a specially developed computer program was used the application of these procedures is illustrated by one example.

*Key words:* sistem elements, a series system of elements, redundancy of system elements, system reliability, optimum solution.

**Uvod**

Posmatra se  $n$  elemenata koji su u funkcionalnom smislu povezani na red i čine jedan sistem (slika 1).

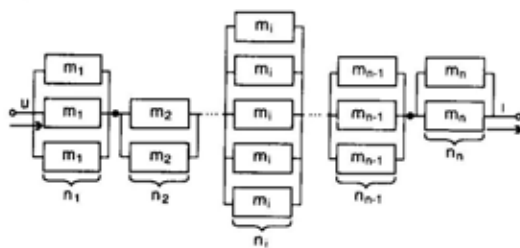
Pretpostavlja se da pouzdanost ovog sistema nije zadovoljavajuća, i da je iscrpljena mogućnost povećanja pouzdanosti



Sl. 1 – Redna veza elemenata sistema

zamenom postojećih elemenata odgovarajućim kvalitetnijim elementima. U tom slučaju, da bi se postigla veća pouzdanost, mora se primeniti postupak redundovanja elemenata, tj. paralelno vezivanje, u funkcionalnom smislu, jednog ili više istih elemenata koji istovremeno obavljaju zadatak funkciju (slika 2).

Neka je  $R_0$  minimalno prihvatljiva pouzdanost redundovanog sistema. Osnovni podaci za svaki element sistema su: masa,  $g$ , zapremina,  $v$ , cena,  $c$ ,  $i$



Sl. 2 – Aktivna redundansa elemenata sistema

srednje vreme do/između otkaza,  $m$ , ili intenzitet otkaza,  $\lambda$ . Pouzdanost neredundovanog sistema, prikazanog na slici 1, data je sledećim izrazom:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\frac{t}{m_i}}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

gde je:

$m_i$  – srednje vreme do/između otkaza  $i$ -tog elementa sistema,

$t$  – zahtevano vreme bezotkaznog rada ( $h$ ). Redundovanje elemenata sistema vrši se kada je

$$R(t) < R_0 \quad (2)$$

Pri redundovanju sistema uvećavaju se njegova masa, zapremina i cena, za koje su postavljene granične vrednosti: maksimalna masa  $G_0$ , zapremina  $V_0$  i cena  $C_0$ . Sva ona rešenja za pouzdanost redundovanog sistema, kod kojih nisu prekoračena ova ograničenja, a postignuta pouzdanost je veća ili jednaka zahtevanoj pouzdanosti  $R_0$ , predstavljaju prihvatljiva rešenja. Skup tih rešenja predstavlja skup prihvatljivih rešenja aktivne redundanse sistema. Ako se ova prihvatljiva rešenja uredi po vrednostima pouzdanosti u opadajućem poretku, onda će prvo rešenje biti najbolje u pogledu pouzdanosti. Rešenja se mogu urediti i po vrednostima mase redundovanog sistema

i to u rastućem poretku. U ovom slučaju, prvo rešenje biće najbolje u pogledu mase sistema. Slično se može izvršiti uređivanje rešenja po vrednostima zapremine ili cene, takođe u rastućem poretku i tako dobiti najbolje rešenje u pogledu zapremine ili cene redundovanog sistema. Ako se odabere ono rešenje koje ima najveću pouzdanost, ono će povlačiti za sobom veliku masu, zapreminu i cenu redundovanog sistema. Međutim, korisniku sistema može da bude prihvatljivije neko kompromisno rešenje pri kojem će pouzdanost redundovanog sistema biti veća ili u krajnjem slučaju jednaka  $R_0$ , ali da sistem bude što lakši, što manji po zapremini i što jeftiniji. Tako određeno kompromisno rešenje predstavlja za korisnika optimalno rešenje. U ovom radu prikazan je postupak izbora optimalnog rešenja na osnovu usrednjenih vrednosti karakteristika sistema.

### Određivanje maksimalnih brojeva redundanse elemenata sistema

Ako se sistem sastoji od  $n$  redno vezanih elemenata čije su mase, zapremine i cene:  $g_i$ ,  $v_i$  i  $c_i$ , respektivno,  $i = 1, 2, \dots, n$ , i ako su za redundovani sistem postavljena ograničenja po masi,  $G_0$ , zapremini,  $V_0$  i ceni  $C_0$ , onda se maksimalni broj redundansi  $i$ -tog elementa sistema određuje pomoću sledećih izraza:

$$n_{i \max}(g_i) = 1 + \left\lfloor \frac{G_0 - G_u}{g_i} \right\rfloor \quad (3)$$

$$n_{i \max}(v_i) = 1 + \left\lfloor \frac{V_0 - V_u}{v_i} \right\rfloor \quad (4)$$

$$n_{i \max}(c_i) = 1 + \left\lfloor \frac{C_0 - C_u}{c_i} \right\rfloor \quad (5)$$

gde su  $G_u$ ,  $V_u$  i  $C_u$  maksimalna masa, zapremina i cena neredundovanog sistema, date sledećim izrazima:

$$G_u = \sum_{i=1}^n g_i \quad (6)$$

$$V_u = \sum_{i=1}^n v_i \quad (7)$$

$$C_u = \sum_{i=1}^n c_i \quad (8)$$

U izrazima (3), (4) i (5),  $[Q]$  označava celobrojnu vrednost broja  $Q$ . Izraz (3) odnosi se na maksimalni broj redundansi  $i$ -tog elementa u odnosu na masu, (4) u odnosu na zapreminu i (5) u odnosu na cenu redundovanog sistema. Da bi bila ispunjena sva ograničenja po masi,  $G_0$ , zapremini,  $V_0$  i ceni  $C_0$ , od tri rešenja koja su data izrazima (3), (4) i (5) uzima se ono rešenje koje ima najmanju vrednost, i ono predstavlja maksimalni broj redundansi  $i$ -tog elementa posmatranog sistema, tj.:

$$n_{i \max} = \min \{n_{i \max}(g_i), n_{i \max}(v_i), n_{i \max}(c_i)\}; \\ i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

### Određivanje niza prihvatljivih rešenja redundovanja sistema (metoda „Monte Karlo“)

Neka je posmatrani sistem sastavljen od  $n$  redno vezanih elemenata. Sa porastom broja elemenata  $n$  pouzdanost sistema opada, pa se može desiti da njena vrednost bude neprihvatljiva. Ako je iscrpljena mogućnost povećanja pouzdanosti sistema ugradnjom pouzdanijih elemenata, onda se pribegava rešavanju ovog problema redundovanjem elemenata si-

stema, tj. paralelnim vezivanjem istih odgovarajućih elemenata koji istovremeno funkcionišu. Ovde se uzima da je broj paralelno vezanih elemenata slučajan i da se određuje pomoću sledećeg izraza:

$$n_i = 1 + [\text{RND} \cdot n_{i \max}]; i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

gde  $[Q]$  označava celobrojnu vrednost broja  $Q$ ,  $n$  je ukupan broj grupa koje su vezane na red i sačinjene su od paralelno vezanih istih elemenata,  $\text{RND} \in [0,1]$  je pseudoslučajni broj i  $n_{i \max}$  je maksimalno dozvoljeni broj redundansi  $i$ -tog elementa sistema. Kao što se vidi,  $n_i$  se može kretati od 1 do  $1 + n_{i \max}$ . Kada je  $n_i = 1$ , tada nema redundanse, jer u grupi je samo jedan polazni element. Kada je  $n_i = 1 + n_{i \max}$ , tada će  $i$ -ti element sistema biti preredundovan. Iz toga proizilazi da je broj redundansi  $i$ -tog elementa za jedan manji od broja paralelno vezanih elemenata, tj.  $n_i - 1$ . Kada se generišu pseudoslučajni brojevi  $n_i$  koji se pridruže elementima sistema, onda se ukupna masa, zapremina i cena tako redundovanog sistema izračunava pomoću sledećih izraza:

$$G_u = \sum_{i=1}^n n_i g_i \quad (11)$$

$$V_u = \sum_{i=1}^n n_i v_i \quad (12)$$

$$C_u = \sum_{i=1}^n n_i c_i \quad (13)$$

Pouzdanost redundovanog  $i$ -tog elementa sa  $n_i - 1$  redundansa, određenih pomoću (10), data je izrazom:

$$R_i(t) = 1 - \left(1 - e^{-\frac{t}{m_i}}\right)^{n_i} \quad (14)$$

gde je:

$t$  – zadato vreme bezotkaznog rada,  
 $m_i$  – srednje vreme rada do/između otkaza  $i$ -tog elementa sistema.

Pošto se posmatrani sistem sastoji od redne veze  $n$  grupa sa paralelno vezanim elementima, pouzdanost celog sistema data je izrazom:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \left( 1 - e^{-\frac{t}{m_i}} \right)^{n_i} \right] \quad (15)$$

Kada se odredi vrednost za  $R(t)$ , onda se ona upoređuje sa vrednošću za  $R_0$ , koja treba da se postigne redundovanjem. Da bi se konfiguracija sistema sa brojevima paralelno vezanih elemenata  $n_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  i postignutom vrednošću:

$$R(t) \geq R_0 \quad (16)$$

mogla prihvatiti, potrebno je da bude:

$$\left. \begin{array}{l} G_u \leq G_0 \\ V_u \leq V_0 \\ C_u \leq C_0 \end{array} \right\} \quad (17)$$

koji proizilaze iz postavljenih ograničenja za masu, zapreminu i cenu redundovanog sistema.

Kada se pri datim vrednostima brojeva  $n_i$  paralelno vezanih elemenata, koji predstavljaju jednu konfiguraciju sistema, ispune uslovi dati izrazima (16) i (17), tada se ta konfiguracija, odnosno to rešenje prihvata i zabeleže se vrednosti  $n_i$ ,  $G_u$ ,  $V_u$ ,  $C_u$  i  $R(t)$ . Inače, ako uslovi (16) i (17) nisu ispunjeni, generisanje pseudo-slučajnih brojeva  $n_i$  se nastavlja sve dok se ne ispune ovi uslovi.

Međutim, ako se posle mnogo pokušaja ne ispune uslovi (16) i (17), tada se moraju smanjiti zahtevi za pouzdanost  $R_0$

ili proširiti ograničenja u pogledu mase, zapremine i cene redundovanog sistema. Tokom proba beleže se samo rešenja za različite konfiguracije sistema. Tokom velikog broja proba (generisanja pseudo-slučajnih brojeva  $n_i$ ) dobiće se niz od  $N$  prihvatljivih rešenja, tj. konfiguracija sistema koje ispunjavaju uslove date izrazima (16) i (17). Tako dobijena prihvatljiva rešenja uredi se u opadajućem poretku po pouzdanosti, i u rastućim porecima po masi, zapremini i ceni redundovanog sistema. Ako je korisniku sistema najbitnije da sistem bude što pouzdaniji, on će odabrati prvo rešenje u uređenom skupu rešenja po pouzdanosti. Isto tako, odabraće prvo rešenje u uređenim rešenjima po masi, zapremini i ceni, zavisno od toga koja mu je od ovih karakteristika najbitnija. Tako odabrano rešenje je subjektivno optimalno rešenje.

### **Izbor optimalnog rešenja usrednjavanjem vrednosti karakteristika sistema**

Neka je u toku proračuna pouzdanosti redundovanog sistema dobijeno  $N$  prihvatljivih i različitih rešenja za pouzdanost  $R$ :  $R_1, R_2, \dots, R_N$ . Sva ova rešenja ispunjavaju uslov da je  $R_j \geq R_0$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ . Dobijene vrednosti za  $R_j$  uredi se u opadajućem poretku, tj.  $R_1 \geq R_2 \geq \dots \geq R_N$ , što znači da je prvo rešenje,  $R_1$ , najbolje, a poslednje rešenje,  $R_N$ , najlošije. Pošto su ova rešenja dobijena u uslovima ograničenja po masi  $G_0$ , zapremini  $V_0$ , i ceni,  $C_0$ , redundovanog sistema, najbolje rešenje,  $R_1$ , u smislu pouzdanosti ne može da bude najbolje i u smislu mase,  $G$ , zapremine,  $V$ , i cene,  $C$ . Dakle, potrebno je iz skupa prihvatljivih rešenja naći optimalno rešenje, tj. rešenje pri kojem masa, zapremina i cena

redundovanog sistema neće biti blizu graničnih vrednosti.

Radi iznalaženja optimalnog rešenja može se poći od normiranih proizvodnih funkcija datih sledećim izrazima:

$$GVC_j = \frac{G_j}{G_{\max}} \cdot \frac{V_j}{V_{\max}} \cdot \frac{C_j}{C_{\max}}; \quad j \in [1, N], \quad (18)$$

$$GRC_j = \frac{R_j}{R_{\max}}; \quad j \in [1, N], \quad (19)$$

gde su  $G_j$ ,  $V_j$ ,  $C_j$  i  $R_j$  – masa, zapremina, cena i pouzdanost, respektivno, redundovanog sistema  $j$ -tog rešenja, a  $G_{\max}$ ,  $V_{\max}$ ,  $C_{\max}$  i  $R_{\max}$  – najveća masa, zapremina, cena i pouzdanost redundovanog sistema u posmatranom skupu rešenja. Sada se može uvesti nova funkcija koja predstavlja apsolutnu vrednost razlike između  $GRC_j$  i  $GVC_j$ , tj.

$$d_j = |GRC_j - GVC_j|; \quad j \in [1, N]. \quad (20)$$

Iz skupa vrednosti  $\{d_j\}; j \in [1, N]$  odredi se najveća:

$$d_{\max} = \max \{d_j\}; \quad j \in [1, N]. \quad (21)$$

Rešenje  $n_{1j}$ ,  $n_{2j}$ , ...,  $n_{nj}$ ,  $G_j$ ,  $V_j$ ,  $C_j$ ,  $R_j$ , sa rednim brojem  $j$ , sa uređenim vrednostima za  $R_j$ , pri kojem je

$$d_{\max} = d_j \quad (22)$$

predstavlja optimalno rešenje u odnosu na vrednosti karakteristika sistema: mase, zapremine, cene i pouzdanosti.

Pošto se funkcija  $GRC_j$  maksimizira,  $GVC_j$  minimizira, to se optimum postiže pri maksimalnoj apsolutnoj razlici ovih funkcija. Funkcija  $GVC_j$  predstavlja proizvod promenljivih koje se minimiziraju, a funkcija  $GRC_j$  proizvod promenljivih

koje se maksimiziraju. U ovom slučaju, funkcija  $GVC_j$  ima tri promenljive, a  $GRC_j$  samo jednu promenljivu.

### Numerički primer

Posmatrani sistem sastoji se od  $n = 5$  elemenata. Pretpostavimo da ovaj sistem u pogledu pouzdanosti ne ispunjava postavljene zahteve za minimalno prihvatljivu pouzdanost,  $R_0 = 0,8$ . Podaci o ovom, još neredundovanom sistemu dati su u tabeli.

Podaci o elementima sistema

i	$q_i$	$g_i$	$v_i$	$c_i$
1	0,10	3	1	8
2	0,20	5	5	4
3	0,15	2	4	6
4	0,10	2,5	1	8
5	0,05	1	1	16

Podaci su uzeti iz primera 5.8. [1].

U tabeli i označava redni broj elementa koji su međusobno povezani na red,  $q_i$  je nepouzdanost,  $g_i$  je masa u kg,  $v_i$  je zapremina u  $dm^3$  i  $c_i$  je cena u hiljadama dinara i-tog elementa sistema.

Povećanje pouzdanosti ovog sistema treba izvršiti primenom aktivne redundanse. Za ceo redundovani sistem postavljena su sledeća ograničenja: maksimalna masa  $G_0 = 30$  kg, zapremina,  $V_0 = 25$   $dm^3$  i cena,  $C_0 = 100000$  dinara. Pod ovim ograničenjima i zahtevom da pouzdanost redundovanog sistema,  $R(t)$ , bude veća ili jednaka zahtevanoj vrednosti  $R_0$ , treba odrediti niz prihvatljivih rešenja kod kojih je  $R(t) \geq R_0$ , a zatim odrediti optimalna rešenja po pouzdanosti, masi, zapremini i ceni, kao i jedno jedino optimalno rešenje zasnovano na usrednjavanju karakteristika sistema: ma-



se, zapremine i cene. Za rešavanje ovog problema treba usvojiti da je vreme bezotkaznog rada  $t = 100$  h. Pod jednim rešenjem ovde se podrazumevaju izračunati brojevi paralelno vezanih istih elemenata za prvi, drugi, ..., peti podsistem:  $n_1, n_2, \dots, n_5$ , na osnovu kojih se izračunava ukupna masa,  $G_u$ , zapremina,  $V_u$ , cena,  $C_u$ , i pouzdanost,  $R(t)$ , redundovanog sistema.

### Rešenje

U tabeli su date nepouzdanosti elemenata sistema,  $q_i$ , koje treba konvertovati u srednja vremena do/između otkaza,  $m_i$ , pomoću sledeće formule:

$$m_i = - \frac{t}{\ln(1 - q_i)}$$

Pošto je usvojeno da je vreme bezotkaznog rada sistema,  $t = 100$  h, to se pomoću vrednosti za  $q_i$  iz tabele i formule za  $m_i$  dobijaju sledeća vremena do/između otkaza za elemente sistema:

$$\begin{aligned} m_1 &= 949,12 \text{ h}, & m_2 &= 448,14 \text{ h}, \\ m_3 &= 615,31 \text{ h}, & m_4 &= 949,12 \text{ h} \\ m_5 &= 1949,57 \text{ h}. \end{aligned}$$

Posle toga određuju se maksimalni brojevi od kojih se mogu redundovati prvi, drugi, ..., peti element sistema, a da se pri tome ne izađe iz domena postavljenih ograničenja. Koristeći postupak određivanja  $n_{i \max}$ , dobija se:

$$\begin{aligned} n_{1 \max} &= 6, & n_{2 \max} &= 3, & n_{3 \max} &= 4, \\ n_{4 \max} &= 7 & \text{i} & n_{5 \max} &= 4. \end{aligned}$$

Dakle, prvi element sistema može biti paralelno vezan sa još pet istih elemenata (ima pet redundansi), drugi element sa još dva elementa, itd. Pošto su

određeni ovi maksimalni brojevi, pristupa se generisanju pseudoslučajnih brojeva koji uzimaju celobrojne vrednosti između 1 i  $n_{i \max}$ ;  $i = 1, 2, \dots, 5$ . Tako pet generisanih pseudoslučajnih brojeva predstavljaju brojeve paralelno vezanih istih elemenata prvog, drugog, ..., petog podsistema. To predstavlja jedno rešenje ili jednu konfiguraciju sistema za koju se određuje pouzdanost  $R(t)$ , pa ako je  $R(t) \geq R_0$ , tada se to rešenje ili podaci o konfiguraciji sistema zapisuju, a ako je  $R(t) < R_0$ , ta konfiguracija sistema se odbacuje.

Ovaj postupak se ponavlja  $N_p$  puta. Za fiksni broj ponavljanja izračunavanja,  $N_p$ , dobije se određeni broj,  $N$ , različitih rešenja ili konfiguracija sistema kod kojih je ispunjen uslov da je  $R(t) \geq R_0$ . Pošto je ovo izračunavanje mukotrпно, ono je sprovedeno korišćenjem specijalnog računarskog programa. Pomoću ovog programa, za  $N_p = 5000$  puta, dobijeno je  $N = 21$  različita konfiguracija, odnosno prihvatljiva rešenja:

1.	$n_1 = 3$	2	1	2	2	$G = 28$	$V = 21$	$C = 86000$	$R = 0,805014$
2.	$n_1 = 1$	2	2	3	1	$G = 25,5$	$V = 23$	$C = 68000$	$R = 0,801529$
3.	$n_1 = 1$	2	2	4	2	$G = 29$	$V = 25$	$C = 92000$	$R = 0,842364$
4.	$n_1 = 1$	2	2	3	3	$G = 27,5$	$V = 25$	$C = 100000$	$R = 0,843609$
5.	$n_1 = 1$	2	2	4	1	$G = 28$	$V = 24$	$C = 76000$	$R = 0,802251$
6.	$n_1 = 1$	2	2	2	2	$G = 24$	$V = 23$	$C = 76000$	$R = 0,834023$
7.	$n_1 = 3$	2	2	1	3	$G = 28,5$	$V = 25$	$C = 100000$	$R = 0,843609$
8.	$n_1 = 2$	2	1	3	2	$G = 27,5$	$V = 21$	$C = 86000$	$R = 0,805014$
9.	$n_1 = 2$	2	2	1	2	$G = 24,5$	$V = 23$	$C = 76000$	$R = 0,834023$

10.  $n_1 = 2$  2 1 4 2  
 $G = 30$   $V = 22$   $C = 94000$   $R = 0,805739$
11.  $n_1 = 2$  2 2 3 2  
 $G = 29,5$   $V = 25$   $C = 92000$   $R = 0,925766$
12.  $n_1 = 3$  2 2 1 2  
 $G = 27,5$   $V = 24$   $C = 84000$   $R = 0,841605$
13.  $n_1 = 3$  2 2 2 1  
 $G = 29$   $V = 24$   $C = 76000$   $R = 0,881682$
14.  $n_1 = 2$  2 2 1 3  
 $G = 25,5$   $V = 24$   $C = 92000$   $R = 0,836009$
15.  $n_1 = 4$  2 2 1 1  
 $G = 29,5$   $V = 24$   $C = 76000$   $R = 0,802251$
16.  $n_1 = 2$  2 2 2 3  
 $G = 28$   $V = 25$   $C = 100000$   $R = 0,919610$
17.  $n_1 = 2$  2 2 2 2  
 $G = 27$   $V = 24$   $C = 84000$   $R = 0,917426$
18.  $n_1 = 1$  2 2 2 3  
 $G = 25$   $V = 24$   $C = 92000$   $R = 0,836009$
19.  $n_1 = 2$  3 1 2 2  
 $G = 30$   $V = 25$   $C = 82000$   $R = 0,824353$
20.  $n_1 = 2$  2 2 2 1  
 $G = 26$   $V = 23$   $C = 68000$   $R = 0,873739$
21.  $n_1 = 1$  2 2 3 2  
 $G = 26,5$   $V = 24$   $C = 84000$   $R = 0,841605$

NAPOMENA - U gornjim podacima ukupna masa redundovanog sistema,  $G$ , izražena je u kilogramima, zapremina,  $V$ , u kubnim decimetrima i cena,  $C$ , u dinarima,  $n_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) je broj paralelno vezanih istih elemenata i odnosi se na prvi, drugi, ..., peti element sistema.

Ako bi se prihvatljiva rešenja uredila po vrednostima pouzdanosti,  $R$ , u opadajućem poretku, onda bi na prvom mestu bilo rešenje pod rednim brojem 11:

$$n_1 = 2 \quad 2 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \\ G = 29,5 \quad V = 25 \quad C = 92000 \quad R = 0,925766.$$

Ukoliko bi se prvi, drugi, treći i peti element sistema redundovao sa još po jednim elementom, a četvrti element redundovao sa još dva elementa, dobila bi se najveća vrednost za pouzdanost,  $R$ , redundovanog sistema. Međutim, u ovom slučaju ukupna težina,  $G$ , zapremina,  $V$ , i cena,  $C$ , vrlo su blizu ili su na graničnim

vrednostima:  $G_0 = 30$  kg,  $V_0 = 25$  dm<sup>3</sup> i  $C_0 = 100000$  din.

NAPOMENA - Dobijena vrednost za  $R = 0,925766$  važi za navedeni broj ponavljanja,  $N_p = 5000$ . Za  $N_p > 5000$ , možda bi se dobila i neka veća vrednost za  $R$ .

Slično, ako bi se prihvatljiva rešenja uredila po vrednostima mase  $G$ , u rastućem poretku, onda bi na prvom mestu bilo rešenje pod rednim brojem 6:

$$n_1 = 1 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \\ G = 24 \quad V = 23 \quad C = 76000 \quad R = 0,834023.$$

Redundovani sistem ovakve konfiguracije je najlakši, ali mu pouzdanost,  $R$ , nije mnogo veća od zahtevane pouzdanosti,  $R_0 = 0,80$ . Takođe, ako bi se prihvatljiva rešenja uredila po vrednostima zapremine,  $V$ , u rastućem poretku, onda bi na prvom mestu bilo rešenje pod rednim brojem 8:

$$n_1 = 2 \quad 2 \quad 1 \quad 3 \quad 2 \\ G = 27,5 \quad V = 21 \quad C = 86000 \quad R = 0,805014.$$

Konfiguracija pod rednim brojem 1 ima, takođe, najnižu zapreminu  $V = 21$ :

$$n_1 = 3 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \\ G = 28 \quad V = 21 \quad C = 86000 \quad R = 0,805014.$$

Iako obe konfiguracije sistema imaju iste zapremine, treba odabrati konfiguraciju pod rednim brojem 8, jer ona ima nešto manju masu,  $G = 27,5$ , a ostale karakteristike su iste. Kao što se vidi, redundovani sistem ovakve dve konfiguracije je najmanji po zapremini, ali im je pouzdanost,  $R$ , skoro na granici zahtevane pouzdanosti  $R_0 = 0,80$ . I, najzad, ako bi se prihvatljiva rešenja uredila po vrednostima cene,  $C$ , u rastućem poretku, onda bi na prvom mestu bilo rešenje navedeno pod rednim brojem 20:

$$n_i = 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1$$

$$G = 26 \quad V = 23 \quad C = 68000 \quad R = 0,873739.$$

Konfiguracija sa rednim brojem 2 ima, takođe, najnižu cenu,  $C = 68000$ :

$$n_i = 1 \quad 2 \quad 2 \quad 3 \quad 1$$

$$G = 25,5, \quad V = 23 \quad C = 68000 \quad R = 0,801529.$$

Iako obe konfiguracije sistema imaju iste cene, treba odabrati konfiguraciju pod rednim brojem 20, jer ona ima znatno veću pouzdanost, a ostale karakteristike su iste ili veoma slične. Korisnik sistema odabracé jedno od ovih rešenja, odnosno jednu od ovih konfiguracija sistema, zavise od toga šta je za njega najvažnije. Ako mu je najvažnija pouzdanost sistema, on će odabrati onu konfiguraciju sistema koja ima najveću pouzdanost. Ako mu je važno da sistem bude što je moguće lakši, odabracé onu konfiguraciju sistema koja ima najmanju masu. Na sličan način korisnik se odlučuje i kada je u pitanju zapremina ili cena sistema.

Izbor optimalne konfiguracije sistema može se izvršiti i metodom usrednjavanja karakteristika sistema. Kada se prihvatljiva rešenja urede po vrednostima pouzdanosti u opadajućem poretku i primeni postupak izbora optimalnog rešenja usrednjavanjem vrednosti karakteristika sistema, dobiće se kao optimalno rešenje sledeća konfiguracija sistema:

$$n_i = 2 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1$$

$$G = 26 \quad V = 23 \quad C = 68000 \quad R = 0,873739$$

Ovo rešenje je pod rednim brojem 20 u navedenim prihvatljivim rešenjima. Kao što se vidi, ova konfiguracija ima pouzdanost koja je nešto veća od zahte-

vane pouzdanosti  $R_0 = 0,80$ , ali su mu ostale karakteristike znatno ispod postavljenih granica.

## Zaključak

Izloženi postupak određivanja prihvatljivih rešenja i optimizacije aktivne redundanse sistema koji čine redno vezani elementi, sa višestrukim ograničenjima, sa primenom metode „Monte Karlo“, znatno je jednostavniji od metoda opisanih u referenci [1].

Međutim, zbog generisanja pseudo-slučajnih brojeva koji se koriste u izloženoj metodi, kao i brojnih izračunavanja, neophodna je primena računara. Dobijanje prihvatljivih rešenja za broj redundansi je prirodan, jer se za rezultat dobijaju celi brojevi redundansi, odnosno nula u slučaju da se neki od elemenata ne redunduje, za razliku od metoda navedenih u [1], gde se brojevi redundansi dobijaju kao decimalni razlomci. Osim toga, ako se rezultati dobijeni u praktičnom primeru, u ovom radu, uporede sa rezultatima navedenim u primeru 5.8, [1], može se videti da su oni znatno bolji, jer u primeru 5.8 [1] nije ispunjen uslov, pod istim ograničenjima, da postignuta pouzdanost  $R = 0,675$  bude veća od zahtevane pouzdanosti  $R_0 = 0,80$ , dok je u praktičnom primeru u ovom radu dobijeno 21 prihvatljivo rešenje. Kod nekih konfiguracija dobijene su vrednosti pouzdanosti  $R > 0,90$ .

## Literatura:

- [1] Petrić, J., Jevtić, M., Stojanović, V.: Analiza pouzdanosti, Savremena administracija, Beograd, 1979.
- [2] Chapouille P., De Pazzis, R.: Fiabilité des systèmes, Masson et C<sup>e</sup>, Editeurs, Paris, 1968.
- [3] Van Der Waerden, B. L.: Mathematische Statistik, Springer-Verlag, Berlin, 1965.

*Rezime:*

*U ovom radu, na osnovama poznatih metoda analize otkaza, razvijenih prvenstveno za elektronska sredstva, FMEA i FMECA, prikazana je mogućnost njihove primene na složenom mašinskom sredstvu. Analiza otkaza konkretnog mašinskog sredstva uslovlila je izradu prilagođenog postupka odvijanja FMECA. Praktična primena pokazala je da informacije dobijene ovom metodologijom analize otkaza mogu dobro da posluže u svim fazama životnog veka sredstva.*

*Ključne reči: metod, intenzitet otkaza, otkaz, analiza kritičnosti, mašinsko sredstvo.*

---

POSSIBILITIES OF REALIZATION OF THE FAILURE ANALYSIS  
METHOD FOR MACHINES

*Summary:*

*In this paper, on the basis of the known methods of failure analysis, developed primarily for electronic devices FMEA and FMECA, the possibility of their application on a complex machine conditioned the development of an „adjusted“ method of the working of FMECA. The practical application has shown that the information gained by using this methodology of failure analysis can indeed be of assistance in all phases of a machine lifetime.*

*Key words: method, failure rate, failure, criticality analysis, machines.*

---

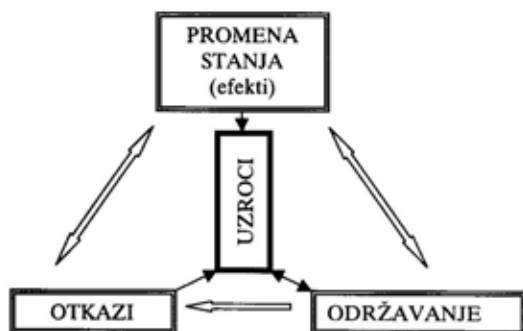
**Uvod**

Obezbeđenje visoke pouzdanosti, sigurnosti funkcionisanja i kvaliteta u upotrebi predstavlja složen zadatak koji se postavlja pred konstruktore i projektante, pred tehnologe u proizvodnji, ali i pred inženjere u održavanju. Ukupni povoljni rezultati u okviru tog složenog zadatka delom će zavisiti i od rezultata (informacija) dobijenih sprovođenjem određenih metoda analize otkaza.

U toku eksploatacije funkcija pouzdanosti tehničkih sistema (TS) ima, u

odnosu na proteklo vreme, pređeni put ili broj m/č, opadajući karakter. Promene stanja na TS dovode do otkaza, odnosno narušavanja pouzdanosti. Na slici 1 prikazana je određena veza između *promena stanja (efekata), otkaza i održavanja*. U okviru te veze važno je definisati uzroke, ali i predvideti efekte svakog pojedinačnog otkaza, koliko on utiče na performanse TS, na bezbednost korisnika, i kolika je verovatnoća pojave pojedinih otkaza i njihova međusobna uslovljenost. Samo na taj način, tj. kada se otkriju uzroci otkaza, moguće je preduzimati

određene korektivne akcije ka povećanju kvaliteta u upotrebi, i to u svim fazama životnog veka TS.



Sl. 1 – Veza između promene stanja, otkaza, održavanja i uzroka

Jedan od alata za obezbeđenje visokog kvaliteta u upotrebi jesu i metode analize otkaza FMEA i FMECA. Ako se zna da se problematikom sprečavanja otkaza bavi i standard JUS ISO 9004 koji definiše, kao element kvaliteta, obavezno ocenjivanje projekta pomoću analitičkih metoda kao što su „analiza načina i efekata otkaza (FMEA), analiza stabla otkaza, ocena rizika, i kontrola uzoraka iz proizvodnje“ [7], onda je jasno da primena ovih metoda postaje obavezna.

## Metodi FMEA i FMECA

*Metod analize načina otkaza i njihovih efekata*<sup>1</sup> (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) jeste standardizovan metod analize pouzdanosti sistema (JUS IEC 812 i Predlog TPR 1767). Služi za identifikovanje otkaza koji znatno utiču na radno svojstvo TS i/ili upotrebnost kvaliteta. Metod je razvijen sredinom šezdesetih

tih godina u okviru zadataka NASE. Primenu metoda u automobilske industriji započela je firma FORD krajem osamdesetih godina.

Metod FMEA je: induktivan (sprovođi se sa nivoa elementa ka nivou sistema), preventivan (usmeren ka sprečavanju nastanka otkaza), timski (potrebno je angažovanje specijalista različitog profila uz multidisciplinarni pristup), kvalitativan (otkazi se definišu u formi opisivanja), hijerarhijski (zasnovan na strukturi TS koji se analizira) i dokumentovan (koristi standardizovan obrazac).

Cilj sprovođenja FMEA jeste otkrivanje potencijalnih otkaza, kao i sakupljanje postojećih znanja i iskustava, preko karaktera otkaza i uticaja otkaza na kvalitet TS.

*Metod analize načina otkaza, njihovih efekata i kritičnosti*<sup>2</sup> (FMECA – Failure mode Effects and Criticality Analysis) jeste logičan nastavak metoda FMEA. On obuhvata, pored metoda FMEA, još i analizu kritičnosti otkaza.

Analiza kritičnosti (Criticality Analysis – CA) predstavlja postupak za ocenu stepena kritičnosti sastavnih delova u odnosu na TS. Pod kritičnošću se podrazumeva težina posledica otkaza. Analiza kritičnosti je kvantitativan metod i objedinjen sa FMEA čini FMECA. Metod FMECA je, poput metoda FMEA, dokumentovan metod, odnosno analiza otkaza se sprovodi uz pomoć odgovarajućih obrazaca (dokumenata), prilagođenih sistemu koji se analizira i potrebnim informacijama. Na slici 3 prikazana je Radna lista FMECA prema JUS IEC 812. Na slici 5 prikazan je Obrazac AVPO/AV-

<sup>1</sup> Ovaj metod se prikladno može označavati i skraćenom oznakom ANEO (metod „analize, načina i efekata otkaza“), a može se sreći u literaturi i kao metod analize, vrsta i posledica otkaza AVPO.

<sup>2</sup> Ovaj metod se u literaturi sreće pod nazivom metod analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza ili skraćeno AOPKO pod oznakom ANEKO, ali i pod nazivom analiza vrsta, posledica i kritičnosti otkaza AVPKO.

Tabela 1  
Uporedne aktivnosti analize

Aktivnosti postupaka	
Prema JUS IEC 812	Prema TPR 1767
Definicija sistema i njegovih zahteva	Proučavanje i usaglašavanje početnih i obezbeđenje potrebnih dopunskih podataka
	Definisanje sistema
Izrada blok-di-jagrama	Raščlanjavanje sistema, izrada funkcionalnih i blok-di-jagrama pouzdanosti
Utvrđivanje osnovnih pravila	Utvrđivanje vrsta, uzroka, posledica otkaza i njihovog relativnog značaja
Načini otkaza, uzroci i efekti	
Metode otkri-vanja otkaza	Razmatranje realnosti ugovorenih zahteva u pogledu najvišeg i najnižeg nivoa analize
	Utvrđivanje načina i metoda za detekciju i lokalizaciju otkaza
Kvalitativna ocena značaja otkaza i alternativnih mera	Sprovođenje analize kritičnosti
Primedba u radnoj listi	
Analiza kritičnosti	
Izveštaj analize	Utvrđivanje i predlaganje načina kompenzacija posledica otkaza
	Izrada izveštaja i preporuka za korektivne akcije

PKO, prema TPR 1767. Na slici 6 dat je Obrazac FMECA prilagođen potrebnim informacijama za potrebe analize mašinskih sredstava [8]. Od prethodnih se razlikuje po načinu određivanja vrednosti faktora nivoa kritičnosti i po unetom nomenklaturnom broju, važnom zbog sprovođenja analize FMECA pomoću računara, kao i primene već postojećih podataka iz TU-III.

### Struktura metoda FMECA

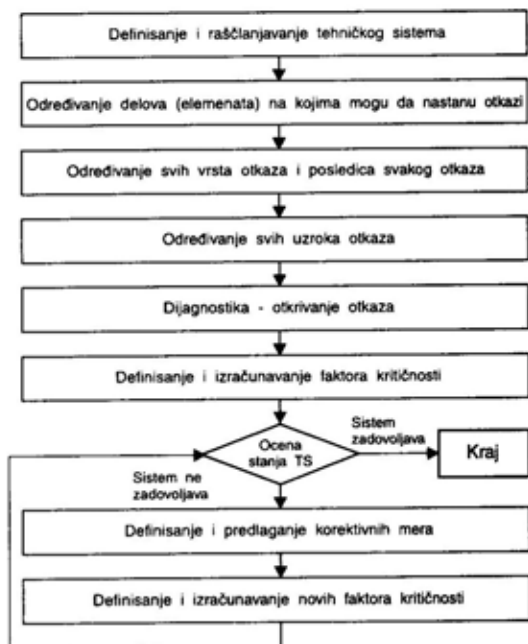
Struktura metoda FMECA zasniva se na definisanim osnovnim principima,

preciziranom toku izvođenja analize, kao i odgovarajućim obrascima, što je prilagođeno potrebama sistema koji se analizira. U tabeli 1 date su uporedne aktivnosti postupaka izvođenja analize prema JUS IEC i TPR.

Na slici 2 prikazan je algoritam „prilagođenog“ postupka za sprovođenje FMECA za konkretno složeno mašinsko sredstvo (dozer TG-140) [8]. U suštini, u sva tri slučaja, aktivnosti se razlikuju samo u okviru izračunavanja faktora kritičnosti.

### Analiza kritičnosti

Analiza kritičnosti prema JUS IEC 812 zasniva se na definisanju nivoa i skale kritičnosti (tabela 2). Pojam kritičnosti je, u osnovi, povezan sa težinom posledica otkaza i verovatnoćom te pojave.



Sl. 2 – Algoritam prilagođenog postupka odvijanja FMECA za mašinsko sredstvo

Nivo kritičnosti	Primer skale kritičnosti efekata otkaza
	Uslovi kritičnosti
I	Bilo koji događaj koji bi mogao degradirati radne karakteristike sistema, i čija je posledica zanemarljivo oštećenje sistema ili okoline, pri čemu se ne ugrožava život ili ne prouzrokuje ranjavanje.
II	Bilo koji događaj koji ne degradira radne funkcije sistema bez primetnog oštećenja sistema ili ugrožavanja života ili ranjavanja.
III	Bilo koji događaj koji bi mogao prouzrokovati gubitak funkcija sistema, čija je posledica oštećenje sistema ili njegove okoline i zanemarljiv rizik za život ili ranjavanje.
IV	Bilo koji događaj koji bi mogao prouzrokovati gubitak funkcija sistema, čija je posledica znatno oštećenje sistema, gubitak života ili dela tela.

Kvantifikacija kritičnosti i verovatnoća otkaza predstavlja pomoć pri donošenju odluka o korektivnim akcijama i njihovim prioritetima, kao i utvrđivanju jasnih granica između prihvatljivog i neprihvatljivog rizika. Ocenjivanje kritičnosti (slika 4) izvodi se korišćenjem mreže kritičnosti na kojoj se prikazuju nivoi kritičnosti (na ordinati), a verovatnoća otkaza (na apscisi). Definisani nivo i verovatnoća unose se u odgovarajući kvadrat mreže kritičnosti.

Kvadratu udaljenijem od početka, duž dijagonale, odgovara veća kritičnost i urgentna potreba za korektivnom akcijom. Na slici 4 prikazan je primer ocenjivanja kritičnosti pomoću mreže kritičnosti za vijak (10.01.46) – tačka A, i navrtku (10.01.16) – tačka B iz Radne liste FMECA (slika 3).

Analiza kritičnosti prema TPR [4] je kvantitativna analiza, a kritičnost (CR) vrste otkaza, za određenu kategoriju kritičnosti posledice otkaza, definiše se formulom:

$$CR_{ij}(k) = \alpha_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \lambda_i \cdot t \quad (1)$$

gde je:

$i$  – posmatrana konstrukciona celina (k/c) ( $i = 1$  do  $M$ ;  $M$  je ukupan broj k/c koje se analiziraju);

$j$  – vrsta otkaza  $i$ -te k/c ( $j = 1$  do  $N_{(i)}$ ;  $N_{(i)}$  je ukupan broj vrsta otkaza  $i$ -te k/c);

$k$  – kategorija kritičnosti posledica  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c ( $k = 1, 2, 3, 4, 5$ );

$\alpha_{ij}$  – relativni udeo (težinski udeo, mera učestanosti)  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c prema svim otkazima  $i$ -te k/c, pri čemu je  $\sum_j \alpha_{ij} = 1$ . Vrednosti za  $\alpha_{ij}$  mogu se dobiti iz raznih izvora podataka o intenzitetima otkaza, sprovedenih ispitivanja ili na osnovu podataka iz eksploatacije. Ako podaci o vrstama otkaza nisu dostupni,  $\alpha_{ij}$  treba da predstavlja procenu koja se zasniva na analizi funkcija k/c.

$\beta_{ij}$  – uslovna verovatnoća da će krajnja posledica  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c biti naznačene kategorije kritičnosti, pod uslovom da se desila  $j$ -ta vrsta otkaza  $i$ -te k/c, pri čemu je  $\sum_k \beta_{ij}(k) = 1$ . Podaci o  $\beta_{ij}$  mogu se dobiti na osnovu ispitivanja, ali se uglavnom određuju iskustveno.

$\lambda_i$  – intenzitet otkaza  $i$ -te konstrukcione celine (k/c).

$t$  – ukupno vreme rada k/c u toku trajanja zadatka.

Kritičnost otkaza  $i$ -te k/c za  $k$ -tu kategoriju kritičnosti posledice otkaza definiše se formulom:

$$CR_{i(k)} = \sum_j CR_{ij}(k) \quad (2)$$

Analiza kritičnosti može se obavljati i bez neophodnih, često teško dostupnih kvantitativnih podataka, prema uprošćenom, pretežno empirijsko-iskustvenom postupku. Ovaj metod se naziva System Utility Concept [1]. Kod nas je poznat kao metod kritičnih elemenata. Nivo kri-

**RADNA LISTA FMECA (prema JUS IEC 812)**

Datum .....

Ime projektanta .....

Ime analitičara .....

Broj šifre .....

Naziv uređaja	Funkcija	Identifikacioni broj	Način otkaza	Uzrok	Efekat otkaza		Otkrivanje otkaza	Alternativne mere	Verovatnoća otkaza	Nivo kritičnosti	Primerba
					Lokalni	Krajnji					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vijak		10.01.46	lom vijka	neadekvatan materijal	oštećenje pogonskog točka	teško oštećenje	vizuelno		niska	III	
			slabljenje veze segmenta sa diskom	odvijanje navrtke		gubitak funkcije posle nekog vremena		ugradnja podloške (osigurača)	srednja	II	
Navrtka		10.01.16	odvijanje navrtke	nepostojanje osigurača	odvajanje segmenta	teško oštećenje	vizuelno	ugradnja podloške	srednja	III	Rešiti osiguranje navrtke
Obloga	kočenje i zaustavljanje	09.05.19	povećan zazor	habanje		neznatan gubitak funkcije			niska	I	
			nepodešena kočnica	nepodešenost kom. poluga		delimičan gubitak funkcije	provera dužina poluga i zazora	česta kontrola mehanizma poluga	niska	II	
			otkaz kočnice	habanje		trenutan prekid funkcije sa ugrožavanjem bezbednosti			visoka	IV	

Sl. 3



Tabela 3

## Verovatnoća pojave potencijalnog otkaza

Kriterijum procenjanja R <sub>1</sub>		
Verovatnoća pojave	R <sub>1</sub>	Moguća stopa otkaza
Vrlo mala	1	0
Mala	2-3	1/20000-1/10000
Merljiva	4-6	1/2000-1/1000-1/1200
Visoka	7-8	1/100-1/20
Vrlo visoka	9-10	1/10-1/2

Tabela 4

## Značaj potencijalnog otkaza

Kriterijum procenjanja R <sub>2</sub>	
Značaj	R <sub>2</sub>
Zanemarljiv	1
Mali	2-3
Srednji	4-6
Veliki	7-8
Kritičan	9-10

Tabela 5

## Verovatnoća otkrivanja otkaza

Kriterijum procenjanja R <sub>3</sub>	
Verovatnoća otkrivanja otkaza	R <sub>3</sub>
Visoka	1
Merljiva	2-5
Mala	6-8
Vrlo mala	9
Nije verovatno	10

Tabela 6

## Nivo kritičnosti

Kriterijum procenjanja R	
Nivo kritičnosti	R
Nizak	< 50
Srednji	50-100
Visok	100-200
Kritično	> 200

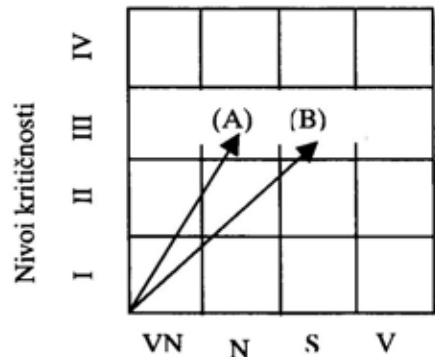
tičnosti otkaza ovim metodom moguće je odrediti uz dodeljivanje vrednosti faktorima kritičnosti [2, 6], i to:

- faktor R<sub>1</sub> - verovatnoća pojave potencijalnog otkaza (tabela 3);
- faktor R<sub>2</sub> - značaj potencijalnog otkaza (tabela 4);
- faktor R<sub>3</sub> - verovatnoća otkrivanja otkaza i sprečavanje njegovog ispoljavanja (tabela 5).

Nivo kritičnosti R (tabela 6) dobija se kao proizvod faktora R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> i R<sub>3</sub>:

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (3)$$

Brojčana vrednost faktora R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> i R<sub>3</sub> utvrđuje se upoređenjem utvrđenog stanja sa odgovarajućim kriterijumima za izbor vrednosti parametara, pri čemu se uvek uzima najgori slučaj. Vrednosti faktora R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> i R<sub>3</sub> su u intervalu 1 do 10, pri čemu svaka vrednost ima posebno značenje (vidi se u tabelama).



Sl. 4 - Primer procene kritičnosti pomoću mreže kritičnosti:

verovatnoća otkaza vrlo niska - VN; niska - N; srednja - S; visoka - V

Umnoškom faktora dobija se nivo kritičnosti kao stepen kritičnosti sistema, a dobijen je na osnovu ocene sistema. Kritičnost je niska ako je  $R \leq 50$ , a „kritična“ ako je  $R > 200$ . Za  $R > 200$

(pri oceni stanja sistema) potrebno je definisati (priložiti) određene korektivne mere radi poboljšanja stanja, odnosno vraćanja stanja sistema unutar prihvatljivih granica. To znači da te korektivne mere treba da dovedu do smanjenja vrednosti faktora kritičnosti  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ , odnosno da se, kada su utvrđeni mogući uzroci otkaza, traže preventivne korektivne mere da bi se smanjio nivo kritičnosti. Ovakva analiza zahteva i posebno prilagođen obrazac FMECA koji je prikazan na slici 6.

### Realizacija metoda FMECA na mašinskom sredstvu

Metod FMECA sproveden je na složenom mašinskom sredstvu dozeru TG-140 i to u okviru sklopa transmisije. Nakon upoznavanja i definisanja dozera kao sistema, izrade blok i funkcionalnih dijagrama i raščlanjavanja sistema, potrebno je izvršiti identifikaciju načina (vrsta), uzroka i efekata (posledica) otkaza.

U okviru konstrukcije svakog TS postoje određeni kritični elementi (delo-

vi) sistema. Uspešan rad svakog sistema zavisi od funkcionisanja upravo tih kritičnih elemenata sistema. Zbog toga je identifikacija kritičnih elemenata vrlo važna.

U tabeli 7 dat je pregled određenih kritičnih delova transmisije dozera TG-140, do kojih se došlo na osnovu iskustva, a koji će ovde poslužiti za prikaz sprovođenja metode FMECA, na način propisan JUS-om IEC 812, Predlogom TPR 1767 i pomoću „prilagođenog“ postupka (slika 2).

### Sprovođenje metoda FMECA prema standardu JUS IEC 812

Nakon aktivnosti definisanja sistema, izrade blok-dijagrama i utvrđivanja osnovnih pravila vrši se definisanje načina otkaza, uzroka i efekata. U Radnoj listi FMECA (slika 3) dat je pregled načina, uzroka i efekata otkaza. Nakon ove aktivnosti vrši se analiza kritičnosti. Kvantifikacija kritičnosti i verovatnoće otkaza preduzima se kao pomoć pri donošenju odluke o korektivnim akcijama i njihovim prioritetima, kao i radi utvrđivanja jasne granice između prihvatljivog i neprihvatljivog rizika [3].

Svaki posmatrani efekat otkaza klasifikuje se po svojoj kritičnosti u odnosu na funkcionisanje kompletnog sistema. U tabeli 8 dat je pregled kategorija kritičnosti za svaki efekat otkaza, u saglasnosti sa podacima iz skale kritičnosti efekata otkaza (tabela 2).

Verovatnoća pojave svakog posmatranog načina otkaza (kolona 4, slika 3) ocenjuje se kvantitativnim izrazima [3], koji u standardu nisu definisani. Ipak je verovatnoća pojave svakog posmatranog načina otkaza kvalitativno izražena kao: vrlo niska, niska, srednja i visoka. Nakon određenja verovatnoće otkaza, za svaki

Tabela 7

Kritični delovi transmisije dozera TG-140

Red. broj	Naziv	Kodni broj	Broj komada
	Nomenklaturni broj		
1.	Vijak segmenta 6703-1083-7227-6	10.01.46	40
2.	Navrtka 6705-1083-7228-9	10.01.16	40
3.	Obloga 2520-1279-6120-7	09.05.19	10
4.	Disk 2510-1279-6117-9	09.02.02	16
5.	Disk 2510-1279-6118-0	09.02.03	18
6.	Opruga 2510-1279-6126-2	09.02.07	16

Tabela 8

## Kategorije kritičnosti efekata otkaza

Red. broj	Efekat otkaza	Kategorija kritičnosti efekata otkaza (nivo kritičnosti)
1.	Neznatan gubitak funkcije	I
2.	Delimičan gubitak funkcije	II
3.	Gubitak funkcije posle nekog vremena	II
4.	Teško oštećenje	III
5.	Trenutni prekid funkcije sa ugrožavanjem bezbednosti	IV

način otkaza pristupa se ocenjivanju kritičnosti.

Ocenjivanje kritičnosti vrši se korišćenjem mreže kritičnosti (slika 4). Za vijak (10.01.46), za efekat otkaza ili teško oštećenje (tabela 8) nivo kritičnosti je III, a verovatnoća otkaza niska (slika 3).

Definisani nivo i verovatnoća zatim se nanose u odgovarajući kvadrat mreže kritičnosti (tačka A). Kvadratu udaljenijem od početka, duž dijagonale, odgovara veća kritičnost i urgentnija potreba za korektivnom akcijom. Za navrtku (10.01.16) definisan je kvadrat mreže kritičnosti (tačka B).

### Sprovođenje metoda FMECA prema TPR 1767

Nakon proučavanja i usaglašavanja početnih i obezbeđenja dopunskih podataka, definisanja sistema, raščlanjavanja sistema i izrade blok-dijagrama, vrši se utvrđivanje vrsta, uzroka, posledica otkaza i njihovog relativnog značaja. Na slici 5 Obrazac AVPO/AVPKO prikazan je, za određene delove transmisije dozera, deo vrsta, uzroka i posledica otkaza i njihov relativan značaj.

U okviru ove aktivnosti neophodno je klasifikovati posledice otkaza u odre-

dene kategorije kritičnosti (aktivnost 4, tabela 1). U tabeli 9 data je klasifikacija posledica otkaza prema kategorijama kritičnosti.

Sledeća aktivnost je sprovođenje analize kritičnosti. Cilj ove analize je da se, na osnovu sprovedene analize vrsta i posledica otkaza, za svaku kategoriju kritičnosti posledica vrsta otkaza izvrši rangiranje svake potencijalne vrste otkaza.

Analiza kritičnosti je kvantitativna analiza, a vrši se na osnovu formule (1). Za vijak (kodni broj 10.01.46), za proračun kritičnosti potrebni su sledeći podaci:

$k$  – kategorija kritičnosti  $k = 2$ ;

$\alpha$  – relativni udeo vrste otkaza  $\alpha = 15\%$  (određeno procenom);

$\beta$  – verovatnoća  $\beta = 90\%$  (određeno iskustveno);

$\lambda$  – intenzitet otkaza  $\lambda = 0,02 \times 10^{-6}$  o/čas [8];

$t$  – ukupno vreme rada  $t = 1$  godina.

$CR(k) = \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot t$ ,

$CR(2) = 0,15 \cdot 0,9 \cdot 0,02 \cdot 8760 = 23,65 \cdot 10^{-6}$ .

Nakon proračuna kritičnosti, za određenu kategoriju kritičnosti, pristupa se definisanju kompenzacija posledica vrsta otkaza kroz određena tehnička rešenja, odnosno akcije korisnika koje sprečavaju ili umanjuju posledice otkaza.

Tabela 9

## Klasifikacija posledica otkaza

Red. broj	Posledica otkaza	Kategorija kritičnosti otkaza
1.	Delimičan gubitak funkcije	5
2.	Gubitak funkcije posle nekog vremena	4
3.	Gubitak funkcije	3
4.	Teško oštećenje	2

**OBRAZAC AVPO/AVPKO (Prema TPR 1767/92)**

SREDSTVO: dozer TG-140  
ZADATAK, FAZA, NAČIN RADA:

Strana: ..... od .....  
Datum: .....

Kod	Naziv	Oz- naka	Fun- kci- js	Vrsta otka- za	Uzrok otka- za	Posledice otkaza		Katego- rija kriti- čnosti	$\alpha$ (%)	$\beta$	$\lambda$ ( $\frac{1}{10^3 \cdot 10^3}$ )	Vreme ube- đe- ća (h)	$CR_i$ ( $10^{-3}$ )	Analizu radio					Metod detekcije i mere kompenza- cije	Primećba
						Loka- line	Krajnje							$CR_i (10^{-3})$						
														7	8	10	11	12		
10.01.46	Vijak	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
				lom	neade- kvatan materijal	ošteće- nje po- gus- kog to- čka	teško ošteće- nje	2	15	0,9	0,02	8760	23,65	23,65	131,4	vizue- lno				
				slab- lje- nje veze	odvi- janje na- vrt- ke	ošte- ćenje vijka	gubitak funkcije posle nekog vremena	4	75	1	0,02	8760	131,4							
10.01.16	Navr- tka			odvij- anje	nepo- dešen osgu- rač	odvaj- anje segme- nata	teško ošteć- enje	2	80	1	0,02	8760	140,16	140,16		vizue- lno				
09.02.07	Opru- ga			slab- ljenje stole puca- nje	neade- kvatan materijal		delimič- an gub. funkcije	5	65	0,8	0,25	8760	1138,8	1138,8	219		1138,8			
				pre- noš- enje ob- r- t- nog mo- me- nta			gubitak funkcije	3	10	1	0,25	8760	219							

Sl. 5

**OBRAZAC FMECA**

SREDSTVO: Dozer TG-140  
 Analizu radio:.....

Strana: 1 od 1  
 Datum:.....

Šifra (Kod)	Naziv		Funkcija	Vrsta otkaza	R <sub>1</sub>	Posledice otkaza		R <sub>2</sub>	Uzrok otkaza	Otkrivanje otkaza	R <sub>3</sub>	Nivo kritičnosti (ocena stanja)	Korektivne mere	Primedba
	Nomenklaturni broj	Krajnje				Lokalne								
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10.01.46	Vijak 6703-1083-7227			lom vijka	5	oštećenje pogonskog točka	tesko oštećenje	9	nadekvatan materijal	vizuelno	4	180 (visok)		
				slabljenje veza segmenata sa diskom	8		gubitak funkcije posle nekog vremena	4	odvijanje navrtke	vizuelno	2	64 (srednji)	ugradnja osigurača (podloške) protiv odvrtnja	
10.01.16	Navrtka 6705-1083-7228			odvijanje navrtke	7	odvajanje segmenta	tesko oštećenje	8	nepostojanje osigurača	vizuelno	3	168 (visok)	ugradnja osigurača (podloške) protiv odvrtnja	Poboljšati osiguranje navrtke od odvijanja. U toku održavanja teške kontrolisati pritegnutost svih 40 navrtki.
				povećan zazor	5		neznatan gubitak funkcije	1	habanje		8	40		
09.05.19	Obloga 2520-1279-6120			otkaz kočnice	3		trenutan prekid funkcije sa ugroženjem bezbednosti	9	habanje		6	162 (visok)		

Sl. 6

Kompleksnost TS i potreba za velikim brojem podataka i informacija zahteva razvoj visokoindividualizovanih postupaka FMECA. Ti postupci često su pojednostavljeni, što zavisi od odnosa potrebnih i postojećih informacija.

Za slučaj sprovođenja analize kritičnosti koji je prethodno opisan neophodno je mnoštvo polaznih podataka i informacija. Posebno je problematičan podatak za intenzitet otkaza ( $\lambda_i$ ) koji nije konstantan već je u funkciji vremena pa u različitim periodima ima različite vrednosti. Nameće se zaključak da se intenzitet otkaza kod mašinskih elemenata ne može uzeti kao jedino meritoran za izračunavanje kritičnosti.

Na osnovu dostupnih istraživanja, a radi prevazilaženja poteškoća u vezi sa obezbeđenjem potrebnih podataka, kao i poteškoća u vezi sa specifičnostima konstrukcije mašinskih sistema oformljen je pojednostavljen algoritam (slika 2) za sprovođenje postupka FMEA/FMECA.

Aktivnosti do analize kritičnosti suštinski se ne razlikuju od prethodno navedena dva načina. Vrste, uzroci i posledice otkaza prikazani su na slici 6 (u okviru Obrasca FMECA).

Analiza kritičnosti moguća je i bez neophodnih kvantitativnih podataka, prema uprošćenom, pretežno empirijsko-iskustvenom postupku.

Uz svaku vrstu otkaza, pridružena je, na osnovu kriterijuma procenjivanja, verovatnoća pojave otkaza ( $R_1$ ), značaj otkaza ( $R_2$ ) i verovatnoća otkrivanja otkaza ( $R_3$ ). Definisanje i određivanje faktora kritičnosti ( $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ ) zahteva angažovanje stručnjaka različitih specijalnosti, odnosno iziskuje ekspertska pozna-

vanje problematike vezane, kako za samu konstrukciju, tako i za sprovođenje metoda FMECA.

U Obrascu FMECA potrebno je navesti način za otkrivanje (detekciju) otkaza (kolona 10).

Analiza kritičnosti sprovodi se na osnovu formule (3), pri čemu se određuje kritičnost svake vrste otkaza, svakog analiziranog dela, podsklopa i sklopa.

Za vijak (kodni broj 10.01.46) ocena stanja, odnosno nivo kritičnosti, izračunat je prema formuli (3):

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 = 5 \cdot 9 \cdot 4 = 180$$

Ako se dobijena vrednost za nivo kritičnosti  $R$  uporedi sa kritičnim vrednošću za indeks prioriteta koji je unapred zadat (tabela 6), vidi se da je dobijena vrednost blizu postavljene granice ( $R > 200$ ), i bez obzira na to što rizik nije kritičan (nije  $R = 180 > 200$ ), potrebno je još jednom razmotriti navedeni problem. U slučajevima kada je  $R > 200$ , rizik je kritičan, a projekat se smatra nezadovoljavajućim. Pri tom je neophodno uvesti i odrediti određene korektivne mere (kolona 13).

## **Zaključak**

Analiza načina otkaza i njihovih efekata (FMEA) i analiza načina otkaza, njihovih efekata i kritičnosti (FMECA), jesu metodi analize pouzdanosti namenjeni za identifikovanje otkaza čije posledice utiču na upotrebnost kvaliteta svakog TS.

FMECA, kao važan postupak za program obezbeđenja pouzdanosti i kvaliteta, može se sprovoditi još u fazi pro-

jektovanja (kako bi učinak bio pravovremen i ekonomičan), a sprovodi se u svim fazama životnog veka.

Za sprovođenje metoda FMECA potrebno je obezbediti veliki broj ulaznih informacija, a za proračun kritičnosti pre svega – intenzitet otkaza  $\lambda$ . Obezbeđenje podataka za  $\lambda$ , za mašinska sredstva, predstavlja veliki problem, pri čemu treba imati u vidu i to da  $\lambda$  delova ugrađenih u fazi proizvodnje nije isti sa  $\lambda$  delova koji se ugrađuju (zamenjuju) u toku održavanja. Ako se pri tom zna da se postupak analize kritičnosti (prema TPR) zasniva na pretpostavci da je intenzitet svih vrsta otkaza nekog dela konstantna veličina, a ne u funkciji vremena, nije teško pretpostaviti da se na taj način dobija nerealna slika nivoa kritičnosti. Sve to ukazuje na to da je proračun kritičnosti na osnovu „metoda kritičnih elemenata“ prihvatljiv.

Delimično sprovođenje FMECA na sklopu transmisije dozera TG-140 pokazalo je da rezultati analize mogu poslužiti kao povratne informacije projektantima, ali i u održavanju. Ovakvim analizama, pored ostalog, moguće je proširiti aktivnosti održavanja, i na taj način obezbediti povećanje vremena „u radu“ u životnom veku svakog TS.

#### Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja TS, JDZMV, Beograd, 1993.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti TS, VINC, Beograd, 1990.
- [3] JUS IEC 812.
- [4] Predlog TPR 1767/92.
- [5] Predictor Management Sciences Incorporated, Workbook, FMEA, CA, 1985.
- [6] Stoiljković, Lj.: Uputstvo za korisnike FMEA, CIM College, Niš, 1996.
- [7] JUS ISO 9004, Upravljanje kvalitetom i elementi sistema kvaliteta.
- [8] Gardijan, P.: Primena metoda analize otkaza FMEA i FMECA na primeru realnog TMS, specijalistički rad, VTA, 2000.

**Vanredni profesor**  
**dr Alempije Veljović,**  
dipl. inž.  
**Zoran Eremija,**  
dipl. inž.  
**Boško Stanković,**  
potporučnik, dipl. inž.  
Vojnotehnička akademija VJ,  
Beograd

## RAZVOJ INFORMACIONOG PODSISTEMA ZA PLANIRANJE ZADATAKA

UDC: 65.012.2 : 519.863

### Rezime:

*U radu je prikazan postupak projektovanja i realizacije informacionog podsistema za planiranje zadataka. Projektovanje informacionog podsistema za planiranje zadataka izvedeno je modeliranjem procesa i modeliranjem podataka. Modeliranje procesa izvedeno je korišćenjem standarda IDEF0, tj. CASE alata BPwin, a modeliranje podataka korišćenjem standarda IDEFIX, odnosno, korišćenjem CASE alata ERwin. CASE alati BPwin i ERwin su softverski proizvodi nastali na osnovu standarda IDEF0 i IDEFIX. Realizacija projektovane aplikacije, tj. dizajn baze podataka, izveden je u ACCESS-u.*

*Ključne reči: CASE alati, BPwin, ERwin, planiranje zadataka.*

---

## DEVELOPMENT OF A TASK PLANNING INFORMATION SUBSYSTEM

### Summary:

*This paper contains the procedure of design and realization of an information subsystem for task planning. The design of the task planning information subsystem was accomplished by process modelling and data modelling. The process modelling was performed in the IDEF0 standard, in the CASE tool BPwin, and the data modelling in the IDEFIX standard, in the CASE tool ERwin. The BPwin and ERwin CASE tools are software suites based on IDEF0 and IDEFIX standards. The database was implemented in ACCESS RDBMS.*

*Key words: CASE tools, BPwin, ERwin, task planning.*

---

### Uvod

Normativna dokumenta na osnovu kojih se vrši planiranje u Vojsci Jugoslavije su: Zakon o Vojski Jugoslavije, naređenja pretpostavljenih struktura, plan rada pretpostavljene jedinice i Uputstvo za planiranje rada u Vojski Jugoslavije.

Resursi koji se koriste za planiranje su: kadar, sredstva informatičke tehnike, novčana sredstva, papir za štampanje plana rada, toner za štampač, itd.

Ulaz u aktivnost su: zahtev za angažovanje, predlog plana rada potčinjene jedinice, zahtev za dopunu plana rada i izveštaj o realizaciji plana rada potčinjene jedinice.

Izlaz iz aktivnosti su razne informacije do kojih se došlo procesom planiranja, a mogu biti: odgovor na zahtev za angažovanje, zahtev za predlog plana rada potčinjenoj jedinici, izveštaj o realizaciji plana, izveštaj kontrole rada i plan rada.



## Definisanje dekompozicionog dijagrama

Na slici 1 prikazan je prvi nivo dekompozicije modela procesa za funkciju planiranja rada. Sa dijagrama se vidi da je funkcija planiranja složena i da se sastoji od pet fundamentalnih funkcija.

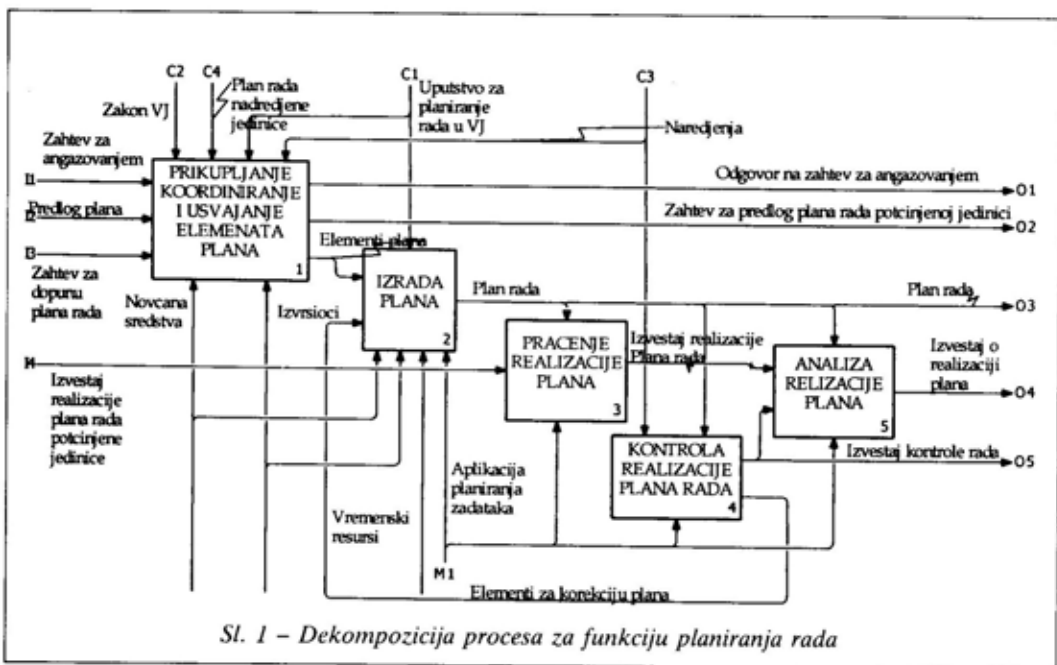
Prva funkcija je prikupljanje, koordiniranje i usvajanje elemenata plana rada. Izvršava se na osnovu sledećih dokumenata: Zakona o Vojsci Jugoslavije, naređenja pretpostavljenih struktura, plana rada pretpostavljene jedinice i Uputstva za planiranje rada u Vojsci Jugoslavije. Resursi koji se koriste su: kadar, računari, novčana sredstva, papir, toner za štampač, itd. Ulaz u sistem su informacije kao što su: zahtev za angažovanje, predlog plana rada potčinjene jedinice i zahtev za dopunu plana. Izlazi iz funkcije prikupljanje, koordiniranje i usvajanje elemenata plana rada su: odgovor na zahtev za angažovanje, zahtev za predlog plana rada potčinjenoj jedinici

i elementi plana rada potčinjenoj jedinici i elementi plana rada.

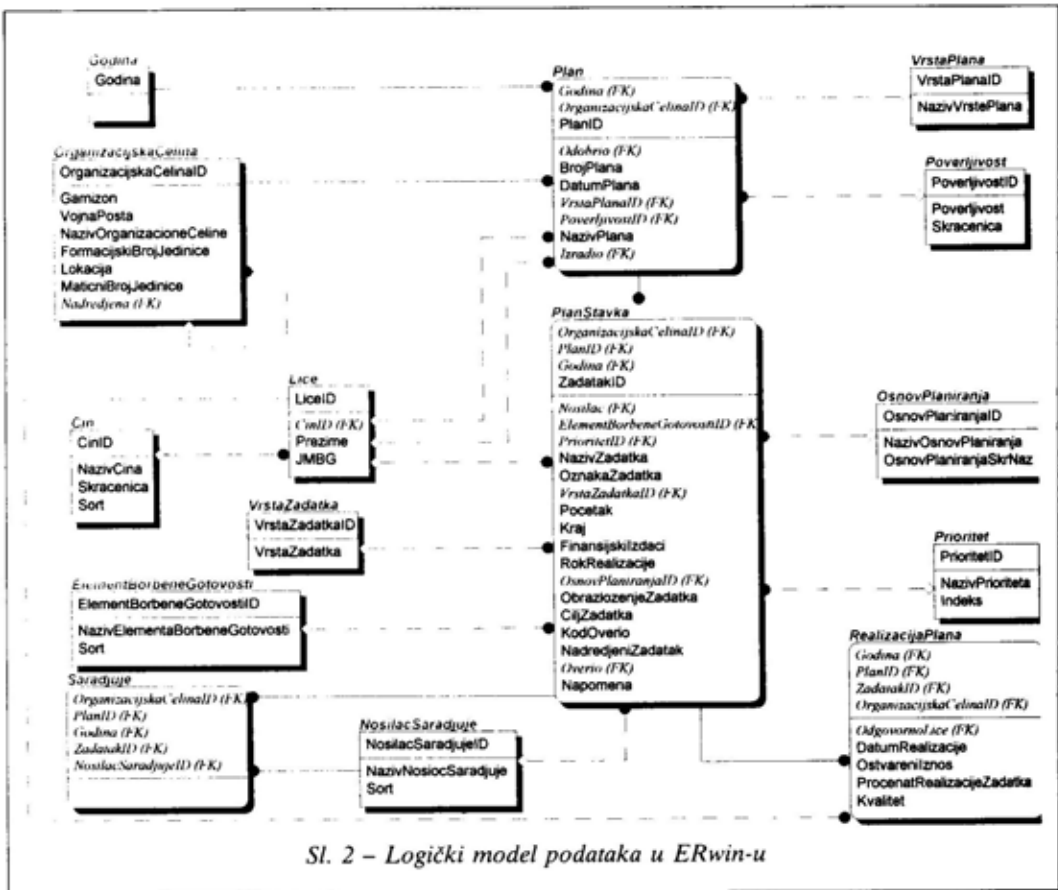
Druga funkcija je izrada plana, a izvršava se na osnovu Uputstva za planiranje rada u Vojsci Jugoslavije. Resursi koji se koriste su isti kao i za prethodnu funkciju. Ulaz u sistem su elementi plana rada i elementi za korekciju plana rada. Izlaz iz sistema je plan rada jedinice za koju se plan izrađuje.

Treća funkcija je praćenje realizacije plana rada, a izvršava se na osnovu plana rada jedinice. Resursi koji se koriste su isti kao i za prethodnu funkciju. Ulaz u ovu funkciju je izveštaj o realizaciji plana rada potčinjene jedinice a izlaz izveštaj o realizaciji plana rada.

Četvrta funkcija je kontrola realizacije plana rada. Izvršava se na osnovu plana rada jedinice za koju se vrši kontrola realizacije plana rada i naređenja za kontrolu. Resursi koji se koriste mogu biti raznovrsni zbog velikog spektra zadatka čija se realizacija kontroliše. Ti za-



Sl. 1 – Dekompozicija procesa za funkciju planiranja rada



Sl. 2 – Logički model podataka u ERwin-u

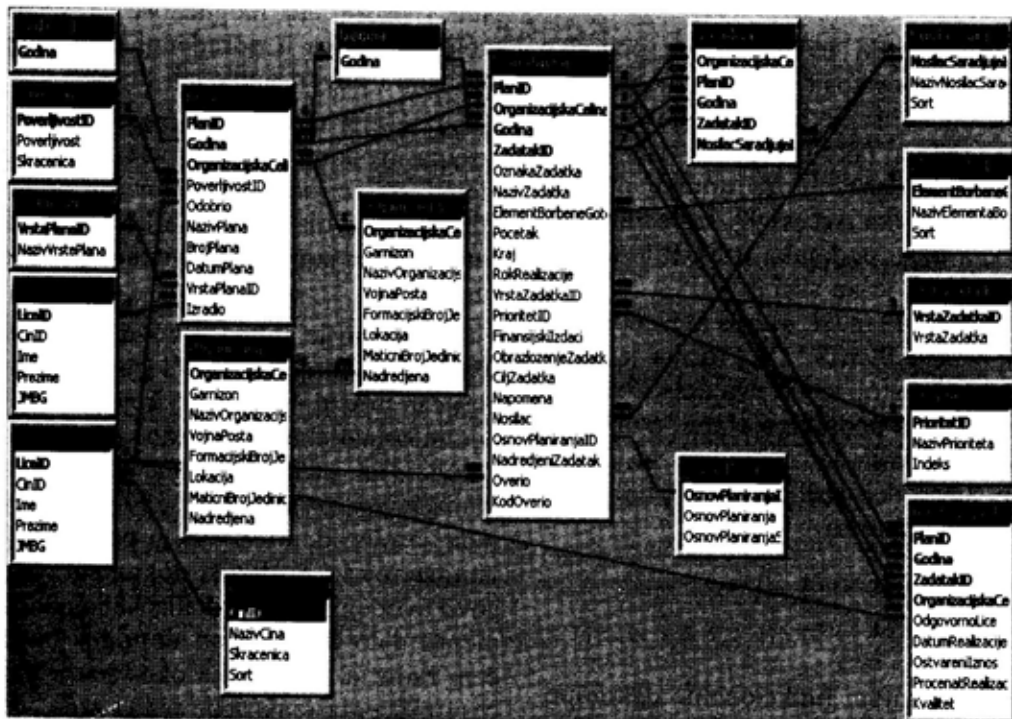
daci mogu se izvršavati na nekim udaljenim mestima, pa u resurse mogu da spadaju i gorivo, vozilo, novčana sredstva za obezbeđenje dnevnica, itd. Ovaj proces nema nikakvih ulaza. Izlazi iz ove funkcije jesu izveštaj kontrole rada i elementi za korekciju narednog plana rada.

Peta funkcija je analiza realizacije plana rada, a izvršava se na osnovu plana rada jedinice. Resursi koji se koriste za ovu funkciju, takođe, mogu biti raznovrsni. To mogu biti novčana sredstva koja su potrebna za organizaciju sastanka na kojem se vrši analiza, kao i materijalna sredstva koja će se koristiti na analizi (računar, projektor, grafoskop, itd.). Ulaz u ovu funkciju čine izveštaj realiza-

cije plana rada i izveštaj kontrole rada, a izlaz izveštaj o realizaciji plana.

### Definisanje ERwin modela

Na osnovu izvedenog modeliranja funkcija u ovom koraku se, korišćenjem CASE alata ERwin, izvodi modeliranje podataka. Na slici 2 vidi se da postoje dva entiteta koji se posebno izdvajaju od ostalih. To su entiteti Plan i Stavka Plana. Na ta dva entiteta povezani su svi ostali entiteti osim entiteta Cin, koji je povezan sa entitetom Lice. Sa slike se vidi da organizacijska celina za koju se izrađuje plan može da ima njoj pretpostavljenu organizacijsku celinu.



Sl. 3 – Fizički izgled modela baze podataka u SUBP Access 97

The screenshot shows a software interface for planning. The title is "ПРЕГЛЕД И УНОС ПЛАНОВА". It displays a form for "Војнотехничка академија" for the year "2000". The main title is "План рада Војнотехничке академије ВЈ за март 2000. год.". Below is a table of tasks:

Ознака задатка	Назив задатка	ИД задатка	Датум
1.1	Седнице колегијума начелника сектора за ШОНИД ГШ ВЈ	1	
1.1.1	Припрема материјала за седнице колегијума начелника С ШОНИД	2	
1.2	Седница колегијума начелника ВТА ВЈ	3	

Sl. 4 – Forma Plan sa potformom PlanStavka

## Dizajn baze podataka

Programski paket ERwin pogodan je za rad zbog toga što se iz njega može izvršiti generisanje baze podataka. Ovde je to urađeno tako što je generisana baza podataka u sistemu za upravljanje bazama podataka Access 97. Izgled fizičkog modela baze podataka u SUBP Access 97 prikazan je na slici 3.

Forma Plan (sl. 4) ima najveći značaj u aplikaciji PlanIS. Ova forma je dosta složena a sastoji se od dva dela. Prvi deo se odnosi na podatke o planu, a drugi na podatke o svim zadacima koji su uneti u plan. Ovaj deo realizovan je preko potforme PlanStavka.

## Zaključak

Segmentom funkcionalne dekompozicije problema potpuno su obuhvaćeni svi bitni elementi koji se posredno ili neposredno nalaze u procesu planiranja zadataka u VTA VJ. U skladu sa ovim konceptima osmišljena je i realizovana kompletna aplikacija koja pomaže korisniku da na efikasan način dođe do željenog cilja – plana rada. Aplikacija, kao osnovni zadatak izrade ovog rada, u ve-

likoj meri štedi vreme lica koje izrađuje plan i pruža mu mogućnost da većinu svojih zadataka u određenoj meri automatizuje i poveri aplikaciji PlanIS.

Iz svega navedenog može se uočiti dosadašnji domet u realizaciji ovog problema, ali se može steći i uvid u pravce budućeg razvoja aplikacije koja će rešavati problem izrade planova rada u Vojsci Jugoslavije.

Posebno je važno istaći da je Uputstvo za planiranje rada u VJ (privremeno) klasičan pravni dokument, koje pri izradi nije informatički analizirano. Uočava se, takođe (na slici 2), entitet Realizacija-Plana koji je proizvod ovog istraživačkog rada, a nije identifikovan u pomenutom Uputstvu kao postojeći dokument. Njegov uvođenje kao formalizovanog dokumenta dalo bi značajan doprinos budućem radu, a predstavlja okosnicu u procesu praćenja realizacije plana rada.

### Literatura:

- [1] Uputstvo za planiranje rada u Vojsci Jugoslavije, GŠ VJ, Sektor za OŠP, Beograd, 1998.
- [2] Stanković, B.: Planiranje zadataka VTA VJ, diplomski rad, Beograd, 2000.
- [3] Profirović, M.: Microsoft Access verzija 2.0, I izdanje, Tehnička knjiga, 1994.
- [4] Veljović, A.: Razvoj informacionih sistema i baze podataka, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 2000 (alempije@beotel.yu).

Vladislav Mišković,  
potpukovnik, dipl. inž.  
Centar za informatičku podršku  
pozadine GŠ VJ,  
Beograd

## PRIMENA SISTEMA INDUKTIVNOG MAŠINSKOG UČENJA U INTELIGENTNOJ ANALIZI PODATAKA

UDC: 007.52 : 681.3.06

### Rezime:

*U ovom radu razmatrana je primena metoda induktivnog mašinskog učenja u inteligentnoj analizi podataka (data mining, knowledge discovery in databases). Prikazane su i osnovne karakteristike sopstvenog nekomercijalnog sistema za inteligentnu analizu podataka, kao i eksperimentalno poređenje njegove komponente za induktivno učenje pravila sa najpoznatijim sistemima iz te kategorije.*

*Ključne reči: istraživanje podataka, induktivno mašinsko učenje, softver.*

## APPLICATION OF INDUCTIVE MACHINE LEARNING IN DATA MINING

### Summary:

*This paper considers the application of inductive machine learning methods in data mining and knowledge discovery in databases tasks. Some characteristics of the author's noncommercial System for Data Mining and Knowledge Discovery are presented as well as the experimental comparison of its inductive rules learning component with some best known systems from the same category.*

*Key words: data mining, knowledge discovery, inductive machine learning, software, comparison.*

### Uvod

Prikupljanje velikih količina raznovrsnih podataka u savremenim informacionim sistemima stvorilo je potrebu za programima koji mogu efikasno da im pristupe i izdvoje one koji su korisni za određenu svrhu [1, 2].

Primeri procesa koji generišu veliki broj podataka su razne evidencije o ljudima (matične, pravosudne, krivične, finansijske, zdravstvene, obrazovne i slično), proizvodnji (nadgledanje procesa, upravljanje kvalitetom), prodaji (klijenti

i eksploataciji proizvoda (dijagnostika, servisiranje). Struktura, format i smisao podataka su vrlo raznovrsni, i najčešće se ne uklapaju u standardne matematičke modele, tako da je njihova analiza klasičnim statističkim metodama veoma složena ili čak nemoguća.

Sistemi za inteligentnu analizu podataka (data mining, knowledge discovery in databases) jesu alati koji mogu da analiziraju sadržaj velikih baza podataka i ustanove određene zakonitosti u njima. Dobijeno znanje se zatim koristi za donošenje odluka zasnovanih na znanju, npr.

u sistemima za dijagnostiku oboljenja ili tehničkih sistema.

### Inteligentna analiza podataka

Inteligentna analiza podataka je autorov zajednički naziv za dva pojma – *istraživanje podataka* (data mining) i *otkrivanje znanja* u bazama podataka (knowledge discovery in databases – KDD), koji se ponekad u literaturi poistovećuju [2].

Prema [1, 3], istraživanje podataka obuhvata primenu metoda mašinskog učenja i drugih metoda, za pronalaženje svih uzoraka u posmatranim podacima („enumeration of patterns over the data“), dok se otkrivanje znanja odnosi na celokupan životni ciklus analize podataka, od identifikacije ciljeva analize, prikupljanja i organizacije sirovih podataka do generisanja potencijalno korisnog znanja, njegove interpretacije i testiranja.

Prvi pristup [1, 3] istraživanje podataka definiše kao „izdvajanje uzoraka ili modela iz posmatranih podataka“ i razmatra ga kao deo procesa otkrivanja znanja. Pod otkrivanjem znanja podrazumeva se „netrivijalan proces identifikacije novih, potencijalno korisnih i obavezno razumljivih uzoraka u podacima“, koji obuhvata:

- razvoj i razumevanje primene i ciljeva procesa istraživanja podataka;
- prikupljanje i odabir podataka;
- objedinjavanje i proveru izabranog skupa podataka;
- čišćenje, pretprocesiranje i transformaciju;
- razvoj modela i postavljanje hipoteza;
- izbor pogodnog algoritma istraživanja podataka;

- istraživanje podataka (data mining);
- interpretaciju rezultata i vizualizaciju;
- testiranje i verifikaciju rezultata;
- upotrebu i održavanje otkrivenog znanja.

Prema [3], istraživanje podataka se procenjuje na 15–25% ukupnih napora u celom procesu otkrivanja znanja. Prema drugom pristupu [2] koristi se jedinstveni termin „istraživanje podataka“ za celokupan proces i definiše kao „korišćenje istorijskih podataka za otkrivanje pravilnosti i poboljšanje budućih odluka“.

U analizi podataka najčešće se koristi model problema zasnovan na *objektima* i *atributima* koji ih opisuju. Svaka konkretna reprezentacija objekta određena je kombinacija *vrednosti* atributa i obično se, pojednostavljeno, takođe naziva objektom. Slični objekti (po nekom kriterijumu) mogu se grupisati u *klase*, dok različiti objekti pripadaju različitim klasama. Formiranje klasa redukuje kompleksnost podataka i otkriva strukturu u podacima. Savremeni alati za analizu automatizuju ovaj postupak.

U analizi podataka koriste se tradicionalne metode (regresivna analiza, klaster-analiza, numerička taksonomija, stohastičko modeliranje, itd.), kao i razne *metode mašinskog učenja* (fuzzy logika, neuronske mreže, sistemi za učenje produkcionih pravila i stabala odlučivanja, itd.). Suštinska razlika je u tome što su tradicionalne metode okrenute kvantitativnim osobinama podataka kao celine, a rezultat analize kreira sam analitičar.

Rezultat metoda mašinskog učenja jesu logičke zakonitosti i kvalitativni opisi, koje kreira sam alat. Takvi opisi mogu da sadrže više oblika izražavanja istovremeno, na primer, logički, matematički,

statistički i grafički. Osnovni uslov je da budu lako razumljivi analitičarima i ekspertima koji se bave razmatranim područjem, tj. da zadovoljavaju „princip razumljivosti“ (principle of comprehensibility) [1].

### **Induktivno mašinsko učenje na osnovu primera**

Mogućnost učenja je jedan od osnovnih pokazatelja inteligentnog ponašanja. Izučavanje i računarsko modeliranje procesa učenja predstavlja predmet proučavanja na području mašinskog učenja.

Prema [4] *mašinsko učenje* (machine learning) jeste skup procesa, gde spadaju:

- prikupljanje novog deklarativnog znanja;
- razvoj i usavršavanje motornih i sazajnih sposobnosti kroz praksu;
- strukturisanje postojećeg znanja;
- otkrivanje novih činjenica i teorija posmatranjem i aktivnim eksperimentisanjem.

Učenje se može posmatrati kroz dve osnovne forme:

- prikupljanje znanja (knowledge acquisition), tj. učenje nove (simboličke) informacije, tako da se ona može primeniti u efektivnom smislu (primer: tako čovek uči fiziku);
- uvežbavanje (training), tj. poboljšavanje već stečenog znanja, bilo mentalne, bilo motorne koordinacije, putem praktičnog ponavljanja i korekcije odstupanja od željenog ponašanja (primer: tako čovek uči veštine – vožnju bicikla ili sviranje na klaviru, kada prikupljanje znanja predstavlja tek prvu fazu učenja).

Smatra se da učenje kod čoveka predstavlja mešavinu obe forme, s tim da mentalne aktivnosti potenciraju prvu for-

mu, a motorne aktivnosti u većoj meri drugu formu učenja.

Sistemi mašinskog učenja najčešće se dele prema odabranoj strategiji učenja, načinu predstavljanja znanja i području primene [4]. Podela prema strategiji učenja odnosi se na potrebnu količinu zaključivanja sistema (u ulozi učenika) nad podacima koje dobija iz okruženja (u ulozi učitelja):

- učenje memorisanjem (rote learning), kada nema zaključivanja ni transformacije znanja (obično programiranje i upotreba primitivnih baza podataka);
- učenje na osnovu rečenog (learning by being told), kada se deklarativno znanje transformiše u internu formu predstavljanja i integriše sa postojećim znanjem. Takvo znanje sistem upotrebljava bez dodatnog programiranja;
- učenje po analogiji (learning by analogy), kada se zahteva veća količina zaključivanja, jer se novo znanje stiče transformacijom i proširivanjem postojećeg znanja u takvom obliku da se može upotrebiti za rešavanje novih problema, koji su u određenoj meri silčni već rešenim;
- učenje na osnovu primera (learning by examples), koje zahteva induktivno zaključivanje. Analizom i generalizacijom rešenih primera i kontraprimera neke klase pojava (pojma) dolazi se do pravila, teorije ili opisa pojma, koji obuhvata sve primere i nijedan kontraprimer. Ovakve metode se najviše istražuju, a dalje se mogu klasifikovati prema izboru primera, izvoru primera i načinu upotrebe primera;
- učenje posmatranjem i samostalnim otkrivanjem (learning by observation and discovery), ili učenje bez učitelja, zahteva najveću količinu zaključivanja, jer sistem mora samostalno da otkriva

nove i značajne klase objekata (pojmove), postavlja hipoteze i proverava ih, te stvara teorije.

Poslednje dve strategije učenja (učenje na osnovu primera i učenje posmatranjem i samostalnim otkrivanjem) poznate su pod imenom *induktivno mašinsko učenje*.

Druga podela sistema mašinskog učenja zasniva se na iskustvu koje navodi na zaključak da postoje znanja koja se ne mogu eksplicitno izraziti [5], pa se razlikuju sistemi sa eksplicitnim znanjem, predstavljenim logikom, pravilima, frejmovima i sličnim načinima i sistemi sa implicitnim (distribuiranim) znanjem, npr. u neuronskim mrežama.

Prema području primene razlikuju se sistemi opšte namene i specijalizovani sistemi mašinskog učenja za posebna uska područja primene (npr. za razvoj ekspertskih sistema, poljoprivredu, hemiju, programiranje računara i robota, edukaciju, matematiku, prepoznavanje slike i govora, razumevanje prirodnog jezika, planiranje, predviđanje, igre, složene sisteme naoružanja, itd.).

### **Pregled poznatijih komercijalnih sistema za inteligentnu analizu podataka**

Od velikog broja sistema za inteligentnu analizu podataka, radi ilustracije, prikazane su (tabela 1) osnovne karakteristike nekoliko značajnijih [3]:

Vidi se da svi sistemi koriste širok dijapazon različitih metoda induktivnog učenja kao osnovni alat za inteligentnu analizu podataka. Svi sistemi imaju ugrađenu neku od metoda za induktivno učenje simboličkih opisa (stabala odlučivanja ili produkcionih pravila), za šta koriste najpoznatije algoritme iz te kategorije

(npr., ID3 [4], C4 [11], CN2 [13], CART).

### **Primer sopstvenog sistema za inteligentnu analizu podataka**

Prvi prototip sistema za inteligentnu analizu podataka pod nazivom *Empiric*, autor je razvio na Katedri za računarsku tehniku VVTŠ KoV JNA (verzija za DOS). U ovom radu koristi se nova verzija za Windows okruženje.

#### *Sistem za induktivno učenje Empiric*

Sistem za induktivno učenje na osnovu primera zamišljen je kao alat u zadacima istraživanja podataka (data mining), odnosno otkrivanja znanja (knowledge discovery). Sastoji se od više podsistema koji obezbeđuju minimalni skup alata za inteligentnu analizu podataka metodama induktivnog mašinskog učenja:

- editor primera, namenjen za unos i ažuriranje modela problema i primera;
- podsistem za induktivno učenje bez učitelja: generator jednostavnih klasifikacija, realizovan algoritmom partitivnog grupisanja (partitional clustering) i generator hijerarhije klasa, realizovan algoritmom hijerarhijskog grupisanja (hierarchical clustering);
- podsistem za induktivno učenje pravila na osnovu primera (induction of conjunctive rules);
- vizualizator, realizovan algoritmom za nelinearnu projekciju prostora primera (nonlinear mapping) u dve dimenzije, radi prikaza strukture skupa primera geometrijskim rasporedom tačaka na površini. Omogućava praćenje rada algoritama za generisanje klasifikacija.



Pregled poznatijih sistema za inteligentnu analizu podataka

Red. br.	Naziv	Proizvođač	Operativni sistem	Format podataka	Obim podataka	Induktivne metode <sup>1</sup>
1.	Clementine	Integral Solutions Ltd.	Unix, WinNT	Tekst, Informix, Oracle, Sybase, Excel	<10 <sup>6</sup>	NN, DT, RI
2.	Darwin	Thinking Machines <sup>2</sup>	Unix <sup>2</sup>	Tekst, Oracle, Sybase	>10 <sup>6</sup>	NN, GA, DT
3.	Intelligent Miner	IBM	Unix, WinXX, OS/2	Tekst, Oracle, Sybase	>10 <sup>6</sup>	NN, DT
4.	MineSet	Silicon Graphics	Unix	Tekst, Informix, Oracle, Sybase	>10 <sup>6</sup>	St, DT, RI
5.	PolyAnalyst	Megaputer	WinXX, OS/2	Tekst, Informix, Oracle, Sybase, Access, Excel	<10 <sup>6</sup>	GA, St, RI

<sup>1</sup> NN – neuronske mreže, GA – genetički algoritmi, DT – stabla odlučivanja, RI – indukcija pravila, St – statističke metode

<sup>2</sup> Sada je postao deo sistema Oracle, pa je raspoloživ na svim platformama

Svi podsistemi prilagođeni su jedinstvenom modelu predstavljanja znanja, tzv. atributnom modelu sa više tipova atributa. Diskretni atributi ugrađeni su u tri varijante: nominalni (neuređen skup vrednosti), linearni (uređen skup vrednosti) i strukturni (parcijalno uređen skup vrednosti).

### Osnovne karakteristike sistema Empiric

Osnovne karakteristike sistema u celini su:

- formira uniformni model primera sa više tipova atributa;
- dozvoljava nepoznate vrednosti u primerima za sve funkcije sistema;
- vizuelno prikazuje klasifikaciju radi boljeg uvida u strukturu i rad generatora klasifikacija;
- omogućava odabir primera za učenje i primera za testiranje pravila (slučajno i sekvencijalno);
- pri učenju pravila vrši automatsku dinamičku diskretizaciju kontinualnih atributa;

– generisano znanje predstavlja u obliku konjuktivnih pravila;

– omogućava dodatno povećanje tačnosti predviđanja učenjem višestrukih modela (bagging), što se u ovom radu ne razmatra.

U podsistem za induktivno učenje pravila sistema Empiric ugrađeno je više različitih mera za ocenu kvaliteta pravila u fazi njihovog formiranja:

- informativnost ili prirast informacije (information gain, ID3);
- relativna informativnost (gain ratio, C4);
- entropija (entropy, CN2);
- mera nečistoće klasifikacije (gini index, CART);
- mera logičke zasnovanosti (logical sufficiency content, HYDRA);
- mera prirasta informacije (Q-measure, AQ18).

U zagradi je naveden po jedan svetski poznat algoritam učenja koji tipično koristi odgovarajuću meru. U sistemu Empiric meru kvaliteta pravila bira korisnik pri aktiviranju algoritma učenja pravila, zajedno sa načinom izdvajanja i brojem primera za učenje i testiranje naučenih pravila.

*Rezultati testiranja podsistema induktivnog učenja pravila na nezavisnim testovima*

Izvršeno je testiranje podsistema za induktivno učenje pravila na skupu od 10 problema (tabela 2) iz baze podataka problema mašinskog učenja na University of California at Irvine [8]. Odabrani su problemi iz više različitih područja primene, sa različitim brojem primera, vrstom i brojem atributa, koji se često citiraju u referentnoj literaturi.

Tačnost predviđanja (predictive accuracy), koja se ponekad neprecizno naziva klasifikacijska tačnost, osnovni je pokazatelj performansi sistema induktivnog učenja. Predstavlja procenat uspešnosti klasifikacije novih, nerazmatranih primera korišćenjem naučenih pravila.

U tabeli 3 dato je poređenje tačnosti predviđanja podsistema za učenje pravila sistema Empiric sa najboljim rezultatima drugih sistema koji su pronađeni u literaturi, za svaki od navedenih problema [8, 9, 10, 11, 12]. Poređenje je izvršeno sa

programima induktivnog učenja koji daju simbolički opis rezultata učenja, odnosno zadovoljavaju „princip razumljivosti“.

Sistem Empiric je testiran pod istim uslovima (u pogledu načina izbora i broja primera u skupu za učenje/testiranje) za svaku od ugrađenih mera kvaliteta pravila i uzet je najbolji (Best) rezultat za poređenje.

Vidi se da je, po tačnosti predviđanja, podsistem za induktivno učenje pravila sistema Empiric uporediv sa algoritmima koji su ugrađeni u druge sisteme za inteligentnu analizu podataka, dakle, sa svetskim standardima u ovoj oblasti.

Dobijeni rezultati su relevantni samo za ponašanje algoritma koji se primenjuju na referentne i srodne probleme. Prema [7] ne mogu se automatski očekivati iste performanse na drugim problemima, zbog „zakona očuvanja“ generalizacionih performansi, po kojem:

- ne postoji apsolutno najbolji algoritam učenja za sve probleme,
- algoritam učenja može biti bolji od drugog u jednoj situaciji samo na

*Pregled referentnih problema mašinskog učenja*

*Tabela 2*

Red. br.	Problem	Broj primera	Broj atributa		Broj klasa	% većinske klase	Ispušt. vredn.
			Diskretnih	Kontinualnih			
<i>Problemi opisani samo diskretnim atributima</i>							
1.	Kr-vs-kp (Chess)	3.196	36	–	2	52,22%	–
2.	Splice (DNA)	3.190	60	–	2	51,88%	–
<i>Problemi opisani samo kontinualnim atributima</i>							
3.	Iris Plant	150	–	4	3	33,33%	–
4.	Ionosphere	351	–	34	2	64,10%	–
5.	Pima Diabetes	768	–	8	2	65,10%	–
6.	Shuttle	58.000	–	9	7	78,60%	–
<i>Problemi opisani sa obe vrste atributa i ispuštenim vrednostima</i>							
7.	Hepatitis	155	13	6	2	79,35%	da
8.	Annealing	898	32	6	6	76,19%	da
9.	Thyroid Disease	3.772	22	7	3	95,68%	da
10.	Adult	48.842	8	6	2	76,07%	da

Poređenje tačnosti predviđanja sa rezultatima iz literature za programe koji daju simboličke opise naučenih pravila

Red. br.	Problem	% već. klase	Način testiranja	Referenca/ algoritam	Najbolji rezultat %	Empiric (Best) %	
<i>Problemi opisani samo diskretnim atributima</i>							
1.	Kr-vs-kp (Chess)	52,22%	10×(2.130:1.066 Random)	[12]	C4.5	99,10±0,00	96,90±0,63
2.	Splice (DNA)	51,88%	10×(2.000:1.190 Random)	[12]	ID3	94±0,00	87,01±1,34
<i>Problemi opisani samo kontinualnim atributima</i>							
3.	Iris Plant	33,33%	10×(70%:30% Random)	[9]	Assistant-R	95,40±2,60	94,44±3,62
4.	Ionosphere	64,10%	1×(200:151 Sequential)	[8]	C4	94,00±0,00	97,35±0,00
5.	Pima Diabetes	65,10%	50×(67%:33% Random)	[10]	CN2	73,60±2,40	72,89±3,57
6.	Shuttle 43.500	78,60%	1×(43.500:14.500 Sequential)	[8]	ID3	99,99±0,00	99,95±0,00
<i>Problemi opisani sa obe vrste atributa i ispuštenim vrednostima</i>							
7.	Hepatitis	79,35%	10×(70%:30% Random)	[9]	Assistant-R	83,00±3,50	81,74±3,79
8.	Annealing	76,19%	50×(67%:33% Random)	[10]	RISE	97,40±0,90	99,15±0,55
9.	Thyroid Disease	95,68%	10×(2.800:972 Random)	[11]	C4.5	99,52±0,10	96,22±0,41
10.	Adult 32.561	76,07%	1×(32.561:16.281 Sequential)	[8]	C4.5	85,50±0,00	80,74±0,00

račun gubitka performansi u nekim drugim situacijama,

– srednja klasifikacija tačnost algoritma u odnosu na sve matematički moguće probleme je konstantna i ne zavisi od algoritma.

Zbog toga se performanse algoritama učenja (pre svega tačnost predviđanja) mere i poboljšavaju u odnosu na određene stvarne probleme, a teži se tome da se gubitak performansi odrazi na probleme koji se nikad neće javiti u praksi.

### Primer inteligentne analize podataka

Za ilustraciju procesa inteligentne analize metodama induktivnog mašinskog učenja upotrebiće se sistem Empiric i baza podataka o 155 modela automobila,<sup>1</sup> gde je svaki slog ili red tabele jedan primer konkretnog modela automobila. Traže se interesantne relacije u skupu

objekata, koji su opisani svojstvima kao što su broj pređenih milja sa 1 galonom goriva (MPG), broj cilindara (cylinders) i godina proizvodnje (year), slika 1.

Kada se skup primera prikaže u prozoru vizuelizatora, uočava se izraženo grupisanje primera u nekoliko grupa (slika 2).

Interesantno je ispitati grupisanje na dve grupe (dijagonalno raspoređene) pomoću programa za generisanje particija. Rezultat rada algoritma grupisanja vidi se na slici 3, mada nije obavezno da se grupisanje koje generiše program poklopi sa grupisanjem na vizuelnom prikazu.

Koje su karakteristike ova dva podskupa podataka? Odgovor daje program induktivnog mašinskog učenja, koji ima zadatak da logički opiše ovo grupisanje primera. Rezultat je objašnjenje generisane klasifikacije na slici 4.

Ovaj skup pravila često se izražava u obliku pravila odlučivanja (decision rules) koja se često koriste u ekspertnim sistemima, slika 5.

<sup>1</sup> Ilustrativan primer iz statističkog paketa StatGraf 2.0

Empiric

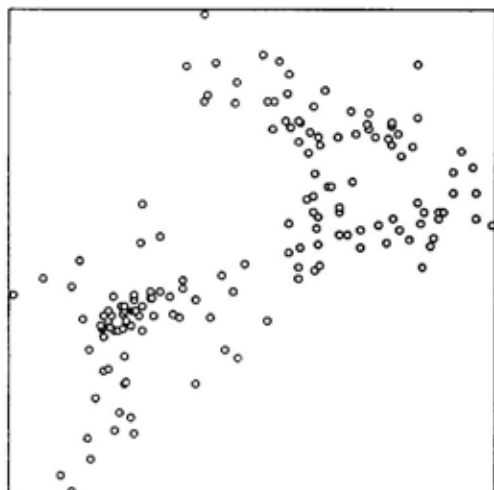
File Edit View Hierarchy Partitions Rules Window Help

d:\sp\topu\cipp\miskovic\mag\emp32\cars.ls

	MPG	cylinders	displace	horsepowe	accel	year	weight	origin	make	model	price
1.	43.1	4	90	48	21.5	78	1985	Europe	Volkswage	Rabbit-DI	2400
2.	36.1	4	98	66	14.4	78	1800	USA	Ford	Fiesta	1900
3.	32.8	4	78	52	19.4	78	1985	Japan	Mazda	GLC-Delux	2200
4.	39.4	4	85	70	18.6	78	2070	Japan	Datsun	B210-GX	2725
5.	36.1	4	91	60	16.4	78	1800	Japan	Honda	Civic-CVCC	2250
6.	19.9	8	260	110	15.5	78	3365	USA	Oldsmobile	Cutlass	3300
7.	19.4	8	318	140	13.2	78	3735	USA	Dodge	Diplomat	3125
8.	20.2	8	302	139	12.8	78	3670	USA	Mercury	Monarch	2650
9.	19.2	6	231	105	19.2	78	3535	USA	Pontiac	Phoenix	2800
10.	20.5	6	200	95	18.2	78	3155	USA	Chevrolet	Malibu	3275
11.	20.2	6	200	85	15.8	78	2965	USA	Ford	Fairmont-A	2375

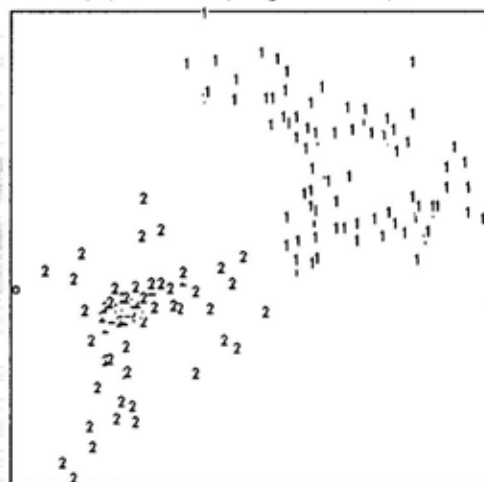
Sl. 1 – Skup neklasifikovanih primera za učenje

Graphics2  
Nonlinear projection of data (Triangulation method):



Sl. 2 – Vizuelizacija neklasifikovanih primera

Graphics2  
Nonlinear projection of data (Triangulation method):



Sl. 3 – Vizuelizacija primera grupisanih u dve klase

Best Ruleset (100.00% accuracy):

-----

Rule 1 (1.000): [origin=USA] -> [Class=#1] 85

Rule 2 (1.000): [origin=Europe,Japan] -> [Class=#2] 70

Sl. 4 – Naučena pravila za podelu na dve klase

Dakle, naučeno objašnjenje je da se automobili mogu podeliti na #1: automobile američke proizvodnje i #2: ostale automobile, odnosno da se američki automobili bitno razlikuju od svih ostalih. Novi pojmovi još nemaju imena i jednostavno se označavaju kao #1 i #2.

Na taj način može se potražiti objašnjenje i neke druge podele primera, na 2, 3 ili više grupa ili klasa. Koliko je razumno ispitivati? Odgovor daje hijerarhijsko grupisanje, koje generiše kompletnu hijerarhiju razumnih grupisanja primera u hijerarhiju klasa, što je prikazano u desnoj koloni izveštaja algoritma na slici 6.

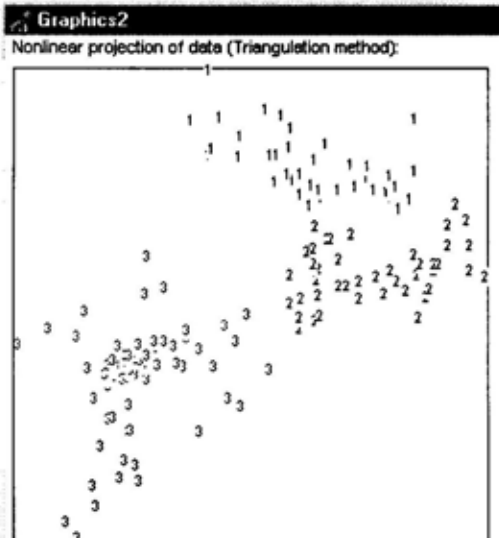
```
if origin=USA
then Class=#1 (1.0)
else
if origin=Europe or origin=Japan
then Class=#2 (1.0)
```

Sl. 5 – Naučena pravila odlučivanja za dve klase

```
-- MNV disaggregate clustering --
```

MNV threshold	Number of CLASSES
40	2
39	2
...	...
18	2
17	3
16	4
15	4
14	6
13	8
12	9
11	9
10	11
9	14
8	19
7	21
6	30
5	39
4	57
3	81
2	113

Sl. 6 – Izveštaj algoritma hijerarhijskog grupisanja



Sl. 7 – Vizuelizacija nove klasifikacije u tri klase

Induktivno učenje propozicionih koncepata objašnjava samo podelu na disjunktne klase u jednom nivou. Zbog toga se, pre poziva algoritma učenja pravila, prvo izabere odgovarajući nivo hijerarhije, odnosno nivo podele na klase (uokvireno na slici 6). Na slici 7 prikazana je vizuelizacija grupisanja u tri klase:

Rezultat induktivnog učenja za tri klase daje objašnjenje kao na slici 8.

Dakle, u ovoj podeli uočena je podklasa #1 američkih automobila sa 6 i više cilindara (pravilo Rule 1), a #2 su ostali američki automobili raznovrsnih svojstava i jednostavno su opisani nabrojanjem modela (pravilo Rule 2). Evropski i japanski automobili su i dalje kompaktna grupa #3 ostalih automobila (pravilo Rule 3).

Ovaj jednostavan primer ne može u potpunosti da prikaže korist koja se može ostvariti metodama induktivnog učenja, ali su to uočile kompanije i finansijske institucije u razvijenom svetu (npr., banke, osiguravajuća društva, fondovi, trgova-

Best Ruleset (100.00% accuracy):

-----

Rule 1 (1.000): [displace=>173][cylinders=>6] -> [Class=#1] 41  
Rule 2 (1.000): [model=Fiesta,Phoenix,Fairmont-M,Concord,Chevrolet  
Fairmont-4,Colt-Hatch,Spirit-DL,Horizon,HorizonTC3,  
Must-Cobra,Reliant,Skylark,Aries-SW,Champ,Horizon-4  
Cavalier,CavalierSW,Cavalier2D,1200-Hatch,Aries-SE,  
MustangGL,Rampage,Ranger,S-10][cylinders=4] -> [Class  
Rule 3 (1.000): [origin=Europe,Japan] -> [Class=#3] 70

*Sl. 8 - Naučeni skup pravila za tri klase*

vinski lanci, itd.), koje sve više traže i koriste rezultate inteligentne analize podataka.

## Zaključak

Sistemi za inteligentnu analizu podataka mogu da analiziraju sadržaj velikih baza podataka i ustanove određene zakonitosti u tim podacima. Ovako dobijeno znanje može se upotrebiti za donošenje odluka zasnovanih na znanju, npr. u sistemima za dijagnostiku oboljenja ili tehničkih sistema.

Inteligentna analiza podataka je sledeća tehnologija za koju se očekuje da će uskoro početi rutinski da se primenjuje u oblasti informacionog inženjerstva.

U radu je prikazan mali deo bogate ponude komercijalnih alata za ovu namenu. Uočeno je da svi komercijalni sistemi za inteligentnu analizu podataka imaju ugrađenu neku od metoda za induktivno učenje simboličkih opisa, obično stabala odlučivanja ili produkcionih pravila. Opisani (nekomercijalni) sopstveni sistem Empiric takođe koristi navedene metode.

Poređenjem sa rezultatima iz literature zaključeno je da je podsistem za induktivno učenje pravila sistema Empi-

ric po tačnosti predviđanja uporediv sa svetskim standardima u ovoj oblasti.

## Literatura:

- [1] Michalski, R. S., Kaufman, A.: Data Mining and Knowledge Discovery: A Review of Issues and Multistrategy Approach, in Michalski, R. S., Bratko, I. and Kubat, M.(eds), Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications, John Wiley & Sons, 1997.
- [2] Mitchel, T. M.: Machine Learning and Data Mining, Communications of the ACM, Vol. 42, No. 11, November 1999.
- [3] Goebel, M., Gruenwald, L.: A Survey of Data Mining and Knowledge Discovery Software Tools, SIGKDD Explorations, Vol. 1, Issue 1, June 1999.
- [4] Michalski, R., Carbonell, J., Mitchell, T. (Eds.): Machine learning: An artificial intelligence approach (Vol. I), San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1983.
- [5] Hart, A.: Machine induction as a form of knowledge acquisition in knowledge engineering, in Forsyth, R.(ed), Machine Learning: Principles and techniques, Chapman and Hall, London, 1989.
- [6] Graetinger, T.: Digging up \$\$\$ with Data Mining - An Executives Guide, Discovery Corps, Inc., 1999.
- [7] Schaffer, C.: A Conservation Law for Generalization Performance, in Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning, pp. 259-265, New Brunswick, NJ: Morgan Kaufmann, 1994.
- [8] Murphy, P. M. and Aha, D. W.: UCI Repository of machine learning databases [Machine-readable data repository]. Irvine, CA: University of California, Department of Information and Computer Science, 1994.
- [9] Kononenko, I. and Šimec, E.: Induction of decision trees using RELIEFF, in Kruse R., Viertl R., Della Riccia G.(eds): CISM Lecture Notes, Springer Verlag, 1995.
- [10] Domingos, P.: Unifying Instance-Based and Rule-Based Induction, Machine Learning, 24, pp. 141-168, 1996.
- [11] Quinlan, J. R.: Improved Use of Continuous Attributes in C4.5, Journal of Artificial Intelligence Research, Volume 4, pp. 77-90, 1996.
- [12] Kohavi, R., Sommerfield, D., Dougherty, J.: Data Mining using MLC ++: A Machine Learning Library in C++, in Tools With AI 1996, pp. 234-245, 1996.
- [13] Clark, P., Niblett, T.: The CN2 induction algorithm, Machine Learning, 3, pp. 261-284, 1989.

**Ivica Ocokoljić,**  
potporučnik, dipl. inž.  
Uprava za informatiku GŠ VJ,  
Beograd

## PROGRAMSKA PODRŠKA ZA PRORAČUN VATRENIH MOGUĆNOSTI JEDINICA PVO

UDC: 623.762 : 623.551] : 681.3.06

### Rezime:

*Rad obuhvata analizu stanja i probleme funkcionisanja sistema jedinica PVO u postojećim uslovima koje karakteriše razvoj i usavršavanje sredstava masovnog napada. Prezentovana je i aplikacija koja se bavi proračunom vatrenih mogućnosti jedinica PVO.*

*Ključne reči: PVO, proračun, aplikacija, vatrene mogućnosti.*

---

## APPLICATION FOR CALCULATING FIRE POWER OF AD UNITS

### Summary:

*This paper gives the analysis of actual state and operational problems of AD systems in present conditions, characterized by development and improvement of mass attack weapons. The application concerning the calculation of AD units firepower is presented as well.*

*Key words: air-defence, calculation, application, firepower.*

---

### Uvod

Ovaj rad je nastao zbog potrebe da se na personalnom računaru automatizuje jedan važan proračun za izvršenje zadatka združenih taktičkih jedinica po fazama izvođenja borbenih dejstava. Do sada nije postojalo rešenje koje se zasniva na temeljito sprovedenoj sistemskoj analizi, uz primenu savremenih CASE alata i u sistemu za upravljanje bazom podataka.

Svaki organizacioni sistem, pa tako i vojni, zahteva određene informacije na osnovu kojih se upravlja, odnosno komanduje. Porastom organizacije i komandnog nivoa povećava se količina podataka na osnovu kojih se komanduje, pa u jednom trenutku individualne moguć-

nosti čoveka (iskustvo, intuicija i logička analiza) postaju nedovoljne za efikasno komandovanje, a samim tim i ograničavajući činilac njegovog unapređenja. Uvođenjem računarske tehnologije u funkcije upravljanja sve više dolazi do izražaja kvantitativna analiza zasnovana na automatizaciji informacionih procesa, a uloga čoveka se pomera u pravcu kreativnih funkcija.

Ovaj rad, čija tema spada u domen informatike opšte namene, obrađuje problem proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO koje u znatnoj meri treba da olakša i ubrza rad na proceni snaga neprijatelja, sopstvenih snaga i na osnovu toga mogućnosti raspoloživih potencijala PVO. Automatizacija ovog problema ko-

risti komandantu pri donošenju odluke o dejstvu jedinica.

Poslednje godine karakteriše nagli razvoj sredstava za napad, što u znatnoj meri otežava i usložava izvršavanje zadataka PVO u obezbeđenju maksimalne efikasnosti odbrane branjenih objekata.

Cilj ovog rada jeste da se automatizacijom određenih procesa nađe optimalno rešenje ili rešenja, kako bi oni koji odlučuju o upravljanju sistemom mogli da ih koriste u donošenju odluke.

Određivanje načina, mesta i vremena dejstva kreativan je posao donosioca odluke (komandanta), a određivanje vatrenih mogućnosti je mehanički posao koji obavlja automatizovani sistem.

S obzirom na okolnosti (okruženje, materijalne mogućnosti), planiranje upotrebe snaga je prvorazredni zadatak komandi i štabova. Veličina i vrsta snaga, objekti dejstva i raspored snaga neprijatelja su uglavnom poznati. Imajući u vidu veličinu teritorije, tj. mogućnost napada u bilo koje vreme (mogućnost iznenađenja je velika) i iz bilo kog pravca, nameće se potreba za neprekidnom analizom i formulacijom matematičkog modela optimizacije rasporeda snaga.

Projektovanje programske aplikacije izvršeno je po fazama sledećim redosledom:

- logičko projektovanje,
- prevođenje u relacioni model,
- fizičko projektovanje.

Logičko projektovanje je sprovedeno kroz modelovanje procesa i modelovanje podataka.

Modelovanje procesa izvedeno je u CASE alatima BPWin 2.02 i Rational Rose 98, a modelovanje podataka pomoću proširenog modela objekti-veze. Kao najpogodniji CASE alat korišćen je ERWin 3.5.2.

Na kraju, fizička implementacija izvršena je u sistemu za upravljanje bazom podataka Paradox i programskom okruženju Borland C++ Builder 4.

Aplikacija je izgrađena preko niza formi, složenih objekata, preko kojih je omogućen rad sa bazom (editovanje, prikazivanje, ...) čime je korišćenje aplikacije vrlo jednostavno.

### **Pojam i sadržaj vatrenih mogućnosti raketnih jedinica PVO**

Brigade i pukovi PVO svoj borbeni zadatak rešavaju „otvaranjem“ vatre po sredstvima za napad iz vazdušnog prostora radi njihovog uništenja.

Komandant jedinice treba da donese odluku o načinu dejstva pri odbrani objekta ili grupacija VJ (GVJ), u skladu sa potencijalnim mogućnostima raketnih sredstava, a pri datom – verovatnom modelu napada protivnika. Dakle, postavlja se pitanje kakve su vatrene mogućnosti brigade-puka, za odbijanje napada određenog konkretnim modelom iz procene verovatnog napada.

Pod vatrenim mogućnostima podrazumevaju se gubici koje vatrena (taktička) jedinica ili grupacija raketnih jedinica PVO može naneti neprijatelju u vazdušnom prostoru za određeno vreme.

Opšti pokazatelji vatrenih mogućnosti, odnosno vatrene moći su:

- matematičko očekivanje broja uništenih ciljeva ( $M_0$ ) koje predstavlja broj uništenih sredstava za napad (SVN) iz vazdušnog prostora pri odbijanju udara napada (određen potrebnim vremenom), pri utrošku određenog broja raketa i pri određenom vremenu naleta (udara) protivnika;

- broj gađanja za određene granice (Ng);



- gustina vatre na zadatoj granici (Gv);
- srednja efikasnost gađanja.

Brojčane vrednosti ovih pokazatelja u potpunosti karakterišu vatrene mogućnosti jedne vatrene taktičke jedinice u određenim uslovima situacije koju čine: varijante naleta SVN neprijatelja, sopstvene snage – RJ PVO, vreme za koje se borbena dejstva odvijaju i zemljište, odnosno ograničenja zbog karakteristika zemljišta.

### **Efikasnost raketnih sistema i kriterijumi efikasnosti**

Glavni zadatak RS PVO je vođenje neprekidne borbe sa SVN protivnika i obezbeđenje maksimalne odbrane branjenih objekata i GVJ. Sigurna odbrana zavisi od borbene efikasnosti RS PVO koji brane određeni objekat, odnosno teritoriju. Bobrena efikasnost RS PVO karakteriše se, kako efikasnošću gađanja – sposobnošću uništavanja ciljeva u vazdušnom prostoru, tako i sposobnošću izvršavanja borbenih zadataka gađanja ciljeva u svim uslovima i u bilo kom momentu, a određuje se na osnovu kriterijuma koji proizilaze iz tipa RS PVO, postavljenih zadataka i uslova borbene primene.

U nizu slučajeva za ocenu borbene efikasnosti uzima se nekoliko kriterijuma koji potpunije karakterišu stepen izvršenja zadataka postavljenih pred RS PVO. Bobrena efikasnost zavisi od karakteristika borbenih sredstava RS PVO (zone uništenja, broj kanala po cilju i raketi, pokretljivosti, mobilnosti, žilavosti, itd.), kao i od njihove konstrukcije.

Kriterijumi borbene efikasnosti RS PVO uzimaju se u obzir pri određivanju, odnosno ocenjivanju efikasnosti grupacije sistema PVO i pri izboru optimalne vari-

jante sastava grupacije raznotipnih RS u okviru sistema PVO. Za ocenu efikasnosti odbijanja naleta protivnika grupacijama RS PVO i uporednu ocenu različitih varijanti grupisanja neophodno je koristiti brojni pokazatelj – kriterijum efikasnosti, koji mora da sadrži informacije o protivniku, grupacijama snaga i sredstava PVO, branjenom objektu, promenu obima korišćenih informacija, zatim mora biti jednostavan za proračune i da ima fizički smisao. Dobar kriterijum bi bio verovatnoća izvršenja borbenog zadatka grupacijom RS PVO (združenom taktičkom jedinicom). Međutim, zbog složenosti proračuna ovaj kriterijum se retko primenjuje.

Najveću primenu imaju dva kriterijuma:

- matematičko očekivanje sprečenog gubitka (gubitka koji SVN u toku napada mogu naneti branjenom objektu ili grupaciji VJ);

- matematičko očekivanje broja oborenih SVN u naletu.

Pri određivanju matematičkog očekivanja sprečenog gubitka nanesenom branjenom objektu neophodno je uzimati u obzir sve vrste dejstava protivnika u vazdušnom prostoru. To komplikuje operativno-taktičke proračune ovog kriterijuma.

Matematičko očekivanje broja oborenih SVN prilično je pouzdan kriterijum za ocenu efikasnosti grupacije RS PVO, pa se u radu kao osnovni kriterijum za ocenu efikasnosti grupacija RS PVO koristi upravo ovaj kriterijum.

### **Modeli i metode procene mogućnosti grupacija raketnih jedinica PVO**

Pripremajući se za odbijanje naleta protivnika, neophodno je znati očekivane rezultate planiranih borbenih dejstava.

Da bi ti rezultati bili bliski realnim vrednostima, neophodno je proceniti i analizirati veći broj informacija: o verovatnom protivniku, o sopstvenim snagama i sredstvima, o branjenom objektu i dr.

Određene ocene efikasnosti raketnih sistema PVO u odbijanju naleta protivnika u vazдушnom prostoru omogućavaju da se sa većom pouzdanošću može pretpostaviti da će se u toku borbenih dejstava dogoditi upravo ti događaji koji su bili prognozirani.

Pitanja koja komandovanje mora da reši u toku pripreme borbenih dejstava PVO obično se dele na tri grupe:

- kakve vrednosti rezultata treba očekivati za borbena dejstva PVO, pri određenoj grupaciji snaga i sredstava i za prognozirana dejstva protivnika u vazдушnom prostoru;

- kakav mora da bude sastav i borbeni raspored snaga PVO da bi se pri prognoziranim dejstvima protivnika u vazдушnom prostoru postigla, sa visokom verovatnošću, potrebna efikasnost u odbijanju njegovog naleta;

- kakav mora da bude optimalni plan borbenih dejstava snaga PVO pri odbijanju naleta protivnika u vazдушnom prostoru.

Pri rešavanju ovih pitanja osnovni kriterijum ocene donetih rešenja (odluka) i pretpostavljenih rezultata borbenih dejstava jeste njihova efikasnost.

Istraživanje vatrenih mogućnosti preko efikasnosti veoma je pogodan pokazatelj za brzo sagledavanje borbenih mogućnosti raketnog puka (raketne brigade) PVO ili grupacije RJ PVO, i za donošenje zaključaka o tome da li te mogućnosti odgovaraju zadatim kriterijumima za organizovanje i izvođenje PVO određenih objekata.

Pitanje procene borbenih mogućnosti sopstvenih jedinica u odnosu na snage protivnika ima važno praktično značenje za pravilan raspored sopstvenih sredstava PVO.

Pravilna procena borbenih mogućnosti snaga i sredstava, sopstvenih i protivničkih, omogućuje komandantu donošenje rešenja za odbijanje napada protivničkih snaga iz vazdušnog prostora, i efikasno korišćenje postojećih snaga za uspešno rešenje borbenog zadatka.

### *Potrebe za modelovanjem*

Za opis funkcionisanja realnih sistema veliki problem predstavlja nemogućnost korišćenja prirodnih jezika zbog njihove dvosmislenosti. S druge strane, precizan opis preko formalnih jezika nerazumljiv je za većinu ljudi. Zbog toga je potrebno koristiti takvu tehniku koja organizuje prirodne jezike na takav način da eliminiše dvosmislenost i omogućava efikasnu komunikaciju i međusobno razumevanje. Pokazalo se da je postupak modelovanja jedna od najefikasnijih tehnika za razumevanje i jednoznačnu komunikaciju.

U procesu modelovanja eliminišu se detalji, čime se umanjuje vidljiva kompleksnost sistema koji se proučava. U tom smislu model treba shvatiti kao pojednostavljenu predstavu stvarnosti. Preostali detalji organizuju se na takav način da se eliminišu dvosmislenosti i istaknu bitne informacije. Koriste se grafičke prezentacije (uglavnom pravougaonici i linije) kako bi se obezbedilo da većina ljudi razmišlja o procesu modelovanja kao o slikovitoj prezentaciji (jedna slika zamenjuje i do 1000 reči). Pored grafičkog prikaza potrebno je dati i precizne definicije predmeta koji se pojavljuju

u modelu, kao i prpratni tekst, koji je kritičan prema modelu koji obavlja svoju ulogu kao sredstvo komunikacije.

Postupak modelovanja omogućava da sistem može biti svestrano analiziran i shvaćen i, što je možda i najbitnije, saopšten drugima.

Funkcionalno modelovanje (IDEF0) omogućuje sistematičnu analizu posla, tj. za svaku poslovnu funkciju obezbeđuje se kontrola ispravnosti realizacije, planiraju se potrebni resursi da se funkcija realizuje, ulazi u poslovnu funkciju kao i izlazi koji se na osnovu ulaza generišu.

Dataflow (DFD) modelovanje koje se koristi pri dizajniranju softvera, fokusira problem tokova podataka između procesa, i obavlja analizu skladišta podataka radi maksimalnog povećanja njihove raspoloživosti i smanjenja vremena pretraživanja. U daljem tekstu biće objašnjen način modelovanja procesa u sistemu PVO korišćenjem IDEF0 metodologije realizovane kroz CASE alat Logic Works BPwin 2.02.

### *Modelovanje procesa u sistemu PVO*

Modelovanje procesa u sistemu PVO teritorije složen je postupak i zahteva određenu metodologiju. Potrebna je tesna veza i saradnja između taktičara, koji dobro poznaju sisteme PVO i znaju koje operativno-taktičke situacije treba da modeliraju i izvršilaca matematičkog modeliranja, koji treba da se upoznaju sa fizičkom stranom procesa kako bi bili u stanju da matematički izraze dejstva sistema i tako nađu metode za ocenu efikasnosti.

Raspoređivanje snaga i sredstava je operacija koja obuhvata određivanje borbenih sredstava koja će dejstvovati po određenim ciljevima. Ako postoji više ciljeva koje treba podvrći dejstvu, a pod

komandom je više borbenih sredstava (LA, PAR,) tada treba, rešavajući zadatak raspoređivanja borbenih sredstava da se tačno odredi koja sredstva, u kojem broju (količini) i kada će se usmeriti na svaki od ciljeva koje treba gađati. To je tipičan primer taktičke odluke. U današnjim uslovima PVO, odluku o raspoređivanju borbenih sredstava ne može donositi komandant na osnovu borbenog iskustva i zdravog razuma (jer jednostavno za to nema vremena) već to mora da rade automatski sistemi.

Može se zaključiti da je proračun vatrenih mogućnosti složena aktivnost, koja bi bila olakšana uvođenjem programske aplikacije koja bi obezbeđivala sve potrebne podatke. Time bi se vreme analize skratilo, a ujedno bi se i smanjila mogućnost grešaka.

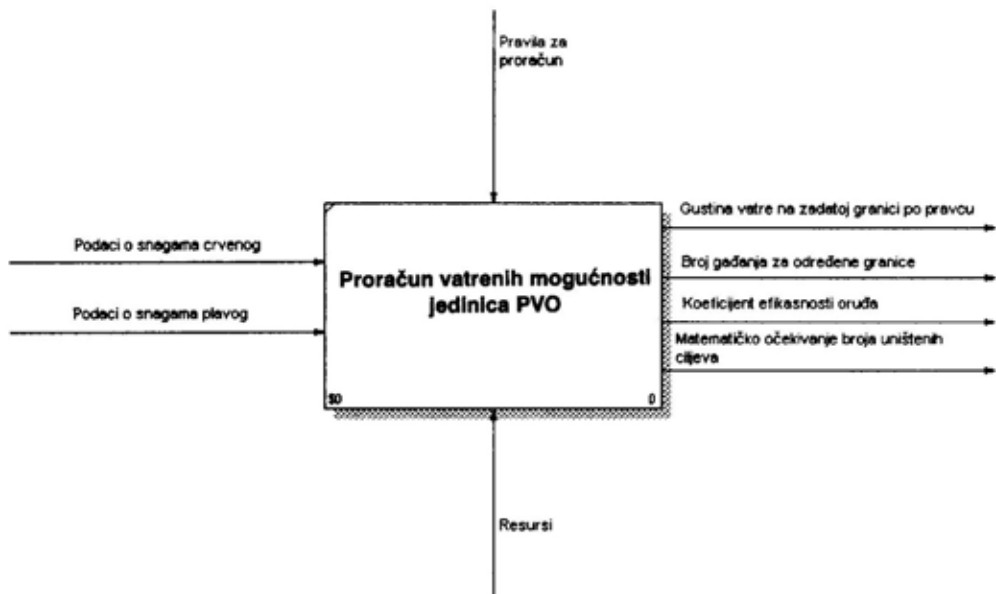
Model procesa proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO može se prikazati preko: kontekstnog dijagrama, dekompozicionih dijagrama i stabla aktivnosti.

Proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO sastoji se od sledećih aktivnosti:

- proračuna gustine vatre;
- proračuna broja gađanja;
- proračuna matematičkog očekivanja;
- proračuna koeficijenta efikasnosti.

Na slici 1 prikazan je kontekstni dijagram proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO.

Kontekstni dijagram definiše okruženje vezano za proračun vatrenih mogućnosti. Ulazna informacija potiče od korisnika koji definiše podatke vezane za vlastite i protivničke snage. Kontrolni element je odgovarajuće pravilo za izradu proračuna. Mehanizam predstavljaju resursi koji se koriste.



Sl. 1 – Kontekstni dijagram za proces proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO

Osnovni podaci o protivniku dobijaju se od obaveštajnog organa. Poznati su njegovi objekti dejstva i njegove snage za napad iz vazdušnog prostora kao i sopstvenih snaga korpusa PVO. Komanda korpusa PVO treba da pripremi predlog za upotrebu snaga korpusa saglasno mogućnostima i potrebama jedinica (grupacija raketnih sistema PVO i lovačke avijacije). Predlog za upotrebu snaga korpusa PVO treba da bude obrazložen maksimalnim brojem uništenih SVN, odnosno optimalnom upotrebom snaga korpusa.

Kontekstni dijagram na slici 1 predstavlja granicu sistema proračuna vatrenih mogućnosti PVO jedinica koji ima svoje ulaze i izlaze. Ulazi u sistem obuhvataju podatke o snagama crvenog i snagama plavog, resurse, pravila za proračun i uvid u realno stanje u operaciji.

Podaci o snagama crvenog predstavljaju podatke o svim raspoloživim jedini-

cama crvenog (i one koje učestvuju i one koje ne učestvuju u operaciji), o ljudstvu, naoružanju, itd. U konkretnom problemu koji se obrađuje od interesa su samo podaci o raketnim sistemima PVO.

Podaci o snagama plavog predstavljaju, takođe, podatke o svim raspoloživim jedinicama plavog. U konkretnom problemu od interesa su podaci o sredstvima vazdušnog napada. Resurse predstavljaju računarska platforma i softver za proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO. Oni su neophodni da bi sistem mogao da funkcioniše automatizovano. Pravila za proračun predstavljaju formule pomoću kojih se vrši sam proračun. Uvid u realno stanje u operaciji stiče se na osnovu podataka koji su usko vezani za operaciju za koju se obavlja proračun, a odnose se na konkretne sastave jedinica crvenog i plavog, kao i njihov međusobni raspored na terenu (karti).

Izlazne informacije definišu se u obliku sledećih podataka:

- gustine vatre na zadatoj granici po pravcu;
- broja gađanja za određene granice;
- matematičkog očekivanja broja uništenih ciljeva;
- koeficijenta efikasnosti gađanja.

Osnovni početni podaci za rešavanje ovog problema jesu vrednosti koeficijenta efikasnosti grupacija raketnih sistema PVO, verovatnoće uništenja SVN borbenim sredstvima korpusa PVO, tip i broj SVN i tip i broj sredstava za PVO.

Ovi početni podaci promenljivog su karaktera, što nameće potrebu ažuriranja (proračuna) koeficijenta efikasnosti i verovatnoće uništenja SVN sopstvenim borbenim sredstvima (posebno proračunavati koeficijente realizacije sredstva kr).

Raspored borbenih sredstava prema matematičkom očekivanju treba da bude takav da zbir verovatnoća cilja dostigne maksimum.

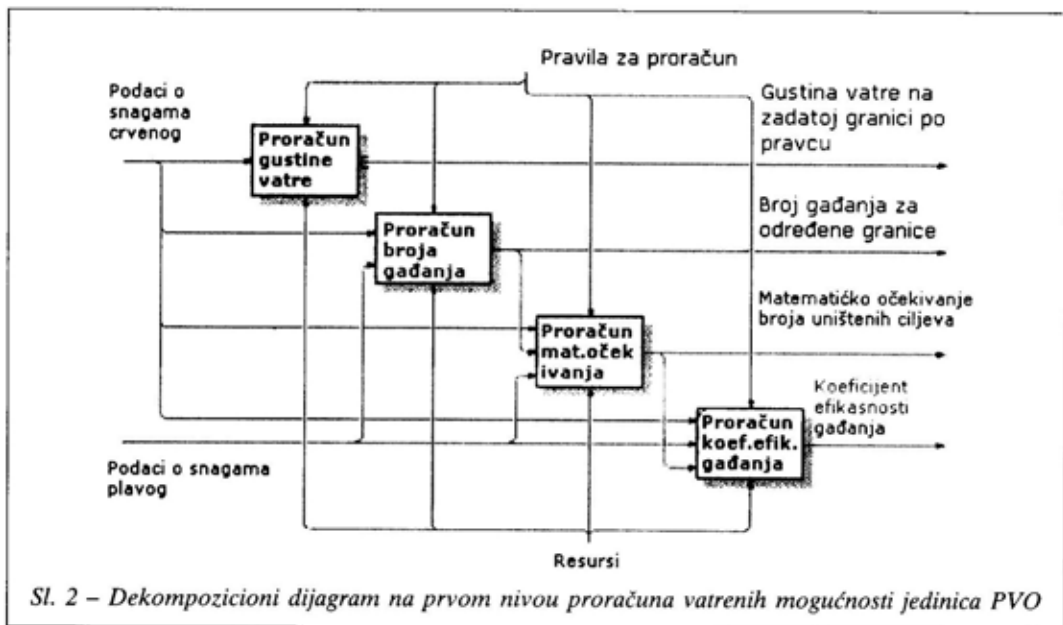
Sistem proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO mora obuhvatiti celokupan proces proračuna.

Dekompozicioni dijagram predstavlja pogled na sistem na jednom višem nivou apstrakcije u odnosu na kontekstni dijagram. Na njemu se uočavaju (slika 2) četiri logički odvojene celine.

Na ovom nivou apstrakcije prvu celinu predstavlja funkcija proračuna gustine vatre, drugu celinu proračun broja gađanja, treću celinu proračun matematičkog očekivanja a četvrtu proračun koeficijenta efikasnosti gađanja.

### Objektni pristup modelovanju

U procesu razvoja informacionih sistema koriste se različiti metodološki pristupi. Do sredine osamdesetih godina pojavile su se objektnoorijentisane metode za razvoj informacionih sistema, koje polaze od činjenice da sistem predstavlja skup međusobno povezanih objekata. Model sistema zasnovan je na specifikaciji objekta sistema. Svako stanje sistema određeno je stanjima objekata posmatranog sistema, a njegove funkcije



Sl. 2 – Dekompozicioni dijagram na prvom nivou proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO

realizovane su kao operacije nad objektima sistema koje mogu da menjaju stanje tih objekata.

Unified Modeling Language (UML) jeste grafički jezik namenjen vizuelizaciji, specifikaciji, konstrukciji i dokumentaciji implementacija softverskih sistema. Pomoću UML-a može se na standardan način opisati složeni sistem, i to sve putem konceptualnih aspekata, kao što su poslovni procesi i sistemske funkcije, ali i putem konkretnih aspekata, kao što su klase koje su napisane u određenom programskom jeziku, šeme baza podataka, ali i modularne softverske komponente.

### Modelovanje proračuna vatrenih mogućnosti

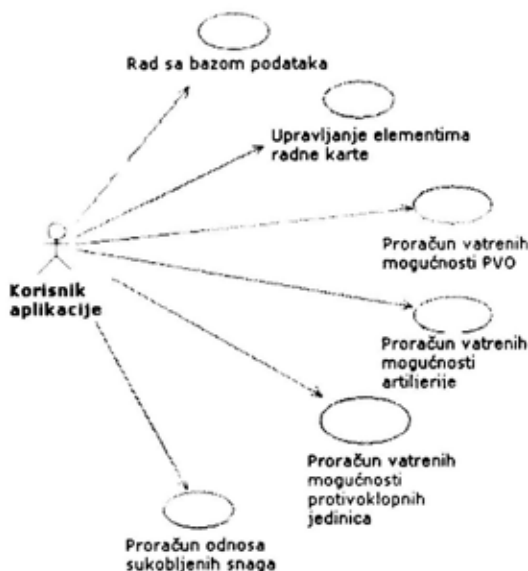
Kako bi se praktično implementovali dijagrami iz UML-a za modelovanje problema proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO korišćen je alat Rational Rose. Uz pomoć navedenog alata izvršeno je modelovanje postavljenog problema, a u daljem tekstu biće prikazani realizovani dijagrami.

Aplikacija koja treba da obrađuje problem proračuna vatrenih mogućnosti jedinica PVO predstavlja sastavni deo jedne složenije aplikacije pod nazivom Strategikon. Slika 3 predstavlja slučaj korišćenja aplikacije Strategikon.

Uočava se da se aplikacija Strategikon sastoji od više modula koji se bave raznim drugim problemima od kojih je jedan proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO.

Na slici 4 prikazan je dijagram slučaja korišćenja modula za proračun vatrenih mogućnosti PVO jedinica.

Na dijagramu su prikazani sledeći slučajevi korišćenja modula:



Sl. 3 – Slučaj korišćenja za aplikaciju Strategikon



Sl. 4 – Dijagram slučajeva korišćenja modula za proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO

- odabiranje zadatka;
- uvid u sistem PVO;
- uvid u SVN neprijatelja;
- proračun vatrenih mogućnosti;
- grafički prikaz;
- kreiranje izveštaja;
- tekstualni izlaz,

– grafički prikaz proračuna vatrenih mogućnosti.

U slučaju korišćenja aplikacije *odabiranje zadatka*, korisnik treba da odabere zadatak za koji želi da izvrši proračun vatrenih mogućnosti PVO ili da stekne uvid u naoružanje crvenog i plavog.

U slučaju korišćenja aplikacija *uvid u SVN neprijatelja* i *uvid u sistem PVO* korisnik na osnovu odabranog zadatka ima uvid u sistem PVO i može odabrati formu izlaza koji želi da dobije. Aplikacije *grafički prikaz* i *kreiranje izveštaja* služe da korisnik dobije željenu formu izlaza.

Korisnik aplikacijom *proračun vatrenih mogućnosti* dobija proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO za odabrani zadatak u tri različite forme, i to u tekstualnom obliku, grafičkom i u formi izveštaja. Navedene forme izlaza korisnik dobija u slučajevima korišćenja aplikacija *tekstualni izlaz*, *grafički prikaz odnosa potreba i mogućnosti* i *kreiranje izveštaja* respektivno.

## Modelovanje baze podataka

Model objekti-veze je najpopularniji i u praksi najviše korišćen semantički model podataka (tzv. model podataka treće generacije). Postoji više različitih verzija ovog modela. Ovde je prikazana verzija koja se koristi u CASE alatu ERWin 3.5. Model objekti-veze ili entitetni dijagram, kako se zove u ovom alatu, deo je takozvanog proširenog modela objekti-veze u kojem se definišu i jezik za specifikaciju ograničenja, kao i operacije koje se mogu izvoditi nad objektima modela. Na taj način omogućava se formalna specifikacija informacionog sistema. Model podataka je intelek-

tualno sredstvo pomoću kojeg se prikazuju međusobni odnosi između podataka u nekom realnom sistemu.

Entitetni dijagram omogućuje definisanje odgovarajućih tipova entiteta i uspostavljanje veza između njih, kao i definisanje detalja vezanih za opis sadržaja entiteta (atributi i njihove karakteristike).

Dve osnovne komponente u entitetnom dijagramu su objekti i veze, dok oznaka kardinalnosti ukazuje na brojevana ograničenja veze. Objekti se označavaju pravougaonikom u koji se upisuje ime objekta. Veza se prikazuje kao linija koja spaja dva objekta, a kardinalnosti su označene na krajevima veza.

Entitetni dijagram programske aplikacije prikazan je na slici 5.

Objekti u sistemu opisuju se preko svojih svojstava, odnosno atributa. Svaki atribut u jednom trenutku ima neku vrednost. Atributi uzimaju vrednost iz skupa mogućih vrednosti koji se nazivaju domenima.

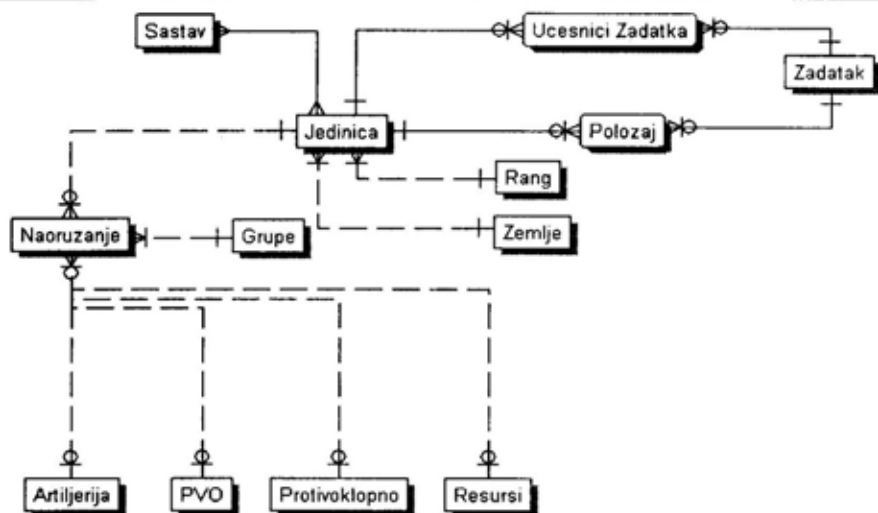
Svaki domen tretira se kao podtip standardnih domena, gde se pod standardnim domenima podrazumevaju tipovi podataka koji postoje u standardnim programskim jezicima (ceo broj, niz karaktera i slično) i samim tim nasleđuju karakteristike i operacije koje se mogu definisati nad ovim domenima. Pri specifikaciji domena korišćeni su standardni nazivi domena iz ERWin-a (Text, AutoNumber, Integer, Long Integer, Double, ...).

U daljem tekstu prikazani su entiteti modela i opisano je značenje pojedinih atributa koji su važni za proračun vatrenih mogućnosti jedinica PVO.

Na slici 6 prikazan je entitet *Jedinice*, a od interesa su sledeći atributi:

*Naziv* – naziv jedinice,

*Oznaka* – označava da li je jedinica osnovna ili ne,



Sl. 5 – Entitetni dijagram aplikacije Strategikon

**Jedinica**

ID_Jedinice
ID_Ranga (FK)
ID_Zemlje (FK)
Naziv
Osnovna
Oznaka
PDC
PPC
Koeficijent snage

Sl. 6 – Entitet Jedinica

**Naoruzanje**

redni broj
ID_Jedinice (FK)
ID_Grupe (FK)
ID_Orudja (FK)
BRoj Orudja

Sl. 7 – Entitet Naoruzanje

*PDC* – broj prosečnih divizionih ciljeva u jedinici.

Entitet *Naoruzanje*, koji je prikazan na slici 7, sadrži atribut:

*Broj Oruda* – broj određenog oruđa jedinice iz određene grupe.

Entitet *PVO* na slici 8 obuhvata sledeće atribute koji predstavljaju bitne taktičko-tehničke karakteristike svakog PVO sistema:

*Naziv* – predstavlja podatak o nazivu raketnog sistema (S-300, S-200, S-125, S-75 itd.).

*Dubina zone uništenja (Dd\_db)* gde je:

*Dd* – horizontalna daljina do dalje granice zone lansiranja,

*db* – horizontalna daljina do bliže granice zone lansiranja.

Podaci za ove daljine uzimaju se iz horizontalnog preseka zone lansiranja.

*Broj kanala po cilju i raketi:*

Broj ciljeva koji se mogu istovremeno gadati zavisi od broja kanala po cilju koji poseduje raketni sistem PVO a zavisi od konstrukcije sistema. Određuje se na osnovu mogućnosti istovremenog gađa-

**PVO**

ID_Orudja
Naziv
Dd_db
Br_Kanala
Br_Raketa_Po_cilju
Ciklus_Gadjanja
Vreme_TrazenjaZahvata
Borb_Komplet
Verovat_Unistenja
Koef_Realizacije
IntervalUzast_Lansir
Gde_Dejstvuje

Sl. 8 – Entitet PVO



nja raketnim sistemom PVO nekoliko ciljeva.

*Ciklus gađanja:*

Srednji ciklus gađanja-lansiranja je vreme za koje se izvrši jedno gađanje i prenese vatra na sledeći cilj.

*Vreme traženja i zahvata ciljeva:*

Vreme za koje raketni sistem preuzme cilj.

*Borbeni komplet*

Borbeni komplet RS PVO karakteriše se brojem pripremljenih raketa koje se nalaze na LR, a takođe i na drugim transportnim sredstvima sistema.

Treba napomenuti da je pravovremeno i neprekidno obezbeđenje rd (baterija) raketama neophodan uslov za vodenje borbe protiv SVN.

*Verovatnoća uništenja SVN*

Efikasnost gađanja jednokanalnog raketnog sistema  $P_{nj}$  j-tog tipa određuje se po formuli:

$$P_{nj} = 1 - (1 - P_{1j})^{n_j} \quad (1)$$

gde je  $P_{1j}$  – pojedinačna verovatnoća uništenja sredstva za napad iz vazdušnog prostora jednom raketom diviziona jednog istog tipa (j-tog tipa).

*Koeficijent realizacije:*

$$kr = kbg \cdot kfp \cdot km \cdot ks \cdot kmv \quad (2)$$

gde je:

$kbg$  – koeficijent borbene gotovosti,  
 $kfp$  – koeficijent efikasnosti upravljanja (koeficijent izvršnog upravljanja, koeficijent komandovanja),

$km$  – koeficijent mogućeg manevra cilja protivnika koji utiče na efikasnost gađanja,

$ks$  – koeficijent izračunavanja moguće pojave smetnji na efikasnost gađanja,

$kmv$  – koeficijent uticaja leta na malim visinama na efikasnost i broj gađanja.

*Interval između uzastopnog lansiranja raketa*

Vreme između lansiranja raketa sa raketnog sistema zavisi od konstrukcije i tipa raketnog sistema.

*Gde dejstvuje*

Ovde se vodi podatak da li raketni sistem deluje na malim visinama (do 500 m) ili na srednjim visinama (od 500–16 000 m).

Zadatak	
ID_Zadatka	
Naziv	
Karta	
Opis	
Br_SVN_MV	
Br_SVN_SV	
BrCilija_MV	
BrCilija_SV	
Vreme Trajanja	

Sl. 9 – Entitet Zadatak

Na slici 9 prikazan je entitet *zadatak* koji obuhvata sledeće atribute:

*Naziv* – predstavlja podatak o nazivu zadatka.

*Opis* – predstavlja polje u kojem se čuvaju informacije opisa zadatka.

*BR\_SVN\_MV* i *BR\_SVN\_SV* – broj sredstava vazdušnog napada (SVN) na malim i srednjim visinama.

*BR\_CILJA\_MV* i *BR\_CILJA\_SV* – brzina ciljeva na malim i srednjim visinama (m/s).

*Vreme trajanja* – vreme trajanja napada (s) je vremenski interval od ulaska prvog SVN u zonu lansiranja do ulaska zadnjeg

SVN, odnosno to je vreme preletanja grupe kroz jednu tačku.

### **Generisanje fizičkog modela**

Za potrebe formiranja baze podataka podaci se udružuju u grupe podataka, tzv. relacije, koje su uvek u određenom međusobnom odnosu. Svaka relacija ima sva svojstva skupa. Osnovno svojstvo svakog skupa jeste da se elementi koje sadrži međusobno razlikuju. Tako se i svi redovi relacije međusobno razlikuju. To znači da u relaciji uvek postoji neki atribut, ili kombinacija atributa, koji omogućava jednoznačnu identifikaciju svakog reda relacije. Takav atribut, odnosno kombinacija atributa, zove se ključ relacije. Dakle, relacije se kreiraju grupisanjem atributa oko nekog podatka koji ima ulogu ključa.

Nakon što se definiše logički model u ERWin-u, sledeći korak je prevođenje tog modela u fizički model baze nekog od komercijalnih sistema za upravljanje bazama podataka (SUBP). ERWin nudi komunikaciju prema sledećim SUBP: DB2, Oracle, Ingress, NetWare SQL, SQL Server, SQLBase, Sybase, Informix, Rdb, Watcom, AS/40, Progres, Clipper, dBase III+, dBase IB, Access, FoxPro i Paradox.

S obzirom na to da svaki od ovih SUBP podržava određene tipove podataka, kao i određenu sintaksu za definisanje strukture modela (sintaksa za opis relacija, atributa, veza i domena na fizičkom nivou) ERWin nudi mogućnost, pre prevođenja u fizički model određenog SUBP, definisanja fizičkog modela. Fizički nivo modela može se definisati paralelno sa definisanjem logičkog modela. ERWin nudi mogućnost istovremenog definisanja logičkog i fizičkog nivoa i

jednostavno prebacivanje sa logičkog pogleda na fizički pogled modela, mada je preporučljivije prvo definisati logički model, a tek nakon toga preći na definisanje fizičkog modela. Predstavljeni entitetni dijagram nakon definisanja fizičkog modela prebačen je u SUBP Paradox.

Može se konstatovati da ERWin pruža veliku pomoć pri implementaciji logičkog modela u fizički model nekog SUBP, mada ostaje veliki posao oko programskog održavanja kardinaliteta i referencijalnog integriteta veza koje se ne mogu direktno implementirati u cilnom SUBP.

### **Zaključak**

Sušтина rada je u automatizaciji procesa izračunavanja potencijalnih borbenih mogućnosti rbr PVO na osnovu određivanja potencijalnih borbenih mogućnosti određenih RS PVO. Koeficijenti efikasnosti su interesantni ne samo iz praktičnih operativno-taktičkih razloga već i iz doktrinarnih, jer omogućavaju planiranje razvoja i upotrebe VJ u miru i ratu, kao i kategorizaciju objekata na teritoriji sa aspekta važnosti odbrane.

Korektnim određivanjem koeficijenta efikasnosti za jedinice PVO (različitim grupacijama RS), za različite napadne snage i sredstva, dobili bi, u suštini, raspored potencijala borbenih mogućnosti snaga i sredstava za PVO na celju teritoriji SRJ. Oni ne bi bili samo teorijski, jer bi bili određeni za konkretne jedinice, za konkretne snage i sredstva PVO, kao i za konkretan prostor SRJ. Navedena metodologija za određivanje koeficijenta efikasnosti vrši se za sve RJ PVO.

Metodologija određivanja koeficijentata efikasnosti, koja je ponuđena u radu,

uzima u obzir više faktora koji mogu biti značajni za planiranje i organizaciju PVO.

Poseban zahtev u domenu realizacije koji je postavljen pred aktivnost izrade aplikacije jeste da se aplikacija oslanja na jedinstvenu bazu podataka u kojoj se nalaze svi neophodni podaci potrebni za proračun, ali i podaci koji omogućavaju kvalitetan korisnički interfejs i sve neophodne podatke o jedinicama koje učestvuju u proračunu. Aplikacija omogućava unos novih oruđa (podataka o oruđu potrebnih za proračun), ažuriranje podataka o postojećim oruđima u bazi podataka, kao i brisanje oruđa. Ovim delom aplikacije rešen je problem traženja podataka o oruđima pri novom proračunu, kao što je u praksi slučaj. Svi podaci su, praktično, na jednom mestu, a pristup tim podacima, kao i njihova izmena, krajnje su pojednostavljeni.

Izlaz aplikacije je izveštaj proračuna vatrenih mogućnosti. Korisniku aplikacije je omogućeno da izveštaj snimi u obliku tekstualne datoteke da bi ga mogao odštampati na drugom mestu, kao i da modifikuje izveštaje na osnovu potreba korisnika. Aplikacija se dalje može razvijati ka automatskoj optimizaciji ras-

poreda snaga grupacija RS PVO za borbu sa različitim vrstama i tipovima SVN neprijatelja.

Postavlja se pitanje – kako uzeti u obzir vatrene mogućnosti, odnosno koeficijent efikasnosti pri određivanju i raspoređivanju snaga i sredstava PVO, pomoću kojeg matematičkog modela odrediti optimalni sastav i raspored snaga PVO i efikasno ga koristiti u određenoj situaciji u najkraćem mogućem vremenu. Za to je potrebno koristiti metode operacionih istraživanja, metode masovnog opsluživanja i druge. Sve to imalo bi za cilj nanošenje maksimalnih gubitaka neprijatelju, uz optimalno angažovanje ograničenih sopstvenih snaga i sredstava PVO.

#### Literatura:

- [1] Sivaček, J.: Mogućnost dejstva ARJ PVO po krstarećim raketama na ratištu SRJ, diplomski rad, Centar vojnih škola VJ, Škola nacionalne odbrane, 1997.
- [2] Dević, S.: Osnovni aspekti povećanja efikasnosti RJ PVO, diplomski rad, GŠŠ VJ, 1998.
- [3] Mijović, R.: Procena vatrenih mogućnosti i efikasnosti b/d u zoni dejstva rbr PVO, diplomski rad, GŠŠ VJ, 1995.
- [4] Uputstvo za primenu pravila gađanja raketnim sistemom S-125M (Neva-M), SSNO, 1983.
- [5] Vencelj, J.: Uvod u operaciona istraživanja (prevod sa ruskog), VŠŠ RV i PVO, 1973.
- [6] Teorija gađanja protivavionskih vođenih raketa, RŠC, Batajnica, 1969.
- [7] Mijović, R.: Primena operacionih istraživanja u grupisanju RJ PVO, magistarski rad FON, Beograd, 1995.

*Rezime:*

*Krivulja pražnjenja ćelija (baterija) definisana je kao niz uređenih parova: napon pražnjenja,  $V_1$  vs vreme,  $t_i = t_{i-1} + \Delta t$  ili vreme,  $t_i$  vs napon pražnjenja,  $V_i$ , gde je  $U_0 > V_1 > V$  krajnje. Pored snimanja eksperimentalnih podataka za pražnjenje, potrebno je snimati i relaksaciju ćelije (baterije) posle pražnjenja. Postupak izračunate krivulje pražnjenja (PIKP) razvijen je da pojednostavi merenja i unapredi karakterizaciju ćelija (baterija) u istraživanju, razvoju, proizvodnji i eksploataciji. PIKP se primenjuje za: kvalifikovanje baterije za određenu primenu, prijemni test i periodična ispitivanja tokom eksploatacije. Za demonstraciju PIKP korišćeni su podaci za pražnjenje alkalnog elementa LR 20-VARTA kroz otpor  $10 \Omega$ , na sobnoj temperaturi. Izračunavanja su izvedena programom Symphony na IBM personalnom računaru.*

*Ključne reči: galvanska ćelija, krivulja pražnjenja, krivulja relaksacije, energetski bilans, polarizacija ćelije.*

---

CELL/BATTERY TESTING BY THE CALCULATED DISCHARGE  
CURVE METHOD

*Summary:*

*The discharge curve of a cell/battery was defined either as a set of ordered pairs: voltage,  $V_1$  vs time,  $t_i = t_{i-1} + \Delta t$  or time,  $t_i$  vs discharge voltage,  $V_i$ , where  $U_0 > V_1 > V$  cutoff. In addition to the experimental measured discharge curve, the cell relaxation curve needs to be monitored. The Calculated Discharge Curve Method (CDCM) was developed to improve cell/battery monitoring as well as its characterization. The CDCM may be used for type qualification, product acceptance, and periodical test during service. The Algorithm procedure was presented. The Alkaline manganese cell LR 20-VARTA, load  $10 \Omega$ , at ambient temperature, was used for the CDCM demonstration. The mathematical calculations were conducted on an IBM personal computer using the Symphony software.*

*Key words: galvanic cell, discharge curve, relaxation curve, energy balance, cell overvoltage.*

---

**Uvod**

Terminologija za elektrohemijske izvore energije (EIE) nije ujednačena i pored nastojanja Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC) i Jugoslovenske elektrotehničke koordinacione komisije Saveznog zavoda za standardizaciju. U

ovom radu termin EIE označava ćeliju ili bateriju. Baterija je redni, paralelni ili kombinovani slog ćelija.

Ispitivanja EIE izvode se u istraživanju, razvoju, proizvodnji i eksploataciji. Svrha ispitivanja definisana je programima istraživanja i razvoja, proizvodnje, kao i međunarodnim, nacionalnim i stan-

dardima korisnika EIE [7]. Postupak izračunate krivulje pražnjenja (PIKP) razvijen je sa ciljem [8–11, 14, 17] da se ispitivanje EIE izvodi matematičkom obradom podataka izmerenih u ispitivanjima i eksploataciji EIE. Eksploatacija pojedinačnog EIE započinje njegovim sklapanjem u proizvodnji i traje do gubitka sposobnosti za zahtevano napajanje. Tokom eksploatacije EIE je u stanju mirovanja, pražnjenja ili punjenja.

U razvoju postupka izračunate krive pražnjenja (PIKP) izvedene su uspješne provjere ovog postupka podacima iz izvedenih [8–11, 14, 17] i objavljenih ispitivanja ćelija (baterija) u pražnjenju i punjenju [4–6, 13, 16].

Upotrebljivost izvesne ćelije (baterije) za napajanje određenog potrošača (interval radnog napona i trajanje) i u poznatim uslovima (temperatura i pritisak okoline, intenzitet odvođenja toplote i eventualnih gasovitih nusprodukata tokom eksploatacije, i dr.) zavisi od hemijskog sastava i konstrukcije EIE, uslova dopunjavanja (punjenja) pražnjenja, ali i od stanja EIE. Bilo da su u upotrebi ili ne, EIE menjaju svoje karakteristike tokom vremena, pa se u stručnoj literaturi eksploatacioni vek naziva i „životom“ EIE. Karakterizacija pojedinačne ćelije (baterije) izvodljiva je ukoliko se poznaju i prate skupovi parametara i promenljivih veličina tokom njenog života. Za dovoljno kvalitetnu proizvodnju istotipnog skupa EIE, karakterizacija reprezentativnog uzorka može da se pripiše pojedinačnom uzorku. Preporučljivo je da se parametri i promenljive veličine klasifikuju kao spoljašnje veličine (vreme, temperatura i pritisak, mehanički i drugi stresovi), veličine za tehnički opis ćelija (elektrode i elektrolit, konstrukcioni materijali, geometrija i dr.) i eksploatacione karakteristike izvora.

Tehnike ispitivanja EIE dele se prema načinu pobude elektrohemijjskog sistema i odgovora na pobude. Pobude su: procesi u mirovanju, pražnjenje (pasivno kroz omski otpor) ili aktivno (programiranom strujom ili naponom), punjenje, dopunjavanje, procesi u prelazu ćelije iz pobuđenog u ravnotežno stanje, tj. relaksacije i pobude sa malim odstupanjima od ravnotežnog stanja elektrohemijjskog sistema (impulsne tehnike jednosmernim ili naizmeničnim strujnim opterećenjima).

Pražnjenje kroz konstantni ili promenljivi otpor, kada EIE radi kao galvan-ska ćelija (baterija), koja za savlađivanje unutrašnjeg otpora troši deo konverzijom oslobođene hemijske energije, naziva se pasivnim opterećenjem. Promenom otpora pražnjenja, u zavisnosti od vremena, snimaju se polarizacione krivulje: napon vs struja, što je nova i neispitana tehnika.

Pražnjenje konstantnom, ili od vremena zavisnom strujom (naponom), kao aktivno opterećenje (za spontani proces) izvodi se generatorima struje (napona). Uredaji su vrlo složeni i skupi. Istovremeno, programiranom strujom ili naponom, ispitivanom sistemu saopštava se izvesna energija. Tako, u energetski bilans EIE ulazi ova energija i promena entalpije.

Razlika između pražnjenja pod aktivnim i pasivnim opterećenjem (elektroliza galvan-ske ćelije) nije detaljno izučena, jer za pražnjenje kroz otpor nije razvijen matematički model.

U ispitivanju EIE koriste se instrumenti za merenje napona – struje, količine elektriciteta, razvijene toplote, vodljivosti elektrolita, impedanse i kompleksne impedanse ćelije, promene unutrašnjeg otpora jednosmernoj struji (specifičnim promenama opterećenja), temperatura zidova ćelije i elektrolita, razvija-

nja gasova i sl. Merenja i registrovanje podataka u vremenu izvode se ručno (sa malom učestanošću) ili mikroprocesorima kontrolisanim akvizicionim sistemima (sa velikom učestanošću). Validni podaci ovih merenja potpuno karakterišu ćeliju (bateriju) kao elektrohemijski sistem. Kalorimetri i mikrokolorimetri nalaze veliku primenu u termodinamičkim ispitivanjima ćelija (baterija) [1, 3, 15]. Posebnu primenu nalazi mikrokolorimetrija u atestiranju baterija za specijalne namene [7, 12].

Za osnovna ispitivanja EIE algoritmom PIKP dovoljna su snimanja: početnog napona otvorenog kola, napona pražnjenja i krajnjeg napona otvorenog kola. Algoritam PIKP obrađuje podatke snimljene i svim drugim tehnikama, posebno za definisanje zavisnosti eksploatacionih karakteristika o temperaturi, opterećenju i dr., kao i ispitivanja periodičnih i pražnjenja u ciklusima.

### Obrada izmerenih podataka PIKP

PIKP definiše pražnjenje kao proces od početnog napona otvorenog kola, preko napona pražnjenja i relaksacije do krajnjeg napona otvorenog kola. Ovaj ukupni tok pražnjenja prikazuje se krivuljom pražnjenja i krivuljom relaksacije [17].

#### *Krivulja pražnjenja i relaksacije*

Krivulja pražnjenja i relaksacije je niz:

$$\begin{aligned} U_0 > V_0 > V_{i=1} > V_i > V_{i=n} \geq \\ U_0/2 < V_{0,n} < U_{r=1} < U_{r-2} < \\ < U_{r-1} < U_r = U_n \end{aligned} \quad (1)$$

gde simboli U označavaju napone otvorenog kola,  $V_i$  napone pražnjenja i  $U_r$  relaksacije. Indeksi odgovaraju toku vremena pražnjenja:  $t_{\text{početno}} = t_0 < t_{i=1} < t_i < t_{i=n} = t_{\text{krajnje}}$ ,  $i = 1 \dots n$ , odnosno relaksacije:  $t_n = t_{r,0} < t_{r=1} < t_{r-2} < t_{r-1} < t_r$ ,  $r = 1 \dots r$ . Trajanje relaksacije određeno je dovoljno malom promenom napona otvorenog kola ( $\Delta U_r = U_r - U_{r-1}$ ,  $\Delta U_r \rightarrow 0$ ) za dva uzastopna merenja.

Pad napona pri uključenju kola pražnjenja ( $U_0 - V_0 = \eta_{0hm,0}$ ) i skok napona po isključenju kola ( $V_{0,n} - V_n = \eta_{0hm,n}$ ) određuju omske komponente početnog i krajnjeg unutrašnjeg otpora EIE, koje ne zavise od intenziteta opterećenja.

#### *Krivulja pražnjenja u prostoru*

Za potrebe korisnika, ćelija (baterija) može biti karakterisana generisanim kapacitetom, energijom i snagom u zadatim uslovima [12]. Analogno tome, ćelija (baterija) može da bude karakterisana strujom i naponom tokom vremena [7], veličinama iz kojih se izračunavaju kapacitet i energija saopštena potrošaču.

PIKP definiše krivulju pražnjenja u prostoru vreme-struja-napon. Analogne veličine ove tri promenljive digitalizuju se po koraku vremena ( $\Delta t$ ), napona ( $\Delta V$ ) ili struje ( $\Delta I$ ), i predstavljaju nizom parova napon vs vreme ili struja vs vreme. Ovi nizovi projekcije su prostorne krivulje pražnjenja na koordinatne ravni vreme-napon i vreme-struja, respektivno. Projekcija prostorne krivulje pražnjenja na koordinatnu ravan struja-napon, u elektrohemijskim ispitivanjima poznata je kao polarizaciona krivulja [7, 12, 18] galvanske ćelije, koja se snima u standardizovanim uslovima. Polarizacione krivulje za konstantna opterećenja su prave i to paralelne sa osom napona za konstan-

tnu struju, paralelne sa osom struje za konstantni napon, odnosno, napon je linearno zavisen od struje za konstantni otpor pražnjenja  $I_t = V_t/R_1$ , gde je  $R_1$  ( $\Omega$ ) otpor pražnjenja. Za linearne i nelinearne promene otpora, struje i napona pražnjenja u vremenu, polarizacione krivulje pokazuju nelinearne promene napona, odnosno polarizacije po struji.

Kapacitet EIE je površina omeđena krivuljom struje ( $I_0 > I_i > I_n$ ) i vremenom ( $t_0 < t_i < t_n$ ) na ravni vreme-struja. Energija saopštena potrošaču je zapremina omeđena odozdo ravnom površinom kapaciteta u koordinatnoj ravni  $I = 0$ , i odozgo krivom površi u kojoj leži krivulja pražnjenja  $V_t$  vs  $t$ .

PIKP energiju unutrašnjih gubitaka ćelije definiše u prostoru kao zapreminu iznad površine kapaciteta omeđenom, odozdo, krivom površi u kojoj leži krivulja pražnjenja  $V_t$  vs  $t$  (kinetički put pražnjenja) i, odozgo, krivom površi u kojoj leži krivulja promene napona otvorenih kola  $U_t$  vs  $t$  (termodinamički put pražnjenja).

### Algoritam PIKP

Algoritam PIKP, kao skup programskih instrukcija za obradu eksperimentalnih podataka u ispitivanju EIE, razvijen je u zaključku [2, str. 40]: „Merenje napona otvorenog kola u neprekidnom pražnjenju (za izračunavanje unutrašnjeg otpora EIE) nije moguće, a kratkotrajno prekidanje pražnjenja vodi ka nedopustivim greškama zbog inertnosti polarizacionih procesa“. Znači, napon otvorenog kola pouzdano je merljiv nakon dovoljno duge relaksacije posle pražnjenja (punjenja) ćelije. Za izračunavanje merljivih napona pražnjenja i nemerljivih napona

otvorenog kola tokom pražnjenja, algoritmu PIKP je na raspolaganju merljivi niz:

$$U_0 > V_{j=1} > V_j > V_{j=m} \geq V_n = V_{\text{krajnje}} < U_{r=1} < U_r = U_n \quad (2)$$

$j = 1 \dots m$ , koji može da bude identičan nizu ( $V_{i=1} = V_{j=1}$ ,  $V_i = V_j$ ,  $V_m = V_n$ ,  $m = n$ ), ili je deo niza ( $V_{i=1} > V_{j=1}$ ,  $V_{j=m} \leq V_{i=n}$  i  $U_m \geq U_n$ ,  $m < n$ ) prikazanog nejednačinom (1). Tokom pražnjenja mere se početni napon otvorenog kola  $U_0$ , parovi  $V_j$  vs  $t_j$ ,  $j = 1 \dots m$ , i napon otvorenog kola na kraju relaksacije  $U_m$ . Broj parova  $m$  u nizu (2) određen je primenjenom mernom tehnikom u intervalu neprekidnog pražnjenja, tj. manualno (u jednakim ili nejednakim koracima napona ili vremena,  $m \geq 6$ ) ili automatizovano (mikroprocesorima upravljano, definisano rezolucijom i učestanošću očitavanja,  $m \gg 6$ , u jednakim koracima vremena) merenje i registrovanje napona.

U automatizovanoj akviziciji podataka broj parova  $m$  treba da bude dovoljno veliki za pouzdano numeričko integrisanje kapaciteta i energije tokom pražnjenja. Međutim, početna rešenja u razvoju PIKP [9] pokazala su da automatizovanim sistemima registrovane vrednosti napona u nizu  $V_{j=1} > V_j > V_{j=m} = V_{\text{krajnje}}$ ,  $\Delta t = \text{konstanta}$ , nisu dovoljno precizne. Na primer, numerički izvod  $\Delta V/\Delta t$  nije glatka funkcija, pa time i numerička analiza snimljenih podataka (radi definisanja zavisnosti karakteristika od uslova pražnjenja) nije izvodljiva. Zato je algoritam PIKP i dalje razvijen sa ciljem da generiše niz  $V_{i=1} > V_i > V_{i=n}$  vs  $t_{i=1} < t_i < t_{i=n}$  ( $\Delta t = \text{konstanta}$ ) ili  $t_{i=1} < t_i < t_{i=n}$  vs  $V_{i=1} > V_i > V_{i=n}$  ( $\Delta V = \text{konstanta}$ ), koji zadovoljavaju registro-

vani niz  $V_{j=1} > V_j > V_{j=m}$  vs  $t_{j=1} > t_j > t_{j=m}$ , gde je  $n \gg m$  za manuelnu, odnosno,  $n \approx m$  za automatizovanu akviziciju.

Algoritam PIKP zasnovan je na karakterizaciji ćelije (baterije) nizom unutrašnjih otpora  $R_{u,0} < R_{u,i} < R_{u,n}$ . Unutrašnji otpor EIE,  $R_u$  ( $\Omega$ ) u neprekidnom pražnjenju kroz konstantni otpor, za poznati termodinamički ( $U_0 > U_i > U_n$ ) i kinetički ( $V_0 > V_i > V_n$ ) put pražnjenja, definisan je jednačinom [2]:

$$R_{u,i} = (U_i - V_i)/I_i = \eta_{u,i}/I_i = (U_i - V_i)R1/V_i \quad (3)$$

gde je  $\eta_{u,i}$  polarizacija ćelije (baterije) definisana kao odstupanje napona otvorenog kola  $U_i$  od radnog napona  $V_i$ ,  $I_i = V_i/R1$  je struja pražnjenja, a  $R1$  ( $\Omega$ ) otpor pražnjenja. Tri promenljive veličine na desnoj strani jednačine karakterišu EIE.

Promena napona otvorenog kola tokom pražnjenja ( $U_0 > U_i > U_n$ ) može eksperimentalno da se dokaže na dva načina. Prvi je da se do različitih stepena ispražnjenosti prazni više istotipnih kvalitetnih EIE, i da se, nakon dovoljno duge relaksacije, izmere njihovi naponi otvorenog kola  $U_q/V$  prema kapacitetu  $Q/As$ . Drugi način je da se sa prekidima prazni jedna ćelija (baterija). U prekidu pražnjenja ćelija (baterija) relaksira se na ravnotežno stanje, i meri napon otvorenog kola. Dobijeni opadajući nizovi napona  $U_0 > U_i > U_{krajnje}$  u oba slučaja pokazuju zavisnost ravnotežnog napona galvanske ćelije (baterije) i sadržanog kapaciteta, ali i ne samo kapaciteta.

U približnom izvođenju energetskog bilansa za pražnjenje, unutrašnji otpor ćelije (baterije) može da se definiše početnim naponom otvorenog kola  $U_0/V$ :

$$R_{0,u,i} = (U_0 - V_i)/I_i = \eta_{0,i}/I_i = (U_0 - V_i) R1/V_i \quad (4)$$

Snaga ovako definisanog unutrašnjeg otpora je:

$$P_{0,i} = (U_0 - V_i) I_i = \eta_{0,i} \cdot I_i = (U_0 - V_i) V_i/R1 \quad (5)$$

Napon i struja pražnjenja menjaju se sa napredovanjem reakcije zbog ireverzibilnih promena u elektrohemijском sistemu. Promene nastaju u zatvorenim intervalima napona  $U_0 > V_i > V_n \geq U_0/2$  i struje  $I_0 > I_i > I_n \geq I_0/2$ ,  $i = 1 \dots n$ . Zavisnost elektrohemijских i drugih procesa (hemijских, prenosa mase i toplote) od vremena osnovni je predmet izučavanja u elektrohemijским [4-6, 7, 13, 15, 18] i termodinamičkim tehnikama ispitivanja [1, 2, 15, 18] EIE. Algoritmom PIKP [8-11, 14, 17] za ispitivanje EIE, ravnoopravno se izučavaju zavisnosti merljivih veličina od vremena, kao i zavisnost vremena od ovih merljivih veličina.

Početni korak u razvoju algoritma PIKP zasnovan je na zaključku da je zavisnost vremena pražnjenja od snage unutrašnjeg otpora (u zatvorenom intervalu  $P_0 < P_{i=1} < P_{0,i} < P_{i=n} \geq U_0^2/4R1$ , koji je korespondentan intervalu  $U_0 > V_{i=1} > V_i > V_{i=n} \geq U_0/2$ ) neprekidna, rastuća i nelinearna. U dovoljno malom intervalu promene ova zavisnost može da se linearizuje:

$$\ln(t_i) - \ln(t_{i-1}) = b_i \cdot [\ln(P_{0,i}) - \ln(P_{0,i-1})] \quad (6a)$$

gde je:

$$b_i = \ln(t_{i-1}/t_{i-2})/\ln(P_{0,i-1}/P_{0,i-2}) \quad (6b)$$

što je logaritamski oblik obične diferencijalne jednačine prvog reda:



$$dt_i/t_{i-1} = b_i \cdot dP_i/P_{i-1} \quad (7)$$

U jednačini (7) egzistiraju po tri susedne vrednosti vremena ( $t_{i-2}$ ,  $t_{i-1}$ ,  $t_i$ ) i snage polarizacije ( $P_{0,i-2}$ ,  $P_{0,i-1}$ ,  $P_{0,i}$ ), pa se jednačina (7) rešava iterativnim postupcima numeričke analize. U jednačini (7) izvodljivo je odvajanje promenljivih, pa se zavisnost vremena od snage polarizacije  $P_{0,i} = \eta_0 \cdot I_i = (U_0 - V_i) \cdot I_i$ , odnosno unutrašnjeg otpora, iskazuje u logaritamskom obliku:

$$\ln(t_i/t_{i-1})/\ln(t_{i-1}/t_{i-2}) = \ln(P_{0,i}/P_{0,i-1})/\ln(P_{0,i-1}/P_{0,i-2}) \quad (7a)$$

ili algebarskom obliku:

$$\Delta t_i \cdot t_{i-2}/(\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1}) = \Delta P_{0,i} \cdot P_{0,i-2}/(\Delta P_{0,i-1} \cdot P_{0,i-1}) \quad (7b)$$

Jednačine (7a) i (7b) opšta su rešenja diferencijalne jednačine (7), gde su svi članovi na desnoj strani definisani izrazom  $P_0 = (U_1 - V)I$ . Partikularna rešenja diferencijalne jednačine (7) nalaze se izborom početnih uslova, određivanjem parametra  $U_1$  i definisanjem konstante  $C$  radi zadovoljenja konturnih uslova.

Iz zatvorenog intervala  $U_0 > V_1 > V_i > V_n \geq U_0/2$ ,  $\Delta V = U_0/2n = \text{konstanta}$ , elektrohemijski početni uslov su dva prva para  $t_1$  vs  $V_1$  i  $t_2$  vs  $V_2$ , čije je eksperimentalno merenje teško izvodljivo i vrlo preciznim uređajima, zbog kapacitivnih i drugih smetnji (na primer, karakteristike sklopke za zatvaranje kola). Algoritam PIKP za matematičke početne uslove bira dva susedna para po volji, jer je generisanje izvodljivo unazad (prema početku intervala) i unapred (prema kraju intervala).

Parametar  $U_1$  definiše preslikavanje zatvorenog intervala napona pražnjenja

$U_0 > U_1 > V_0 > V_1 > V_i > V_n$  u zatvoreni interval  $0 < P_{U1} < P_i < P_n$ . Zatvoreni interval napona pražnjenja pokazuje da je početni napon otvorenog kola  $U_0$  pao na  $V_0$ , zbog omskog otpora ćelije (baterije) u vrlo kratkom intervalu  $\Delta t \rightarrow 0$ . Tako definisanje prva dva člana  $V_0 > V_1$  u nizu napona pražnjenja, sa pripadnim vremenima  $t_0 \rightarrow 0$  i  $t_1 = t_0 + \Delta t_1$  ilustruju problem merenja omske komponente unutrašnjeg otpora ćelije (baterije). Integraciona konstanta  $C$  egzistira samo u jednom od članova,  $P_0 = (C + U_1 - V)I = (U_2 - V)I$  na desnim stranama jednačina (7a) i (7b).

Za konturne uslove PIKP koristi sve snimljene vrednosti prema nejednačini (2). Za konturne uslove koriste se i drugi snimljeni podaci, na primer kapaciteta,  $Q_t$  (Ah) kulometrom u kolu pražnjenja. Procedura izbora početnih i definisanja konturnih uslova za algoritam PIKP definiše se za svaki model ispitivanja ćelije (baterije), zavisno od svrhe ispitivanja, uslova pražnjenja i akvizicije merljivih veličina.

## Opis eksperimenta

Demonstracija PIKP može da bude izvedena merenjem električnih karakteristika (napona i struje, unutrašnjeg otpora, vodljivosti i kompleksne impedanse) i kalorimetrijskim merenjima ispitivane ćelije (baterije).

U ovom radu koriste se merenja početnog napona otvorenog kola, napona pražnjenja, napona relaksacije i napona otvorenog kola na kraju pražnjenja, snimljenih pri pražnjenju alkalnog elementa LR 20-VARTA kroz otpor  $10 \Omega$ , na sobnoj temperaturi, do krajnjeg napona  $V_n = 0,7950$  V. Akvizicija niza napona u vremenu izvedena je sistemom HP 3054 DL.

Za pražnjenje:				Za relaksaciju:			
j	i	V <sub>i</sub> (V)	t (s)	r	U <sub>relaksacije</sub> (V)	t (s)	
-	0	1,5905	0	1	1,12140	308210	
1	9	1,5675	1	2	1,15192	313210	
2	16	1,5500	24	3	1,16080	317210	
3	49	1,4675	4320	4	1,16665	321210	
-	50	1,4650	t <sub>i-1</sub> +Δt	5	1,17290	327210	
4	96	1,3500	30242	6	1,17684	332210	
5	114	1,3050	56163	7	1,18000	337210	
6	146	1,2250	111000	8	1,18280	342210	
7	159	1,1925	162367	9	1,18426	345210	
8	194	1,1050	218166	10	1,18561	348210	
9	218	1,0450	244087	11	1,18687	351210	
10	253	0,9575	277715	12	1,18804	354210	
11	283	0,8825	295933	13	1,19018	360210	
12	318	0,7950	308160	14	1,19179	365210	
U <sub>n</sub> = 1,19269				368210	15	1,19269	368210

Alkalni element LR 20-VARTA, otpor pražnjenja 10 Ω

Učestanost očitavanja bila je za pražnjenje svake sekunde do 24. i svakih 2160 s do kraja pražnjenja, i za relaksaciju svakih 50 s, sa tačnošću očitavanja ±50 μV, odnosno 5 1/2 digita na skali 2V. Tokom pražnjenja registrovano je 318 parova napon pražnjenja vs vreme, od kojih je za trasiranje krivulje pražnjenja izdvojeno 12 (j = 1... m, m = 12) parova, tabela 1 i simboli na slici 1. Relaksacija je analizirana i prikazana u radu [17], a u tabeli 1 je predstavljena sa 15 parova V<sub>r</sub> vs t<sub>r</sub>, uključno dostignuti napon otvorenog kola U<sub>n</sub> = 1,19269 V nakon 62 000 s relaksacije.

## Rezultati i diskusija

U ovom radu prikazana je osnovna primena algoritma PIKP generisanjem kinetičkog (zavisnost vremena od napona pražnjenja) i termodinamičkog puta (zavisnost napona otvorenog kola od vremena pražnjenja), uz prikaz novih eks-

ploatacionih parametara za karakterizaciju ćelija (baterija) uvedenih PIKP.

## Generisanje krivulje pražnjenja

Generisanje krivulje pražnjenja izvedeno je generisanjem vremena pražnjenja za definisani niz napona V<sub>i=1</sub> = 1,5875 > V<sub>i</sub> > V<sub>i=300</sub> = V<sub>n</sub> = 0,7950, ΔV = 0,0025 V. Za generisanje krivulje pražnjenja u relaciji vreme vs napon, koriste se sledeći oblici jednačina (7a) i (7b):

– za generisanje unazad

$$t_{i-2} = t_{i-1} (t_{i-1}/t_i)^{1/b_i} \quad (8a)$$

ili

$$t_{i-2} = b_i \cdot t_{i-1}^2 / (t_i - t_{i-1} + t_{i-1} \cdot b_i) \quad (8b)$$

– za generisanje unapred

$$t_i = t_{i-1} (t_{i-1}/t_{i-2})^{b_i} \quad (9a)$$

ili

$$t_i = t_{i-1} + (\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1}) b_i / t_{i-2} \quad (9b)$$

gde je:

$$b_i = \Delta P_{2,i} \cdot P_{1,i-2} / (\Delta P_{1,i-1} \cdot P_{1,i-1}) \quad (10)$$

Vrednosti niza  $b_1 < b_{\max} > b_n$ , u jednačini (10), određene su nizom P<sub>1</sub> < P<sub>i</sub> < P<sub>n</sub>, odnosno vrednošću početnog napona V<sub>1</sub> u nizu napona za pražnjenje U<sub>0</sub> > V<sub>1</sub> > V<sub>i</sub> > V<sub>n</sub>, i parametrom U<sub>1</sub> = V<sub>1</sub> + 0,000001 V. U obrađenom primeru za vreme reda mikrosekunde (generisanjem unazad) utvrđena je vrednost V<sub>1</sub> = 1,5850 V. Generisanje vremena unazad, tj. t<sub>0</sub> → 0 za V<sub>1</sub> → U<sub>0</sub>, algoritam PIKP izvodi se do reda pikosekundi. Prekid generisanja za vreme reda mikrosekundi objašnjava se kao fizički moguće vreme za prvi par t<sub>1</sub> vs V<sub>1</sub>.

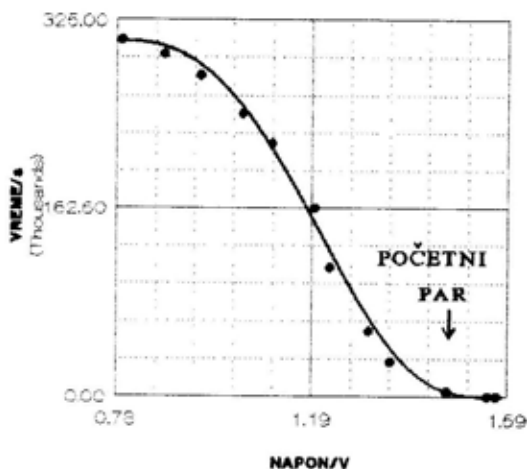
Za početne uslove odabrani su susedni parovi  $t_{j=3, i=49} = 4320$  vs  $V_{j=3, i=49} = 1,4675$  i  $t_{i=50} = t_{i=49} + \Delta t$  vs  $V_{i=50} = V_{i=49} - \Delta V = 1,4650$ . Prvi par vrednosti nalazi se u registrovanom nizu  $V_j$  vs  $t_j$ . Drugi par sledi posle pada napona za korak  $0,0025$  V, pa pripadajuće vreme  $t_{i=50} = t_{i=49} + \Delta t$  nije očitano sistemom za akviziciju HP 3054 DL, koji je kontrolisan konstantnim korakom vremena za očitavanje i registrovanje napona. Ovo neočitano vreme može da se interpolira regresivnom analizom iz unapred odabranog podintervala akvizicije, koji sadrži željene susedne parove u kratkim intervalima očitavanja, na primer  $\Delta t = 1$  s.

Pri manuelnom očitavanju, vreme za drugi susedni par podešava se u proceduri generisanja, zajedno sa određivanjem integracione konstante  $U_2 = U_1 + C$ . Procedura generisanja izvodi se iteracijom od početnih uslova „unazad“ (za deo krivulje do uključenja kola) i „unapred“ od početnih uslova do kraja pražnjenja. Na slici 1 generisana krivulja pražnjenja

prikazana je linijom, a konturni uslovi simbolima. Podešene vrednosti su  $\Delta t = 338$  s i  $U_2 = 1,5878$  V. Izostavljajući numeričku kvantitativnu analizu, koja je provodljiva u primeni PIKP, zaključuje se da generisane krivulje pražnjenja, po jednačinama (8–10), zadovoljavaju eksperimentalno izmerene vrednosti.

Generisanje unazad zadovoljava snimljene parove  $t_{j=2, i=16} = 24$  vs  $V_{j=2, i=16} = 1,5500$  i  $t_{j=1, i=9} = 24$  vs  $V_{j=1, i=9} = 1,5675$ . Takođe, ako je početni deo krivulje pražnjenja snimljen dovoljno pouzdano, generisanjem unazad moguće je definisati par  $t_0 \rightarrow 0$  vs  $V_0$ , gde je  $t_0$  (s) vreme zavisno od Faradejske konstante relaksacije [7, str. 222], a  $V_0$  (V) napon koji definiše početni omski otpor  $R_{0, ohm} = (U_0 - V_0) \cdot R1/V_0$ , odnosno otpor ćelije istosmernoj struji.

Generisana krivulja pražnjenja, po jednačini (8) ili (9) sa n generisanih parova, treba da bude shvaćena kao funkcija koja zadovoljava automatizovano  $m \approx n$ , ili manuelno  $m \ll n$  snimljeni niz parova vreme vs napon. Ako je interval merenja jednak intervalu pražnjenja  $V_{j=1} = V_{i=1}$  i  $V_{j=m} = V_{i=n}$ ,  $j \leq n$ , generisana krivulja pražnjenja je interpolacija snimljene krivulje pražnjenja. Svrha interpolacije je transformisanje registrovane krivulje pražnjenja napon vs vreme u krivulju vreme vs napon, kao i definisanje algebarske funkcije čiji je prvi izvod glatka funkcija. Ako je interval merenja deo intervala pražnjenja  $V_{j=1} < V_{i=1}$  i  $V_{j=m} > V_{i=n}$ , generisana krivulja pražnjenja je interpolacija snimljene krivulje pražnjenja u intervalu merenja, a ekstrapolacija u delovima intervala pražnjenja izvan intervala merenja. Svrha ekstrapolacije je određivanje početnog pada napona  $V_0$  i predviđanje krivulje



Sl. 1 – Krivulje pražnjenja vreme vs napon, LR 20-VARTA,  $R1 = 10 \Omega$   $U_0 = 1,5905$  V: simboli – eksperimentalno izmereni podaci,  $V_j$  vs  $t_j$  linija – generisana krivulja pražnjenja, jedn. (8–10)

pražnjenja od poslednjeg izmerenog para  $t_m$  vs  $V_m$  do kraja pražnjenja  $t_n$  vs  $V_n$ . I u obrađenom primeru početni uslovi su odabrani posle kratkotrajnog pražnjenja (oko 1,6% nominalnog vremena i kapaciteta), a generisanje je izvedeno do 300 000 s. Ako se integraciona konstanta određuje na osnovu prethodno snimljenih parova generisanjem unazad, onda je generisanje unapred ekstrapolacija, tj. predviđanje vremena pražnjenja.

### Generisanje napona pražnjenja i napona otvorenog kola

Za potpunu karakterizaciju ćelija (baterija) neophodna je, pored zavisnosti napona pražnjenja (kinetički put)  $V_0 > V_t > V_n$ , i zavisnost napona otvorenog kola (termodinamički put)  $U_0 > U_t > U_n$  o vremenu pražnjenja  $t_0 < t_t < t_n$ , gde je  $t_i = t_{i-1} + \Delta t$ , tj. promene vremena sa konstantnim korakom, što je analogno automatizovanom registrovanju napona u vremenu.

Za generisanje krivulje pražnjenja u relaciji napon vs vreme, izvedena je zamena uloga za promenljive u jednačinama (7a) i (7b), za generisanje unazad:

$$\ln(P_{0,i}/P_{0,i-1})/\ln(P_{0,i-1}/P_{0,i-2}) = \Delta t_i \cdot t_{i-2}/(\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1}) \quad (11)$$

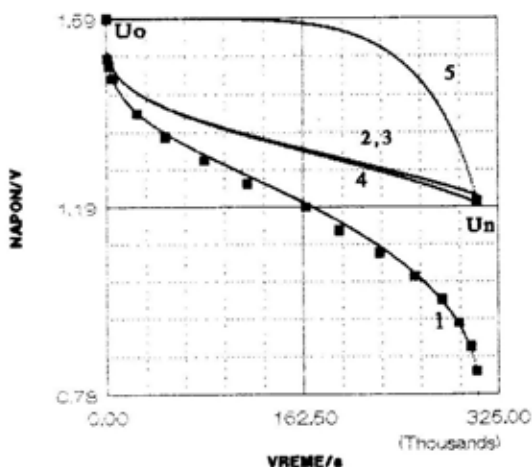
pa tražena zavisna veličina iznosi:

$$P_{0,i-2} = P_{0,i-1} (P_{0,i-1}/P_{0,i})^{t_{i-1}/t_{i-2}} \quad (12)$$

gde su početni uslovi  $P_{0,n}$  vs  $t_n$  i  $P_{0,n-1}$  vs  $t_{n-1}$ .

Niz napona pražnjenja (linija 1 na slici 2), izračunava se za  $P_0 = P_v = (U_0 - V)V$ , prema jednačini (5):

$$V_{i-2} = [U_0 + (U_0 - 4 \cdot P_{v,i-2})^{1/2}]/2 \quad (13)$$



Sli. 2 – Krivulje pražnjenja napon vs vreme, LR 20-VARTA,  $R1 = 10 \Omega$   $U_0 = 1,5905 \text{ V}$ ,  $U_n = 1,19269 \text{ V}$ ;

simboli – podaci očitani sa sl. 1 i izmereni početni  $U_0$  i krajnji  $U_n$  napon otvorenog kola;  
 linija 1 – generisana krivulja napona pražnjenja jedn. (13);  
 linija 2 – odnos  $Q_i \cdot R1/t_i$ , jedn. (17);  
 linija 3 – odnos  $E_g/Q_i$ ;  
 linija 4 – odnos  $E_g/Q_i$  kao razlika  $U_0 - E_g/Q_i$ ;  
 linija 5 – generisana krivulja napona otvorenog kola  $U_0 > U_t > U_n$ , jedn. (14)

za početne uslove  $P_{v,n} = (U_0 - V_n) V_n$  vs  $t_n$  i  $P_{v,n-1} = (U_0 + C_v - V_{n-1}) V_{n-1}$  vs  $t_{n-1}$ . Nepoznato  $V_{n-1}$  za poznato  $t_{n-1}$  može da bude regresijom izračunata ili podešena vrednost, dok se  $C_v$  određuje tako da generisani niz (linija 1 na slici 2) zadovolji parove očitane sa slike 1  $V_i$  vs  $t_i$  (simboli na slici 2), ili eksperimentalno izmerene  $V_t$  vs  $t$ .

Niz napona otvorenog kola (linija 5 na slici 2), izračunava se za  $P_0 = P_u = (U_0 - U)U$ , prema jednačini (5):

$$U_{i-2} = [U_0 + (U_0 - 4 \cdot P_{u,i-2})^{1/2}]/2 \quad (14)$$

za početne uslove  $P_{u,n} = (U_0 - U_n) U_n$  vs  $t_n$  i  $P_{u,n-1} = (U_0 + C_u - U_{n-1}) U_{n-1}$  vs  $t_{n-1}$ . Vrednosti  $U_0 = 1,5905 \text{ V}$  i  $U_n = 1,19269 \text{ V}$  su izmerene na relaksiranoj ćeliji (simboli na liniji 5), dok je za poznato  $t_{n-1}$  vrednost  $U_{n-1}$  nepoznata. Tako je za generisanje niza napona otvorenog kola

neophodno podesiti  $U_{n-1}$  i konstantu integracije  $C_u$ .

Analizom generisanja niza  $U_n = 1,19269 < U_i < U_0 = 1,5905$  utvrđuje se da je zadovoljavanje graničnog uslova  $U_0$  vs  $t \rightarrow 0$ , za generisanje unazad koje počinje od  $U_n$  vs  $t_n$ , moguće sa više parova vrednosti  $U_{n-1}$  i  $C_u$ . Svaki par može da zadovoljava početni i krajnji uslov i da povezuje ove dve tačke različitim putevima. Za jednoznačni termodinamički put potrebno je poznavanje bar još jednog graničnog uslova, na primer nekog para  $U_i$  vs  $t_i$ . Dalja analiza ovog problema nije predmet ovog rada, a izvodi se termodinamičkim, stehiometrijskim, kinetičkim i fenomenima prenosa mase u ćeliji (bateriji). Sa stanovišta primene PIKP pouzdano se može zaključiti da se energija gubitaka vrlo pouzdano meri kalorimetrijski (izvesno i termičkom analizom), da se polarizacija ćelije meri kompleksnom impedansom i da se termodinamički put za određeni tip ćelije (baterije) određuje periodičnim pražnjenjem. Bilo koja od ovih tehnika daje podatke za jednoznačno definisanje termodinamičkog puta jednačinom (14). U odsustvu ovih mogućnosti, eksperti za EIE treba da uvažavaju činjenicu da se i nedovoljno precizno određenim termodinamičkim putem čini manja greška u karakterisanju ćelije (baterije), kao što je izračunavanje emisije toplote iz baterije u zatvorenim sistemima, nego primenom početne vrednosti napona otvorenog kola  $U_0/V$ .

### *Izračunavanje kapaciteta*

Teoretski kapacitet procesa konverzije hemijske u električnu energiju proporcionalan je broju molova reaktanata ugrađenih u ćeliju. Praktično dobijeni, odnosno generisani kapacitet manji je od

teoretskog zbog neželjenih reakcija i nepotpunog utroška elektrodnih aktivnih masa. Kada se funkcionisanje izvesnog potrošača određuje krajnjim naponom napajanja, proizvođač deklarise nominalni kapacitet, za korisnika baterije važnu eksploatacionu karakteristiku. Za izračunavanje generisanog kapaciteta tokom pražnjenja, algoritam PIKP koristi podatke iz generisane krivulje pražnjenja, za numeričko neposredno:

$$Q_i = \sum_1^n I_i (t_i - t_{i-1}) \quad (15)$$

ili integrisanje po delovima:

$$Q_i = I_i t_i + \sum_1^n t_i (I_{i-1} - I_i) \quad (16)$$

gde je  $I_i = V_i/R1$ ,  $i = 1 \dots n$ . Istovremeno, kapacitet je površina u koordinatnoj ravni vreme-struja. Algoritam PIKP definiše odnos aktuelno generisanog kapaciteta  $Q_i$  prema vremenu  $t_i$ :

$$Q_i/t_i = I_{srednje,i} = V_{srednje,i}/R1 \quad (17)$$

kao intenzitetnu karakteristiku ćelije (baterije), koja je srednja vrednost struje, za promenljivu struju od početka pražnjenja. PIKP definiše ovu vrednost radi prikazivanja kapaciteta na dijagramu napon vs vreme, jer je kapacitet u trenutku  $t_i$  definisan izrazom  $Q_i = I_{srednje,i} \cdot t_i$  i upoređenja pražnjenja kroz konstantni otpor (pasivno opterećenje) sa pražnjenjem konstantnom strujom (aktivno opterećenje). Krivulja  $Q_i \cdot R1/t_i = Q_i \cdot 10/t_i = V_{srednje,i}$  prikazana je linijom 2 na slici 2.

Kapacitet  $Q_i$  (As) može da se generiše algoritmom PIKP kada se u jednačini (7) diferencijalni izraz za vreme  $dt_i/t_{i-1}$  zameni izrazom za kapacitet  $dQ_i/Q_{i-1}$ .

## Izračunavanje energije na potrošaču i energije gubitaka

Termodinamika definiše da se promena unutrašnje energije EIE tokom pražnjenja EIE deli na električnu energiju  $E_i$  (VAs) i toplotu, odnosno na korisni rad i energiju gubitaka  $E_{g,i}$  (VAs). Ova promena u sadržaju unutrašnje energije ili entalpije EIE može da se prikaže množenjem jednačine (5) sa korakom vremena:

$$P_{0,i} \cdot \Delta t_i = (U_0 - V_i) I_i \cdot \Delta t_i = \eta_{0,i} \cdot I_i \cdot \Delta t_i = U_0 I_i \Delta t_i - V_i I_i \Delta t_i \quad (18)$$

što nakon sumiranja daje:

$$E_{g,i} = U_0 Q_i - E_i \quad (19)$$

Energija gubitaka  $E_{g,i}$  iskazana je u prostoru zapreminom iznad površine kapaciteta, koja je odozdo omeđena krivom površi radnog napona (u kojoj leži niz  $V_i$ ), i odozgo ravnom površinom nepromenljivog, početnog napona otvorenog kola  $U_0$ .

PIKP početni napon otvorenog kola  $U_0/V$  zamenjuje sa nizom  $U_0 > U_i > U_n$  što je pokazano u generisanju napona otvorenog kola, pa se jednačina (18) menja i glasi:

$$P_{u,i} \cdot \Delta t_i = (U_i - V_i) I_i \cdot \Delta t_i = \eta_i \cdot I_i \cdot \Delta t_i = U_i I_i \Delta t_i - V_i I_i \Delta t_i \quad (20)$$

što nakon sumiranja daje:

$$E_{g,i} = \sum_1^n \eta_i \cdot I_i \cdot \Delta t_i = \sum_1^n U_i \cdot I_i \cdot \Delta t_i - E_i \quad (21)$$

Energija gubitaka iskazana je u prostoru zapreminom iznad površine kapaciteta, koja je odozdo omeđena krivom

površi radnog napona (u kojoj leži niz  $V_i$ ), i odozgo krivom površi promenljivog napona otvorenog kola (u kojoj leži niz  $U_i$ ).

Određivanje ili izračunavanje izgubljene energije ključni je problem u karakterizaciji ćelija (baterija), a rešava se kalorimetrijskim merenjima [3, 7], dekompozicijom ukupne polarizacije [4-6] i energetskim bilansom [13, 15]. Polazeći od eksperimentalnih činjenica, PIKP zamenjuje vrednost napona otvorenog kola  $U_0(V)$ , promenljivim nizom nepromenljivih, ali postojećih napona otvorenog kola pražnjenja  $U_i (V)$ . Ovom zamenom, kao i merenjem dostupnih veličina (količina reaktanata, osnovnim, pratećim i neželjenim procesima, faznim i drugim promenama struktura u ćeliji, kalorimetrijskim i termičkim merenjima, merenjima vodljivosti i kompleksne impedanse) PIKP analizira polarizaciju ćelije  $\eta_i/V$ , tj. njene komponente, odnosno energetski bilans  $E_i$  (VAs) i  $E_{g,i}$  (VAs), za vrste elektrohemijjskog sistema, tipove ćelija (baterija) i režime pražnjenja.

Energije  $E_i$  (VAs),  $E_{g,i}$  (VAs), kao i njihovi odnosi  $E_i/Q_i$  i  $E_{g,i}/Q_i$ , mogu da se generišu algoritmom PIKP. Potrebno je da se u jednačini (7) diferencijalni izraz za vreme  $dt_i/t_{i-1}$  zameni izrazom  $dY_i/Y_{i-1}$ , gde je  $Y$  jedna od navedenih veličina. Krivulje  $E_i/Q_i$  i  $U_0 - E_{g,i}/Q_i$  prikazane su linijama 3 i 4 na slici 2. Prikazivanje  $U_i$ ,  $V_i$ ,  $Q_i \cdot R1/t_i$ ,  $E_i/Q_i$  i  $U_0 - E_{g,i}/Q_i$  vs  $t_i$  na slici 2 daje mogućnost proizvođaču EIE da na jednom dijagramu prikaže eksploatacione karakteristike ćelije (baterije) pod određenim uslovima.

### Prvi izvod krivulje pražnjenja

Prvi izvod krivulje pražnjenja u numeričkoj analizi je:

$$(\Delta V/\Delta t)_i = (V_i - V_{i-1})/(t_i - t_{i-1}) \quad (22)$$

odnosno

$$(\Delta V/\Delta Y)_i = (V_i - V_{i-1})/(Y_i - Y_{i-1}) \quad (23)$$

gde je  $Y$  – vreme,  $t$  (s) – kapacitet,  $Q_i$  (As) – energija na potrošaču  $E_i$  (VAs) ili energija gubitaka  $E_{g,i}$  (VAs).

Kada je generisanje izvedeno sa konstantnim korakom napona  $\Delta V$ , prema jednačinama (8) ili (9), koraci  $\Delta Y_i$  proporcionalni su prvim izvodima i prikazani su na slici 3.

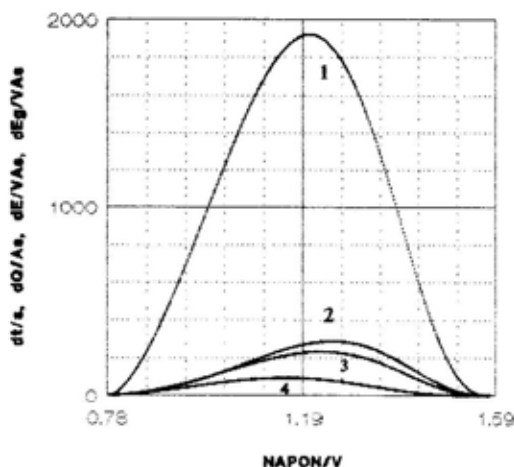
PIKP analizira prve izvode radi određivanja konturnih uslova za rešenja diferencijalne jednačine, za klasifikaciju ćelija u rednim slogovima, određivanje zavisnosti u periodičnim pražnjenjima i ocene sistema za automatizovanu akviziciju podataka.

Prvi izvod u obliku  $\Delta V/\Delta t$  ima identične dimenzije (V/s) dimenzijama umnoška rezolucije  $\Delta V$  i učestanosti, 1 (s) očitavanja u automatizovanoj akviziciji napona vs vreme. U analizi prvih izvoda uočava se (za apsolutne vrednosti) niz  $(\Delta V/\Delta Y)_1 > (\Delta V/\Delta Y)_{\text{infl.}} < (\Delta V/\Delta Y)_n$ , gde indeks infl. označava minimum krive  $\Delta V/\Delta t_i$ , odnosno maksimum krive  $\Delta t_i$ . Za generisanu krivulju pražnjenja ( $\Delta V = 0,0025$ ) (slika 1 linija-1) ove vrednosti su:

Ko-rak	Napon (V)	Vreme (s)	$\Delta t$	$\Delta V/\Delta t$
2	1,5775	0,032148	0,032145	$7,777 \cdot 10^{-2}$
infl.	1,2000	141739,354500	1922,228500	$1,301 \cdot 10^{-6}$
n	0,7950	306641,572800	1,942844	$1,287 \cdot 10^{-3}$

Analogna analiza izvodljiva je i za generisanu krivu pražnjenja  $V_i$  vs  $t_i$  (slika 2, linija-1).

U ovom radu primenjeni sistem za akviziciju HP 3054 DL ima rezoluciju



Sl. 3 – Krivulje razlika vs napon pražnjenja, LR 20-VARTA,  $R_1 = 10 \Omega$   $U_0 = 1,5905$  V:

- linija 1 – vreme  $dt_i = \Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ ;
- linija 2 – kapacitet  $dQ_i = \Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ ;
- linija 3 – energija na potrošaču  $dE_i = \Delta E_i = E_i - E_{i-1}$ ;
- linija 4 – energija gubitaka  $dE_{g,i} = \Delta E_{g,i} = E_{g,i} - E_{g,i-1}$

$5 \cdot 10^{-6}$  V, očitavanje je u koracima vremena od jedne i 2160 sekundi, čemu odgovaraju vrednosti prvih izvoda  $\Delta V/\Delta t = 5 \cdot 10^{-6}$  i  $\Delta V/\Delta t = 2,314814 \cdot 10^{-8}$ . Znači da je primenjeni uređaj dovoljno precizan za početni i završni deo pražnjenja, ali nedovoljno precizan za pražnjenje u oblasti platoa. Odnosno, uređaj je spor za početni i krajnji, a prebrz za središnji deo krivulje pražnjenja. Dalja analiza mikroprocesorima kontrolisane akvizicije i obrade podataka o pražnjenju ćelija (baterija), kao i upoređenje sa mogućnostima algoritma PIKP, nisu predmet ovog rada, ali rezultati referisani u ovom radu upućuju korisnike ćelija (baterija), istovremeno i korisnike automatizovanih sistema, na vrlo kritičnu analizu efikasnosti i opravdanost investicije.

### Operatori PIKP

Terminom „operator“ u PIKP označava se funkcija koja sadrži tri ili više sukcesivnih parametara za karakteriza-

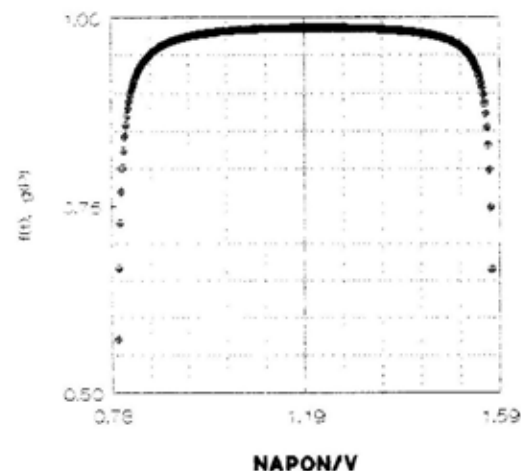
ciju ćelije (baterije). Algoritam PIKP definiše više operatora, zavisno od cilja analize i izvedenih merenja. U ovom radu referišu se operatori vremena i snaga unutrašnjeg otpora, jednačina (7b):

$$\Delta t_i \cdot t_{i-2} / (\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1}) = \Delta P_{0,i} \cdot P_{0,i-2} / (\Delta P_{0,i-1} \cdot P_{0,i-1}) \quad (24)$$

Operatori su prikazani na slici 4. Ako se u jednačini (24) sa desne na levu stranu premeste članovi koji pripadaju dvoma prethodnim koracima u iteraciji, dobija se naponsko-vremenski operator:

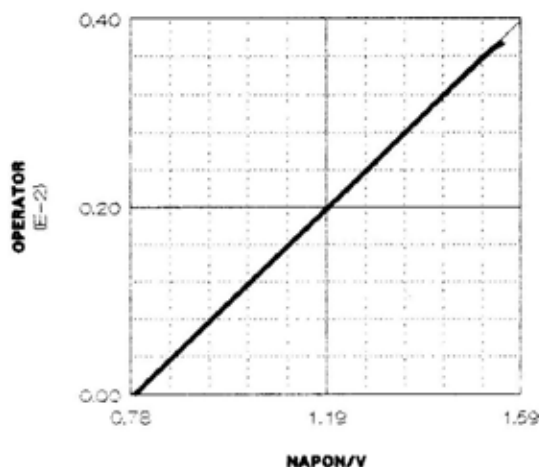
$$\Delta t_i \cdot t_{i-2} / (\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1}) (\Delta P_{0,i-1} \cdot P_{0,i-1}) / P_{0,i-2} = \Delta P_{0,i} = P_{0,i} - P_{0,i-1} = U_1 \cdot \Delta V - 2 \cdot \Delta V \cdot V_i \quad (25)$$

koji je linearno zavisno od napona pražnjenja (slika 5). Analogni operatori izvode se za kapacitet, energiju na potrošaču, energiju gubitaka, kao i za njihove odnose.



Sl. 4 – Operatori vremena i snaga unutrašnjeg otpora vs napon pražnjenja, LR 20-VARTA, R1 = 10 Ω U<sub>0</sub> = 1,5905 V:

- – operator vremena  $\Delta t_i \cdot t_{i-2} / (\Delta t_{i-1} \cdot t_{i-1})$ , jedn. (24);
- + – operator snaga unutrašnjeg otpora  $\Delta P_{0,i} = P_{0,i} - P_{0,i-1}$ , jedn. (24)



Sl. 5. Naponsko-vremenski operator vs napon pražnjenja, LR 20-VARTA, R1 = 10 Ω U<sub>0</sub> = 1,5905 V:

- pravac linearne zavisnosti  $f(t) \cdot g(P) = a + b \cdot V$ ,  
a = -0,000396, b = 0,0005; jedn. (25)

Jednačina za snagu unutrašnjeg otpora (5) može da se izrazi pomoću  $V_i = \Delta E_j / \Delta Q_i = \Delta Q_i \cdot R1 / \Delta t_i$ , odnosno:

$$P_{0,i} = (U_0 - V_i) I_i = (U_1 - \Delta E_j / \Delta Q_i) \Delta Q_i \cdot R1 / \Delta t_i \quad (26)$$

pa se desna strana jednačine (24) transformiše u operator vremena, kapaciteta, energije na potrošaču ili energije gubitaka za četiri sledbena koraka pražnjenja, koji je jednak operatoru po jednačini (24) za tri sledbena koraka pražnjenja.

PIKP koristi operatore u određivanju zavisnosti eksploatacionih karakteristika EIE od temperature, tipa i intenziteta opterećenja, broja ciklusa punjenje – pražnjenje za akumulatore i dr.

## Zaključak

Opisan je Postupak Izračunate Krivulje Pražnjenja (PIKP) za ispitivanje elektrohemijških izvora energije u istra-



živanju, razvoju, proizvodnji i eksploataciji.

Algoritam postupka zasnovan je na rešenjima diferencijalne jednačine  $dt/t = b \cdot dP/P$ , odnosno zavisnosti vremena pražnjenja od snage unutrašnjeg otpora ćelije (baterije), odnosno snage polarizacije  $P_t = (U_0 - V_t) I_t$ . Algoritam je primenjen za generisanje zavisnosti vremena pražnjenja od napona pražnjenja, kao i za zavisnost napona pražnjenja (kinetički put) i napona otvorenog kola (termodinamički put) od vremena za određene uslove pražnjenja.

Opisana je karakterizacija ćelije (baterije) parametrima numeričke integracije i derivacije, kao i mogućnost obrade podataka iz kalorimetrijskih merenja i merenja termičke analize, kao i merenja kompleksne impedanse i vodljivosti.

Postupak je primenljiv u svim oblastima ispitivanja i za sve tipove primarnih i sekundarnih EIE, kao i za određivanje zavisnosti karakteristika ćelije (baterije) od temperature, opterećenja, periodične primene i ciklacije akumulatora.

#### Literatura:

- [1] Kennet, S. P.: *Leo Brewer, Thermodynamics*, 1974 McGraw Hill, New York.
- [2] Beljajev, B. V.: *Rabotosposobnost Kimiceskih Istocnikov Toka*, Svjaz, Moscow, 1979.
- [3] Untereker, D. F., *Electrochem. J. Soc.*, 125 (1978) 1907.
- [4] Barnard, R., Baugh, L. M., Randel, C. F., *Appl. J.: Electrochem.*, 17 (1987) 165-173.
- [5] Barnard, R., Baugh, L. M., Randel, C. F., *Appl. J.: Electrochem.*, 17 (1987) 174-184.
- [6] Barnard, R., Baugh, L. M., Randel, C. F., *Appl. J.: Electrochem.*, 17 (1987) 185-195.
- [7] Bro, P., Levy, S. C.: *Quality and Reliability Methods for Primary Batteries*, 1990 by John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Đorđević, A. B., *J. Power Sources*, 50 (1994) 97-108.
- [9] Đorđević, A. B.: *Electrochemical Power Sources*, 2-3 (1995) 123-137.
- [10] Đorđević, A. B., Karanović, D. M.: *Electrochemical Power Sources* 1-2 (1996) 5-20.
- [11] Karanović, D. M., Đorđević, A. B.: *Electrochemical Power Sources* 2(1997) 365-377.
- [12] Colin, A.: Vincent & Bruno Scrosati, *Modern Batteries*, 1997 by Arnold, 338 Euston Road, London NW1 3BH.
- [13] Doyle, M. and Newman J., Gozdz, A. S., Schmutz, C. N. and Tarascon, J. M., *J. Electrochem. Soc.*, 143, 1890 (1996).
- [14] Đorđević, A. B.: 20th International Power Sources Symposium, *J. Power Sources*, 65 (1997) 275.
- [15] Rao L. and Newman J.: *J. Electrochem. Soc.*, 144, 2697 (1997).
- [16] Garche, J. and Jorissen, L.: *Electrochemical Power Sources* 1 (1997) 183-215.
- [17] Đorđević, A. B., Karanović, D. M.: *J. Power Sources*, 83(1999) 134-140.
- [18] Bard, A. J., Faulkner, R. L.: *Electrochemical Methods*, 1980 by John Wiley & Sons, New York.

## **IZOLOVANI I SINERGIČKI EFEKTI MAKROSTRUJANJA NA SAGOREVANJE KOD BENZINSKIH MOTORA**

UDC: 621.45.02.001.57 : 681.3.06

### *Rezime:*

*U radu su prezentirani inicijalni rezultati izolovanog i kombinovanog efekta organizovanog radijalnog i usisnog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje oko y-ose, na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje kroz komoru za sagorevanje koja se sastoji od ravne glave sa dva vertikalna ventila i cilindrične komore u klipu. Rezultati dobijeni modifikovanom verzijom KIVA 3 programa, komparirani su sa rezultatima oblika fronta plamena i njegovog prostiranja za slučaj bez ventila, odnosno bez prisustva prevrtanja usisne struje oko y-ose. Radi lakše primene KIVA 3 programa, a radi poboljšanja njegove fleksibilnosti, primenjena su i dva druga kompjuterska programa, program AVL TYCON, namenjen za proračun dinamike ventila i program AVL BOOST, namenjen za sračunavanje radnog ciklusa motora zajedno sa 1.5D strujanjem kroz cevne prolaze. Prvi od ova dva programa iskorišćen je za sračunavanje krive podizanja ventila, a drugi za sračunavanje inicijalnih i graničnih uslova u regionu ventila. Može se zaključiti da su, za slučaj sa i bez ventila, za razmatrani oblik komore za sagorevanje, dobijeni potpuno različiti rezultati oblika fronta plamena i brzine njihovog prostiranja, što proističe iz potpuno različitih oblika strujanja u blizini SMT.*

*Ključne reči: benzinski motor, modeliranje sagorevanja, efekti strujanja, komora motora.*

---

## **ISOLATED AND SINERGIC EFFECTS OF ORGANIZED FLOWS ON COMBUSTION IN S. I. ENGINES**

### *Summary:*

*This paper presents some results concerning the interaction between squish and tumble and its effect on flame front shape and its displacement through the combustion chamber geometry of the s.i. engine consisting of a flat head with two vertical valves and the cylindrical bowl. These results obtained by the KIVA 3V code were compared with the results of the flame front shape and its displacement obtained for the case with no valves i.e. without tumble. In order to alleviate the application of the KIVA 3V code and to enhance its flexibility, two additional computer codes were applied as well, i.e. the AVL TYCON code intended for cam design calculations and calculations of the dynamic behavior of timing drives and gear transmission units and the AVL BOOST code intended for engine cycle calculations, including 1.5D fluid flow calculations through pipelines. The first code was used for the calculation of the valve lift curve while the other was used for the calculation of the relevant data set in valve regions. It was found that for particular combustion chamber shapes considered the entirely different flame front shapes and propagation velocities were encountered for these two cases ensuing primarily from the entirely different fluid flow patterns in the vicinity of TDC.*

*Key words: s.i. engine, combustion modelling, flow effect, motor chamber.*

## Uvod

Već duži niz godina poznato je da su različiti oblici organizovanog strujanja u komori motora od bitne važnosti za sagorevanje, posebno sa stanovišta oblika fronta plamena i njegovog prostiranja [1, 2]. Neki rezultati koji se odnose na sinergički efekat radijalnog i vhornog strujanja na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje već su analizirani [3, 9]. Međutim, izolovani ili kombinovani efekti trećeg tipa organizovanog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje oko y-ose na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje nisu u dovoljnoj meri analizirani, što jednim delom proističe iz nejednoznačnosti tumačenja termina „prevrtanje usisne struje oko y-ose“. Naime, uprkos činjenice da je prevrtanje usisne struje blisko vezano za četvoventilske motore [10] neki dvoventilski motori, takođe, pokazuju slične karakteristike [4, 8]. Pored toga, jedan od razloga je i kompjuterska dinamika fluida sa svim teškoćama koje proističu iz 3D generisanja kompjuterske mreže realnih višecilindarskih motora i eksperimentalna verifikacija numeričkih rezultata. Radi toga je u ovom radu, kao deo šireg istraživanja uticaja variranja geometrije sklopa ventili-kanali i maksimalnog hoda ventila na parametre plamena, analiziran efekat kombinovanog dejstva radijalnog i usisnog strujanja, odnosno prevrtanja usisne struje, na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. Ovi rezultati komparirani su sa rezultatima oblika fronta plamena i njegovog prostiranja za slučaj bez modeliranja usisne struje (bez ventila) koji indicira izolovani efekat organizovanog radijalnog strujanja.

## Modeliranje sagorevanja

Analize ovog tipa su inherentne višedimenzionalnom numeričkom modeliranju reaktivnih strujanja u komplikovanoj

geometriji, tako da je logično što je takva tehnika i primenjena [5] za analizu efekata organizovanih oblika strujanja na parametre plamena, posebno zbog činjenice da je to jedina tehnika koja razmatra geometriju sklopa ventili-kanali na eksplisitan način. Uzimajući u obzir različite opcije u okviru [5], usvojene su sledeće pretpostavke:

- prostiranje plamena kontrolisano je turbulentnom difuzijom modeliranom pomoću standardnog k-ε modela turbulencije;

- hemijski aspekti su modelirani preko kvaziglobalne ireverzibilne reakcije oksidacije goriva ( $C_8H_{18}$ ) praćene sa dve grupe reakcija, tj. onih reakcija koje se odvijaju kinetički i onih za koje se smatra da su ravnotežne i koje redukuju izvorni član u jednačini energije;

- upaljenje nije modelirano već simulirano veštačkim podizanjem temperature u određenim ćelijama, ostvarenim putem vremenskog deponovanja energije u tim ćelijama;

- početak i trajanje deponovanja energije podešeno je u odnosu na lokaciju maksimalnog pritiska u cilindru motora, definisanu uz pomoć BOOST programa [7];

- za slučaj sa ventilima, relevantne vrednosti na otvorenim granicama takođe su sračunate pomoću BOOST programa;

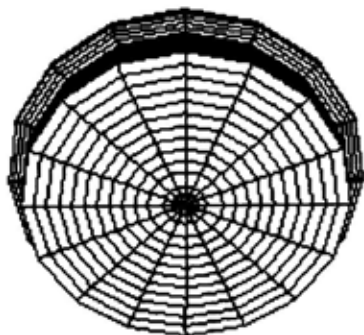
- krive podizanja ventila sračunate su pomoću programa TYCON [6], dok je početak otvaranja usisnog ventila definisan na osnovu serijskih kalkulacija sa programom BOOST [7].

## Rezultati istraživanja

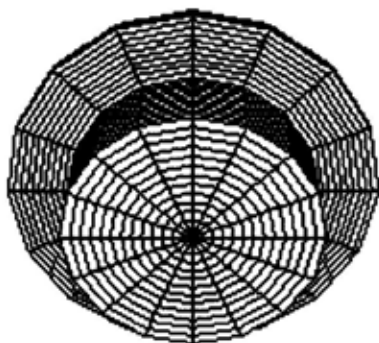
### *Izolovani efekat radijalnog strujanja*

Analiza izolovanog efekta radijalnog strujanja na oblik fronta plamena i nje-

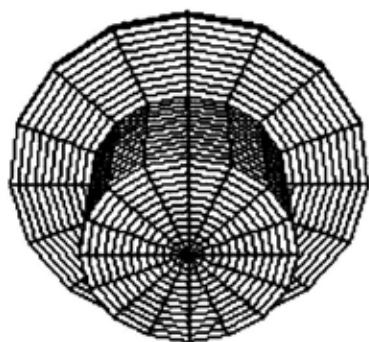
govo prostiranje ostvarena je putem variranja zone istiskivanja (SA) u opsegu od 23% do 63% u odnosu na površinu poprečnog preseka cilindra. Neke od analiziranih geometrija u formi perspektivnog izgleda, prikazane su na slikama 1, 2 i 3.



Sl. 1 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 23% (bez ventila)



Sl. 2 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 54% (bez ventila)



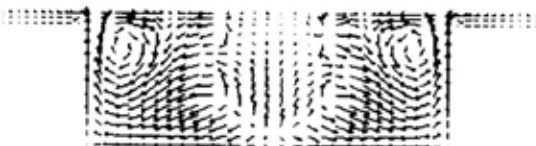
Sl. 3 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje sa zonom istiskivanja od SA = 63% (bez ventila)

Može se uočiti da je komora za sagorevanje u obliku cilindrične komore u klipju sa promenljivim prečnikom (u opsegu od 2,533, 2,806, 3,071, 3,34, 3,609) i dubinom (u opsegu od 1,383, 1,155, 0,9653, 0,815, 0,698). Ključni razlog za variranje oba parametra je osiguranje invarijantnosti stepena kompresije od 9,5. Dodatni set podataka je odnos prečnika i hoda klipja 8,25/9,2; ukupna zapremina 550 cm<sup>3</sup>, koeficijent punjenja  $\eta_v = 0,82$ ; kvalitet smeše  $\lambda = 1$  i broj obrtaja motora  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ . Strujno polje tokom kompresije je za svih pet razmatranih slučajeva sa različitim SA uglavnom kontrolisano kretanjem klipja i slično, sem u blizini SMT. Strujno polje reprezentovano u obliku vektora u x-z ravni, za slučaj SA = 23% prikazano je na slici 4.



Sl. 4 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na 9,78° KKV pre SMT (SA = 23%, bez ventila, ekstremni slučaj)

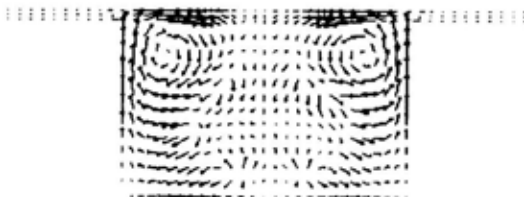
Može se videti da usled ustrujavanja fluida iz zone istiskivanja dolazi do formiranja prstenastog toroidalnog vrtloga oko ivice cilindrične komore u klipju (slika 4). Pod uticajem nailaska fronta plamena (veće brzine ispred fronta plamena) ovi vrtlozi redukuju svoju veličinu, tako da je generalno strujno polje kontrolisano prostiranjem plamena. Vrlo slična situacija dobija se i za SA = 34%. Nasuprot tome, za slučajeve sa SA = 44% i SA = 54% (slika 5) situacija je sasvim drugačija. Evidentno je da ne postoji mirna zona u komori, sem iza fronta plamena, što je posledica velikog oslobađanja toplote i, shodno tome, povećanja viskoziteta, što u nekim slučajevima do-



Sl. 5 – Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,01^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 54\%$ , bez ventila, realan slučaj)

vodi do relaminarizacije strujanja. Vrtložno strujanje oko perimetra komore u klipu izuzetno je dobro formirano i dovoljno snažno da može da dođe do fronta plamena, ali ne u meri u kojoj može da ugrozi njegovo prostiranje. Naime, dolazi do formiranja tzv. koincidirajućeg strujanja, odnosno do koalescencije brzina generisanih vrtložnim strujanjem i brzina ispred fronta plamena, što dovodi do osetnog povećanja brzine prostiranja plamena.

U slučaju sa  $SA = 63\%$  (slika 6) strujno polje i prostiranje plamena su pod apsolutnom dominacijom radijalnog strujanja, tj. radijalno strujanje kontroliše prostiranje plamena, što je u potpunoj suprotnosti sa slučajevima sa  $SA$  u opsegu od  $23\%$  do  $44\%$  gde plamen upravlja strujnom slikom. Vrtložno strujanje oko perimetra komore u klipu izuzetno je jako i penetrira ka  $z$ -osi u meri koja prouzrokuje zaustavljanje plamena, posebno u gornjem delu komore za sagorevanje. Interesantno je naglasiti da je u



Sl. 6 – Strujno polje u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 63\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

slučaju dominacije plamena maksimalna kinetička energija turbulencije skoncentrisana u centralnom delu komore, što predstavlja indikaciju zanemarljivog efekta radijalnog strujanja.

Prostiranje plamena kroz nesagorelu smešu predstavljeno je u obliku izokontura temperature u opsegu od minimuma do maksimuma, a za korespondentne  $SA$  slučajeve predstavljeno je na slikama 7, 8 i 9. Egzaktna lokacija fronta plamena nalazi se u zoni maksimalne gustine linija zbog identične temperaturske razlike između izokontura. Svećica je za svih pet slučajeva  $SA$  locirana na  $z$ -osi. Izuzimajući makrostrujanje, prostiranje plamena kroz nesagorelu smešu kontrolisano je turbulentnom difuzijom, odnosno visokim intenzitetom turbulencije i kaskadnim procesom cepanja velikih vrtloga u male, što je u skladu sa pretpostavkama  $k$ - $\epsilon$  modela turbulencije. U svakom slučaju, najmanje pet konfliktnih mehanizama koji deluju istovremeno [1, 2] od suštinske su važnosti za određivanje oblika fronta plamena i brzine njegovog prostiranja. To su, pored ostalog, samogenerišuća turbulencija usled prostiranja plamena, kompresija smeše ispred fronta plamena, povećanje viskoziteta iza fronta plamena, znak i veličina gradijenta gustine preko fronta plamena i efekat velikog oslobađanja toplote usled hemijskih reakcija.

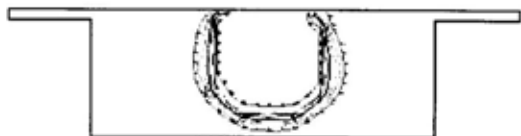
Kao što se može videti sa slike 7, u slučaju sa nedovoljnim radijalnim strujanjem (dominacija plamena) front plamena je razvučen, brzina njegovog prosti-



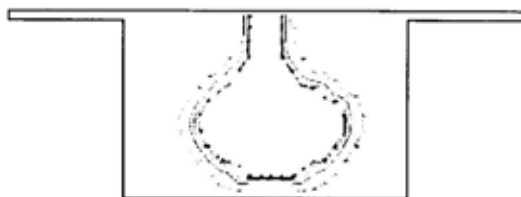
Sl. 7 – Prostorna distribucija izokontura temperature u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 23\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

ranja mala i u celini kontrolisana prethodno navedenim mehanizmima. U slučaju sa  $SA = 54\%$ , prikazanom na slici 8, evidentan je efekat makrostrujanja.

Front plamena je skoro sferičan i propagira brže nego u prethodnom slučaju. Veće brzine ispred fronta plamena koincidiraju sa vrtložnim strujanjem oko perimetra komore u klipju, i doprinose povećanju brzine prostiranja plamena.



Sl. 8 – Prostorna distribucija izokontura temperature u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 54\%$ , realan slučaj)

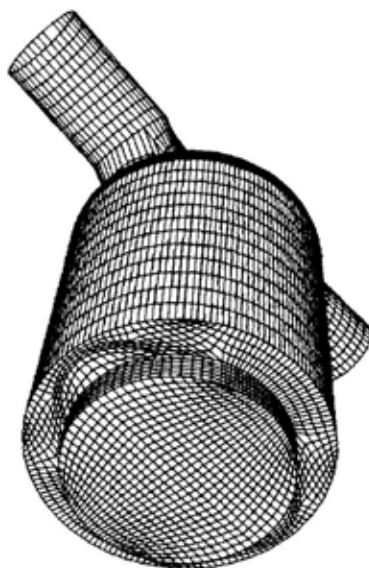


Sl. 9 – Prostorna distribucija izokontura temperature u  $x$ - $z$  ravni,  $y = 0$ , na  $0,06^\circ$  KKV posle SMT ( $SA = 63\%$ , bez ventila, ekstremni slučaj)

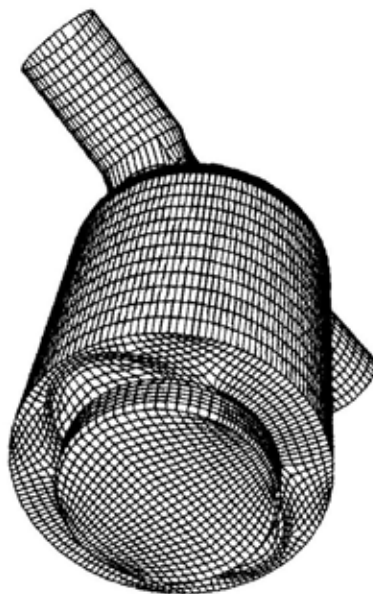
U slučaju sa  $SA = 63\%$ , prikazanom na slici 9, jasno su vidljivi svi negativni aspekti prejakog radijalnog strujanja. Naime, u gornjem delu komore za sagorevanje dolazi skoro do prekida fronta plamena. Evidentno je da jako radijalno strujanje bočno pritiska front plamena, deformiše ga, pri čemu se vrh plamena naglo pomera nadole duž  $z$ -ose, formirajući pri tome karakteristični „pečurkasti“ oblik. Ovakav oblik fronta plamena u kasnijoj fazi dovodi do formiranja džepova nesagorelog goriva u gornjem delu komore za sagorevanje.

## Kombinovani efekat radijalnog i usisnog strujanja

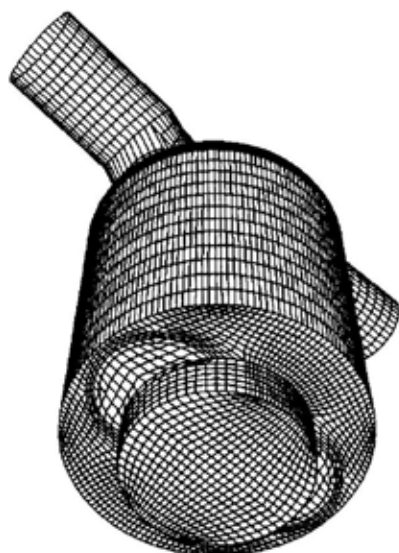
Analiza kombinovanog efekta radijalnog i usisnog strujanja, odnosno pre-



Sl. 10 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje ( $SA = 44\%$ ) sa ventilima



Sl. 11 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje ( $SA = 54\%$ ) sa ventilima



Sl. 12 – Perspektivni izgled komore za sagorevanje (SA = 63%) sa ventilima

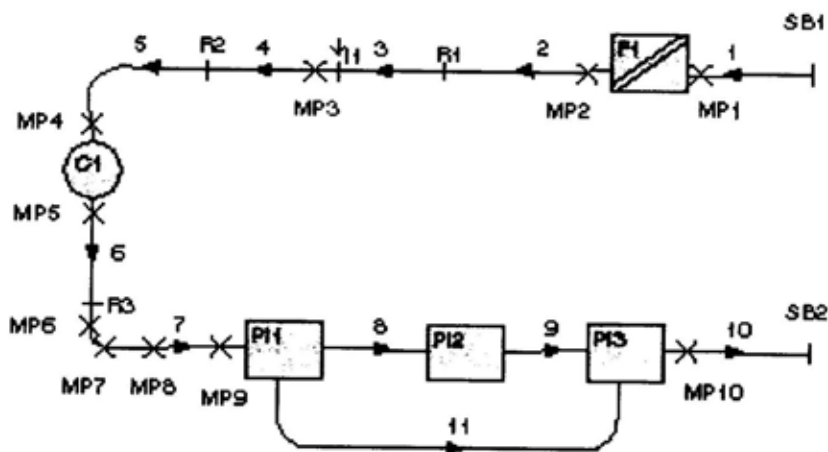
vrtanja usisne struje oko y-ose (tumble) na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje kroz nesagorelu smešu, urađena je za identične geometrijske forme komora za sagorevanje, tj. za SA u opsegu od 23% do 63%, kao što je prikazano na slikama 10, 11 i 12.

Prema prezentiranim rezultatima evidentno je da su dva slučaja sa nedo-

voljnim radijalnim strujanjem (dominacija plamena) potpuno irelevantna (SA = 23%, SA = 34%), i stoga isključena iz dalje analize. U ovim slučajevima prostiranje plamena je skoro identično kao u slučaju sa ravnim klipom.

Ventili komore za sagorevanje, prikazani na slikama 10, 11 i 12 razmatrani su kao integralni deo kompletnog monocilindričnog motora, šematski predstavljenog na slici 13.

Kao što se vidi sa slike 13, pored monocilindra (CYL), uključene su različite komponente kao što su prečistač vazduha (F1), elementi izduvnog sistema (P11, P12, P13), krivine (5), restrikcije u sistemu koje označavaju pad pritiska (R1–R3) (nagle promene preseka, leptiri, itd.) i cevovodi različitog preseka i dužine (1–11). Rastojanje od referentnih tačaka (MP5 i MP6) je specificirano tako da odgovara lokaciji otvorenih granica (leva i desna strana kanala na slikama 19–27). Svaki pojedinačni element zahteva odgovarajući set specifikacija. Naime, za cilindar se, pored specifikacije sklopa ventili-kanali (poprečni presek kanala, tempera-



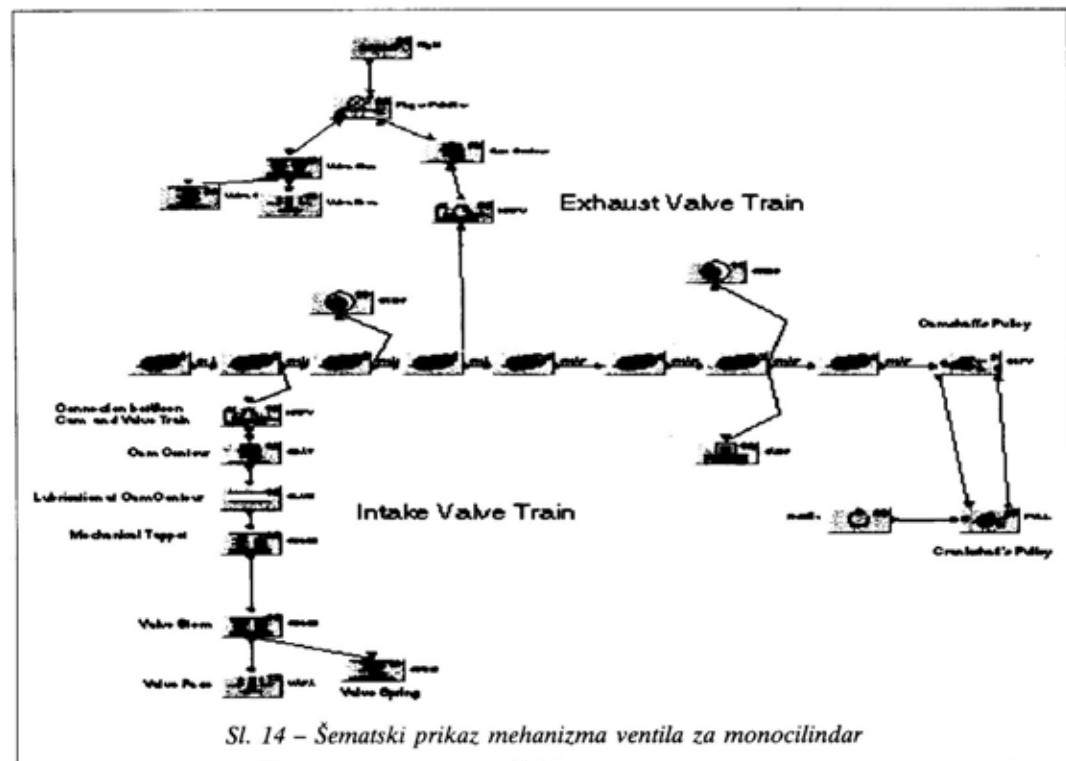
Sl. 13 – Šematski prikaz kompletnog motora

tura zida, geometrijski podaci, klirens, početak otvaranja i zatvaranja ventila, itd.) zahteva i geometrija komore za sagorevanje (npr. Heron kao na slikama 10, 11 i 12), lokacija svećice, početak paljenja, itd. Krive podizanja ventila i njihove brzine sračunate su pomoću programa TYCON [6]. Naime, kompletan mehanizam ventila za monocilindar šematski je prikazan na slici 14. Evidentno je da se on sastoji od elemenata koji konstituišu usisni ventil (na slici 14, intake valve train), izduvni ventil (exhaust valve train) i bregasto vratilo (camshaft). Svi pojedinačni elementi, šematski prikazani na slici 14, kao što su profil brega, opruge, podmazivanje, kaišni prenos, itd., lako su prepoznatljivi.

Pored toga, model pretpostavlja da monocilindar ima samo jedan usisni i jedan izduvni ventil. Kompletna lista ula-

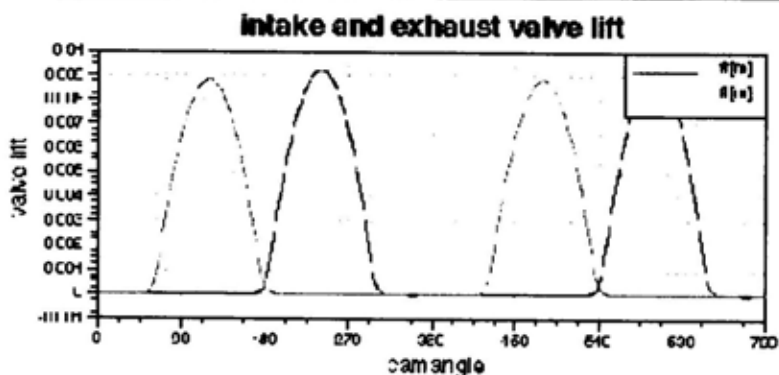
znih podataka sa dodatnim objašnjenjima prikazana je u [6]. Rezultati dobijeni sa programom TYCON prikazani su na slikama 15 i 16.

Krive podizanja usisnog i izduvnog ventila prikazane su u funkciji ugla bregastog vratila. Uzimajući u obzir da su sva sračunavanja vezana za monocilindar, navedene krive su razvučene po apscisi (ugao kolena kolenastog vratila) i uključene kao set ulaznih podataka u program BOOST. Početak otvaranja usisnog ventila (IVO), koji je neophodan kao ulazni podatak u KIVA 3V program, određen je preko serijskih kalkulacija koje podrazumevaju variranje početka otvaranja usisnog ventila pomoću u BOOST-u za to predviđene opcije. Radi određivanja inicijalnih i graničnih vrednosti, posebno u regionu ventila, kao što su pritisci (slika 17), temperature (slika 18), brzine, kon-

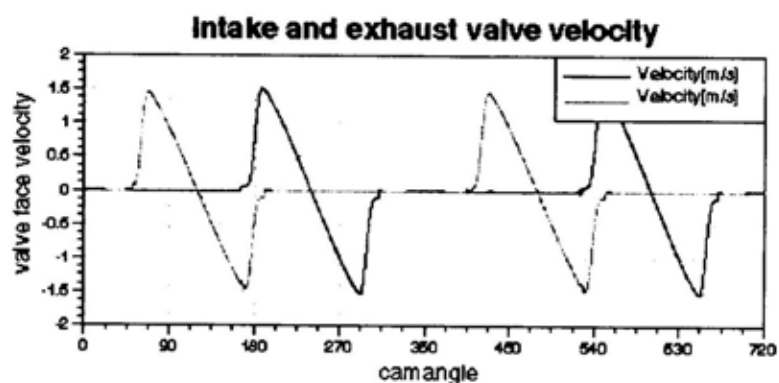


Sl. 14 – Šematski prikaz mehanizma ventila za monocilindar

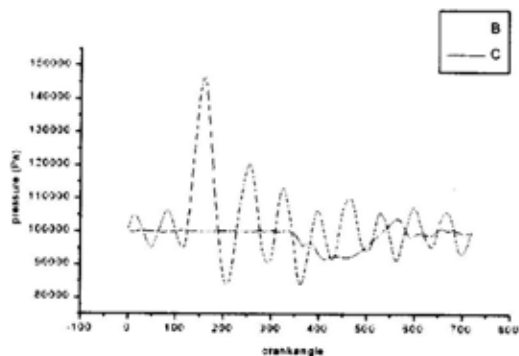




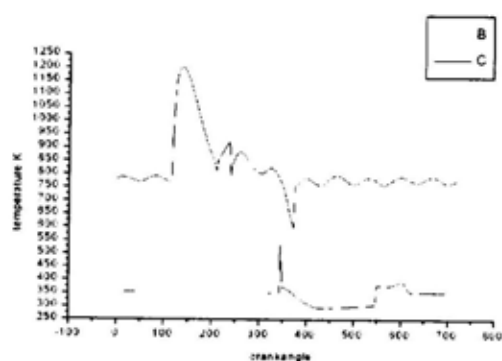
Sl. 15 – Krive podizanja usisnog i izduvnog ventila (ordinata) u funkciji ugla bregastog vratila (apscisa)



Sl. 16 – Brzine podizanja usisnog i izduvnog ventila (ordinata) u funkciji ugla bregastog vratila (apscisa)



Sl. 17 – Tok pritiska u funkciji ugla kolenastog vratila u referentnim tačkama MP5 i MP6 za SA = 44%

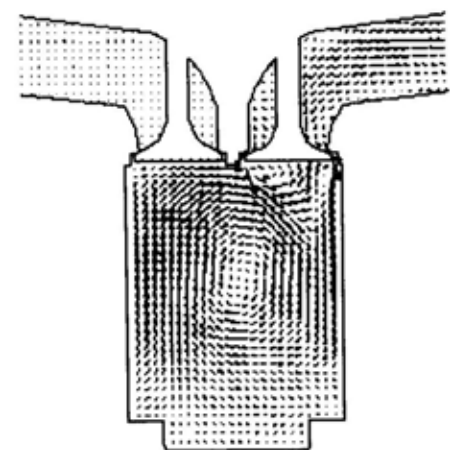
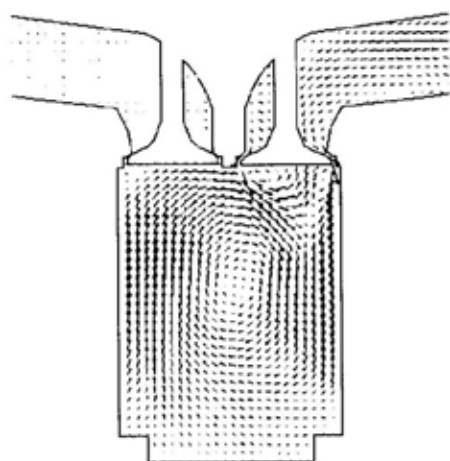


Sl. 18 – Tok temperature u funkciji ugla kolenastog vratila u referentnim tačkama MP5 i MP6 za SA = 44%

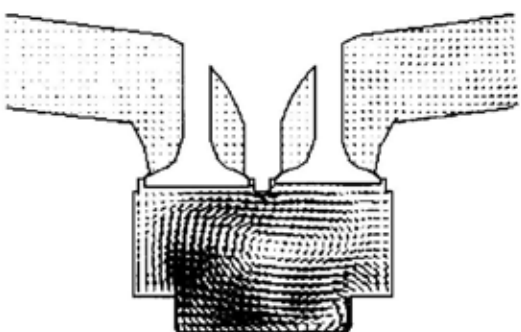
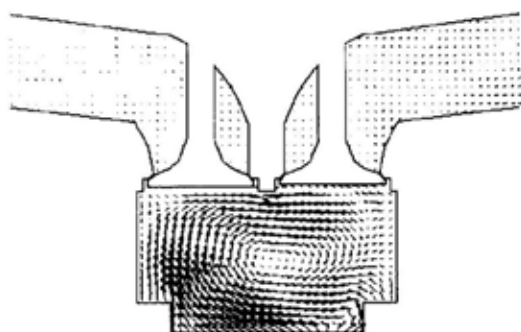
centracije komponentata i parametri turbulencije, veliki broj preliminarnih kalkulacija ciklusa obavljen je pomoću programa BOOST. Potrebno je naglasiti da svaka promena geometrije komore, tj. SA, zahteva nove preliminarne kalkulacije ciklusa.

Sračunate vrednosti za različite SA na odgovarajući način su uključene u KIVA 3V program.

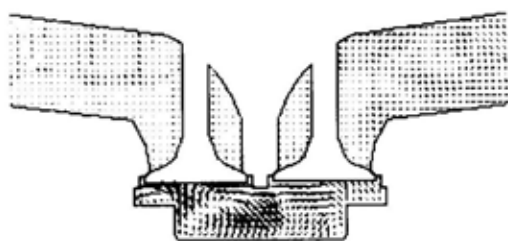
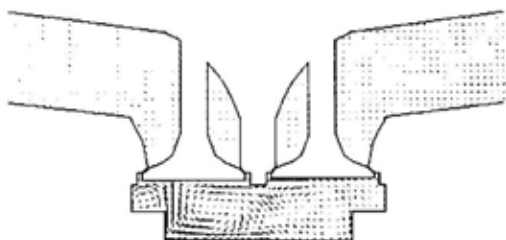
Evolucija strujnog polja za geometrije komore za sagorevanje sa ventilima i različitim SA (SA = 44% i SA = 54%) prikazana je na slikama 19, 20 i 21.



Sl. 19 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $180^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%) (gore) i (SA = 54%) (dole)



Sl. 20 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $300^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%) (gore) i (SA = 54%) (dole)



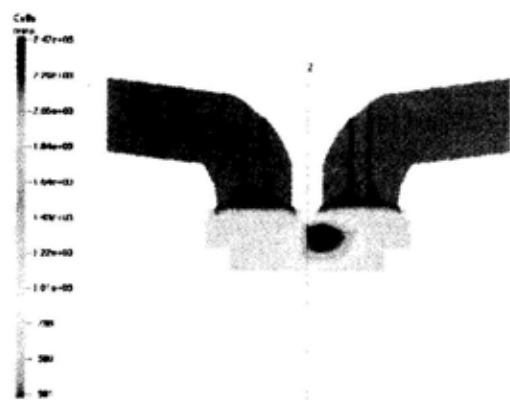
Sl. 21 – Strujno polje u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%) (gore) i (SA = 54%) (dole)

Tokom otvaranja usisnog ventila usisna struja udara u čelo klipa, zavija i počinje da formira reverzibilno prevrtanje oko y-ose sa centrom rotacije u zoni ispod izduvnog ventila. Istovremeno usisna struja udara u zid cilindra, odbija se od njega, dostiže čelo klipa, zavija i udara u čelo ventila promovišući separaciju struje i formiranje dva vrtloga, jednog lociranog ispod leve strane usisnog ventila koji koincidira sa reverzibilnim prevrtanjem usisne struje oko y-ose i drugog lociranog ispod desne strane usisnog ventila koji rotira u suprotnom smeru. Tokom usisavanja intenzitet reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose raste dok se njegov centar rotacije postepeno pomera ka centralnom delu komore. Pored toga, vrtložno strujanje od separacije, potisnuto od reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose, dostiže usku zonu u neposrednoj blizini usisnog ventila, i ograničava dejstvo samo na tu zonu, dok je drugi vrtlog od separacije potisnut do zida cilindra (slika 19). Očigledno je da je u slučaju sa ventilima strujno polje na početku kompresije potpuno različito u poređenju sa strujnim poljem nulte brzine kao u slučaju bez ventila. Porast intenziteta reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose tokom kompresije promovise destrukciju svih vrtloga osim onog oko z-ose i na  $300^\circ$  KKV posle SMT centar njegove rotacije je pozicioniran u zoni ispod usisnog ventila. U tom momentu počinje razvlačenje reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose, odnosno vrtlog trpi kompresiju usled kretanja klipa i biva polako istiskivan iz zone usisnog ventila (slika 20). Istiskivanje reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose nastavlja se sve do  $\approx 350^\circ$  KKV posle SMT, kada se ne primećuje bilo kakvo vrtložno strujanje u zoni usisnog

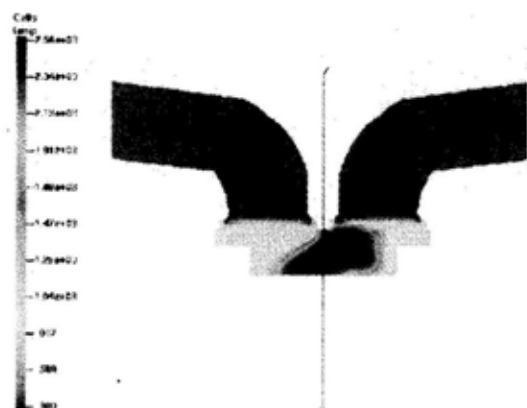
ventila. Nasuprot tome, u zoni izduvnog ventila vrtložno strujanje oko y-ose iskazuje određeni efekat (slika 21). Naime, u slučaju sa ventilima, tokom usisavanja i kompresije, centar rotacije reverzibilnog prevrtanja usisne struje oko y-ose postepeno se premešta iz zone izduvnog ventila u zonu usisnog ventila i obrnuto. Egzistencija vrtloga oko y-ose u zoni izduvnog ventila u blizini SMT dominantno utiče na oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. U slučaju bez ventila takvo vrtložno strujanje nije primećeno. Evidentno je da je strujno polje za SA = 44% i SA = 54% potpuno identično.

U slučaju sa ventilima oblik fronta plamena i njegovo prostiranje za odgovarajuće uglove i različito SA prikazano je na slikama 22 do 27.

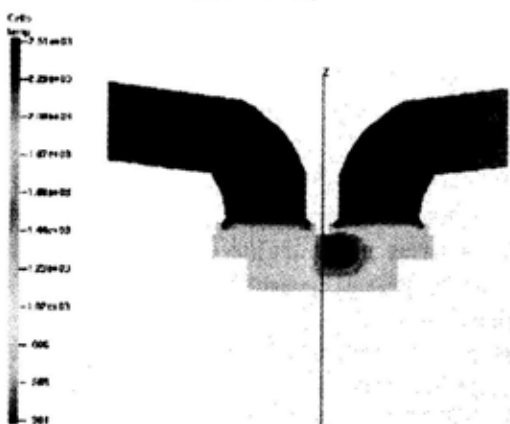
Kao što se može videti sa slika 22 i 23, svećica je centralno postavljena. Evidentno je da je oblik fronta plamena ekstremno neregularan i okarakterisan prostorno neuniformnom brzinom prostiranja za oba slučaja SA (SA = 44% i SA = 54%). Defleksija fronta plamena nastaje od samog početka (momenta paljenja) i direktno je uzrokovana vrtložnim strujanjem oko y-ose u zoni izduvnog ventila. Naime, to vrtložno strujanje ispod izduvnog ventila dovodi do stalne defleksije plamena koja približavanjem SMT postepeno postaje sve izraženija. Takav trend je vidljiv, kako za SA = 44% (slike 22, 24 i 26), tako i za SA = 54% (slike 23, 25 i 27), što dovodi do pojave zone zaustavljanja plamena ispod izduvnog ventila. Malo veća kinetička energija turbulencije za slučaj SA = 54% daje veću brzinu prostiranja plamena. U principu vrlo slična situacija dobija se za obe vrednosti SA, što indicira zanemarljiv efekat radialnog strujanja u



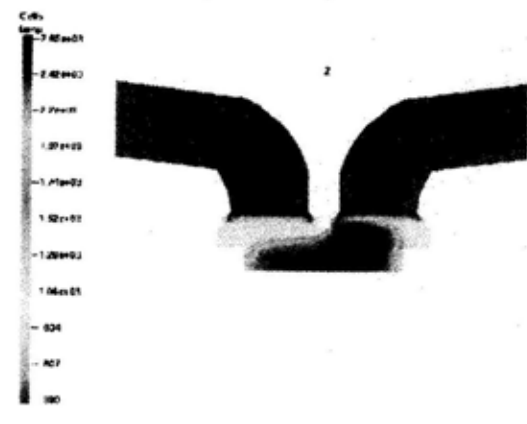
Sl. 22 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $340^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



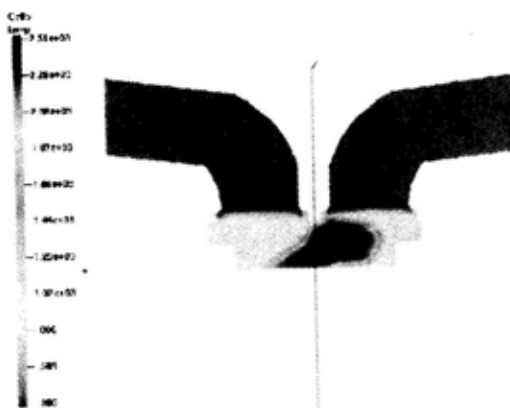
Sl. 25 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)



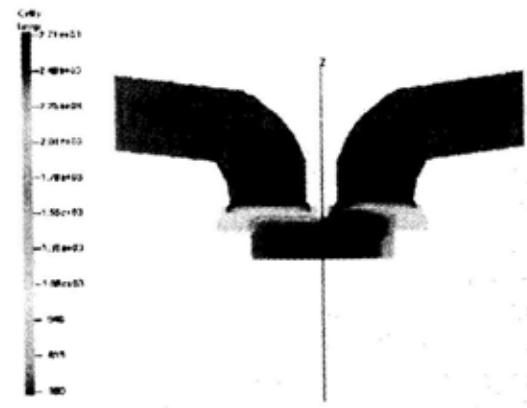
Sl. 23 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $340^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)



Sl. 26 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $360^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



Sl. 24 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $350^\circ$  KKV posle SMT (SA = 44%)



Sl. 27 – Prostorna distribucija izokontura temperature u x-z ravni,  $y = 0$ , na  $360^\circ$  KKV posle SMT (SA = 54%)

celom opsegu SA. Naime, efekat prevrtanja usisne struje oko y-ose je dominantan.

## Zaključak

Kod komore za sagorevanje bez ventila radijalno strujanje je vrlo važno za oblik fronta plamena i njegovo prostiranje. U prisustvu vihornog strujanja značaj radijalnog strujanja se relativizira. Za razmatrani generalni oblik komore razlikuju se tri različite forme sa aspekta uticaja, tj. nedovoljno radijalno strujanje (SA = 23%–44%) koje dovodi do apsolutne dominacije plamena i formiranja strujne slike pod njegovim uticajem, umereno radijalno strujanje (SA = 44%–54%) koje karakteriše koincidentno strujanje i sferni oblik fronta plamena i eksektivno radijalno strujanje (SA = 63%) koje upravlja strujnom slikom i dovodi do neregularnog oblika fronta plamena. U slučaju razmatrane geometrije komore i sklopa ventili–kanali oblik fronta plamena i njegovo prostiranje su u celini kontrolisani karakterom usisnog strujanja. Jako reverzibilno vrtloženje oko

y-ose ispod izduvnog ventila u blizini SMT, generisano usisnim strujanjem, apsolutno anulira bilo kakav uticaj radijalnog strujanja u opsegu od nedovoljnog do eksektivnog, i izaziva detenciju prostiranja plamena u toj zoni u kasnijoj fazi.

## Literatura:

- [1] Jovanović, Z.: The role of tensor calculus in numerical modeling of combustion in i.c.engines, pp. 457–541, in Computer Simulation for Fluid Flow, Heat and Mass Transfer, and Combustion in Reciprocating Engines, ISBN 0-89116-392-1, Hemisphere Publishers, 1989.
- [2] Petrović, S., Jankov, R., Tomić, M., Filipi, Z., Jovanović, Z.: Modeliranje sagorevanja kod Otomotora, Univerzitet u Beogradu, ISBN 86-7083-262-3, 1995.
- [3] Jovanović, Z., Petrović, S.: The mutual interaction between squish and swirl in s.i.combustion chamber, p. 72–86, MVM, vol. 23, No. 3, 1997.
- [4] Chen, A., Lee, K. C., Yianneskis, M.: Velocity characteristics of steady flow through a straight generic inlet port, International Journal for Numerical Methods in Fluids, vol. 21, 1995.
- [5] Amsden, A. A.: KIVA3V: A Block-Structured KIVA Program for Engines with Vertical or Canted Valves, LA-13313-MS, Los Alamos, 1997.
- [6] AVL TYCON, Users Manual, ver. 4.3, 1998.
- [7] AVL BOOST, Users Manual, ver. 3.3., 2000.
- [8] Mahmood, Z., Chen, A., Yianneskis, M.: On the structure of steady flow through dual intake engine flow, Kings College (internal report).
- [9] Jovanović, Z., Petrović, S.: 3D Fluid Flow in i.c.engine combustion chamber of arbitrary geometry, p. 31–37, Proceedings, Vol. II, Russe, ISBN 954-90272-2-8, 1997.
- [10] Jovanović, Z., Basara, B.: The structure of intake flow in 4-valve engines, p. 4, YUMV 010022, 2001.

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

## **EKSPLOZIVI NA BAZI OKTOGENA I POLIMERNIH MATERIJALA (FLEGMATIZATORA)**

UDC: 662.215.4/.5 : 66.022.3

### *Rezime:*

*U radu su prikazani različiti tehnološki postupci flegmatizacije, koji zavise od primenjenog flegmatizatora, kao i način flegmatizacije voskovima i polimerima. Dati su sastavi oktogena sa različitim polimerima kao flegmatizatorima, i prikazane su njihove brzine detonacije.*

*Ključne reči: oktogen, flegmatizatori, voskovi, polimeri, postupci flegmatizacije, brzine detonacije.*

---

## **EXPLOSIVES BASED ON OCTOGENE AND POLYMER MATERIALS (BONDING AGENTS)**

### *Summary:*

*In this paper different processes of coating high explosives HMX with different polymer materials are given. A process of coating depends on used polymers and waxes. Some formulations are presented, based on HMX and bonding agents (polymers and waxes) and their effects on detonation velocity.*

*Key words: octogene, bonding agents, waxes, polymers process of coating, detonation velocity.*

---

### **Uvod**

Jedan od osnovnih zahteva koje eksplozivi moraju da ispune jeste da su dovoljno bezbedni za čuvanje, transport i rukovanje. Da bi se reakcije eksplozivnog procesa inicirale, eksplozivu treba prethodno saopštiti minimalnu energiju, odnosno određeni minimalni impuls, koji je dovoljan za otpočinjanje procesa hemijske reakcije razlaganja – eksplozije.

Većina čistih eksploziva, koji se koriste kao konvencionalni, jesu kristalna jedinjenja. Kako je njihova osetljivost na mehaničke uticaje, udar i trenje velika, u naknadnoj tehnološkoj preradi dodaju

im se flegmatizatori koji smanjuju njihovu osetljivost, ali ne umanjuju bitno krajnja dejstva.

Ciklični nitramini, u koje spada oktogen, jesu eksplozivi velike snage i velike osetljivosti na mehaničke uticaje, tako da se mogu primeniti jedino kada im se doda neki inertni materijal, flegmatizator, koji im smanjuje osetljivost na udar i trenje [1]. Tehnološka operacija koja omogućuje uvođenje nekog inertnog agensa u eksploziv, tako što će prekriti njegove granule da bi se onemogućio njihov međusobni kontakt, naziva se flegmatizacijom. U ovom radu prikazani su najčešće primenjivani tehnološki postupci flegma-

tizacije oktogena kao i proizvodi – flegmatizovani oktogen, odnosno eksplozivni sastavi na bazi oktogena i polimernih agensa [2].

### Flegmatizacija oktogena

Flegmatizacija je operacija obrade eksploziva, koja se sprovodi radi smanjenja osetljivosti na mehaničke uticaje i bezbednije manipulacije, što se, pre svega, odnosi na mogućnost oblikovanja presovanjem.

Tehnološki postupak flegmatizacije primenjuje se kada je kristalni eksploziv (oktogen, heksogen, pentrit i u novije vreme, CL-20 [3], ANTA [4] i keto-RDX [5]) izašao sa linije sinteze i kristalizacije. Postupci flegmatizacije zasnivaju se na postupku mikrokapsulacije.

Od flegmatizatora se zahteva da se uz minimalnu količinu obezbedi dobro prekrivanje eksploziva, velika gustina punjenja i bezbedna manipulacija. Presovanje kristalnog eksploziva bez flegmatizatora je riskantno, te se primenjuje samo u specijalnim slučajevima, uz veliku predostrožnost. Takav otpresak, i pored velikog rizika pri presovanju, veoma je porozan.

Visokobrizantni eksplozivi, u koje spada i oktogen, flegmatizuju se voskovima ili polimerima, čiji je sadržaj ispod 10%. Ovakvi eksplozivi su u granulisanom obliku i presuju se ili direktno u košuljice bojnih glava ili u posebno profilisanim alatima iz kojih se montiraju u bojne glave.

Polimeri se, s obzirom na svoju visoku temperaturu topljenja, koriste u eksplozivnim sastavima koji se izlažu povišenim radnim temperaturama.

### Postupci flegmatizacije

Postupak flegmatizacije zasniva se na operaciji mikrokapsulacije, što podrazumeva prekrivanje granula eksploziva flegmatizatorom, koji je najčešće neki inertan agens, vosak ili polimerni materijal. Tehnološki postupak koji se primenjuje u toku flegmatizacije zavisi od vrste flegmatizatora, što je bitno s obzirom na njihove različite temperature topljenja.

Ukoliko je flegmatizator vosak, čija je temperatura topljenja ispod 100°C, flegmatizacija se obavlja iz vruće vodene suspenzije eksploziva, zagrejane do 95°C u kojoj se pogodnim mešanjem rastopljeni vosak raspoređuje po sistemu i, uz definisan postupak hlađenja i uz neprekidno mešanje, postiže se prekrivanje granula oktogena voskom. Ovaj postupak je najjednostavniji, ali se ređe primenjuje za oktogen (uglavnom se koristi za flegmatizaciju heksogena i pentrita), s obzirom na to da je to eksploziv visoke temperature topljenja (278,5 do 280,0°C), a primenjuje se u municiji koja je izložena posebnim termičkim naprezanjima.

Pored tehnološkog postupka u kojem se koristi *rastopljen* flegmatizator u zagrejanom vodenoj suspenziji eksploziva, koriste se i tehnološki postupci flegmatizacije kada je flegmatizator *emulgovan*, *rastvoren* ili u vidu *monomera* [6].

Emulgovanje flegmatizatora primenjuje se u slučaju kada je flegmatizator neki polietilenski vosak koji je teško rastvoran, i čija je temperatura topljenja iznad 100°C. Emulzija voska koja se priprema na poseban način, uz dodatak alkalnog emulgatora (pH oko 9), dodaje se u zagrejanu vodenu suspenziju eksploziva. Kada se emulzija voska, koja sadrži baznu komponentu, doda u vodenu su-

spenziju eksploziva (pH sredine je oko 9), i u takvoj sredini emulzija voska je veoma stabilna. Do destabilizacije sredine i do izdvajanja voska na granulama eksploziva dolazi promenom pH sredine od bazne do slabo kisele, čime se vrši flegmatizacija. Ovaj postupak se koristi za flegmatizaciju oktogena sa sadržajem flegmatizatora od 5 do 10% po masi oktogena.

Najčešće se koristi postupak flegmatizacije oktogena kad je flegmatizator polimer čija je temperatura topljenja iznad 100°C. Postupak se sastoji u tome da se polimeri rastvaraju u pogodnom rastvaraču koji može da bude polaran ili nepolaran, što zavisi od vrste polimera koji se primenjuje.

Ukoliko je rastvarač nepolaran, on se ne meša sa vodom, kao ni rastvor polimera, a flegmatizacija oktogena može da se izvrši na dva načina.

Pri prvom načinu rastvor polimera dodaje se u pripremljenu vodenu suspenziju eksploziva. Sistem za flegmatizaciju u tom slučaju sadrži dve tečnosti koje se ne mešaju – vodu i rastvarač. Izdvajanje polimera iz rastvarača i njegovo nanošenje na granule eksploziva obavlja se dodavanjem određene tečnosti – nerastvarača za polimer, koja je kapilarno aktivna komponenta, pospešuje mešanje vode i rastvarača, a samim tim i nanošenje polimera na granule eksploziva.

Pri drugom načinu flegmatizacije rastvarač polimera se iz sistema za flegmatizaciju uklanja destilacijom pod smanjenim pritiskom, pri čemu se polimer izdvaja iz rastvora i nanosi na granule eksploziva. Ovaj način flegmatizacije najčešće je primenjivan, bez obzira na to da li je rastvarač polimera polaran ili ne. Destilacija rastvarača polimera iz sistema pod smanjenim pritiskom može da se vrši iz vodene suspenzije eksploziva kojoj je

dodat rastvor polimera ili iz suspenzije eksploziva i rastvarača polimera, ukoliko je sistem bezbedan za rad, što znači da rastvarač nije lako zapaljiv.

Ova dva postupka flegmatizacije omogućuju dobijanje flegmatizovanog eksploziva različitog granulometrijskog sastava i različite osetljivosti na mehanička dejstva. Prvi postupak obezbeđuje ujednačeniji granulometrijski sastav, bez velikih aglomerata, a drugi pospešuje stvaranje aglomerata. Ovaj postupak može da se primeni na flegmatizaciju eksploziva sa sitnijom granulacijom, jer se formiraju krupnije granule, a nestaje sitna frakcija čestica. Međutim, ovakav eksploziv se teže presuje [7].

Kada se flegmatizator nalazi u vidu monomera postupak flegmatizacije se vrši tako što dolazi do polimerizacije monomera u samom sistemu za flegmatizaciju i do izdvajanja nastalog polimera na granulama eksploziva. Ovaj postupak je izuzetno složen, jer je potrebno da se obezbede svi parametri neophodni pri polimerizaciji – pritisak, temperatura, prisustvo nekog katalizatora. Primenjuje se u slučajevima kad se od flegmatizovanog eksploziva zahtevaju određene karakteristike za određene namene (svemirska istraživanja).

Svaki od navedenih postupaka flegmatizacije daje, kao proizvod, granulirane eksplozive sa određenim karakteristikama, neophodnim za njihovu primenu presovanjem. Koji će se postupak flegmatizacije primeniti zavisi od odabranog flegmatizatora – voska (prirodnog ili sanitetskog) i polimera, a u funkciji krajnje primene flegmatizovanog eksploziva.

### **Kvalitet flegmatizovanog oktogena**

Flegmatizovani eksploziv – oktogen jeste granulirani proizvod koji se prime-



njuje za presovana eksplozivna punjenja različitih kalibara municije. Uglavnom se koristi za kumulativnu municiju, zbog visokih detonacionih karakteristika i mogućnosti da se presuje u tačno definisane dimenzije.

Pre nego što se primeni, svaki nov sastav flegmatizovanog oktogena mora da ima definisane karakteristike [6]: sadržaj flegmatizatora, granulometrijski sastav, nasipnu masu, osetljivost na mehaničke uticaje, kompresibilnost i brzinu detonacije. Pored ovih karakteristika, flegmatizovani oktogen mora da zadovolji i zahtev za dobru pokretljivost (tečljivost) granula, kako bi se bez teškoća mogao sipati u alat za presovanje. Takođe, veoma je bitno da tokom flegmatizacije ne dođe do stvaranja velikih granula (prečnika iznad 1000 mikrometara) – aglomerata sitnih granula eksploziva i flegmatizatora. U unutrašnjosti ovakvih granula najčešće postoje šupljine sa zarođenim vazduhom, koje se u uslovima presovanja mogu ponašati kao vruće tačke i mogu da izazovu inicijaciju detonacije u alatu za presovanje. S obzirom na to da se flegmatizovani oktogen koristi u presovanom stanju, mora da se izbegnu bilo kakve nepravilnosti u strukturi granulisanog proizvoda, kako ne bi došlo do neželjenih efekata. Operacija presovanja spada u veoma rizične operacije obrade eksploziva, pa se posebna pažnja mora posvetiti kvalitetu flegmatizovanog granulisanog eksploziva – oktogena.

Granulometrijski sastav flegmatizovanog oktogena treba da obezbedi što veću nasipnu masu i da ne sadrži frekvenciju prečnika granula ispod 100 mikrometara [7]. Ova frekvencija se, uglavnom, sastoji ili od neflegmatizovanih čestica eksploziva ili od čistog flegmatizatora i ometa presovanje tako što se zaglavljuje

između klipa i zida alata za presovanje, dolazi do lepljenja, otežava se izbijanje gotovog otpreska iz alata, što je u takvim uslovima veoma rizično.

Krajnje karakteristike flegmatizovanog eksploziva zavise ne samo od primenjenog flegmatizatora (vosak ili polimer) već i od tehnološkog postupka flegmatizacije.

Različiti flegmatizatori imaju različit učinak flegmatizacije, koji zavisi ne samo od vrste flegmatizatora već i od masenog udela flegmatizatora. Zbog toga je kontrola sadržaja flegmatizatora u flegmatizovanom eksplozivu, oktogenu, neophodna i veoma stroga. Uspešnost flegmatizacije se, pored ovog načina, potvrđuje i merenjem stepena prekrivenosti granula oktogena flegmatizatorom [1]. Sadržaj flegmatizatora u eksplozivu propisuje se posle opsežnih ispitivanja, a u funkciji njegove primene.

### **Flegmatizovani sastavi na bazi oktogena**

Oktogen spada u eksplozive čija je temperatura topljenja visoka, tako da temperatura topljenja primenjenih flegmatizatora mora da bude iznad 100°C.

Najčešće korišćeni flegmatizatori oktogena su sledeći polimeri i voskovi: viton-A, estan, ekson, najlon, teflon, Kelf i polietilenski voskovi [2]. Pored toga, u flegmatizovane sastave često se dodaju i neki drugi sastojci, koji povećavaju unutrašnju energiju eksploziva [8]. To su, uglavnom, fluorovani nitroformali tečni eksplozivi i njihove smeše, kao i razni plastifikatori, koji su neophodni ukoliko je primenjeni polimer krt. U tabeli 1 prikazani su flegmatizovani sastavi na bazi oktogena i polimernih materijala, sa brzinama detonacije za svaki sastav [2].

Flegmatizovani sastavi na bazi oktogena

Eksploziv	Drugi naziv	Sastav (%)	Boja	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
LX-04-1	PBXV-85-15	HMX 85 Viton A 15	žuta	1,86	8460
LX-07-2	RX-04-BA	HMX 90 Viton A 10	narandžasta	1,865	8640
LX-09-0	RX-09-CB	HMX 93 pDNPA 4,6 FEFO 2,4	ružičasta	1,837	8810
LX-09-1	-	HMX 93,3 pDNPA 4,4 FEFO 2,3	ružičasta	1,84	8810
LX-10-0	RX-04-DE	HMX 95 Viton A 5	bledo plavo- zeleno	1,86	8020
LX-11-0	RX-04-PI	HMX 80 Viton A 20	bela	1,87	8320
LX-14-0	RX-04-EQ	HMX 95,5 Estan 5702 4,5	ljubičasta	1,835	8830
PBX-9011	X-0008	HMX 90 Estan 5703 10	sivobela	1,77	8500
PBX-9404	PBX-9404-03	HMX 94,0 NC (12% N) 3,0 CEF 3,0	bela ili plava	1,84	8800
PBX-9501	X-0242	HMX 95,0 Estan 2,5 BDNPA-F 2,5	bela	1,84	8850

\* Viton - heksafluoropropilen/vinilidifluorid 1 : 2, estan - poliuretan, FEFO - bis(2-fluor 2,2-dinitroetil)formal, NC - nitroceluloza, pDNPA - bis(2,2-dinitropropil)acetal, CEF - trihloretilfosfat (plastifikatori), estan - poliuretanehtar.

Iz tabele 1 vidi se da su sve brzine detonacije flegmatizovanog oktogena velike, a da su gustine punjenja uglavnom preko 1,80 g/cm<sup>3</sup>, sa izuzetkom PBX-9011, čija je gustina 1,77 g/cm<sup>3</sup>, ali brzina detonacije je 8500 m/s. To je veća brzina detonacije nego ona za sastav LX-10-0, 8020 m/s, i za gustinu 1,86 g/cm<sup>3</sup>. Razlog ovoj naizgled nelogičnosti jeste priroda flegmatizatora i poroznost punjenja.

Svi sastavi prikazani u tabeli 1 mogu da se presuju u toplom stanju, zagrejeni u specijalnim komorama blizu temperature topljenja polimera. Kako su temperature topljenja primenjenih polimera iznad 100°C, uzorci flegmatizovanog oktogena se zagrevaju na 85 do 90°C, što

umnogome olakšava presovanje i omogućuje postizanje velikih gustina punjenja, a samim tim i brzina detonacije. Ovako presovan eksploziv ima veliku gustinu (iznad 1,80 g/cm<sup>3</sup>) i izuzetno dobre mehaničke karakteristike, što je značajno za kumulativna punjenja municije velikih kalibara, koja trpe znatna opterećenja pri eksploataciji.

Kompatibilnost primenjenih flegmatizatora i oktogena mora da bude zadovoljavajuća, odnosno ne sme da dođe do pojave gasova pri probi grejanja. U našim uslovima oktogen se flegmatizuje sa više različitih polimera, od kojih su najznačajniji: polikarbonat [9], polistiren [10] i poliamid [11].

Tabela 2

Brzine detonacije oktogena flegmatizovanog polimerima u našim uslovima

Sastav flegmatizovanog eksploziva (%)	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )	Brzina detonacije (m/s)
HMX 95	1,70	8360
polikarbonat 5	1,75	8460
HMX 95	1,65	8220
Polistiren 5	1,70	8440
HMX 95	1,70	8175
Poliamid 5	1,75	8500

Brzine detonacije za različite sastave oktogena flegmatizovanog navedenim polimerima, prikazane su u tabeli 2.

Brzine detonacije prikazane u tabeli 2 dobijene su merenjem na uzorcima koji su presovani na sobnoj temperaturi i u skladu su sa vrednostima prikazanim u tabeli 1.

Svi prikazani polimeri (tabele 1 i 2), korišćeni kao flegmatizatori oktogena, mogu da se primene za flegmatizaciju i ostalih kristalnih visokobrizantnih eksploziva (heksogena, pentrita), ali pre upotrebe mora da se proveri njihova kompatibilnost metodom grejanja.

Tehnološki postupak flegmatizacije oktogena polimerima, prikazanim u tabelama 1 i 2, zasnovan je na postupku destilacije rastvarača iz rastvora polimera u sistemu za flegmatizaciju ili njegovim uklanjanjem iz sistema za flegmatizaciju korišćenjem nerastvarača polimera, što znatno poskupljuje proizvod i nije ekonomski opravdano da se koriste za eksplozive čija je temperatura topljenja niža od temperature topljenja primenjenog polimera.

## Zaključak

Za flegmatizaciju oktogena, koji ima visoku temperaturu topljenja, primenjuju se termostabilni polimeri. Flegmatizacija

oktogene polimerima vrši se po tehnološkom postupku kada je polimer rastvoren i dodat vodenoj suspenziji eksploziva ili suspenziji eksploziva i rastvarača polimera. Polimer se nanosi na granule kristalnog oktogena njegovim izdvajanjem destilacijom rastvarača pod smanjenim pritiskom ili dodavanjem površinski aktivnog agensa koji je ujedno i nerastvarač primenjenog polimera.

Ovakvi sastavi presuju se u toplom stanju na temperaturi bliskoj temperaturi omekšavanja primenjenog polimera. Na taj način postižu se velike gustine presovanog punjenja, koja se odlikuju dobrim mehaničkim karakteristikama, malom poroznošću i velikom brzinom detonacije.

Zbog svojih izuzetnih karakteristika ovi eksplozivi se primenjuju, uglavnom, za kumulativnu municiju različitih kalibara, kao i za neke posebne namene, vezane za svemirska istraživanja.

## Literatura:

- [1] Anđelković-Lukić, M.: Uticaj flegmatizatora na brzinu detonacije oktogena, Vojnotehnički glasnik br. 6, 54-61, 1999.
- [2] Dobratz, B. M.: LLNL Eyplosives Handbook, UCRL 52997, 1981.
- [3] Simpson, R. L.: CL-20 Performance Exceeds of HMX and its Sensitivity is moderate, Propellants, Explosives, pyrotechnics, 22, 249-255, 1997.
- [4] Simpson, R. L.; Pagoria, P. F.: Synthesis, Properties and Performances of the high Explosives ANTA Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 19, 174-179, 1994.
- [5] Mitchel, A. R.; Pagoria, P. F.: Nitroureas 1. Synthesis, Scale-up and Characterization of K-6, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 232-239, 1994.
- [6] Anđelković-Lukić, M.: Prilog proučavanju fizičkih, hemijskih i eksplozivnih karakteristika flegmatizovanog oktogena, doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1994.
- [7] Anđelković-Lukić M.: Uticaj granulacije kristalnog eksploziva oktogena (HMX) na parametre presovanja flegmatizovanog eksploziva, Naučnotehnički pregled, vol XLII, br. 7, 18-22, 1992.
- [8] Anđelković-Lukić M.: Tendencije razvoja brizantnih eksploziva, Vojnotehnički glasnik, br. 6, 681-690; 1998.
- [9] Anđelković-Lukić, M.: Flegmatizacija heksogena polikarbonatom, VTI, Beograd, 1977.
- [10] Anđelković-Lukić, M.: Istraživanje novih flegmatizatora oktogena, VTI, Beograd, 1983.
- [11] Lukić, M.: Flegmatizacija heksogena i oktogena poliamidom, VTI, Beograd, 1975.

**Predrag Stamenković,**  
poručnik, dipl. inž.  
VP 9445/4, Kraljevo

## **MODEL OPERATIVNOG PRAĆENJA STANJA PUTNE MREŽE I KARAKTERISTIKA PUTNIH OBJEKATA**

UDC: 355.691.1.008.5 : 625.711

### *Rezime:*

*Planiranje kretanja jedan je od elemenata planiranja saobraćaja. Važnost planiranja saobraćaja ogleda se u činjenici da uredan saobraćaj na putevima u određenoj zoni obezbeđuje brzo, bezbedno, pouzdano i ekonomično kretanje svih učesnika u saobraćaju, uz najpovoljnije iskorišćenje postojeće putne mreže, raspoloživih saobraćajnih i transportnih sredstava i ljudskog potencijala. Sa vojnog aspekta posmatrano, planiranje vojnog putnog saobraćaja sprovodi se u svim uslovima, u ratu i miru. Posebno važan element procesa planiranja kretanja vojne motorizovane kolone jeste analiza karakteristika putne mreže.*

*Ključne reči: model, putni objekti, vizuelni prikaz, baza podataka.*

---

## **MODEL OF OPERATIVE MONITORING OF HIGHWAY NETWORK CONDITIONS AND HIGHWAY STRUCTURES CHARACTERISTICS**

### *Summary:*

*Vehicular movement planning is one of transportation planning elements. The importance of transportation planning is stressed by the fact that regular transportation on highways in a particular area prondes fast, safe, reliable and economical movement of all participants in transportation, together urth the most suitable exploitation of an existing highway network, available traffic and transport means and personnel potential. From the military point of view, planning of military highway transportation has been carried out under all conditions, at war or during the time of peace. A particularly important element in the procedure of planning of military motorized column formation is the analysis of the highway network characteristics.*

*Key words: model, highway structures, visual presentation, data base.*

---

### **Uvod**

Planiranje vojnog putnog saobraćaja sprovode nadležne komande i organi, a obavlja se za sve potencijalne korisnike putne mreže u skladu sa karakteristikama utvrđenih režima saobraćaja i prioriteta u kretanju. Posebno važan element procesa planiranja kretanja vojne motorizovane kolone jeste analiza karakteristika putne

mreže i utvrđivanje pravca kretanja kolone od polazne tačke do marševskog cilja. Pri tome posebnu pažnju treba posvetiti analizi uticaja putnih objekata na saobraćajne mogućnosti putne mreže, a time i na samo planiranje kretanja, jer su saobraćajne mogućnosti putne mreže i prostorna i vremenska raspodela vojnih motorizovanih kolona na mreži prvenstveno određeni karakteristikama putnih objekata.

U okviru ovog rada pod pojmom putni objekti podrazumevaće se oni elementi putne infrastrukture koji svojim karakteristikama, stanjem i položajem mogu da utiču na kretanje motornih vozila samostalno ili u okviru kolone, kao što su mostovi, propusti, nadvožnjaci, podvožnjaci, tuneli, veliki usponi i padovi, krivine malog poluprečnika i važnije karakteristične raskrsnice.

Pod karakteristikama putnih objekata podrazumevaju se one osobine koje se stvaraju nastajanjem putnih objekata, dok se pod stanjem putnih objekata podrazumeva trenutno stanje usled dejstva spoljašnjih uticaja i mogućnost eksploatacije putnih objekata.

Putni čvorovi mogu se definisati kao mesta na putnoj mreži koja predstavljaju granice putnih deonica, a preko kojih je moguća veza sa drugim putnim deonicama. To mogu biti razni objekti na putnoj mreži, raskrsnice, naseljena mesta, prelazi preko železničke pruge, i dr.

Raskrsnice su mesta na putnoj mreži gde se ukrštaju (seku) ili spajaju najmanje dva puta na mreži. U ovom radu raskrsnice se posmatraju kao putni objekti, jer se samo kao takve mogu razmatrati u funkciji planiranja kretanja. Na planiranje kretanja, raskrsnice utiču kao uska grla, u smislu smanjenja brzine kretanja i propusne moći čitave deonice puta.

Potpuni, pravovremeni, objektivni i ažurni podaci o karakteristikama putne mreže osnovni su preduslov ocene saobraćajnih mogućnosti putne mreže, efikasnog planiranja vojnog putnog saobraćaja i visoke upotrebne vrednosti planskih rešenja i pratećih dokumenata [11].

U ovom radu predložen je model operativnog praćenja karakteristika i stanja putnih objekata sa vizuelnim prikazom, uz razradu pojedinačnih modela

pomoću kojih se ovaj problem rešava. Ovako postavljen model predstavljao bi osnovu za projektovanje informacione podrške, tj. programa za vizuelni prikaz prostornog razmeštaja i karakteristika putnih objekata i određivanje najkraćeg puta na mreži, u nekom od programskih jezika.

### **Model vizuelnog prikaza putnih objekata, čvorova i deonica puta**

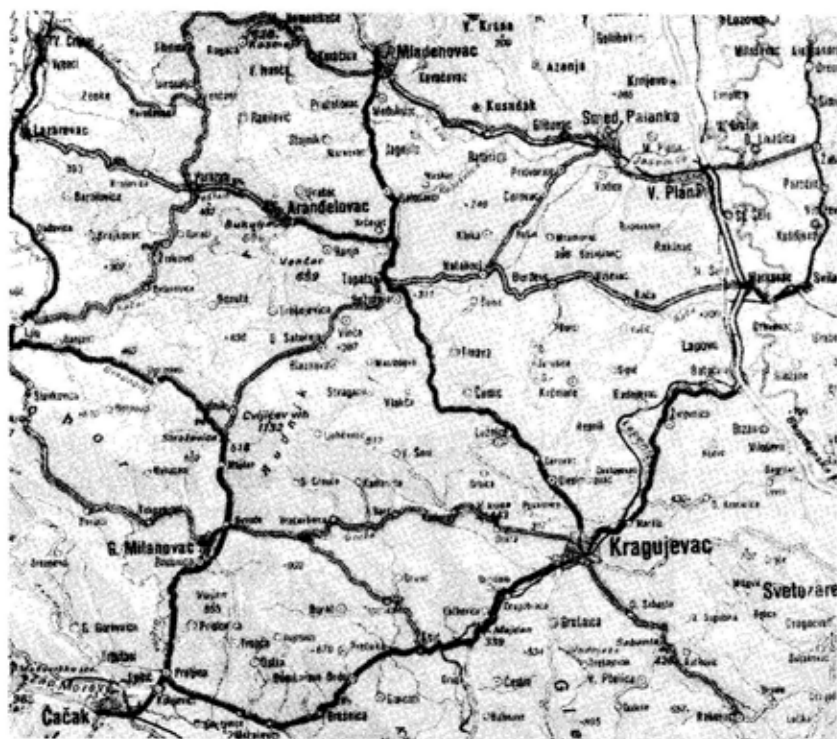
Radi operativnog praćenja karakteristika i stanja putnih objekata, značajno je na računaru vizuelno prikazati putnu mrežu i prostorni razmeštaj putnih objekata na toj mreži. Postoje različiti načini ovakvog vizuelnog prikazivanja. Jedan od tih načina je prikazivanje putnih objekata pomoću simbola (oznaka) postavljenih na odgovarajuću pozadinu.

Kao pozadina vizuelnog prikaza na ekranu uzima se modifikovana skenirana putna karta (slika 1) posmatranog područja, na kojoj je uočljiv određeni deo putne mreže. Na tako modifikovanu putnu kartu unose se simboli za putne objekte, putne čvorove i deonice puta.

Simboli putnih objekata, čvorova i deonica puta predstavljaju, u stvari, određene oznake urađene (nacrtane) u nekom od grafičkih programskih jezika (Micrograph Picture, Corel Draw, MS Paint ili dr.) u više boja.

Značajno je da svaki od tih simbola ima svoju oznaku (ime, naziv), kao na slici 2. Indeks i predstavlja oznaku boje simbola putnog objekta, čvora ili deonice puta i to:

- 1 – bela boja,
- 2 – crvena,
- 3 – žuta,
- 4 – tamnoplava,
- 5 – svetloplava,
- 6 – zelena.



Sl. 1 – Modifikovani deo putne karte

-  – simbol za putni čvor (oznaka  $C_j$ );
-  – simbol za deonicu puta (oznaka  $D_j$ );
-  – simbol za krivinu malog poluprečnika (oznaka  $K_j$ );
-  – simbol za most (oznaka  $M_j$ );
-  – simbol za nadvožnjak – podvožnjak (oznaka  $N_j$ );
-  – simbol za propust (oznaka  $P_j$ );
-  – simbol za raskrnicu (oznaka  $R_j$ );
-  – simbol za tunel (oznaka  $T_j$ );
-  – simbol za veliki uspon (oznaka  $U_j$ ).

Sl. 2 – Simboli putnih objekata

Indeks  $j$  predstavlja redni broj konkretnog putnog objekta, čvora ili deonice puta u bazi podataka.

Simboli se postavljaju na pozadinu na taj način što se na mesto na kojem se nalazi konkretan putni objekat postave svi simboli te grupe putnih objekata kojima je indeks  $j$  jednak rednom broju putnog objekta u bazi podataka, tj. svi simboli (u svim bojama) koji se odnose na konkretni putni objekat, čvor ili deonicu puta. Simboli se postavljaju jedan preko drugog, tako da se u potpunosti poklapaju.

Vizuelno prikazivanje simbola u određenoj boji podrazumeva da su svi simboli posmatranog putnog objekta, čvora ili deonice puta prikazani kao ne-

vidljivi (nisu prikazani) na ekranu, sem simbola u zadatoj boji, koji je na ekranu prikazan kao vidljiv.

Simboli za putne čvorove i deonice puta prikazuju se na pozadini (putnoj karti) kao stalni sadržaj, tj. ne mogu se ukloniti sa ekrana već se samo može promeniti boja kojom su obojeni.

Ovako predstavljen model vizuelnog prikaza putnih objekata, čvorova i deonica puta treba da omogući prikazivanje:

- svih ili pojedinih grupa putnih objekata (po izboru) u izabranoj boji (bela, zelena ili svetloplava);

- putnih objekata koji zadovoljavaju kriterijume ograničenja po njihovim pojedinim karakteristikama u različitoj boji u odnosu na boju ostalih prikazanih objekata;

- putnih objekata koji zadovoljavaju kriterijume ograničenja po njihovim pojedinim karakteristikama, bez prikazivanja ostalih objekata;

- zarušenih putnih objekata za sve ili pojedine grupe putnih objekata po izboru i to isključivo u crvenoj boji;

- putnih čvorova i deonica puta u tamnoplavoj boji, kojima se treba kretati pri određivanju najkraćeg puta ili pri određivanju mogućnosti obilaska putnog objekta.

Zarušeni putni objekti uvek se (pri bilo kom prikazu), kada se nalaze prikazani na ekranu, prikazuju crvenom bojom.

### **Model baze podataka o putnim objektima**

Da bi se mogao vizuelno prikazati skup karakteristika i stanja u kojima se nalaze putni objekti, koji su locirani na putnoj mreži, potrebno je sve podatke o karakteristikama i stanju za svaki poje-

dinačni putni objekat čuvati na jednom mestu.

Podaci se čuvaju u tzv. bazama podataka, koje mogu biti kreirane i organizovane na različite načine. Baze podataka mogu se kreirati u različitim programskim jezicima kao što su: Access, FoxPro, dBase i dr.

Za konkretan zadatak čuvanja podataka o karakteristikama i stanju putnih objekata potrebno je kreirati bazu podataka koja će sadržati sledeće tabele:

- deonice puta;
- mostovi;
- nadvožnjaci – podvožnjaci;
- čvorovi;
- tuneli;
- krivine malog poluprečnika;
- propusti;
- usponi;
- raskrsnice.

U ovim tabelama treba da se nalaze podaci za konkretne putne objekte pojedinačno. Grupe podataka po tabelama predstavljaju skupove podataka o karakteristikama i stanju putnih objekata (tabele 1 do 8).

Svaki od navedenih podataka ima svoje značenje i to:

- redni broj
- označava redni broj konkretnog putnog objekta, čvora ili deonice puta pod kojim

*Tabela 1*

*Grupe podataka u tabeli deonice puta*

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Dužina	Single	-
Širina kolovoza	Single	-
Kolovozni zastor	Text	30
Srednja brzina	Single	-

Tabela 2

Grupe podataka u tabeli krivine malog poluprečnika

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Deonica puta	Text	30
Početna stacionaža	Single	-
Krajnja stacionaža	Single	-
Poluprečnik	Single	-
Mogućnost savlađivanja	Boolean	-
Način savlađivanja	Text	20
Vreme savlađivanja	Single	-
Srednja brzina	Single	-

Tabela 3

Grupe podataka u tabeli mostovi–propusti

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Deonica puta	Text	30
Početna stacionaža	Single	-
Krajnja stacionaža	Single	-
Širina	Single	-
Dužina	Single	-
Nosivost	Single	-
Srednja brzina	Single	-
Zarušenost	Boolean	-

Tabela 4

Grupe podataka u tabeli usponi

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Deonica puta	Text	30
Početna stacionaža	Single	-
Krajnja stacionaža	Single	-
Veličina	Single	-
Dužina	Single	-
Srednja brzina	Single	-

Tabela 5

Grupe podataka u tabeli nadvožnjaci–podvožnjaci

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Širina nadvožnjaka	Single	-
Dužina nadvožnjaka	Single	-
Nosivost nadvožnjaka	Single	-
Brzina na nadvožnjaku	Single	-
Širina podvožnjaka	Single	-
Visina podvožnjaka	Single	-
Brzina na podvožnjaku	Single	-
Zarušenost	Boolean	-

Tabela 6

Grupe podataka u tabeli raskrsnice

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Oblik	Text	30
Broj prilaza	Integer	-
Širina prilaza	Single	-
Svetlosni signal	Boolean	-
Srednja brzina	Single	-

Tabela 7

Grupe podataka u tabeli tuneli

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30
Deonica puta	Text	30
Početna stacionaža	Single	-
Krajnja stacionaža	Single	-
Širina	Single	-
Visina	Single	-
Dužina	Single	-
Srednja brzina	Single	-
Zarušenost	Boolean	-



Tabela 8

## Grupe podataka u tabeli čvorovi

Naziv podatka	Tip podatka	Veličina podatka
Redni broj	Integer	-
Naziv	Text	30

se nalazi u odgovarajućoj tabeli u bazi podataka;

- naziv

- označava ime konkretnog putnog objekta, čvora ili deonice puta;

- deonica puta

- označava deonicu puta na kojoj se nalazi konkretni putni objekat (krivina malog poluprečnika, most, propust, tunel i uspon) na putnoj mreži;

- početna stacionaža

- označava udaljenost konkretnog putnog objekta (krivina malog poluprečnika, most, propust, tunel ili uspon) od početnog čvora deonice puta na kojoj se nalazi, km;

- krajnja stacionaža

- označava udaljenost konkretnog putnog objekta (krivina malog poluprečnika, most, propust, tunel ili uspon) od krajnjeg čvora deonice puta na kojoj se nalazi, km;

- širina

- označava širinu konkretnog putnog objekta (most, propust, tunel, nadvožnjak ili podvožnjak), m;

- visina

- označava visinu konkretnog putnog objekta (tunel, ili podvožnjak), m;

- dužina

- označava dužinu konkretnog putnog objekta (most, propust, tunel, nadvožnjak ili uspon) ili deonice puta, m;

- nosivost

- označava nosivost konkretnog putnog objekta (most, propust ili nadvožnjak), t;

- srednja brzina

- označava srednju brzinu kretanja vozila pri savlađivanju konkretnog putnog objekta (most, propust, tunel, uspon, raskrsnica, krivina malog poluprečnika, nadvožnjak ili podvožnjak) ili deonice puta, km/h;

- poluprečnik

- označava vrednost veličine poluprečnika kod krivina malog poluprečnika, m;

- mogućnost savlađivanja

- označava da li se konkretna krivina malog poluprečnika može ili ne može savladati;

- način savlađivanja

- označava na koji se način savlađuje krivina malog poluprečnika, sa ili bez manevrisanja;

- vreme savlađivanja

- označava vreme za koje se može savladati krivina malog poluprečnika, min;

- širina kolovoza

- označava širinu kolovoza na konkretnoj deonici puta, m;

- kolovozni zastor

- označava vrstu kolovoznog zastora na konkretnoj deonici puta;

- oblik

- označava oblik konkretne raskrsnice („T“, „Y“, krstastog ili dr. oblika);

- broj prilaza

- označava koliki broj prilaza ima konkretna raskrsnica;

- širina prilaza

- označava širinu svih prilaza na konkretnoj raskrsnici, m;

- svetlosni signal

- označava da li je konkretna raskrsnica regulisana svetlosnim saobraćajnim znacima ili nije;

- veličina

- označava vrednost veličine konkretnog uspona, %;

- zarušenost

Kriterijumi ograničenja za putne objekte

Putni objekti	Kriterijumi ograničenja		
	polu-prečnik	–	–
Krivine malog poluprečnika	–	–	–
Mostovi	širina	nosivost	dužina
Nadvožnjaci	nosivost	dužina	–
Podvožnjaci	visina	–	–
Propusti	širina	nosivost	dužina
Raskrsnice	svetlosni signal	–	–
Tuneli	širina	visina	dužina
Uspioni	veličina	–	–

### Model postavljanja ograničenja

U toku planiranja kretanja motornih vozila čija masa ili gabariti prelaze određene norme (specijalna motorna vozila i sl.) ili motornih vozila koja prevoze određene predimenzionirane terete, postavlja se pitanje da li takva motorna vozila mogu da savladaju pojedine putne objekte. Da bi se omogućilo izdvajanje pojedinih putnih objekata koji se ne mogu savladati, iz grupe putnih objekata potrebno je definisati određene kriterijume prema kojima će se vršiti selekcija. Ti kriterijumi su tzv. kriterijumi ograničenja. Kriterijumi ograničenja prema ko-

jima se vrši selekcija putnih objekata dati su u tabeli 9.

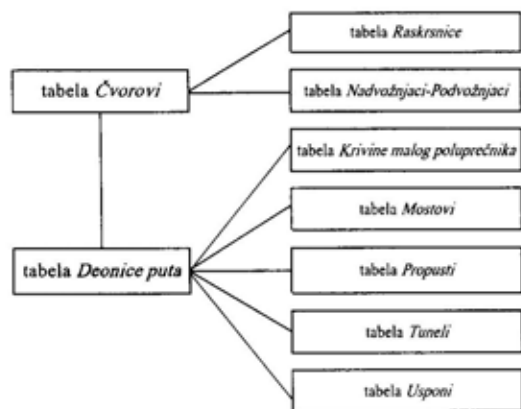
Bliže objašnjenje o svakoj od navedenih grupa podataka pojedinačno dato je u modelu baze podataka o putnim objektima.

Na osnovu vrednosti postavljenog ograničenja pretražuju se podaci u bazi podataka, za konkretnu karakteristiku putnog objekta (kriterijum ograničenja), a iz baze podataka očitavaju se samo oni putni objekti kod kojih je vrednost navedenog kriterijuma *manja* od vrednosti zadate u ograničenju. Na taj način se označeni putni objekti mogu vizuelno prikazati na ekranu prema modelu vizuelnog prikaza putnih objekata, čvorova i deonica puta.

### Model određivanja najkraćeg puta na putnoj mreži

U rešavanju zadataka operativnog planiranja kretanja, izbor najkraćeg puta između čvorova na putnoj mreži je stalan i neizbežan zadatak.

Zadatak određivanja puta na putnoj mreži postavlja se kao zadatak određi-



Sl. 3 – Organizacija veza između tabela sa podacima u bazi podataka

vanja najkraćeg puta. Pri tome se kao najkraći put između dva zadata čvora na putnoj mreži podrazumeva put koji od svih mogućih puteva između ta dva čvora ima najmanju „dužinu“. „Dužina“ puta predstavlja zbir „dužina“ grana koje ga čine. Pod pojmom „dužina“ mogu se podrazumevati različite veličine, kao što su: rastojanje, vreme putovanja, cena, propusna moć, pouzdanost ili neke druge karakteristike koje jednu deonicu, ili put u celini, čine preferentnom u odnosu na drugu deonicu ili drugi put [12].

U okviru ovog rada pod pojmom „dužina“ podrazumevaće se sledeće veličine:

- rastojanje između čvorova, (km);
- vreme putovanja, tj. vreme potrebno za savlađivanje određenog rastojanja, (h).

Zadatak određivanja najkraćeg puta na putnoj mreži može se formulisati na različite načine. Najčešće se formuliše kao zadatak određivanja najkraćeg puta, i to [1]:

- između dva zadata čvora na putnoj mreži;
- između jednog zadatog i svih ostalih čvorova na putnoj mreži;
- između svih čvorova na putnoj mreži.

U ovom radu opisan je *model za određivanje najkraćeg puta između dva zadata čvora na putnoj mreži* [3, 4, 12].

Standardna postavka modela za određivanje najkraćeg puta između dva zadata čvora na putnoj mreži polazi od toga da su čvorovi putne mreže proizvoljno numerisani, počev od  $A_1$  do  $A_n$ , i da je putnoj mreži pridružena matrica  $L$  od  $n \cdot n$  nenegativnih brojeva, tako da  $l_{ij} \geq 0$  predstavlja dužinu grane  $(A_i, A_j)$  i da je, u opštem slučaju  $l_{ij} \neq l_{ji}$ ,  $l_{ji} = 0$ , a  $l_{ij} = \infty$ , ako ne postoji grana  $(A_i, A_j)$ .

Traži se najkraći put između čvorova  $A_i$  i  $A_j$ .

Razvijeno je više metoda i modela određivanja najkraćeg puta na putnoj mreži. U principu svi modeli se mogu svrstati u dve grupe. Prvu grupu čine tzv. modeli konstruisanja „minimalnog stabla“, a druga grupa su matricni algoritmi [3].

Analiza pokazuje da su za velike mreže i mreže sa velikim brojem karakteristika grana pogodniji *modeli konstruisanja „minimalnog stabla“*. Kod njih se model putne mreže uzima što adekvatnije stvarnoj putnoj mreži i pri proračunima se razmatraju samo one veze koje stvarno postoje između čvorova. Najjednostavniji način zapisivanja stabla najkraćih puteva sastoji se u pamćenju „prethodnika“. „Prethodnik“ je, u stvari, prethodni čvor u stablu najkraćih puteva ili čvor iz kojeg se u određeni čvor dolazi najkraćim putem [4].

Jedan od računski najefikasnijih modela za određivanje najkraćeg puta od jednog zadatog čvora  $A_r$  do drugog zadatog čvora  $A_s$ , ili do svih ostalih čvorova na putnoj mreži, kada su svi  $l_{ij} \geq 0$ , jeste tzv. „*model obeležavanja*“ [3]. Suština algoritma je u iterativnom razvijanju najkraćeg stabla od početnog čvora  $A_r$  dodavanjem po jedne grane u svakoj iteraciji, tj. koraku. Čvorovima se iterativno daju obeležja, privremena ili trajna, koja predstavljaju gornje granične vrednosti za najkraća rastojanja od  $A_r$  do  $A_s$ . Privremena obeležja definišu se relacijom:

$$l_j^i = l_r^i + l_{ij}$$

a trajna operacijom

$$l_j^i = \min_{i,j \in S} (l_j^i + l_{ij})$$

gde je  $S$  – skup svih grana koje izlaze iz  $i$ -tog čvora (skup susednih čvorova).

Ova operacija realizuje se na svim čvorovima koji su „aktivni“. „Aktivnim“ čvorom naziva se onaj čvor nad kojim je potrebno realizovati operaciju trajnog obeležavanja.

#### Korak 1

U prvom koraku modela zadaju se indeksi početnog  $r$  i krajnjeg  $s$  čvora na putnoj mreži, između kojih treba odrediti najkraći put. Zatim se svi čvorovi putne mreže „obeležavaju“ privremenim obeležjem  $l_j^i = \infty$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  i sve vrednosti u matrici  $[c_j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , gde se pamte prethodnici i  $[b_j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , gde se označavaju trajno obeleženi čvorovi i postave na nulu (nema prethodnika i nema trajno obeležanih čvorova). Početni čvor  $A_r$  postaje aktivan.

#### Korak 2

U drugom koraku se aktivnom čvoru  $A_i$ , zada trajno obeležje  $l_i^i = 0$  (rastojanje od  $A_i$  do njega samog jednako je nuli), a u matrici  $[b_j]$  se vrednost elementa  $b_i$  zameni jedinicom, kao znakom da je čvor  $A_i$  aktivan, tj. trajno obeležen (ima tekući indeks  $i$ ).

#### Korak 3

U trećem koraku se svim ostalim čvorovima  $A_j$ ,  $j \in S$ , koji su vezani za čvor  $A_i$  (koji su mu susedni) zadaju privremena obeležja  $l_j^i$ , koja se dobijaju kao zbir obeležja čvora  $A_i$  i dužina grana do čvorova koji su mu susedni. Staro privremeno obeležje čvora zamenjuje se novim privremenim obeležjem samo u slučaju da je ono manje od prethodnog. Istovremeno se u matrici  $[c_j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , za svaki čvor kome se menja privremeno obeležje pamti indeks aktivnog čvora ( $i$ ), kao prethodnika (u čvor kome se menja privremeno obeležje dolazi se najkraćim putem iz aktivnog čvora  $A_i$ ).

#### Korak 4

Kada svi susedni čvorovi budu iscrpljeni, proverava se da li je čvor  $A_s$  bio aktivan čvor, tj. da li je  $i = s$ . Ukoliko je ovaj uslov ispunjen, najkraći put od  $A_r$  do  $A_s$  je pronađen i iznosi  $l_s^i$  i prelazi se na korak 6.

#### Korak 5

Ukoliko prethodni uslov nije ispunjen, tj. ako je  $i \neq s$ , određuje se sledeći aktivni čvor, na taj način što se iz podskupa privremeno obeleženih čvorova  $\{l_j^i\}$  za  $b_j \neq 1$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , potraži onaj sa najmanjim  $l_j^i$ . On postaje aktivan i prelazi se na korak 2.

#### Korak 6

Najkraći put od  $A_r$  do  $A_s$  koji je pronađen, i iznosi  $l_s^i$ , izdvaja se očitavanjem indeksa u matrici prethodnika  $[c_j]$ . Očitavanje se vrši unazad.

Ovakav način izbora sledećeg aktivnog čvora (korak 5) obezbeđuje da u toku proračuna svaki čvor putne mreže bude aktivan samo jednom, čime se obim proračuna svodi na minimalnih  $n^2/2$  i  $2n^2$  komparacija, što model čini veoma efikasnim i za putne mreže sa većim brojem čvorova, a posebno ako se proračun obavlja na računaru.

Primer rada „modela obeležavanja“ dat je u literaturi [12].

Najkraći put između dva zadata čvora na putnoj mreži, određen na osnovu ovog modela, vizuelno se prikazuje na putnoj mreži na ekranu, prema modelu vizuelnog prikaza putnih objekata, čvorova i deonica puta.

### Model određivanja mogućnosti obilaska putnih objekata

Pri operativnom planiranju kretanja od velikog značaja za planera je podatak

da li postoji mogućnost obilaska pojedinačnog putnog objekta i kojim se najkraćim putem treba kretati da bi se posmatrani objekat zaobišao.

Problem određivanja mogućnosti obilaska putnih objekata i najkraćeg puta obilaska svodi se na problem određivanja najkraćeg puta između dva zadata čvora na putnoj mreži, čiji je model obrađen, uz određene napomene.

Karakteristike po kojima se model određivanja mogućnosti obilaska razlikuje od modela određivanja najkraćeg puta su:

- pod pojmom „dužina“ puta podrazumeva se samo rastojanje između čvorova (km);

- ne označavaju se čvorovi između kojih se računa najkraći put, već se označava putni objekat za koji se ispituje mogućnost obilaska. Na taj način se posredno označava deonica puta na kojoj se nalazi posmatrani putni objekat. Za čvorove, između kojih se određuje najkraći put, uzimaju se početni i krajnji čvor označene deonice puta;

- označena deonica puta, tj. deonica puta na kojoj se nalazi označeni putni objekat, isključuje se iz daljeg proračuna.

Uzimajući u obzir ove napomene, model omogućava da se odredi najkraći put između dva susedna čvora na putnoj mreži (početnog i krajnjeg čvora deonice puta na kojoj se nalazi označeni putni objekat), a da pri tome ne uzima u razmatranje njihovu neposrednu vezu (deonicu puta čiji su to granični čvorovi), tj. određuje se drugi najkraći put.

Ako ne postoji veza između navedenih čvorova, to znači da ne postoji ni mogućnost obilaska označenog putnog objekta. Ako postoji veza, onda se put obilaska označenog putnog objekta (najkraći put) vizuelno prikazuje na putnoj

mreži na ekranu, na isti način kao i kod modela određivanja najkraćeg puta, prema modelu vizuelnog prikaza putnih objekata, čvorova i deonica puta.

### **Model određivanja propusne moći putnih objekata**

Pored navedenih podataka, koje treba da poseduje onaj koji planira kretanje u procesu operativnog planiranja kretanja, jedan od najznačajnijih podataka jeste i propusna moć pojedinačnih putnih objekata, kao i čitave putne mreže, a radi izbora optimalnog putnog pravca za kretanje korisnika.

Za onoga ko planira kretanje veoma je značajno ne samo da poseduje taj podatak (propusna moć putnog objekta) već i da podatak bude što pristupačniji i dostupniji, tj. da što pre može da dođe do njega u procesu planiranja.

Rešavanje ovog problema bolje dostupnosti navedenog podatka svodi se na to da postoji mogućnost otvaranja odgovarajućeg „prozora“ u samom programu, bez izlaska iz programa, koji bi nakon označavanja konkretnog putnog objekta prikazivao (ispisivao) vrednost propusne moći označenog putnog objekta [10].

Sam proračun propusne moći konkretnog putnog objekta zavisi od vrste posmatranog putnog objekta i od karakteristika tog putnog objekta koje utiču na veličinu njegove propusne moći. Propusna moć za pojedine vrste putnih objekata računa se na osnovu sledećih izraza [7]:

- za most, propust, tunel, uspon, nadvožnjak i podvožnjak:

$$PM = \frac{1000}{l_s} \cdot v_{ob} \text{ (voz/h)}$$

gde je:

$v_{ob}$  – srednja brzina kretanja pri savlađivanju putnog objekta, (km/h);

$l_s$  – srednji prostorni interval sleđenja između vozila u saobraćajnom toku, i iznosi: za vojnu motorizovanu kolonu je  $l_s = 50$  do  $100$  m, a kada je ograničena mogućnost savlađivanja putnog objekta  $l_s = L_{ob}$  (ne važi za propust i podvožnjak).

– za krivinu malog poluprečnika:

$$PM_k = \frac{3600}{t_m} \text{ (voz/h)}$$

gde je

$t_m$  – potrebno vreme za savlađivanje krivine (s);

– za raskrnicu je postupak proračuna propusne moći kompleksan, zavisno od načina na koji je raskrsnica regulisana (ovlašćenim licem, svetlosnim saobraćajnim znacima, vertikalnom signalizacijom ili pravilom „desne strane“), oblika raskrsnice, broja prilaza i sl. Sam postupak proračuna propusne moći raskrsnice za različite slučajeve prikazan je i obrađen u literaturi [7];

– za deonicu puta propusna moć je jednaka vrednosti propusne moći mero-davnog putnog objekta, a to je putni objekat koji ima najmanju propusnu moć.

Sve potrebne vrednosti veličina  $v_{ob}$ ,  $L_{ob}$  i  $t_m$ , neophodne za proračun propusne moći putnih objekata, uzimaju se iz baze podataka.

### **Model ažuriranja podataka o putnim objektima u bazi podataka**

U toku operativnog planiranja kretanja potrebno je da onaj ko vrši planiranje ima neposredni i brzi pristup svim neophodnim podacima o karakteristikama i

stanju putnih objekata koji su mu potrebni.

Kao što je već rečeno, ti podaci su smešteni i čuvaju se u bazi podataka. Međutim, veoma je bitno i to da su ti podaci iz baze podataka verodostojni, tj. da odražavaju stvarno stanje o putnim objektima na terenu. To je od velikog značaja zbog toga što se određeni tipovi podataka menjaju tokom vremena.

Da bi se omogućila što veća verodostojnost postojećih podataka, potrebno je da postoji mogućnost neposrednog pristupa podacima u bazi podataka i mogućnost njihovog ažuriranja (menjanja).

Za rešavanje problema neposrednog ažuriranja podataka u bazi podataka neophodno je da postoji mogućnost otvaranja odgovarajućeg prozora u samom programu, bez izlaska iz programa. Prozor za ažuriranje podataka ne treba da sadrži sve podatke iz baze podataka, tj. ne treba da omogući pristup svim podacima o konkretnom putnom objektu, već samo one tipove podataka koji su podložni promenama tokom vremena.

Grupe podataka o putnim objektima koje je potrebno ažurirati neposrednim pristupom iz programa date su u tabeli 10.

Bliže objašnjenje o svakoj od navedenih grupa podataka pojedinačno dato je u modelu baze podataka o putnim objektima.

### **Zaključak**

U okviru rada razmatrana je problematika uticaja putnih objekata, sa njihovim karakteristikama i stanjem, na saobraćajne mogućnosti putne mreže i planiranje kretanja učesnika u saobraćaju. Značaj ovog problema je utoliko veći ako se posmatra sa vojnog stanovišta, jer se

Tabela 10

Grupe podataka o putnim objektima koje se ažuriraju

Putni objekti	Podaci o putnim objektima		
Deonice puta	srednja brzina	–	–
Krivine malog poluprečnika	srednja brzina	vreme savladivanja	–
Mostovi	nosivost	srednja brzina	zarušenost
Nadvožnjaci	nosivost	srednja brzina	zarušenost
Podvožnjaci	srednja brzina	zarušenost	–
Propusti	nosivost	srednja brzina	zarušenost
Raskrsnice	svetlosni signal	srednja brzina	–
Tuneli	srednja brzina	zarušenost	–
Uspioni	srednja brzina	–	–

njegovim rešavanjem u ratu stvaraju povoljni uslovi za što kvalitetnije izvođenje borbenih dejstava [11].

Na osnovu razmatranja problematike predložen je model operativnog praćenja karakteristika i stanja putnih objekata sa vizuelnim prikazom, uz razradu pojedinačnih modela pomoću kojih se ovaj problem rešava. Predloženi modeli bi, uz odgovarajuću informacionu podršku, omogućili vizuelni prikaz putne mreže određenog posmatranog područja, sa mogućnošću prikazivanja pojedinih grupa putnih objekata (po izboru) i neposrednog vizuelnog prikaza podataka o karakteristikama putnih objekata, koje

su značajne za planiranje kretanja, i njihovo ažuriranje, kao i mogućnost postavljanja određenih ograničenja za putne objekte i prikaz tih objekata.

Takođe, predloženi su i matematički modeli koji omogućavaju određene proračune kao što su:

- proračun propusne moći putnih objekata;

- određivanje najkraćeg puta na mreži;

- proračun mogućnosti obilaska putnih objekata uz određivanje najkraćeg puta obilaska.

Međutim, za potpuno rešavanje problematike planiranja kretanja učesnika u saobraćaju, a pre svega vojnih učesnika, potrebno je ovaj model dalje nadograđivati i usavršavati.

#### Literatura:

- [1] Teodorović, D.: Transportne mreže, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996.
- [2] Steenbrink, P.: Optimization of Transport Networks, John Wiley & Sons Ltd, London, 1974.
- [3] Petrović, R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.
- [4] Kožin, A. P.: Matematičeskie metode v planiraniji i upravleniji gruzovimi avtomobilnimi perevozkami, Visšaja škola, Moskva, 1979.
- [5] Mijušković, V.: Putevi I, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1990.
- [6] Kuzović, Lj.: Teorija saobraćajnog toka, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [7] Kuzović, Lj.: Kapacitet drumskih saobraćajnica, Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
- [8] Radišić, Z.: Višekriterijumsko vrednovanje i izbor putnih pravaca za kretanje vojne motorizovane kolone, magistarski rad, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1987.
- [9] Anđus, V.: Tehničar 5, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [10] Stamenković, P.: Proračun kapaciteta putne mreže, seminarski rad, VTA VJ, Beograd, 1996.
- [11] Radišić, Z.: Planiranje kretanja vojne motorizovane kolone, lekcija, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [12] Mitić, Ž.: Operativno planiranje armijskog transporta u miru, magistarski rad, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1987.

## TENDENCIJE RAZVOJA PASIVNIH I AKTIVNIH MAMACA

### Uvod

Jedan od sadržaja protivielektronske borbe (PEB) jesu protivielektronska dejstva (PED) koja se najčešće svode na elektronsko ometanje i obmanjivanje. Za elektronsko ometanje i obmanjivanje najčešće se koriste pasivni dipoli, infracrveni (IC) ili toplotni mamci, a u poslednje vreme i aktivni mamci. Iako su pasivni dipoli počeli da se primenjuju još u Drugom svetskom ratu, a IC mamci šezdesetih godina prošlog veka, njihov razvoj i upotreba su još veoma aktuelni. U ovom članku dat je kraći opis bitnih karakteristika i tendencija razvoja ovih sredstava i tabelarni pregled najsavremenijih tipova koji se razvijaju u zapadnim zemljama [1]. U tabeli 1 dat je pregled sistema za pasivno ometanje, uključujući i aktivne mamce, a u tabeli 2 podaci za sisteme za njihovo izbacivanje (izbacivači, dispenzeri). S obzirom na to da su podaci iz anglosaksonskih mernih jedinica preračunavani u metrički sistem jedinica, moguće je da se, u odnosu na neke druge izvore podataka, pojave male razlike nastale zbog zaokruživanja vrednosti.

### Pasivne dipolne smetnje

Pasivni (polutalasn) dipoli (chaff) jesu tanke metalne trakice isečene na

polovinu talasne dužine na kojoj radi radar od kojeg se treba zaštititi. Predstavljaju najstariji oblik protivradarskih PED, koji i dalje ostaje jeftino i univerzalno sredstvo u zaštiti ne samo aviona<sup>1</sup> već i brodova, ali i borbenih vozila. Primenom pasivnih dipola može se postići: prikrivanje i maskiranje aktivnosti sopstvenih snaga i sredstava; zbunjivanje protivničkih osmatračkih, akvizicijskih i nišanskih radara stvaranjem lažnih ciljeva; obmanjivanje protivnika stvaranjem lažne predstave o postojanju ili aktivnosti snaga i sredstava; zaštita vlastitih sredstava zavođenjem nišanskog radara da zahvati oblak dipola umesto pravog cilja, na primer aviona, obmanom sistema za samonavođenje, na primer rakete, u završnoj fazi putanje ili aktiviranjem njenog radarskog upaljača. Prema tome, dipoli se najčešće koriste u ulozi mamca ili lažnog cilja.

U početku su paketići takvih unapred isečenih listića, od aluminijumskih folija, ručno izbacivani iz aviona. Listići su se slobodno razilazili pod uticajem vetra i gravitacije, formirajući oblak dipola, od kojeg se refletovala elektromag-

<sup>1</sup> Kao prvi primer primene pasivnih dipola često se navodi 23/24. 07. 1943. godine kada su britanski avioni izbacili više od 40 tona aluminijumskih metalnih folija, odnosno oko 92 miliona dipola, koji su se raspršili i zaslepljivali nemačke radare, što je izazvalo zabunu i omogućilo britanskim avionima da izvrše zadatak uz minimalne gubitke.



Pregled sistema za pasivno ometanje i aktivnih mamaca

Oznaka	Zemlja proizvođač	Plat-forma	Talasni opseg	Trajanje (s)	Način izbacivanja	Masa (kg)	Dimenzije (cm)	Napomena
Pasivni dipoli (chaff)								
DM19	Nemačka	brod	VF	>20	Breda	31,25	175×11,7 d	
Chaff Block	Engleska	letelica	VF	60+	ALE-47	4,5	20,3	poluprov. „pametni“ izbacivač
MEB	Engleska	avion	VF	180 min	bacač	26,9	14,5×12,95 d	modularan
Seagnat 214	Engleska	brod	VF	180	bacač	27	122×12,7 d	Mk 36 izbacivač
LEM 622	Francuska	avion	VF	>20	pirotehnički	0,4	20,3×5,1×2,5	lovci
LEM 728	Francuska	avion	VF	>20	pirotehnički	1,7	37,6×5,5 d	transporteri
RR-129/AL	SAD		E, G, J	>60	pirotehnički	0,23	14,7×3,6 d	ALE-29, 37, 39, 42, 44 i 47
RR-136/AL	SAD		E, G-I	>60	pirotehnički	0,086	19,5×4 d	izbacivač LA-308A
RR-171/AL	SAD		E, G-J	>60 min	mehanički	19		ALE-38, 41
RR-179/AL	SAD		A-L	>60 min	mehanički	19		ALE-43
IC MAMCI (flare)								
DM29	Nemačka	brod	IC	>20	Breda	37	177×11,7 d	
Mk 245 Mod 0	Nemačka	brod	IC	25	SRBOC	16,9	120,65×12,9 d	5 komada u granati
Shield P6	Nemačka	brod	IC	>15	lanser		21,7 d	
Pirate	Engleska	brod	3-5/ 8-14 μm	60 min	bacač	3,83	113×12,9 d	Mk 36
Pw 118 Mk 3	Engleska	avion	IC	3,5	patrona	0,037	20,3×2,5 d	helikopteri i lovci
Pw 218 Mk 3	Engleska	avion	IC	3,5	patrona	0,0077	20,3×2,5 d	
Pw 55 Mk 1	Engleska	avion	IC	3,5	patrona	1,63	37,6×5,6 d	2 izbacivanja kod brzih aviona
Lir 659	Francuska	avion	IC	4	pirotehnički	0,163	15×5,1 d	
Lir 760	Francuska	transp. avion	IC	4,5	pirotehnički	1,5	37,6 × 5,6 d	transporteri
Verdite	Francuska	heli-kopteri	IC	3,5	pirotehnički	0,06	14,5×1,9×5,6	helikopteri
M-206	SAD	-	IC		M-796 lanser	0,036	20,6	M-130, ALE-40, 45, 47
MJU-7/-10	SAD	-	IC		BBU-36	do 0,37	do 25,4×7,4 d	M-130, ALE-40, 45, 47
CD 55 mm Mk 1	Engleska	avion	3-5 μm	4		1,63	37,5×5,6 d	BOZ 107
CC HS2 (MJU 78)	Engleska	avion	3-5 μm	3,5	patrona	0,34	20,3×2,5×5,1	ALE-40, 45, 47
CC HS4 (MJU 10)	Engleska	avion	3-5 μm	3,5	patrona	21,2	20,3×5,1×6,3	F-15, Tornado
CC HS6 (MJU 8A)	Engleska	avion	3-5 μm	3,5	patrona	0,27	15,2×3,5 d	ALE-39, 47 F-14, F-18, Harrier

Oznaka	Zemlja proizvođač	Plat-forma	Taladni opseg	Trajanje (s)	Način izbacivanja	Masa (kg)	Dimenzije (cm)	Napomena
<b>Kombinacija pasivnih dipola i IC mamaca</b>								
Mk 214/216	Engleska	brod	VF-IC	Do 1200	bacaj/raketa	22,675	122×13 d	mamac tipa Seagnat
Baricade MkIII	Engleska	brod	E-J/IC	40	raketa	2	30,5×5,7 d	višeslojni mamci
Super-baricade	Engleska	brod	E-J/IC	40	raketa	11,8	83,8 × 10,2 d	sistem mamaca
<b>Sistemi za zadimljavanje</b>								
IR-Smoke 76/1	Nemačka	kopnena sredstva	IC/vidljivi	zavisno od vetra	po potrebi			
Screening Smoke DM55	Nemačka	kopnena sredstva	IC/vidljivi	45	po potrebi			
<b>Elektrooptički sistemi za ometanje</b>								
Leo 685	Francuska	avion	vidljivi	4	pirotehnički	0,163	15×5,1 d	Miraž/Rafal
<b>Aktivni mamci</b>								
DHL	Engleska	brod	VF	>120	raketa			aktivni mamac
ARIEL	Engleska	avion	VF	kontinualno	vučeni	5		može se ponovo koristiti
SIREN	Engleska	brod	VF	>150	raketa/padobran	27,9	170×15,5 d	
SSQ-95	SAD	brod	VF	>1 sata	slob. pad/ručno	17,23	9,4	aktivni elektronski lansira se sa broda ili iz vazduha
SPIDER	Francuska	avion	VF		standardni izbacivač			
AN/ALE-50	SAD	avion	VF		lanser	2,857	40×6,1 d	
IDECM	SAD	avion	VF		vučeni			optički kabl
SPIDER	Francuska	avion						

Tabela 2

## Pregled izbacivača za pasivne smetnje i aktivne mamce

Oznaka	Zemlja proizvođač	Plat-forma	Taladni opseg	Aktiviranje	Način povezivanja	Kapacitet/ prečnik patrone (cm)	Masa (kg) – dimenzije (cm)	Napomena
<b>Izbacivači za pasivne dipole (chaff)</b>								
AN/ALE-43(V)	SAD	avion	A-M	ručno	–	–	54,8/307×50 d	koristi rezač
AN/ALE-54	SAD	avion	D-L	autom./ručno	veza sa AN/ALE-39/40/47	–	8,8/20×15,5×20	koristi rezač RR194
<b>Izbacivači za pasivne dipole/IC mamce</b>								
BOL	Švedska	avion	VF/IC	sve vrste	–	160/–	11/168×63,5×267	montira se na nosač raketa

Oznaka	Zemlja proizvođač	Plat-forma	Talasi opseg	Aktiviranj	Način povezivanja	Kapacitet/prečnik patrone (cm)	Masa (kg) - dimenzije (cm)	Napomena
AWC1	SAD	avion	-	ručno	C <sup>2</sup>	2-36/ 3-3,5	1-9/ 15-91×22 d	vučeni ili podvesni
RBOC/ RBOCII	SAD	brod	VF/IC	po izboru	ECM/ borb. sistem	24/ 11	125/ 122×41×69	koristi se uz ALEX
Super RBOC	SAD	brod	VF/IC/ akustični	po izboru	ECM/ borb. sistem	24/ 13	204/ 160×46×89	Mk 36
CORAIL	Francuska	avion	VF/IC/EO	sve vrste	-	56-126/ 3,8-6,1	130/ 262	podv. disp. sa 7 magacina
MYRIAD	Francuska	avion/ hel.	VF/IC/EO	sve vrste	sabirnica podataka	8-72/ 1,5-5,8	10/ 27	za Rafal i Miraž, 200 patrona
SAPHIR	Francuska	heli-kopter	VF/IC	sve vrste	-	18-27/ razni	23/ -	može se uklj. sa RWR ili MAW
SPIRALE	Francuska	avion	VF/IC	sve vrste	sabirnica podataka	18-112/ -	77/ -	deo sistema za Miraž 2000
ACMDS	Nemačka	avion/ hel.	-	po izboru	RS-232	960/ standardni	0,5/ 11×5,8×8	u upotrebi više od 1000
Izbacivači za aktivne mamce								
Nulka	Australija	brod	VF	po izboru	borbeni sistem	4 po lanseru/ 12,2	181/ 15×63,5×267	programir. putanja lebdenja
ALEX	SAD	brod	VF/IC/ akustični	po izboru	ECM/borb. sistem	24/ 11 ili 13	-	automatsko izbacivanje
Izbacivači za pasivne dipole/IC mamce/aktivne mamce								
AN/ALE-47	SAD	avion	-	sve vrste	RWR/MWS	-	2,3/ 16,5×17×25	zamena za ALE-40, 39
AN/ALE-47**	SAD	avion/ hel.	VF/IC	sve vrste	avionika	960/ razni	razni/ razni	može se ugraditi u ALQ-131, 184
Ostali izbacivači (tačna namena nije poznata)								
Vicon 78	Engleska	avion/ hel.	VF/ vidljivi	sve vrste	sabirnica podataka	do 720/ 5,5×2,5	3,1/ 23×15×8	za sve vrste smetnji i mamaca
BOP/A	Švedska	avion	-	po izboru	RS-422 link	24-36/ 5,6	31/ 249×15×19,6	*
BOP/B	Švedska	avion	-	po izboru	RS-422 link	12-18/ 5,6	11/ 63×13×22	*
BOP/C	Švedska	avion	-	po izboru	RS-422 link	8-40/ razni	13/ 24×18×29	*
BOZ	Švedska	avion	-	po izboru	link podataka	28-54/ 5,6	249/ 399×38 d	podvesni, nosi 180 lb dipola i IC
ADDS	Izrael	avion/ hel.	-	autom./ ručno	RWR/MWS	240/ 2,5	13,6-45/ 23×15×13	u upotrebi više od 1000
AN/ALQ-213(V)	Nemačka	avion/ hel.	-	sve vrste	sabirnica podataka	-	10,8/ 9,4×13×4,6	deo sistema za upravlj. PEB

\* - sistem nosi IC patrone ili aktivne mamce i prepoznaje vrstu aktivnog tereta (IC patrone ili aktivne mamce)

\*\* - dimenzije, oblik i funkcija kao kod AN/ALE-40, 39

netska energija i tako se stvarao odraz na ekranu radara. Kasnije su razvijene tehnike sečenja, pakovanja i raspršenja (rasejavanja), kao i različite vrste uređaja za izbacivanje.

Primena pirotehničkih sredstava za izbacivanje dipola za zaštitu aviona nije bila adekvatna, jer su se aluminijumske folije gnječile i zaplitala. Pošto nije bilo adekvatnije tehnike izbacivanja, prišlo se promeni materijala za dipole. Tako se u Evropi, kao materijal za dipole, od kraja sedamdesetih godina često koristio posrebrni najlon. Međutim, početkom osamdesetih godina cena srebra je porasla, pa se prešlo na aluminizirano staklo, koje je u međuvremenu razvijeno u SAD, a koje je i sada najviše u upotrebi kao materijal za dipole. Staklena osnova ovakvog dipola je prečnika oko 18–20  $\mu\text{m}$ , sa 2–3  $\mu\text{m}$  debelim slojem 99% čistog aluminijuma, što daje ukupan prečnik dipola oko 25–28  $\mu\text{m}$ . Na gotov materijal za dipolne niti nanosi se premaz koji podmazuje noževe koji seku dipole na odgovarajuću dužinu, čime se sprečava stvaranje oksida na površini dipola i obezbeđuje da se dipoli ne slepljuju, a i brzo rasprše. Iako su vršena istraživanja i sa drugim vrstama materijala, kao što su ugljenična vlakna, niki-cink, premazi i drugi materijali, aluminizirano staklo je ostalo najčešći i najisplativiji materijal za dipole. Osnovno poboljšanje postignuto kod ovog materijala je smanjenje ukupnog prečnika dipola na 20–23  $\mu\text{m}$ , čime je povećan broj dipola u pakovanju iste zapremine.

Međutim, sa primenom radara koji su radili na različitim talasnim dužinama,<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Do glavne promene došlo je šezdesetih godina sa pojavom protivavionskih topova sa radarskim sistemima za upravljanje vatrom i radarski vodenih raketa. Ti nišanski radari koristili su frekvencije kraćih talasnih dužina (opseg 3–9 GHz), što je zahtevalo kraće i tanje dipole. To je dovelo i do promene tehnika izbacivanja.

dipoli isečeni na unapred zadatu talasnu dužinu više nisu bili efikasni, a primena Doplerovih filtera omogućila je da iskusni operater razlikuje sporo pokretni oblak dipola od pravog cilja. Zbog toga su razvijeni tzv. pametni sistemi, na primer AN/ALE-43(V) koji nosi neisečene trake, koje se nakon otkrivanja frekvencije protivničkog radara, u toku leta aviona, seku na odgovarajuću dužinu da bi se postigao maksimalni efekat zaštite.

Efikasnost dipola veoma zavisi od tehnika izbacivanja. Naime, primena dipola zahteva da oblak dipola bude aktivan određeno vreme, na primer, pri stvaranju ekranizirajućeg koridora – desetak minuta, na šta najviše utiču meteorološki uslovi. Zbog toga interval između trenutka izbacivanja i trenutka stvarnog raspršivanja dipola i interval između trenutaka uzastopnih izbacivanja dipola postaje kritičan parametar za efikasnost dipola. Rešavanje ovih problema dovelo je do tri pravca u razvoju tehnika izbacivanja [2]:

– prvi, smanjenje vremenskog intervala između izbacivanja dipola, sa 100–125 ms na 30–50 ms, kod najnovijih „inteligentnih“ sistema izbacivanja. Time je omogućeno da se za kraće vreme izbaci veći broj paketa dipola koji upadaju u jednu rezolucionu ćeliju radara. To je posebno važno kod najnovijih nišanskih radara koji rade na višoj frekvenciji i imaju uži dijagram zračenja, pa je i radarska rezoluciona ćelija manjih dimenzija;

– drugi, razvoj uređaja za izbacivanje dipola, koji su u stanju da izbacuju dipole istovremeno u više tačaka, što obezbeđuje brže širenje dipola na veći prostor unutar rezolucione ćelije;

– treći, smanjenje broja dipola u pakovanju (upola manje u odnosu na ranija pakovanja), bez gubitka na radar-

skoj refleksnoj površini, što omogućava da se udvostruči broj izbačenih paketa.

I kod primene dipola za zaštitu broda važno je da se obezbedi određeno vreme da se dipoli rasprše tako da se postigne maksimum radarskog odraza, što je vrlo važno za uspešno obmanjivanje protivbrodske radarske rakete (PBR). Raniji sistemi izbacivanja dovodili su do rasejavanja na udaljenosti oko 150 m, a noviji na 1500 m od broda. Osnovni zahtev kod savremenih sistema za izbacivanje jeste povezivanje sa sistemom za upravljanje odbranom broda.

U NATO su za mornaricu, na zahtev SAD, standardizovana dva projektila sa pasivnim dipolima: SG 214 (Sea Gnat) i SG 216. Projektil SG 214 je, uglavnom, zasnovan na sistemu Super RBOC (Rapid Blooming Off-board Countermeasure), a koristi standardni lanser Mk 36 [2].

### **IC pasivne smetnje (IC mamci)**

Smatra se da su IC samonavodene rakete glavna opasnost za obaranje aviona još od njihovog uvođenja početkom pedesetih godina.<sup>3</sup> Njima se atakuje i na civilne avione. Za zaštitu od takvih raketa, još od šezdesetih godina koriste se IC mamci (flares). Zadatak IC mamca je da privuku IC raketu jačem IC (toplotnom) izvoru nego što je cilj, na primer avion. Za njihovo izbacivanje najčešće se koriste isti uređaji kao i za dipole, koristeći patrone sličnih oblika i dimenzija.

Glavni deo klasičnog IC mamca je patrona koja predstavlja izvor IC energije. Sastoji se od magnezijuma kao gorivnog elementa, oksidanta kao što je teflon i povezujućeg materijala kao što je viton.

<sup>3</sup> Od 13 aviona oborenih u toku operacije Pustinska oluja 11 je oboreno IC raketama.

Dodaje sa mala količina i drugih materijala radi poboljšanja proizvodnog procesa ili karakteristika. Ovaj tip je poznat pod oznakom MTV (Magnesium-Teflon-Viton). Patrona može da se proizvodi na dva načina: presovanjem u određeni oblik ili utiskivanjem. U opštem slučaju proizvodi se tako da se postigne potpuno sagorevanje odmah po paljenju.

Napori za poboljšanje svih MTV tipova IC mamaca usmereni su na razvoj efikasnijih tehnika proizvodnje ili poboljšanje karakteristika materijala, posebno vršnog intenziteta zračenja i ukupne snage.

Sadašnji MTV IC mamci, čije spektralne osobine odgovaraju spektralnom odrazu platforme koja ih izbacuje, jedino su efikasni u borbi protiv prve generacije IC raketa, kao što su SA-7 (Strela-2M) i prva serija AIM-9. Neke tehnike izbacivanja sadašnjih tipova MTV mamaca mogu biti efikasne i protiv druge generacije IC raketa, koje koriste starije metode razlikovanja ciljeva. Za borbu protiv IC raketa druge i treće generacije potrebni su savremeniji pirotehnički mamci. Naime, savremene glave za samonavodjenje IC raketa druge i treće generacije koriste dvostepene tehnike za razlikovanje IC mamca i pravog cilja, rad u dva spektralna opsega, a novije i računarsku analizu u realnom vremenu. Zbog toga se radi na razvoju savršenijih materijala za IC mamce, kao i tehnika izbacivanja [2].

U poslednje dve decenije u upotrebi su protivbrodske rakete koje, pored radarskog vođenja, u završnoj fazi leta koriste IC samonavodjenje. Zbog toga su, do nedavno, IC mamci koji se koriste za zaštitu brodova bili daleko manje unificirani nego mamci sa pasivnim dipolima, a i manje efikasni. Prvi takvi mamci bili su zasnovani na materijalima i tehnikama

IC mamaca korišćenih u vazduhoplovstvu. Danas su se pojavila dva glavna koncepta zasnovana na Seagnat projektilu 130 mm i lanseru Mk 36, sa progresivnim aktiviranjem sa rastojanjem od broda i plutanjem na površini mora. Smatra se da se ovom kombinacijom mamaca stvara veći prostorni oblak koji daje bolju aproksimaciju IC odraza broda nego što se to postiže jednim mamcem ili sa više mamaca u vazduhu. Takođe, smatra se da je ova tehnika efikasnija protiv poslednjih generacija IC PBR koje za praćenje koriste tehniku slike (imaging). Očekuje se da ova tehnika može biti efikasna i protiv raketa koje nisko lete nad morem i vide samo izvore zračenja koji su visoko [2].

Materijali koji se, u poslednje vreme, u mornarici koriste za IC mamce bitno se razlikuju od onih u vazduhoplovstvu, iako postoje i neke sličnosti. Naime, od IC mamaca za zaštitu broda traži se da deluju deset puta duže i da odražavaju ne samo spektralno zračenje nego i prostornu dimenziju broda – radi pariranja tehnikama prostorne diskriminacije, koje koriste neke IC PBR sa samonavođenjem pomoću tehnike slike [2].

### **Aktivni mamci**

Pored pasivnih dipola i IC mamaca sve više su u upotrebi i aktivni mamci. Aktivni mamac generiše signal koji ima karakteristike kakav bi imao signal koji se reflektuje od cilja (na primer aviona) kada ga prati određena vrsta radara ili jednostavno prima signal od radara, pojačava ga i emituje. Takav signal obično je jači od odraza od cilja, i treba da privuče raketu kao lažni cilj. Osim toga, operator može da izabere tip signala koji će mamac emitovati, odnosno, signal koji odgovara određenoj vrsti cilja koji treba da se

zaštiti, na primer signal koji odgovara reflektovanom signalu od aviona ili broda. Zbog toga su aktivni mamci pogodniji od pasivnih, jer pasivni imaju ograničene mogućnosti za formiranje različite radarske refleksne površine, odnosno imitiranje različitih ciljeva. Mogu da budu za jednokratnu upotrebu (kao što su pasivni dipoli i IC mamci, pa se i izbacuju na sličan način) ili višekratnu upotrebu (obično spadaju u kategoriju vučenih mamaca). Tipični vučeni mamci su aerodinamičkog oblika, vezani za platformu koja ih vuče. U poslednje vreme veza se ostvaruje preko optičkog kabla. Primer je IDECM (Integrated Defensive Electronic Countermeasures) koji je razvila firma Sanders u SAD. Za razliku od mamca koji pojačava i zatim emituje primljeni signal (repetitorski tip mamca), IDECM koristi signalizator radarskog ozračenja (RWR) na avionu koji utvrđuje da li se avion nalazi u snopu radara i informaciju o tome dostavlja generatoru na avionu (koji radi slično ometaču), a on šalje modulisani ometajući signal do mamca preko optičkog kabla koji služi za prenos signala i za vuču mamca. Iako je ovaj sistem u celini složeniji, sam mamac je jednostavniji, jer ima samo predajnik (repetitorski tip ima i prijemnik i predajnik) [3].

### **Zaštita oklopnih borbenih vozila zadimljavanjem**

I pored raznih pokušaja da se nađu što efikasnije mere zaštite oklopnih borbenih vozila, danas je ipak najčešća mera zaštite zadimljavanje u vidljivom i IC opsegu, koje se postiže granatom koja se ispaljuje sa borbenog oklopnog vozila, kao što je to prvi put učinjeno u Drugom svetskom ratu sa tenka. Te granate se,

najčešće, proizvode u tri kalibra: 66, 76 i 81 mm. Granata od 66 mm je standard u SAD i Velikoj Britaniji i čini oko 50% ovih sredstava u svetu. Za zaštitu nekih oklopnih vozila nema dovoljan kapacitet, pa je razvijena varijanta 76 mm, koja se lansira iz istog uređaja kao i granata od 66 mm, ali je većeg kapaciteta i može se povezivati sa digitalnim uređajima. Ovaj tip sada čini oko 40% granata za zadimljavanje u svetu. Granata od 81 mm je francuske proizvodnje i koristi se, uglavnom, na francuskim borbenim oklopnim vozilima [2]. Za zadimljavanje se koristi i artiljerijska granata 155 mm, kojoj to nije osnovna namena, pa se radi na njenom usavršavanju. Takođe, razvija se minobacačka granata velikog kalibra (120 mm) koja bi koristila materijale za „zadimljavanje“ u više spektralnih opsega. Procenjuje se da je nalaženje pravih mera za zaštitu borbenih oklopnih vozila, verovatno, jedan od najvećih problema protiv elektronske zaštite koji čeka na rešenje. Smatra se da su u sadašnje vreme borbeno oklopna vozila veoma ugrožena, jer postoji oko 30 različitih protivtenkovskih sistema.

## Zaključak

Pasivni dipoli i IC mamci i dalje su najjeftiniji i najisplativiji način protiv elektronskih dejstava u odnosu na postignuti efekat zaštite aviona od radarski i IC samonavedenih raketa i sistema za praćenje. To je i najčešće korišćen oblik protiv elektronskih dejstava kada se radi o vojnim avionima. Osim u vazduhoplovstvu, sve više se primenjuju i u zaštitu

brodova, pa i borbenih sredstava na kopnu, kod kojih se koriste i sredstva za zadimljavanje. Mogu da ih nose i koriste skoro sve vrste platformi, od aviona svih tipova, preko bespilotnih letelica, jedrilica, padobrana, balona, do brodova i oklopnih borbenih vozila.

Osnovne tendencije u razvoju pasivnih mamaca ogledaju se u pronalaženju pogodnijih materijala, novih tehnika za njihovo izbacivanje u okolinu štice objekta i boljeg prilagođavanja spektralnim osobinama zračenja štice objekta.

Pasivni dipoli, IC mamci i aktivni mamci mogu se izbacivati na razne načine, a način izbacivanja ima veliki uticaj na njihovu efikasnost. Većina mamaca izbacuje se uređajima sličnim minobacaču ili topu. U razvoju, a i upotrebi nalaze se tzv. pametni izbacivači, a teži se izradi modularnih unificiranih izbacivača dipola i IC mamaca.

Pored pasivnih, sve više su u upotrebi aktivni mamci od kojih se očekuje mnogo, posebno od aktivnih mamaca povezanih optičkim kablovima sa platformom koja ih nosi. Procenjuje se da, za sada, aktivni mamci nisu zamena za pasivne i da ih neće potpuno istisnuti iz upotrebe, već da najbolje rezultate može dati zajednička (kombinovana) upotreba.

## Literatura:

- [1] Herskovitz, D.: A. Sampling of EW Expendables, Journal of Electronic Defense, septembar 1997. Vol. 20, No. 9, str. 52-57.
- [2] Pheasant, V.: Advances in Passive Expandable Countermeasures. Journal of Electronic Defense, maj 1998. str. 41-48, 67.
- [3] Zachary, L.: US Labs Find the Fine Grain for Fighter ESM, Journal of Electronic Defense, septembar 1997. Vol. 20, No. 9, str. 49-51.



## prikazi iz inostranih časopisa

### MODERNIZACIJA ARTILJERIJE\*

Karakteristike višecvnog lansirnog raketnog sistema (VLRS) BM-21 Grad nakon modernizacije suštinski su poboljšane. Vatrene i efikasni dometi povećani su gotovo dva puta zbog uvođenja raketa novog tipa. Postupci za razvijanje vozila BM-21 na vatrenim položajima, njihova priprema za lansiranje i otvaranje vatre potpuno je automatizovana.

Istraživački institut Signal razvio je automatizovani sistem za nišanje i upravljanje vatrom za ovaj VLRS, a koji omogućava:

- razvoj lansirnih vozila i otvaranje vatre sa nepripremljenih položaja;
- početnu orijentaciju lansirnih vozila i određivanje njihovih trenutnih koordinata i azimuta po karti u toku kretanja i na zastancima;
- automatsko usmeravanje lansirnih cevi prema određenim koordinatama cilja, dok se posada pri tome nalazi u kabini;
- samostalnost lansirnih vozila, brzu promenu vatrenih položaja i autonomno kretanje po određenoj zoni;
- grafički prikaz informacija na displej-karti (maršrute, lokacija lansirnog

vozila i odredište, pravac kretanja, lokacija cilja), kao i podataka za navođenje lansirnih cevi.

Rezultat tog razvoja je:

- skraćeno je vreme potrebno za razvijanje lansirnih vozila i njihova priprema za otvaranje vatre sa nepripremljenih položaja za više od pet puta;

- automatizovan je režim prijema podataka o ciljevima od spoljašnjih izviđačkih izvora i sa mesta za upravljanje vatrom, kao i proračun početnih elemenata i zadataka leta (do 5 sekundi);

- posada lansirnog vozila smanjena je na dva člana;

- moguća je autonomna borbena upotreba, manevar kretanja i vatrene moći, automatska koordinacija sa upravnom baterijom u sistemu Kapustnik-B, kao i celodnevna borbena upotreba u svim vremenskim uslovima.

Borbena efikasnost modernizovanih VLRS Grad povećana je za 30 do 50% u zavisnosti od specifičnosti borbenih uslova. Ta poboljšanja ostvarena su, što je značajno, korišćenjem relativno jednostavnih tehničkih sistema. Postoje univerzalni i prikladni sistemi za modernizaciju lansirnih vozila Grad i drugih tipova, kako u Rusiji (Smerč, Uragan), tako i van nje.

Modularna izrada uređaja za automatsko vođenje i sistema za upravljanje

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



vatrom omogućava modernizaciju VLRS neposredno u terenskim uslovima, uz relativno nisku cenu i za najkraće vreme.

Lansirna vozila Smerč, opremljena automatizovanim vođenjem i sistemom za upravljanje vatrom, već su uspešno testirana. Modernizovani sistemi Grad i Smerč prikazani su na međunarodnim izložbama, gde su pobuđivali interes eksperata.

Sistem za automatizovano vođenje i upravljanje vatrom sadrži:

- ugrađeni noutbuk kompjuter;
- samoorijentišući žiroskopski sistem kursa;
- mehanički senzor brzine lansirnog vozila;
- informatički modul komunikacione opreme;
- standardni panel za nišanje, vožnju i upravljanje;
- GPS prijemnik - indikator.

Osnovni element automatizovanog sistema za vođenje i upravljanje vatrom - samoorijentišući žiroskopski sistem kursa - jeste žiroskopski uređaj srednje tačnosti, koji određuje početni azimut i uglove nagiba i elevacije lansirnih cevi. Ti parametri se mere neprekidno. Podaci sa samoorijentišućeg žiroskopskog sistema, kao i sa GPS prijemnika-indikatora i mehaničkog senzora brzine pohranjuju se u ugrađeni kompjuter koji je upravni element sistema za vođenje i upravljanje vatrom.

Kompjuter je namenjen za:

- integrisanu obradu navigacionih podataka i određivanje: sopstvenih koordinata, pravca kretanja, azimuta određene tačke i njene udaljenosti, koordinata ciljeva i njihovih udaljenosti;
- prikaz navigacionih podataka na elektronskoj topografskoj karti u toku kretanja i na vatrenom položaju;

- izmenu informacija sa mestom za upravljanje vatrom i izviđačkim sredstvima, korišćenjem opreme za prenos podataka uz registraciju primljenih komandi i podataka o cilju i oblikovanje odgovarajućeg signala;

- proračun vatrenih zadataka (nišanski uglovi lansirnih cevi) i podataka zadatka leta uz njihov prikaz na ekranu kompjutera;

- upravljanje nišanjem lansirnih cevi preko upravnog panela lansirnog vozila.

Istraživački institut Signal razvio je nekoliko verzija automatizovanih sistema za vođenje i upravljanje vatrom, a to su:

- Uspeh-R, namenjen za VLRS;
- Uspeh-B za vučnu artiljeriju i minobacače;
- Uspeh-S za samohodnu artiljeriju.

Sve tri verzije automatizuju vođenje i upravljanje vatrom sa svim tipovima vatrenih oruđa. Njihova konstrukcija i princip rukovanja su slični jer koriste samoorijentišući žiroskopski sistem kursa kao osnovni merni element. Razlikuju se u komponentama sistema automatskog vođenja i upravljanja u zavisnosti od tipa vatrenog oruđa.

Sistem Uspeh-S namenjen za modernizaciju samohodne haubice Msta-S, opremljen je samoorijentišućim žiroskopskim sistemom kursa, mehaničkim senzorom brzine, indikatorskim uređajem za nišandžiju i punioca, ugrađenim kompjuterom sa modemom, displejom i digitalnim senzorom za elevaciju cevi haubice. To omogućava da se haubica može razviti na proizvoljnom položaju i otvoriti vatru nakon marša za manje od 3 minuta. Potrebno je ne više od 10 do 15 s za otvaranje vatre nakon prijema podataka o položaju cilja.

Tako modernizovana samohodna haubica Msta-S dobija nove kvalitete:

znatno smanjenje vremenskih karakteristika, nezavisnost borbenih dejstava, gađanje sa nepripremljenih položaja nakon marša, povećanje pokretljivosti, manevarskih sposobnosti i opstanka na bojištu, kao i mogućnost promene položaja neposredno posle gađanja i nastavak izvršenja borbenog zadatka, što je posebno važno za vreme kontrabriranja i antiterorističkih operacija.

Uređaji sistema Uspeh-S pomoćice znavljanju samohodnih topova iz šezdesetih i sedamdesetih godina, kao što su Gvozdika, Akacija, Tulipan i Giatsint, i brzo povećanje njihove borbene efikasnosti.

Treba naglasiti da su automatizovani sistemi za vođenje i upravljanje vatrom Uspeh postali okosnica opreme savremenih automatizovanih sistema i za novorazvijena sredstva artiljerije.

Sistem Uspeh je glavni elemenat sistema za upravljanje vatrom i uređaja poljske artiljerije na taktičkom nivou (bataljon– baterija–sredstvo) tipa Kapustnik-B. Njegovo uvođenje u operativnu upotrebu omogućava maksimalnu borbenu efikasnost artiljerijskih oruđa.

Kapustnik-B (na šasiji točkaša) kombinovan sa sistemom Uspeh-R omogućava rešavanje problema relokacije i manevra, organizovanje pripreme i istovremeno otvaranje vatre iz svih tipova VLRS, optimizaciju upravljanja vatrom, koordinaciju borbenih dejstava baterija VLRS i bataljona i planiranje vatre.

Kapustnik-B i sistem Uspeh su modularni sistemi i lakoprilagodljivi novim sistemima i zahtevima.

Upravna vozila Kapustnik-B i vatrene oruđa snabdevena sistemom automatizovanog vođenja i upravljanja vatrom Uspeh mogu se lako koristiti za organizaciju pokretne samostalne baterije

i bataljona koji mogu formirati i veću artiljerijsku jedinicu. Po svojim osnovnim karakteristikama ovi sistemi nisu inferiorni u odnosu na najsavremeniji sistem Atlas i imaju dobru perspektivu.

M. Krbavac



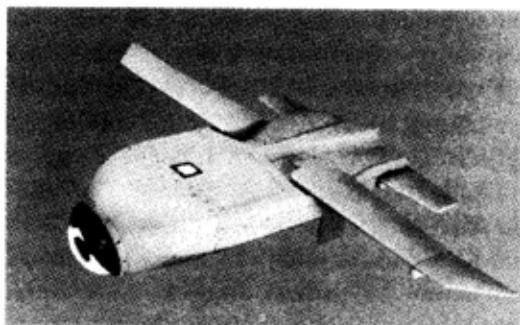
## MINIJATURNE KRSTAREĆE RAKETE\*

Za potrebe ratnog vazduhoplovstva (predviđena je i varijanta za upotrebu iz artiljerijskog sistema KoV – MLRS, kao i u taktičkim balističkim raketama ATACMS) SAD razvija novi minijaturni autonomni sistem krstarećih raketa P-LOCAAS (Powered-Low Cost Autonomous System). Sistem je namenjen za napad na pokretne ciljeve na kopnu (tenkove, borbena i ostala vozila), vatrene položaje raketnih sistema PVO i mobilne raketne sisteme tipa zemlja–zemlja.

Sistem P-LOCAAS se odlikuje malim gabaritima: dužina 80 cm, širina 30 cm, visina 18 cm, masa 40 kg, a raspon krila oko 1 m. Opremljen je najsavremenijom tehnologijom: radarom (laserski) za otkrivanje ciljeva, kombinovanim inercionim i satelitskim sistemom za navigaciju (GPS), višenamenskom bojnom glavom sa eksplozivno oblikovanim penetratorom i malim turboreaktivnim motorom. Zavisno od vrste zadatka P-LOCAAS ima domet od 100 do 160 km.

Pulsirajući nekoherentni radar sa širokim poljem osmatranja dometa 1 km i područja skeniranja širine 750 m, smešten je u nosu letelice i namenjen je za pretraživanje terena, otkrivanje i prepoznavanje ciljeva. Sistem ima ugrađeni senzor

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2000.



Sl. 1 – Minijaturna krstareća raketa P-LOCAAS

koji može ne samo da prepozna vrstu cilja (tenk, kamion i sl.), već i da razlikuje tip vozila (baza podataka sadrži različite ciljeve, od kojih je svaki opisan sa 300 do 500 projekcija). Radar sa sistemom za prepoznavanje bira nišansku tačku, a ujedno služi i kao upaljač (aktivira) bojne glave.

Bojna glava smeštena je u srednjem delu trupa rakete, a na cilj dejstvuje eksplozivno oblikovanim penetratorom na tri načina: kao dugi penetrator (LRM) – za napad na tenkove na bliskom odstojanju, kao stabilni probojni projektil (ASM) – za napad na tenkove na većoj udaljenosti i kao rasprskavajući projektil

(MFM) – za dejstvo na neoklopljene i nezaštićene ciljeve na većoj površini. U sistem je ugrađen i uređaj za samouništenje.

Sistem P-LOCAAS pokreće minijaturni turboreaktivni motor potiska 13,6 kg, koji poseduje komponente komercijalnih motora, što će znatno smanjiti njegovu proizvodnu cenu. Nad bojištem P-LOCAAS će se kretati brzinom od 360 km/h, na visini od 225 m. Dužina trajanja leta (sa 4,5 l goriva) iznosiće oko 30 minuta, za koje vreme će letelica ostvariti dolet od 160 km.

Za navigaciju će P-LOCAAS koristiti inercioni i satelitski sistem navigacije (GPS), a više raketa u letu međusobno će biti povezane pomoću komunikacionog sistema zasnovanom na bazi mobilne telefonije.

Novo oružje američkog ratnog vazduhoplovstva P-LOCAAS upotrebljavaće se na avionima F-16 (16 primeraka), F-15E (20), B-52 (64), B-1 (120) i B-2 (192). Uvođenje u operativnu upotrebu očekuje se 2007. godine, a US Air Force poručio je 12 000 primeraka.

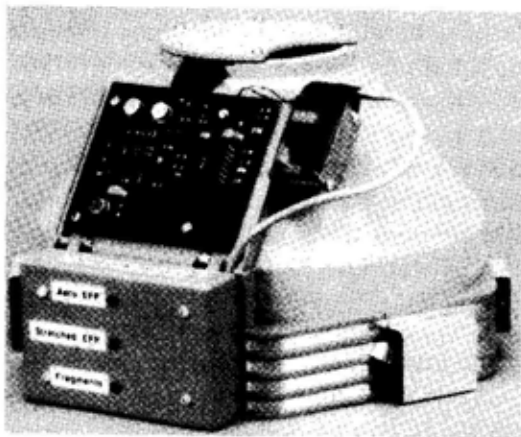
S. Arsić



## PROGRAM BUDUĆEG ORUŽNOG SISTEMA FCS\*

Demonstracioni testovi gađanja budućeg oružnog sistema FCS (Future Combat System) izvršeni su krajem 2000. godine u Unterlusu u Nemačkoj. Tada je kompanija Rheinmetall prikazala svoj glatkocevni top kalibra 105 mm (SBG), koji je, inače, razvijen pre trideset godina. Sistem L51 105 mm, raspoloživ u

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/2000.



Sl. 2 – Bojna glava P-LOCAAS-a

verzijama sa silama trzanja od 20 do 30 t (Rh 105-20/-30), biće ponuđen u varijanti sa čvrstim pogonskim punjenjem kao poboljšano oružje za privremena oklopna vozila (IAV) ili sa elektrotermalnim hemijskim punjenjem, kao solucija za višenamensko oružje prema zahtevima FCS.

Naučni savet američkog KoV je 1999. godine predložio top ETC kao protivtenkovsku varijantu za zahteve FCS, koji bi se uveo u upotrebu tokom 2012. godine (ili ranije). Višenamenska varijanta FCS, treba da obezbeđuje indirektnu i direktnu vatru korišćenjem glatkocevnog topa ETC kalibra 105 mm.

Koncept ARDEC, koji je prikazan juna 2000. godine, udružio je kombinaciju tehnologija glatkocevnog topa sa novom pokretnom komorom i teleskopskom municijom kao i automatskim punjačem.

Očekuje se da će u početku IAV biti opremljen američkim topom M35, koji predstavlja verziju izolucenog topa L7/M68 kalibra 105 mm, koji koristi konvencionalnu municiju. Međutim, pošto je ovaj top povučen iz upotrebe pre više od decenije, postoje određene sumnje u vezi s uslovima čuvanja u američkim skladištima i novom primenom. Takođe, najnovija municija na principu kinetičke energije (KE) (M900 APFSDS sa penetratorom od osiromašenog uranijuma) ima ograničenu sposobnost probojnosti u odnosu na modernizovane verzije tenkova T-55 i T-72.

U odnosu na želje da se na industrijskom nivou što pre postigne konsenzus oko uvođenja u naoružanje prvih primera oružja do 2008. godine, ETC tehnologija se ne može uvesti pre 2015. godine, a kamoli 2012. ili 2008. godine. Saglasno tome, Rheinmetall je nametao svoju kon-

vencionalnu verziju oružja L51 SBG (sa čvrstim gorivom) kao najpogodniji „most“ između IAV i FCS, pogodnu da se nadogradi i modernizuje ETC tehnologijom. Pet prototipova L51 SBG već su raspoloživi, a početak ispitivanja i integracije mogao je početi i fiskalne 2000. godine. Konstrukcija bi trebalo da bude spremna za proizvodnju u toku 2002. godine i uz moguću koprodukciju sa američkom kompanijom Watervliet Arsenal.

Obe varijante topa imaju dužinu komore 5350 mm i dužinu trzanja 500 mm, ali verzija Rh105-20 opremljena je gasnom kočnicom koja smanjuje silu trzanja za 35%. Sklop oružja ima masu 2100 kg, uključujući kolvku male mase, vertikalni zatvarač, hidrauličnu kočnicu (maksimalna sila kočenja 200 kN), pneumatski povratnik i 51-kalibarsku, hladno kovanu i hromiranu cev mase 820 kg.

Međutim, primenom čelika visoke čvrstoće za izradu cevi i zatvarača moguće je smanjiti masu cevi i impuls trzanja, kao i povećati pritisak u komori za više od 1000 bara (od 500 MPa do 630 MPa). To je oko 70 MPa više nego kod britanske varijante topa L7 proizvođača Royal Ordnance, čiji projektil T2 ima energiju na ustima cevi od 8,54 MJ i može da probije homogeni valjani oklop debljine 560 mm na 2000 m.

Kompanija Rheinmetall okončala je razvoj asortimana municije za top L51 SBG, koji uključuje projektele 105 mm sa kinetičkom energijom, vežbovne projektele 105 mm KE, razorne projektele, kao i niz prototipova različitih vrsta. Tehnologija za KE projektele preuzeta je sa najnovijeg projektila DM53 kalibra 120 mm APFSDS koji je u upotrebi u nemačkom KoV-u. On ima penetrator koji je izrađen od legure teškog metala, „volfram IV“, optimizirane u poboljšanom procesu pro-

izvodnje da izdrži najveći nivo fizičkog naprezanja a laki „sabot“ (nosač potkalibarnog projektila) od aluminijuma projektovan je tako da obezbedi malo početno skretanje i veliku tačnost. Početna brzina projektila dostiže 1700 m/s, a navodi se da je penetracija istovetna kao i kod nemačkih projektila D33 od volframa ili američkih M829A1 sa osiromašenim uranijumom (više od 630 mm na 2000 m).

Performanse konvencionalnih KE projektila mogu se poboljšati daljim korišćenjem američke tehnologije proizvodnje sabota od kompozita. Značajno je napomenuti da je u oktobru 2000. godine Rheinmetall potpisao sporazum sa kompanijom Alliant Techsystems (ATK) o razvoju nove generacije municije velikih kalibara za upotrebu na budućim oklopnim vozilima i osnovnim borbenim tenkovima.

Proizvodi koji su specificirani ugovorom su razorna i KE municija 105 mm i 120 mm za glatkocevna oružja. Jedan od ciljeva sporazuma jeste orijentacija prema projektilima 105 mm KE sa tehnologijom kompozitnog sabota koja se koristi u KE projektilu 120 mm M829E3. U narednom periodu očekuje se da dve kompanije saraduju i na razvojnom programu municije za ETC, prenoseći tehnologiju sa nemačko-američkog programa poboljšanog elektrotermalnog topa za buduće vojne sisteme vozila.

Kompanija Rheinmetall W&M već je izvršila uspešna gađanja sa elektrotermalnim topovima kalibra 105 mm i 120 mm. Proračunato je da bi se proizvodnjom elektrotermalnog topa 105 mm ETC mogla obezbediti početna brzina projektila veća za 40% i energija na ustima cevi između 11 i 14 MJ.

V. Radić



## NOVA GENERACIJA AVIO BOMBI\*

Koristeći razvijene istraživačke, tehnološke i proizvodne mogućnosti, visok intelektualni potencijal i sopstvene resurse, rusko državno istraživačko i proizvodno preduzeće Bazalt, razvija nove generacije naoružanja koje se visoko kotira na svetskom tržištu.

Upotreba avijacije u vojnim sukobima protekle dekade pokazala je da će avio bombe ostati značajna komponenta avio naoružanja, i da će čak i široka upotreba vođenog oružja teško umanjiti njihovu ulogu. To se objašnjava njihovim suštinskim prednostima nad drugim tipovima avio naoružanja: mogućnost napada na raznovrsne ciljeve (od žive sile do vojnih industrijskih objekata i oklopnih ciljeva), praktično neograničena upotreba, jednostavnost izrade i korišćenja, relativno mala cena i, što nije nevažno posebno u ratno vreme, široke mogućnosti serijske proizvodnje. Za preko 60 godina postojanja firma Bazalt razvila je i serijski proizvela nekoliko generacija raznih avio bombi: trenutno-fugasnih, trenutno-fugasnih fragmentacionih, za probijanje betona, zapaljivih, protivpodmorničkih, pomoćnih, osvetljavajućih, foto-blic i vežbovnih.

Razvoj kasetnih bombi predstavlja važan korak u povećanju efikasnosti avio bombi. Njihova sposobnost da napadaju razne ciljeve na zemlji znatno je povećana u odnosu na slične avio bombe sa jednodelnim bojnim glavama. U toj klasi naoružanja specijalno mesto zauzima kasetna bomba RBK-500 punjena protivtenkovskom submunicijom SPBE-D sa senzorskim upaljačima, koja se koristi i u sistemima višecevniha bacača raketa Smerč.

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

Princip „opali i zaboravi“ prvi put je potpuno raalizovan na ovom oružju na vrlo visokom nivou.

Radi sprečavanja pojačane vatre i mogućnosti obmane sistema PVO preduzeće razvija municiju „prvi udar“ – lebdeću kasetnu bombu od 500 kg PBK-500U opremljenu jednostavnim inercionim sistemom vođenja i jedinicom za satelitsku navigaciju. Ova bomba može da se koristi po bilo kom vremenu, danju i noću. Napunjena je raznim vrstama submunicije koja se danas koristi za punjenje 500-kilogramskih kasetnih bombi (fragmentacionih, za probijanje betona, zapaljivih, protivoklopnih i sa senzorskim upaljačima). Sva submunicija može se koristiti i za druga sredstva.

Radi povećanja dometa leta pretpostavlja se da će se u doglednoj budućnosti kasetne bombe PBK-500U opremiti motorom velikog potiska, na primer impulsne detonacije, i dopunom punjenja submunicijom pomoćne namene.

Priprema se serijska proizvodnja sistema avio bombi za efikasno dejstvo avijacije u nepovoljnim uslovima PVO. Ona se konceptijski bazira na sledećim rešenjima: svi modeli su 500-kilogramski i modularne konstrukcije; bojne glave ostvaruju višestruke ubojne efekte; svi modeli su univerzalni po parametrima uslova borbene upotrebe i ciljeva koje napadaju; visok stepen unifikacije, uključujući zajedničku upotrebu submunicije.

Sistem sadrži 15 modela: šest avio bombi sa jednodelnim bojnim glavama, zapaljivi rezervoar sa sjedinjenom kasetnom bombom koja, kada je popunjena submunicijom i minicama, proizvodi osam različitih kasetnih modela.

Sledeći koraci za povećanje borbene efikasnosti modela ugrađenih u sistem biće:

– upravljanje funkcionisanjem upaljača i dejstvom municije sa nosača;

– usavršavanje nišanskih i navigacionih sistema na nosaču, radi poboljšanja tačnosti bombardovanja s obzirom na komplikovanu balistiku bombi.

Primena programa za razvoj modularne bombe PBK-500U i racionalnog sistema avio bombi znatno će povećati efikasnost borbenih zadataka aviona za uništavanje svih ciljeva, na svakom ratištu i u različitim uslovima PVO. Takođe, bitno će se smanjiti (za više od tri puta) postojeći broj stavki municijskih sistema, olakšati snabdevanje jedinica municijom, priprema i borbena upotreba municije i pojednostaviti obuka letačkog kadra.

Avio bomba ODAB-500PM, namenjena za uništavanje žive sile i borbene opreme, takođe se usavršava radi povećanja efikasnosti. Međutim, kako je korišćenje te bombe moguće samo iz aviona sa stabilnim krilima i sa ograničenih visina, pristupa se modernizaciji radi otklanjanja ovih ograničenja. Kao rezultat, 2002. godine treba da se pojavi model koji će sačuvati standardnu tačnost, a moći će da se izbacuje iz helikoptera i sa svih visina.

Tehničko i proizvodno iskustvo omogućava razvoj 500-kilogramskih bombi kojima bi se rešavali problemi i pomoglo u eliminisanju posledica tehnoloških i ekoloških katastrofa. Te bombe se pune smešama za gašenje požara i sistemom za disperziju eksplozije radi gašenja šumskih požara visine 4 do 6 metara i prečnika 25 do 30 metara. Vazdušne avio bombe stvaraju zone otporne na vatru prečnika do 50 m i čiste prostor od šipražja, lišća i niskog rastinja. One mogu da sadrže kasete namenjene za isporuku spasilačkih sredstava za ljude na moru ili teško pristupačnom zemljištu.

M. Krbavac



## SABR - NOVA AMERIČKA PUŠKA

Ukoliko bude uspešno realizovana ideja Pentagona o novom oružju „usmerenog dejstva na pojedinca“, američka pešadija će do 2007. godine umesto sadašnje puške M16A2 („crna puška“) dobiti novu, najnovijom računarskom tehnologijom opremljenu pušku SABR (Selectable Assault Battle Rifle) velike razorne moći i sa laserskim usmeravanjem projektila na cilj. Pentagon je od proizvođača, kompanije Alliant Techsystems poručio 47 000 ovih pušaka po ceni od 10 000 dolara po komadu.

Puška SABR sastavljena je od sklapajućih delova, ima dve cevi različitog kalibra koje povezuje jedan okidač, a opremljena je elektronsko-računarskim sistemom za upravljanje vatrom (FCS) čiji su multifunkcionalni mikroprocesori slični onima na računarima tipa Notebook, integrisanim balističkim sistemom Contraves Brashear, koji omogućava detekciju pokretnih i nepokretnih ciljeva danju i noću, laserskim daljinomerom, optičkim i TV nišanom i video-kamerom za praćenje ciljeva.

Odvajajuća (gornja) cev kalibra 20 mm namenjena je za poluautomatsko (pojedinačno ili rafalno) ispaljivanje projektila dužine 92 mm i mase od 141 g, koji eksplodiraju u vazduhu nanoseći smrtonosne povrede neprijateljevim vojnicima koji se nalaze iza drveća, zidova ili drugih čvrstih objekata ili u rovovima na daljini do hiljadu metara.

Iz donje (duže) cevi ispaljuje se NATO municija kalibra 5,56 mm, pojedinačnom ili rafalnom paljbom na daljini do 500 metara.

Sistem za upravljanje vatrom (FCS) pruža tri mogućnosti „komuniciranja“ sa



*Nova američka puška SABR*

ciljem: pomoću optičkog nišana (najjednostavniji i najmanje osetljiv), TV putem (pomoću ugrađene unutrašnje kamere CCD) i pomoću video-kamere za praćenje cilja (veza video signala sa modulom instaliranim u šlemu vojnika).

Sistem za upravljanje vatrom omogućava jednovremeno praćenje više različitih ciljeva, određivanje (i usmeravanje) prioritnog cilja, tačno određivanje daljine do cilja (laserskim putem), proračun balističkih parametara (ugao nagiba oružja, atmosferski uticaj, izbor municije i vrste upaljača i sl.), određivanje najpogodnije nišanske tačke, precizno vreme i mesto aktiviranja upaljača. Masa sistema je 2,3 kg, a smešten je u čvrstu kutiju.

Najveća novina odnosi se na tehnološki potpuno novo rešenje 20-milimetarske municije sa upaljačem koji je smešten u središnjem delu bojne glave (umesto u nosu). Glavna karakteristika te municije jeste da eksplodira u vazduhu, a vreme i mesto eksplozije određuju laserski daljinomer i automatski računar. Prednji i zadnji deo projektila izrađeni su od prefragmentiranog metala različite debljine kako bi se dobio što veći ubojni efekat na cilju. Parčad stvorena eksplozijom u vazduhu ubitačno deluje u krugu prečnika šest metara, a aktiviranje upaljača, zavisno od vrste cilja, obavlja se na četiri načina.

Novu pušku već su testirale neke jedinice američke pešadije, a predstoje detaljna testiranja u ekstremnim uslovima.

S. Arsić



## NOVA KLASA STRELJAČKOG NAORUŽANJA\*

Automati sve više gube značaj u odnosu na automatske puške u vojnim sukobima i operacijama niskog intenziteta. Mnoge vojne snage za specijalne operacije zamenjuju automate mini puškama, tzv. „karabinkama“, što je naziv za kompaktnu pušku veličine automata.

Nedostaci automata jedan su od razloga što neke vojne snage preispituju svoje lično odbrambeno naoružanje. Najveći broj pušaka i karabinki ima municiju kalibra 5,56×45 mm, mada ruske karabinke, kao što je AKS-74U i njeni varijeteti, mogu da koriste ne samo municiju 5,45×39 mm, već i 5,56×45 mm i 7,62×39 mm.

Rusi su, uočavajući opasnost od vojnih sukoba i sukoba niskog intenziteta sačinili brojno kompaktno streljačko naoružanje specijalno konstruisano za borbu sa protivničkim snagama koje poseduju pancirnu zaštitu. Armija SAD je, takođe, uočila takve opasnosti, i ubrzo je počela zamenu automata kao što su Heckler i Koch MP-5 sa karabinima Colt M4 i M4A1. Celokupne združene snage za specijalne zadatke SAD prihvatile su karabine M4 i M4A1, koji se razlikuju po tome što je M4 snažno vatreno oružje, dok je M4A1 pravi selektivni vatreni karabin sa potpunim automatskim mo-



*Puške M16C i M16SP*

gućnostima. FBI (Federal Bureau of Investigation – Federalni istražni biro) i INS (Imigration and Naturalization Service – Služba za imigraciju i useljenje) takođe su prihvatili karabin M4.

Izvesno je da će vojne snage i snage za sukobe niskog intenziteta SAD zameniti gotovo sve automate, pre svega zbog razvoja karabinki koje su znatno kompaktnije od karabina M4, a zadržale su slične balističke karakteristike bez povećavanja gabarita. Nova klasa oružja specijalno je prilagođena za izvršavanje poverljivih zadataka, zaštitu aerodroma, specijalne zadatke i kao lično odbrambeno oružje.

Nove karabinke idealne su za blisku borbu u naseljenim mestima, jer mogu da probiju pancirnu odeću i druge „tvrde“ ciljeve od posebnog značaja.

Uporedo sa trendovima razvoja automata, kao klase oružja, razvijali su se i novi tipovi municije namenjene za nove kratkocevne karabinke. Korišćenjem baruta sa većom brzinom sagorevanja uskoro će municija 5,56×45 mm, biti upotrebljiva i za karabinke.

Nedostaci nekih od vrsta municije su u tome što ne funkcionišu uobičajeno kod pušaka standardne dužine, jer barut potpuno sagori već u prvom delu cevi.

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 12/2000.



Tabela 1

## Taktičko-tehničke karakteristike

	M16SP	M16C
Kalibar	5,56×45 mm	5,56×45 mm
Masa	2,83 kg	2,5 kg
Dužina sa izvučenim kundakom	69,35 cm	64,3 cm
Dužina sa uvučenim kundakom	61,22 cm	56,2 cm
Dužina cevi	21,2 cm	15,2 cm
Nišanski radijus	34,6 cm	N/A
Brzina zrna na ustima cevi, M855	777 m/s	617 m/s
Brzina zrna na ustima cevi, M193	790 m/s	644 m/s
Maksimalni efikasni domet	450 m	251 m
Brzina gađanja	650–700 zrna/min	650–700 zrna/min

Tabela 2

## Uporedni balistički podaci

Vrsta municije	v/U (m/s)	E/U (J)	v/50 (m/s)	E/50 (J)	v/100 (m/s)	E/100 (J)
M16SP M855	777	1213	741	1104	707	1003
M16SP M193	790	1111	749	1000	710	897
M16C M855	617	764	586	691	557	623
M16C M193	644	739	608	660	575	588
M4, M855	883	1570	845	1435	807	1310
9 mm 124G+P	359	521	332	442	311	389

Za vreme dok zrno prolazi otvor za gasove kod puške standardne dužine, pritisak opadne do veličine koja je nedovoljna za potisak zrna.

Takođe, razvijaju se radikalno novi projektili koji će realno eliminisati trenje u cevi, obezbeđujući pri tom nivo brzina projektila i za karabinke sa ekstremno kratkim cevima. Nova municija obezbeđiće ekstremno visoke brzine kod pušaka sa normalnom dužinom cevi (508 mm i više), a i dalje će se raditi na sprečavanju

pregrevanja cevi kod automatskog oružja. Takva municija trebalo bi da bude na raspolaganju za naredne dve do tri godine, i funkcionalna za svo oružje sa municijom 5,56×45 mm. Međutim, standardna municija 5,56 mm nastaviće da se koristi za karabinke, iako joj je balistika nešto lošija.

Opšte je uverenje da se brzina zrna smanjuje oko 60,9 m/s (200 ft/s) za svaki inč (25 mm) skraćanja cevi u odnosu na standardne cevi od 20 inča dužine kod pušaka M16/AR-15.

Brzina i energija zrna karabinke ne počinju znatno opadati do smanjenja dužine cevi ispod 222 mm, a dužina cevi od 152 mm smatra se donjom granicom do koje je moguće koristiti poboljšanu municiju. Proizvedene su i karabinke sa cevima dvostruko dužim od cevi pištolja, ali je brzina zrna ispaljenih iz tog oružja bila tako mala da nisu bile za praktičnu upotrebu.

Vojna proizvodna korporacija M2 (M2 – Military Manufacturing) iz Las Vegasa, Nevada, neosporno je prvi svetski proizvođač karabinki. Njen najnoviji proizvod je izuzetno kompaktna verzija karabina M16. Jedan od aksioma ekstremnokratkocevni karabina tipa M16 bila je njihova nepouzdanost. Za vreme dvogodišnjeg ispitivanja karabinki ove kompanije savladani su i ti nedostaci. Pokazalo se da su one, zbog velike kompaktnosti, postale podjednako pouzdane kao standardni karabini M4 ili M16.

Karabinke su toliko kompaktne da se verzije sa kraćim cevima mogu kompletirati opremom za nošenje ispod gornje odeće.

Najveći nedostatak karabinki je prask-bljesak na ustima cevi. Bljesak na ustima cevi tih malih pušaka je mnogo

veći nego kod pušaka standardne dužine M16. Međutim, to može parcijalno da se ublaži ugradnjom prigušivača bljeska tipa Vortex ili prigušivača zvuka.

Cevi su izrađene originalnim postupkom, pri čemu je tvrdoća, unutrašnja i spoljna, minimalno 70 HRC. Postupak izrade obezbeđuje odličnu otpornost na koroziju i smanjenje trenja u odnosu na hromirane cevi. Ovakve cevi su oko 20 puta otpornije na habanje i koroziju u odnosu na najtvrde hromirane.

Prijemnik municije je impregniran teflonom radi smanjenja trenja i lakšeg čišćenja. Lakši prijemnici od čvrstog aluminijuma za vazduhoplove nisu najjeftiniji, ali su najboljeg kvaliteta. Oni nisu ustupljeni nijednom drugom proizvođaču, čime se obezbeđuje vrhunski kvalitet oružja.

Pozitivna osobina svake ovakve karabinke, bez obzira na dužinu cevi, jeste njena brzina gađanja koja iznosi 650–700 zrna/min. Poboljšana je i efikasnost hlađenja korišćenjem postupka užlebljenja, čime je smanjena i masa cevi. Prednji nišan i gasna kočnica modifikovani su radi povećanja pouzdanosti i pogodnosti upotrebe. Osnova karabinke M16SP ima priključak za remen koji omogućava njeno nošenje preko grudi, tako da ruke strelca ostaju slobodne. Gornji prijemnik M16SP i M16C prilagođen je za optički pribor. M16C nema fiksni prednji nišan, a predviđeno je korišćenje optičkih nišana kao što je Trijicom ACOG. Obe karabinke mogu imati i oslonac za rame.

Maloprodajna cena karabinke M16SP, sa cevi dužine 8,4 inča, iznosi 1277 US dolara.

M. Krbavac



## PROGRAM BUDUĆIH BORBENIH KOMUNIKACIJSKIH SISTEMA\*

Agencija odbrambenih savremenih istraživačkih projekata DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) i Armija SAD izdvojili su 16 nosilaca za razvoj i prikaz najsavremenijih tehnologija, kao deo programa razvoja budućih borbenih komunikacijskih sistema. Oni su jedan od ključnih programa tehnološke podrške u zajedničkom nastupu DARPA – Armija u prikazu budućih borbenih sistema.

Vizije koncepta budućih borbenih sistema zahtevaju komunikacije visokog stepena informatičnosti i male osetljivosti radi podrške upravljanju vatrom u realnom vremenu i zadatke robotike.

Za vreme rada budućih borbenih sistema u elektromagnetnim uslovima neprijatelja njegovi komunikacijski sistemi moraju da budu otporni na ometanje i da se teško otkrivaju.

DARPA planira da ostvari te međusobno suprotstavljene zahteve koristeći višeslojnu, pokretnu, ad-hok mrežu sa usmerenim antenama i niskom frekvencijom. Obezbeđenje mogućnosti brzog slanja velike količine podataka u uslovima izbegavanja ometanja i otkrivanja zahtevaće znatna unapređenja u predajnicima, prijemnicima i tehnologiji usmerenih antena, kao i upotrebi pokretnih, ad-hok umreženih tehnika sa usmerenim antenama.

Programi budućih borbenih komunikacijskih sistema imaju dvostrani pristup. Šesnaest ugovarača će razviti samostalne savremene komunikacijske tehnologije da bi se sistemskom integracijom svih

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 16. maj 2001.

komponenta došlo do komunikacijskog sistema i demonstracije radio-mreže između pokretnih platformi (sa poslugom ili robotizovanih) koristeći pri tom usmerene antene.

Mnogobrojni ugovarači će u prvih šest meseci učestvovati u zajedničkim projektnim zadacima, ali će svaki pojedinačno izabrati delokrug prikaza dela komunikacijske infrastrukture budućih borbena sistema. Prikaz programa je planiran za april 2003. godine.

Jedanaest kompanija primilo je nove ugovore za razvoj savremenih komunikacijskih tehnologija. Svaki je vredan između 350 000 i 1 500 000 dolara za zadatke u prvih 12 meseci. Programom se može odobriti proširenje ugovora za dodatnih 20 meseci, zavisno od početnih rezultata.

*BAE Systems* (Nashua, N. H.) razvija arhitekturu sistema male talasne dužine, radi obezbeđenja kompleta usmerenih antena sa malom verovatnoćom presretanja i ometanja. Rad treba da rezultira jednom ultra širokopojasnom, pokretnom antenom sa određivanjem pozicije, i odgovarajućom integralnom tehnikom nosača. Novorazvijeni upravljački uskopojasni izvor treba da upravlja radio-farom i nultim pozicijama koje ostvaruju antenski uređaji.

Ova firma razvija i širokopojasne antene. Radi na promenljivom prenosu linija i pizeoelektričnom upravljanju radi podrške razvoju kružno polarizovane (38 gigaherca) visoko usmerene antene u nizu. Njihova izrada, koja eliminiše uređaje za individualno upravljanje, zasnovana je na dvodimenzionalnom ekranu i obezbeđuje višestruke pojedinačne prikaze.

*BAE Systems*, takođe, razvija visokoefikasne, širokopojasne predajnike, kao i visokoefikasne (0,1 mikrometra),

metamorfične tranzistore velike elektronske pokretljivosti HEMT (High Electron Mobility Transistors). Snažna mikrotalasna milimetarska integrisana kola koriste HEMT tehnologiju indijum-fosfata na podlozi galijum-arsenida. Ta tehnologija je ključna za narednu generaciju milimetarsko-talasnih predajnika u čvrstom stanju.

*Scalable Network Technology Inc.* (Los Angeles, Kalifornija) razvija visokotlačne, merljive po skali, mrežne simulacije zasnovane na Qual Net alatu koji omogućava detaljno modelovanje svakog nosioca iz skupa komunikacija. Demonstrirana je i ostvarivost simulacija u realnom vremenu mreža sa stotinama radiočvorišta. Oni će razviti pojačane propagandne antenske modele za podršku usmerenog prenošenja i modele kanala sa povećanom efikasnošću.

*Rockwell Collins* (Cedar Rapids, Ajova) razvija arhitekturu pojedinačnog digitalnog prijemnika OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Upotreba multipleksne ortogonalne frekventne podele obezbeđuje višestruke kontrole za nosače u povoljnim uslovima kanala, i višestruke nosače za kontrolu u stresnim uslovima kanala.

*Rockwell Collins* razvija širokopojasni (35 gigaherca) aktivni antenski niz. Taj niz je složen od vodiča talasa sa integrisanim trakastim elektromagnetskim kristalnim fazno pomičnim stenkama. Te površine velike impedanse omogućavaju efikasno, kvazioptičko pojačavanje (npr. 2,5 W pri 35 gigaherca) i upravljanje snopom. Moduli su složeni u jedan niz, radi podizanja snage i pojačanja usmerenosti. Ovi antenski nizovi mogu da rade kao pojačivači snage ili niskošumni pojačivači.

*Raytheon* (Falls Church, Va.) priprema buduće borbene uskopojasne ko-

munikacijske sisteme. Razvijace i demonstrirati pametne, rekonfiguracijske antene, softverski definisani radio i adaptivni vektorski prijemnik OFDM. Razvojni ciljevi za taj 20 do 3000 MHz radio ukljucuje agregat za korekciju greške od 60 decibela i nultu dubinu antene od 30 decibela, kao i L-pojasne antene.

*Raytheon* (Fullerton, Kalifornija) razvija širokopojasne efikasne antene za formiranje snopa. On ce razviti mrežu i protokole upravljanja medijskim pristupom za one koji koriste usmerene antene i čvorne podatke i demonstriraće ad-hok mreže sa usmerenim antenama u simulacionom i prototipskom obliku. Raytheon ce ispitati tehnike za brzo formiranje snopa i mogućnost odricanja od preventivnog održavanja.

*TRW* (Carson, Kalifornija) razvija pokretni, širokopojasni, milimetarsko-talasn radio. Radio je zasnovan na poboljšanjima ka kodiranom radiju višestrukog pristupa, i MMIC predajniku 38 gigaherca. Radio ostvaruje 100 megabajta za sekundu, čistu komunikaciju u ekstremnim uslovima protivnikovog ometanja, malu verovatnoću za presretanje i obmanu.

*BBN* (Cambridge, Mass.) razvija mrežnu tehnologiju nazvanu UDAAN (Utilising Directional Antennas for Ad-hoc Networking – upotreba usmerenih antena za ad-hok mreže). Sistem UDAAN razvica mrežu i protokole medijskog upravljanja, za eksploataciju usmerenih antena radi poboljšanja mrežnih performansi u kapacitetu, tajnosti, snazi i bezbednosti. BBN ce, takođe, razviti i demonstrirati putem simulacije opremu za međusobni rad sa odvojenim modulima.

*Lucent Technologies* (Whippany, N. J.) razvija za buduće borbene komunika-

cijske sisteme opremu BLAST (Bell Labs Layered Space Time Processing) koja ce biti projektovana za obezbeđenje komunikacija visokog stepena informatizovanosti, korišćenjem nelinejskih daljinskih veza u složenim uslovima disperzije iz mesta i pokreta. Radiće se na smanjenju verovatnoće otkrivanja putem smanjenja veličine simbola i korišćenja širokog spektra tehnika, kao i podrške adaptivnog niza prostornog nulovanja za ometače.

*Titan/Atlantic Aerospace Corporation* (Greenbelt, Md.) razvija UHF niz vrlo visoke impedanse. Projektom se predviđa razvoj dva po dva niza širokopojasnih antena u kompaktnom, niskoprofilnom pakovanju. Ta antena ce pokrivati 225 do 450 MHz sa pik efektom od 9 dBi.

*Georgia Institute of Technology Research Institute* (Atlanta, Ga.) određen je za razvoj mikroprekidača filtrirajućih rekonfiguracionih otvora. Institut ce projektovati, proizvesti i testirati pojedinačno punjeni otvor niske frekvencije (800 MHz do 2,5 GHz) koristeći sopstvenu arhitekturu.

*Ball Aerospace* (Broomfield, Colorado) razvija poliamidne mikroelektromehaničke sisteme (PMMS) dvodimenzionalnih antena. U razvoju se koriste aktivna sočiva sa PMMS i upravlja snopom putem fazne manipulacije. Taj pristup smanjuje broj aktivnih komponentata za više od 16, ima nizak profil, male gubitke, lak je i malo košta.

*Motorola* (Scottsdale, Arizona) razvija tehnologije velikog kapaciteta i male verovatnoće otkrivanja, koje ce obezbediti malu verovatnoću otkrivanja komunikacija sa obimom podataka većim od 1 megabajta u sekundi, održavanje granica protiv ometanja na više od 60 decibela otklona od signala uskog pojasa i obradu korisnih signala od 20 do 40 decibela u zavisnosti od razmere podataka.

*Ipitek* (Carlsbad, Kalifornija) razvija jeftino, radio-frekventno lakotalasno kolo (RFLIC), niskofazni milimetarsko-talasni izvor, koristeći 1550 nanometar tehnologiju. Cilj je da se razvije 38 GHz, polimer RFLIC milimetarsko-talasni predajnik, zasnovan na jedinstvenom čipu za obradu optičkog signala.

M. Krbavac



## **VOZILO GMZ-3 ZA BRZO POLAGANJE MINA\***

Polaganje mina jedna je od efikasnih metoda za zaustavljanje napada protivničkih snaga, a posebno njihovih oklopnih jedinica. Pravovremeno postavljeno protivtenkovsko minsko polje može znatno uticati na početak napada neprijatelja.

Za brzo polaganje minskih polja ruska firma Uraltransmaš razvila je gusenično vozilo GMZ-3 za polaganje mina koje je do sada modernizovano nekoliko puta. Vozilo je namenjeno za automatizovano polaganje protivtenkovskih kontaktnih i beskontaktnih mina.

Mine mogu da se ukopaju u zemlju (sneg) ili polože na zemljanu (snežnu) površinu. Na putevima očekivanog približavanja tenkova minska polja mogu da se postavljaju unapred ili neposredno u toku odbijanja napada. Transportuju se u jedinstvenom kontejneru ugrađenom u oklopno telo vozila. U kontejner može da se smesti 208 protivtenkovskih mina.

Potreban razmak između mina, armiranje upaljača, polaganje mina na ili u zemlju i njihovo ukopavanje obezbeđuje

se mehanizmima za disperziju, spoljašnjim konvejerom, plućnim i ukopavajućim sklopovima. Brzina kretanja vozila pri polaganju mina na zemlju je do 16 km/h, pri ukopavanju mina u zemlju prve do treće kategorije je do 6 km/h, a pri polaganju mina u sneg do 10 km/h. Maksimalna dužina jednorednog minskog polja, uz korišćenje kontaktnih i beskontaktnih mina je 1000 m i 2000 m, respektivno. U zavisnosti od situacije posada može regulisati razmak između mina od 5 do 10 m. Debljina ukopanog sloja za zemlju iznosi od 60 do 120 mm (moguće odstupanje je  $\pm 200$  mm), a za sneg do 500 mm. Mogu da se polažu na uzbrdici i kosini sa nagibima do 15°.

Udaljenost na koju se mogu transportovati mine natovarene u vozilo, s njihovim kasnijim polaganjem, iznosi najmanje 300 km.

Prema procenama, vod za polaganje mina sastava tri vozila može uspešno zaustaviti napad tenkovskih jedinica jačine do 50 tenkova razvijenih po frontu od 2,5 do 3 km.

Snažni višegorivni dizel motor obezbeđuje visoke manevarske karakteristike vozila GMZ-3. Visoka specifična snaga motora (13,42 kW/t) omogućava kretanje po dobrom putu brzinom od 63 km/h, dok mu je prosečna brzina po lošijim putevima 30 do 35 km/h.

Akcioni radijus vozila po dobrom putu iznosi do 500 km.

Vozilo je sposobno da savlađuje sledeće prepreke:

- maksimalni uspon do 30°;
- dubina gaza do 1 m;
- širina rova do 2,5 m;
- visina vertikalne prepreke do 0,7 m;
- maksimalni nagib do 25°.

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

Navigaciona oprema GMZ-3 omogućava topografsko merenje zemljišta, stalno generisanje najkraćeg puta do određene tačke u odnosu na čvornu tačku, digitalnu indeksaciju lokacije vozila i brojnih ukopanih mina, što omogućava posadi da precizira minsko polje na topografskoj karti.

Navigaciona oprema uključuje indikator kursa ugrađen u vidno polje vozača, koordinator u vidnom polju komandira, žirokompas, displej kartu i upravljački panel.

Mogućnost brzog polaganja ukopanih i povezanih minskih polja čini GMZ-3 visoko efikasnim vozilom za polaganje mina.

Uređaji noćnog nišana omogućavaju posadi da izvršava premeštanje i polaže mine u bilo koje vreme dana i noći, a filtroventilacioni uređaj obezbeđuje prelaz preko kontaminiranih površina.

Vozilo je naoružano mitraljezom 7,62 mm montiranim na kupolici kojim se daljinski upravlja sa komandirskog mesta u vozilu.

Tročlana posada je smeštena u oklopno telo koje štiti od zrna i parčadi granata.

GMZ-3 je opremljen sistemom za automatsko gašenje požara i grejačem koji obezbeđuje udobne uslove za rad posade pri nižim temperaturama.

Bacač dimnih granata i oprema za zadimljavanje omogućavaju stvaranje dimne zavese. Dozerska oprema montirana na vozilu omogućava kopanje rova za sopstvenu zaštitu.

Ovakve karakteristike vozila GMZ-3 zadovoljavaju zahteve koncepta odbrambene doktrine.

M. Krbavac



## IZVIĐAČKO VOZILO FENNEK 4×4\*

Holandska kompanija Special Products Aerospace and Vehicle Systems (ranije DAF SP) započela je 1993. godine razvoj lakog oklopnog borbenog vozila LATV kao višenamenskog transportera, da bi stupanjem u kooperaciju sa nemačkom firmom KMW (Krauss-Maffei Wegmann) definisala projekat pod nazivom – izviđačko vozilo Fennek 4×4. Prošavši sve faze ispitivanja vozilo je pripremljeno za serijsku proizvodnju. Nemačka armija planira da Fennek zameni starija izviđačka vozila SpäPz Luchs 8×8 sa 164 novih vozila, a holandska armija planira opremanje sa 218 vozila. Za ovo vozilo bila je zainteresovana i belgijska armija (169 vozila), ali definitivna odluka još nije doneta, pošto su konkurenti i druga dva vozila (britanski Alvis Scarab 4×4 i austrijski Steyr-DP Survivor 4×4).

Fennek spada u kategoriju lakih oklopnih izviđačkih vozila (borbena masa oko 11 000 kg), sa posadom od tri člana (komandir, vozač i radiooperater-osmatrač). Visok nivo pokretljivosti vozila (maksimalna brzina po putu 112 km/h, savladavanje uspona od 60%, nagiba od 30% i vodenog gaza do 1 m) i velika autonomija kretanja po putu oko 1000 km, u terenskim uslovima oko 460 km, ostvareni su zahvaljujući šestocilindričnom dizel motoru snage 177 kW, i automatskoj transmisiji sa mehaničkim menjačem. Motor zadovoljava evropske kriterijume o dozvoljenoj emisiji izduvnih gasova, EURO III, a postavljanje motora u zadnji deo vozila smanjuje termalnu emisiju i detekciju vozila.

Izbor pogona obezbeđuje vuču sa dva ili četiri točka. Primenjeni raspored

\* Prema prospektu SP/KMW, FENNEK Reconnaissance Vehicle, IDEX 2001.



*Izviđačko vozilo Fennek 4x4*

prenosnog sistema doprineo je da vozilo bude male visine (1,79 m do krova) i prenos snage do pogonskih točkova zasebnim kardanskim osovinama i konusnim zupčanicima na poluosovine svakog točka. Radijus zaokreta vozila iznosi 13 m. Sistem za centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima olakšava kretanje vozila po raskvašenoj i mekanjoj podlozi.

Posebna pažnja posvećena je ergonomskim uslovima za obavljanje funkcija članova posade uz minimalno naprezanje. Sedišta su tapacirana, nasloni se podešavaju do ležaćeg položaja (za odmaranje), a komandirovo sedište se horizontalno zakreće za  $\pm 45^\circ$  od osnovnog položaja, dok sedište radio-operatera-osmatrača može da se pokreće horizontalno za  $360^\circ$ . Komandir i osmatrač mogu da podižu svoja sedišta elektrouređajem. U slučaju iznenadne opasnosti, mehanizam spušta sedište za par sekundi. Vozač ima vetrobransko staklo i dva bočna prozora, što mu omogućava osmatranje u sektoru od  $180^\circ$ . U noćnim uslovima koristi pasivni sistem osmatranja. Kamera za osmatranje unazad olakšava vozaču manevar vozila pri kretanju u zadnjem hodu.

Između sedišta komandira i osmatrača raspoređen je panel sa komandnom tablom i elementima za osmatranje, orijentaciju i komuniciranje sa pretpostavljenom komandom. Osmatračke uređaje proizvela je firma STN Atlas Elektronik.

Oprema za osmatranje i izviđanje sastoji se od:

- optičke sprave sa TV kamerom (CCD), koja ima mogućnosti zumiranja od  $2^\circ$  do  $20^\circ$  vidnog polja, sa rezolucijom slike od 752(H) i 582(V);

- laserskog daljinomera tipa Nd YAG-RAMAN, bezbednog za oči (talasna dužina 1543 nm), preciznosti merenja  $\pm 5$  m;

- termalne sprave OPHELIOS, II generacije (optimalno III) FPA IRCCD  $96 \times 4$  (talasni opseg 8 do 12  $\mu\text{m}$ ) sa širokim vidnim poljem  $9,4^\circ \times 12,5^\circ$  i uskim vidnim poljem  $2,7^\circ \times 3,6^\circ$ , rezolucijom slike od 756(H)  $\times$  576(V).

Osmatračko-izviđački uređaji smešteni su u glavi senzora na jarbolskom postolju (1,5 m iznad krova, tj. 3,29 m iznad tla), sa mogućim zakretanjem, horizontalno  $\pm 220^\circ$ , po visini  $\pm 30^\circ$ . Radi osmatranja sa prikrivenog položaja glava senzora se može postaviti na tronožac, a izdvojena je od vozila do 40 m.

Hibridni navigacioni sistem sadrži inercijalnu referentnu jedinicu i sistem za globalno pozicioniranje (GPS), koji omogućuju da se sa velikom tačnošću odrede pozicije sopstvenog vozila (greška  $\pm 10$  m) i posmatranog objekta (greška  $\pm 50$  m), utvrđivanjem koordinata na digitalnoj karti. Na posebnom ekranu (174 mm  $\times$  130 mm) posmatra se slika realnog ambijenta u koloru. Tako je komandir u stanju da u svakom momentu određuje pozicije, osmatra teren, ali i da prenosi podatke drugim korespondentima.

Pošto su osmatračko-izviđački uređaji integrisani u komandno-informacioni

borbeni sistem C<sup>3</sup>I, informacije se prenose preko radio-linka i razmenjuju sa drugim učesnicima. Ugrađeni su radio-uređaji VHF SEM80/90 (nemačka verzija) i TRC 9500 (holandska verzija) i HF HRM 7400. Posada međusobno komunicira putem interfonске veze.

Fennek je naoružan automatskim bacačem granata 40 mm (64 granate u rezervi) ili jednim od mitraljeza: 7,62 mm MG, tj. 12,5 mm, 50 MG (sa 2000 metaka, tj. 500 metaka). Oružjem se upravlja elektrouređajem ili mehanički. Nišanska sprava je izvedena od optičke sprave PERI Z17 (sa modulom za noćno nišanjenje). Oružje se pokreće horizontalno za 360° i vertikalno od -7° do +40°.

Oklopna zaštita obezbeđuje balističku otpornost na pogotke pancirnih projektila kalibra 7,62 mm. Primenjen je koncept modularne zaštite tako da se oklop, po potrebi, može naknadno pojačavati drugim materijalima. Vozilo je otporno na protivpešadijske mine i detonacije ekvivalenta 6 kg TNT. Ugrađen je NHB uređaj u kombinaciji sa klima-uređajem. Specijalna obloga izduvnog sistema smanjuje termalnu emisiju vozila.

Velika slabost vozila Fennek je nedostatak amfibijskih svojstava, što je za izviđačko vozilo budućnosti neprihvatljivo, a tehnički teško izvodljivo naknadnim zahvatima.

M. Đorđević



## TAKTIČKI OSMATRAČKI RADAR SQUIRE\*

Firma *Thompson-CSF Signaal* izvršila je razvoj taktičkog osmatračkog radara srednjeg dometa i odmah krenula

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 9/2000.

u proizvodnju nulte serije od 10 primeraka. Narudžbe za ovaj radar dostavilo je već nekoliko zemalja: Holandija, Poljska, Saudijska Arabija, kao i još neke zemlje Srednjeg istoka. Početna cena radara iznosi oko 200 000 dolara, uz izuzetno nisku cenu životnog veka, zahvaljujući izuzetno visokom srednjem vremenu između otkaza (MTBF – mean time between failure) od 6000 časova.

Razvoj radara iniciran je na zahtev i prema ugovoru sa holandskom vladom. Najpre su urađena dva prototipa a završna ispitivanja, koja su trajala oko godinu dana, obuhvatala su detekciju radara, tačnost, rezoluciju, impulsnu snagu, proveru operativnih karakteristika (vremena postavljanja i svijanja) i eksploataciona ispitivanja u realnim terenskim uslovima.

Karakteristike ovog radara vrlo su impresivne. *Squire* omogućava detekciju i klasifikaciju pokretnog zemaljskog cilja na daljini od 24 km. Predstavlja pomoćno sredstvo u artiljeriji i jedinicama naoružanim minobacačima za otkrivanje položaja protivničkih minobacača na osnovu snimljene putanje i mesta pada mine.

Zračenje radara je veoma nisko jer je njegova izlazna snaga ograničena na 1 W, što je, prema podacima proizvođača, praktično manje od snage koju zrači prosečni mobilni telefon. Radar može da radi i u režimima sa još manjom izlaznom snagom od 0,1 ili 0,01 W.

*Squire* je frekventno agilni radar (promenljive frekvencije) sa frekventno modulisanim kontinualnim talasom koji radi u J bandu (oko 10 GHz), i sa zračenjem koje nije opasno za ljude i pri direktnoj izloženosti radarskom snopu u neposrednoj blizini.

Radar je namenjen za vojne potrebe i potrebe obezbeđenja (obezbeđenje granice, policija, industrija i sl.). Ispitivan je



tako da su komercijalni detektori radarskog zračenja stavljeni na udaljenost od oko 1 m od radara koji je zračio svojom punom snagom i nisu ga detektovali. Radi dokumentovanja, radar se može opremiti i pasivnim termovizijskim senzorom za identifikaciju cilja i zapisa na video traku.

Daljina na kojoj ovaj radar detektuje pešaka koji se kreće, i čiji je radarski odraz veličine  $1 \text{ m}^2$  iznosi oko 10 km, daljina na kojoj detektuje terensko vozilo veličine džipa (radarski odraz  $10 \text{ m}^2$ ) iznosi 15 km, helikopter radarske površine  $5 \text{ m}^2$  detektuje na 14 km, dok tenk ili slično vozilo radarske površine od  $50 \text{ m}^2$  detektuje na 24 km. U toku ispitivanja u pustinji grupa pešaka otkrivana je već na 16 km.

*Squire* se transportuje u dva paketa koje nose poslužioc, čija je pojedinačna masa 21 kg. Jedan paket sastoji se od radarske jedinice i specijalnih baterija za ekstremno niske temperature firme *Signal Usfa*, a drugi od operatorske jedinice, njene baterije, spojnih kablova i karbonfiberskog tronošca visine 1,2 m sa glavom za usmeravanje radara.

Kada se razvije radar se postavlja na udaljenost od oko 100 m od operatorske jedinice koja je sa radarom spojena preko standardnog terenskog kabla WD1-TT. Po posebnom zahtevu uz radar se može isporučiti i teleskopski jarbol na koji se radar postavlja radi povećanja dometa.

Svi procesori su smešteni u radarskoj jedinici koja se sastoji od dve glavne elektronske ploče: jedna je ploča prijemnika i predajnika, a na drugoj ploči su smešteni signal-procesori. Procesorska ploča se sastoji od 7 digitalnih signal procesora firme *Analog Devices SHARC* koji zajedno izvršavaju preko 800 miliona operacija u sekundi.

Operatorska jedinica urađena u saradnji sa *Thompson-CSF Airsys* ima masu od 6,4 kg uključujući i kolor LCD monitor dijagonale 10,5 inča (26,7 cm). Interfejs je optimizovala holandska laboratorija (*Dutch TNO Human Factors Laboratory*) sa karakterističnom kolor simbologijom ciljeva koja se formira u zavisnosti od njihove brzine i veličine radarskog odraza.

M. Savanović

<<<◇>>>

## NOVI PRENOSNI RADIO-UREĐAJ FIRME HARRIS\*

Firma *Harris RF Communications Division* spremna je da tržištu ponudi novi potpuno integrisani adapter za vozila i radio-uređaj sa pojačivačem snage. Ovaj radio-uređaj znatno će poboljšati mogućnosti zaštićenih taktičkih radio-uređaja familije *Falcon II* iste firme, uključujući i višepojasni višenamenski prenosni radio-uređaj AN/PRC-117F(C).

Radio-uređaj poznat pod sadašnjim imenom AN/VRC-94F već su poručili SAD i drugi strani kupci. Radio-sistem je prvenstveno projektovan da zadovolji zahteve ugradnje na vozila, ali je ugradnja planirana i na borbene letelice i plovne objekte, kao i u velike zatvorene prostore.

Prema podacima proizvođača, AN/VRC-94F pokriva frekventno područje od 30 do 512 MHz, a dizajniran je tako da se uključi u Harrisovu liniju mobilnih multibandnih radio-uređaja veće snage. Pokriva područje od 30 do 512 MHz koje su do sada pokrivala dva prenosna uređaja AN/PRC-117F(C) i multibandni

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 12/2000.

RF-5800M-MP, i područje od 90 do 420 MHz koje je do sada pokrivaio prenosni uređaj RF-5800U-MP. Uređaj emituje snagu od 50 W FM (petostruka maksimalna izlazna snaga prenosne verzije) i 30 W AM (trostruka izlazna snaga prenosne verzije).

Novi uređaj nije samo vozeća verzija prenosnog radio-uređaja. On obezbeđuje fleksibilnost i karakteristike koje nisu postojale kod prenosnog uređaja, kao što su: komunikacijska zaštićenost tipa 1 (COMSEC), širokopojasne i uskopojasne satelitske komunikacijske (SATCOM), elektronske protivmere (ECCM – electronic counter-counter measures) i signali talasnih oblika visokih performansi (High Performance Waveform) kao u radio-uređaju AN/PRC-117F(C). Sve ove karakteristike i velika snaga su na raspolaganju kontinualno preko čitavog područja spektra od 30 do 512 MHz.

Ovaj radio zadovoljava zahteve za prenos preko modema SATCOM i modema sa zahtevom za preusmeravanja višestrukih pristupa (DAMA – Demand Assignment Multiple Access). Takođe, omogućen je i prijem podataka o vremenu i poziciji sa eksternih sistema za globalno pozicioniranje (GPS). Uređaj je prilagođen i za rad u SINCGARS (VHF) i Have Quick I/II (UHF) ECCM operacijama u modovima za rad sa glasom i podacima.

Uređaj AN/VRC-94F biće u prodaji sredinom 2001. godine kada proizvođač od američke vlade dobije zvaničnu nomenklaturnu oznaku koja će najverovatnije biti različita od sadašnjeg broja „94“ koji se pojavljuje u nezvaničnoj oznaci VRC-94F koju proizvođač trenutno koristi.

M. Savanović



## NOVI MONITOR VISOKE REZOLUCIJE ISIS\*

Da bi za potrebe kontrola letenja, avio saobraćaja i vojne primene razvila novi tanki i potpuno ravni monitor visoke rezolucije (2K×2K), belgijska firma *Barco view* (ranije poznata pod imenom Barco Display Systems) udružila se sa južnokorejskom firmom *Samsung Electronics*. Novi monitor će imati dijagonalu od 28" (71 cm) i biće urađen u TFT-LCD tehnici (thin-film transistor liquid crystal display – tanki sloj tranzistora i tečnih kristala).

Novi monitor dobio je ime *Isis* i trebalo bi da bude najveći komercijalno dostupan TFT-LCD monitor sa najvećom rezolucijom (2048×2048), što čini ukupan broj od 4 megapiksela ili, tačnije, 4194304 individualnih tačaka.

Monitor će se na tržištu naći od juna 2001. godine kao potpuna zamena za tekuću generaciju monitora visoke rezolucije od 28" sa katodnim cevima, koje je za potrebe kontrola letenja uglavnom proizvodila firma *Sony*.

Izlaskom na tržište, *Isis* se nameće kao novo rešenje displeja za operatore u vojnim C<sup>4</sup>I sistemima. *Isis* bi primenu mogao naći u vazдушnom komandovanju i upravljanju, u brodskim borbenim sistemima za upravljanje, analizama slike sa različitih izviđačkih sistema, centrima za analizu situacije u vazдушnom prostoru ili u bilo kojem vidu aplikacija sa grupnim prikazom koje zahtevaju visoku rezoluciju.

Predviđeno je da se potpuno robustna (military) verzija monitora *Isis* pojavi na tržištu krajem 2001. godine, ali nije

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 12/2000.

isključena mogućnost i ranije pojave u zavisnosti od ispoljenih zahteva.

Početne vojne primene predviđaju ugradnju monitora u, na primer, stalna ili privremena komandna mesta na velikim brodovima. Radi se, takođe, i na potpuno robustnim verzijama monitora koji bi se ugrađivali u mobilne centre na vozilima ili u kabine velikih centara za praćenje i osmatranje koje se nalaze na velikim avionima.

Zbog svoje visoke rezolucije i male treće dimenzije (dubine), monitori *Isis* će se dobro uklapati u horizontalne konferencijske konzole koje se nalaze u brodskim operativnim salama ili drugim vojnim komandnim centrima.

Druga značajna primena očekuje se u izviđačkim centrima u kojima su često zastupljene detaljne analize slike, i gde će on biti u stanju da obezbedi prikaz različitih sekcija slike veličine  $2K \times 2K$ , i praktično piksel po piksel analizu digitalne slike dobijene od različitih vrlo modernih senzora kakav je npr. nova elektro-optička kamera ultravisoke rezolucije tipa F-985 firme Lockheed Martin Fairchild Systems čija slika ima rezoluciju od  $9,2K \times 9,2K$  piksela. Zahvaljujući pridruženim grafičkim kontrolerima PVS 5611/T ili 5611/TD, monitor će biti u stanju da preko slike dobijene sa senzora prikazuje nanete nove sadržaje, uključujući taktičke simbole, kartografske znake i različite tekstualne napomene.

Razvoj ovog monitora započet je 1998. godine, prototip je urađen godinu dana kasnije, a prvi potpuno dovršen uzorak sa svim funkcijama iz nulte serije

pojavi se u septembru 2000. godine. Serijska proizvodnja započela je u toku prvog kvartala 2001. godine.

Prednosti ovog monitora u odnosu na monitore sa katodnom cevi su: znatno manje dimenzije  $550 \times 550 \times 50$  mm u odnosu na dimenzije monitora sa katodnom cevi koje iznose  $690 \times 689 \times 776$  mm, digitalni umesto analognog interfejsa, kao i osvetljenost koja je tri puta bolja od monitora sa katodnom cevi (tipično 150 prema 50 candela/m<sup>2</sup>).

Potrošnja energije monitora *Isis* je manja od 140 W u odnosu na 450 W koliko troši monitor sa katodnom cevi, proizvodi znatno manje toplote, nema elektromagnetnih smetnji, a daje jasnu i stabilnu sliku bez ikakvog svetlucanja i treperenja, dok je po pitanju mase tri puta lakši od monitora sa katodnom cevi.

Protivteža ovako dobrim karakteristikama je nabavna cena koja je za 30% veća od cene monitora sa katodnom cevi, ali uštede na tekućim operativnim troškovima i održavanju u roku od tri godine kompenzuju ovaj nedostatak. Očekivani životni vek LCD monitora je 8 do 10 godina, a u posebno teškim uslovima opada na 2 do 3 godine.

Ispitivanjem tržišta došlo se do podatka o potencijalnim kupcima za 10 000 primeraka ovih monitora, od kojih bi čak 6000 trebalo da bude zamena za postojeće monitore sa katodnim cevima u različitim vojnim sistemima. Očekivana godišnja prodaja je 500 primeraka sa izvesnim porastom.

M. Savanović





## tehničke novosti i zanimljivosti

### RAKETA VAZDUH-ZEMLJA BRIMSTONE\*

Kompanija Alenia Marconi Systems (AMS) proizvodiće raketu vazduh-zemlja Brimstone, a do kraja jula 2000. godine, kompletirano je 14 od 19 njenih razvojnih faza. Uvođenje u naoružanje britanskog ratnog vazduhoplovstva očekuje se oktobra 2001. godine.

Prva serija ispitivanja na zemlji, koji su započeti na poligonu Yuma u Arizoni (SAD), tokom avgusta 1999. godine, završena je februara 2000. godine testovima M4 u kojima je raketa nosila radarski tragač od 94 GHz koji radi u milimetarskom talasnom području (MMW). Druga faza, koja je počela testovima M5 u maju 2000. godine, uključuje i ispaljivanje tri projektila u pojedinačnim gađanjima.

Raketom Brimstone, koja će zameniti kasetnu bombu BL755 u britanskom RV, biće opremljeni avioni Tornado GR4, Harrier GR9 i Eurofighter Typhons. Raketa će biti specificirana kao deo osnovnog naoružanja za buduće britanske avione bazirane na nosačima (FCBA), za koje jedan od kandidata Joint Strike Fighter (JSF) može da nosi

tri rakete Brimstone. Kompanija Alenia dodatno je promovisala svoj raketni program opremajući male platforme, kao što su avioni Aero Vodochody L-159, BAE Systems Hawk i Saab Gripen, zajedno sa avionima F-16, F/A-18 i dr.

Mada je kao osnova poslužila raketa AGM-114 Hellfire, raketa Brimstone je potpuno redizajnirana. Promene uključuju korišćenje elektromehaničkog umesto pneumatskog aktuatora stabilizatora, raketnog motora sa oblogom manje debljine, kombinaciju autopilota i inercijalnog mernog sklopa, kao i poboljšanu bojnu glavu. Raketa se može ispaljivati sa standardnog lansera za raketu Hellfire ili sa posebno projektovanog trošinskog lansera male mase (oko 85 kg).

Radarski tragač ima veliku rezoluciju, omogućavajući raketi da izvrši detekciju i klasifikaciju ciljeva u realnom vremenu. On meri brzinu leta rakete i omogućava dobijanje podataka sa terena. Prva raketa napušta šine lansera za 0,65 sekundi nakon komande za lansiranje, dok se ostale mogu ispaljivati u intervalima 0,35 sekundi. Startni motor sagoreva oko tri sekunde, ubrzavajući raketu do 1,7 Maha.

Osnovni ciljevi na koje se raketa usmerava su osnovni borbeni tenkovi, oklopni transporter, samohodne haubice

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 10/2000.

i višecvni raketni lanseri. Avion sa kojeg se raketa lansira ispaljivaće samo jednu raketu na usamljene, pojedinačne ciljeve. Kada se gađa više ciljeva, mogu se ispaljivati po tri rakete. Kada se gađaju kolone borbenih vozila prva raketa će pogadati prvi opažen cilj, dok se ostale rakete vode na određene ciljeve u sekvencama. Vreme samouništenja raketa može se programirati kako bi se minimizirao rizik od kolateralnih šteta.

Tragač može da prihvati dva algoritma, omogućavajući sekundarnu namenu rakete (kao što je napad na brodove). Razmatrana je i varijanta ugradnje razorne bojne glave optimizirane za dejstvo na brze patrolne čamce. Ovakvim tragačem mogu se opremiti i ostali sistemi oružja, kao što su artiljerijske rakete ili minirakete u klasi autonomnih ofanzivnih sistema niske cene (LOCAAS), koji se razvijaju u kompaniji Lockheed Martin za američki RV.

V. R.

<<<◇>>>

## MODERNIZACIJA AVIONA F/A-18A/B\*

Australijskom ratnom vazduhoplovstvu isporučena su dva aviona F/A-19A/B Hornet, koji su modernizovani u okviru vazduhoplovnog projekta № 5376.

Projekat vredan 700 miliona USD uključuje modernizaciju 71 aviona F/A-19A/B Hornet koji su u upotrebi u australijskom RV, kako bi im se povećala efikasnost i produžila operativnost do 2015. godine kada se planira njihovo povlačenje iz upotrebe. Ispitivanja i procene ovih aviona su u toku.

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/2000.

Takođe, poznata kao Hornet Upgrade (HUG) Faza 1 projekta 5376 – za koju se pretpostavlja da će koštati 250 miliona australijskih dolara – uključuje poboljšanje postojećih UHF/VHF uređaja, zamenu sistema identifikacije „svoj-tud“ kombinovanim ispitivačkim transponderom, ugradnju GPS sistema sistemom inercijalne navigacije (INS), modernizaciju kompjutera XN-8+, dodavanje 6 multipleks sistema i modernizaciju softvera za elektronska dejstva. Kao deo Faze 1 biće ugrađeni i mnogobrojni sistemi za podršku. Oni uključuju: operativni letачki trenažer, integrisani sistem avionike za podršku, kompjuterski trenažni sistem, simulacioni sistem za održavanje aviona, integrisani logistički paket za podršku i drugu različitu opremu.

U toku je modernizacija preostalih 69 aviona koju obavlja kompanija Boeing-McDonnell Aircraft and Missiles, odgovorna za projektovanje, modifikaciju i instaliranje.

Očekuje se da će Faza 1 projekta biti okončana krajem 2001. godine, kada će prvi modifikovani avioni biti vraćeni u Boingovu australijsku fabriku u Williamtownu, na nastavak aktivnosti iz Faze 2. Ona uključuje zamenu originalnog radara za upravljanje vatrom AN/APG-65 novim radarom AN/APG-73 firme Raytheon. Novi radar biće potpuno kompatibilan sa poboljšanim raketama vazduh-vazduh kratkog dometa ASRAAM (Advanced Short-Range Air-to-Air Missile) proizvođača Matra BAe Dynamics, i sa poboljšanim raketama srednjeg dometa vazduh-vazduh AIM-120 AMRAAM (Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile) proizvođača Raytheon, koje su naručene za australijsko RV.

Novi radar AN/APG-73 biće, takođe, potpuno kompatibilan sa „stand-off“

oružjima AGM-142 Popeye i drugim oružjima vazduh-zemlja koja će se uvesti u naoružanje u skoroj budućnosti.

Planirano je da Faza 2 projekta modernizacije bude završena 2004–2005. godine, a uključivaće ugradnju sistema za poboljšani prenos podataka, horizontalni situacioni indikator, sistem pokretne mape (karte) i poboljšanu opremu za elektronska dejstva (sadrži radarski prijemnik za upozorenje, radio-frekventni ometač i dispenzer za protivmere ALE-47 proizvođača BAe Systems). Opcije radarskog prijemnika za upozorenje su ALR-2002B proizvođača BAe Systems, ALR-67(V)2 proizvođača Liton i ALR-67(V)3 proizvođača Raytheon. Za ometače konkurišu AN/ALQ-214 firme Lockheed Martin Sanders/ITT i AN/ALQ-165 firme ITT/Northrop Grumman.

V. R.

<<<◇>>>

## PRVI TRANSPORTNI AVION C-17 ZA BRITANSKO VAZDUHOPLOVSTVO\*

Kompanija Boeing isporučila je prvi od četiri vojna transportna aviona C-17 Globe-master III za potrebe vazduhoplovnih snaga (RAF) Velike Britanije. Nakon isporuke avion je odleteo u vazduhoplovnu bazu Charlston u Južnoj Karolini, gde treba da prihvati opremu za podršku, a njegov dolazak u domaću bazu RAF-a u Brize Nortonu planiran je za kraj maja meseca tekuće godine.

Sva četiri aviona C-17 biće isporučena tokom ovog leta. Avioni su nabavljeni na osnovu sedmogodišnjeg kreditnog aranžmana, uz poseban ugovor za

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 18. Maj 2001.

obuku i podršku u održavanju sa vazduhoplovnim snagama SAD i Boeingom.

Velika Britanija je prvi inostrani kupac aviona C-17 Globe-master III, dok je u vazduhoplovnim snagama SAD do sada primljeno 72 ovakva aviona.

M. K.

<<<◇>>>

## KINESKI LOVAC J-10\*

Kina je zvanično objavila prvu fotografiju svog novog aviona J-10. Chengdu J-10 u razvoju je od kasnih sedamdesetih godina, i realno se očekivalo da će program biti obustavljen zbog sporog tempa napredovanja. Procenjuje se da kineski RV potražuje oko 300 primeraka ovog tipa aviona. Prvi prototip J-10 poleteo je marta 1998. godine. U projektu je primećan uticaj izraelskog lovca Lavi čiji je program svojevremeno obustavljen zbog političkih razloga. Ipak, J-10 je nešto većih dimenzija i mase zahvaljujući motoru AL-31F koji je dosad primenjivan na familiji aviona SU-27.

S. V.



Kineski lovac J-10

\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 3/2001.

## RUSKO-INDIJSKI TRANSPORTNI AVION\*

Iljušin i HAL (Hindustan Aeronautics Limited) uključeni su u program razvoja novog višenamenskog transportnog aviona, koji je zasad označen kao IL-214. Kargo verzija aviona sa dva turboventilatorska motora snage 100–130 kN imaće maksimalan dolet 6000 km i krstareću brzinu od 800 do 870 km/h. Partneri procenjuju da bi IL-214 mogao da zameni indijske transportne avione IL-76 i AN-32. Prvi let prototipa očekuje se za pet godina.

S. V.

<<<◇>>>

## PRVI LET PROTOTIPA HELIKOPTERA AB-139\*\*

Prototip helikoptera Agusta-Bell AB-139 napravio je svoj prvi let u krugu Agustine fabrike u Kašina Kostu februara 2001. Tokom prvog leta koji je trajao 45 minuta, probni piloti su ispitali njegove



*Helikopter Agusta-Bell AB-139*

\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 4/2001.

\*\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 4/2001.

najosnovnije letne karakteristike. Interes za novi helikopter pokazuju portugalsko vazduhoplovstvo i irska služba traganja i spasavanja.

S. V.

<<<◇>>>

## MOGUĆNOSTI OTKRIVANJA STEALTH AVIONA\*

Istraživačka i razvojna kompanija Roke Manor Research iz Velike Britanije otkrila je da korišćenjem jedne od njihovih senzorskih tehnologija, zajedno sa mrežama baznih stanica mobilne telefonije, upotreba stealth aviona može da se pokaže beskorisnom. Ustanovljeno je da se kombinovanjem njihove savršeno osetljive tehnologije, koja prima signale sa baznih stanica za već postojeće mobilne komunikacije, pozicija aviona može otkriti i precizno odrediti.

Prema rečima istraživača, ako avion leti preko zone, signali koje šalju bazne stanice biće raspršeni u kontaktu sa avionom, što bi osetljiva senzorska oprema mogla registrovati kao informaciju o prisustvu aviona. Sistem bi radio kao bi-statički radar. Korišćenjem baznih stanica i senzorske opreme zajedno, mogli bi se precizno odrediti položaji svih aviona u zoni, pa čak i stealth aviona.

Ovaj najnoviji tehnološki prodor mogao bi da izazove značajne posledice po upotrebu stealth aviona u borbenim situacijama, i dovede u pitanje utrošak ogromnih sredstava za projektovanje takvih aviona.

M. K.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 15. jun 2001.

<<<◇>>>

## NOVI AVIONI F-16 ZA IZRAEL\*

Vlada Izraela postigla je sporazum sa kompanijom Lockheed Martin Aeronautics za kupovinu dodatnih 50 aviona F-16. Avioni će se proizvesti kao i prethodni, po ugovoru iz 1999. i biće savremeni dvosedni avioni konfiguracije F-16 I. Isporuka će započeti 2006. godine a završiti 2009. godine.

Ukupna vrednost ove nabavke iznosi oko 2 milijarde dolara, od čega je učešće Lockheed Martina oko 1,3 milijarde dolara. Avion će imati brojne sisteme proizvedene u Izraelu, a pogoniće ga motor Pratt&Whitney F100-PW-229. Završna montaža obaviće se u fabrikama Lockheed Martina u Fort Worth u Teksasu.

Posle SAD, Izrael ima najveću flotu aviona F-16. Do sada je ova zemlja primila ili naručila više od 300 tih aviona, uključujući i 102 nova, naručena posle 1999. godine i 50 ranijih modela F-16 koji su nabavljeni sredinom devedesetih godina.

M. K.



## RAZVOJ KINESKE BORBENE BESPILOTNE LETELICE\*\*

Izveštaji sa kineskog vazduhoplovnog sajma Žuhai ukazuju na to da će kineska stelt bespilotna letelica WZ-2000A biti osnov za razvoj savremene varijante koja će biti prva kineska borbena bespilotna letelica (UCAV – unmanned aerial combat vehicle). Nova verzija bespilotne letelice WZ-2000A ili

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 20. jun 2001.

\*\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 3/2001.

WZ-9 nosiće izvesnu količinu ubojnog tereta namenjenog za iznenadno dejstvo po protivničkim objektima, prvenstveno PVO, zahvaljujući visokom stepenu radarske nevidljivosti. Razvojem ovakve letelice Kina u modernizaciji vlastitih oružanih snaga sledi trendove američkih i zapadnoevropskih programa.

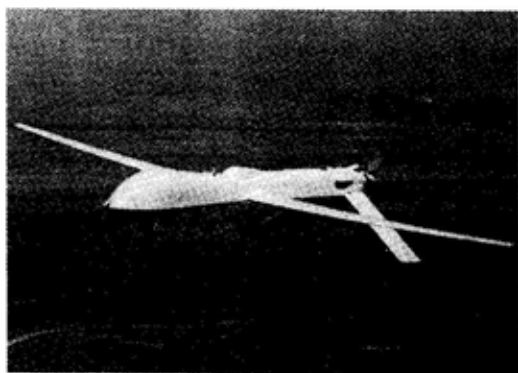
S. V.



## PROTIVTENKOVSKI PREDATOR\*

Februara ove godine, na poligonu u Indian Springsu, bespilotna letelica Predator RQ-1A lansirala je protivtenkovsku raketu Hellfire C u okviru demonstrativnog programa borbene upotrebe bespilotne letelice. Cilj dejstva bio je tenk osvetljen laserskim snopom sa istog Predatora. Letelicom je upravljala posada iz sastava opitne grupe američkog vazduhoplovstva. Ukupno su izvedena tri uspešna opitna leta u okviru faze 1. Tokom ispitne faze 2 planira se primena Predatora za dejstvo po pokretnim ciljevima u mnogo zahtevnijim uslovima.

S. V.



*Predator RQ-1A*

\* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 4/2001.



## MODERNIZACIJA GPS SATELITA\*

Između Lockheed Martin Space Systems i ITT Industries Aerospace – sektor komunikacija, sklopljen je ugovor vredan 39 miliona dolara za usavršavanje 12 satelita (Blok II) sa sistemima za globalno pozicioniranje (GSP). Korisni teret satelita će se modifikovati radi ugradnje opreme koja će omogućiti korišćenje drugog civilnog signala i dva nova vojna signala.

Pored novih vojnih i civilnih signala modifikacija GPS IIR će uključiti povećanje snage signala i mogućnost rekonfiguracije signala i snage u orbiti. Ta poboljšanja treba da omoguće povećanu tačnost i bolju otpornost na ometanje.

Radove će izvršiti firma ITT Industries Clifton, New Jersey, što predstavlja nastavak razvojnog programa sklopljenog u avgustu 2000. godine. Modernizacija će biti velika novina, kako za konstruktore, tako i za civilne i vojne korisnike. Ova poboljšanja će unaprediti GPS za više od 8 godina. Prema planu modernizacije, koja bi započela 2003. godine, svih 12 satelita bilo bi na upotrebi do 2006. godine. Potpuna modernizacija GPS za korisnike, prema programu modernizacije, ne bi bila moguća pre 2015. godine.

Zahvaljujući dostignućima u razvoju generatora talasa, koji je razvila firma ITT Industries, dodavanje novih kanala omogućeno je korišćenjem pojedinačnog širokorasprostrućeg nosača talasa. Dodatno, efikasniji pojačivač velike snage, upravljani preko generatora talasa, povećava snagu vojnog signala kada je to potrebno.

Vodeći tim stručnjaka za GPS iz Lockheed Martina radi na studiji arhitek-

ture usmerene na razvoj i proizvodnju GPS III koji se odnose na sledeću seriju GPS kosmičkih brodova.

M. K.

<<<◇>>>

## RAZVOJ NOVOG SISTEMA ZA OTKRIVANJE MINA\*

Komanda za komunikacije i elektroniku Armije SAD, za potrebe upravljačkog programa za mine i razminiranje, sklopila je sa firmom BAE SYSTEMS ugovor vredan 3,3 miliona dolara za Program definisanja i smanjenja rizika za minoistraživački sistem GSTAMIDS Blok I (Ground Stand-off Minefield Detection System).

GSTAMIDS objedinjava otkrivanje i neutralizaciju mina u sistemu više platformi. Jedna platforma je daljinski upravljano vozilo, sposobno da pređe preko mine, koje ima radar koji prodire u zemlju sa odgovarajućom garniturom za otkrivanje mina, otkrivanje metala i IC senzore, zajedno sa mehanizmom za neutralisanje. Druga platforma je oklopno vozilo s posadom koja daljinski, sa bezbednog rastojanja, upravlja protivminskom detekcijom i postupkom neutralisanja.

BAE SYSTEMS će, prema ugovoru razviti model taktičke upotrebe sistema GSTAMIDS Blok I, omogućavajući korisnicima da biraju parametre performansi elemenata za nekoliko varijanti sistema, određujući za sebe primerene zahteve i optimalan sastav elemenata sistema. BAE SYSTEMS će zatim razviti virtuelni prototip od preporučenih osnovnih sistema i izvršiti demonstraciju. Konkursni

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 17. maj 2001.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 16. maj 2001.

ugovor za razvojni i demonstracioni sistem biće dodeljen u I kvartalu 2003. godine.

M. K.



## LASERSKI VOĐENE BOMBE ZA VAZDUHOPLOVNE SNAGE ITALIJE\*

Firma Elbit Systems objavila je da su joj vazduhoplovne snage Italije dodelile ugovor na 18 miliona dolara za isporuku laserski vođenih bombi LIZARD za avion AMX. Ugovorom je predviđena isporuka u periodu od tri godine.

LIZARD je savremena laserski vođena bomba nove generacije, koja se koristi za dejstva vazduh-zemlja, na različite ciljeve koji su osvetljeni laserskim snopom. Bomba LIZARD odlikuje se velikom tačnošću, kompatibilna je sa mnogim laserskim odašiljačima na avionu ili zemlji. Modularna konstrukcija LIZARD obezbeđuje razvoj sa mogućnostima vođenja putem GPS u ekstremnim vremenskim uslovima, i alternativnim autonomnim IC tragačem za napad na razne pokretne ciljeve.

Sistemi kojima će se snabdeti vazduhoplovne snage Italije koriste bojne glave MK-82.

Nekoliko kompanija Italije biće uključeno u proizvodnju i logističku podršku za ove potrebe.

M. K.

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 20. jun 2001.



## NOVE JAPANSKE PROTIVPODMORNIČKE RAKETE ASROC\*

Kompanija Lockheed Martin NE&SS (Naval Electronics and Surveillance Systems) – mornarički sistemi, sklopila je ugovor sa Mitsubishi Heavy Industries (MHI) za tehničku saradnju u ugradnji nove japanske protivpodmorničke rakete ASROC u vertikalni lansirni sistem (VLS) MK 41.

Novu raketu ASROC razvila je firma MHI prema ugovoru i saradnji sa japanskim tehničkim istraživačkim i razvojnim institutom japanske agencije za odbranu.

Ugovor pokriva prve dve faze višefaznog ugovora koji će se realizovati u periodu od četiri godine.

ASROC je vertikalno lansirajuća protivpodmornička raketa koja, kada se nađe iznad cilja, funkcioniše kao torpedo koji samo traži cilj.

Prema ugovoru, NE&SS – mornarički sistemi treba da obezbede tehničku ekspertizu za MHI projektni tim nove rakete ASROC radi obezbeđenja skladne integracije sa vertikalnim lansirnim sistemom MK 41. Ispitna faza tog programa biće realizovana u Japanu. Posle završetka programa nova raketa ASROC moći će da se ugradi na japanske razarače koji su opremljeni vertikalnim lansirnim sistemom MK 41. Ovaj sistem je ispodpalubni i sposoban je da lansira više različitih tipova raketa.

Firma NE&SS snabdeva sa VLS MK 41 japanske klase brodova MURASAME i KONGO od 1989. godine. Po ugovoru iz 1998. godine NE&SS je ovlastila MHI

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 15. jun 2001.

za sklapanje, testiranje i prodaju lansera MK 41 za japanske mornaričke odbrambene snage.

M. K.

<<<◇>>>

## NAWV – NOVO OKLOPNO VOZILO TOČKAŠ\*

Očekuje se da će u nemačkoj kompaniji Rheinmetall uskoro početi konstrukcija prototipa vozila 8×8, koje je sada deklarirano kao NAWV (New Armored Wheeled Vehicle – novo oklopno vozilo točkaš). Novo vozilo, koje će imati nosivost 8 t i borbenu masu od 20 t, biće prikazano 2003. godine.

Vozilo će biti amfibijsko i prenosivo avionima C-130 Hercules, a njegove dimenzije biće: širina 2,72 m, dužina 7,1 m, visina 2,838 m, i klirens 430 mm. Imaće konfiguraciju 8×8 sa nezavisnim hidropneumatskim ogibljenjem, pneumatike 14,00×R20 i centralnu regulaciju pritiska.

Pokretaće ga dizel motor snage 325 kW, koji obezbeđuje odnos snaga/masa od 16,3 kW/t i maksimalnu brzinu od 100 km/h. Akcioni radijus biće 800 km. Maksimalna visina vertikalne prepreke koju će vozilo moći da savlada biće 600 mm, nagib 60% i rov širine 2,5 m. Dvostruki propeleri obezbeđiće brzinu kretanja na vodi od 10 km/h.

Modularni oklop koji će se, verovatno, razviti u saradnji sa kompanijom IBD, obezbeđiće potreban nivo balističke zaštite za izvršenje bilo kog zadatka. Osnovni oklop obezbeđiće zaštitu od dejstva mine sa 8 kg TNT koja detonira direktno ispod vozila. Specifično (dvo-

struko) oblikovani patos vozila obezbeđiće zaštitu od dejstva jugoslovenske mine TMRP-6 (ova mina se deklarira kao ekvivalent zaštitne sposobnosti oklopa u svim zapadnim konstrukcijama borbenih vozila).

Vozilo NAWV imaće unutrašnju zapreminu od 13,5 m<sup>3</sup>, koja je dovoljna za smeštaj kupole za teški mitraljez i 10 vojnika u zadnjem delu, kao i vozača i komandira u prednjem delu. U oklopnoj borbenoj varijanti NAWV može da se opremi i dvočlanom kupolom sa Rheinmetallovim glatkocevnim topom 105 mm, koji je uvezan sa sistemom za upravljanje vatrom Atlas firme STN. U vozilu će moći da se smesti 40 metaka za osnovno naoružanje.

V. R.

<<<◇>>>

## JUŽNOAFRIČKI PROGRAM VOZILA TOČKAŠ\*

Uskoro treba da započne ocenjivanje vozila za višenamenski program točkaša pod nazivom Ambition, namenjenih južnoafričkim oružanim snagama. Za sada, to se odnosi samo na vozilo Ambition 0, koje može biti pick-up, komandno vozilo (Ambition OA) ili transporter (Ambition OB).

Oružane snage Južnoafričke Republike traže 40 vozila Ambition 1A kao zamenu za vozila specijalnih snaga Meehem BAT 4×4 i namenska vozila za padobranske jedinice pod nazivom Jackal (planira se nekoliko varijanti vozila Ambition 1A koje uključuju transportere, komandna vozila, izviđačka vozila i tročlane naoružane platforme opremljene minobacačima velikog dometa 60 mm,

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/2000.

\* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/2000.

lanserima raketa 107 mm ili automatskim bacačima granata 40 mm).

Varijanta vozila Ambition 1B je logistička, izvedena je iz varijante Ambition 1A, a zahteva se oko 80 vozila i prikolica.

Varijanta Ambition 2A je zamena za vozilo Mamba 4×4 koje je otporno na dejstvo mina; varijanta Ambition 2B predstavlja modularnu konstrukciju 4×4, 6×6 ili 8×8 koja je, u stvari, oklopno vozilo točkaš za podršku; i varijanta Ambition 3 je kamion nosivosti 10–15 t, koji će zameniti postojeće logističko vozilo SAMIL.

Za vozilo u varijanti Ambition 1 konkurišu vozila firme Wormald sa Novog Zelanda, Mechemovo vozilo BAT 4×4 Mk2 bazirano na Mercedesovom vozilu iz serije G, Land Roverovo vozilo iz familije Taurus, kao i Vickersovo vozilo Wasp.

Standardno vozilo Taurus bazirano je na šasiji Land Rovera 110 i ima ugrađen donji zaštitni oklop koji obezbeđuje zaštitu od dejstva protivtenkovskih mina TM57. Ostali zaštitni sistemi mogu obezbediti balističku zaštitu od dejstva municije 9 mm Parabellum, 7,62 mm Kalašnjikova AK-47 ili NATO metaka 7,62 mm.

Za varijantu Ambition 1A, kraću verziju koja se bazira na šasiji Land Rover 90, očekuje se da bude završena do juna 2001. godine. Zahteva se da četiri ovakva vozila mogu da se ukrcaju u transportni avion C-130 Hercules, i obezbeđuju zaštitu sa donje strane od dejstva protivpešadijskih mina i frontalnu zaštitu od dejstva ruske municije 7,62 mm × 54 Dragunov.

Prototip izviđačkog vozila Wasp biće kompletiran u Vickersu OMC jula 2001. godine, a javnosti će se prikazati u Pretoriji na izložbi septembra 2001. godine. On se bazira na šasiji policijskog patrol-

nog vozila RG 32, koje pokreće mali 4-cilindarski dizel motor, zapremine 2,5 l, firme VM Motori Detroit, koji razvija snagu 82 kW.

Osnovno vozilo ima masu 2100 kg, uključujući 60 l goriva i 60 l vode, kao i zaštitu od dejstva granata i protivtenkovskih mina koje detoniraju ispod točkova. Nosivost dodatnog kapaciteta iznosi 1,5 t (ukupna borbena masa vozila je 3,6 t).

Za varijantu Ambition 2 kompanija MDB će ponuditi svoj poslednji model oklopnog točkaškog vozila Mantis, koje je zaštićeno od dejstva mina (MPWAVS – mine protected wheeled armored vehicle), a prvobitno je planirano samo za izvoz. Sličan švedskom konceptu SER-W, projekat MPWAVS ima promenljivu konfiguraciju 4×4 ili 6×6, a njegova potpuno čelična monokok struktura pruža integralnu zaštitu od dejstva dve mine TM57 ispod točkova ili balističku zaštitu od dejstva municije 23 mm ZSU. Dužina tela vozila Mantis je 6 m, širina 2,512 m i visina 1,452 m, što obezbeđuje nosivost od 8000 kg. Maksimalna brzina od 120 km/h postiže se zahvaljujući motoru CAT 3116TI koji je povezan sa transmisijom Funk Series 2000 sa 6 stepeni prenosa.

V. R.

<<<◇>>>

## **RUKOVOĐENJE I KOMANDOVANJE IZ VAZDUŠNOG PROSTORA\***

Zahtev Armije SAD da komandanti imaju potpunu informaciju sa bojnog polja i komunikacijsko mesto vazdušnog prostora ili na zemlji, postavljen je za-

\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 20. Jun 2001.

jedno sa liderima u komunikacijsko-informatičkoj tehnologiji i vojnim avionskim sistemima.

Kompanije Boeing i Motorola objavili su svoju saradnju u dobijenom ugovoru za armijski vazdušni sistem za komandovanje i upravljanje A2C2S (Army's Airborne Command and Control System). Program A2C2S je inoviran za obezbeđenje Armije taktičkim komandnim mestom, koje će biti sposobno za pokretne vazdušne operacije za duži period. Projektovan je za podršku komandanata korpusa, divizija i brigada pri izvršavanju zadataka, od humanitarnih

do operacija u dubini u konfliktima visokog intenziteta.

Prema projektu A2C2S potrebno je pet promenljivih-smenjivih korisničkih stanica i dva velika zajednička displeja koji komandantu i njegovom štabu omogućavaju dobijanje informacija o situaciji i podataka potrebnih za komandovanje i upravljanje putem mnoštva selektiranih softverskih programa armijskog sistema za komandovanje u borbi i C4I digitalne povezanosti. On uključuje savršen line-of-sight i non-line-of-sight izgovor, kao i digitalnu komunikacijsku i informatičku tehnologiju.

M. K.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**REDAKCIJA**

# VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Redakcija „Vojna knjiga“

*Vam preporučuje*

838. Mladen Đurašinović:

**ARHITEKTURA RAČUNARA**

Cena: 360,00 d.

839. Milivoj Jugin:

**VEČNI TRAG**

Cena: 590,00 d.

727. Predrag Pejčić:

**VOJNI HELIKOPTERI**

Cena: 360,00 d.

837. Miloš Čolaković:

**GORIVA ZA RAKETNI POGON**

Cena: 360,00 d.

840. Vuk Ognjanović:

**ZAJEDNIČKA ULAGANJA DOMAĆIH I STRANIH  
PREDUZEĆA**

Cena: 780,00 d.

803. Slavko Tomović:

**ISPITIVANJE POUZDANOSTI**

Cena: 216,00 d.

785. Milivoj Jugin:

**KOSMOS OTKRIVA TAJNE**

Cena: 792,00 d.

874. Vlado N. Radić

**MINSKO RATOVANJE**

Cena: 1.800,00 d.

805. Svetomir Minić i Živan Arsenić:

**MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA**

Cena: 420,00 d.

847. Grupa autora:

**NATO NA BALKANU**

Cena: 540,00 d.

823. NAORUŽANJE ZEMALJA NATO

**(KOPNENA VOJSKA I RATNA MORNARICA)**

Priredio: Aleksandar Ardeljan

Cena: 200,00 d.

832. Svetozar Radišić:

**NEOKORTIKALNI RAT (2. izd)**

Cena: 540,00 d.

## NAPOMENA:

Za svaku narudžbu knjiga potrebno je dodatno uplatiti 50,00 dinara za PTT troškove.

## N A R U D Ž B E N I C A

### VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Beograd, Balkanska 53

Tel./faks: (011) 3612-506

Naručujem knjige pod brojem/komada .....

**Plaćanje unapred (vrednost naručenih knjiga + PTT troškovi) na žiro-račun 40818-637-9-6319 RC Topčider (za VIZ), poziv na broj 963-011. Narudžbenicu i uplatnicu slati na adresu:**

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Reklamacije za neuručene knjige primamo u roku od 30 dana.

Kupac .....

Ulica i broj ..... Telefon .....

Mesto i broj pošte .....

*Tehničko uređenje*  
Branko Marković

*Lektor*  
Dobrila Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 125,00 dinara  
Tiraž 1200 primeraka

---

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)