

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik  
SLAVOLJUB JOVANČIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major  
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.  
(predsednik Odbora)General-potpukovnik  
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-potpukovnik  
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.General-major  
MILAN UZELAC, dipl. inž.General-major  
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.General-major  
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.  
(zamenik predsednika Odbora)Pukovnik  
SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.Profesor  
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.Profesor  
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
dr MILJKO ERIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.Pukovnik  
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.Pukovnik  
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.  
(sekretar Odbora)

\* \* \*

Glavni i odgovorni urednik

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

Sekretar redakcije

Zora Pavličević  
(tel. 641-795, vojni 22-431)Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI  
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.Pretplata tel.-fax: 3612-506, tekući račun:  
840-51845-846 RC SMO Topčider – za VIZ,  
poziv na broj 054/963.Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna  
štampanja – Beograd, Resavska 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS  
VOJSKE SRBIJE I CRNE GOREVOJNOTEHNIČKI  
G L A S N I KVojnotehnički glasnik je,  
povodom 50 godina rada,  
odlikovan Ordenom VJ  
trećeg stepena

1

GODINA LI • JANUAR-FEBRUAR 2003.



## SADRŽAJ

	GODIŠNJA ANALIZA TEHNIČKE PODRŠKE VOJSKE JUGOSLAVIJE .....	5
<b>Mr Vladislav Mišković,</b> potpukovnik, dipl. inž.	MATEMATIČKO MODELIRANJE INDUKTIVNOG MAŠINSKOG UČENJA .....	9
<b>Mr Obrad Čabarkapa,</b> potpukovnik, dipl. inž.	UTICAJ POČETNE MASE BARUTA NA MODEL DVOFAZNOG STRUJANJA U CEVI AUTOMATSKE PUŠKE .....	21
<b>Mr Zoran Građin,</b> pukovnik, dipl. inž.	MEHANIČKI GUBICI I MEHANIZAM TRENJA U MOTORIMA SUS .....	29
<b>Mr Aleksandar Cakić,</b> major, dipl. inž.	LOGISTIČKI KONTROLING U SAVREMENIM LOGISTIČKIM SISTEMIMA .....	45
<b>Mr Mirjana Petrić,</b> dipl. inž.	BONDING AGENSI ZA KOMPOZITNA RAKETNA GORIVA .....	51
<b>Mr Panto Maslak,</b> dipl. inž.	PRILOG ANALIZI PROCESA SAGOREVANJA DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA .....	62
<b>Mr Milorad Opsenica,</b> potpukovnik, dipl. inž.	KRETANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE AUTOPUTEM .....	72
<b>Dr Miljko Erić,</b> pukovnik, dipl. inž.	X TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR 2002 – prikaz naučno-stručnog skupa – .....	84
<b>Miroslav Škorić,</b> dipl. oec.	XI MEĐUNARODNI SAJAM „ELEKTRONIKA“ – prikaz naučno-stručnog skupa – .....	87
<b>Dr Dragutin Jovanović,</b> pukovnik, dipl. inž.	„ŽELEZNIČKO MAŠINSTVO“ i „VODNI SAOBRAĆAJ U 21. VEKU“ – prikazi naučno-stručnih skupova – .....	90

---

### PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

---

Savremene protivtenkovske vođene rakete – M. K. ....	92
Laserski daljinarški pokazivači za precizno vođeno oruđe – M. K. ..	93
Razvoj višenamenskih brodskih topova srednjeg kalibra – M. K. ....	96
Borbeni avion MiG-29M2 – S. V. ....	98
Povećanje borbenih sposobnosti lovca Su-30MK – M. K. ....	99
Helikopteri u 21. veku – M. K. ....	102
Leteće laboratorije za ispitivanje sistema avionike – M. K. ....	104

Dizel motori za oružane snage – M. K. ....	107
Nova generacija radio-prijemnika za mornaricu – M. K. ....	108
Korak ka kosmičkom turizmu – M. K. ....	110

---

#### TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

---

Raptor kao deltakrilni bombarder – S. V. ....	112
Modernizacija slovačkih aviona MiG-29 – S. V. ....	112
Nova verzija motora za avion Su-27 – S. V. ....	113
Modernizacija istočnoevropskih helikoptera Mi-24 – S. V. ....	113
Osavremenjavanje kineskih aviona Su-27 – S. V. ....	114
Prvi let korejskog školsko-borbenog aviona T-50 – S. V. ....	114
Školski avion Su-49 spreman za proizvodnju – S. V. ....	114
Snažno lasersko oružje na avionu – S. V. ....	115
Kompjuteri za upravljanje letom helikoptera – M. K. ....	115
Oprema za lasersko označavanje ciljeva – S. V. ....	115
Preuzimanje prve haubice XM-777 – S. V. ....	116
Italijanska armija preuzela prvo vozilo Dardo – S. V. ....	116
Brod Visby za švedsku mornaricu – M. K. ....	117



## **Godišnja analiza tehničke podrške Vojske Jugoslavije**

*Na osnovu Plana rada Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ VJ, a radi sagledavanja stanja i funkcionisanja sistema tehničke podrške Vojske Jugoslavije u protekloj godini i utvrđivanja zadataka i smernica za rad organa i jedinica Tehničke službe (TSl) u 2003. godini, 16. januara o. g. izvršena je analiza u okviru koje je razmatrana efikasnost materijalnih priprema, organizacije i izvršavanja funkcija i zadataka tehničke podrške Vojske Jugoslavije.*

*Sastanak je otvorio načelnik intervidovske Tehničke uprave, general-major dr Milun Kokanović, a operativno je rukovodio njegov zamenik pukovnik dr Branko Đedović.*

*U uvodnom izlaganju istaknuto je da je protekla godina okarakterisana značajnim organizacijsko-formacijskim promenama u VJ, a da je od posebnog značaja sagledavanje realizacije promena iz nadležnosti TSl, kao i kvalitet njenog funkcionisanja u novim organizacijskim uslovima. Redovne obaveze u intervidovskoj Tehničkoj upravi i TSl u celini obuhvatale su veliki broj aktivnosti usmerenih na pravovremeno i kvalitetno izvršavanje planskih i težišnih zadataka tehničke podrške, kao što su: razvoj organizacijsko-formacijske strukture prema projektu „Organizacijske dogradnje VJ“, organizacija upravljanja sistemom tehničke podrške, realizacija procesa snabdevanja i održavanja na svim komandnim nivoima i pomoć, usmeravanje i kontrola nižih organizacijskih struktura. Uz znatna materijalna i finansijska ograničenja i nedovoljnu kadrovsku popunjenost, osnovne karakteristike rada Tehničke službe u protekloj godini bile su:*

- pravovremeno izvršavanje svih predviđenih zadataka organizacijsko-formacijskih promena, i podrška procesu reorganizacije jedinica i ustanova VJ;*
- plansko funkcionisanje u skladu sa osnovnim konceptom organizacije u sva tri vida Vojske, usaglašeno sa sistemom komandovanja, prateći prioritete i potrebe održavanja i podizanja nivoa borbene gotovosti;*
- neprekidnost funkcionisanja tehničke podrške u svim uslovima i situacijama upotrebe jedinica;*
- realizacija svih težišnih zadataka tehničke podrške u sva tri vida Vojske Jugoslavije, u podizanju i očuvanju zahtevanog nivoa borbene gotovosti jedinica.*

*O stanju i izvršavanju zadataka tehničke podrške u svim organizacijskim sastavima referisali su: načelnici TSl komandi korpusa, pomoćnici komandanata za VTSl u Vazduhoplovnom korpusu i Korpusu PVO, načelnik MTSl u korpusu RM, načelnik TSl Vojne akademije, direktori remontnih zavoda – TRZ Čačak, TRZ Kragujevac, VZ Moma Stanojlović i MTRZ Sava Kovačević i komandant TNC. Takođe, u radu su učestvovali predstavnik PoB GŠ, načelnici TSl 46. logbr i 72. specbr, predstavnici sektora GŠ VJ, komandant SVŠ smer TSl, načelnici TSl VMA i gbr i načelnici odeljenja i odseka Tehničke uprave.*

*U svojim referatima i izlaganjima načelnici TSl korpusa obradili su sledeća pitanja:*

- stanje kadra TSl po strukturi, školovanju i na usavršavanju u vojnim školama i obrazovnim institucijama izvan vojnog školstva;*
- stanje nivoa popune, kvaliteta, smeštaja i obezbeđenja ratnih materijalnih rezervi;*

- stepen realizacije zadataka na identifikaciji do sada neidentifikovanih a potrebnih i povlačenju suvišnih i pretičućih rezervnih delova;
- kvalitativno i kvantitativno stanje tehničkih sredstava iz taktičke nadležnosti Tehničke službe;
- ispravnost tehničkih sredstava i upoređenje sa stanjem u prethodnoj godini;
- stanje eksploatacionih i vremenskih resursa tehničkih sredstava po nivoima održavanja;
- rashodovanje tehničkih sredstava i oslobađanje jedinica od viškova;
- stanje informatičke podrške u funkciji tehničke podrške (osposobljenost kadra, stanje hardvera i softvera);
- stanje infrastrukture Tehničke službe po kapacitetima za održavanje na trupnom i operativnom nivou, remontnim i skladišnim kapacitetima, sa posebnim osvrtom na sanaciju uništenih i oštećenih objekata;
- aktivnostima na organizacijsko-formacijskim promenama u Tehničkoj službi.

U referatima načelnika TSl operativnih grupacija posebno su istaknuti zaključna ocena stanja tehničke podrške u 2002. godini, kao i predlozi mera za unapređenje tehničke podrške i težišni zadaci u 2003. godini.

Direktori remontnih zavoda su u svojim izlaganjima obradili problematiku realizacije radnih zadataka zavoda u protekloj godini, uticaj rada organa TSl operativnih grupacija na plansku organizaciju generalnog remonta tehničkih sredstava, kao i rad organa TSl u jedinicama VJ na prihvatu, organizaciji i realizaciji zadataka ekipa iz zavoda na terenu.

Komandant TNC za obuku vojnika TSl u svom referatu je obuhvatio pitanja realizacije Plana i programa borbene obuke vojnika TSl KoV, stepen osposobljenosti obučanih vojnika po specijalnostima, njihovu raspodelu nakon obuke po operativnim grupacijama i karakteristične probleme koji su uticali na realizaciju obuke.

Pored navedenog, a radi donošenja validnih predloga za poboljšanje tehničke podrške po konkretnim pitanjima u narednom periodu, na godišnjoj analizi izložena je i problematika koja se odnosila na:

- tehničku podršku inženjerskih jedinica angažovanih na izvođenju radova za potrebe VJ i struktura društva,
- održavanje sanitetskih sredstava i opreme,
- stepen realizacije tehničkog i osnovnog održavanja u određenim operativnim grupacijama,
- mogućnosti pozadinskih baza za formiranje operativnih rezervi rezervnih delova i ešeloniranje ubojnih sredstava,
- organizaciju snabdevanja pogonskim sredstvima jedinica koje nisu u sastavu korpusa,
- angažovanje ekipa za ispomoć nižim nivoima održavanja,
- stanje vazduhoplovnotehničkih sredstava i kapaciteta za tekuće održavanje i njegovo materijalno obezbeđenje,
- održavanje merno-regulacione opreme u skladištima pogonskih sredstava,
- mogućnost održavanja i remonta brodova u realnim uslovima obezbeđenja rezervnim delovima i repromaterijalom,

- održavanje protivpožarnih aparata, protivpožarnih motornih vozila i drugih pokretnih posuda pod pritiskom,
- povlačenje pretičućih i neperspektivnih rezervnih delova iz operativnih grupacija,
- održavanje putničkih automobila,
- tehničku podršku 72. specbr, kao vanorganskog sastava za nosioce tehničke podrške na teritoriji.

Težište u svih referata bilo je usmereno na definisanje aktivnosti koje će unaprediti stanje tehničke podrške, kao i na predloge težišnih zadataka i smernica za rad u 2003. godini.

Zaključeno je da je u postojećim uslovima Tehnička služba obezbedila neprekidnost u izvršavanju osnovnih funkcija tehničke podrške i istovremeno radila na poboljšanju organizacije snabdevanja i održavanja, realizacije njihovih procesa, kao i na podizanju nivoa borbene gotovosti jedinica. Međutim, pored evidentnih uspeha u izvršavanju namenskih zadataka u Tehničkoj službi sva tri vida Vojske prepoznate su slabosti i propusti koji se u narednom periodu moraju prevazići.

Istaknuto je da su ostvareni rezultati rada Tehničke službe u protekloj godini prvenstveno omogućeni postojećom organizacijom sistema, koja je sposobna da odgovori postavljenim zadacima po kriterijumu operativne gotovosti tehničkih sredstava i efektivnosti i ekonomičnosti procesa. Pripadnici službe u sva tri vida Vojske su svojim nesebičnim angažovanjem, odgovornim i profesionalnim radom, potpunim poznavanjem stanja i sagledavanjem realnih mogućnosti, u uslovima velikih materijalnih ograničenja, uspevali da se pravilno i planski organizuju i izvrše namenske zadatke.

Prioritetni zadaci Tehničke službe Vojske Jugoslavije u narednom periodu odnosiće se na:

- obezbedenje neprekidnosti funkcionisanja tehničke podrške u svim uslovima i situacijama borbene upotrebe jedinica;
- angažovanje svih raspoloživih kadrovskih resursa na kontroli izvršavanja osnovnih funkcija i zadataka tehničke podrške u funkciji izgradnje borbene gotovosti jedinica;
- definisanje prioriteta u izvršavanju zadataka tehničke podrške, dajući prednost težišnim i za borbenu gotovost važnijim zadacima;
- realnu, pravovremenu, stručnu i odgovornu procenu stanja tehničke podrške;
- angažovanje potpuno osposobljenog i proverenog kadra na zadacima podrške jedinica u prostoru, a prema zahtevima i nadležnostima i svih raspoloživih materijalnih sredstava;
- dokumentovan rad po svim aktivnostima, procesima i zadacima u službi, uvažavajući formalizovana dokumenta;
- dosledno poštovanje odobrenih kvota za popunu civilnim licima;
- plansko stručno-specijalističko usavršavanje kadra na svim nivoima i po svim specijalnostima;
- pravilno i potpuno iskorišćenje stručnih mogućnosti slušalaca škole rezervnih oficira u jedinicama VJ;

– podizanje kvaliteta osnovnog i tehničkog održavanja tehničkih sredstava i smanjenje obima nenamenskog korišćenja kapaciteta ovog vida održavanja;

– preduzimanje mera da se održi dostignuti stepen funkcionalne ispravnosti tehničkih sredstava i da se u skladu sa materijalnim uslovima ona postepeno podiže;

– smanjenje obima angažovanja i ispomoći iz remontnih zavoda i civilnih preduzeća na zadacima nižeg tehnološkog nivoa, na račun boljeg iskorišćenja kapaciteta za tehničko održavanje i srednji remont;

– podizanje ispravnosti sredstava koja su od posebnog značaja za svakodnevne aktivnosti Vojske;

– intenzivnije osvajanje postupaka regeneracije rezervnih delova i opravke sklopova;

– brže oslobađanje jedinica od viškova neperspektivnih i dotrajalih tehničkih sredstava putem rashodovanja, pri čemu prednost treba dati sredstvima koja se nalaze u civilnim preduzećima;

– pravilan prihvrat i namensko iskorišćenje raspoloživih kapaciteta ekipa koje se iz zavoda i preduzeća upućuju kao ispomoć nižim nivoima održavanja;

– plansko održavanje ubojnih sredstava i prateće opreme za pogonska sredstva;

– permanentno podizanje nivoa informatičke podrške u tehničkoj podršci VJ;

– iniciranje i podršku inventivnoj delatnosti u jedinicama;

– aktivno učešće u sprovođenju dinamičkog plana Organizacijske dogradnje Vojske Jugoslavije u 2003. godini;

– pravovremeno i kvalitetno izvršavanje zadataka u vezi s daljom reorganizacijom Vojske, po pitanjima rasporeda kadra i tehničkih sredstava;

– pravovremenu i kvalitetnu pripremu jedinica i ustanova za plansku kontrolu i ocenjivanje borbene gotovosti, zaštite na radu i materijalno-finansijsku kontrolu.

Na kraju sastanka, u završnom izlaganju, načelnik Tehničke uprave Sektora za logistiku GŠ VJ general-major dr Milun Kokanović, učesnicima analize je izneo pozitivne zaključke o radu u protekloj godini, istakao osnovne smernice za rad pripadnika TSl sva tri vida Vojske u tekućoj godini, obrazložio uslove u kojima će se zadaci realizovati i definisao težišne zadatke na kojima će se TSl angažovati u periodu koji predstoji.

Redakcija

*Rezime:*

*U radu se razmatra modeliranje induktivnog mašinskog učenja (inductive machine learning). Izloženi su najznačajniji matematički modeli i njihov odnos prema praktično realizovanim algoritmima. Prikazane su osnovne karakteristike najpoznatijih svetskih i jednog sopstvenog sistema induktivnog učenja, kao i primeri upotrebe sistema u zadacima predviđanja.*

*Ključne reči: induktivno mašinsko učenje, matematičko modeliranje, model PAC, algoritmi.*

---

MATHEMATICAL MODELING OF INDUCTIVE MACHINE LEARNING

*Summary:*

*This paper considers mathematical modeling of inductive machine learning. Most important mathematical models and their relations to practical realizations of algorithms are reviewed. The basic characteristics of some best known systems and one author's system for inductive rules learning are described and some examples of using systems in prediction tasks are presented.*

*Key words: inductive machine learning, mathematical modeling, PAC model, algorithms.*

---

**Uvod**

Indukcija predstavlja izvođenje opštih zakonitosti na osnovu uvida u konkretne pojave, odnosno slučajeve. Problem sa takvim zakonitostima jeste da se njihova istinitost ne može formalno dokazati, već samo opovrgnuti, što su uočili još antički mislioci.

U novije doba F. Bacon je kritikovao nauku XVII veka, smatrajući da predstavlja samo uređen sistem postojećeg znanja, bez usmerenja ka novim otkrićima i metodama otkrivanja. Takođe,

uočio je tendenciju ljudskog mišljenja ka zanemarivanju negativnih primera, i ukazao na opasnost od preterane generalizacije u induktivnom zaključivanju.

Smatrao je da se proces razumevanja mora „izvršiti kao pomoću mašine“ [1]. Prve korake ka tom cilju načinio je J. S. Mill, koji je smatrao da je zadatak logike da obezbedi modele i pravila induktivnog zaključivanja, i predložio svoja četiri pravila indukcije.

Neki savremeni filozofi, kao K. Popper, negiraju postojanje mehanizma poput indukcije u živom svetu i smatraju

da se znanje dobija stvaranjem pretpostavki i odbacivanjem onih koje nisu saglasne sa podacima, odnosno kao pogađanje i eliminisanje greške. Većina sličnih razmatranja odnosi se na proces otkrivanja naučnih i univerzalnih istina, dok se zanemaruje da je veliki deo ljudskog znanja i iskustva koje se koristi u svakodnevnom životu fragmentaran i neprecizan, često sa unapred poznatim brojem kontraprimera.

S druge strane, filozof Bertrand Russell je smatrao da, ako se ne veruje u indukciju, ne veruje se ni u šta. Smatrao je da je induktivni princip u suštini probabilistički i skrenuo pažnju na značaj statističkog zaključivanja.

Važan aspekt modeliranja učenja istakao je i filozof Ludwig Wittgenstein, koji je ukazivao na važnost jednostavnosti, i smatrao da je zadatak indukcije da prihvati kao istinitu najjednostavniju postojeću zakonitost, pošto postoji mnogo generalizacija konzistentnih sa iskustvom (primer opravdanosti ovog stava predstavljaju Ptolomejeva i Kopernikova kosmologija).

Nastankom računara pojavio se i problem konstrukcije mehanizma koji bi mogao da kreira opšte zakonitosti na osnovu konkretnih primera, a kao jednako važan i problem ocene valjanosti tih zakonitosti u praktičnim situacijama.

Inženjerska definicija učenja jeste da je to proces u kojem „sistem poboljšava svoje performanse na datom zadatku bez dodatnog programiranja“ [1].

Mašinski generisano znanje najčešće je namenjeno čoveku i tada je neophodno da bude predstavljeno u obliku koji odgovara ljudskim predstavama i

mentalnim modelima, odnosno da zadovoljava „princip razumljivosti“ (comprehensibility principle) [2]. Takođe, poželjno je da se omogući ne samo predstavljanje i objašnjavanje rezultata, nego i važnijih principa, pretpostavki i teorija koje vode takvim rezultatima.

Jedna od savremenih primena induktivnog učenja jeste u inteligentnoj analizi podataka (data mining, knowledge data discovery) [3]. Osim tradicionalnih metoda, kao što su regresiona analiza, klaster analiza, numerička taksonomija i stohastičko modeliranje, koriste se različite metode mašinskog učenja: fuzzy logika, neuronske mreže, sistemi za induktivno učenje produkcionih pravila i stabala odlučivanja, itd.

Najčešći zadaci inteligentne analize podataka, koji se realizuju tehnikama induktivnog učenja, jesu:

- klasifikacija (classification) – razvrstavanje novih podataka u zadati skup mogućih kategorija;

- predviđanje (prediction) – upotreba prediktivnog modela znanja, tako da se za novi podatak predvidi vrednost zadanog atributa;

- regresija (regression) – izvođenje modela na osnovu analize veza nekih vrednosti atributa sa vrednostima drugih atributa jednog istog podatka. Taj model se zatim može koristiti za predviđanje vrednosti tih atributa u novim podacima.

## Modeliranje induktivnog učenja

Formulisanjem matematičkih modela koji omogućavaju rigoroznu formalnu analizu i smisljeno poređenje, heurističkom mašinskog učenja bavi se teorija



mašinskog učenja (computational learning theory). Postoji više modela mašinskog učenja [4], [5]:

– model učenja do granice (E. M. Gold, 1967),

– model učenja PAC (L. Valiant, 1984),

– model egzaktnog učenja (D. Angluin, 1988),

– modeli zasnovani na metodama minimalnog kodiranja (Wallace, 1987; Rissanen, 1987),

– modeli učenja na osnovu Bayesove i klasične statističke teorije (W. L. Buntine, 1992),

– ostali pristupi modeliranju induktivnog učenja.

U ovom radu su ovi modeli ukratko opisani, a zatim je detaljnije prikazan najpopularniji model induktivnog učenja – model PAC (Probably Approximately Correct Learning model).

### *Model učenja do granice*

Jednu od najstarijih teorija induktivnog zaključivanja razvio je M. Gold 1967. godine na osnovu teorije rekurzivnih funkcija, odnosno teorije izračunljivosti [6]. Učenje se posmatra kao prikupljanje informacija o nepoznatom objektu, njihovo procesiranje i dobijanje opisa nepoznatog objekta. U idealnom slučaju, to je potpuni opis objekta.

Objekti u ovom modelu su izračunljive rekurzivne funkcije (ili rekurzivno prebrojivi jezici) pomoću kojih se može predstaviti proizvoljno algoritamsko ponašanje, odnosno algoritam učenja. Nepoznata funkcija  $f$  zadaje se preko svojih vrednosti  $f: f(0), f(1), f(2), \dots$ , a algoritam

učenja generiše program  $h$  u univerzalnom programskom jeziku<sup>1</sup> koji izračunava nepoznatu funkciju  $f$ .

U ovom modelu podrazumeva se raspoloživost neograničenog broja primera za učenje. Broj hipoteza koje sistem može da postavi i ispravi takode nije ograničen, a opis se dobija nakon dovoljnog broja primera, pa se ovaj model učenja naziva i učenje do granice (learning in the limit) [6].

### *Model učenja PAC*

Dok se teorija učenja do granice bavi eventualnom identifikacijom potpuno istinite hipoteze, teorija učenja L. Valianta ima za cilj otkrivanje razumno tačne hipoteze za razumno vreme [6].

Naziv „učenje PAC“ nastao je od namene modela, u kojem uspešno učenje nepoznatog koncepta povlači nalaženje, sa visokom pouzdanošću, hipoteze koja predstavlja njegovu dobru aproksimaciju.

Model PAC pokušava da formalizuje opšti zadatak učenja koncepta, tako da to bude praktično izvedivo (feasible) učenje, koje podrazumeva polinomsku zavisnost vremena izvršavanja i potrebnog broja primera da se koncept nauči. Ovaj model ne zahteva nalaženje potpuno preciznog opisa nepoznatog koncepta, već samo traži da greška aproksimacije bude po volji mala i to sa određenom verovatnoćom. Pri tome se podrazumeva da se primeri slučajno uzimaju iz prostora primera u skladu sa distribucijom verovatnoće. Greška aproksimacije izražava se kroz verovatnoću da neki primer pri-

<sup>1</sup> Odnosno, programski jezik dovoljno univerzalan da se u njemu implementira Turingova mašina.

pada skupu primera za koje se ciljni i naučeni koncept razlikuju.

Postoji više proširenja modela PAC radi uključivanja realnih problema u analizu: agnostički (agnostic) model PAC ne pretpostavlja da postoji traženi koncept, dok model PAC sa šumom (noise model) pretpostavlja prisustvo velike količine slučajnog šuma ili malog dela namernog šuma u podacima.

Nedostatak modela PAC mašinskog učenja je egzistencijalna priroda rezultata koje daje: mogućnost ili nemogućnost učenja određenih klasa koncepata, koji malo utiču na osnovni problem konstruisanja programa koji uči.

### *Model egzaktnog učenja*

Model egzaktnog učenja, ili model upita, pred algoritam učenja postavlja zahtev da proizvede hipotezu koja je identična ciljnoj, odnosno klasifikuje sve primere na identičan način kao i nepoznati ciljni koncept. Algoritam učenja može da koristi dodatne izvore informacija, osim obučavajućeg skupa, u obliku upita o klasifikaciji pojedinih primera, upita o pripadnosti i upita o ekvivalentnosti, odnosno provere da li je naučeni koncept već jednak ciljnom.

Jedan od prvih rezultata ovog modela je algoritam D. Angluin za učenje monotonih DNF (disjunctive normal form) formula pomoću upita o pripadnosti i ek-

vivalentnosti. Može se modifikovati za učenje koncepata korišćenjem samo upita o pripadnosti, ako se reše dodatni računski problemi za koje su poznati efikasni algoritmi, što je povezano sa praktičnim problemima na području inteligentne analize podataka (problem otkrivanja asocijacija, nalaženja svih ključeva u relaciji i sl.) [5].

### *Modeli minimalnog kodiranja*

Učenje koncepata može se posmatrati kao kompresija informacija, pošto naučeni koncept (teorija ili hipoteza) opisuje (describes) ili objašnjava (explains) veliki broj primera iz obučavajućeg skupa. U opštem slučaju ne postoji jedinstvena hipoteza koja objašnjava obučavajući skup primera.

Princip MDL (Minimum Description Length) tvrdi da je za objašnjenje podataka najbolja ona teorija koja minimizira sumu dužine opisa same teorije i dužinu podataka zapisanih uz pomoć te teorije (u bitima) [7].

Na slici 1 (a) prikazan je primer podataka koji se sastoje od sekvence dužine 100 000 bita, a jedan program koji opisuje ovu sekvencu na slici 1 (b) (u programu se doslovno nabraja svaki bit). Pošto u sekvenci postoji pravilnost, ovaj program može se skratiti na svega nekoliko bita, kao na slici 1 (c). U ulaznom nizu nema izuzetaka od ove pravilnosti, pa je

```
(a) 00001000010000100001000010000100001 ... 000010000100001
(b) print '00001000010000100001000010000100001 ... 000010000100001'; halt
(c) for i=1 to 20000; print '00001'; halt
```

*Sl. 1 – Dva načina kodiranja podataka u univerzalnom programskom jeziku*



to istovremeno tačan i potpuni opis posmatranog skupa podataka.

Jedan od poznatih principa u izboru optimalne hipoteze ili opisa koncepta je tzv. princip „Okamove oštrice“ (Occam's razor principle), koji nalaže izbor najjednostavnije hipoteze, odnosno one koja minimizira informaciju potrebnu za njen zapis:

$$\arg \min_{h \in H} I(h)$$

gde je  $H = \{h_i\}$  skup hipoteza, a  $I(h)$  količina informacije potrebna za kodiranje hipoteze  $h \in H$ . Doslovna primena principa izbora najjednostavnije hipoteze generiše suviše specijalizovane teorije, kojima se opisuju i brojna odstupanja podataka u primerima od tražene zakonitosti.

U prisustvu šuma, određena nekonzistentnost i nekompletnost opisa koncepta je neophodna [8]. Princip MDL ocenjuje ovakve hipoteze i bira one koje minimiziraju količinu informacije potrebne za zapis same hipoteze i zapis obučavajućeg skupa primera pomoću te hipoteze:

$$\arg \min_{h \in H} [I(h) + I(S_i|h)]$$

gde je  $S_i$  obučavajući skup primera relativan za hipotezu, a  $I(S_i|h)$  je količina informacije potrebna za kodiranje obučavajućeg skupa primera  $S_i$  pomoću hipoteze  $h$ . Ovaj član predstavlja količinu informacija potrebnih za predstavljanje izuzetaka od teorije, pošto su primeri koje teorija korektno klasifikuje već saržani u opisu same teorije.

U odsustvu šuma, princip MDL se za nekonzistentne hipoteze svodi na princip

„Okamove oštrice“, jer za njih važi  $I(S_i|h) = \infty$ , pa se za (kraće) konzistentne hipoteze generiše isti poredak kao i pomoću izraza  $I(h)$ .

U praksi se pokazalo da, za mali broj primera, mera MDL favorizuje suviše generalne koncepte i ima loše performanse na novim primerima. Ograničenja opisnog jezika, takođe, mogu imati kao posledicu nemogućnost generisanja opisa koji dobro objašnjava obučavajuće primere.

Princip MDL je u [9] kombinovan sa tačnošću na obučavajućem skupu u programu za učenje predikatnih, kao i propozicionih konceptata:

$$\arg \min_{h \in H: I(h) + I(S_i|h) < I(S_i)} I(S_i|h)$$

gde je  $I(S_i)$  količina informacija potrebna za kodiranje obučavajućeg skupa  $S_i$ . Za propozicione koncepte dobijena je ista tačnost predviđanja, uz znatno smanjenje veličine opisa.

### *Modeli učenja na osnovu Bayesove i klasične statističke teorije*

Prema [4], modeli Bayesove statističke teorije predstavljaju dovoljno snažan teoretski okvir za modeliranje svih bitnih aspekata problema mašinskog učenja konceptata, kao što su izračunljivost (kompleksnost) algoritama učenja, ocena greške učenja, predubedenje, pretraživanje prostora hipoteza, problem detaljisanja (overfitting) i prisustvo „šuma“ u primerima.

Takođe, pokazano je da za mnoge probleme koji se razmatraju drugim teorijama mašinskog učenja postoji dualna interpretacija u okviru Bayesove statističke teorije [1], [4].

## *Ostali pristupi modeliranju induktivnog učenja*

U [4] se kao teorije induktivnog učenja navode još i modeli učenja iz klasične matematičke statistike i prepoznavanja uzoraka: diskriminantna analiza, estimacija osnovne gustine (kernel density estimation), metoda najbližeg suseda (nearest neighbour), selekcija i ekstrakcija atributa (feature selection and extraction), kao i metode razvijanja (partitioning methods), koje se u ovom radu neće detaljnije izlagati.

### *Osnovni rezultati modela induktivnog učenja PAC na osnovu primera*

Prema [10] model mašinskog učenja PAC uveo je 1984. godine L. G. Valiant, radi proučavanja računске složenosti algoritama mašinskog učenja, pri čemu je koristio pojednostavljene pojmove iz statističkog prepoznavanja uzoraka i teorije odlučivanja, kao i teorije izračunljivosti, odnosno algoritamske kompleksnosti. Proučavao je izračunljive klase problema mašinskog učenja, odnosno one za koje postoje algoritmi polinomske složenosti koji ih rešavaju.

U originalnom modelu PAC, prostor primera, kao i prostor hipoteza, odnosno koncepata je  $\{0,1\}^n$ , odnosno sastoji se od niza vrednosti biranih (boolean) atributa. Smisao aproksimacije se definiše uz pretpostavku da postoji neka distribucija  $D$ , definisana nad prostorom primera  $\{0,1\}^n$ , koja svakom primeru pridružuje neku verovatnoću.

Greška hipoteze  $h$ , kada je poznat traženi koncept  $f$ , definiše se kao verovatnoća da se hipoteza  $h$  i koncept  $f$  razlikuju na primeru slučajno izabranom u skladu sa distribucijom  $D$ :

$$\varepsilon_h = \sum_{x \in h\Delta c} D(x)$$

gde  $\Delta$  označava simetričnu diferenciju.

Hipoteza  $h$  je dobra aproksimacija nepoznatog koncepta  $f$  ako je greška  $\varepsilon_h$  dovoljno mala. Najjednostavniji način dobijanja dobre hipoteze jeste traženje nezavisnih slučajnih primera traženog koncepta  $f$ , od kojih se svaki sastoji od primera koji je izabran slučajno u skladu sa  $D$  i označava se kao pozitivan ako je primer koncepta  $f$ , odnosno kao negativan ako nije primer koncepta. Učenje i testiranje koriste istu distribuciju primera, odnosno ne razmatra se „šum“ u podacima. Algoritam učenja je tada izračunljiva procedura koja uzima uzorak traženog koncepta  $f$ , koji se sastoji od niza nezavisnih slučajnih primera koncepta  $f$  i vraća kao rezultat hipotezu.

Za svaki  $n \geq 1$  neka je  $C_n$  skup traženih koncepata nad prostorom primera  $\{0,1\}^n$  i neka je  $C = \{C_n\}_{n \geq 1}$ . Neka su  $H_n$ , za  $n \geq 1$  i  $H$  definisani na sličan način. Mogućnost učenja PAC (po modelu PAC learnability) može se definisati na sledeći način:

Klasa koncepata  $C$  može se naučiti po modelu PAC u prostoru hipoteza  $H$  ako postoji algoritam učenja koji se izvršava za polinomsko vreme i polinom  $p(\cdot, \cdot, \cdot)$ , koji je takav da za sve  $n \geq 1$ , sve tražene koncepte  $c \in C_n$ , sve distribucije verovatnoća  $D$  nad prostorom primera  $\{0,1\}^n$  i svaki  $\varepsilon$  i  $\delta$ , gde su  $0 < \varepsilon, \delta < 1$ , ako

se algoritmu  $A$  zadaje najmanje  $p(n, 1/\varepsilon, 1/\delta)$  nezavisnih slučajnih primera koncepta  $c$  uzetih na osnovu distribucije  $D$ , onda algoritam  $A$  sa verovatnoćom od najmanje  $1/\delta$ , vraća hipotezu  $h \in H_n$  sa greškom  $\varepsilon_h \leq \varepsilon$ . Polinom  $p$  najmanjeg reda naziva se kompleksnost uzorka (sample complexity) algoritma učenja  $A$ .

Definicija ističe da algoritam učenja mora biti efikasan (polinomske složenosti) i mora sa velikom verovatnoćom da daje dobru aproksimaciju nepoznatog koncepta, uz razuman broj slučajno izabranih obučavajućih primera.

Ako se prostor hipoteza  $H$  poklapa sa klasom konceptata  $C$ , klasu konceptata moguće je pravilno (properly) naučiti prema modelu PAC. Ovaj zahtev nije neophodan kada se traži samo efikasan način predviđanja novih primera, bez obzira na oblik naučene hipoteze.

Neki od poznatijih rezultata teorije PAC o mogućnosti pravilnog učenja po modelu PAC su:

- konjuktivni koncepti mogu se pravilno naučiti prema modelu PAC. Klasa konceptata u obliku disjunkcije dva konjuktivna izraza se ne može pravilno naučiti po modelu PAC, kao ni klasa egzistencijalnih konjuktivnih konceptata u strukturnim prostorima primera sa dva objekta;

- pojedinačni koncepti u obliku perceptrona, odnosno linearnih threshold funkcija, mogu se pravilno naučiti po modelu PAC. Klasa konceptata u obliku konjukcije ili disjunkcije dva koncepta u obliku perceptrona ne može se pravilno naučiti po modelu PAC, kao ni neuralne mreže u više nivoa sa dve sakrivene jedinice;

- klase disjunktivnih i konjuktivnih Boolovih formula konačne dužine  $k$ , kao i liste odlučivanja konačne dužine, mogu se pravilno naučiti po modelu PAC za

svako fiksirano  $k$ . Nije poznato da li se klase svih disjunktivnih i konjuktivnih Boolovih formula i svih lista odlučivanja mogu pravilno naučiti po modelu PAC.

Dokaz mogućnosti učenja PAC podrazumeva:

- dokazivanje da postoji efikasan algoritam koji nalazi hipotezu u konkretnom prostoru hipoteza i koji je konzistentan (tačan za sve primere) sa zadatim uzorkom bilo kog koncepta iz ciljne klase koncepta,

- dokazivanje da je kompleksnost uzorka svakog takvog algoritma polinomska.

Za veće prostore hipoteza potreban je veći uzorak  $m$  primera radi nalaženja konzistentne hipoteze sa zadatom verovatnoćom bar  $1/\delta$ . Ako se koriste samo diskretni atributi, gornja granica može se iskazati preko kardinalnosti prostora hipoteza  $|H_n|$  (tzv. Blumerova granica):

$$m \leq \frac{1}{\varepsilon} \left( \ln |H_n| + \ln \frac{1}{\delta} \right)$$

Kompletan prostor hipoteza nad  $n$  propozicionih simbola ima kardinalnost  $|H_n| = 2^{2^n}$  ( $2^n$  primera, a svaki se može označiti kao istinit ili lažan), a prostor od  $k$  disjunktivnih konjuktivnih izraza proizvoljne dužine ima kardinalnost

$$|H_n| \leq (3^n)^k.$$

Osim kardinalnosti diskretnih prostora hipoteza, za prostore hipoteza sa kontinualnim atributima razmatra se i tzv. VC-dimenzija (Vapnik-Chevo-nenkis dimension). Označava se sa  $VC\text{-dim}(H)$  i definiše kao maksimalni broj  $d$  primera koji se mogu označiti kao pozitivni i negativni primeri na svih  $2^d$  mogućih načina, tako da je svako označavanje konzistentno sa nekim hipotezama u  $H$ .

Pomoću ove veličine može se oceniti gornja granica kompleksnosti, odnosno najmanja potrebna veličina uzorka. Za  $C_n \subseteq H_n$  i  $n \geq 1$  može se pokazati da svaki konzistentan algoritam za učenje klase  $C$  pomoću prostora hipoteza  $H$  ima gornju granicu kompleksnosti uzorka:

$$m \leq \frac{1}{\varepsilon(1-\sqrt{\varepsilon})} \left( 2 \cdot VC \dim(H_n) \ln \frac{6}{\varepsilon} + \ln \frac{2}{\delta} \right)$$

Model PAC učenja može se jednostavno proširiti na primere sa drugim tipovima atributa, uključujući attribute koji opisuju strukturalna svojstva primera (npr. za opis scene). Moguće je definisati primere kao nizove nad fiksnim alfabetom i ispitivati mogućnost učenja konačnih automata, beskontekstnih gramatika i sličnih klasa koncepata.

Važna modifikacija modela PAC je slabi (weak) model PAC. Pretpostavka tzv. jakog (strong) modela PAC jeste mogućnost postizanja po volji male klasifikacije greške, uz dovoljan broj primera. Slabi model PAC učenja postavlja slabiji zahtev pred algoritam učenja, jer je dovoljno da klasifikacijska greška koju garantuje algoritam učenja bude samo nešto manja od greške slučajne klasifikacije.

Zahtev jakog modela PAC za malom klasifikacijskom greškom može se postići i kombinacijom slabog algoritma PAC (koji zadovoljava uslove slabog modela PAC i posebnog algoritma kombinovanja, kojim se kombinuju rezultati više aktiviranja slabog algoritma nad različitim uzorcima obučavajućih primera. Najpoznatije metode kombinovanja su isticanje (boosting [11]) i natrpavanje (bagging [12]).

Prema [5] jedan od najpoznatijih primera algoritma isticanja, AdaBoost [11], ugrađen je u poznati algoritam učenja C5.0 i sistem za istraživanje podataka Clementine.

Praktično realizovani uspešni sistemi mašinskog učenja, kao što su C4.5, CART i Backprop, ne zadovoljavaju kriterijume modela učenja PAC [5]. Na taj način, PAC model učenja ne omogućava smisleno poređenje različitih algoritama učenja.

### Praktično realizovani algoritmi induktivnog učenja

Sistemi induktivnog mašinskog učenja koncepata postoje kao samostalni programi i kao delovi složenijih sistema, kao što su programska okruženja za projektovanje ekspertskih sistema i sistemi za inteligentnu analizu podataka. Prema složenosti koncepata koje su u stanju da nauče, odnosno izražajnoj snazi jezika za opis koncepata, uglavnom se dele na sisteme za propoziciono učenje (predikatni račun nultog reda) i sisteme za predikatno učenje (predikatni račun prvog i, izuzetno, viših redova). Ovakvi koncepti opisuju se izrazima sa rekurzijom i omogućavaju jednostavniji opis složenih objekata.

Najpoznatiji programi za propoziciono učenje su programi iz AQ-familije (Michalski), ID3 (Quinlan), Assistant-86 (Cestnik, Kononenko, Bratko), C4.5 (Quinlan), CART (Breiman) i CN2 (Clark, Niblett).

Neki od poznatijih programa za predikatno učenje, odnosno induktivno učenje logičkih koncepata, jesu programi tzv. in-

duktivnog logičkog programiranja (inductive logic programming, ILP). Poznatiji sistemi iz ove kategorije su: FOIL (Quinlan), FOCL (Pazzani) i HYDRA (Pazzani).

Autor ovog rada razvio je jedan sistem za predikatno učenje [13, 14] u okviru sopstvenog sistema za inteligentnu analizu podataka Empiric. Prvi prototip sistema autor je razvio na Katedri za računarsku tehniku Visokih vojnotehničkih škola KoV JNA u Zagrebu 1989–1991. godine (verzija za DOS).

Nova multimodelska verzija sistema za induktivno učenje Empiric.Rules razvijena je kao praktični deo izrade magistarske teze na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu [14]. Mogućnost učenja višestrukih modela realizovana je metodom „natrpavanja“ (bagging).

### Primeri upotrebe sistema induktivnog učenja

Metodologija upotrebe metoda mašinskog učenja u rešavanju problema predviđanja podrazumeva sledeće korake [15]:

1. Formulisanje problema na način pogodan za tretiranje metodama induktivnog učenja pravila, odnosno u problem predikcije ili klasifikacije;

2. Izbor načina predstavljanja obučavajućih primera i koncepata (izbor i definicija atributa);

3. Prikupljanje podataka za formiranje dobrog skupa primera za učenje;

4. INDUKTIVNO UČENJE (pomoću nekog sistema za automatizovano učenje);

5. Evaluacija naučenog znanja; estimacija tačnosti predviđanja i pregled koji obavljaju stručnjaci za razmatranu problematiku;

6. Primena baze znanja (u okviru nekog sistema zasnovanog na znanju ili nezavisno).

Uspeh, pre svega, zavisi od prve dve tačke, odnosno od dobre formulacije problema i izbora atributa koji su relevantni za problem. Prednost induktivnog učenja je u tome što je kompleksan zadatak prikupljanja znanja sveden na dva jednostavnija zadatka – definisanje problema i formiranje adekvatne reprezentacije.

Za ilustraciju biće navedeno nekoliko primera primene ove metodologije za rešavanje stvarnih problema u nekoliko oblasti:

- medicinska dijagnostika, problemi Hepatitis, Heart Disease, Thyroid Disease;
- dijagnostika tehničkih sistema, problem Shuttle;
- kriminologija, problem Glass.

Tačka 1. metodologije realizuje se kroz definisanje svakog od navedenih problema [16]:

– *Hepatitis* – cilj je predviđanje preživljavanja pacijenata obolelih od hepatitisa, na osnovu 19 opštih podataka i kliničkih nalaza (age, sex, steroid, antivirals, fatigue, malaise, anorexia, liver-big, liver-firm, spleen-palpable, spiders, ascites, varices, bilirubin, alk-phosphate, sgot, albumin, protime, histology). Neki podaci u primerima su ispušteni;

– *Heart Disease* – zadatak je utvrđivanje da li kod pacijenta postoje znakovi oboljenja srca ili ne, na osnovu 13 pokazatelja (age, sex, chest pain type, resting blood pressure, cholesterol, fasting blood sugar > 120 mg/dl, resting EKG results, max. heart rate, exercise induced angina, ST depression induc by exercise, slope of peak exercise ST segm, # of maj vessel clrd by flourscp, thal);

– *Thyroid Disease* – cilj je dijagnostika oboljenja štitne žlezde: da li pacijent ima oboljenje i koji oblik (originalna varijanta problema R. Quinlan-a), na osnovu 29 opštih podataka i kliničkih nalaza (age, sex, on thyroxine, query on thyroxine, on antithyroid medication, sick, pregnant, thyroid\_surgery, I131 treatment, query hypothyroid, query hyperthyroid, lithium, goitre, tumor, hypopituitary, psych, TSH\_measured, TSH, T3\_measured, T3, TT4\_measured, TT4, T4U\_measured, T4U, FTI\_measured, FTI, TBG\_measured, TBG, referral source). Neki podaci u primerima dijagnoza su ispušteni;

– *Shuttle* – cilj je predviđanje stanja radijatora Space Shuttla (7 vrednosti, odnosno klasa), na osnovu numeričkih pokazatelja koji se očitavaju sa senzora (prvi podatak je vreme očitavanja), koristeći znanje u obliku pravila koja može da shvati čovek-operater. Obučavajući skup ima 43 500 klasifikovanih primera očitavanja snimljenih na jednom letu, a testni skup 14 500 primera sa drugog leta;

– *Glass* – cilj je identifikacija vrste stakla pronađenog na licu mesta za kriminološke potrebe, na osnovu indeksa prelamanja (refractive-index) i hemijske analize sastojaka (sodium, magnesium, aluminum, silicon, potassium, calcium, barium, iron). Ispravna identifikacija vr-

ste (porekla) stakla može se upotrebiti kao sudski dokaz.

Tačka 2. metodologije realizovana je tako da je za sve probleme upotrebljen isti (propozicioni) opisni jezik, sa brojem i vrstama atributa, kao u tabeli.

Tačka 3. (prikupljanje podataka) realizovana je u različitim institucijama, npr. za problem Hepatitis na univerzitetu Carnegie-Mellon, a za Shuttle u NASA. Detaljan opis i prikupljeni podaci nalaze se u svetskoj bazi podataka problema induktivnog učenja [16], na adresi [www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html](http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html).

Tačka 4. (induktivno učenje) realizuje se tako da se istovremeno pripreme i osnovni podaci za estimaciju tačnosti iz tačke 5. Deo primera koristi se za učenje, a deo za proveru naučenog znanja, odnosno estimaciju tačnosti predviđanja, slika 2. Skoro objektivna estimacija buduće tačnosti predviđanja dobija se metodom unakrsne validacije (skup primera se na slučajan način podeli na  $k$  delova, a zatim se  $k$  puta izvrši algoritam učenja, tako da se svaki put  $(k-1)/k$  primera koristi za učenje, a  $1/k$  za testiranje ( $k$  je obično 10).

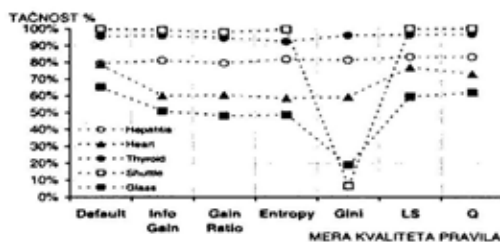
Kada je broj primera dovoljno veliki (npr. problem Shuttle), obučavajući skup se podeli na dva dela: deo za učenje i deo za testiranje. Proces estimacije tačnosti završava se u jednom prolazu algoritma učenja.

Pregled svojstava opisa problema

Tabela

R. br.	Problem	Broj primera	Broj atributa		Broj klasa	% većinske klase	Ispušt. vredn.
			Diskretnih	Kontinualnih			
1.	Hepatitis	155	13	6	2	79,35%	da
2.	Heart Disease	270	6	7	2	55,56%	-
3.	Thyroid Disease	3772	22	7	3	95,68%	da
4.	Shuttle 43 500	58 000	-	9	7	78,60%	-
5.	Glass	214	-	9	7	35,51%	-





Sl. 2 – Tačnost predviđanja na pojedinim problemima za raspoložive mere kvaliteta

Tačka 5. predviđa i ekspertizu, odnosno detaljnu analizu rezultata (estimacije tačnosti i naučenih pravila) koju obavljaju stručnjaci za određenu problematiku. Ako je znanje namenjeno ljudima, pravila ne smeju da odudaraju od očekivanja stručnjaka, odnosno postojećih mentalnih modela [17].

Za ilustraciju će se uzeti problem Hepatitis (tabela 1). Stručnjaci su povoljno ocenili generisana pravila u kojima su upotrebljeni atributi ALBUMIN, BILIRUBIN i PROTINE, za razliku od manje važnih, kao što su VARICES, SGOT, SPIDERS ili FATIGUE (od ukupno 19 atributa).

Na slici 3 prikazan je tipičan skup pravila koje je generisao sistem Empiric.

Rules, koristeći meru kvaliteta pravila *ls-content*, na kojoj se vidi da je u osnovi saglasan sa navedenim očekivanjima stručnjaka, odnosno sa postojećim znanjem.

Tačka 6. je primena naučenog znanja u praksi, sa ili bez posredovanja računara, što zavisi od ocene njegove tačnosti, stepena razumljivosti i saglasnosti sa postojećim znanjem [14, 17].

## Zaključak

Neki principi modeliranja induktivnog učenja poznati su još od antičkih vremena. Mogućnost automatizacije procesa induktivnog zaključivanja razmatrali su F. Bacon i J. S. Mill, a u savremeno doba formira se matematička disciplina koja ima cilj da modelira proces učenja – teorija mašinskog ili automatizovanog učenja (*computational learning theory*).

U okviru ove teorije razmatrano je više različitih pristupa modeliranju učenja, od kojih se model PAC (*Probably Approximately Correct model*) najviše koristi u teoretskim analizama. Izloženi

```

Rule 1 (1.000): [PROTINE=>29..35][AGE=>33..70] -> [Class=DIE] 8
Rule 2 (1.000): [ALBUMIN=<2.8000][ALK-PHOSPHATE=>86..165] -> [Class=DIE] 7
Rule 3 (0.308): [PROTINE=>38..73][ALK-PHOSPHATE=>84..280] -> [Class=DIE] 8
Rule 4 (0.667): [PROTINE=>50..73][BILIRUBIN=>4.1000..7.6000] -> [Class=DIE] 2
Rule 5 (0.118): [ALBUMIN=>2.2000..4.2000] -> [Class=DIE] 11
Rule 6 (0.333): [SGOT=>60..182][ALK-PHOSPHATE=>127] -> [Class=DIE] 2
Rule 7 (1.000): [SGOT=>60][AGE=>62] -> [Class=DIE] 1
Rule 8 (0.100): [AGE=>51..61] -> [Class=DIE] 2
Rule 9 (1.000): [PROTINE=>51][BILIRUBIN=<1.6000] -> [Class=LIVE] 46
Rule10 (1.000): [ALBUMIN=>3.9000][BILIRUBIN=>0.7000..1.6000] -> [Class=LIVE] 28
Rule11 (0.596): [PROTINE=>41..78] -> [Class=LIVE] 31
Rule12 (0.542): [PROTINE=>23..36] -> [Class=LIVE] 26
Rule13 (0.630): [ALBUMIN=>3.7000] -> [Class=LIVE] 17
Rule14 (0.455): [ALBUMIN=>2.7000..3.5000] -> [Class=LIVE] 15
Rule15 (0.250): [SGOT=>24] -> [Class=LIVE] 9
Rule16 (1.000): [AGE=>23] -> [Class=LIVE] 1

```

Sl. 3 – Skup pravila za problem Hepatitis generisan u jednom od prolaza algoritma Empiric.Rules

su osnovni teoretski rezultati ovog pristupa modeliranju induktivnog učenja.

Praktični algoritmi induktivnog učenja ne zadovoljavaju osnovni zahtev modela PAC o garantovanju zadate tačnosti, uz dovoljan broj obučavajućih primera. Zato je uveden „slabi“ (weak) model PAC, po kojem je dovoljno da klasifikacijska greška generisanih pravila bude nešto manja od greške slučajne klasifikacije.

Metodologija upotrebe sistema induktivnog učenja i primeri iz nekoliko interesantnih oblasti (medicinska dijagnostika, dijagnostika tehničkih sistema, kriminologija) daju se uz korišćenje autorovog sistema za induktivno učenje pravila na osnovu primera *Empiric.Rules*.

Izložene teorije induktivnog učenja koriste se za analizu rešivosti određenih klasa problema induktivnog učenja, dok se praktični sistemi induktivnog učenja i dalje zasnivaju na heurističkim procedurama, kao što je npr. klasa algoritama opisana u [14].

#### Literatura:

- [1] Forsyth, R. (ed): *Machine Learning: Principles and techniques*, London: Chapman and Hall, 1989.
- [2] Michalski, R., Carbonell, J., Mitchell T. (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach* (Vol. I). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1983.
- [3] Mišković, V.: *Primena sistema induktivnog mašinskog učenja u inteligentnoj analizi podataka (šira verzija)*, *Vojnotehnički glasnik*, 4-5, 429-438, juli-oktobar 2001.
- [4] Buntine, W.: *A Theory of Learning Classification Rules*, PhD thesis, School of Computing Science, University of Technology, Sydney, November 1992.
- [5] Domingo, C.: *Concept Learning: Theory, Applications and Related Problems*, PhD thesis, Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Politècnica de Catalunya, November 1998.
- [6] Ambainis, A.: *Probabilistic Inductive Inference: A Survey*, 1999.
- [7] Li, M. and P. Vitányi, P.: *Theories of Learning*, in *An Introduction to Kolmogorov Complexity and Its Applications*, Text and Monographs in Computer Science. Springer-Verlag, 1993.
- [8] Kaufman, K. A. and Michalski, R. S.: *Learning in an Inconsistent World: Rule Selection in AQ18*, Reports of the Machine Learning and Inference Laboratory, MLI 99-2, George Mason University, Fairfax, VA, May, 1999.
- [9] Kovačić, M.: *Stochastic Inductive Logic Programming*, PhD, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, University of Ljubljana, Ljubljana, 1994.
- [10] Haussler, D.: *Probably approximately correct learning*, In *Proc. of the 8th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 1101-1108, Morgan Kaufmann, 1990.
- [11] Freund, Y., Schapire, R. E.: *A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting*, in *Proc of the Second European Conference on Computational learning Theory*, March 1995.
- [12] Breiman, L.: *Bagging predictors*, Technical report No. 421, Department of statistics, University of California, Berkley, CA 94720, September 1994.
- [13] Mišković, V.: *Sistem za induktivno učenje propozicionih pravila Empiric.Rules*, Zbornik radova INFOFEST 2001, 143-150, Budva, septembar 2001.
- [14] Mišković, V.: *Jedna klasa algoritama za induktivno učenje*. Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, novembar 2001.
- [15] Langley P., Simon H. A.: *Applications of machine learning and rule induction*, *Communications of the ACM*, Vol. 38, No. 11, pp. 54-64, 1995.
- [16] 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, 1998.
- [17] Mišković, V.: *Princip razumljivosti u induktivnom učenju koncepata*, Zbornik radova XLV Konferencije ETRAN-a, Sveska III, 123-126, Bukovička Banja, jun 2001.



## UTICAJ POČETNE MASE BARUTA NA MODEL DVOFAZNOG STRUJANJA U CEVI AUTOMATSKE PUŠKE

UDC: 531.57 : 519.237.7

### Rezime:

Jednofaktorskim planom eksperimenta u radu je izvršena analiza svih polaznih parametara koji se javljaju u procesu dvofaznog strujanja u cevi automatske puške. Prikazan je potpuni plan faktorskog eksperimenta 2<sup>4</sup> početne mase baruta sa odabranim parametrima i analiziran njihov uticaj na izlazne karakteristike. Kompletna analiza (disperziona i regresiona) izvršena je za maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila, kao veoma bitne izlazne karakteristike svakog oružja.

*Ključne reči:* faktorska analiza, početna masa baruta, maksimalni pritisak barutnih gasova, početna brzina projektila, disperziona analiza, regresiona analiza.

---

## INFLUENCE OF STARTING POWDER MASS ON A TWO-PHASE FLOW MODEL IN THE AUTOMATIC RIFLE TUBE

### Summary:

The one-factor plan of the performed experiment gave us a chance to analyze all starting parameters that appear in the process of two-phase flow in the tube of the automatic rifle. Here we present a comprehensive plan of the factoric experiment 2<sup>4</sup> starting mass of powder with chosen parameters and analyze their effects on the outgoing characteristics. A complete analysis (dispersive and regressive) is performed for the maximum pressure of powder gases and the starting speed of the projectile, as very important outgoing characteristics of any weapon.

*Key words:* factoric analysis, starting mass of powder, maximum pressure of powder gases, starting speed of the projectile, dispersive analysis, regressive analysis.

---

### Uvod

Klasični unutrašnjebalistički modeli uspešno su rešavali probleme koje je postavljala praksa. Ustanovljeno je da daju pojednostavljenu i vrlo grubu aproksimaciju fizičke slike procesa opaljenja u cevi oružja. Klasični modeli posmatraju za-

preminu iza projektila (ma kolika ona bila) kao jednu celinu i daju srednje vrednosti parametara (pritisak, brzina i put projektila, temperatura barutnih gasova kao i vreme trajanja procesa) koji egzistiraju u gasodinamičkoj struji.

Pored parametara koje analizira klasična teorija postoje i brojni drugi (poro-

znost, gustina, energija barutnih gasova, brzina barutnih gasova i barutnih zrna...) koje treba istražiti. Zajednička karakteristika svih parametara jeste da u određenom momentu u zapremini iza projektila imaju različite vrednosti, što upravo daju dvofazni modeli, odnosno gasodinamičke teorije strujanja. Razvojem računara i numeričke matematike sve više se usavršavaju modeli dvofaznog strujanja, gde dve faze sačinjavaju barutna zrna (čvrsta faza) i barutni gasovi (gasovita faza) kao produkti sagorevanja barutnih zrna. Primenom teorije dvofaznih modela strujnog procesa [1, 2] u znatnoj meri se poboljšavaju dosadašnje analize procesa opaljenja koje je davala klasična teorija. Teorija na osnovama dvofaznog strujanja omogućava analizu uticaja početne mase baruta ( $m_{b0}$ ) na izlazne karakteristike opaljenja, kao i svih ostalih polaznih parametara koji se javljaju u procesu opaljenja (ima ih oko 30).

Predmet istraživanja u ovom radu je faktorska analiza uticaja početne mase baruta, kao jednog vrlo bitnog parametra, na model dvofaznog strujanja kod automatske puške 7,62 mm M70, kao i doprinos njegovog uticaja na maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila. Srednja vrednost početne mase baruta za analizirano oružje iznosi 0,00162 kg, a dozvoljena odstupanja  $\pm 1,54\%$  [3, 4].

### **Faktorska analiza uticaja polaznih parametara**

Da bi se što realnije izvršio izbor parametara koji utiču na model dvofaznog strujanja, koji će se sa početnom masom baruta analizirati u faktorskom

planu eksperimenta, potrebno je prethodno izvršiti analizu svih parametara koji učestvuju u procesu opaljenja. Radi sticanja uvida u karakter promena izlaznih karakteristika, pri proračunu su za svaki parametar varirane vrednosti, i to za maksimalno i minimalno dozvoljena odstupanja od srednje vrednosti, dok su ostali parametri zadržavani na konstantnom nivou. Drugim rečima, sproveden je jednofaktorski plan eksperimenta.

Na osnovu pojedinačne analize uticaja svakog od parametara na model dvofaznog strujanja dolazi se do zaključaka da sledeći parametri bitno utiču na maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila, kao veoma bitne izlazne karakteristike procesa opaljenja: jedinična brzina sagorevanja baruta ( $u_{z0}$ ), početna masa barutnog zrna ( $m_{z0}$ ), početna masa baruta ( $m_{b0}$ ), masa projektila ( $m$ ), kovolumen barutnih gasova ( $\alpha$ ), početna površina barutnog zrna ( $S_{z0}$ ) i prečni presek cevi ( $S_c$ ).

Pri promeni u granicama dozvoljenih odstupanja navedeni parametri samostalno najviše utiču na maksimalni pritisak i početnu brzinu. Pored samostalnog uticaja, navedeni parametri utiču na izlazne karakteristike i u kombinaciji sa drugim faktorima. Odgovor na pitanje kakav je taj uticaj daje faktorska analiza.

Pregled srednjih vrednosti odabranih parametara, koji će se analizirati u faktorskom planu eksperimenta sa procentualno dozvoljenim odstupanjem od svoje srednje vrednosti [3, 4] dat je u tabeli 1. U tabeli su, takođe, prikazani iznosi promene maksimalnog pritiska barutnih gasova i početne brzine projektila („rast“ i „pad“ od srednje vrednosti), pri

promeni odabranih parametara u dozvoljenim granicama odstupanja.

Tabela 1

Parametar	Srednja vrednost	Jed. mere	Odst. od sr. vred.	P <sub>max</sub>		V <sub>0</sub>	
				bar	%	m/s	%
u <sub>20</sub>	7,767 E-10	m/s	±1,2%	3222	+2,45	735,5	+1,13
				3069	-2,42	718,6	-1,19
m <sub>20</sub>	4,127 E-7	kg	±1,3%	3219	+2,35	733,3	+0,83
				3072	-2,32	721,2	-0,84
m <sub>60</sub>	0,00162	kg	±1,54%	3196	+1,62	735,4	+1,12
				3093	-1,65	718,9	-1,15
S <sub>20</sub>	2,905 E-6	m <sup>2</sup>	±1,3%	3219	+2,35	733,2	+0,81
				3071	-2,35	721,1	-0,86

Dalja ispitivanja koja podrazumevaju faktorsku, disperzionu i regresionu analizu uticaja početne mase baruta na izlazne karakteristike (p<sub>max</sub> i V<sub>0</sub>), modela dvofaznog strujanja u cevi automatske puške, vršena su u kombinaciji sa sledećim parametrima: početnom masom barutnog zrna, jediničnom brzinom sagorevanja baruta i početnom površinom barutnog zrna.

Za prethodno odabrana četiri faktora određuju se po dva nivoa, i to: minimalne i maksimalne dozvoljene vrednosti parametara:

1. X<sub>1</sub> (faktor A) – početna masa barutnog zrna,
2. X<sub>2</sub> (faktor B) – jedinična brzina sagorevanja baruta,
3. X<sub>3</sub> (faktor C) – početna masa baruta,
4. X<sub>4</sub> (faktor D) – početna površina barutnog zrna.

Nivoi faktora koji se analiziraju su:

$$\begin{aligned}
 X_{1,\min} &= 4,180651 \text{ E-7 kg}; & X_{2,\min} &= 7,675 \text{ E-10 m/s}; \\
 X_{1,\max} &= 4,073349 \text{ E-7 kg}; & X_{2,\max} &= 7,859 \text{ E-10 m/s}; \\
 X_{3,\min} &= 0,0015948 \text{ kg}; & X_{4,\min} &= 2,867235 \text{ E-6 m}^2; \\
 X_{3,\max} &= 0,001645 \text{ kg}; & X_{4,\max} &= 2,942765 \text{ E-6 m}^2;
 \end{aligned}$$

Ovakvi eksperimenti sa dva nivoa često se nazivaju ekstremni eksperimenti. U potpunom faktorskom eksperimentu treba napraviti sve kombinacije svih ni-

voa faktora, i one se obično nazivaju eksperimentalne jedinice. Nakon izbora broja faktora i broja nivoa vrši se kodiranje vrednosti faktora, tako da gornji nivo bilo kog faktora uvek ima vrednost +1, a donji nivo uvek vrednost -1. To se postiže pogodnom smenom, čime se znatno pojednostavljuje postupak planiranja i obrade rezultata faktorskog eksperimenta.

Postupak variranja i kodiranja signifikantnih (najuticajnijih) faktora vrši se na sledeći način:

$$X_{i,0} = \frac{X_{i,\max} + X_{i,\min}}{2}; i = 1 \dots 4 \quad (1)$$

$$W_i = \frac{X_{i,\max} - X_{i,\min}}{2}; i = 1 \dots 4 \quad (2)$$

Kodiranjem signifikantnih faktora dobija se:

$$X_{i,g} = \frac{X_{i,\max} - X_{i,0}}{W_i}; i = 1 \dots 4 \quad (3)$$

$$X_{i,d} = \frac{X_{i,\min} - X_{i,0}}{W_i}; i = 1 \dots 4 \quad (4)$$

Oznake X<sub>i,g</sub>; X<sub>i,d</sub>; X<sub>i,0</sub> i W<sub>i</sub> (prema izrazima 1 do 4), predstavljaju kodirane veličine signifikantnih faktora. Rezultati dobijeni variranjem i kodiranjem signifikantnih faktora prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2

X <sub>1,min</sub>	4,180651 E-7	X <sub>1,g</sub>	+1	X <sub>1,0</sub>	4,127 E-7	W <sub>1</sub>	-0,053651 E-7
X <sub>1,max</sub>	4,073349 E-7	X <sub>1,d</sub>	-1				
X <sub>2,min</sub>	7,675 E-10	X <sub>2,g</sub>	+1	X <sub>2,0</sub>	7,767 E-10	W <sub>2</sub>	0,092 E-10
X <sub>2,max</sub>	7,859 E-10	X <sub>2,d</sub>	-1				
X <sub>3,min</sub>	0,0015948	X <sub>3,g</sub>	+1	X <sub>3,0</sub>	0,00162	W <sub>3</sub>	0,0000251
X <sub>3,max</sub>	0,001645	X <sub>3,d</sub>	-1				
X <sub>4,min</sub>	2,867235 E-6	X <sub>4,g</sub>	+1	X <sub>4,0</sub>	2,905 E-6	W <sub>4</sub>	0,037765 E-6
X <sub>4,max</sub>	2,942765 E-6	X <sub>4,d</sub>	-1				

## Disperziona analiza

Svaki mereni rezultat  $Y_{ij}$ , za određenu vrednost nezavisno promenljive (za određeni nivo faktora) može se prikazati sledećim matematičkim modelom:

$$Y_{ij} = \mu + T_j + \varepsilon_{ij}$$

gde je:

$\mu$  – opšta vrednost za sva posmatranja (istinita vrednost) kada nema uticaja ni faktora ni greške;

$T_j$  – uticaj j-tog nivoa faktora na rezultat (efekat nivoa faktora);

$\varepsilon_{ij}$  – ukupna greška eksperimenta (sadrži slučajne greške merenja i slučajne efekte randomiziranih spoljnih uticaja koji nisu uzeti kao faktori).

Uzimajući u obzir dejstva svih faktora, kao i međudejstva faktora, dobija se opšta suma kvadrata (OSK):

$$\begin{aligned} \text{OSK} = & \text{SKA} + \text{SKB} + \text{SKAB} + \text{SKC} + \\ & + \text{SKAC} + \text{SKBC} + \text{SKABC} + \text{SKD} + \\ & + \text{SKAD} + \text{SKBD} + \text{SKCD} + \text{SKABD} + \\ & + \text{SKACD} + \text{SKBCD} + \text{SKABCD} + \\ & + \text{SKG} \end{aligned}$$

Ove sume kvadrata imaju stepene slobode, koji se računaju prema sledećem, na primer:

SKA	$(a - 1)$ ,
SKAB	$(a - 1)(b - 1)$ ,
SKABC	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$ ,
SKABCD	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)(d - 1)$ ,
SKG	$abcd(m - 1)$ ,
OSK	$abcdm - 1$

Ove sume računaju se pomoću metode kontrasta, a kontrasti matičnom metodom na sledeći način: množi se sva-

ka od kolona matrice, sa elementima +1 i -1 sa kolonom Y rezultata eksperimenta. Tu se vrši ukupno  $(2n-1)$  puta i na taj način dobijaju kontrasti svakog od izvora promene. Za ispitivanje uticaja četiri faktora, ortogonalni kontrasti se računaju prema sledećem, na primer:

$$\begin{aligned} 8A = & -(1) + a - b + ab - c + ac - \\ & - bc + abc - d + ad - bd - cd + abd + \\ & + acd - bcd + abcd \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8AB = & (1) - a - b + ab + c - ac - \\ & - bc + abc + d - ad - bd + cd + abd - \\ & - acd - bcd + abcd \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8ABC = & (1) - a - b + ab - c + ac + \\ & + bc - abc + d - ad - bd - cd + abd + \\ & + acd + bcd - abcd \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8ABCD = & (1) - a - b + ab - c + ac + \\ & + bc - abc - d + ad + bd + cd - abd - \\ & - acd - bcd + abcd \end{aligned}$$

Efekti ili izvori promena su svi faktori i sva njihova međudejstva. Kod ovakvih faktorskih eksperimenata  $2n$ , njih uvek ima  $2n - 1$ . Pri tome broj izvora promene iznosi  $2n - 1 = 15$ .

Sume kvadrata za sve faktore računaju se prema formuli:

$$SKC_i = \frac{(\text{kontrast})^2}{m \cdot 2^n}$$

gde je:

$n$  – broj faktora,

$m$  – broj ponavljanja na istom nivou faktorskog plana (kombinaciji nivoa faktora).

Opšta suma iznosi:

$$OS = \sum_j^{2^n} Y_j$$

Opšta suma kvadrata jednaka je:

$$OSK = SK_i - OS^2/N$$

gde  $SK_i$  predstavlja sumu kvadrata svih nivoa svih faktora.

Kada se govori o grešci treba naglasiti da je disperziona analiza statistička metoda koja se zasniva na određenim zakonitostima. Kod ove metode, za rangiranje značaja svakog od izvora promene koristi se Fišerova raspodela [5]. Najpre je potrebno definisati određene pojmove. Srednji kvadrat je količnik između sume kvadrata svakog od izvora promena i stepena slobode tog izvora promena. Isto važi i za srednji kvadrat greške koji predstavlja količnik sume kvadrata greške i stepena slobode greške:

$$SKV_i = \frac{SKC_i}{SS_i}$$

$$SKVG = \frac{SKG}{SSG}$$

gde je:

$SKV_i$  – srednji kvadrat i-tog izvora promene,

$SKVG$  – srednji kvadrat greške,

$SKC_i$  – suma kvadrata i-tog izvora promene,

$SKG$  – suma kvadrata greške,

$SS_i$  – broj stepeni slobode i-tog izvora promene,

$SSG$  – broj stepeni slobode greške,

$i = 1, 2, \dots (2n - 1)$  – broj izvora promene.

Kada se odrede sve navedene vrednosti, sledi utvrđivanje značaja svakog izvora promena. Najpre se za svaki od izvora utvrdi odnos:

$$v_{0i} = \frac{SKV_i}{SKVG}$$

Nakon toga se, takođe za svaki izvor promena, iz tablica Fišerove raspodele (za izabrani nivo poverenja, broj stepeni slobode svakog izvora promena  $SS_i$  i broj stepeni slobode greške  $SSG$ ) očitava vrednost Fišerovog kriterijuma  $c_i = f(V, SS_i, SSG)$ . U slučaju da nema ponavljanja na svakom nivou faktornog plana eksperimenta, stepen slobode svakog izvora promene iznosi 1, pa se iz tablice Fišerove raspodele uzima samo jedan broj  $c$ . Da bi se odredilo da li je neki od izvora promena značajan, ili ne značajan, tj. koliko je njegovo dejstvo na rezultate eksperimenta, potrebno je izvršiti upoređenje  $v_{0i}$  i  $c_i$ . Ako je:

$v_{0i} \geq c_i$  tada je i-ti izvor promena značajan, tj. utiče na rezultate eksperimenta i tvrdnja je data sa nivoom poverenja  $V$ ,  
 $v_{0i} < c_i$  tada i-ti izvor promena nije značajan, tj. ne utiče na rezultate eksperimenta.

Mera relativne značajnosti jednog od izvora promena u odnosu na drugi je odnos veličina parametra  $v_{0i}$ , za odgovarajuće izvore promena. Što je vrednost tog parametra veća to je dati izvor promena značajniji i ima veći uticaj na rezultate eksperimenta.

Rezultati za ortogonalne kontraste, sume kvadrata, parametar značaja izvora promene i stepene slobode posmatranih faktora, na osnovu disperzione analize [5] za maksimalni pritisak i početnu brzinu, prikazani su u tabeli 3.

Za kriterijum  $c = 16,3$  (Fišerov kriterijum za nivo poverenja  $V = 99\%$ ), iz tabele 3 se vidi da je vrednost  $v_0$  za faktore A, B, C i D znatno veća od ovog kriterijuma. Na osnovu veličine ovog parametra za početnu masu baruta ( $v_{0C} = 257985$ ), njegov uticaj na maksimalni pritisak veoma je značajan.

Faktor	Maksimalni pritisak				Početna brzina			
	(8C <sub>i</sub> )	(SKC <sub>i</sub> )	(SS <sub>i</sub> )	v <sub>0</sub>	(8C <sub>i</sub> )	(SKC <sub>i</sub> )	(SS <sub>i</sub> )	v <sub>0</sub>
A	1179	86877,562	1	534631,2	98	600,25	1	2401
B	1225	93789,062	1	577163,5	136	1156	1	4624
C	819	41922,562	1	257985,0	134	1122,25	1	4489
AC	21	27,5625	1	169,6	-2	0,25	1	1
BC	23	33,0625	1	203,5	0	0	1	0
ABC	-1	0,0625	1	0,4	0	0	1	0
D	1179	86877,562	1	534631,2	98	600,25	1	2401
CD	21	27,5625	1	169,6	-2	0,25	1	1
ACD	-3	0,5625	1	3,5	2	0,25	1	1
BCD	-1	0,0625	1	0,4	0	0	1	0
ABCD	-1	0,0625	1	0,4	0	0	1	0
OSK	309685,9375		15		3481,75		15	
SKO	0		0		0		0	

Iz tabele je uočljivo da i međudejstva faktora AC, BC i CD takođe utiču na maksimalni pritisak, ali u znatno manjoj meri od samostalnog dejstva faktora.

Matematički model za maksimalni pritisak, zasnovan na ovim rezultatima, ima sledeću formu:

$$Y_{ijkl} = \mu + u_{z0i} + m_{z0j} + S_{z0k} + m_{b0l} + m_{z0j}u_{z0i} + m_{z0j}m_{b0l} + u_{z0i}m_{b0l} + m_{z0j}S_{z0k} + u_{z0i}S_{z0k} + m_{b0l}S_{z0k} + \varepsilon_{ijkl} \quad (5)$$

gde je:

$Y_{ijkl}$  – vrednost rezultata eksperimenta za bilo koju kombinaciju faktora (vrednost maksimalnog pritiska);

$\mu$  – srednja vrednost svakog od faktora (posmatranih veličina);

$u_{z0i}$  – doprinos jedinične brzine sagorevanja baruta maksimalnom pritisku;

$m_{z0j}$  – doprinos početne mase barutnog zrna maksimalnom pritisku;

$m_{b0k}$  – doprinos početne mase baruta maksimalnom pritisku;

$m_{z0j}u_{z0i}$  – doprinos međudejstva početne mase barutnog zrna i jedinične brzine sagorevanja maksimalnom pritisku;

$m_{z0j}m_{b0l}$  – doprinos međudejstva početne mase barutnog zrna i početne mase baruta maksimalnom pritisku;

$u_{z0i}m_{b0l}$  – doprinos međudejstva jedinične brzine sagorevanja i početne mase baruta maksimalnom pritisku;

$m_{z0j}S_{z0k}$  – doprinos međudejstva početne mase barutnog zrna i početne površine barutnog zrna maksimalnom pritisku;

$U_{z0i}S_{z0k}$  – doprinos međudejstva jedinične brzine sagorevanja i početne površine barutnog zrna maksimalnom pritisku;

$m_{b0l}S_{z0k}$  – doprinos međudejstva početne mase baruta i početne površine barutnog zrna maksimalnom pritisku;

$\varepsilon_{ijkl}$  – greška eksperimenta;

$i = j = k = l = 1 = 2$  – broj nivoa svakog od faktora.

Analogno za početnu brzinu projektila, za kriterijum  $c = 21,2$  (Fišerov kriterijum za nivo poverenja  $V = 99\%$ ) iz tabele 3 se vidi da je vrednost  $v_0$  za faktore A, B, C i D veća od ovog kriterijuma, tj. njihov uticaj na rezultate eksperimenta je značajan. Na osnovu veličine ovog parametra za početnu masu baruta ( $v_{0c} = 4489$ ) njegov uticaj na početnu brzinu projektila je značajan.

Uticaji međudejstva faktora na početnu brzinu projektila su zanemarivi. To znači da ova četiri faktora utiču na početnu brzinu projektila, pri čemu je relativni uticaj faktora B i C (prema odnosu srednjih kvadrata ili  $v_0$ ) skoro dva puta veći od uticaja faktora A i D.

Matematički model za početnu brzinu projektila, zasnovan na ovim rezultatima glasi:

$$Y_{ijkl} = \mu + u_{z0i} + m_{b0j} + m_{z0k} + S_{z0l} + \varepsilon_{ijkl} \quad (6)$$

gde je:

$Y_{ijkl}$  – vrednost rezultata eksperimenta za bilo koju kombinaciju faktora (vrednost početne brzine),

$\mu$  – srednja vrednost svakog od faktora (posmatranih veličina),

$u_{z0i}$  – doprinos jedinične brzine sagorevanja baruta početnoj brzini,

$m_{b0j}$  – doprinos početne mase baruta početnoj brzini,

$m_{z0k}$  – doprinos početne mase barutnog zrna početnoj brzini,

$S_{z0l}$  – doprinos početne površine barutnog zrna početnoj brzini,

$\varepsilon_{ijkl}$  – greška eksperimenta,

$i = j = k = l = 1 = 2$  – broj nivoa svakog od faktora.

Matematički modeli disperzione analize za maksimalni pritisak i početnu brzinu (izrazi 5 i 6) koriste se u regresionoj analizi rezultata eksperimenta i u suštini znače da se maksimalni pritisak i početna brzina projektila rasipaju oko neke srednje vrednosti pod uticajem analiziranih faktora (A, B, C i D).

## Regresiona analiza

Regresiona analiza za svaku od kombinacija nivoa faktora daje odgovor

na pitanje: kolika je srednja vrednost izlaznih karakteristika i koliko iznosi veličina rasipanja oko srednje vrednosti?

Dobijenim rezultatima za maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila analizom adekvatnosti, potvrđena je tvrdnja  $v_0 \leq c$ , što znači da je model adekvatan, pa će regresioni polinomi odlikovati posmatrani proces sa izabranim nivoom poverenja.

Za veličinu maksimalnog pritiska barutnih gasova kodirani regresioni polinom glasi:

$$p_m = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 \quad (7)$$

Ovde je  $b_0$  srednja vrednost maksimalnog pritiska dobijena pri izvođenju eksperimenta, prema ranije definisanom faktornom planu. To je *kodirani regresioni polinom* (svaki od faktora koji su njegovi članovi može da ima samo dve vrednosti: +1 kada su na gornjem nivou i -1 kada su na donjem nivou).

Regresionim polinomom (7), uz primenu vrednosti regresionih koeficijenata za maksimalni pritisak barutnih gasova, dobijaju se dve vrednosti maksimalnog pritiska, odnosno njegova gornja i donja granica:

$$p_m = 3146,5625 + 73,6875m_{z0} + 76,5625u_{z0} + 51,1875m_{b0} + 73,6875S_{z0} + 1,6875m_{z0}u_{z0} + 1,3125m_{z0}m_{b0} + 1,4375u_{z0}m_{b0} + 1,5625m_{z0}S_{z0} + 1,6875u_{z0}S_{z0} + 1,3125m_{b0}S_{z0}$$

$p_m = 3430,6875$  kada su faktori na gornjem nivou,

$p_m = 2862,4375$  kada su faktori na donjem nivou.



U odnosu na srednju vrednost maksimalnog pritiska dobija se odstupanje od  $\pm 284,125$  bara. Samostalni doprinos  $m_{b0}$  iznosi 51,1875 bara (oko 18%), što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na maksimalni pritisak barutnih gasova, jer ga promene za 9% od svoje srednje vrednosti.

Za veličinu početne brzine zrna kodirani regresioni polinom glasi:

$$V_0 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 \quad (8)$$

Analogno objašnjenju datom za prethodni regresioni polinom, ovde je  $b_0$  srednja vrednost početne brzine dobijena pri izvođenju eksperimenta, po ranije definisanom faktorskom planu. Regresionim polinomom (8), uz primenu vrednosti regresionih koeficijenata za početnu brzinu projektila, dobijaju se dve vrednosti početne brzine, odnosno njena gornja i donja granica:

$$V_0 = 726,875 + 6,125m_{z0} + 8,5u_{z0} + 8,375m_{b0} + 6,125z_0$$

$V_0 = 765$  m/s kada su faktori na gornjem nivou,

$V_0 = 697,75$  m/s kada su faktori na donjem nivou.

U odnosu na srednju vrednost početne brzine zrna dobija se odstupanje od  $\pm 29,125$  m/s. Od toga samostalni doprinos  $m_{b0}$  iznosi 8,375 m/s (oko 29%), što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na početnu brzinu projektila, jer je promene za 4% od svoje srednje vrednosti.

## Zaključak

Od velikog broja polaznih parametara koji utiču na izlazne karakteristike analiziran je uticaj početne mase baruta u kombinaciji sa jediničnom brzinom sagorevanja baruta, početnom masom barutnog zrna, i početnom površinom barutnog zrna. Inače, ovi parametri, samostalno i u međusobnoj kombinaciji najviše utiču na izlazne unutrašnje balističke karakteristike. Potpunim faktorskim planom eksperimenta  $2^4$  obuhvaćeni su maksimalni pritisak barutnih gasova i početna brzina projektila, kao važne izlazne karakteristike procesa opaljenja. Postupkom disperzione i regresione analize izvršeno je rangiranje uticaja početne mase baruta u kombinaciji sa odabranim parametrima, formirani su regresioni polinomi, dobijene srednje vrednosti za maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila i prikazan doprinos početne mase baruta u ukupno dozvoljenom odstupanju od srednje granice.

### Literatura:

- [1] Cvetković, M.: Unutrašnja balistika, VIZ, Beograd, 1998.
- [2] Tančić, Lj.: Numeričko rešenje nestacionarnog modela unutrašnje balistike malih kalibara, doktorska disertacija, Beograd, 1997.
- [3] Propis o kvalitetu proizvoda (PKP), SOUR Prvi partizan RO Namenska proizvodnja, Užice, 1987.
- [4] Commission Internationale Permanente (CIP), Geneve, 1985.
- [5] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radnički univerzitet Radivoj Čirpanov, Novi Sad, 1976.
- [6] Čabarkapa, O.: Istraživanje polaznih parametara za model dvofaznog strujanja u cevi oružja, magistarski rad, Beograd, 2000.



**Mr Zoran Gradin,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Tehnički opitni centar KoV,  
Beograd

## MEHANIČKI GUBICI I MEHANIZAM TRENJA U MOTORIMA SUS

UDC: 621.434 : 531.43

### Rezime:

*Savremene konstrukcije motora SUS treba da zadovolje zahtev za malu potrošnju goriva i ulja za podmazivanje, pre svega zbog ekoloških a zatim i energetskih i ekonomskih razloga. Pošto se pretpostavlja da će konvencionalni motori SUS još dugo dominirati kao pogonski agregati, raznim konstrukcionim merama pristupa se smanjenju potrošnje goriva, a time i smanjenju izduvne emisije. Pre svega, radi se o optimizaciji radnog ciklusa, primeni varijabilnog stepena sabijanja, primeni varijabilnog razvoda radne materije, boljim sprezanjem sa gasnim mašinama, itd. Značajan potencijal za povećanje ekonomičnosti rada motora jeste u smanjenju mehaničkih gubitaka. Najveći udeo u mehaničkim gubicima predstavlja trenje pokretnih delova motora, pre svega delova klipno-cilindarskog sklopa. Zbog toga se posebna pažnja posvećuje izučavanju mehanizma trenja, koji je inače veoma složen.*

*Ključne reči: motor SUS, mehanički gubici, raspodela gubitaka.*

---

## MECHANICAL LOSSES AND THE PRINCIPLE OF FRICTION IN IC ENGINES

### Summary:

*One of demands for modern designed IC engines is low fuel and lubricant consumption because of reasons concerning ecology as well as energy and economy. The supmption is that conventional IC engines will be the first choice as a power source for numerous applications in the future. Therefore, many changes and improvements in design need to be done for further decrease of fuel consumption followed by the decrease of exhaust emission. First of all, there is the optimisation of the working cycle, the application of variable compression, the aplication of variable valve control, better couplina with gas machines, etc. Significant potential for efficiency improvement of IC engines is in reducing mechanical losses. Mechanical losses in IC engines are caused mostly by friction between the mobile parts of the engine (piston-cylinder assembly). Therefore, continual attention to the research process of studyng friction problemys would be necessary.*

*Key words: IC engine, mechanical losses, distribution of losses, engine tribology.*

---

### Uvod

Za poslednjih 25 godina snaga automobilskih motora povećana je 100%, dok je emisija gasova smanjena 10 puta,

a potrošnja goriva dva puta. Savremeni motori su manji, rade sa siromašnijom smešom, imaju promenljivi stepen kompresije, radne temperature su više, a količina ulja u koritu motora sve manja. Ve-

liki broj motora nove generacije su sa natpunjenjem (naročito dizelmotori), sa četiri ili pet ventila po cilindru koji obezbeđuju kvalitetnije radne procese, ali su im i radne temperature više.

Proizvođači motora i motornih vozila će i nadalje nastojati da postignu što veće iskorišćenje energije i smanjenje emisije izduvnih gasova, uz zadovoljenje potreba krajnjih korisnika. Evropske proizvođače, između ostalog, na to obavezuju i propisi EURO.

Veća ekonomičnost i smanjena emisija savremenih motornih vozila ne može da se ostvari samo odvojenim intervencijama konstruktora na vozilu ili motoru. U ovakvom pristupu postoji potreba za korišćenjem vrhunskih znanja iz širokog kruga naučnih i tehničkih disciplina.

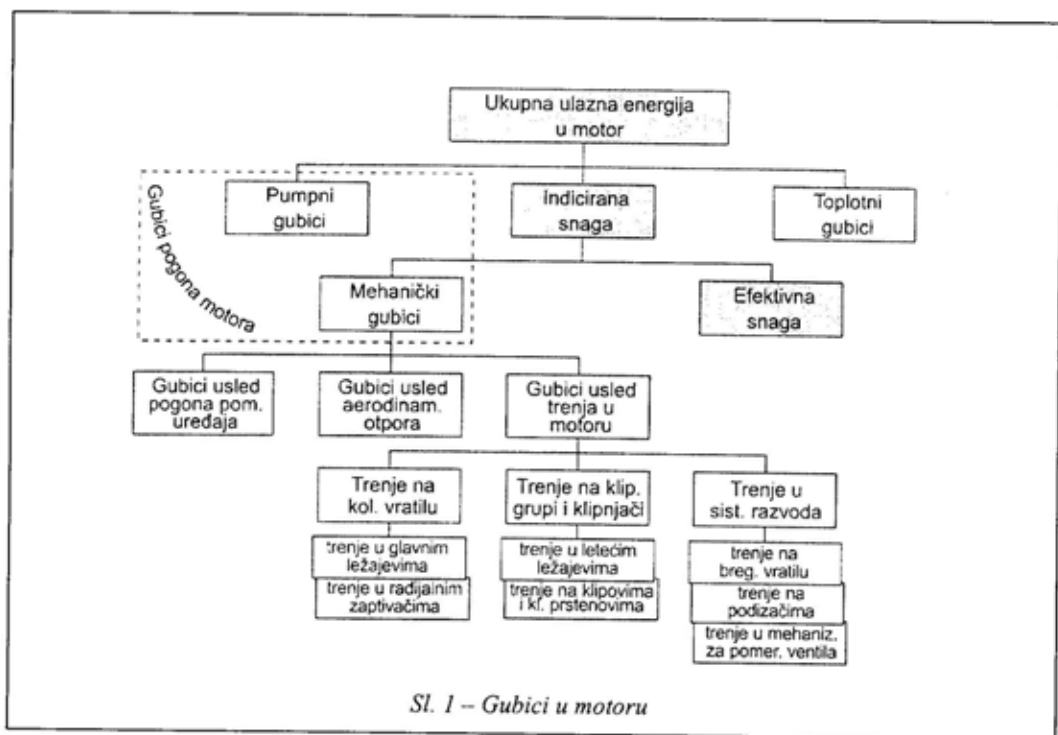
Poboljšanje efektivnog stepena korisnosti kod savremenih motora postiže se,

pored ostalog, optimizacijom radnog ciklusa, primenom varijabilnog stepena sabijanja, varijabilnog razvoda, boljim sprežanjem sa gasnim mašinama, ali i smanjenjem mehaničkih gubitaka.

## Vrste gubitaka u motoru

Mehanički gubici u motoru, koji se definišu kao razlika između indicirane snage (dobija se delovanjem radne materije na klip) i efektivne snage (izmerena kao izlaz na kolenastom vratilu) važan su faktor za određivanje performansi motora i stepena korisnosti (slika 1).

Gubici usled trenja u motoru definišu se kao gubici usled relativnog kretanja između čvrstih površina u motoru, tj. kretanja između klipa i zida cilindra ili između rukavaca kolenastog vratila i ležajeva. Relativno kretanje ne znači da se



Sl. 1 – Gubici u motoru

obavezno radi o tome da su dva čvrsta tela u kontaktu jedno sa drugim. Činjenica je da, u opštem slučaju, postoji uljni film između površina.

Gubici usled pogona pomoćnih uređaja obuhvataju i gubitke trenja i pumpne gubitke na samim pomoćnim uređajima. Pomoćni uređaji su:

- pumpa za ulje;
- pumpa za tečnost u sistemu hlađenja;
- generator;
- sistem za napajanje gorivom (pumpa visokog i niskog pritiska);
- razvodnik paljenja kod oto motora;
- mehanički napojni kompresor (dvotaktni i natpunjeni motori).

Gubici usled aerodinamičkih otpora kretanja delova motora nastaju usled aerodinamičkih otpora pri kretanju klipa, klipnjače, kolenastog vratila i ostalih delova u kućištu motora. Ovi gubici su u odnosu na ostale gubitke relativno mali i iznose od 2% do 3% ukupnih mehaničkih gubitaka, i najčešće se zanemaruju [1].

Pumpni gubici definišu se kao zbirni gubici kretanja fluida kroz cilindar i gubici koji nastaju pri usisavanju i izduvavanju. Gubici pri usisavanju i izduvavanju jesu rezultat proticanja fluida kroz usisni sistem, usisne ventile, izduvne ventile i izduvni sistem. Dodatni pumpni gubitak usled turbulentnog rasipanja ulja iz hidrodinamičkih ležajeva kolenastog vratila uključen je u gubitke do kojih dolazi pri trenju na kolenastom vratilu.

Pumpni gubici (gubici protoka za vreme usisavanja i izduvavanja u usisnim i izduvnim kolektorima motora i ventilima) ne pripadaju mehaničkim gubicima,

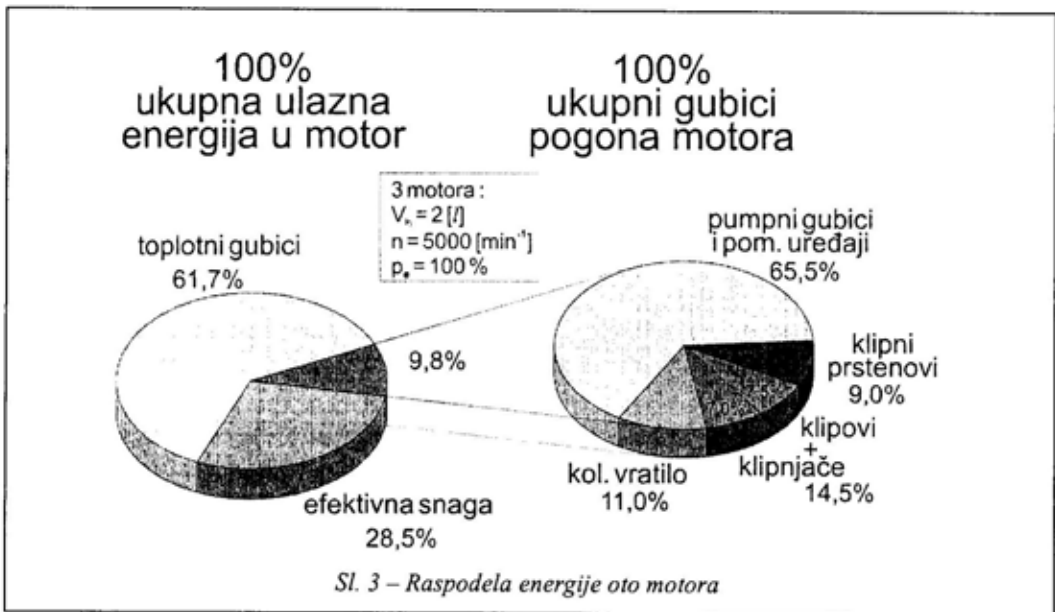
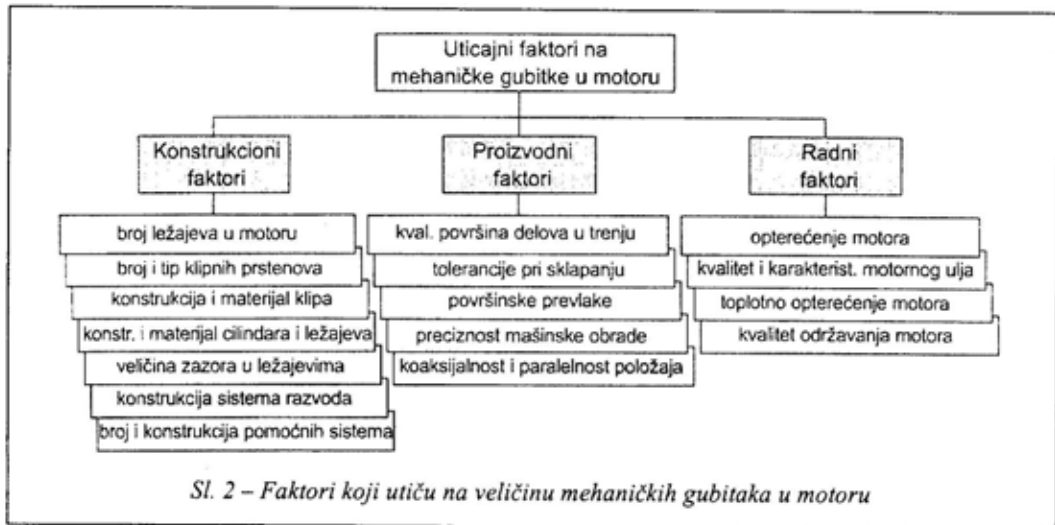
ali ih je teško razdvojiti od njih u toku eksperimenta, tako da se često razmatraju kao deo mehaničkih gubitaka, što nije korektno. Oni sa mehaničkim gubicima čine „gubitke pogona motora“ [2]. Ovaj termin je odabran, jer se mehanički gubici eksperimentalno određuju najčešće metodom spoljnog pogona motora (metodom vučenja).<sup>1</sup>

Globalno uzevši, najveći gubici nastaju pri trenju, ali znatan udeo u gubicima čini utrošak snage na pogon pomoćnih uređaja motora. U svakom slučaju, različiti faktori utiču na veličinu mehaničkih gubitaka u motoru, a svi se mogu svrstati u tri grupe [3], kao što je prikazano na slici 2.

### **Raspodela mehaničkih gubitaka po komponentama motora**

Na slici 3 prikazane su prosečne vrednosti raspodele energije za tri različita četvorocilindrična oto motora radne zapremine 2 l na 5000 min<sup>-1</sup> i pri punom opterećenju. Kružni dijagram na levoj strani pokazuje da se na osnovu 100% ulazne energije dobija 28,5% efektivne snage na kočnici, 9,8% energije se ubraja u gubitke pogona, a ostatak su toplotni gubici [4]. Kružni dijagram na desnoj strani pokazuje da od 100% gubitaka na pogon, 11% otpada na kolenasto vratilo, 14,5% se pripisuje klipovima i klipnjačama, a 9% se odnosi na klipne prstenove. U trenju klipova sa klipnjačama leteći ležajevi učestvuju sa oko 50% i isto toliko

<sup>1</sup> Motor SUS pokreće se spoljnim pogonom (najčešće elektromotorom), pod uslovima što približnijim uslovima pri sagorevanju, a potrebna snaga za pokretanje motora smatra se snagom gubitaka pod uslovima sagorevanja. Radi dobijanja učešća pojedinih komponenta koristi se progresivno skidanje delova motora (strip-postupak).

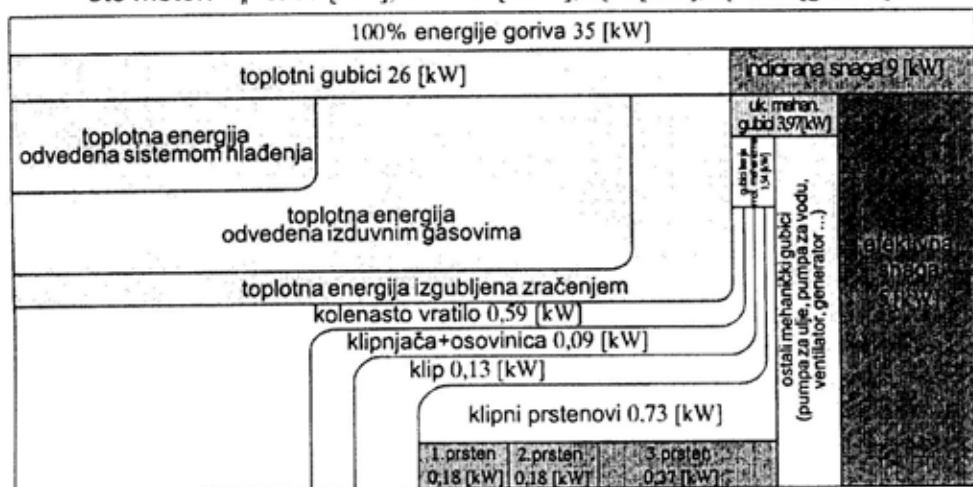


klipovi. Ostatak predstavljaju gubici usled izmene gasova i pogona pomoćnih uređaja, kao što su pumpe za ulje, vodu, itd. Može se zaključiti da klip i klipni prstenovi učestvuju u ukupnim gubicima pogona sa 16% ili 1,6% od ulazne energije [4].

Zbog zakonske regulative u vezi s emisijom gasova, razvoj motora nije fo-

kusiran na rad pri punom opterećenju, nego pri parcijalnim režimima. Na slici 4 prikazana je raspodela energije u jednom od ovih motora, pri delimičnom opterećenju na  $2000 \text{ min}^{-1}$  i efektivnoj snazi od 5 kW, što korespondira upotrebi sa ograničenjima gradske vožnje [4]. Potrebna ulazna energija je približno 35 kW, od kojih se 26 kW i oko 4 kW gube na neis-

oto motor:  $V_s=1900$  [cm<sup>3</sup>],  $n=2000$  [min<sup>-1</sup>],  $P_e=5$ [kW],  $b_e=585$  [g/kWh]



Sl. 4 – Raspodela energije oto motora pri delimičnom opterećenju

korišćeno zagrevanje i mehaničke gubitke, respektivno. Na trenje motornog mehanizma tj. kolenasto vratilo, klipnjaču, klip i klipne prstenove troši se 1,54 kW. U donjem delu dijagrama ovih 1,54 kW prikazani su pojedinačno. Kolenasto vratilo odnosi 0,59 kW, a deo gubitaka koji se odnosi na ležajeve klipnjače približno iznosi 0,09 kW. Sledi da se ukupni gubici od 0,86 kW odnose na klipove i klipne prstenove. Istraživanja sprovedena radi smanjenja gubitaka trenja klipova i klipnih prstenova zasnovana su na potencijalu od 0,86 kW ili približno 2,5% od ulazne energije, na koju može da se utiče optimizacijom sistema klipnih prstenova i klipa. Raspodela gubitaka trenja u motornom mehanizmu pokazuje da klipni prsten u trećem žlebu (uljni prsten), sa učešćem od 0,37 kW, verovatno ima najveći potencijal.

Na slici 5 prikazane su vrednosti snage trenja četvorocilindričnog motora pri

radnim uslovima i pri brojevima obrtaja od 1000 min<sup>-1</sup> do 5000 min<sup>-1</sup>. Upotrebljen je metod vučenja ogoljenog motora.<sup>2</sup>

Dijagram na levoj strani pokazuje apsolutne vrednosti snage u kW za kolenasto vratilo, klip i klipnjaču, uljni prsten, drugi prsten i prvi prsten (od dna do vrha). Dijagram na desnoj strani prikazuje iste izmerene nivoe, procentualno, u funkciji broja obrtaja.

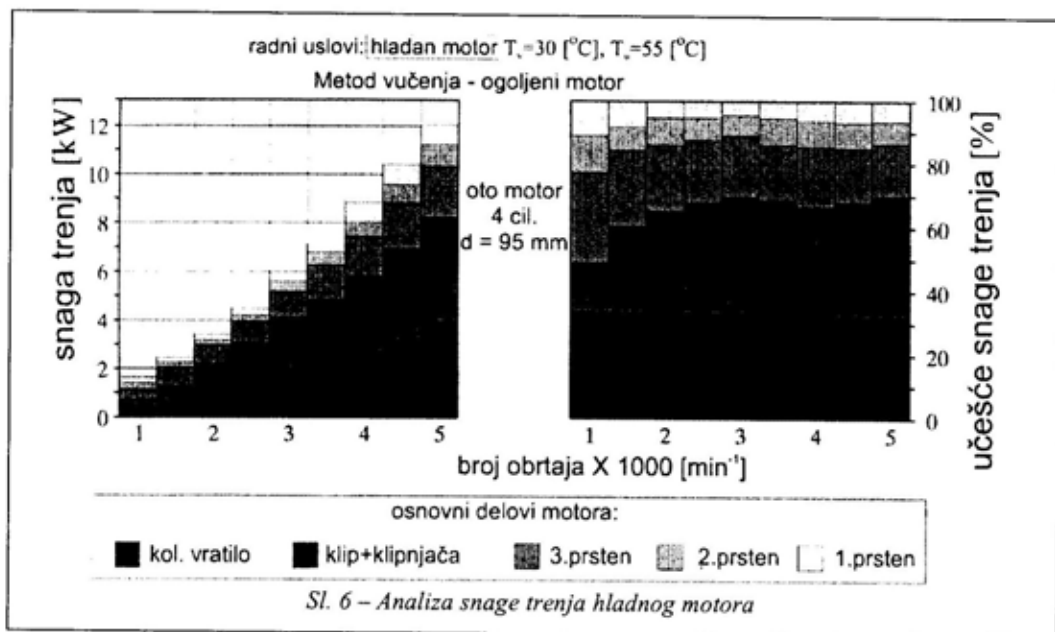
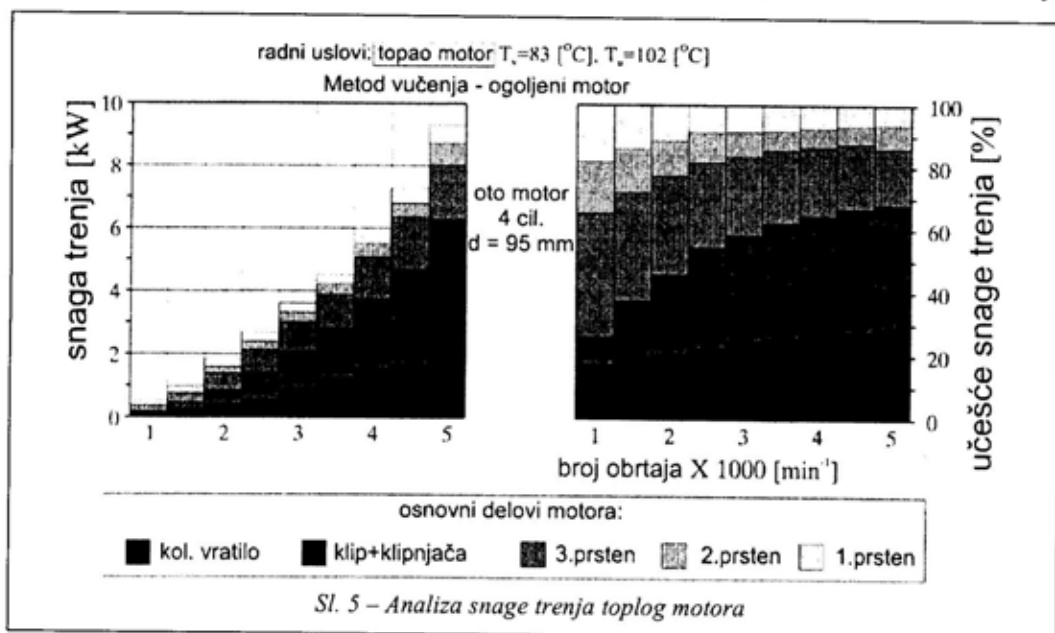
Posmatrajući sliku 5 može se uočiti dominantna snaga trenja u donjem delu vrednosti brojeva obrtaja, što je prouzrokovano klipnim prstenovima, s obzirom na to da su glavni gubici u oblasti viših brojeva obrtaja prouzrokovani klipovima, letećim ležajevima i glavnim ležajevima.

Na slici 6 prikazana su ista ispitivanja pri temperaturi vode 30°C i tempera-

<sup>2</sup> Proizvođači klipova uglavnom se odlučuju za pogon ogoljenog motora, tj. samo blok motora sa kolenastim vratilom, klipnjačom i klipovima, uključujući prstenove. Radna deformacija cilindra postiže se pritezanjem specijalnog alata umesto glave. Prednost ovog metoda je da se, ako je primenjena odgovarajuća mera tehnika, može očekivati tačnost merenja od 20 W do 25 W, što nije moguće sa kompletnim motorom.

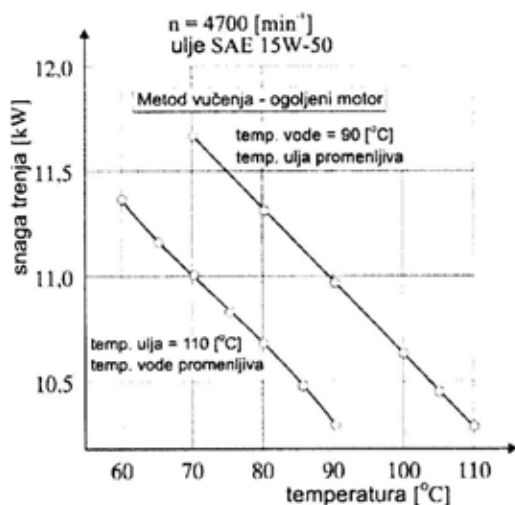
turi ulja 55°C. Apsolutne vrednosti su znatno veće, ali je uočljivo da, posebno u oblasti niskih brojeva obrtaja procentualni udeo gubitaka klipnih prstenova opada dok udeo kolenastog vratila raste.

Na prethodnim slikama prikazana je raspodela udela snage trenja pri različitim radnim temperaturama, a na slici 7 uticaj temperature ulja i vode kao jednog radnog uslova, pri 4700 min<sup>-1</sup>. Kada je

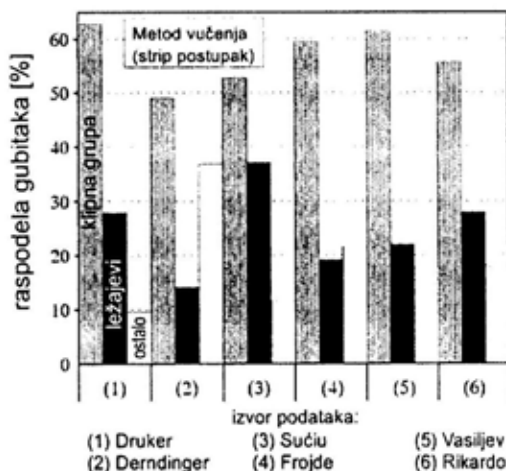


sniman ovaj dijagram, svi ostali parametri održavani su konstantnim. Bazirajući se na ovoj vrednosti broja obrtaja, promena temperature vode za 10°C dovodi do promene snage trenja za oko 360 W. Promena temperature ulja dovodi do istih zavisnosti, ali je koincidencija da su ovi uticaji približno isti (isti nagib krivulja), dok su uzroci različiti. Time se dokazuje da, ako se promeni temperatura ulja, gubici trenja jedino utiču na glavne i leteće ležajeve, dok promene u temperaturi vode nemaju efekta na glavne ležajeve. Celokupna promena snage trenja kroz temperaturu zida cilindra posledica je trenja klipova i klipnih prstenova.

Na slici 8 prikazani su rezultati dobijeni metodom vučenja po „strip“ postupku [5], po kojem se vidi razlika u trenju između pojedinih sklopova. Usled promenljivosti inercijalnih sila, pritiska u cilindru i temperature, ovaj metod dozvoljava samo grubu raspodelu gubitaka trenja u motoru. Ipak, jasno može da se



Sl. 7 – Uticaj temperature vode i ulja na snagu trenja



Sl. 8 – Raspodela mehaničkih gubitaka

uči dominantan uticaj klipne grupe na te gubitke sa učešćem 50 do 60%. Ležajevi (osnovni i leteći) u mehaničkim gubicima učestvuju sa 15 do 30%, dok pogon ventila, pumpe za ulje i pumpe visokog pritiska učestvuju u proseku sa 5 do 10%. Raspodelu srednjeg pritiska trenja u funkciji broja obrtaja za pojedine komponente mogu da izmene različita konstrukciona rešenja i različiti tokovi srednjeg pritiska trenja pojedinih komponentata. Detaljnim sagledavanjem ovih međuzavisnosti moguće je dobiti više činjenica o postupcima merenja i mogućnostima proračuna pojedinih komponentata, kao i zavisnosti gubitaka od konstrukcionih i radnih parametara.

Izbor motornog i transmisionog ulja može znatno da utiče na potrošnju goriva, što se dokazuje i kamionskim testom [6], koji pokazuje poboljšanje ekonomičnosti potrošnje oto motora (0,5 do 2,7%) izborom motornih ulja i kombinacijama motorno ulje – transmisiono ulje.

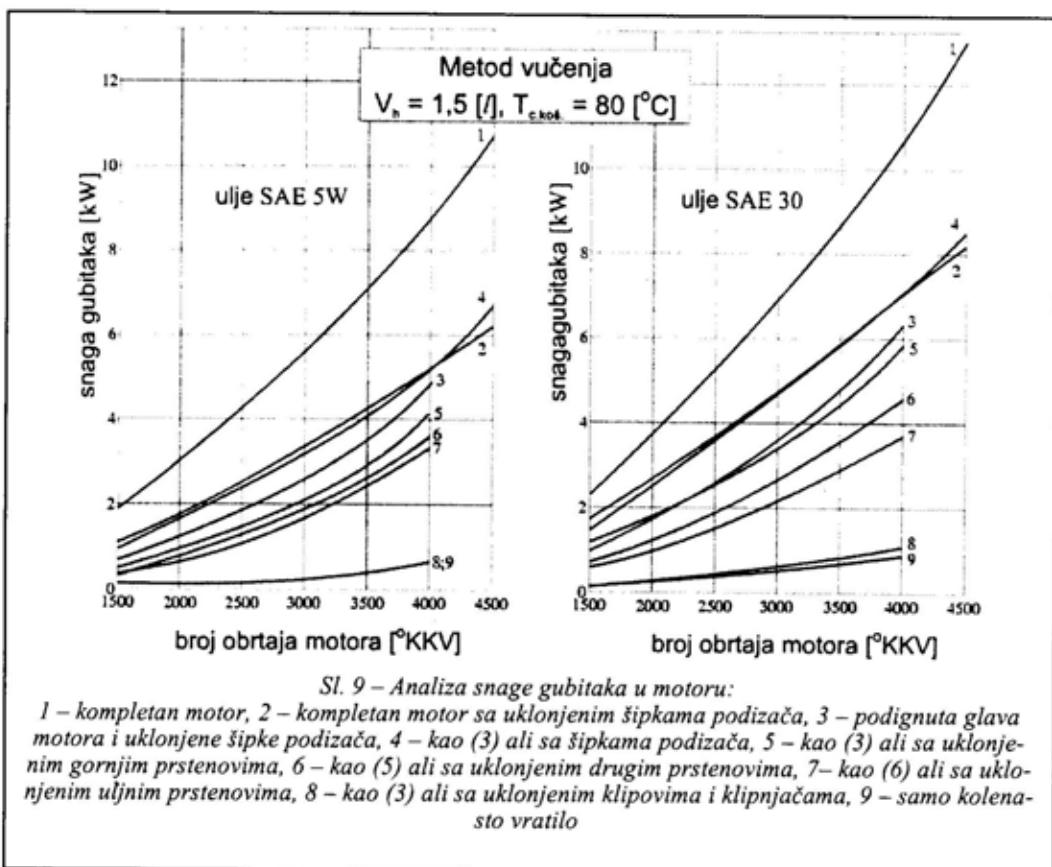
U uslovima hladnog starta motora mnogo su veći efekti uticaja maziva na

potrošnju goriva nego što je to uticaj veštine vozača. Relativan značaj promenljivih veličina koje utiču na potrošnju goriva za vreme hladnog starta, određuju niska temperatura okoline i kratkotrajnost procesa, kao uslovi u kojima izabrana maziva mogu da obezbede značajno smanjenje potrošnje goriva. Poboljšanje karakteristika ulja može da obezbedi znatnu uštedu goriva u radnim uslovima toplog motora. To ukazuje na mogućnost ekonomičnije potrošnje goriva izborom maziva, i sugeriše operativni nivo na kojem mogu da se očekuju najveća poboljšanja. Ostala ispitivanja identifikovala su lake uslove eksploatacije, kao uslova pri kojem viskozitet motornog ulja ima najzna-

čajnije efekte u smanjenju potrošnje goriva. Snaga koja se razvija kod nekog motora umanjuje se za iznos snage koja se koristi za savlađivanje trenja u motoru. Mnogi testovi u kojima se motor pogoni elektromotorom ne mogu da reprodukuju toplotni i mehanički uticaj koji postoji u testovima sa sagorevanjem, tako da oni predstavljaju pogodan način za određivanje približne vrednosti ove snage.

Podaci o snazi trenja dobijeni metodom vučenja u raznim ispitivanjima, prikazani na slici 9, pokazuju gubitke snage motora.

Pri broju obrtaja vučenjem od 4000  $\text{min}^{-1}$  gubici klipnih prstenova i plašta klipa su 47% do 54% od snage trenja do-





bijene metodom vučenja, ukoliko se koriste motorna ulja SAE 5 i SAE 30, respektivno. Snaga gubitaka na klipnim prstenovima i plaštu klipa pokazuje potencijal za poboljšanje potrošnje goriva izborom odgovarajućeg motornog ulja.

Test vučenja motora pokazuje da izbor poboljšivača viskoziteta omogućava da se ulje SAE 10W-40 predstavi slično kao ulje SAE 5W ili SAE 20W-20 u pogledu snage trenja. Multigradna ulja koja sadrže poboljšivače viskoziteta mogu da imaju niži viskozitet u motoru nego u laboratoriji. Zbog njihove nenjutnovske prirode, ona mogu da ponude dodatne mogućnosti za poboljšanje potrošnje goriva.

Za testove vučenja motora izabrana je temperatura vode u prostoru oko cilindra od 85°C. Određena istraživanja su pokazala da temperatura vode u prostoru oko cilindarske košuljice ima znatno veći uticaj na gubitke trenja nego što to ima temperatura motornog ulja [6].

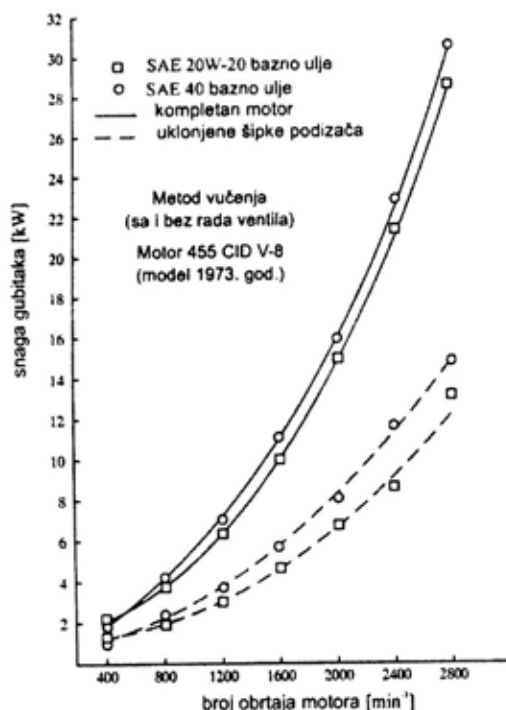
Podaci dobijeni sa dva različita ulja metodom vučenja kompletnog motora i motora sa uklonjenim šipkama podizača ventila (slika 10) pokazuju razliku u gubicima, koja u proseku iznosi 55% i 49% od gubitaka pogona kompletnog motora (SAE 20W-20 i SAE 40 bazno linijsko ulje), respektivno duž celog raspona broja obrtaja pri vučenju motora. Veličina ove razlike gubitaka je, kao procenat ukupne snage gubitaka, u potpunoj saglasnosti sa ostalim studijama.

Pri uslovima manjih brojeva obrtaja i opterećenja, gde je specifična efektivna potrošnja goriva najveća i sa najvećom promenom, srednja specifična efektivna potrošnja goriva opada u zavisnosti od viskoziteta ulja.

Stabilizovana temperatura ulja u koritu motora evoluirala je, u testovima sa sagorevanjem u motoru, u temperaturu vode oko cilindarske košuljice od 88°C. Ova ispitivanja pokazuju povećanje temperature ulja sa povećanjem opterećenja i broja obrtaja. Opterećenje i broj obrtaja imaju direktan uticaj na temperaturu motornog ulja, kao što imaju i temperatura radnog ciklusa i rashladne tečnosti.

Pri temperaturi vode od 85°C oko cilindarske košuljice, monogradna ulja bazne linije pokazuju esencijalan linearni odnos temperature i broja obrtaja pri vučenju. Broj obrtaja pri vučenju ima manji uticaj na temperaturu ulja u koritu kod ulja SAE10W-40 [6].

Raspored i veličina temperature u koritu pri vučenju, u odnosu na testove sa



Sl. 10 – Gubici u motoru pri upotrebi dva različita ulja

sagorevanjem u motoru, pri uporedivim temperaturama rashladnog sredstva, pokazuju ograničenije tehnike vučenja u simuliranju toplotnih uticaja koji postoje u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

### **Mehanizam trenja između pokretnih delova u motoru**

Trenje se javlja tamo gde delovi mehaničkog sistema, uz istovremeno prenošenje opterećenja, klize jedan po drugom. Za savladavanje trenja troši se rad, pri čemu dolazi i do trošenja kliznih delova na spregnutim površinama. Veličine trenja i trošenja zavise, uglavnom, od maziva koje se nalazi između kliznih površina, pri čemu stanje maziva, trenje i trošenje uzajamno uslovljavaju jedno drugo. Od stanja maziva u svakom momentu, osim vrednosti sile trenja, zavisi i mogućnost kojom te sile mogu uzajamno da deluju na površinu habanja. Osobine materijala površine trenja i sredina, takođe, određuju karakter i vrednost sila trenja koje nastaju. Suština je u tome da se molekulske sile unutar tvrdog tela kompenzuju delovanjem susednih molekula, pa te sile uspostavljaju sjedinjavanje u čvrstom telu. Na površini tog tela molekulske sile se ne kompenzuju u potpunosti, jer postoji težnja za kompenzacijom. Na malim rastojanjima te slobodne (nekompenzovane) molekulske sile imaju veliku aktivnost [7].

Ako se dva tela od istog materijala, sa tehnički simetričnim oblicima površina, sjedinjavaju, onda se to sjedinjavanje ne ostvaruje po celoj površini, nego samo po najjasturenijim tačkama. Tehnički, glatke površine, posmatrane u molekular-

noj razmeri, obiluju neravninama. U tačkama dodira na površinama stupaju u dejstvo slobodne molekulske sile i spajaju oba tela u tačkama kontakta toliko jako da njihovo sjedinjavanje postaje jednako čvrstoći samog materijala. Ako se oba tela pomeraju jedno u odnosu na drugo, sjedinjene čestice se odvajaju jedna od druge, pri čemu površinske čestice mogu da se odvajaju od tela, odnosno, može da nastupi habanje.

Pri klizanju različitih materijala jedan po drugom habanje zavisi od vrednosti sila privlačenja koje deluju između molekula dva različita porekla (vrste). Pri prenosu opterećenja između sjedinjenih delova ili pri klizanju pritisci u pojedinim tačkama spajanja mogu da postanu nešto veći, što u tim tačkama plastično deformiše materijal do te mere da se sjedinjene površine povećavaju toliko da mogu da izdrže dato opterećenje. Usled visokog pritiska i pod dejstvom molekularskih sila sjedinjavanja površine trenja se pri određenim uslovima zavaruju. U tom slučaju veoma mala, mnogobrojna i neprekidno obrazovana mesta varova pri klizanju površina se kidaju. Sila neophodna za raskidanje sjedinjenih mesta varova (tačaka), približno odgovara proizvodu stvarne površine sjedinjavanja i otpora smicanja zavarenih mesta. Ta sila uvećava delovanje molekularskih sila spajanja, silama utrošenim na čisto mehaničku deformaciju pomeranja i plastičnu deformaciju metala u hladnom stanju. Kod nepodmazanih metalnih površina ona odgovara vrednosti sile trenja.

Kao molekuli čvrstih tela, tako se i molekuli tečnosti (na primer mazivo) dobro adsorbuju od površine čvrstog tela,

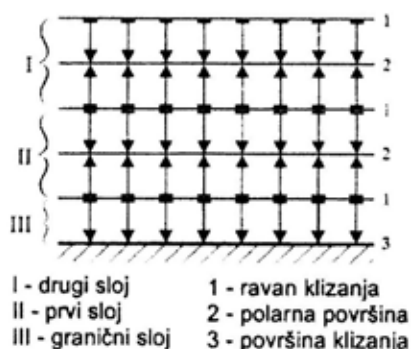
posredstvom slobodnih valentnih veza i čvrsto se drže na toj površini. Isto tako površine čvrstih tela adsorbuju gasove i pare. Tanak sloj maziva, koji se nalazi između dve ravne metalne površine, pokazuje veliki otpor odvajanju tih tela jedno od drugog, ne toliko zbog toga što se sloj čvrsto prilepljuje za metalne površine, već zato što on sam dobija znatnu čvrstoću pod delovanjem molekulskih sila, koje mogu da budu čak i veće od čvrstoće samih metalnih tela. Ako se ta tela prinudno udaljavaju jedno od drugog, iz tih tela mogu da se oslobadaju čestice usled velike čvrstoće mazivog sloja. Pri nepostojanju maziva između kliznih površina reč je o „suvom trenju“. U tom slučaju koeficijent trenja je rezultat delovanja molekulskih sila u dodirnim tačkama i suprotstavljanja smicanju zavarenih delova površine. Samim tim koeficijent trenja zavisi od svojstva materijala i stanja površina. Može se zapaziti da je zbog velike aktivnosti površina, sa fizičke tačke gledišta, veoma teško ostvariti stanje suvog trenja. Svaka čista metalna površina brzo adsorbuje gasove i pare tečnosti koje deluju kao mazivo i utiču na vrednost sile trenja koja se pojavljuje. To dovodi do značajnih poteškoća pri ispitivanju suvog habanja svih vrsta. Stanje poznato pod terminom „polusuvo trenje“ ili „granično podmazivanje“ (nekad jednostavno „podmazivanje“) određuje se fizičkim procesom adsorpcije maziva na kliznim površinama. Molekuli maziva, udruženi molekulskim silama, obrazuju ovde adsorpcioni sloj debljine nekoliko molekula ili čak i jednog molekula – takozvani „granični sloj“, koji se velikom silom priljubljuje uz metalne klizne površine

(slika 11). Pri tome je verovatno reč samo o silama konačne vrednosti, pa je moguće odvajanje sloja maziva pod dejstvom veoma visokih opterećenja.

Ako je čvrstoća prianjanja između sloja maziva i površine metala na nekom mestu narušena, to dovodi do metalnog sjedinjavanja, sa već pomenutim posledicama. Da bi se dobilo „stvarno granično podmazivanje“, podmazujuće sredstvo treba da sadrži ne samo polarne grupe molekula sa velikom dužinom lanca koji se hvata za metalnu površinu, već i takve materije, kao što su masne kiseline, koje hemijski reaguju sa metalnim površinama i obrazuju metalne sapune (soli masnih kiselina sa metalima). Uvode se i druge podobnije materije, na primer trikrezilfosfat koji na metalnoj površini može da obrazuje sloj sa niskom temperaturom topljenja. Zahvaljujući tim hemijskim reakcijama na metalnim površinama dolazi do gubitka metala, odnosno javlja se jedna vrsta habanja. Obrazovanje mešovitog trenja, u čisto mehaničkom smislu, zasniva se na delimičnim površinama klizanja, koje su uvek prisutne u obliku mikroneravnina [7].

Ako je srednja debljina maziva manja od zbira visina mikroneravnina obe površine, dolazi do kidanja sloja maziva, pre svega u tačkama koje su najviše isturene i do dodirivanja metala sa metalom u tim tačkama, iako su drugi, više ili manje širi delovi površine, razdvojeni slojem maziva. Čisto mešovito trenje može da postoji praktično bez habanja i u slučaju ako su površine koje klize jedna po drugoj savršeno glatke, a specifičan pritisak ne prelazi kritične vrednosti, što zavisi od materijala. Površinsko-granični

slojevi maziva ponašaju se, po nekim autorima, kao „kruta tela“. U jednomolekulskom sloju maziva, koje je adsorbirano na površini metala, lančasti dugi molekuli su strogo orijentisani (slika 11).



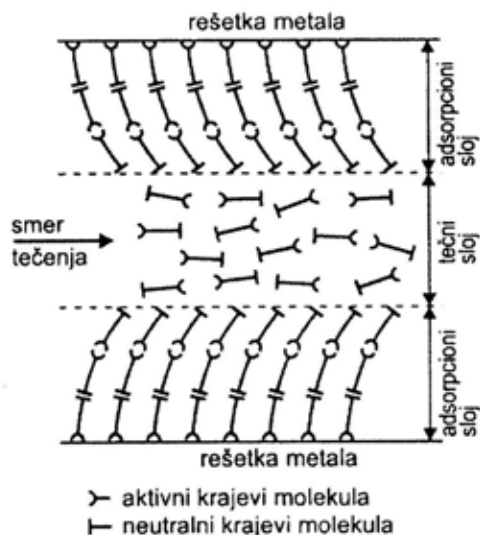
Sl. 11 – Molekulska veza adsorpcionog sloja uljnog filma

Jednim krajem oni su spojeni sa površinom metala, a sa strane sa susednim molekulima. Ta bočna veza očigledno ima suštinski značaj za zaštitu podmazivanih površina. Sa povećanjem temperature, bočne veze usled dejstva toplotnog kretanja molekula postaju slabije, i na kraju na određenoj temperaturi („tački topljenja“ sloja) u potpunosti nestaju. U tom trenutku sloj više ne predstavlja nikakvu zaštitu, jer postaje „tečno“ telo i trenje se naglo povećava. Određeni materijali, na primer masne kiseline, obezbeđuju zaštitu metalnih površina do znatno više temperature nego što je njihova temperatura topljenja, čak do tačke omekšavanja jedinjenja koja su obrazovana sa metalima, na primer metalni sapun. Samo pri temperaturi koja je viša od tačke omekšavanja nastupa skokovito povećanje trenja.

Ako se temperatura i dalje povećava dolazi do drugog skokovitog povećanja trenja. Po nekim autorima ono se objašnjava prelazom mazivog sloja iz „teč-

nog“ u „gasovito“ stanje. To može da se dešava pri takvim temperaturama na kojima granični sloj gubi vezu sa površinom metala. Taj drugi skok može da se dogodi kod mineralnih maziva već na 90°C do 100°C. Moguće je da, čak i pri umerenoj temperaturi, kada se klizne površine obilno „podmazuju“, tj. obezbeđuju mazivom, ono ne bude u stanju da iskaže podmazujuće dejstvo, i u tom slučaju gubici trenja su veliki kao i površinska oštećenja. U tom slučaju, mazivi sloj može da ostvaruje zaštitu površine metala od korozije. Pri tečnom trenju obe površine koje klize jedna po drugoj, u svim svojim tačkama su razdvojene hidrodinamičkim, tj. nosećim slojem maziva. Tada čak i između isturenijih tačaka površina nema dodira. Sloj maziva se nalazi između ranije navedenih adsorpcionih slojeva, koji se nalaze u spoju sa obe klizne površine i sastoji se od više odvojenih slojeva koji leže jedan na drugom i pri kretanju delova klize jedan po drugom (slika 12).

Pri tome se unutar maziva pojavljuje trenje koje treba da se suprotstavi silama koje deluju spolja. Na veličinu tog tečnog trenja, osim debljine adsorbovanih slojeva, utiče i položaj (orijentacija) molekula u sloju maziva između graničnih slojeva. Pri odgovarajućem pomeranju kliznih površina molekuli koji su raspoređeni normalno na površinu okreću se u smeru kretanja. Dugački molekuli maziva, koji se nalaze iznad njih u sloju maziva, postavljaju se svojim uzdužnim osama u pravcu tečenja i time smanjuju suprotstavljanje trenja u sloju tečnosti. Pri takvoj orijentaciji molekula u tečenju, dinamički viskozitet maziva je manji nego što to pokazuje merenje na viskozimetru.



Sl. 12 – Molekulska formiranje uljnog filma pri tečnom trenju

Stepen sniženja viskoziteta zavisi od hemijskog sastava molekula maziva, od brzine klizanja i visine podmazujućeg rastojanja između kliznih površina. Povećanje pritiska u podmazujućem sloju može opet da poveća viskozitet. Osim toga, u svakom pojedinačnom slučaju postoji uzajamno dejstvo između materijala tarnih površina, s jedne strane, i maziva, s druge strane. Molekulske sile površinskih slojeva metala koje određuju raspored molekula maziva ne ograničavaju se čvrstim graničnim slojem maziva (debljinom, koja je verovatno jedan molekularni sloj), nego se rasprostiru, pri postojanju debljih slojeva, još dalje (imajući u vidu molekularnu razmeru) u dubinu sloja maziva. Pri tome se molekuli maziva različitom silom primiču graničnoj površini, u zavisnosti od njihove specifične strukture, oblika i dimenzija. Ti molekuli verovatno predstavljaju polarne električno opterećene molekule, koji se svojim aktivnim krajevima čvrsto spajaju sa metalnim površina-

ma. Neaktivni krajevi molekula izlaze u podmazujući sloj i nalaze se zajedno sa takvim istim brojem molekula susednog sloja, pod dejstvom malih orijentacionih sila. Duž tih dodirnih slojeva, pretpostavlja se, može da postoji klizanje sa manjim otporom, koji se naziva otpor trenja klizanja.

Svakoj kombinaciji metala i maziva odgovara sopstvena sila kvašenja. Dodaci u mazivu mogu da imaju aktivirajući uticaj na molekule i time da smanjuju trenje, a samim tim i habanje. Tako deluju, na primer, aditivi organskih kiselina i ricinusovog ulja, kao i sumpor ili hlor u organskim jedinjenjima. Mogu, takođe, da se aktiviraju, i granične površine, na primer pomoću grafitnih dodataka u ulju za podmazivanje. Grafit ima sposobnost obrazovanja jednomolekularnog sloja koji se izrazito čvrsto spaja sa površinom metala. Grafitni film formiran na taj način odlikuje se veoma visokom stabilnošću na visokim temperaturama.

Nasuprot suvom i tečnom trenju, mešovito trenje nema tačno određeno stanje – ono se uvek sastoji od oba krajnja stanja, čiji se odnos menja od slučaja do slučaja. Dva različita maziva sa jednakim karakteristikama viskoziteta, koji se pri tečnom trenju ponašaju skoro jednako, pri mešovitom trenju mogu da imaju veoma različite osobine. Koje osobine maziva dovode do tih razlika još nije sasvim jasno. Po teoriji adsorpcije tečnih molekula, na površinama klizanja ulje treba da ima što izraženije osobine smanjenja trenja. Ono mora da bude sposobno da zasiti obilne molekulske sile na površini metala. Tvrde čestice koje se nalaze u mazivu, kao što su

prašina, pepeo, koks i sl., mogu da deluju tako da se stanje mešovito trenja dostiže već na osnovu čisto mehaničkih uslova u okolnostima pri kojima bi trebalo da vlada tečno trenje. Pri tome se narušava polje sila u filmu maziva, tako što suspendovane čvrste čestice utiču na orijentaciju molekula maziva i njihovo adheziono svojstvo u odnosu na klizne površine [7].

I u motorima SUS je trenje i habanje delova povezano sa uzajamnim delovanjem sistema metal–mazivo–metal. Uspešan rad takvog sistema u istoj meri zavisi od osobina obe tarne površine i maziva. Suština samog procesa trenja i trošenja zasnovana je na složenim međusobnim delovanjima između površine trenja i maziva, koje je određeno delovanjem mnogobrojnih faktora: fizičkih, hemijskih, mehaničkih, geometrijskih i kinematičkih [8].

Geometrija određene površine karakteriše se talasastim reljefom sa mikroneravninama, čija je površina obrazovana od kristala koji su raspoređeni bez određenog poretka. Pri mehaničkoj obradi dolazi do veoma intenzivne plastične deformacije metala, usled čega površinski slojevi po dubini do desetak nanometara naglo menjaju osobine. Nakon mehaničke obrade u površini se zadržavaju zaoštalina naprezanja sabijanja (korisna) i istezanja (štetna).

U nizu slučajeva površinski slojevi delova se obrađuju specijalnim metodama, kako bi se postigle određene fizičko-hemijske osobine. U takve metode spadaju kaljenje, cementiranje, valjanje, gasno hromiranje, nitriranje, itd.

Pri radu površine delova mogu da pretrpe mnogobrojne promene mikrogeo-

metrije i mikrostrukture u procesu trenja i habanja. Kao rezultat razrade hrapavost se obično smanjuje. Neravnine obrazovane u procesu obrade zamenjuju se neravninama formiranim u procesu habanja. Kao posledica intenzivnih toplotnih i mehaničkih međudelovanja obrazuju se nove strukture metala, nekad bolje a nekad manje odgovarajuće, u poređenju sa polaznom strukturom.

Poznato je da atomi u površini imaju samo jednostavne veze koje su usmerene unutar metala. Rezultat toga je njihova nekompenzovana slobodna energija koja formira elektromagnetno energetsko polje površine i prouzrokuje pojave adsorpcije i privlačenje metala pri trenju.

Visoke temperature koje se stvaraju na površini trenja stimulišu obrazovanje oksidnih slojeva, a njihovo kidanje nastaje zbog mehaničkih uzroka – delovanjem sile trenja i rezultujućom plastičnom deformacijom površine ispod tog sloja. Otpor održanju oksidnih filmova čak je znatno manji nego kod metala, tako da imaju odgovarajuće veliki koeficijent trenja. Oksidni slojevi ne mogu sami da obezbede podmazivanje tarnih površina, što izaziva neophodnost primene maziva koja imaju bolja podmazujuća svojstva od oksida, i to pre svega u uslovima mešovito trenja.

Takvi adsorpcioni granični slojevi imaju veoma veliku čvrstoću na gnječenje, veliku elastičnost pri postojanju normalnog pritiska i obezbeđuju mogućnost lakog klizanja, kao rezultat smicanja po površinama koje su obrazovale prstenaste ili metilne grupe molekula, tj. oni obezbeđuju takozvanu „mazivost“ maziva. Debljina adsorpcionih filmova



obično nije veća od 0,1 nm. Takvi filmovi ne mogu da nivelišu hrapavost površine trenja, čija je visina neravnina, po pravilu, znatno veća, već formiraju mikroreljef površine [8]. Na taj način granični slojevi na čvrstim površinama imaju ogroman značaj za sve procese trenja, habanja i graničnog podmazivanja. Ti slojevi razdvajaju tarne površine kada ne postoji tečno podmazivanje i, ometajući neposredan metalni kontakt, sprečavaju trenje njihovih čistih površina i zavarivanje.

Prirodni površinski oksidni i adsorpcioni slojevi sposobni su da zaštite tarne površine od prekomernog trenja i habanja pri umerenim termičkim i opterećenim radnim režimima. Isto tako, oni nisu otporni i ne obezbeđuju efektivnu zaštitu od habanja pri teškim režimima trenja. Taj zadatak rešava se stvaranjem veštačkih slojeva na tarnim površinama, koji se formiraju u procesu trenja, aditivima protiv habanja i zadiranja, koji se dodaju u motorno ulje.

Postoje mnoge klasifikacije trenja. Neki predlažu da se pri spoljašnjem trenju dve metalne površine razlikuje „trenje idealno čistih (juvenilnih) površina“, kao proces direktnog međusobnog dejstva između njih i „hidrodinamičko trenje“ u uslovima kada se sredina, koja deli čvrste površine, podvrgava zakonima hidrodinamike viskozne tečnosti. Između ta dva granična stanja postoji velika klasa, u praksi važnih pojava „mešovito trenja“. Na mešovito trenje odnose se svi procesi trenja kada su površine čvrstih tela razdvojene veoma tankim adsorpcionim slojevima različitog porekla.

Kod motora SUS u uslovima približnim hidrodinamičkom trenju rade ležajevi kolenastog vratila. Do narušavanja tog režima u ležajevima dolazi pri pokretanju motora, malom viskozitetu ulja ili malom broju obrtaja ili zbog nedovoljnog pritiska ulja. Ispitivanja karaktera podmazivanja između klipnog prstena i cilindra motora pokazala su da u spoljnoj mrtvoj tački i u unutrašnjoj mrtvoj tački postoji granično podmazivanje, a u sredini hoda klipa podmazivanje je približno hidrodinamičkom. Između prstena i košuljice cilindra sve vreme dolazi do smanjenja debljine sloja ulja, dok je pri povećanju brzine kretanja to smanjenje manje izraženo. Smanjenje viskoziteta ulja dovodi do povećanog kontakta prstena i cilindra. Pri porastu temperature dolazi do primetnog smanjenja debljine sloja ulja, što je posledica viskoziteta ulja, i desorpcije polarnoaktivnih molekula na tarnim površinama.

## Zaključak

Snaga koja se troši na savladavanje mehaničkih gubitaka u motoru SUS važan je faktor za određivanje performansi i stepena korisnosti motora. Najveći deo tih gubitaka čine gubici usled trenja u motoru, koji nastaju usled relativnog kretanja između čvrstih površina u motoru. Mehanizam ovog trenja je veoma složen, posebno kada se uzmu u obzir i okolnosti nastale konstrukcijom savremenih visokopterećenih motora. Zbog toga je neophodno da se analiziraju mehanički gubici u motoru, i ispituje mehanizam trenja.



*Literatura:*

- [1] Patton, J. K., Nitschke, G. R., Heywood, B. J.: Development and Evaluation of a Friction Model for Spark-Ignition Engines, SAE 890836, st. 1441-1461.
- [2] Građin, B. Z.: Analiza mehaničkih gubitaka dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2002.
- [3] Petrović, S.: Experimental and theoretical avaluation of friction losses in a four cylinder gasoline engine, Simpozijum Balkantrib, Solun 1996, Zbornik radova, st. 554-561.
- [4] Scheling, H., Freier, R.: Factors influencing the friction power of pistons, MAHLE - Technical Information.
- [5] Thiele, E.: Mechanische Reibungsverluste in Hubkolbenriebwerken, Institut für Kolbenmaschinen, Universität Hannover, 1985.
- [6] Chamberlin, B. W., Sheahan, J. T.: Automotive Fuel Savings Through Selected Lubricants, SAE 750377.
- [7] Englisch, K.: Kolbenringe, Springer - Verlag, Wien, 1958. (превод на руски језик 1962).
- [8] Григорьев, М. А., Пономарев, Н. Н.: Износ и долговечность автомобильных двигателей, Машиностроение, Москва, 1976.

### Rezime:

*U radu je data definicija logističkog kontrolinga u logističkim sistemima. Prikazane su njegove osnovne funkcije, kao i mesto i uloga u upravljanju savremenim logističkim sistemima. Pregledno je prikazano kako pojedini autori definišu pojam i funkcije logističkog kontrolinga u savremenim logističkim sistemima.*

*Ključne reči: logistički kontroling, logistička usluga, logistički troškovi.*

---

## LOGISTIC CONTROLLING IN MODERN LOGISTIC SYSTEMS

### Summary:

*In this paper a definition of logistic controlling in logistic systems has been given. The basic functions of logistic controlling are shown as well as its place and role in managing modern logistic systems. It is clearly shown how some other authors define the notion and the functions of logistic controlling in modern logistic systems.*

*Key words: logistic controlling, logistic service, logistic costs.*

---

### Uvod

U prošlosti su se, usled različitog shvatanja logistike, ciljeva, oblasti i funkcija koje je ona opisivala, u različitim periodima javljale i različite analize, kao i postupci utvrđivanja logističkih procesa i sistema.

Danas se postupci koji analiziraju logističke procese i sisteme nazivaju: postupak utvrđivanja tehnoloških rezervi, definisanje eksploatacionih pokazatelja, utvrđivanje pokazatelja kvaliteta i kvantiteta usluga, karakteristika iskorišćenja logističkog sistema, itd. Svi ovi postupci utvrđivanja pokazatelja i podataka mogu

da se opišu kroz četiri karakteristike, koje treba da se realizuju u ovim postupcima analize, na osnovu kojih se stvara kvalitetna slika stanja posmatranog sistema, a to su:

– *Obuhvatnost* sistema koji se analiziraju i opisuju. Sve dosadašnje analize bile su uglavnom delimične (parcijalne), jer su bile vezane samo za vozni park, za skladišta ili za pretovarni sistem. U savremenim analizama teži se celovitom obuhvatu logističkih sistema, a ne samo pojedinih segmenata ili faza sistema;

– *Cilj* postupka koji se prikazuje. Ciljevi mogu biti različiti, a do sada su tako postavljani da su se najviše koristili

za fazu kontrole funkcionisanja sistema. Retko ili nikada nisu opisivali procese ili celokupan sistem. Još manje su postavljani takvi ciljevi koji bi se koristili u planiranju, tj. u fazi projektovanja logističkog sistema i procesa. U toku faze upravljanja logističkim sistemima i procesima ciljevi su se samo ponekad javljali. Svakako da bi vrhunac uspešnosti postupaka analize bio kada bi se prikupljeni podaci i informacije koristili u adekvatnoj formi i obimu za odlučivanje na hijerarhijskim nivoima;

– *Upotrebljivost* podataka i informacija, kao i rezultata analiza često je niska ili slaba. Podaci i informacije koji se vode često su apsolutno neupotrebljivi, a karakteristični su slučajevi praćenja podataka i pokazatelja kada ima podataka i pokazatelja koji su potrebni, ali se ne prate i ne obrađuju na pravi način. Takođe, postoje podaci i pokazatelji koji su potrebni i obrađeni na pravi način, ali nisu na pravom mestu u informacionom sistemu. Često su veoma korisni podaci i pokazatelji koji se ne mogu proveriti, a dobijeni su proizvoljno.

– *Način* na koji se postupci sprovede, kao i kako se prikupljaju i obrađuju. Često se pre bitne odluke, po hitnom postupku, prikupljaju podaci koji su negde zapisani, ali je pristup njima spor i složen. To pokazuje da praćenje podataka nema pravih efekata ili informacioni sistem nije adekvatan.

Zbog toga što svaki postupak utvrđivanja podataka, pokazatelja i informacija iziskuje troškove, neophodno je da se oni prate, i da ne budu veći od koristi koju mogu doneti.

Cilj današnje logistike jeste što veći kvalitet usluga, uz što manje troškove.

Pošto su to oprečni zahtevi neophodno je optimalno rešenje koje će biti prihvatljivo sa stanovišta oba postavljena cilja. Ove ciljeve moguće je ostvariti ako se pravovremeno raspolaže dovoljnim brojem kvalitetnih informacija za strateški i operativni nivo odlučivanja pri planiranju, upravljanju i kontroli logističkih sistema i procesa.

Osnovne podatke za efikasno odlučivanje pruža logistički kontroling, čiju osnovu čini skup podataka koji opisuju i kvantifikuju logističke usluge i logističke troškove. To su protivrečni zahtevi, jer povećanje nivoa usluge donosi i povećanje troškova, što je u suprotnosti sa postavljenim ciljem minimalnih troškova.

Logistički kontroling se pojavio kada se došlo do saznanja da je logistika bitan faktor uspeha funkcionisanja sistema. U savremenim društvima potrebno je što više se približiti željama i zahtevima korisnika, kupaca i tržišta. Troškovi logistike imaju trend rasta u relativnom i apsolutnom iznosu u odnosu na druge troškove funkcionisanja sistema. Ciklus nadgradnje i izmena u sistemima se skraćuje, što zahteva veliku elastičnost i prilagodljivost novim uslovima funkcionisanja. Novi zahtevi povećavaju kompleksnost zadataka logistike, zahtevaju kvalitetne baze podataka, sa preciznim informacijama, koje omogućavaju donošenje pravovremenih odluka, što zahteva i dobro projektovane informacione sisteme.

Logistički kontroling (LK) jeste instrument koji podržava planiranje, upravljanje i kontrolu u logističkim sistemima i procesima, što jasno govori da pruža podršku sistemima koji upravljaju promenama. Praksa je pokazala da nije dovoljno dati adekvatne odgovore na promene koje

se dešavaju, već je neophodno unapred predvideti promene i pripremiti adekvatne odgovore. Sistem prikupljanja i obrade informacija je neophodan da bi se promene mogle predvidati, a upravo LK u oblasti logistike obezbeđuje informacioni sistem sa ovim pogodnostima.

### **Pregled nekih tumačenja logističkog kontrolinga**

Logistički kontroling se kao koncepcija javio sedamdesetih godina, a ekspanziju je doživeo tokom devedesetih godina XX veka. U tom periodu različito je definisan sa stanovišta ciljeva, funkcija i značaja, ali se ne može poistovetiti sa kontrolom logističkih procesa. On obuhvata i planiranje i upravljanje procesima i sistemima u skladu sa ciljevima funkcionisanja, a poslednjih godina sve više se nameće kao sistem za podršku odlučivanju.

Pojedini autori, kao npr. L. Jaeschke i E. Feuerbaum [2], navode pojam „to control“ koji znači više nego pojam „kontrolisati“, i koji obuhvata mere upravljanja na području toka proizvodnih i logističkih procesa. Pojam „controlling“ može se izjednačiti sa pojmom „upravljanje“, bez obzira na to da li treba upravljati određenim proizvodnim i logističkim procesima, unutar sistema ili izvan njega.

J. Weber [10] definiše dve grupe zadataka sistema logističkog kontrolinga, a to su:

1. podrška strateškom planiranju i odlučivanju koja obuhvata: utvrđivanje strateškog značaja logistike za preduzeće; uključivanje logistike u strateško planiranje preduzeća; podršku definisanju logističkih ciljeva; definisanje strateških ciljeva kao podloge za operativno upra-

vljanje; razvoj sistema upravljanja na strateškom nivou.

2. Podrška operativnom planiranju i upravljanju koju čini: operacionalizacija i ocena stepena zadovoljenja definisanih ciljeva; savetodavna funkcija upravljačkom timu; podrška sistemu upravljanja promenama; praćenje, analiza i upravljanje logističkim troškovima i učinkom; podrška operativnom planiranju realizacije logističkih procesa i aktivnosti; povećanje logističke aktivnosti.

F. Unger [8] kao osnovne funkcije i zadatke logističkog kontrolinga na području nabavke i distribucije proizvoda navodi funkcije: prikupljanja informacija za tokove roba, transporta i skladištenja; planiranja, prognoze i savetodavne aktivnosti; tražnje i upravljanja specijalizovanim odeljenjima, kao i funkciju kontrole.

T. Uhlig [9] navodi tri bitne funkcije logističkog kontrolinga: funkciju koordinacije (prevladavanje interesnih konflikata u logistici. Neophodno je da postoji proces usaglašavanja između pojedinih donosilaca odluke, radi postavljanja jedinstvenog cilja); funkciju planiranja i kontrole na strateškom i operativnom nivou. (U sistemu planiranja potrebno je sve delimične planove koordinirati i usmeriti u pravcu ostvarenja jedinstvenog cilja. Proces kontrole treba da spreči rizik i obezbedi profit i rentabilnost) i funkciju informisanja (logistički kontroling ima zadatak da obezbedi sve bitne informacije na svim nivoima odlučivanja).

T. Reichmann [7] navodi da je ciljno i usmereno pripremanje informacija i podloga za planiranje, koordinaciju i kontrolu logističkih procesa osnovni zadatak logističkog kontrolinga. Logistički kontroling prikuplja potrebne informaci-

je, centralno ih obrađuje u željenom obliku i stepenu detaljnosti, pa ih dostavlja donosiocima odluka. Posebno je naglašen višedimenzionalni karakter logističkog kontrolinga, koji se može ogledati kroz različite dužine planskih perioda. Na različitim nivoima odlučivanja potrebna je različita struktura i detaljnost logističkih pokazatelja.

H. Krampe i H. J. Lucke [6] pod koncepcijom logističkog kontrolinga podrazumevaju oblast upravljanja logističkim procesima, kroz koju se integrisano podržavaju i preuzimaju procedure planiranja, upravljanja i kontrole procesa, kao i priprema, što omogućava uspešno upravljanje preduzećem. Pored toga, logistički kontroling treba da omogući i kontrolu vrste, mesta i nosilaca troškova, kao i pripremanje i obezbeđenje informacija o logističkim uslugama potrebnim za donošenje srednjoročnih i dugoročnih odluka. Ovi autori ističu dva područja zadataka logističkog kontrolinga: područje obračuna logističkih usluga – planiranje logističkih resursa i područje obračuna logističkih troškova – planiranje i kontrolu troškova po mestu nastanka, proizvodima, podršci internim logističkim odlukama kao i odlukama koje prelaze granice preduzeća.

M. Kilibarda i S. Zečević [4] o LK govore kao funkcionalnom delu logističke koncepcije preduzeća koji obazbeđuje integrisanu podršku planiranju, upravljanju i kontroli logističkih procesa i sistema. Logistički kontroling konceptualno čine četiri osnovne funkcije:

– informisanje koje obuhvata procese registrovanja, prikupljanja, obrade, distribucije i korišćenja informacija o logističkim pokazateljima. Na taj način obez-

beđuju se podaci u realnom vremenu i stvara osnova za donošenje adekvatnih logističko-poslovnih odluka;

– planiranje koje obuhvata definisanje strateških i operativnih logističkih ciljeva, izradu prognoza kratkoročnih i dugoročnih planova. Sistem LK obezbeđuje podršku odlučivanju: vezano za strategije MAKE-OR-BUY, o donošenju investicionih odluka, reorganizaciji sistema nabavke i distributivnog sistema, o mestu, vremenu, tehnologiji i organizaciji realizacije logističkih aktivnosti, izboru nosioca logističke usluge, izboru kooperanata u logističkom lancu, itd.;

– upravljanje sadrži definisanje pravila i procedura prioriteta realizacije logističkih procesa i aktivnosti u sistemu. Logistički kontroling obezbeđuje podršku odlukama: o operativnim strategijama funkcionisanja logističkih sistema (skladišta, mehanizacija pretovara i sl.), dispozicionim zadacima i operativnim MAKE-OR-BUY odlukama;

– kontrola se odnosi na praćenje i kontrolu realizacije logističkih ciljeva i planske veličine za konkretne logističke zadatke (upoređivanjem planiranih i stvarnih logističkih pokazatelja). Kontrolna funkcija obuhvata: kontrolu logističkih troškova i logističkih usluga u transportu, skladištenju, pretovaru, kontrolu kvaliteta isporuke proizvoda i dr. Sistem kontrole obuhvata i postupak utvrđivanja logističkih rezervi.

Kod logistike trgovačkih i industrijskih preduzeća postoje dve grupe zadataka LK:

– definisanje i kvantifikacija logističkih troškova (definisanje, postavka strukture i razdvajanje troškova, prikupljanje podataka za planiranje troškova,

odluka o troškovnoj strukturi, troškovna kontrola procesa i sl.);

– definisanje i kvantifikacija logističke usluge i učinka (analiza i dokumentacija procesa, definisanje smetnji i odstupanja, sistematizacija, utvrđivanje i vrednovanje mernih veličina, formiranje podloga za planiranje logističkih procesa i resursa, za planiranje logističkih troškova – budžeta i sl.).

Dinamičnost promena i smetnji na tržištu, nabavke sirovina, plasmana proizvoda, ponude i potražnje logističkih usluga zahtevaju brze reakcije logističkih sistema u vezi sa uočavanjem, praćenjem i upravljanjem promenama, kako u sopstvenom sistemu, tako i u okruženju.

M. Vidović [1] govori o logističkim performansama i logističkim izmeriteljima prema „američkoj logističkoj školi“, pri čemu upoređenje i pojam logističkih performansi i LK za logističke performanse primarna je upravljačka funkcija, ostale funkcije predstavljaju podršku upravljačkom procesu. Upravljački proces podrazumeva definisanje ciljeva, standarda i planova, merenje realizovanih performansi, preko vrednosti određeni parametara i definisanih izmeritelja, analizu odstupanja realizovanih performansi od ciljnih vrednosti i preduzimanje planom definisanih korektivnih akcija, ako dođe do nedozvoljenih odstupanja.

Informativno-ilustrativna i planska, kao i većina ostalih funkcija, polaze od funkcije upravljanja logističkim sistemima.

Osnovni sistem izmeritelja logističkih performansi čine logistički troškovi, servis-stepen, tehno-eksploatacione performanse logističkih sistema i bezbednost logističkih procesa i odnos prema ekosistemu.

Uočljivo je da je centralno mesto dato upravljačkoj funkciji i upravljanju u organizaciji. Zbog toga se pokazatelji lo-

gističkih troškova i logističke usluge posmatraju sa takvog stanovišta, što se razlikuje od prethodnih pogleda na ovaj problem. I sa ovakvog stanovišta se kao bitni pokazatelji izdvajaju logistički troškovi i logistička usluga, sa još nekim dodatnim grupama pokazatelja.

### Pojam logističkog kontrolinga

Može se uočiti da LK u logističkim sistemima predstavlja metod kojim se dolazi do integrisanog informacionog sistema, a koji prati sve elemente i procese u sistemu: zalihe, vozila, klijente i drugo. Pri tome se transparentno prikazuju stanja, što rukovodećim strukturama omogućava uvid u stanja sistema, stalnu vezu, ali i predviđanje reakcija na promene u sistemu, tj. reagovanje na novonastale promene koje su bitne za njegovo funkcionisanje. Time se omogućava donošenje kvalitetnih upravljačkih odluka na svim nivoima odlučivanja. Logistički kontroling je orijentisan na procese sistema, i posmatra ceo logistički lanac od početka do kraja, od formiranja palete do krajnjeg korisnika. Javlja se kao neophodan metod još u fazi planiranja logističkog sistema, čime se izbegavaju moguće greške u početnim fazama njegovog formiranja, a ima dva dela:

1. Obračun logističke proizvodnosti koji čine: analiza strukture procesa; definisanje operativnosti ciljeva svih logističkih sistema; utvrđivanje parametara i mera proizvodnosti; identifikacija i kvantifikacija smetnji; sistematsko ocenjivanje i izbor mernih veličina; priprema podataka; planiranje logističkih resursa; planiranje troškova i prihoda; formiranje podrške za odlučivanje.

2. Obračun logističkih troškova koji čine: definisanje logističkih troškova; utvrđivanje troškova po procesima i sistemima; izrada i obrada podataka po troškovima za planirane prihode i rashode i formiranje podloge za odlučivanje; kontrola troškova logističkih podсистема; projektovanje troškova po jedinici proizvoda; formiranje obračunskih podloga za ocenu proizvodnosti i logističkih podсистема.

Pokazatelji rada u saobraćaju i transportu odavno se registruju, ali se nikad nisu pratili celovito za logistički lanac. U današnje vreme, kada se teži upravljanju promenama, to ne znači da treba čekati da se promena desi kako bi joj se prilagodili, već treba postaviti sistem koji će predvideti moguće događaje i unapred pripremiti odgovarajuće odgovore na promene, što je nemoguće bez dobrog informacionog sistema.

Podaci treba da se prikupljaju za jedan logistički lanac, a ne za više lanaca ili sistema. Jedan podatak se prikuplja na jednom definisanom mestu u lancu, a koristi se u celom lancu i informacionom sistemu. Vrlo je loše, a često se dešava da se isti podatak ili pokazatelj sakuplja na više različitih mesta u lancu, a zatim se čuva i ne koristi na pravi način ili se uopšte ne koristi. Upravo LK treba da pomogne u stvaranju takvog informacionog sistema koji će sprečavati praćenje i čuvanje nepotrebnih pokazatelja i podataka. Kvalitetna slika trenutnog stanja sistema može biti dobra osnova za odlučivanje na svim hijerarhijskim nivoima.

## Zaključak

Cilj LK jeste da se stvori takva baza podataka za planiranje i upravljanje logi-

stičkim lancima i sistemima koja bi omogućila uspešno funkcionisanje sistema, kao i prilagođavanje promenama u toku njegovog funkcionisanja, i potpuno omogućila funkcije informisanja, planiranja, upravljanja i kontrole.

U sistemu snabdevanja potrebno je stalno pratiti promene, i imati celovitu sliku stanja i mogućnosti sistema. Praćenje stanja pojedinih delova ili celog sistema definisano je samom postavkom sistema snabdevanja normativnim aktima odgovarajućih nivoa odlučivanja. Logistički kontroling kao nova metodologija koja se uz pomoć niza metoda, modela i savremenih informacionih tehnologija koristi za celovito sagledavanje logističkih procesa i sistema, upravo omogućava sagledavanje svih procesa u sistemu snabdevanja, tako da je veoma pogodan za korišćenje i u lancima snabdevanja.

## Literatura:

- [1] Vidović, M.: Mogućnost poboljšanja performansi logističkih sistema optimizacijom operativnog planiranja nekih klasa pretovarnih procesa, doktorska disertacija, Beograd, 1997.
- [2] Jaeschke, L.; Feuerbaum, E.: Controlling in einem Unternehmen des Industrieanlagenbaus, Hlo, 9. Lfg: IX/85.
- [3] Kilibarda, M.: Modeli logističkog kontrolinga u integrisanim logističkim sistemima, magistarski rad, Beograd, 1998.
- [4] Kilibarda, M.; Zečević, S.: Logistički kontroling kao podrška sistemu koji upravlja promenama, Subotica, 1997.
- [5] Kilibarda, M.; Zečević, S.: Logistic controlling as a backup to the change managing system, XIV International conference on material handling and warehousing, Beograd, 1996.
- [6] Krampe, H.; Lucke, H. J.: Einfuehrung die Logistik, HUS-VERLAG, Minchen, 1990.
- [7] Reichmann, T.: Logistik-Controllingsystem, Zeitschrift fue Logistik, November/December 1985.
- [8] Unger, F.: Soellner Logistik controlling: Schlagwort oder netzliches Steuerungsinstrument, Zeitschrift fur Logistik, 1993. (57-61).
- [9] Uhlig, T.: Notwendigkeit und Ausgestaltung eines Logistik-Controlling, Distribution 11-12/96.
- [10] Weber, J.: Logistik Controlling 2, Auflage, CE Poeschel Verlag Stuttgart, 1991.



Rezime:

U radu je analiziran uticaj bonding agensâ na mehaničke karakteristike i viskozitet kompozitnih raketnih goriva na bazi hidroksiterminiranog polibutadiena i toluendiizocijanata, odnosno izoforondiizocijanata. Komparirana je efikasnost bonding agensâ (BA) različite strukture: trietilentetramina (TET), tris-(2-metil aziridinil) fosfin oksida (MAPO) i N,N-di (2-hidroksietil)-4,4-dimetilhidantoina (DHE). Efikasnost delovanja bonding agensa utvrđena je na osnovu parametara dobijenih iz testa jednoosnog zatezanja uzoraka ( $\sigma_m$  – zatezna čvrstoća pri maksimalnoj sili,  $\epsilon_m$  – relativno izduženje pri maksimalnoj sili i  $\epsilon_p$  – relativno izduženje pri prekidu). Mehaničke karakteristike merene su u temperaturskom području od  $-50^\circ\text{C}$  do  $50^\circ\text{C}$ . Analiziran je uticaj BA na brzinu promene viskoziteta goriva.

Ključne reči: kompozitna goriva, HTPB, mehaničke osobine, bonding agensi, hidantoin.

---

BONDING AGENTS FOR COMPOSITE ROCKET PROPELLANTS

Summary:

The paper analyzes the effects of bonding agents on mechanical properties and viscosity of composite rocket propellants based on hydroxiterminated polybutadiene and toluendiizocyanate, i.e. izophorondiizocyanate. The efficiency of bonding agents (BA) of different structure has been compared, including triethylenetetramine (TET), tris-(2-methyl aziridinil) phosphine oxide (MAPO) and N, N-di (2-hydroxyethyl)-4,4-dimethylhydantoin (DHE). The BA efficiency has been determined on the basis of parameters obtained by uniaxial tensile tests ( $\sigma_m$  – tensile strength at maximum force,  $\epsilon_m$  – relative allongation at maximum force and  $\epsilon_p$  – relative allongation at fracture). The mechanical properties have been measured at the temperature range from  $-50^\circ\text{C}$  to  $50^\circ\text{C}$ . The BA effects on propellant viscosity change rates have been analyzed.

Key words: composite propellants, HTPB, mechanical properties, bonding agents, hydantoin.

---

Uvod

Jedan od najvažnijih zahteva u razvoju novih sastava kompozitnih raketnih goriva jesu vrednosti mehaničkih karakteristika, koje se veoma razlikuju u zavi-

snosti od dizajna i primene raketnog motora za koji se gorivo namenjuje. Mogu biti razmatrana dva osnovna tipa motora: sa vezanim pogonskim punjenjem i sa slobodnim pogonskim punjenjem. U prvom slučaju je potrebno obezbediti gori-

vo koje ima dovoljnu moć istezanja kako bi se izbeglo nastajanje naprslina u punjenju, kao posledica različitih koeficijentata širenja metala i goriva, a u drugom slučaju primarno je obezbediti dovoljno velike vrednosti čvrstoće punjenja.

Karakteristike goriva pri zatezanju zavise od karakteristika polimera, zapreminske frakcije čvrstih čestica (sadržaj, veličina čestica i raspodela veličine čestica) i jačine veze polimernog veziva i čvrstih čestica oksidatora i metalnog goriva.

Kreiranje istezanja goriva preko gorivno-vezivne komponente može se izvesti preko stepena terminacije polimernih lanaca, promenom sadržaja plastifikatora i promenom odnosa umrežavajućeg agensa i proizvača lanaca. Jedino se trećim načinom obezbeđuju visoke vrednosti efektivnih deformacija. Plastifikator, kao interna komponenta, smanjuje gustinu umreženosti polimera. To smanjuje zateznu čvrstoću i modul elastičnosti zbog slabljenja veze između polimernih lanaca, ali povećava istezanje, naročito na niskim temperaturama. Sekundarne veze između molekula su poželjne radi veće tvrdoće i modula elastičnosti, ali one slabe na višim temperaturama.

Disperzija oksidatora u polimernoj matrici daje sastave sa veoma raznolikim karakteristikama. Čvrstoća goriva raste zbog dodatnih sekundarnih veza između čestica oksidatora i metala i polimernih lanaca, pa je uslovljena raspoloživom kontaktnom površinom. Odnos krupne i sitne frakcije oksidatora, kao i raspodela veličine čestica od presudnog su uticaja na mehaničke karakteristike. Podešavanje raspodele veličine čestica radi regulisanja brzine sagorevanja izaziva promene mehaničkih osobina goriva.

U procesu deformacije goriva narušava se adhezija, pri čemu se oko čestica oksidatora formiraju takozvane vakuole koje menjaju mehaničke osobine. Maksimum na krivoj zavisnosti napon – deformacija vezan je za ogoljavanje čestica, odnosno za pojavu koja se u literaturi na engleskom jeziku opisuje kao „dewetting“. Kritična deformacija pri kojoj nastaje „dewetting“ varira sa temperaturom, pošto jačina adhezije između polimera i punioca zavisi od temperature. Bonding agensi imaju ulogu da spreče „dewetting“, odnosno da obezbede da se on dogodi pri višim naprezanjima. Međutim, ukoliko je njegov sadržaj u gorivu visok, interakcija između punioca i polimera biće velika, tako da će gorivo imati karakteristike visoko umreženog, krtog materijala umesto željenog visokoelastičnog. Imajući to u vidu, veoma je važan izbor tipa i količine bonding agensa. U njegovom prisustvu sprečava se ispadanje čestica oksidatora iz polimerne matrice, što vizuelno može biti praćeno pomoću elektronskog mikroskopa [1].

Bonding agensi vezuju se za polimer na različite načine. Oni mogu homopolimerizovati oko punioca na kome se adsorbuju ili ga prevlače. Ova reakcija ne sprečava „dewetting“. Drugačije delovanje bonding agensa jeste da može hemijski reagovati sa oksidatorom, pri čemu se stvara amonijak u sistemu sa amonijum-perhloratom i obezbeđuje dobra veza između veziva i punioca. Takođe, postoji mogućnost da se formira hemijski kompleks između veziva i punioca.

U svakom slučaju, poželjno je da bonding agensi ostvaruju interakciju između veziva i punioca, da su pogodni za korišćenje sa različitim tipovima polimera i punioca kao i da su bezbedni za rad.

Postoje mnogi tipovi bonding agensâ, ali oni u potpunosti ne ispunjavaju zahteve. Najčešće su korišćeni materijali na bazi cijanoamina (2,3-dihidroksi-propil bis-2-cijanoetilamin), metilaziridinil fosfin oksida-MAPO (MT<sub>4</sub>), etanolamina (cikloheksildietanolamin, trietanolamin) i amina (trietilentetramin, tetraetilentetramin) [2].

Nedostaci koji se ispoljavaju kod navedenih tipova jedinjenja su sledeći: jedinjenja bazirana na cijanoaminima su veoma bazna i stvaraju amonijak za vreme mešanja sa polimerom, menjaju konzistenciju mase koja postaje „suva“ (konzistencija šlaga), zahtevaju duže vreme mešanja i imaju smanjenu rastvorljivost u polimeru. MAPO obezbeđuje dodatna mesta razgranjavanja a etanolamini daju mekša goriva [1].

Hidantoini se javljaju kao novija grupa bonding agensâ. Osnovna struktura ovih jedinjenja sadrži strukturu imidamid-urea preko koje se ostvaruje interakcija između polimera i oksidatora. Funkcionalne grupe na hidantoinu moraju biti reaktivne ili kompatibilne sa funkcionalnim grupama na vezivnoj komponenti. Često korišćen je N,N-di (2-hidroksietil)-4,4-dimetil hidantoin (DHE), koji se vezuje kao kompleks između oksidatora i veziva.

Rastvorljivost ovih jedinjenja u polimeru je dobra, a mehaničke osobine na niskim temperaturama su poboljšane.

Korišćenje bonding agenasa naročito je potrebno za goriva i eksplozive na bazi hidroksiterminiranih polibutadiena, s obzirom da su ovi polimeri slabo polarni i da su zbog toga mehaničke osobine veoma slabe. Mehanizam adhezije još uvek nije potpuno razjašnjen. Pokazano je da je jačina adhezije između amonijum perhlorata

ta i HTPB određena efikasnošću kvašenja amonijum perhlorata polimerom i veličinom kohezivne sile u samom polimeru. U proučavanju načina vezivanja amonijum perhlorata i bonding agensa danas se koristi analitička metoda FTIR (Fourier transform infrared spectrometer) [3]. Tako je na osnovu spektralnih promena utvrđeno da se formira vodonična veza između amonijum perhlorata i aziridinskog tipa bonding agensa [1,1-(fenilen dikarbonil)bis(2-metil aziridin)], a jonska u slučaju alkilen poliaminskih derivata (tetraetilentetramin).

### Opis eksperimenta

Radi sagledavanja efikasnosti delovanja bonding agensa homogenizovana su goriva na bazi hidroksiterminiranog polibutadiena (HTPB), masene koncentracije 20% i 80% amonijum perhlorata (AP), bimodalne smeše čestica sa srednjim prečnikom od 200 μm i 5 μm u odnosu 1:1.

Kao umrežavajući agens korišćen je toluendiizocijanat (TDI) ili izoforondiizocijanat (IPDI) pri odnosu ekvivalenata funkcionalnih grupa NCO/OH=0.90. U sastavima je korišćeno 30 masenih delova dioktiladipata (DOA) i 1,5 deo fenilβ-naftilamina (F-β-NA) na 100 delova veziva HTPB.

Goriva su homogenizovana na 60°C, a umrežavana na 70°C.

Ispitivanja mehaničkih karakteristika pri zatezanju obavljena su na kidalici tipa Instron 1122 na JANAF C epruvetama, brzinom istezanja 50 mm/min.

Za merenje viskoziteta neumreženog goriva korišćen je Brookfieldov HBT viskozimetar, pri brzini okretanja vretena 5 o/min i temperaturi 60°C.

Prema potrebi korišćen je i katalizator reakcije umrežavanja feriacetilacetona (FeAA).

Za komparaciju efikasnosti bonding agensa (BA) različite strukture na mehaničke karakteristike pri istezanju korišćeni su trietilentetramin (TET), tris (2-metil aziridinilfosfin oksid) (MAPO) i N,N-di(2-hidroksietil)-4,4-dimetilhidantoin (DHE).

Sastavi goriva kod kojih je obavljeno ispitivanje prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1

Sastavi KRG

Oznaka sastava	Tip umreživača	Tip BA	Količina BA (mas. %)	Količina FeAA, (mas. %)
1661	IPDI	-	-	-
1662	IPDI	DHE	0,50	-
1667	IPDI	DHE	0,20	0,004
1668	IPDI	DHE	0,10	0,003
1669	IPDI	DHE/MAPO	0,10/0,10	0,002
1695	TDI	-	-	0,002
1936	TDI	DHE	0,20	0,002
1697	TDI	DHE	0,20	0,001
1698	TDI	DHE	0,30	0,001
1702	TDI	TET	0,10	0,001
1714	TDI	TET	0,05	0,001
1715	TDI	MAPO	0,20	-
1716	TDI	TET/MAPO	0,05/0,20	-
1719	TDI	DHE/MAPO	0,10/0,10	-

Reakcija umrežavanja HTPB polimera sa umreživačima TDI i IPDI odvija se dovoljnom brzinom i nije potrebno koristiti katalizator reakcije umrežavanja [4]. Pri upotrebi hidantoina karakteristike neumreženog sastava potpuno se menjaju. U zavisnosti od količine dodatog DHE menjaju se konzistencija, odnosno reološke karakteristike neumreženog goriva i brzina umrežavanja. Sastav 1662 sa 0,5% DHE ima konzistenciju šlaga zbog ostvarenih sekundarnih veza koje se ne raskidaju ni pri dodatku IPDI. Ni posle 24 časa proces umrežavanja ne dostiže fazu želiranja, pa je neophodno u sastave

uključiti katalizator reakcije umrežavanja. Zbog ovakvog efekta uređeni su sastavi sa manjim sadržajem DHE uz dodatak FeAA. S obzirom na to da obe ove komponente uslovljavaju brzinu umrežavanja, odnosno stepen umreženosti, merjenja mehaničkih osobina goriva vršena su za dva intervala.

Trietilentetramin ostvaruje drugačije veze sa komponentama goriva, katalizuje reakciju umrežavanja, tako da ne zahteva primenu FeAA.

## Rezultati ispitivanja i diskusija

Za ocenu mehaničkih karakteristika goriva razmatrani su parametri dobijeni iz testa jednoosnog zatezanja uzoraka:

$\sigma_m$  – zatezna čvrstoća pri maksimalnoj sili,

$\epsilon_m$  – relativno izduženje pri maksimalnoj sili,

$\epsilon_b$  – relativno izduženje pri prekidu,

E – modul elastičnosti pri istezanju 2% do 4%,

$W_b$  – energija potrebna za prekid,

Efikasnost delovanja bonding agensa procenjivana je na osnovu parametara  $\epsilon_b/\epsilon_m$ ,  $\Delta\epsilon_{mx}$ ,  $W_b$ :

$$\Delta\sigma_{mx} = (\sigma_m^e - \sigma_m^n) / \sigma_m^n$$

$$\Delta\epsilon_{mx} = (\epsilon_m^e - \epsilon_m^n) / \epsilon_m^n$$

n – bez bonding agensa,

e – sa bonding agensom.

Efikasnost bonding agensa je veća ukoliko se smanjuje vrednost  $\epsilon_b/\epsilon_m$ , što znači da se poboljšava adhezija polimera i punioca i ako se povećavaju vrednosti  $\Delta\epsilon_{mx}$ ,  $\Delta\sigma_{mx}$  i  $W_b$ .

Promene mehaničkih osobina na različitim temperaturama nisu linearne, jer su posledica temperaturske promene

jačina veza između polimernih lanaca i jačine veze između polimera i oksidatora. Zbog rezultujućeg ravnotežnog delovanja ovih efekata i efikasnost bonding agensa je temperaturno zavisna.

Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina jednoosnim zatezanjem goriva na bazi IPDI umreživača za različite temperature prikazani su u tabelama 2, 3 i 4.

Rezultati pokazuju da referentni sastav bez bonding agensa (1661) ima veoma niske vrednosti zatezne čvrstoće. DHE u količini od 0,1% i 0,2% na 25°C posle 192 sata umrežavanja ostvaruje povećanje ove veličine za 22%, odnosno 54%, a istovremeno povećanje vrednosti izduženja za 59%, odnosno 34%. Manje povećanje vrednosti relativnog izduženja za veći

Mehaničke osobine KRG (HTPB/IPDI) na 25°C

Tabela 2

Sastav	Vreme umrež. (h)	$\sigma_m$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_m$ (%)	$\epsilon_b$ (%)	$E_{2-4\%}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma_{mx}$	$\Delta\epsilon_{mx}$	$\epsilon_b/\epsilon_m$	$W_b$ (J)
1661	120	3,60	44,3	63,9	20,51	-	-	1,44	0,91
	192	4,40	31,4	44,0	34,47	-	-	1,40	0,76
1667	120	6,33	41,6	46,7	27,30	0,76	-0,06	1,12	0,99
	192	6,79	42,1	48,5	28,50	0,54	0,34	1,15	1,14
1668	120	4,89	58,8	77,0	23,22	0,36	0,33	1,31	1,29
	192	5,37	50,0	69,4	29,37	0,22	0,59	1,39	1,48
1669	120	9,02	44,4	49,1	53,48	1,51	0	1,11	1,67
	192	9,38	56,4	59,0	-	1,13	0,80	1,05	-

Mehaničke osobine KRG (HTPB/IPDI) na 50°C

Tabela 3

Sastav	Vreme umrež. (h)	$\sigma_m$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_m$ (%)	$\epsilon_b$ (%)	$E_{2-4\%}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma_{mx}$	$\Delta\epsilon_{mx}$	$\epsilon_b/\epsilon_m$	$W_b$ (J)
1661	120	3,29	42,7	58,1	16,41	-	-	1,36	0,74
1667	120	5,49	36,5	40,1	22,41	0,67	-0,14	1,10	0,73
1668	120	4,33	53,4	65,8	18,02	0,32	0,25	1,23	1,06
1669	96	6,66	45,1	47,8	27,46	1,02	0,05	1,06	1,12
	192	7,88	40,3	42,1	39,04	1,40	-0,05	1,05	1,16

Mehaničke osobine KRG (HTPB/IPDI) na -40°C

Tabela 4

Sastav	Vreme umrež. (h)	$\sigma_m$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_m$ (%)	$\epsilon_b$ (%)	$E_{2-4\%}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma_{mx}$	$\Delta\epsilon_{mx}$	$\epsilon_b/\epsilon_m$	$W_b$ (J)
1661	120	9,95	26,2	76,7	111,68	-	-	2,93	3,18
	192	12,26	16,6	54,7	180,94	-	-	3,30	2,79
1667	120	16,48	34,6	51,4	116,12	0,65	0,32	1,48	3,30
	192	17,91	34,7	53,9	121,30	0,46	1,09	1,55	3,81
1668	120	13,84	35,6	76,4	156,68	0,39	0,36	2,14	4,61
	192	14,51	28,8	65,4	178,55	0,18	0,73	2,27	4,15
1669	96	17,64	39,7	63,5	215,41	0,77	0,52	1,60	5,07
	192	21,68	36,6	53,3	265,31	0,77	1,20	1,46	5,17

sadržaj DHE upućuje na pretpostavku da se -OH grupe iz DHE uključuju u polimernu mrežu, menjajući stepen umreženosti. S druge strane, zbog visoke polarosti tog molekula verovatno se ostvaruje jonska veza sa amonijum perhloratom.

Vrednosti povećanja  $\sigma_m$  i  $\epsilon_m$  rezultat su jačanja veze između polimera i oksidatora. Za različiti stepen umreženosti stanje samog polimera je drugačije, što se odražava i na adheziju sa oksidatorom. Potvrda promene jačine adhezione veze je promena vrednosti  $\epsilon_b/\epsilon_m$ . Dodatak DHE u količini od 0,2% za 192 sata umrežavanja menja ovu vrednost sa 1,40 na 1,15, što znači da je povećana deformacija pri kojoj dolazi do formiranja vakuola oko čestica oksidatora.

DHE povećava žilavost goriva, što je potvrđeno povećanjem vrednosti energije potrebne za prekid ( $W_b$ ).

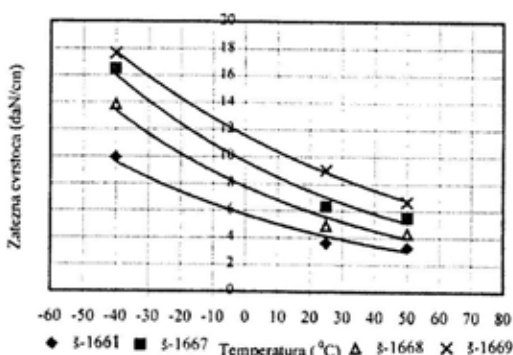
Naročito povoljnom pokazala se kombinacija DHE/MAPO u masenom odnosu 1:1, a u količini 0,2%, što je svakako rezultat ostvarivanja veza sa polimerom i oksidatorom. Za 192 časa umrežavanja porast zatezne čvrstoće u odnosu na nulti sastav iznosi 113%, a izduženja 88%. Značajna interakcija između AP i aziridinskog tipa bonding agensa (MAPO) rezultat je vodoničnih veza koje se na povišenoj temperaturi raskidaju, pa je i pad karakteristika očekivan. Dobijena je najniža vrednost  $\epsilon_b/\epsilon_m$ .

Promena karakteristika za uobičajno temperaturno područje eksploatacije, za 120 sati umrežavanja goriva, prikazana je na slikama 1 i 2.

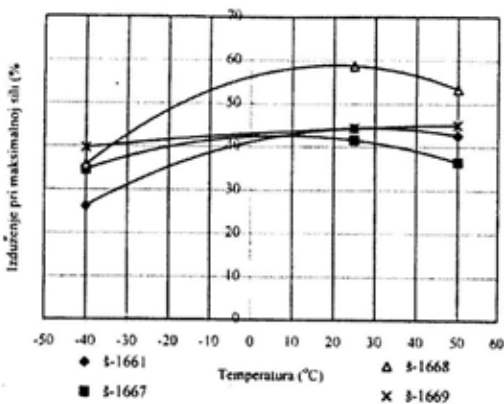
Može se uočiti znatno povećanje zatezne čvrstoće i relativnog izduženja sa primenjenim komponentama. Na povećanje zatezne čvrstoće znatnije utiče kombinacija DHE/MAPO, dok čist DHE u većoj meri povećava izduženje pri maksimalnoj sili.

Pad vrednosti zatezne čvrstoće sa porastom temperature za sve sastave potvrđuje da je vezivanje bonding agensa u najvećoj meri sekundarnog tipa.

Na temperaturi  $-40^\circ\text{C}$  snižavaju se vrednosti  $\epsilon_m$  zbog povećane sklupčanosti polimera, što izaziva i lakše odvajanje od oksidatora (vrednosti  $\epsilon_b/\epsilon_m$  veće su nego na sobnoj temperaturi). Istovremeno, zbog jačih veza, koje se prekidaju pri većem primenjenom naponu, polimer ima mogućnosti da se do prekida više istegne, pa su i vrednosti  $\epsilon_b$  neznatno veće nego na sobnoj temperaturi.



Sli. 1 – Temperaturna promena zatezne čvrstoće KRG HTPB/IPDI (120 sati umrežavanja)



Sli. 2 – Temperaturna promena izduženja pri maksimalnoj sili KRG HTPB/IPDI (120 sati umrežavanja)



Radi ocene uticaja bonding agensa na procesne karakteristike neophodno je meriti viskozitet goriva. Za livena KRG zahteva se relativno nizak viskozitet. Viskozitet goriva zavisi od tipa i količine bonding agensa, pored uticaja ostalih komponenata sastava i procesnih promenljivih. Tip umreživača naročito utiče na brzinu promene viskoziteta, jer određuje brzinu reakcije umrežavanja. Vremenska zavisnost viskoziteta goriva, za sastave sa IPDI, prikazana je na slici 3.

Na nivo viskoziteta znatno utiče i sadržaj DHE i katalizatora reakcije umrežavanja. Sastav 1662 sa 0,5% DHE ima visoke vrednosti viskoziteta, mada ne sadrži FeAA. S obzirom na to da je zbog DHE neophodan katalizator reakcije umrežavanja, koji bi samo ubrzao reakciju i povećao vrednosti viskoziteta, poželjno je koristiti manje količine DHE. Sa količinom DHE 0,2% ostvaruje se pogodna livljivost. Vrednosti su još bolje ako se koristi kombinacija DHE/MAPO. Podešavanjem količine DHE i FeAA može se vršiti korekcija promene viskoziteta

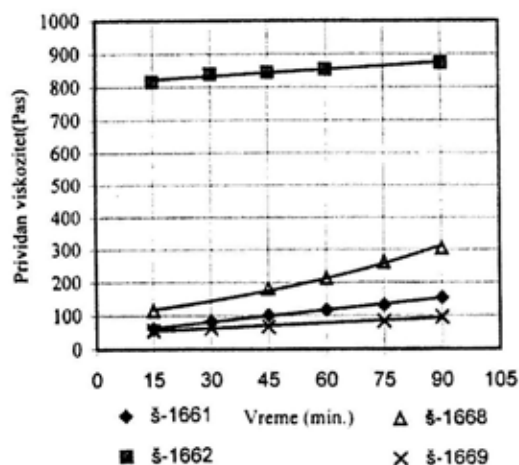
sa vremenom, odnosno „pot life“. Pre dodatka umreživača gorivo sa DHE ima lošu livljivost zbog jake polarne interakcije između DHE i -OH grupa iz polimera. Kada se doda izocijanat, -OH grupe formiraju derivate izocijanata razbijajući vodonične veze, pri čemu se obnavlja fluidnost sastava.

Na isti način razmatrani su rezultati ispitivanja mehaničkih osobina goriva na bazi HTPB/TDI, koji su prikazani u tabelama 5 i 6.

U obzir su uzeta dva perioda umrežavanja zbog uticaja DHE na brzinu umrežavanja i neophodnost upotrebe katalizatora reakcije umrežavanja. Sastav sa 0,30% DHE i 0,001% FeAA (§-1698) ne obezbeđuje dovoljan stepen umreženosti goriva, pa su vrednosti zatezne čvrstoće veoma niske, čak niže u odnosu na nulti sastav. Proces umrežavanja znatno je usporen u prisustvu određene količine DHE, pa bi bilo potrebno utvrditi neophodnu količinu FeAA.

Nulti sastavi sa dva tipa umreživača bez bonding agensa veoma se razlikuju u moći istezanja i modulu elastičnosti, što je posledica strukture umreživača. Sastav sa TDI ima vrednost izduženja pri maksimalnoj sili 12,7%, a sa IPDI 31,4% na kraju procesa umrežavanja. Dodatak 0,10 mas. % odnosno 0,20% DHE u sastavu na bazi HTPB/TDI izaziva povećanje zatezne čvrstoće i do 34% uz povećanje izduženja 239%, čime se umanjuje značaj tipa umreživača na vrednost ovih karakteristika na sobnoj temperaturi, odnosno vrednosti zatezne čvrstoće i izduženja za oba tipa umreživača postaju bliske.

Za razliku od DHE,aminski tip (TET) i aziridinski tip (MAPO) bonding agensa imaju mnogo veći uticaj na pove-



Sl. 3 – Vremenska zavisnost prividnog viskoziteta na 60°C



Sastav	Vreme umrež. (h)	$\sigma_m$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_m$ (%)	$\epsilon_b$ (%)	$E_{2-4\%}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma_{mx}$	$\Delta\epsilon_{mx}$	$\epsilon_b/\epsilon_m$	$W_b$ (J)
1695	72	4,41	16,1	22,7	42,47	-	-	1,41	0,38
	144	4,37	12,7	19,1	49,31	-	-	1,50	0,32
1693	96	5,57	49,4	63,5	26,15	0,26 <sup>1</sup>	2,07 <sup>1</sup>	1,28	0,98
	144	5,84	43,1	51,5	28,49	0,34	2,39	1,19	1,11
1697	96	4,95	43,2	54,1	25,2	0,12 <sup>1</sup>	1,68 <sup>1</sup>	1,25	1,06
	144	5,55	44,5	58,7	28,4	0,27	2,50	1,32	1,26
1698	96	3,11	69,5	106,9	14,89	-0,29 <sup>1</sup>	3,32 <sup>1</sup>	1,54	1,31
	120	3,19	65,3	107,1	13,00	-	-	-	1,34
	192	3,73	59,4	84,4	16,83	-	-	-	1,27
	216	3,53	58,6	81,5	16,36	-0,19 <sup>2</sup>	3,61 <sup>2</sup>	1,39	1,13
1702	96	10,14	16,0	16,6	79,48	1,29 <sup>1</sup>	0	1,03	0,52
	168	9,99	18,0	18,6	64,56	1,26 <sup>2</sup>	0,12 <sup>2</sup>	1,03	0,57
1714	72	8,56	13,3	14,6	86,00	0,94	-0,17	1,09	0,40
	144	8,25	9,8	10,3	107,46	0,88	-0,22	1,05	0,26
1715	72	10,70	20,0	21,0	81,13	1,42	0,24	1,05	0,74
	96	11,00	20,3	21,1	83,20	1,51	0,10	1,04	0,76
1716	72	9,76	14,0	15,1	83,40	1,21	-0,13	1,08	0,45
1716*	72	7,85	11,8	12,5	84,90	-	-	1,06	0,31
1719	72	10,31	34,3	36,4	53,15	1,34	1,13	1,06	1,31
	144	11,05	38,2	40,4	52,82	1,52	2,01	1,06	1,56

<sup>1</sup>  $\Delta\sigma_{mx}$ ,  $\Delta\epsilon_{mx}$  računato prema nultom sastavu za umrežavanje od 72 časa

<sup>2</sup>  $\Delta\sigma_{mx}$ ,  $\Delta\epsilon_{mx}$  računato prema nultom sastavu za umrežavanje od 144 časa

\* Sastav ispitan na 50°C

Mehaničke osobine KRG (HTPB/TDI) na -50°C

Tabela 6

Sastav	Vreme umrež. (h)	$\sigma_m$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_m$ (%)	$\epsilon_b$ (%)	$E_{2-4\%}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma_{mx}$	$\Delta\epsilon_{mx}$	$\epsilon_b/\epsilon_m$	$W_b$ (J)
1695	72	14,54	14,9	40,5	164,67	-	-	-	2,19
	144	13,46	14,8	36,3	152,71	-	-	-	1,79
1693	96	18,68	25,7	62,7	155,06	0,28 <sup>1</sup>	0,73 <sup>1</sup>	2,44	4,99
	144	19,25	25,3	51,0	197,98	0,43	0,71	2,02	4,12
1697	96	17,29	22,9	60,7	187,93	0,19 <sup>1</sup>	0,54 <sup>1</sup>	2,65	4,57
	144	18,42	22,8	56,7	200,34	0,37	0,54	2,49	4,47
1715	72	19,30	11,9	33,8	295,29	0,32	-0,20	2,84	2,79
	96	19,48	12,4	30,4	278,12	0,45 <sup>2</sup>	-0,16 <sup>2</sup>	2,45	2,52
1716	72	21,82	14,3	25,0	265,73	0,50	-0,04	1,75	2,17
1719	72	21,04	26,0	52,4	233,65	0,45	0,74	2,01	5,04
	144	22,42	26,1	48,3	227,9	0,67	0,76	1,85	4,72

<sup>1</sup>  $\Delta\sigma_{mx}$ ,  $\Delta\epsilon_{mx}$  računato prema nultom sastavu za umrežavanje od 72 časa

<sup>2</sup>  $\Delta\sigma_{mx}$ ,  $\Delta\epsilon_{mx}$  računato prema nultom sastavu za umrežavanje od 144 časa

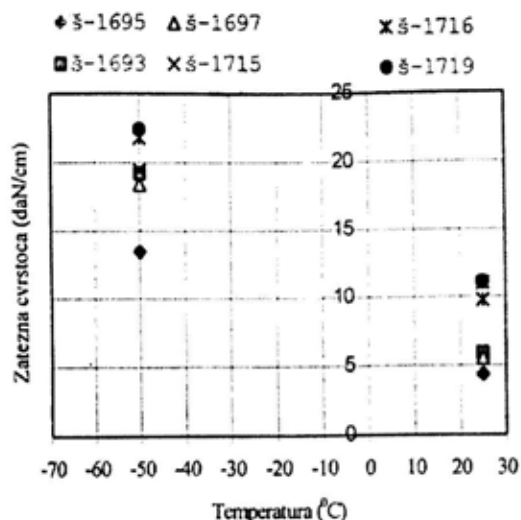
čanje zatezne čvrstoće goriva sa zemanljivim uticajem na izduženje goriva. Tip dodatka i njegova količina uslovljavaju način vezivanja i formiranje strukture koja je odgovorna za vrednosti mehaničkih karakteristika.

TET u količini od 0,05% (š-1714) povećava zateznu čvrstoću 88% i snižava izduženje 22%, dok za 0,10% (š-1702) povećava zateznu čvrstoću 126% i izduženje 12%.

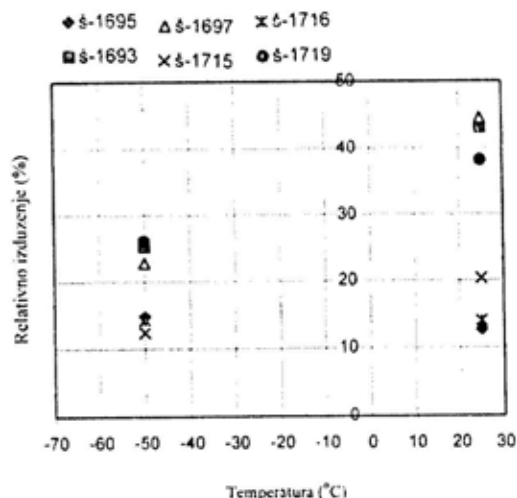
MAPO u količini od 0,20% (š-1715) povećava zateznu čvrstoću 151% i izduženje 10%. Oba ova dodatka ostvaruju jaku adheziju polimera sa oksidatorom, što se potvrđuje znatnim sniženjem vrednosti  $\epsilon_b/\epsilon_m$ .

Kombinacija TET i MAPO (š-1716) ima isti uticaj kao pojedinačne komponente.

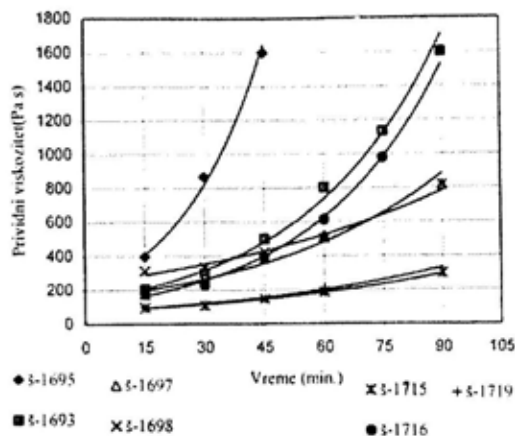
I kod goriva na bazi HTPB/TDI potvrđena je posebna efikasnost kombinacije DHE i MAPO bonding agensa. Po 0,10% svakog dodatka (š-1719) izaziva povećanje zatezne čvrstoće 152% i izdu-



Sl. 4 - Temperaturna promena zatezne čvrstoće KRG HTPB/TDI



Sl. 5 - Temperaturna promena izduženja pri maksimalnoj sili KRG HTPB/TDI



Sl. 6 - Vremenska zavisnost prividnog viskoziteta za KRG HTPB/TDI na 60°C

ženja pri maksimalnoj sili 201%, što predstavlja veliko poboljšanje karakteristika istezanja.

Uticaj primenjenih dodataka na vrednosti zatezne čvrstoće i izduženja pri maksimalnoj sili na različitim temperaturama prikazan je na slikama 4 i 5. Najveća vrednost zatezne čvrstoće, kao i najveća vrednost  $\Delta\sigma_{mx}$ , ostvarena je sa upotre-

bom kombinacije DHE/MAPO. Postignute su značajne vrednosti istezanja na  $-50^{\circ}\text{C}$  za DHE i kombinaciju DHE/MAPO, ali u apsolutnoj vrednosti manje nego za IPDI, što je i očekivano. Sa dodacima MAPO i TET postignuta su znatna poboljšanja zatezne čvrstoće goriva bez poboljšanja vrednosti izduženja goriva.

Sa slike 5 vidi se da DHE znatno povećava izduženje na svim temperaturama, MAPO samo na sobnoj temperaturi, a TET ne utiče značajnije na promenu ove veličine. U reološkom smislu sastavi sa primenjenim bonding agensima potpuno su prihvatljivi za izradu goriva postupkom livenja. DHE snižava vrednosti viskozитета, kao i brzinu promene viskozитета. Ovo sniženje se jasno vidi na slici 6 za sastave š-1693, š-1697, š-1698 u odnosu na nulti sastav š-1695. U ovu grupu spada i sastav sa kombinacijom MAPO/TET.

Najniže vrednosti viskozитета dobijene su ako se koristi sam MAPO ili njegova kombinacija sa DHE (š-1715 i š-1719).

## Zaključak

U radu je dokazano da je za poboljšanje mehaničkih osobina pri istezanju goriva na bazi AP/HTPB neophodno koristiti određene dodatke (bonding agense) koji doprinose uspostavljanju jačih veza između polimera i čvrstih komponenata. Hemijska struktura dodataka određuje stepen poboljšanja mehaničkih osobina KRG.

Utvrđeno je da DHE znatno poboljšava kvalitet goriva u opsegu temperatura primene goriva, od  $-50^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$ . Njegovo korišćenje zahteva da se pri umrežavanju sa IPDI ili TDI koristi kata-

lizator reakcije umrežavanja, FeAA ili njemu sličan po aktivnosti.

Sa primenom DHE vrednosti izduženja goriva pri maksimalnoj sili na sobnoj temperaturi su u oblasti od 40% do 50% za oba korišćena tipa umreživača. Na taj način znatno je umanjena značajna razlika u njihovoj strukturi, koja ima veliki uticaj na vrednosti mehaničkih osobina. Za primenjene količine DHE poboljšanje istezanja pri maksimalnoj sili je do 60% za goriva umrežavana IPDI-om, odnosno do 250% za goriva umrežavana TDI-om.

Suprotno DHE,aminski (TET) i aziridinski (MAPO) bonding agensi u gorivu sa TDI umreživačem povećavaju zateznu čvrstoću i do 150%, uz beznačajnu promenu vrednosti istezanja goriva.

Utvrđena je posebna efikasnost kombinacije DHE/MAPO kod goriva sa oba tipa umreživača. Kod sastava na bazi HTPB/IPDI ostvarena su poboljšanja zatezne čvrstoće za 113%, a izduženja pri maksimalnoj sili 80%, dok kod sastava na bazi HTPB/TDI ove vrednosti iznose 152% i 201%.

Pored promene apsolutnih vrednosti istezanja goriva ostvareno je poboljšanje sile adhezije polimera i punioca, što uslovljava pomeranje „dewetting“ procesa prema višim silama, a što je potvrđeno smanjenjem vrednosti  $\epsilon_b/\epsilon_m$ .

Analizirani sastavi sa oba tipa umreživača i primenjenim dodacima imaju povoljne vrednosti viskozитета koje obezbeđuju primenu tehnologije livenja. U reološkom smislu najpovoljnija je kombinacija DHE/MAPO, sa kojom analizirani sastav sa 80 mas. % AP u periodu od 90 minuta ostvaruje viskozitet do 300 Pa s.

Dobijeni rezultati pokazuju da primenjeni dodaci znatno poboljšavaju mehaničke osobine kompozitnih raketnih goriva na bazi HTPB prepolimera, kao i da obezbeđuju takve reološke osobine koje omogućavaju izradu ovih goriva tehnologijom livenja.

*Literatura:*

- [1] Consaga, J.: Dimethyl Hydantoin Bonding Agents in Solid Propellants. US Pat. 1980, no. 4, p. 214, 928.
- [2] Sokolov, M.; Vujčić, M.: Uticaj sastava na karakteristike pri istezanju goriva na bazi hidroksiterminiranog polibutadiena, 1983, OP-235, st 17.
- [3] Keiichi, H.; Akira, I.: Enhancement of Matrix/Filler Adhesion in HMX/HTPB Composite Propellant. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1985, no 10, p. 176.
- [4] Sokolov, M.: Kompozitna raketna goriva na bazi hidroksiterminiranih polibutadiena. 1981, TI-612, st. 27.

*Rezime:*

*Istraživanja opisana u ovom radu obuhvatila su proučavanje katalitičke aktivnosti balističkih modifikatora i proces sagorevanja dvobaznih raketnih goriva. Sagorevanje čvrstih raketnih goriva jedan je od najsloženijih vidova sagorevanja. Svako sagorevanje predstavlja se hemijskim reakcijama pa bi hemijska kinetika trebalo da ima glavnu ulogu u teoriji sagorevanja. Međutim, kod raketnih motora sagorevanje je često vrlo složeno. Zakonitosti hemijske kinetike tada su u drugom planu, a primarne su zakonitosti toplotne provodljivosti i gasodinamike.*

*Ključne reči: dvobazna raketna goriva, brzina sagorevanja, teorija sagorevanja.*

---

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF BURNING OF DOUBLE  
BASE PROPELLANTS

*Summary:*

*The investigation included studies of catalytic activities of ballistic modifiers and the process of burning of double base propellants. Burning of solid rocket propellants in one of the most complex types of burning. As it is known, any kind of burning is presented by chemical reactions and therefore chemical kinetics should play the basic role in the theory of burning. But, in rocket motors, burning is often complex and its character is changeable. The laws of chemical kinetics, therefore, yield before the laws of thermal conduction and gas-dynamics.*

*Key words: double base propellants, burning rate, the theory of burning.*

---

**Uvod**

Raketni baruti ili homogena dvobazna raketna goriva (DRG) čvrste su kolidne smeše koje sagorevaju u odsustvu kiseonika. U svom sastavu imaju sledeće konstituente: nitrocelulozu, nitroglicerol ili dinitroglikol, odnosno njima slične nitroestre, stabilizatore procesa autokatali-

tičkog razlaganja aktivnih komponenata, interne plastifikatore (dietilftalat, dibutilftalat, dinitrotoluen i dr.), koji omogućavaju bolju tehnološku obradljivost, i additive (modifikatore) brzine sagorevanja DRG.

Postoji više tipova balističkih modifikatora čiji su efekti različiti u zavisnosti od njihovih svojstava, načina delovanja i

ciljeva koji se žele postići. Balistički modifikatori u osnovnim sastavima (jaka smeša – JS) DRG omogućavaju da se reguliše nivo brzina sagorevanja ovih pogonskih materija, i da se istovremeno smanje vrednosti temperaturnog koeficijenta i eksponenta pritiska. Tako je moguće, u oblastima pritiska značajnim za rad raketnih motora, dostići vrednosti eksponenta pritiska čija je vrednost približno mala.

Modifikatori koji omogućavaju da se ostvare zahtevani efekti jesu jedinjenja olova i jedinjenja bakra pridružena jedinjenjima olova. Njihov uticaj zavisi od osobina i udela ovih supstanci, kao i od energetskih potencijala osnovnih sastava [3, 4, 5, 6].

### **Teorija sagorevanja dvobaznih raketnih goriva**

#### *Mehanizam sagorevanja dvobaznih raketnih goriva*

Karakteristike sagorevanja dvobaznih raketnih goriva su sledeće:

- u procesu sagorevanja čvrstog raketnog goriva dolazi do predgrevanja na određenoj dubini od površine sagorevanja, a površinski sloj se topi;

- hemijske reakcije razlaganja i oksidacije komponenta goriva započinju u čvrstoj fazi, a završavaju se u gasnoj fazi;

- kao posledica intenzivnog zagrevanja tečne faze, i u njoj obrazovanja gasnih produkata, sloj na površini ima penastu strukturu (u novijoj literaturi superfacijalna zona), gde je temperatura dovoljno visoka za molekulsko razlaganje nitroestara u raketnom gorivu;

- simultana rekombinacija događa se tako da se stvara smeša  $\text{NO}_2$ , aldehida, kao i  $\text{NO}$  na površini sagorevanja. Ukupni energetski bilans razlaganja u ovoj fazi je egzoterman;

- temperatura na površini sagorevanja nije visoka, najčešće od 600 K do 900 K;

- istovremeno, sa isparavanjem tečne faze dolazi do dispergovanja čvrstih čestica goriva u penastom sloju. Obrazovane aerosolne čestice, srazmerno udaljenosti od površine sagorevanja, smanjuju se i na kraju sasvim nestaju.

Gasna faza deli se na dve zone: „tamnu“, sa maksimalnom temperaturom od 1700 K do 1900 K (u novijoj literaturi poznatija kao „fizz zona“ i „primarni plamen“, i „svetlu“ koju predstavlja sekundarni plamen sa maksimalnom temperaturom od 2500 K do 3500 K.

Podela na zone ima uslovni karakter pošto stvarni procesi zona nisu uvek izraženi, a fizičko-hemijski procesi mogu teći paralelno.

Čvrsta raketna goriva sagorevaju slojevito, paralelno sa površinom sagorevanja. Brzina promene položaja goreće površine, odnosno brzina kretanja plamena, definiše linearnu brzinu sagorevanja, tj. brzinu sagorevanja čvrstog raketnog goriva [6, 7].

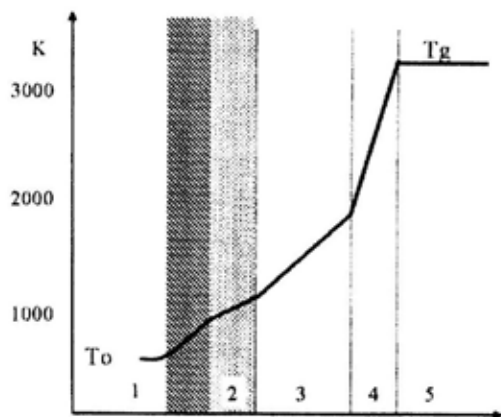
Brzina sagorevanja uslovljena je brzinom predavanja toplote od gorećih produkata sagorevanja (plamen) na površinu goriva. Ona zavisi od sastava goriva, pritiska u komori motora, brzine gasovitih produkata duž goreće površine i od početne temperature goriva.

Debljina zone sagorevanja veoma je mala, što istraživanja čini težim i složenijim, kao i korišćenje termoparova veliči-

ne nekoliko mikrometara. Radi boljeg razumevanja zone sagorevanja, njene osnovne veličine prikazane su u tabeli (po Zeninu [1, 8]). Na slici 2 šematski je prikazana zona sagorevanja po modelu Parr-Crawforda [7].

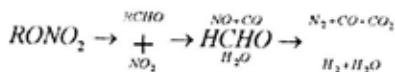
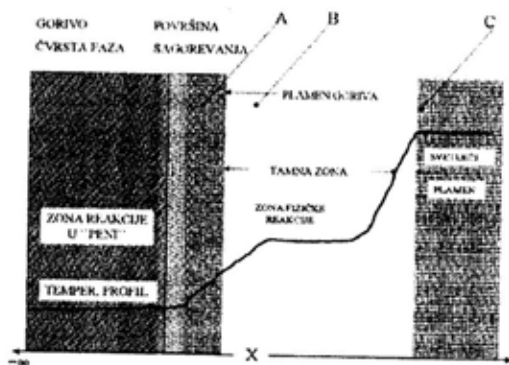
Sastav goriva određuje toplotni efekat reakcije, temperaturu sagorevanja, fizička svojstva, debljinu tečnog sloja, indukcioni period i širinu pretplamene ili dimno-gasne faze, brzinu hemijskih reakcija i širinu reakcione zone, tj. sve faktore od kojih zavisi gradijent temperature u zoni sagorevanja. Šema sagorevanja čvrstog raketnog goriva i karakter promene temperature, u opštem obliku predstavljeni su na slici 1 [1].

Homogena dvobazna raketna goriva imaju kontrolisan plamen, definisan jednodimenzionim hemijskim procesom, za razliku od trodimenzionih kompleksnih difuzionih procesa kod kompozitnih goriva. Plamen dvobaznih raketnih goriva može da se ispituje teorijski i eksperimen-



Sli. 1 – Šema sagorevanja čvrstog raketnog goriva:

1 – čvrsta faza, 2 – tečni sloj, 3 – dimno-gasna zona (pretplamene reakcija), 4 – reakciona zona (plamena), 5 – zona maksimalne temperature,  $T_o$  – početna temperatura goriva,  $T_g$  – temperatura sagorevanja



Sli. 2 – Model Crawforda i Parra

mentalno. Međutim, u plamenu ovih materija postoje mnoge hemijske reakcije čija struktura do danas nije poznata.

Proces sagorevanja mase DRG odvija se kroz celokupnu zapreminu, međutim, radi jednostavnije teorijsko-matematičke analize prikazuje se u jednoj ravni. Opšte zakonitosti hemijske kinetike u procesu sagorevanja mogu se prikazati po zonama.

U zoni „pene“ (A) odvija se reakcija razlaganja nitroestara opšteg tipa:



Najslabija veza kod nitroceluloze i nitroglicerina je O–N. Imajući u vidu da je to primarni stepen od kojeg zavisi brzina hemijske reakcije, reakcija je monomolekulska. Pošto je koncentracija ovih veza definisana početnim sastavom, konačan red reakcije je nulti. Pri ovom razlaganju oslobada se energija koja se troši na dispergovanje čvrste faze, isparavanje i topljenje ostalih komponenata sastava goriva [5, 8].

U tamnoj zoni (B) nastali čvrsti i gasoviti produkti C, NO, NCHO, CO,



Osnovne veličine zone sagorevanja kod goriva N

Pritisak (bar)	10	20	30	50	75	100
V (mm/s)	1,9	3,0	4,8	6,7	8,5	10,6
$m_f$ (kg/m <sup>2</sup> s)	3,0	4,8	7,7	10,7	13,6	17,0
$T_s$ (K)	573	620	643	673	698	718
$T_w$ (K)	-	1920	2020	2280	2330	2330
Zona predgrevanja (merena) ( $\mu$ m)	60	35	-	23	-	20
Vreme boravka u zoni predgrevanja (mereno/izračunato) (ms)	140/155	-	-	50	-	45
Superficialna zona razlaganja ( $\mu$ m)	9	-	-	3	-	2
Vreme boravka u superficialnoj zoni (ms)	5	-	-	0,4	-	0,15
Debljina plamena (merena) ( $\mu$ m)	200	-	-	75	-	110

H<sub>2</sub>O, R'CHO, N<sub>2</sub>O, HCN, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> i drugi, međusobno reaguju prema reakciji drugog reda. Pojedini stručnjaci [10] smatraju da su reakcije u tamnoj zoni podložne katalitičkim uticajima i da su verovatnije reakcije adicije od reakcija oksidacije.

U zoni plamena (C) najverovatnije su lančane reakcije između radikala, kada nastaju stabilni produkti krajnjeg sagorevanja (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>), pri čemu se dostiže krajnja temperatura sagorevanja – temperatura plamena koja je viša od 2000 K.

Mehanizam koji uslovljava ove promene u procesu sagorevanja teško je opisati čak i kvalitativno, samim tim što ni opšti model sagorevanja dvobaznih raketnih goriva nema dovoljno relevantnih parametara za adekvatno definisanje mehanizma sagorevanja.

Proučavanje mehanizma sagorevanja goriva sa plato efektom predmet je izučavanja mnogih istraživača, počev od Rice i Ginela koji ističu ulegnuće na grafu pritisak – brzina, čija širina zavisi od početne temperature goriva. Kasnija istraživanja [3] ukazuju na to da kod modifikovanih DRG brzina sagorevanja ne mora zavisiti od pritiska.

U kasnijim istraživanjima (Preckella) rezultati su pokazali uticaj aromatičnih jedinjenja olova na brzine sagorevanja. Primećeno je da efikasnost olovnih jedinjenja zavisi od energije potrebne za njihovo raspadanje. Smatra se da se Pb-stearat lakše raspada i da deluje kod goriva nižeg toplotnog potencijala, a da su kod visokoenergetskih goriva efikasnija aromatična organska jedinjenja zbog toga što se ona teže razlažu. Pojavu plato efekta pri sagorevanju tumačili su mnogi istraživači (Bohman, Lenchitz i Haywood, Powling, Hewkin, Kubota – Ohlenmiller, Eisenreich i dr.).

Eksperimentalna ispitivanja Hewkina i Stonea [4] potvrdila su postojanje ugljenisane skrame sa metalnim uključcima u oblasti plato sagorevanja.

Uticaj katalizatora na brzine sagorevanja obimno je istraživao Kubota [5], a osnovni zaključci do kojih se došlo na osnovu eksperimentalnih rezultata su da katalizatori sagorevanja ne menjaju kinetiku hemijskih reakcija u tamnoj zoni. Na površini sagorevanja uočeno je postojanje ugljeničnih niti i sitnih čestica katalizatora. Povišenje temperature u „fizz-zoni“ je neznatno u prisustvu katalizatora.

U zoni plamena i tamnoj zoni nisu konstatovane bitne promene u prisustvu Pb jedinjenja. Smatra se da se kataliza odvija u „fizz-zoni“, vrlo blizu površine sagorevanja ili nešto pre nje. Takođe, konstatovano je da pojedini aditivi znatno povećavaju temperaturu plamena, i to na pritiscima ispod 30 bara, i poboljšavaju stabilnost sagorevanja do ispod 3 bara.

U prisustvu Pb jedinjenja konstatovan je povećan odnos  $CO_2/CO$ . Smatra se da je ovaj stehiometrijski odnos u „fizz-zoni“ poboljšao ugljenik koji se stvara u prisustvu katalizatora. U oblasti viših pritisaka katalizatori stvaraju manju količinu ugljenika, pa je i njihova efikasnost manja.

U prisustvu Pb soli hladno gorivo dostiže veliku superbrzinu i meza efekat, dok topla goriva imaju niže superbrzine locirane u oblasti nižih pritisaka. Veličina (nivo) superbrzine može zavisiti i od tehnologije izrade DRG.

Termogravimetrijska analiza olovnih soli obavljena je tako što je količina od nekoliko miligrama DRG podvrgnuta stalnom zagrevanju, uz permanentno merenje. Zapaženo je da na temperaturi od 573 K nema značajnijih promena na površini sagorevanja goriva, i da se so razgrađuje za nekoliko minuta. Pod istim uslovima nitroceluloza bi se razgradila na 473 K. Energija aktivacije razlaganja nitroceluloze iznosi 168 kJ/mol, a olovo stearata 126 kJ/mol, i ne postoji način da se dogodi na višim temperaturama.

Iz karakteristika Pb stearata može se odrediti da će za tipično vreme boravka u talasu sagorevanja od 10 ms, Pb-stearat dostići 973 K, tj. temperaturu razlaganja, što se dešava daleko iznad površine sagorevanja.

Ovi rezultati ukazuju da će se aktivni deo olovne soli, PbO ostatak, naći sa-

mo jednom iznad površine sagorevanja, i da se tada može vezati sa ugljeničnim ostacima koji se formiraju kod nemodifikovanih goriva. Iz svega navedenog može se dobiti samo kvalitativna slika mehanizma „superbrzina“.

Posmatranjem uzoraka pod elektronskim mikroskopom, i to onih koji su dobijeni brzim vakuumiranjem dok su sagorevali na različitim pritiscima, utvrđeno je da su kontrolna goriva imala izvesnu količinu ostatka ugljenika u oblasti pritisaka do 100 bara. Kad je dodata olovna so, količina ugljenika se znatno povećala u zoni superbrzina, da bi nestala na kraju zone meza efekta.

Smatra se da povećana količina izdvojenog ugljenika, pri sagorevanju modifikovanih goriva u prisustvu Pb aditiva, potiče od specifičnih reakcija aldehida sa PbO koji predstavlja ostatak raspadanja soli, a formira se malo iznad površine sagorevanja.

Uloga ugljenika, u manjem udelu, zajedno sa PbS daje efekat „platoa“ (znatno smanjenje vrednosti koeficijenta  $n$  u oblasti manjih pritisaka, do 70 bara), dok veći udeo ugljenika uspešno platonizira goriva od 70 bara do 110 bara. Maksimalno zasićenje ugljenika uslovljava, u kombinaciji sa Pb solima i nekim drugim modifikatorima, plato sagorevanje DRG u područjima viših pritisaka. Uočeno je da kataliza i platonizacija zavise od odnosa  $C/NO$  u „fizz“ zoni sagorevanja, i da je efekat platoa postignut kada je odnos  $C/NO = 1$  [10].

### *Unutrašnjebalistički parametri*

U ovom radu su ukratko analizirane brzine sagorevanja i temperaturne osetljivosti.

Brzina sagorevanja čvrstog DRG je linearna brzina pomeranja granice između čvrstog goriva i gasovitih produkata njegovog razlaganja i sagorevanja.

Za kompozitna i dvobazna goriva primarna reakcija stvaranja toplote odigrava se između pirolizovanih produkata sagorevanja i metala. Čvrsta goriva sagorevaju u poluzatvorenom sistemu kakav je raketni motor. Parametarska zavisnost brzine sagorevanja (V) u komori raketnog motora (RM) može se prikazati na sledeći način:

$$V = f\left(P_k \equiv P_o, T_{OOP}, \rho v, \frac{dp}{dt}, a\right) \quad (1)$$

odnosno

$$V = f_1(P_k) f_2(T_{OOP}) f_3(\rho v) f_4\left(\frac{dp}{dt}\right) f_5(a) \quad (2)$$

gde je:

$P_k = P_o$  – pritisak u komori sagorevanja;

$T_{OOP}$  – početna temperatura pogonskog punjenja;

$\rho v$  – specifični maseni fluks;

$dp/dt$  – brzina promene pritiska;

$a$  – ubrzanje normalno na površinu sagorevanja.

Brzina sagorevanja u funkciji pritiska u komori RM, može se prikazati izrazom:

$$V = f_1(P_k) = a_1 + b_1 P_o \quad (3)$$

Ovaj oblik linearne zavisnosti uglavnom se ne primenjuje, a najčešći je Sent-Robertov zakon koji glasi:

$$V = bP^n \text{ gde je } b = f(T_{OOP}) \quad (4)$$

Brzine sagorevanja DRG koja u sastavu imaju samo nitrocelulozu, nitroglicerini, stabilizator i plastifikator zavisne su samo od toplotne vrednosti goriva prema jednačini:

$$V = e^{-1,02+0,236\frac{Q}{4187}} P^{0,468+0,24\frac{Q}{4187}} \quad (5)$$

Temperaturna osetljivost goriva obično se opisuje sledećim empirijskim izrazima:

$$\sigma_p = \left(\frac{\partial \ln V}{\partial T}\right)_p \quad (6)$$

$$\sigma_{K_n} = \left(\frac{\partial \ln V}{\partial T}\right)_{K_n} \quad (7)$$

gde je:

$\sigma_p$  – temperaturna osetljivost V na određenom pritisku;

$\sigma_{K_n}$  – temperaturna osetljivost V na određenoj vrednosti  $K_n$  ( $K_n = Sg/At$ ).

Zbog kompleksne zavisnosti temperaturne osetljivosti od T, P, V neophodno je uvesti i nove relacije kao što su:

$$\pi_{K_n} = \left(\frac{\partial \ln P}{\partial T}\right)_{K_n} \quad (8)$$

gde je  $\pi_{K_n}$  temperaturna osetljivost pritiska na određenoj vrednosti  $K_n$ , i

$$\pi_{p/v} = \left(\frac{\partial \ln P}{\partial T}\right)_{p/v} \quad (9)$$

gde je  $\pi_{p/v}$  temperaturna osetljivost na određenoj vrednosti P/v.

Polazeći od zakona brzine sagorevanja,  $V = bP^n$ , gde je  $b = f$  (Toop), i od jednačine ravnotežnog pritiska u komori motora, može se doći do izraza:

$$\sigma_{Kn} = \sigma_p + n\pi_{Kn} \quad (10)$$

odnosno:

$$\pi_{p/v} = \frac{\sigma_p}{1-n}$$

Kao mera efikasnosti balističkih modifikatora koristi se koeficijent katalitičke aktivnosti  $K[1]$ , koji predstavlja odnos brzine sagorevanja goriva sa modifikatorima i brzine sagorevanja referentnog modela DRG bez balističkih modifikatora:

$$K = \frac{V_m}{V_o} = \frac{b_m P^{n1}}{b_o P^{no}} = k P^{n1-no} \quad (11)$$

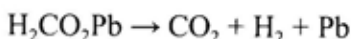
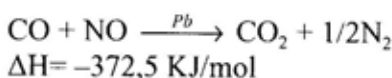
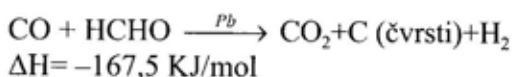
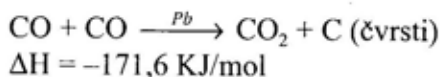
## Diskusija

Razmatraće se uloga balističkih modifikatora u mehanizmu sagorevanja goriva.

Kod modifikovanih DRG na bazi različitih aditiva i pored različitih katalitičkih aktivnosti, proces sagorevanja uglavnom se odvija na površini sagorevanja ili u „fizz“ (tamnoj) zoni [4, 10 i dr.].

Najbolju katalitičku efikasnost u DRG pokazuju jedinjenja olova i bakra. Pretpostavlja se da ova jedinjenja doprinose povećanoj redukciji NO ugljenikom koji se stvara u prisustvu katalizatora. Smanjenje koncentracije NO pomoću aldehida, CO, H<sub>2</sub> ili ugljenika krajnje je egzoterman proces. Ugljenik je dobar katalizator za mnoge gasne reakcije, a olovo je katalizator za CO<sub>2</sub> i ugljenik [10].

Lako se dokazuje da viši odnosi CO<sub>2</sub>/CO u gasnim produktima doprinose višoj energiji katalizovanih goriva u oblasti supersagorevanja. To se uočava i iz reakcije prevodenja CO u CO<sub>2</sub>, kao što je npr.:



Svaka od ovih reakcija je egzotermna i utiče na povećanje temperature sagorevanja.

Na prvi pogled, činjenica da je kataliza sa jedinjenjima olova bolja (veća) na 20 ili 40 bara nego na 1 bar, može ukazati da je aktivnost katalizatora locirana u sekundarnoj zoni plamena (kao što je i predložio Camp). Međutim, to je demantovano u [5], a takode nije saglasno sa velikim brojem eksperimentalnih rezultata. U stvari, kataliza se uglavnom odvija na površini sagorevanja i/ili u „fizz“ zoni.

Kubota [5, 8] je pokazao da goriva sa olovnim modifikatorima pokazuju stepenasti gradijent temperature u „fizz“ zoni, i pretpostavio da je uzrok tome povećanje NO<sub>2</sub> (odnos aldehida koji je proizi-šao iz povećanja stvaranja ugljenika na površini). Takode, pretpostavio je da kataliza ne menja toplotni efekat čvrste faze i ukazao na to da stepenasti temperaturni gradijent utiče na veću toplotnu provodljivost ka površini. Stvaranje ugljenika, ili relativno povećano stvara-

nje CO<sub>2</sub> u odnosu na CO, jeste egzoterman proces, što uslovljava pojavu viših temperatura gasova koji ulaze u „fizz“ zonu, a samim tim i brže reakcije u ovoj zoni.

Redukcija NO uslovljava povećanje udela CO<sub>2</sub> u odnosu na CO i favorizuje stvaranje ugljenika na površini sagorevanja. S druge strane, ugljenik i relativno povećano stvaranje CO<sub>2</sub> u odnosu na CO je egzotermni proces i uslovljava povećanje temperature gasova koji ulaze u „fizz“ zonu, usled čega se povećava brzina reakcije u ovoj zoni.

Oblast platoa pojavljuje se usled smanjenja udela ugljenika. Može se pretpostaviti da kataliza i platonizacija zavise od odnosa C i NO u zoni „penušanja“ („fizz“ zoni), kao što je prikazano sledećim odnosima [10]:

– ako je C/NO veće od 1 radi se o području superbrzog sagorevanja;

– ako je C/NO = 1 radi se o području plato – meza sagorevanja;

– ako je C/NO manje od 1 radi se o području post plato sagorevanja.

U oblasti plato – meza sagorevanja dvobazna raketna goriva imaju mali koeficijent temperaturene osetljivosti,

$$\pi_{K_n} = \left( \frac{\partial \ln P}{\partial T} \right)_{K_n}, \text{ odnosno } \sigma_p = \left( \frac{\partial \ln V}{\partial T} \right)_p.$$

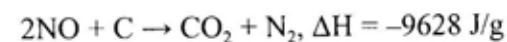
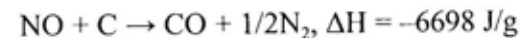
Ovaj mehanizam superbrzog sagorevanja je u saglasnosti sa eksperimentalno-teoretskim radovima. Proračuni su rađeni pod pretpostavkom da se transformacija ugljenika u CO, azota u NO i 50% vodonika u H<sub>2</sub>O ostvaruje u „fizz“ zoni. Dalji rezultati, u zavisnosti od udela ugljenika, povoljno deluju na katalizu i platonizaciju DRG u prisustvu olovnih jedinjenja i podržavaju ovaj proces. Čak

0,2 dela ugljenika, zajedno sa baznim olovo-stearatom, daje plato efekat (znatno smanjenje koeficijenta n u oblasti manjih pritisaka – do 70 bara), dok udeo preko 0,5 dela ugljenika sa olovnim solima stvara plato efekat i do 150 bara. Povećanje koncentracije ugljenika iznad 0,5 delova poboljšava efekat i preko 150 bara. Preporučuje se da se odnos C prema NO održava konstantnim (oko 1) [10].

Analizom ispitivanih opitnih modela u eksperimentalnim istraživanjima [8] i iz prethodnih zapažanja može se konstatovati sledeće:

– efekat balističkih modifikatora (metalne organske soli ili metalni oksidi olova i bakra) jeste, najverovatnije, prouzrokovan hemijskom interakcijom, koja započinje stvaranjem površinskog kompleksa, na primer olovnog oksida ili disociranog olovnog jedinjenja, na kiseoničnom ostatku disocirane gorivne komponente;

– u katalizovanom gorivu stvara se znatno gušći sloj na površini sagorevanja. On se formira interakcijom između aldehida i PbO čestica uhvaćenih u ugljeničnom ostatku. To može ubrzati reakcije NO – ugljenik, a očekivane su sledeće:



Ove egzotermne reakcije povećavaju temperaturu plamena i dovode do uvećanja toplotnog fluksa na površini goriva [5, 8];

– na vrednost brzine sagorevanja utiče hemijski sastav goriva, zračenje i maseni protok vrelih gasova (pV).

Najveći uticaj na brzinu sagorevanja ima hemijski sastav goriva. U principu, najbrže sagorevaju ona goriva pri čijem se sagorevanju oslobađa najveća energija, međutim modifikovana goriva sa plato i meza efektom znatno odstupaju od prikazanih zavisnosti brzine sagorevanja i toplotne moći. Povećan toplotni efekat čvrste faze, zajedno sa povećanim konduktivnim prenosom toplote na površinu, takođe su uslovljeni katalitičkom aktivnošću Pb jedinjenja.

U slučaju goriva veće toplotne moći, sa umerenom superbrzinom, nakon koje nastaje plato efekat, stvara se znatno veća koncentracija ugljenika, što je verovatno uslovljeno interakcijom aldehida i čestica PbO zadržanih u ostacima ugljenika. To može podstaći reakcije NO – ugljenik, proizvesti više temperature plamena i dovesti do uvećanja toplote reakcije, bliže površini. Brzina sagorevanja modifikovanih goriva može biti i ispod brzine sagorevanja osnovnog goriva. Tragove toplog crvenog ostatka koji su odbačeni sa površine uočili su u oblasti platoa i više Eisenreich i Kubot. Ovaj gubitak ugljenika može dovesti do smanjenja reakcije NO – ugljenik i odgovarajućeg smanjenja brzine sagorevanja.

Kod hladnih goriva više ugljenika se stvara čak i kod osnovnog goriva, tako da su uočeni relativno debeli ostaci ugljenika nakon sagorevanja. Posmatranjem sagorevanja (Eisenreich, Hawkin) uočeno je da sekundarni svetli plamen doseže do površine. U većini slučajeva plamen se fizički drži za površinu debelim slojem ugljenika. Buran kraj superbrzine sa jasnim meza efektom može biti uzrokovan pucanjem debelog ostatka. Dodatkom ugljenika proširuje se oblast superbrzina.

Idući naviše uz plamen, atmosfera toplog NO postaje sve bliža površini, koja apsorbuje ugljenik i eliminiše mogućnost bilo kakve interakcije ugljenikovih ostataka na visokim pritiscima. Vizuelnim pregledom utvrđeno je da površina ostaje bez ugljenika na višim pritiscima (preko 300 bara) [5].

## Zaključak

Osnovni uticaj na mehanizam sagorevanja dvobaznih raketnih goriva ima njegov hemijski sastav.

Najbrže sagorevaju ona goriva koja u tom procesu oslobađaju najveću energiju, međutim, modifikovana goriva sa plato i meza efektom znatno odstupaju od prikazanih zavisnosti brzine sagorevanja i toplotne moći, tako da zakoni termo i gasodinamike mogu imati i dominantniji uticaj u procesu sagorevanja.

Toplotni efekti čvrste faze, zajedno sa povećanim konduktivnim prenosom toplote na površinu, takođe su uslovljeni katalitičkom aktivnošću olovnih jedinjenja i drugih balističkih modifikatora.

Kod dvobaznih goriva veće toplotne moći, sa umerenom superbrzinom sagorevanja nakon koje nailazi plato efekat, stvara se mnogo veća koncentracija ugljenika, što je verovatno uslovljeno interakcijom aldehida i čestica PbO zadržanih u ostacima ugljenika.

Plamen sagorevanja fizički se drži za površinu debelim slojem ugljenika, pa se dodavanjem ugljenika, kao balističkog modifikatora, proširuje oblast super brzina sagorevanja. Vizuelnim pregledom utvrđeno je da površina ostaje bez ugljenika na pritiscima preko 300 bara.

*Literatura:*

- [1] A. I., Grigorijev: Tverdiye raketnije topliva, Izdateljstvo Himija, Moskva, 1969.
- [2] A. S., Androsov: Fizika Gorenjija i Vzriva, 1977, 4 (576-584).
- [3] R. F., Preckel: ARS Journal, vol. 31, No 8, 1961, 1286.
- [4] D. J., Hewkin: Verbrennungsvorgange bei Treib und Brennstoffen, 1974., 35.
- [5] N., Kubota; T. J., Ohlemiller; L. H., Caveny; M., Sumerfield: AIAA Journal, vol. 12, No 2, 1974, 1709.
- [6] Lews, J.: The effect of Processing Variations on the Ballistics of Fast-Burning, Ekstruded, Double Base Propellants, AIAA/SAE 14-th Joint Propulsion Conference, Las Vegas, NEV/Juli 25-27, 1978.
- [7] R. G., Parr; B. L., Crawford: The Journal of Physical and Colloid Chemistry, 1950, 929.
- [8] P., Maslak: Uporedno ispitivanje različitih balističkih modifikatora u dvobaznim barutima, Magistarski rad, TMF, Beograd, 1990. god.
- [9] K. C., Salooja: Combustion Flame 11, 247 (1967).
- [10] S., Hardwar, K., Rao: Mechanism of Combustion of Catalyzed DoubleBasePropellants, Combustion and Flame 71: 205-213 (1988).



## KRETANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE AUTO-PUTEM

UDC: 623.437.4 : 656.11

### Rezime:

*Kretanje vojne motorizovane kolone auto-putem ostalim učesnicima u saobraćaju stvara određene smetnje. Sastav vojne motorizovane kolone najčešće čine teretna vozila skromnih dinamičkih karakteristika, koja ne mogu u potpunosti iskoristiti prednosti deonice auto-puta, kao funkcionalnog elementa putne mreže sa najboljim tehničko-eksploatacionim karakteristikama. Usled relativno male brzine kretanja kolone u odnosu na preovladujuću brzinu kretanja auto-putem, javlja se potreba za preticanjem. U radu je analiziran proces preticanja kolone na auto-putu, sa aspekta vremenskih gubitaka u saobraćajnom toku i broja ometanih vozila.*

*Ključne reči: vojna motorizovana kolona, auto-put, vremenski gubici.*

---

## MILITARY MOTORIZED COLUMNS ON THE MOVE ON HIGHWAYS

### Summary:

*Military motorized columns on the move cause various obstructions to other participants in the traffic. Military motorized columns are usually composed of cargo vehicles with low dynamic characteristics which cannot entirely take advantage of highways as functional road network elements with the best technical and exploitation characteristics. Due to relatively low speed of columns on the move, there is a need for passing them. The process of passing columns on highways was analyzed from the standpoint of lost time in the traffic flow and the number of obstructed vehicles*

*Key words: military motorized column, highway, delay.*

---

### Uvod

U okviru vojnih prevoženja često se organizuju vojne motorizovane kolone, koje sa aspekta urednosti i bezbednosti kretanja, u odnosu na pojedinačno kretanje vojnih vozila, imaju niz prednosti. One se ogledaju kroz postojanje odgovornog lica za izvršenje zadatka prevoženja, ostvarenje boljeg uvida u rad nepo-

srednih izvršilaca kretanja, olakšanu tehničku podršku u toku kretanja, itd.

Sa aspekta korišćenja putne mreže, vojne motorizovane kolone najčešće se kreću dvosmernim saobraćajnicama. Međutim, pri izvršavanju određenih zadataka prevoženja, pogotovo na većim rastojanjima, javlja se potreba da vojna motorizovana kolona koristi auto-put kao deonicu u okviru svoje maršrute kretanja.

Vojna motorizovana kolona (u daljem tekstu: kolona) podrazumeva uređen skup vozila sa precizno određenim odgovornim licem, utvrđenom brzinom kretanja, rastojanjem između vozila, poretkom vozila, itd.

### **Odnos kolonskog i ostalog saobraćaja na auto-putu**

Bitna karakteristika kretanja vozila auto-putem ogleda se u mogućnosti zadovoljenja izabrane brzine za vozila različitih dinamičkih karakteristika, što obezbeđuje postojanje više saobraćajnih traka u jednom smeru (traka za preticanje namenjena je vozilima izrazitijih dinamičkih karakteristika).

S obzirom na karakter kretanja vozila auto-putem, pojava organizovane kolonske formacije proizvodi specifičan uticaj na kretanje ostalih vozila auto-putem.

Naime, dinamičke karakteristike vojnih vozila u koloni, a najčešće se radi o teretnim vozilima, ne omogućuju postizanje maksimalno dozvoljene brzine kretanja na auto-putu (120 km/h), a često zbog sastava vozila u koloni, čak ni nižih vrednosti brzina. S druge strane, u praksi je uobičajeno da se kroz formu zapovesti za kretanje definiše brzina kretanja<sup>1</sup> i rastojanja sledenja među vozilima.

Premda u toku kretanja kolone auto-putem, kao i svakim drugim segmentom putne mreže, parametri kretanja (brzina, rastojanje sledenja, vremenski intervali

među vozilima) osciliraju po vremenu i putu oko zadatih tj. planskih vrednosti, za ovo razmatranje je uzeto da su ti parametri određeni i nepromenjivi u toku kretanja kolone deonicom auto-puta.

Sa aspekta korišćenja kolovozne trake auto-puta, kolonska formacija se najveći deo vremena kreće središnjom (voznom) trakom, dok izuzetno koristi traku za preticanje, odnosno traku za zaustavljanje (pri organizovanju zastanka i sl.).

### **Preticanje kolone na auto-putu**

Najveći deo operacija preticanja na auto-putu obavlja se bez posebnih poteškoća, korišćenjem trake za preticanje vozila sa boljim dinamičkim karakteristikama. To se odnosi i na kolonu koja se kreće središnjom trakom. Međutim, problem se javlja u situaciji kada kolonu pretiče vozilo neznatno boljih dinamičkih karakteristika, odnosno, vozilo koje ostvaruje veću brzinu kretanja od brzine kretanja kolone, ali manju od većine vozila iz sastava ostalog toka (slika 1).

Radi lakše analize procesa preticanja kolone na auto-putu, neophodno je definisati određene relevantne pojmove i parametre.

Pod brzinom kretanja kolone ( $V_k$ ) podrazumeva se ona vrednost brzine kojom se kreću sva vozila u koloni. Dužina kolone ( $D_k$ ) predstavlja rastojanje između najisturenije tačke prednjeg dela čelnog vozila i najisturenije tačke zadnjeg dela začelnog vozila u koloni.

Pojam sporo vozilo opisuje vozilo koje pretiče kolonu, razvija brzinu veću od brzine kretanja kolone, ali svojim kretanjem trakom za preticanje usporava vo-

<sup>1</sup> Pravilom saobraćajne službe za kolonu automobila koja se kreće danju auto-putem i putem rezervisanim za automobilski saobraćaj, predviđena je planska brzina od 50 km/h za brigadne kolone, dok je za manje kolone (bataljonske, četne) dopušteno povećanje brzine na 65 km/h, odnosno 75 km/h, ukoliko to omogućavaju dinamičke karakteristike vozila u sastavu kolona.

zila koja žele da preteču kolonu većom vrednošću izabrane brzine. U daljoj analizi brzina sporog vozila označena je sa  $V_o$ .

Pojam brzo vozilo opisuje vozilo koje preteče kolonu, ali je zbog smetnje koju izaziva sporo vozilo prinuđeno da parametre svog kretanja privremeno uskladi sa parametrima kretanja sporog vozila. U daljoj analizi brzina brzog vozila označena je sa  $V_b$ .

Put preticanja ( $S_p$ ) predstavlja put koji pređe sporo vozilo od momenta prolaska najisturenije tačke zadnjeg dela začelnog vozila u koloni, do momenta prolaska najisturenije tačke prednjeg dela čelnog vozila u koloni.

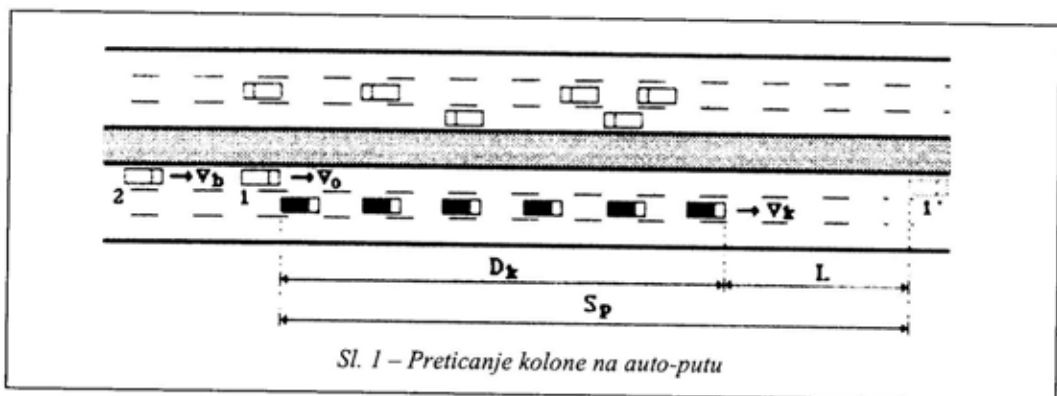
Na slici 2 u formi dijagrama put-vreme prikazano je preticanje kolone koje izvodi sporo vozilo (trajektorija brzine kretanja je naglašena). Na istoj slici grafički je predočeno pristizanje brzih vozila iza sporog vozila za vreme preticanja kolone. Oznake (Č) i (Z) predstavljaju trajektoriju brzine kretanja čelnog, odnosno začelnog vozila iz sastava kolone.

Sa aspekta kolone, put preticanja izračunava se prema obrascu:

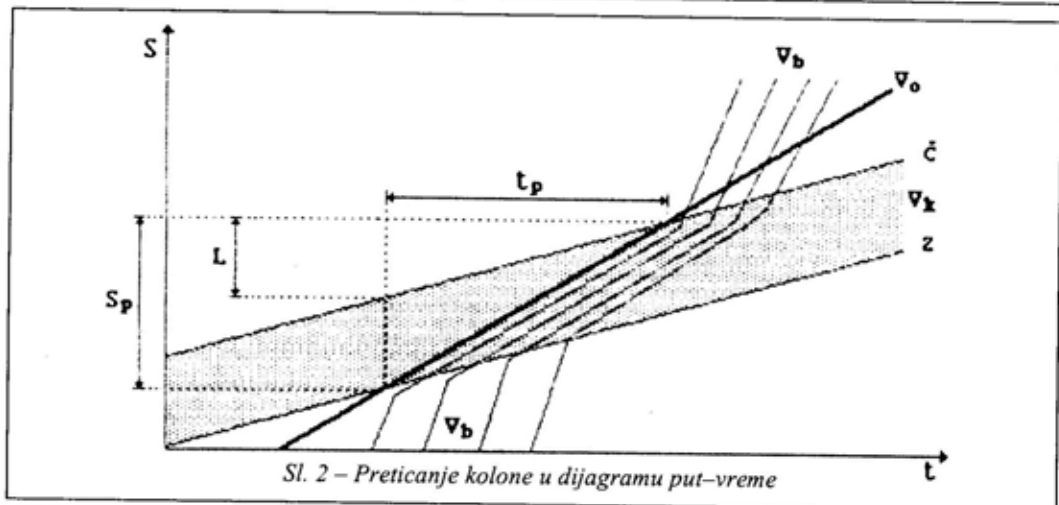
$$S_p = D_k + L \quad (1)$$

gde je:

$D_k$  – dužina kolone (m)



Sli. 1 – Preticanje kolone na auto-putu



Sli. 2 – Preticanje kolone u dijagramu put-vreme

$L$  – rastojanje koje pređe čelno vozilo kolone za vreme preticanja (m).

S druge strane, put preticanja, sa aspekta sporog vozila, iznosi:

$$S_p = V_o t_p \quad (2)$$

$V_o$  – brzina kretanja sporog vozila (m/s),  
 $t_p$  – vreme preticanja (s).

Izjednačavanjem izraza u obrascima (1) i (2) dobija se da je:

$$t_p = (D_k + L)/V_o \quad (3)$$

Rastojanje koje pređe čelno vozilo kolone za vreme preticanja računa se prema obrascu:

$$L = V_k t_p \quad (4)$$

gde je:

$V_k$  – brzina kretanja kolone (m/s),  
 $t_p$  – vreme preticanja (s).

Prema tome, vreme preticanja kolone iznosi:

$$t_p = [(D_k + V_k t_p)]/V_o = [D_k/(V_o - V_k)] \quad (5)$$

Dužina kolone u kretanju računa se prema obrascu:

$$D_k = N l_{bk} - l_{nk} = (N - 1) l_{bk} + l_v \quad (6)$$

gde je:

$l_{bk}$  – rastojanje sleđenja među vozilima u koloni (m),  
 $l_{nk}$  – neto<sup>2</sup> rastojanje među vozilima u koloni (m),  
 $l_{vk}$  – prosečna dužina vozila iz kolone (m).

Obrazac (6) može se pojednostaviti:<sup>3</sup>

$$D_k = (N - 1) l_{bk} \quad (7)$$

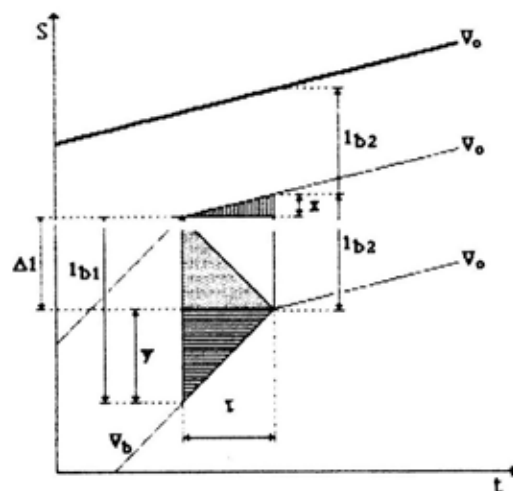
Zamenom izraza za  $D_k$  iz obrasca (7) u obrazac (5) dobija se:

$$t_p = [(N - 1) l_{bk}]/(V_o - V_k) \quad (8)$$

Kada brza vozila pristignu sporo vozilo na traci za preticanje, prinuđena su da smanje brzinu kretanja sa vrednosti  $V_b$  na vrednost brzine sporog vozila ( $V_o$ ), ali i dotadašnje rastojanje sleđenja sa vrednosti  $l_{b1}$  na vrednost  $l_{b2}$  (slika 3).

Vremenski interval u kojem se rastojanje sleđenja smanji računa se prema obrascu:

$$\tau = \Delta l / \Delta V = (l_{b1} - l_{b2}) / (V_b - V_o) \quad (9)$$



Sl. 3 – Promena parametara kretanja

<sup>3</sup> Primera radi, za formaciju od 10 vozila, prosečne dužine 7 m, koja se kreću na neto rastojanju od 80 metara, jedna dužina prosečnog vozila utiče na ukupnu dužinu formacije sa svega oko 0,8%.

<sup>2</sup> Radi se o rastojanju između zadnje tačke prethodnog vozila i najisturenije tačke sledećeg vozila.

Broj vozila koja će biti prinuđena na smanjenje brzine i rastojanja iza sporog vozila za vreme za koje sporo vozilo pretiče kolonu računa se prema obrascu:

$$N_s = (t_p/\tau) \quad (10)$$

Zamenom vrednosti  $t_p$  iz obrasca (8) i vrednosti  $\tau$  iz obrasca (9) broj pristiglih vozila je:

$$N_s = \{[(N-1)l_{bk}]/(V_o - V_k)\} / [(l_{b1} - l_{b2})/(V_b - V_o)] \quad (11)$$

Odnos relevantnih brzina kretanja pogodno je izraziti prema sledećem:

$\alpha = V_o/V_k$  (odnos brzine sporog vozila/brzina kretanja kolone),

$\beta = V_b/V_o$  (odnos brzine brzog vozila/brzina sporog vozila).

Uz uvedene odnose vreme preticanja iznosi:

$$t_p = [(N-1)l_{bk}] / [V_k(\alpha - 1)] \quad (12)$$

Broj pristiglih brzih vozila, uz date odnose jeste:

$$N_s = \{\alpha(\beta - 1)[(N-1)l_{bk}]\} / [(\alpha - 1)(l_{b1} - l_{b2})] \quad (13)$$

Rastojanje sledenja među vozilima u sastavu kolone ( $l_{bk}$ ) u praksi se najčešće određuje putem zapovesti<sup>4</sup> za kretanje, dok su rastojanja sledenja u toku brzih vozila u funkciji brzine kretanja, vremena reakcije sistema vozač-vozilo, kvaliteta kolovoznog zastora i gabaritnih karakteristika vozila u toku.

<sup>4</sup> Ovo rastojanje u praksi najčešće iznosi 50 do 100 m.

Rastojanje sledenja u toku brzih vozila računa se prema obrascu:

$$l_{b1} = V_b t_r + (V_b^2/2g\mu) + l_v + l_s \quad (14)$$

gde je:

$V_b$  – brzina kretanja toka brzih vozila (m/s),

$t_r$  – vreme reagovanja<sup>5</sup> sistema vozač-vozilo (s),

$g$  – gravitaciono ubrzanje (9,81 m/s<sup>2</sup>),

$\mu$  – koeficijent prijanjanja<sup>6</sup>,

$l_v$  – prosečna dužina vozila u toku brzih vozila (m),

$l_s$  – bezbedno rastojanje<sup>7</sup> (m).

Po pristizanju sporog vozila koje pretiče kolonu, rastojanja sledenja među brzim vozilima se smanjuju na vrednost koja zavisi od brzine sporog vozila. Rastojanje sledenja u toku brzih vozila, sa novom (smanjenom) brzinom, računa se prema obrascu:

$$l_{b2} = V_o t_r + (V_o^2/2g\mu) + l_v + l_s \quad (15)$$

Zamenom izraza za  $l_{b1}$  i  $l_{b2}$  iz obrazaca (14) i (15) u obrazac (13), i uz određena pojednostavljenja,<sup>8</sup> broj pristiglih

<sup>5</sup> Za potrebe praktičnih proračuna za vreme reagovanja najčešće se uzima vrednost od 1 s, mada eksperimentalna istraživanja beleže vrednosti od 0,8 do 2 s, što zavisi od psihofizičkog stanja vozača, kao i karakteristika vozila.

<sup>6</sup> S obzirom na to da se razmatranje odnosi na auto-put, čiji je kolovozni zastor najčešće asfaltni, zavisi od stanja zastora (istrošenosti), koeficijent prijanjanja iznosi 0,5 do 0,7.

<sup>7</sup> U obrascu (13) iskazan je model apsolutno bezbednog rastojanja sledenja. Polazna pretpostavka je da se sledeće vozilo kreće na takvom rastojanju sledenja koje mu omogućava bezbedno zaustavljanje, čak i u situacijama kada se prethodno vozilo naglo zaustavi (npr. udar prethodnog vozila u nepomičnu prepreku). Bezbedno rastojanje praktično predstavlja razmak između zadnje tačke prethodnog vozila i najisturenije tačke sledećeg vozila nakon njegovog zaustavljanja.

<sup>8</sup> Za koeficijent prijanjanja uzeta je donja vrednost od 0,5, pa je proizvod  $2g\mu=10$ . Vrednost bezbednog rastojanja jednaka je prosečnoj dužini vozila ( $l_v = l_s$ ), što se u praktičnim proračunima najčešće preporučuje. Za vreme reagovanja sistema vozač-vozilo uzeta je vrednost 1 s.

brzih vozila iza sporog vozila računa se prema sledećem:

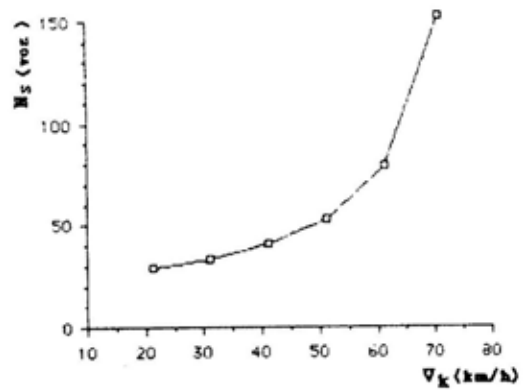
$$N_s = [(N - 1) l_{bk}] / \{(\alpha - 1) \{1 + 0,1[\alpha V_k^2(\beta + 1)]\}\} \quad (16)$$

Izvedeni obrazac, premda na prvi pogled složen, predstavlja pogodan matematički model za simulaciju broja pristiglih vozila iza sporog vozila za vreme preticanja kolone, odnosno kretanja trakom za preticanje. Simulacija se sprovodi tako što se određeni parametri zadaju, a željeni parametar se varira u realnom rasponu.

Na slici 4 prikazana je zavisnost broja pristiglih vozila iza sporog vozila od brzine kretanja kolone,  $N_s = f(V_k)$ .<sup>9</sup>

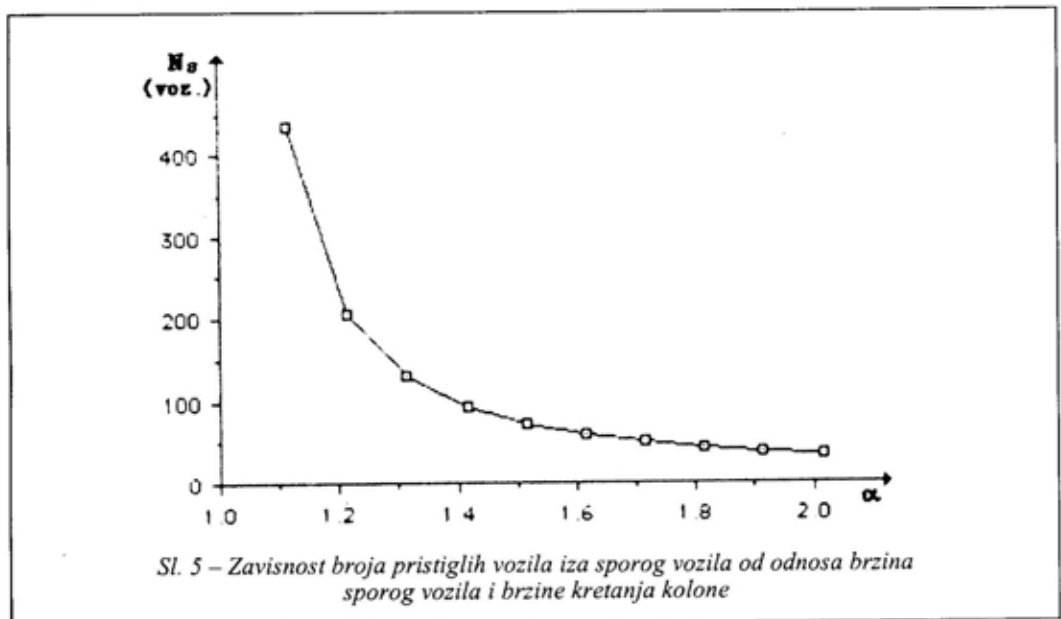
Prema slici 4 vidi se da će broj pristiglih brzih vozila iza sporog vozila biti utoliko veći što je brzina kretanja kolone bliža brzini sporog vozila, što je direktna posledica progresivnog rasta vremena preticanja.

<sup>9</sup> Simulacija je sprovedena uz sledeće pretpostavke:  $N = 24$ ,  $l_{bk} = 100$  m,  $V_b = 120$  km/h,  $V_o = 80$  km/h

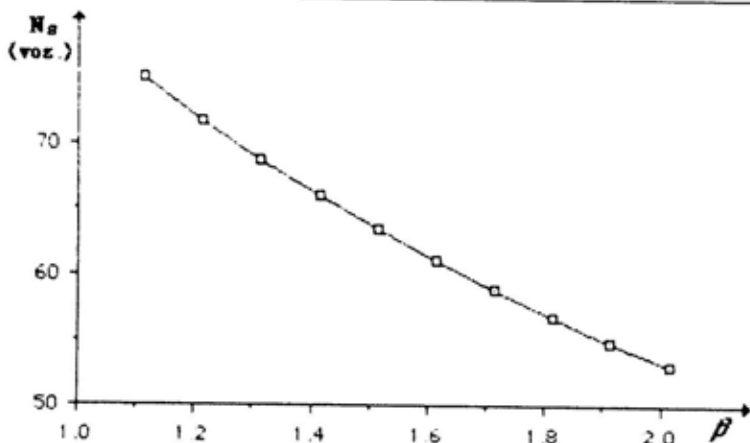


Sl. 4 – Zavisnost broja pristiglih vozila iza sporog vozila od brzine kretanja kolone

Na slici 5 prikazana je zavisnost broja pristiglih brzih vozila iza sporog vozila od odnosa brzina kretanja sporog vozila i brzine kolone,  $N_s = f(\alpha)$ , gde se takode uočava progresivan pad broja pristiglih brzih vozila u zavisnosti od porasta odnosa brzine sporog vozila i brzine kretanja kolone, što je posledica smanjenja vremena preticanja.



Sl. 5 – Zavisnost broja pristiglih vozila iza sporog vozila od odnosa brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone



Sl. 6 – Zavisnost broja pristiglih vozila iza sporog vozila od odnosa brzina brzih vozila i sporog vozila

Nadalje, što je veća razlika u brzinama brzih vozila i sporog vozila koje preteče kolonu to je i veći broj brzih vozila koja pristižu sporo vozilo.

Na slici 6 prikazana je zavisnost broja pristiglih brzih vozila iza sporog vozila od odnosa brzina kretanja brzog vozila i sporog vozila,  $N_s = f(\beta)$ . Porastom odnosa brzina kretanja brzog vozila i sporog vozila uočava se gotovo linearan pad broja pristiglih vozila.

### Vremenski gubici u toku brzih vozila

Nemogućnost kretanja izabranom brzinom brzih vozila, usled potrebe kretanja iza sporog vozila za vreme preticanja kolone, u toku brzih vozila javljaju se određeni vremenski gubici. Realan vremenski gubitak brzog vozila predstavlja razlika trenutka kada brzo vozilo pretekne sporo vozilo (to je trenutak kada sporo vozilo pretekne čelo kolone i pređe na središnju traku, odnosno, oslobodi traku

za preticanje) i trenutka u kojem bi brzo vozilo preteklo sporo vozilo kada bi se ono kretalo središnjom trakom, ako tu traku nije zauzela kolona.

Na slici 7 grafički je predstavljen vremenski gubitak  $n$ -tog vozila iz toka brzih vozila na čije parametre kretanja utiče pojava sporog vozila. Uočljivo je da će najveći vremenski gubitak imati prvo pristiglo brzo vozilo, svako sledeće manji vremenski gubitak, pa sve do vozila koje će preteći kolonu bez vremenskog gubitka (kada sporo vozilo pređe na središnju traku).

Prema slici 7 vremenski gubitak  $n$ -tog vozila računa se prema obrascu:

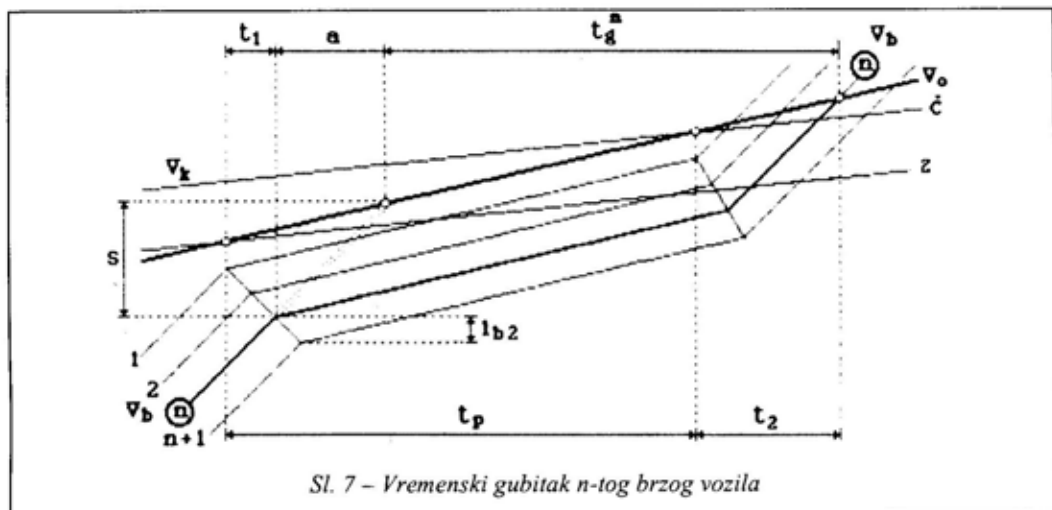
$$t_g^n = t_p + t_2 - t_1 - a \quad (16)$$

gde je  $t_p$  – vreme preticanja (s)

Preostala tri člana izraza (16) računaju se prema sledećem<sup>10</sup> (slika 7):

<sup>10</sup> Pretpostavka je da brzo vozilo nakon prolaska sporog vozila nastavlja kretanje istom brzinom kojom se kretalo pre nailaska na sporo vozilo.





Sl. 7 – Vremenski gubitak n-tog brzog vozila

$$t_1 = (n - 1) [(l_{b1} - l_{b2}) / (V_b - V_o)] \quad (17)$$

$$t_2 = n [(l_{b1} - l_{b2}) / (V_b - V_o)] \quad (18)$$

$$a = n l_{b2} / (V_b - V_o) \quad (19)$$

Uvođenjem navedenih izraza u obrazac (16) dobija se:

$$t_g^n = t_p + [1 / (V_b - V_o)] [l_{b1} - (n - 1) l_{b2}] \quad (20)$$

Izjednačavanjem  $t_g^n = 0$  dobija se redni broj vozila (računajući od prvog vozila koje je pristiglo sporo vozilo) čiji je vremenski gubitak jednak nuli, tj. dobije se ukupan broj vozila koja će ostvariti vremenske gubitke zbog kretanja iza sporog vozila.

Prema tome:

$$n = \{ [(V_b - V_o) t_p + l_{b1}] / l_{b2} \} + 1 \quad (21)$$

Zamenom izraza iz (17), (18), (19) i (8) u obrazac (20) i sređivanjem dobija

se izraz za vremenski gubitak n-tog brzog vozila prema sledećem:

$$t_g^n = (1/V_k) \{ (N l_{bk}) / (\alpha - 1) + [2 l_v (2 - n) / \alpha V_k] + \{ \beta - (n - 1) + 0,1 V_k [\beta^2 - (n - 1) / (\beta - 1)] \} \} \quad (22)$$

gde je:

$V_k$  – brzina kretanja kolone (m/s),

$N$  – broj vozila u koloni,

$l_{bk}$  – rastojanje sledenja među vozilima u koloni (m),

$l_v$  – prosečna dužina vozila u toku brzih vozila (m),

$\alpha$  – odnos brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone,

$\beta$  – odnos brzina brzog vozila i brzine sporog vozila.

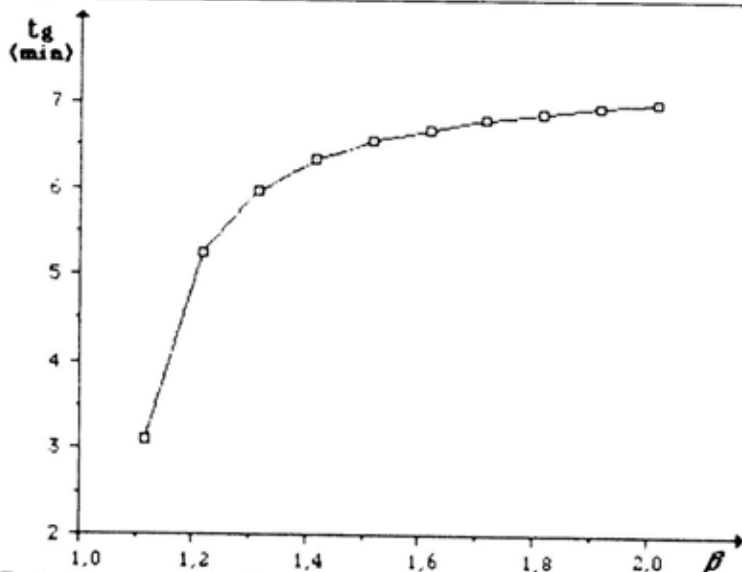
Na slici 8 prikazana je zavisnost vremenskog gubitka<sup>11</sup> 10. vozila iz skupa brzih vozila od odnosa brzina brzih vozila i brzine sporog vozila.

<sup>11</sup> Dijagram na slici 8 formiran je sa sledećim pretpostavljenim vrednostima parametara:  $N=24$ ,  $V_s=60$  km/h,  $l_k=100$  m,  $l_v=6$  m,  $\alpha=1,33$ , odnosno  $V_b=80$  km/h (odnos brzina sporog vozila i brzine kolone). Odnos brzine brzog vozila i brzine sporog vozila ( $\beta$ ) variran je u rasponu od 1,1 do 2.

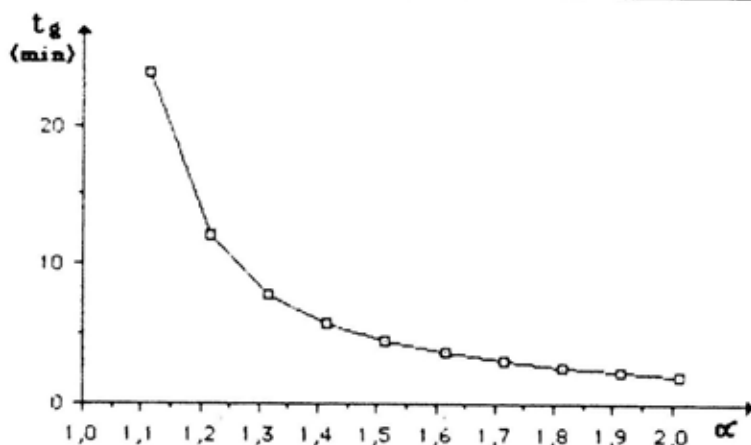
Na slici 8 uočava se porast vremenskih gubitaka sa porastom odnosa brzina brzog i sporog vozila, ali je karakteristično da je taj rast veoma izražen kod niskih vrednosti odnosa (od 1,1 do 1,5), dok je porast vremenskih gubitaka znatno usporen za veće vrednosti odnosa brzina brzog i sporog vozila.

Dijagram na slici 9 prikazuje zavisnosti vremenskog gubitka 10. vozila iz toka brzih vozila od odnosa brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Za simulaciju su korišćeni pretpostavljeni parametri kao i za dijagram na slici 8, s tim što je za  $\beta$  uzeta vrednost 1,5 ( $V_b=120$  km/h,  $V_s=80$  km/h), dok je odnos brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone ( $\alpha$ ) variran u rasponu od 1,1 do 2.



Sl. 8 – Zavisnost vremenskih gubitaka 10. vozila iza sporog vozila od odnosa brzina brzog i sporog vozila



Sl. 9 – Zavisnost vremenskih gubitaka vozila iza sporog vozila od odnosa brzina sporog vozila i brzine kolone

Sa dijagrama na slici 9 uočava se pad vremenskih gubitaka u zavisnosti od porasta odnosa brzine sporog vozila i brzine kretanja kolone, što je direktna posledica smanjenja vremena preticanja.

Najveći vremenski gubitak ima prvo vozilo iz toka brzih vozila koje pristigne sporo vozilo, dok ostala ometana vozila iz toka brzih vozila imaju manje vremenske gubitke. Od posebnog značaja je utvrđivanje ukupnih vremenskih gubitaka svih brzih vozila, koja su bila ometana u kretanju za vreme preticanja kolone.

Prvo pristiglo vozilo ( $n = 1$ ), prema obrascu (20), ima vremenski gubitak prema sledećem:

$$t_g^1 = t_p + [1/(V_b - V_o)] l_{b1} \quad (23)$$

Drugo pristiglo vozilo ( $n = 2$ ):

$$t_g^2 = t_p + [1/(V_b - V_o)] (l_{b1} - l_{b2}) \quad (24)$$

Treće pristiglo vozilo ( $n = 3$ ):

$$t_g^3 = t_p + [1/(V_b - V_o)] (l_{b1} - 2l_{b2}) \quad (25)$$

Razvijanjem prethodnih obrazaca, uz zamenu  $\Delta V = V_b - V_o$ , dobija se:

$$t_g^1 = t_p + (l_{b1}/\Delta V) \quad (26)$$

Drugo pristiglo vozilo ( $n = 2$ ):

$$t_g^2 = t_p + (l_{b1}/\Delta V) - (l_{b2}/\Delta V) \quad (27)$$

Treće pristiglo vozilo ( $n = 3$ ):

$$t_g^3 = t_p + (l_{b1}/\Delta V) - (2 l_{b2}/\Delta V) \quad (28)$$

Uopšte,  $n$ -to pristiglo vozilo:

$$t_g^n = t_p + (l_{b1}/\Delta V) - [(n - 1)(l_{b2}/\Delta V)] \quad (29)$$

Prva dva člana izraza iz obrasca nisu u funkciji  $n$ , odnosno čine konstantu  $C = t_p + (l_{b1}/\Delta V)$ . Prema tome, vremenski gubitak  $n$ -tog vozila može se napisati prema sledećem:

$$t_g^n = C - [(n - 1) (l_{b2}/\Delta V)] \quad (30)$$

Sumiranjem vremenskih gubitaka za svih  $n$  vozila dobija se:

$$\Sigma t_g^n = n C - [1 \cdot (l_{b2}/\Delta V) + 2 \cdot (l_{b2}/\Delta V) + 3 \cdot (l_{b2}/\Delta V) + \dots n (l_{b2}/\Delta V)] \quad (31)$$

$$\Sigma t_g^n = n C - \{n [(n + 1)/2](l_{b2}/\Delta V)\} \quad (32)$$

Zamenom pojedinih veličina, uvedenjem već uspostavljenih odnosa brzina brzih vozila, sporog vozila i brzine kretanja kolone, kao i sređivanjem izraza, ukupni vremenski gubici računaju se prema obrascu:

$$\Sigma t_g^n = \{n/[(V_k \alpha (\beta - 1))]\} \left\{ \{[(N - 1) l_{bk} \alpha (\beta - 1)]/(\alpha - 1)\} + l_{b1} - \{[l_{b2}(n + 1)]/2\} \right\} \quad (33)$$

gde je:

$n$  – ukupan broj brzih vozila koja imaju vremenske gubitke,

$V_k$  – brzina kretanja kolone (m/s),

$N$  – broj vozila u koloni,

$l_{b1}$  – rastojanje sleđenja među brzim vozilima pre pristizanja sporog (m),

$l_{b2}$  – rastojanje sleđenja među brzim vozilima po pristizanju sporog (m),

$\alpha$  – odnos brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone,

$\beta$  – odnos brzina brzog vozila i brzine sporog vozila.

Na slici 10 prikazana je zavisnost ukupnih vremenskih gubitaka u toku br-

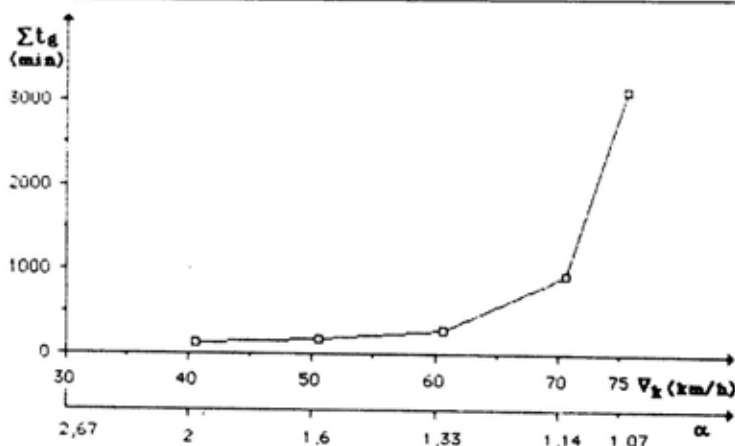
zih vozila od brzine kretanja kolone, odnosno odnosa brzine sporog vozila i brzine kretanja kolone.

Sa dijagrama na slici 10 uočava se porast ukupnih vremenskih gubitaka povećanjem brzine kretanja kolone. Taj porast je veoma izražen u području niskog odnosa ( $\alpha$ ) brzina kretanja kolone i

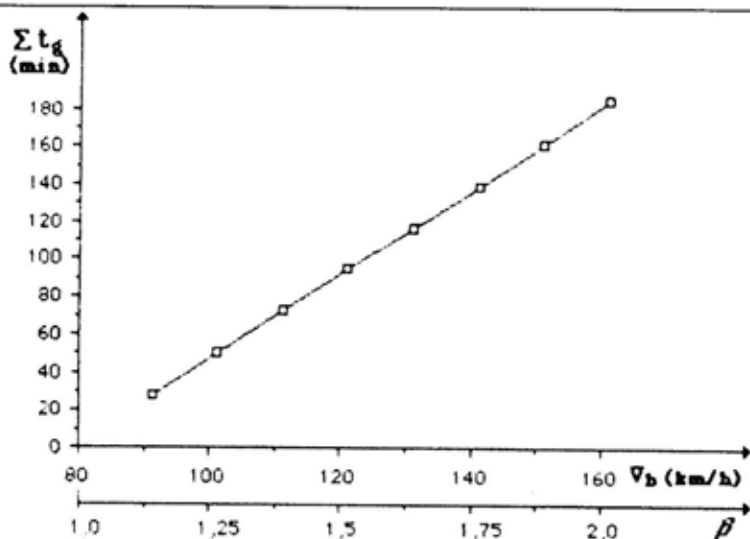
brzine sporog vozila, što je posledica povećanja vremena preticanja.

Na slici 11 prikazana je zavisnost ukupnih vremenskih gubitaka u toku brzih vozila od brzine kretanja brzih vozila, odnosno odnosa brzine brzih vozila i brzine sporog vozila.

Dijagram na slici 11 ukazuje na li-



Sl. 10 – Zavisnost ukupnih vremenskih gubitaka vozila iza sporog vozila od brzine kretanja kolone



Sl. 11 – Zavisnost ukupnih vremenskih gubitaka vozila iza sporog vozila od brzine kretanja

nearan rast ukupnih vremenskih gubitaka povećanjem brzine kretanja brzih vozila, odnosno, povećanjem odnosa ( $\beta$ ) brzine brzih vozila i sporog vozila linearno rastu ukupni vremenski gubici u toku brzih vozila.

## Zaključak

Strukturu vojne motorizovane kolone većinom čine teretna vozila skromnih dinamičkih karakteristika (pre svega nizak odnos specifične snage motora i ukupne mase vozila), što znači da ne može u potpunosti iskoristiti prednosti deonice auto-puta, kao funkcionalnog elementa putne mreže sa najboljim tehničko-eksploatacionim karakteristikama.

Kao i na ostalim segmentima putne mreže, tako su i na deonici auto-puta, kroz formu zapovesti za kretanje, okvirno definisani osnovni parametri kretanja kolone (brzina, rastojanje sledenja), koji neznatno variraju za vreme kretanja kolone deonicom auto-puta.

Poseban problem pri preticanju kolone javlja se pri pojavi u saobraćajnom toku vozila sa skromnim dinamičkim karakteristikama. Za vreme preticanja iza takvog vozila pristižu brža vozila i ostvaruju stanovite vremenske gubitke.

Sprovedena analiza, uz sva pojednostavljenja, pokazala je da relativno visoka vrednost brzine kretanja kolone izaziva veći broj ometanja u ostalom toku, a time i veće ukupne vremenske gubitke. Takođe, broj ometanih vozila raste pove-

ćanjem relativne razlike u brzinama sporih i brzih vozila u toku.

U slučaju pojave sporog vozila sa neznatno većom vrednošću brzine od brzine kretanja kolone, kao i u slučaju dužih kolonskih formacija, javiće se izrazito ometanje ostalog toka, pa se preporučuje da se vojne kolonske formacije sa velikim brojem vozila pri kretanju auto-putem organizuju u više zasebnih marševskih formacija. Prostorni, odnosno vremenski intervali među takvim formacijama znatno olakšavaju operacije preticanja, čak i u uslovima česte pojave sporih vozila u ostalom toku.

Ukupni vremenski gubici u toku brzih vozila utoliko su manji što je veća relativna razlika brzina sporog vozila i brzine kretanja kolone, odnosno utoliko su veći što je veće učešće brzih vozila u toku u odnosu na spora vozila i što je njihova relativna razlika brzina veća.

Organizatori i realizatori kolonskog kretanja auto-putem mogu znatno doprineti smanjenju ukupnih vremenskih, a time i materijalnih gubitaka u saobraćajnom toku, adekvatnim odabirom parametara kretanja kolone i načinom njenog organizovanja.

### Literatura:

- [1] Kuzović, Lj.: Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [2] Jovanović, G.: Putni saobraćaj, lekcija, CVTŠ KoV, Zagreb, 1986.
- [3] Dragač, R.: Bezbednost saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1983.
- [4] Ospenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učestvom vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.

## X TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR 2002.

– prikaz naučno-stručnog skupa –

U beogradskom Centru SAVA od 26. do 28. novembra 2002. godine održan je X, jubilarni, telekomunikacioni forum – TELFOR 2002. u organizaciji Društva za telekomunikacije, JP PTTS „Srbija“ a. d. Beograd u saradnji sa Elektrotehničkim fakultetom u Beogradu, Jugoslovenskom sekcijom IEEE i nizom sponzora.

TELFOR je profesionalni skup stručnjaka koji rade u široj oblasti telekomunikacija, prevashodno inženjera telekomunikacija, ali i stručnjaka drugih profila (ekonomista, pravnika, menadžera, operatera i drugih) koji su povezani u širem smislu za delatnost telekomunikacija.

TELFOR je koncipiran sa ambicijom da se na njemu, pored prezentacije radova sa istraživačkim i naučnim rezultatima, kao osnovnog sadržaja rada foruma, razmatraju i sva druga relevantna pitanja telekomunikacija: tehnička, razvojna, regulatorna i ekonomska, pitanja proizvodnje opreme, usluga, servisa i funkcionisanja sistema.

Skup je otvorio akademik profesor Ilija Stojanović, a učesnike su pozdravili i ministar za saobraćaj i telekomunikacije u vladi Republike Srbije Marija Rašeta-Vukosavljević i ministar za nauku i tehnologiju profesor Dragan Domazet. Predsednik organizacionog odbora TELFOR-a

profesor dr Đorđe Paunović, podsetio je na desetogodišnji jubilej TELFOR-a i na njegov sve veći značaj za delatnost telekomunikacija u našoj zemlji. U okviru prve plenarne sednice, profesor dr Dragor Hiber je govorio o principima savremene regulative u telekomunikacijama.

Na TELFOR-u 2002. razmatrane su sledeće globalne programske oblasti:

- politika, reforme i ekonomika u telekomunikacijama;
- tehnike telekomunikacija.

Program rada TELFOR-a 2002. obuhvatio je: tri plenarne sednice na kojima je izložen veći broj predavanja po pozivu, 11 tematskih sekcija na kojima su u 26 sesija izloženi autorski radovi iz različitih oblasti telekomunikacija, sekciju sa radovima studenata redovnih studija, stručni seminar, veći broj specijalnih sekcija sa plenarnim izlaganjima autora po pozivu, prezentacijom razvojnih programa vodećih domaćih i inostranih kompanija, veći broj tehničkih reprezentacija sa stručnim predavanjima, prezentaciju novih knjiga, izložbu telekomunikacionog hardvera, softvera, sistema, prateće opreme i usluga domaćih i poznatih internacionalnih firmi.

U radu TELFOR-a u svojstvu autora ili koautora radova učestvovalo je preko

300 učesnika. Treba istaći da je u radu konferencije, iako ona nema status međunarodne konferencije, bilo zapaženo učešće autora iz Grčke, Italije, Austrije, Slovenije, Španije, Finske i Nemačke. Po prvi put u značajnijoj meri na TELFOR-u je učestvovao veći broj autora (pretežno mladih ljudi) koji su završili fakultete u našoj zemlji, a danas rade u inostranim kompanijama, fakultetima i institutima u SAD, Nemačkoj, Finskoj, Holandiji.

U okviru autorskih sekcija izloženo je oko 170 recenziranih i kategorisanih radova u 11 tematskih sekcija, i to:

- politika i usluge u telekomunikacijama,
- telekomunikacione mreže,
- komutacioni sistemi,
- radio-komunikacije,
- sistemi prenosa signala,
- računarske komunikacije,
- obrada signala,
- optičke telekomunikacije,
- primenjena elektromagnetika,
- multimedija i video,
- studentska sekcija.

Politika TELFOR-a je da izloženi radovi, bez obzira na kategoriju, treba da sadrže autorski doprinos, a posebno su cenjeni oni koji sadrže iskustva iz praktične primene teorijskih metoda u rešavanju konkretnih inženjerskih problema. Opšti je utisak da je kvalitet izloženih radova bio na zavidno visokom nivou, a da u tematskom smislu prate aktuelne savremene trendove u oblasti telekomunikacija. Pored radova koji su posvećeni klasičnim telekomunikacionim tehnikama, izložen je veći broj radova koji su tematski vezani za savremene perspektivne tehnike prenosa, kao što su OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) i

MC-CDMA (Multicarrier Code Division Multiple Access), kao i veći broj radova posvećenih mobilnim radio-komunikacionim sistemima, internet komunikacijama, primeni antenskih nizova u mobilnim komunikacijama, itd.

U specijalnim sekcijama izložen je veći broj referata po pozivu. Posebnu pažnju zavređuju sledeći plenarni referati: „Adaptive / reconfigurable wireless communications: Evolution of 3G and elements of 4G“ profesora dr Save Glišića sa Elektrotehničkog fakulteta u Oulu, Finska (nekada pripadnik VTI) i „Telekomunikacione pristupne mreže“ profesora dr Miroslava Dukića i Dejana Vujića sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

U organizaciji IEEE-YU, CAS-SP, a na inicijativu profesora dr Ljiljane Milić i profesora dr Branimira Reljina sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održana je specijalna sekcija za obradu signala. U okviru ove sekcije održane su dve sesije na kojima je izloženo 13 pozvanih radova sa odabranim predavačima. Preliminarno predavanje održao je profesor Tapio Saramaki sa univerziteta u Tampereu (Tampere University of Technology) u Finskoj, u svetu priznati stručnjak (IEEE Fellow) za oblast digitalnih filtera.

U radu ove sekcije učestvovala su i tri pripadnika Vojske Jugoslavije (dr Milosavljević iz IPME, dr Erić i dr Vučić iz VTI VJ) sa sledećim radovima:

- Srdan Stanković, Miloš Stanković, Maja Stanković, Milan Milosavljević: „Learning From Data Using Support Vector Machines“;

- Miljko Erić, Miroslav Dukić, Milorad Obradović: „MUSIC Based Joint



Parameter Estimation of Multiuser DS CDMA Signals in SIMO Antenna Systems“;

– Desimir Vučić: „Cyclic Spectral Analysis of OFDM/QUAM Modulation Using Stochastic Matrix-Based Method“.

U okviru specijalnih sekcija, u skladu sa dosadašnjom praksom TELFOR-a, priređena je promocija pet novih knjiga od kojih se posebno izdvajaju knjige „Uvod u statističku teoriju telekomunikacija“, profesora dr Dušana Drajića, i „Širokopojasne digitalne mreže integrisanih servisa – ATM komutacija“ profesora dr Zorana Petrovića, oba sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

U autorskim sekcijama izložen je, takođe, veći broj radova po pozivu, pri čemu posebnu pažnju zaslužuju: „Sadašnja i buduća generacija mikrotalasnih radio-relejnih uređaja i sistema instituta IMTEL“, grupe autora iz instituta IMTEL i „Bluetooth Based Wireless Sensor Networks – Implementation Issues and Solutions“ autora S. Krča.

Učešće pripadnika VJ u radu konferencije TELFOR 2002. godine bilo je značajno. U svojstvu autora ili koautora u radu konferencije učestvovalo je ukupno

22 pripadnika VJ (7 iz VTI, 6 sa VA, tri iz VOC-a, itd.) sa 16 izloženih stručnih i naučnih radova. Takođe, treba dodati da je radom sekcije za radio-komunikacije predsedavao pripadnik VJ.

Autor ovog prikaza skreće pažnju na sledeće radove pripadnika VJ:

– „UCM:ITU-T notacija za specifikacije zahteva za telekomunikacione sisteme i servise“ R. Terzića i B. Radenovića,

– „Poboljšana procena daljine zasnovana na uporednoj analizi IC zračenja referentnog izvora i cilja“ G. Dikića sa VA i Z. Radosavljevića,

– „Analiza verovatnoće greške pozicioniranja laserom ozračenog objekta“, Ž. Barbarića i Lj. Jeftić,

– „PCM/FM telemetrijski sistem za merenje parametara vazduhoplova i fizioloških karakteristika pilota“, grupe autora iz VOC-a,

– „Razdvajanje predajnika sa frekvencijskim skakanjem i njihovo grupisanje u jedinstvene mreže“ I. Pokrajca, M. Erića i M. Dukića.

Rad TELFOR-a bio je medijski praćen, a zbornik radova dostupan je u elektronskoj formi na adresi: [www.telfor.org.yu/on-line-r.html](http://www.telfor.org.yu/on-line-r.html).

Od 29. oktobra do 2. novembra 2002. godine, u Novom Sadu je održan XI međunarodni sajam informatike, telekomunikacija i elektronike – „ELEKTRONIKA“.

U okviru sajma, Udruženje informatičara Novog Sada (UINS) organizovalo je „Konferencijski dan posvećen tehnologiji otvorenog koda“, kao celodnevni ciklus predavanja o razvoju informatike i računarstva u našoj zemlji, kao i primeni operativnog sistema Linux i drugih programa iz grupacije tzv. „otvorenog koda“. Pored učesnika iz privrede (NIS – Naftagas Novi Sad i NIS – Rafinerija nafte Novi Sad), među predavačima su bili i članovi „OSNY“ („Open Source Network Jugoslavija“) – udruženja iz Beograda koje okuplja pristalice softvera „otvorenog koda“, kao i drugi poznavoci tog operativnog sistema. Zainteresovani su bili uglavnom mladi, što se i očekivalo, jer novoj generaciji korisnika računarskih tehnologija nesumnjivo najviše odgovara sadašnji besplatan (ili, kako je rečeno, „slobodan“) karakter Linuxa.

Izlagачi su izneli mišljenja o nekim prednostima koje pruža taj sistemski softver, naročito o preimućstvima finansijske prirode – ako se ima u vidu započeta legalizacija programa produkcije

Majrosoft. Po rečima izlagača, kupovinom samo jednog paketa neke od brojnih „distribucija“ Linuxa, dobija se mogućnost neograničenog kopiranja na veći broj računara. Pored toga, Linux može i besplatno da se preuzme sa Interneta, s tim što tada nema tehničku podršku proizvođača, kao ni prateću literaturu. Takođe, postoje i razni programski paketi kojima mogu da se zamene neki od popularnih proizvoda firme Majrosoft. To su, na primer, program za kancelarijsko poslovanje „Open Office“, kojim se zamenjuje „MS Office“; zatim, program za baze podataka „MySQL“, kojim se zamenjuje „MS SQL“, itd.

Naročito je značajno da neke od najnovijih „distribucija“ imaju, po nekim najavama, konačno rešeno pitanje normalnog korišćenja naših slova latinice i ćirilice pod Linuxom (npr. u verziji 9 distribucije Mandrake), s tim što bi, ipak, trebalo sa sigurnošću utvrditi mogućnost pretvaranja – konverzije postojećih dokumenata (onih koji su ranije napisani po Windows standardu, tj. kodnoj stranici CP 1250) na Linuxov (odn. međunarodni) standard ISO8859. Iako se u poslednje vreme sve češće piše o tome da je u pitanju standardizacija tipa „Unicode“ – i to kod oba proizvoda, eksperimentalno je

utvrđeno da neki dokumenti, ranije urađeni pomoću Majkrosoftovog programskog paketa MS Office (datoteke sa nastavcima: DOC, PPT i sl.), još uvek nisu potpuno čitljivi pod operativnim sistemom Linux i odgovarajućom grupom programa Open Office. Naime, kada se takvi dokumenti čitaju unutar Linuxa i Open Officea, oni zaista bivaju ispravno prepoznati kao vrsta dokumenta (tekstualni Word dokument, Power Point prezentacija i sl.). Međutim, za sada se od slova mogu videti samo „ASCII“ slova engleskog jezika, dok se naša ćirilična i latinična slova ne prikazuju.

Jedan od diskutanaata, Milan Stanić (IT Security), ukazao je na određene nejasnoće i zablude koje postoje u domaćoj javnosti u vezi s tim operativnim sistemom. Po njegovim rečima, Linux je otporniji na viruse i kompjuterske „padove sistema“, jer otvorenost njegovog izvornog koda omogućava mnogo brže i lakše otkrivanje slabih tačaka nego što je to slučaj kod „komercijalnog“ softvera (kao što je Windows). Takođe, po rečima nekih izlagača, Linux zadržava kompatibilnost sa prethodnim verzijama, za razliku od Windowsa. Kada se vrši nadogradnja operativnog sistema, najčešće nije potrebno restartovati računarsku opremu, što je kod operativnih sistema Majkrosofta redovna pojava. Pored toga, stabilnost Linuxa omogućava da on radi bez „obaranja“ (isključenja) sistema mesecima, pa i godinama. Njegova zasnovanost na UNIX-u obezbeđuje „veliku količinu“ godinama stvaranog softvera, pri čemu mnogi poznati proizvođači ulažu značajna sredstva u njegov razvoj (IBM, Oracle i drugi). Takođe, brojni izdavači „distribucija“ Linuxa, takođe, konkurišu jedni

drugima – putem ispravljanja uočenih grešaka; zatim dodavanjem novih funkcija, koje su naročito izražene kod različitih grafičkih okruženja (Graphical User Interface, GUI) što, po rečima diskutanaata, kod Majkrosofta nije slučaj.

Nakon uvodnih izlaganja nastupili su predstavnici preduzeća NIS – Naftagas (Janoš Toma, Kristina Gutović i Milka Milišić-Ćurčić), kao i Srđan Popov iz NIS RNS (Rafinerija u Novom Sadu). Kod obe firme organi upravljanja su analizirali troškove koji bi nastali u trenutku legalizacije sada korišćenog softvera, pa je zaključeno sledeće:

- pojedini delovi softvera koji dobro rade (npr. Microsoft SQL Server) „legalizovali“ bi se i zadržali u sadašnjoj funkciji;

- radne stanice postepeno bi prešle na operativni sistem Linux (pomenut je broj od oko 200 radnih stanica, za koje bi nastavak rada pod Windowsom zahtevao i odgovarajući broj plaćenih licenci);

- NIS – Naftagas već primenjuje jednu metodologiju koju su nazvali „LAMP“ (=Linux, Apache, MySQL, PHP). Drugim rečima, LAMP predstavlja jedno zaokruženo rešenje na internet-mreži tog preduzeća i zasnovano je na Linuxu. Kao web server koristi se program Apache dok je za bazu podataka odabran MySQL. Izlagači su putem slajdova prikazali veći broj „stranica“ sa svoje interne mreže, u kojoj je primenjena navedena tehnologija. Dosadašnja iskustva su, po njihovim rečima, veoma pozitivna;

- kada je reč o ekonomičnosti uvođenja novog softvera koji nije proizvod firme Majkrosoft, izlagači su istakli da se određeni troškovi očekuju jedino na polju obuke korisnika. S tim u vezi rečeno

je da je dosadašnja obuka realizovana po fazama, tako što je prvo obučeno nekoliko ključnih ljudi u kolektivu, koji nakon toga, u drugom krugu, obučavaju administratore „nižeg nivoa“. Kasnije bi ti administratori obučavali korisnike iz svoje nadležnosti, itd.

Predstavnici Akademске računarske mreže Univerziteta u Novom Sadu (AR-MUNS), Ivan Neugebauer i Milan Kerac, izložili su temu pod nazivom „Rchroot – Povećanje izolacije i smanjenje privilegije procesa u chroot okruženju“, koja obrađuje neke bezbednosne mere koje se mogu uspešno primeniti pod operativnim sistemom Linux.

Na kraju seminara zaključeno je da je interesovanje za Linux vrlo zapaženo na domaćem tržištu, što se videlo i po prekoračenju unapred predviđenih termina za pojedine diskutante. Novosadsko udruženje inženjera najavljuje i eventualno održavanje jednog šireg tematskog skupa, koji bi u potpunosti bio posvećen softveru „otvorenog koda“.

Organizatorima stručnog dela skupa moglo bi se zameriti da nisu obezbedili prisustvo predstavnika nekog od brojnih distributera Linuksa. Na prošlogodišnjem sajmu izlagao je i jedan od rukovodilaca firme „Caldera“ za istočnu Evropu (sada ponovo pod nekadašnjim nazivom „SCO“), koji je detaljno predstavio proizvodni program svoje softverske kuće. Takođe, očekivalo se da neko od izlagača upozna prisutne sa najnovijim događajima u tzv. zajednici otvorenog koda (kojoj pripada i sam Linux). Naime, već je

postalo pravilo da distributeri tog operativnog sistema izbacuju na tržište nove verzije, sa novim mogućnostima, brzinom – gotovo većom nego što to radi „golijat“ iz Redmonda. Jasno je da se borba za primat na tržištu vodi kvalitetom što svakako treba podržati.

Što se tiče izlagačkog dela na sajmu, i ove godine je primećeno odsustvo zastupnika velikih svetskih kompanija, izuzev nekoliko izloženih računara proizvodnje IBM, zatim nešto mrežne opreme i UPS uređaja za neprekidno napajanje. Proizvođača softvera gotovo da i nije bilo u značajnijoj meri.

Na izlagačkom štandu Udruženja inženjera Novog Sada bilo je postavljeno nekoliko umreženih računara koji su radili pod operativnim sistemom Linux, što je omogućilo brojnim posetiocima da se na licu mesta upoznaju sa njegovim osnovnim karakteristikama. Pored toga, uz pomoć video projektora, u radu „Alternativne računarske mreže“, prezentirane su neke od mogućnosti Linuksa na polju radio-amaterskih bežičnih komunikacija, tipa „paket-radio“. Namera UINS-a jeste da u narednom periodu učestvuje na domaćim naučno-stručnim ICT skupovima, radi dalje popularizacije softvera „otvorenog koda“.

Deo sajma koji je bio posvećen elektronici prikazao je asortiman produkcije Motorola (radio-stanice različitih tipova i namena, radio-modeme za bežično umrežavanje i dr.), različite alate za električare, klasične i satelitske antenske sisteme, kao i drugu opremu.

### X jugoslovenska konferencija „Železničko mašinstvo“

U organizaciji Mašinskog fakulteta iz Niša, a pod pokroviteljstvom Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, Saveznog ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu i Skupštine grada Niša u Nišu je 24. i 25. oktobra 2002. godine održana X jugoslovenska međunarodna konferencija *Železničko mašinstvo*.

Cilj skupa je bio da stručnjaci razmene iskustva, iznesu probleme, prezentiraju svoja dostignuća i postavе smernice za dalji rad na železnici.

Predstojeća modernizacija Jugoslovenskih železnica ima prevashodni cilj da osposobi železnice za blagovremen i efikasan odgovor sve strožim zahtevima naše privrede, domaćeg i inostranog saobraćajno-transportnog tržišta, a posebno sve strožim zahtevima Međunarodne železničke unije (UIC). To se, pre svega, odnosi na povećanje brzine kretanja vozova, osovinskog opterećenja, mase vozova, nosivosti kola, bezbednosti saobraćaja i sl.

S obzirom na brojne komparativne prednosti železnice u oblasti teretnog saobraćaja, i na to da teretni saobraćaj donosi glavni deo prihoda, posebna pažnja

poklonjena je teretnom kolskom parku, što je na ovom skupu i dominiralo.

Rad skupa na kojem je 82 autora i koautora izložilo 46 radova odvijao se po sledećim tematskim oblastima:

- Projektovanje i reinženjering železničkih vozila.
- Dijagnostika i održavanje.
- Eksploatacija–pouzdanost–obrazovanje.
- Tribologija.

U okviru druge tematske oblasti, Dijagnostika i održavanje, objavljen je rad pod nazivom Održavanje specijalnih plato-kola serije Smmps-tz, autora pukovnika dr Dragutina Jovanovića, redovnog profesora na Saobraćajnom smeru Vojne akademije.

Autor je u radu posebno istakao da je za potrebe odbrane zemlje izuzetno značajno prevoženje guseničnih i drugih teških borbenih vozila železnicom, čime se skraćuje vreme njihovog transfera do odredišta, čuvaju njihovi resursi i štite putne komunikacije od oštećenja. Takva sredstva prevoze se specijalnim plato-kolima, čiji je broj prilično ograničen u voznom parku JŽ.

Visok stepen imobilizacije plato-kola, pored starosti, uslovljen je brojnim drugim razlozima, a to su:

- nedostatak rezervnih delova,
- nedostatak sredstava za nabavku novih, remont i održavanje postojećih kola,
- neopremljenost kapaciteta za remont kola,
- izostanak agregatne zamene sklopova,
- neadekvatni kapaciteti tekućeg održavanja.

Ove činjenice, kao i pretpostavka da u narednom periodu neće doći do radikalnijih pomaka u uvećanju kolskog parka plato-kola, upućuje na potrebu njihovog kvalitetnog održavanja. Radi toga su i razmatrana pitanja njihove eksploatacije i održavanja.

### **Drugi jugoslovenski skup „Vodni saobraćaj u 21. veku“**

Na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, u organizaciji Odseka za vodni saobraćaj, a pod pokroviteljstvom Saveznog sekretarijata za nauku i razvoj SRJ, Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj republike Srbije i Ministarstva za saobraćaj i telekomunikacije republike Srbije, 27. i 28. novembra 2002. godine održan je Drugi naučno-stručni skup *Vodni saobraćaj u 21. veku*. Osnovna tema održanog skupa bila je razvoj i obnova vodnog saobraćaja i uključivanje u evropski saobraćajni sistem.

Skup je okupio brojne organizacije, institucije i stručnjake iz oblasti saobraćaja, saobraćajne hidrotehnike, vodoprivrede, građevinarstva, mašinstva, urbanizma, ekologije, saobraćajnog prava, ekonomije, nautičkog turizma, broskog modelarstva i drugih oblasti.

Na skupu je prezentirano 56 radova štampanih u zborniku. Radovi su, s obzirom na tematiku, svrstani u tri sekcije:

- Plovna sredstva, plovni putevi, luke i pristaništa,
- Vodni saobraćaj, navigacija, informacioni sistemi,
- Vodni saobraćaj, razvoj, pravo i ekonomija.

Pripadnici Vojske Jugoslavije objavili su sedam radova, dva rada u sekciji Vodni saobraćaj, navigacija, informacioni sistemi i pet radova u sekciji Vodni saobraćaj, razvoj, pravo i ekonomija.

Autori ovih radova bili su iz različitih ustanova VJ: Hidrografskog instituta RM VJ, Vojne akademije – Odsek logistike i Vojne akademije – Škola nacionalne odbrane.

Radovi pripadnika VJ obrađivali su različitu problematiku vodnog saobraćaja, a četiri rada su direktno vezana za oblast vodnog saobraćaja u sistemu odbrane, počev od usavršavanja informacionih sistema za podršku planiranja vodnog saobraćaja, organizovanosti saobraćajnih organa VJ u vodnom saobraćaju, prevoženja opasnih tereta i organizacije i zaštite vodnog saobraćaja u ratnim uslovima.



## prikazi iz inostranih časopisa

### SAVREMENE PROTIVTENKOVSKJE VODENE RAKETE\*

Usavršavanje protivtenkovskih vodenih raketa (PTVR), prema parametrima savremenog vođenja i sigurne komunikacijske veze, dovelo je do nove generacije sistema koji su ih svrstali među najopasnija sredstva u borbenim sukobima. One mogu da se koriste protiv raznih ciljeva sa izuzetnom preciznošću.

Sistemi oružja koji povećavaju preciznost i svoju održivost značajni su za podršku u oružanoj borbi. Protivoklopne rakete takvih sistema moraju imati sledeće karakteristike i sposobnosti: precizno gađanje pojedinačnih ciljeva; minimalnu kolateralnu štetu; obaveštavanje na bojnopolju putem linka za informisanje i mogućnost prikriivenog razmeštaja u odnosu na cilj.

Taktička fleksibilnost PTVR se povećava u odnosu na raniju opciju „opali i zaboravi“, omogućavanjem operatoru da izvrši popravke u gađanju korišćenjem dvokanalnog linka slike. Koristeći podatke o vatri i osmatranju u najnovijoj opciji operator može menjati tačku gađanja i

nakon lansiranja ili je prebaciti na drugi cilj ili odredište, ako to borbeni uslovi zahtevaju.

Najveći broj današnjih protivtenkovskih raketnih sistema pripada drugoj generaciji (tabela 1), a zasniva se na žičnim poluautomatskim komandama ili laserskom snopu za vođenje. Osnovni nedostaci tih sistema su:

- operator i platforma izloženi su protivničkoj vatri za vreme praćenja cilja i leta rakete;

- svaki manevar cilja koji prekida liniju nišanjenja, ili svako zamračenje zbog prašine, dima, itd. dovodi do promašaja;

- podbačaji se povećavaju sa povećanjem vatrenog dometa i zavise od operatora, dok ubojnost rakete zavisi od linije nišanjenja i meri se parametrom greške ugla. Ove nedostatke koriste oklopne snage u razvoju svojih sredstava za efikasnu borbu sa PTVR.

Potreba za otklanjanjem navedenih nedostataka i povećanje verovatnoće po gađanja dovela je do razvoja treće i četvrte generacije PTVR, koje se karakterišu primenom savremenih tehnoloških rešenja, kao što su slikovni i milimetarsko-talasni tragači i fiber-optičke komunikacijske veze.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 9/2002.



U tabeli 2 prikazani su sistemi PTVR iz familije SPIKE (Izrael) koji pripadaju četvrtoj generaciji. Sistem oružja SPIKE ima elektro-optičko vođenje za dan (CCD), za noć (IIR) i po svim vremenskim uslovima protiv raznovrsnih ciljeva. Koncept vođenja omogućava precizan zahvat cilja bez degradacije funkcije dometa (što je bilo karakteristično za drugu generaciju).

Sistem funkcioniše koristeći postupke tipa „opali i zaboravi“, „opali, osmatraj i koriguj“ ili „opali i upravljaj“. Sistemi SPIKE-LR i SPIKE-ER(NTD) opremljeni su dvosmernim fiber-optičkim komunikacijskim linkom, koji operatoru obezbeđuje vizuelnu sliku sa tragača rakete koja se približava cilju i omogućava mu da koriguje ili menja ciljeve ako je potrebno.

Zbog svoje visoke putanje SPIKE može da uništava i ciljeve koji se nalaze iza zaklona. Raketa leti visokom putanjom i zaobilazi svako brdo ili objekat za vreme opservacije cilja. Visoka putanja rakete, tandem bojna glava i visoka tačnost (zbog mogućnosti da operator vidi cilj za vreme leta rakete i koriguje nišansku tačku na najosetljivije mesto na cilju) omogućavaju maksimalnu verovatnoću uništavanja cilja. Rakete SPIKE obezbeđuju operatoru bezbednost, jer je udaljenost velika, a postoji i mogućnost da se potraži zaklon odmah posle lansiranja rakete.

Visoku verovatnoću pogađanja pokretnih i stacionarnih ciljeva obezbeđuju savremeni tragač, operativni postupak „opali, osmatraj i koriguj“ i usavršeni traser.

Visoki stepen unifikacije raketnih komponenata, proizvodnih linija i objekata za obuku, uz minimalno održavanje i

jednostavno rukovanje, doprinose veoma niskoj ceni sistema u životnom ciklusu.

Tabela 1

Generacije PTVR

Generacija	Period	Princip upotrebe	Primeri
I	1950-1960.	Upravljanje po liniji nišanjenja	SAGGER
II	1960-1980.	Poluautomatsko upravljanje po liniji nišanjenja	TOW, HOT, MILAN, BILL, ERYX
II+	1980-1990.	Laserski snop	VIKHR, INGWE, KORNET, HELFIRE, MOKOPA
III	1990-	Opali i zaboravi	SPIKE-MR (GILL), JAVELIN, LONGBOW, BRIMSTONE
IV	1990-	Opali i zaboravi + Opali, osmatraj i koriguj	SPIKE-LR, SPIKE-ER (NTD)

Tabela 2

Familija PTVR SPIKE

Familija SPIKE	Primena	Maksimalni domet (km)
SPIKE-MR (GILL)	Prenosni za pešadiju	2.5
SPIKE-LR	Prenosni za pešadiju	4
SPIKE-ER (NTD)	Helikopteri, kopnena vozila, mornarička sredstva	8

M. Krbavac



## LASERSKI DALJINARSKI POKAZIVAČI ZA PRECIZNO VOĐENO ORUŽJE\*

Koncept precizno vođenog oružja sposobnog da uništava pojedinačne (tačkaste) ciljeve prvim hicem, opravdao je svoje postojanje u borbi u raznim regionima sveta u poslednjih nekoliko dekada.

Sistemi zasnovani na poluaktivnom laserskom vođenju imaju u tome značajnu ulogu. Vođena municija kod takvih si-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 2002.

stema ima samonavodene glave koje primaju signal od cilja, koji generišu daljinski laserski pokazivači, i obezbeđuju upravljanje letom projektila i vođenje do osvetljenog cilja.

Ruski sistemi ove klase uključuju sisteme laserski vođenih artiljerijskih projektila Krasnopol i Kitolov 2M, kao i laserski upravljane projektele Smelchak i Santimetr.

U tim sistemima laserski daljinski pokazivač, osim njegovih osnovnih funkcija, obezbeđuje i optičko izvidanje ciljeva, merenje njihovih sferičnih koordinata i koordinata eksplozije pri opaljenju konvencionalne municije.

Ruski Istraživački institut Polyus, koji se specijalizovao u kvantum elektronici, razvija i konstantno usavršava tehnologije sečenja oštih i kružnih elemenata za čvrste lasere. Već godinama ima vodeću poziciju u Rusiji u razvoju zemaljskih laserskih pokazivača ciljeva za artiljeriju. Prvi projekat bio je laserski pokazivač 1D15, primenjen na sistemima Smelchak, Santimetr i Krasnopol i vozilo za upravljanje vatrom i komandovanje u artiljeriji 1V12M (Faltset).

Laserski daljinski pokazivač razmešten je na osmatračko mesto i povezan je sa radio-stanicom (RS2) i jednim izvršnim segmentom uređaja za sinhronizaciju (SM2) čiji je drugi (komandni) deo (SM1) razmešten na vatrenom položaju i povezan sa radio-stanicom (RS1). Laserski pokazivač meri koordinate cilja (domet, azimut i elevaciju) potrebne za proračun vatrenih zadataka. Uz to, proračunava se tzv. vreme zadržke koje korespondira sa normiranim vremenom početka iluminacionog ciklusa od trenutka

paljbe. Laserski pokazivač ima ugrađen tajmer za unošenje vremena zadržke.

U momentu opaljenja uređaj za sinhronizaciju (SM1) pomoću SM2 pokreće tajmer koji počinje odbrojavanje vremena zadržke. Program automatski izvršava operativni ciklus iluminacije (ciklus emisije lasera) sa parametrima (ponavljanje i trajanje ciklusa) u skladu sa datom municijom.

Razvoj laserskih daljinskih pokazivača je integralni zadatak koji uključuje laserske, optičke, elektronske i druge tehnologije potrebne za postizanje zahtevanih parametara laserskog kanala, kao što su emisiona energija pulsiranja, divergencija i stabilnost slike zračenja, i visoka stabilnost stepena ponavljanja u nestandardnom (cikličkom) režimu rada laserskog pokazivača. To zahteva razvoj specijalnih projektnih rešenja u vezi sa laserskim kanalom, optičkim nišanom, kanalom daljine, mehanizmima za nišanje, opštim izgledom, kanalom za poravnanje, itd.

Potreba za osvetljivačem (uključujući i prenosne) i višefunkcionalnom opremom predodredila je razvoj nove generacije zemaljskih laserskih pokazivača, kao što su 1D20 i 1D22.

Laserski pokazivač 1D20 obuhvata periskopski primopredajnik, tronožac i akumulator sa provodnikom za napajanje, jednostavan je za rukovanje i ima sledeće projektne karakteristike:

- glatkocevni mehanizmi za ručno nišanje omogućavaju praćenje stacionarnih i pokretnih ciljeva;

- trolinijski digitalni indikator (za digitalno čitanje daljine, azimuta i elevacije) u levom „slepom“ okularu čija sve-

tlost ne zavisi od intenziteta spoljašnjeg osvetljenja;

- praktično trenutni rad (0,3 s) u režimu pojedinačnog merenja daljine (R mode) nakon aktiviranja tastera za početak rada;

- merenje daljine i očitavanje u odnosu na svaki impuls emitovanja u režimu osvetljavanja cilja (I mode), što služi za proveru karakteristika nišanja operatora;

- okretanje primopredajnika po azimutu bez smanjenja tačnosti očitavanja azimuta;

- automatsko generisanje do 6 ciklusa osvetljavanja (posle odbrojanja zadržke), sa fiksnim intervalom od 10 s između ciklusa, što omogućava jednom laserskom daljinarskom pokazivaču da podrži vatru baterije sa 6 oruđa, sa ritmom od jednog zrna na 15 s (za municiju Smelchak i Santimetr) ili jedno zrno na 25 s (za municiju Krasnopol).

Laserski pokazivač 1D22 je poboljšana rasklopiva verzija pokazivača 1D20, koji se može ugraditi na komandna vozila i vozila za upravljanje vatrom artiljerije, i ima sledeće specifičnosti:

- optički nišan sa velikim povećanjem (15 $\times$ , 4°) i široko vidno polje (6 $\times$ , 10°);

- domet osvetljavanja cilja povećan je za 1,4 puta, a merenje ugla elevacije i granice nišanja proširene su za 1,3 puta;

- odvojena izrada sistema za određivanje azimuta (pošto se on ne koristi kada je primopredajnik ugrađen u obrtnu kupolicu vozila za upravljanje);

- ugrađen električni pogon i stepen elevacije vrednosti senzora za povratnu vezu radi daljinskog upravljanja po azimutu sa upravljačkog vozila.

Laserski pokazivač 1D22S je modifikovana verzija pokazivača 1D22. On se koristi kao izviđački uređaj i instrument

za upravljanje vatrom na pokretnim nosačima. Za njega je karakterističan IC projektor nišanske tačke (povezan sa 15-kratnim nišanskim kanalom sa otvorom objektiva od 60 mm), što omogućava povezivanje 1D22S sa noćnim uređajem za osmatranje, čime se obezbeđuju i borbeno dejstva noću.

Pogodnost serijskih povezivanja omogućava povezivanje uređaja 1D20, 1D22 i 1D22S sa kompjuterima za automatski prenos podataka o koordinatama i generisanje upravljačkih komandi.

Laser 1D26 izrađen je kao prenosni uređaj. Za razliku od prethodnih modela on nema periskopsku konstrukciju sa čeonim ogledalom, manji je i lakši i može se povezati sa noćnim i toplotnim osmatračkim kanalom. Osnovni parametri laserskog kanala lasera 1D26 isti su kao kod 1D20 i 1D22. Skidajući noćni osmatrački deo (sa pretvaračem slike treće generacije) koji je uključen u njegov komplet, omogućava otkrivanje ciljeva tipa tenka noću na udaljenostima od 900 do 2000 m, u zavisnosti od intenziteta ulazne svetlosti.

Laserski daljinarski pokazivač, takođe, poseduje:

- standardne brzospajajuće i razdvajajuće jedinice za spajanje sistema za vođenje i tronošca i primopredajnika i sistema za vođenje;

- ugrađene jedinice izvršnog segmenta sistema za sinhronizaciju, kao i IC projektor nišanske tačke za spajanje sa sklopom za noćno osmatranje;

- indikaciju odbrojanja zadržke;

- interfejs RS-232.

Drugi važan zadatak koji može da izvršava zemaljski laserski daljinarski pokazivač jeste usmeravanje naoružanja

u vazдушnom prostoru sa zemaljskih osmatračkih stanica. U tom slučaju emitovanje artiljerijskog laserskog pokazivača je dovoljno za zahvat cilja od vodene aviomunicije, omogućujući nosaču u vazдушnom prostoru da izvrši lansiranje na bezbednom rastojanju.

Treba naglasiti da današnji razvoj ne obuhvata samo autonomne uređaje tipa laserskog daljinskog pokazivača, već višefunkcionalne integralne prenosne sisteme za upravljanje vatrom u kojem je laserski daljinski pokazivač, kao osnovni element, organski spregnut sa savremenim sredstvima komunikacija i orijentacije (GPS, kompas, žirokompas) i mikrokomputerima.

*Osnovne karakteristike laserskih daljinskih pokazivača*

Parametar	1D20	1D22	1D26
Borbena masa (kg)	36,5 (29)	43,5 (36)	18
Optički nišan:			
– uveličavanje	10 x	15 i 6 x	10 x
– vidno polje	5°	4 i 10°	5°
Maksimalni domet (m):			
– osvetljavanja ciljeva tipa tenka	≥ 5000	≥ 7000	≥ 5000
– izmeren	≥ 20 000	≥ 20 000	do 30 000
Granična greška merenja dometa (m)	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Napon struje (V)	22–29	22–29	22–29
Temperaturni interval rada (°C)	±50(–40 do +60)	±50(–40 do +60)	–40 do +50

M. Krbavac



## RAZVOJ VIŠENAMENSKIH BRODSKIH TOPOVA SREDNJEG KALIBRA\*

Višenamenski brodski topovi srednjeg kalibra deo su integralnog sistema naoružanja mornarice i znatno doprinose

stabilnosti i borbenoj efikasnosti površinskih brodova. Karakterišu se kratkim vremenom aktiviranja, visokim režimom i preciznošću vatre, kao i mogućnošću brze koncentracije vatre na kritične ciljeve i ostvarivanjem neprekidne vatre u svim vremenskim uslovima, danju i noću.

Brodski topovi srednjeg kalibra projektovani su da:

- obezbede, zajedno sa drugim naoružanjem, protivavionsku i protivraketnu odbranu brodova i drugih plovniha sredstava;
- uništavaju preostale i otkrivene ciljeve na obali i moru nakon dejstva avijacije i raketa;
- zaštite obalu i baze od napada sa mora kao i tranzit svojih brodova i plovniha sredstava u priobalnim vodama i minskim poljima.

Mogućnost brodova da izvršavaju ovakve zadatke zavisi od kalibra, municije, vatrenog dometa i drugih karakteristika brodskih topova.

Dosad su za potrebe Ruske mornarice razvijeni sledeći brodski topovi srednjeg kalibra: sistem 100 mm AK-100, 130 mm AK-130 i sistem nove generacije A190 (E).

Sistem AK-100 razvijen je za površinske brodove klase patrolnih čamaca i većih, i udovoljavao je tadašnjim zahtevima.

Sistem 130 AK-130 razvijen je istovremeno sa AK-100 a projektovan je tako da može da uništava sredstva za napad iz vazdušnog prostora, uključujući i protivbrodske rakete. Ovaj sistem je pretendovao da zadovolji vrlo visoke zahteve, prvenstveno vrlo visok režim vatre, što je dovelo do povećanja njegove mase. Zbog toga je mogao da se ugrađuje samo na površinske brodove većeg deplasmana.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

Analiza lokalnih konflikata koji su se odigrali krajem 20. veka, kao i promena prioriteta u zadacima višenamenskih brodskih topova pri uništavanju ciljeva na obali i moru, zahtevali su promene i u njihovom razvoju. Topovski sistemi kalibra od 76 do 130 mm ugrađuju se sada na brodove raznih deplasmana, što ukazuje na to da se i na manje površinske brodove mogu ugraditi topovi većeg kalibra.

Sistem 100 mm A190(E) koji je razvio Centralni istraživački institut Burevestnik, danas se serijski proizvodi za fregate indijske mornarice. Zasniva se na novim tehnološkim i projektnim rešenjima i predstavlja jedno od najboljih oružja u svojoj klasi. Zbog svojih karakteristika (male mase i gabarita) moguće ga je ugraditi i na brodove malog deplasmana, kao zamenu za topove 76 mm.

Uvođenje topova 100 mm A190(E) umesto AK-176M dovodi do trostrukog povećanja borbene efikasnosti broda, zbog:

- povećanja vatrenog dometa (oko dva puta);
- porasta ubojnosti projektila na cilju za 1,8 puta;
- smanjenja vremena reagovanja, zbog automatizacije pojedinih operacija, kao što su priprema za gađanje, izbor municije, preglednost dejstva mehanizma pri gađanju i prikaz podataka na monitoru operatora.

Top A190(E) takode je superioran u odnosu na top AK-100 prema sledećim parametrima osnovnih karakteristika:

- režim vatre veći oko 1,5 puta;
- preciznost veća oko tri puta;
- povoljnija masa, dimenzije i funkcionalne karakteristike;
- visok stepen automatizacije pripreme za otvaranje vatre i upravljanja.

Sistem A190(E) koristi savremene vođene raketne projektele velikog dometa i pojačane ubojnosti, opremljene dvorežimskim udarno-blizinskim upaljačima za dejstvo iznad površine cilja. Uz korišćenje merača brzine zrna na ustima cevi, to omogućava povećanje borbenih mogućnosti u borbi protiv ciljeva na moru, obali ili u vazдушnom prostoru.

Očekuje se da topovski sistem 100 mm A192(E), koji je trenutno u razvoju, uništava prvenstveno ciljeve na moru i priobalskom pojasu, što će se lako realizovati s obzirom na visok režim vatre. Masa od 30 do 35 t (uključujući dopunsko punjenje municije), mogućnost opaljenja vođenih projektila i integrisanje sa GPS, učiniće ga jednim od najkonkurentnijih topu 127 do 130 mm. Pored toga, kupole na A190(E) i A192M(E) izradene su u steli tehnologiji radi minimiziranja radarske slike broda.

Najnoviji razvoj brodskih topova srednjeg kalibra usmerava se na:

- dalju modernizaciju topova koji su već u upotrebi i u razvoju sredstava za povećanje tačnosti, pouzdanosti, autonomnosti, smanjenje mase, uvođenje novih osnovnih elemenata sistema za upravljanje vatrom sa radarskim i optroničkim vezama;
- promenu prioriteta u vatrenim zadacima radi uništavanja ciljeva na moru i obali;
- povećanje preciznosti upotrebom projektila vođenih u završnoj putanji leta;
- univerzalni razvoj topova 100 mm za višestruke ciljeve;
- razvoj specijalnih projektila (velikog dometa, kasetnih, samonavodenih, itd.) za topove 130 mm, radi obezbeđenja

uspešne vatre po površinskim i tačkastim ciljevima na obali i moru, a koji su velike brzine i male radarske slike;

– povećanje borbene efikasnosti i stabilnosti novih površinskih brodova ugradnjom višenamenskih topova povećanog kalibra.

M. Krbavac



## BORBENI AVION MiG-29M2\*

Uprkos velikoj popularnosti koju je avion MiG-29, kao „ruski F-16“, stekao osamdesetih i početkom devedesetih godina na ruskom i inostranom tržištu, MiG-29 je proteklih godina bio potisnut od familije višenamenskih aviona Su-27/30. Međutim, u nameri da i dalje zadrži interesovanje potencijalnih kupaca, kompanija RSK-MiG je, u međuvremenu, nastavila da predstavlja veliki broj poboljšanih varijanti. Poslednja faza u razvoju familije aviona MiG-29 nastala je radikalnom nadogradnjom varijanti MiG-29 SMT i UBT. One u sebi sadrže znatna poboljšanja i trebalo bi da, na tržištu, aktuelizuju ovaj još uvek moćan i značajan borbeni vazduhoplov.

Dve poslednje verzije aviona nose oznake MiG-29M2 i MiG-29 OVT. MiG-29M2 ili MiG-29 MRCA – Multi Role Combat Aircraft, jeste višenamenski borbeni avion dvosed, dok je MiG-29 OVT (OVT – otklanjajući vektor potiska) jednosed. MiG-29M2 poseduje potpuno novu nosnu sekciju trupa u koju je smešten Fazotronov višesmerni radar Žuk-M i kokpit sa dva sedišta. Dizajn i ergonomija kabine jasno ukazuju na to

da se radi o borbenom, a ne školskom dvosedu. Izgled prednje kabine M2 identičan je izgledu kabine MiG-29 OVT, a pretpostavlja se da će takav biti i enterijer jednoseda M1.

Radar Žuk ima mogućnost istovremenog praćenja 10 ciljeva uz osvetljavanje četiri cilja. Pilotu u prednjoj kabini na raspolaganju su dva kolor višefunkcijska displeja dimenzija 152 × 203 mm, dok su navigatoru-operatoru oružnih sistema u zadnjoj kabini dostupna tri displeja (dva istih dimenzija i jedan veći u visini očiju). Kabina je opremljena komandama HOTAS (upravljanje prekidačima koji se nalaze na upravljačkoj palici i ručici gasa) i kompletno analognih instrumenata koji služe kao rezerva u slučaju otkaza displeja. Na prednjoj strani trupa nalazi se poluuvlačeća cev L oblika, koja služi za dopunu aviona gorivom u vazдушnom prostoru. Na izložbi MAKS 2001 saopšteno je da će za eventualne serijske avione MiG-29M2 biti ponudeno sklapajuće krilo sa palubne verzije MiG-29K. MiG-29M2 ne poseduje dopunske uvodnike vazduha sa gornje strane korena krila, što je karakteristika originalnih dvadesetdevetki.

Iako je ovaj avion prividno dizajniran za potrebe malezijskog ratnog vazduhoplovstva (Malezija već nekoliko godina poseduje skvadron aviona MiG-29 osnovne varijante), cilj proizvođača su i druge zemlje poput Alžira, Libije ili Sirije, kojima je potreban višenamenski borbeni avion većeg doleta. Prototip MiG-29M2 nastao je modifikacijom četvrtog prototipa aviona MiG-29M na kojem su svojevremeno testirane fly-by-wire komande. Prvi put poleteo je septembra 2001. godine.

\* Prema podacima iz časopisa AIR International, maj 2002.



Kompanija RSK MIG je imala dovoljno samopouzdanja da prototip nove verzije, samo dve nedelje nakon prvog leta, predstavi na aviosalonu u Langkaviju u Maleziji. Zatim je, decembra 2001. godine isti avion, u unutrašnjosti trupa transportera AN-124 Ruslan, prevezen na izložbu u Venecuelu, kako bi bio predstavljen venecuelanskom vazduhoplovstvu (potencijalni kupac 18 do 24 aviona koji pripadaju ovoj kategoriji). Ovi potezi dovoljno svedoče o tome koliko je kompaniji RSK-MIG stalo do izvoza.

Međutim, sveukupno posmatrano, MiG-29M2 ima slične performanse kao i prethodni modeli iz serije MiG-29, ali sa povećanim vremenom ostajanja u vazdušnom prostoru zahvaljujući sistemu za dopunu gorivom.

S obzirom na to da je ovaj avion dvosed, i da ima operatora oružnih sistema, kao i mogućnost nošenja najraznovrsnijih preciznih ubojnih sredstava kategorije vazduh-vazduh i vazduh-zemlja, MiG-29M2 bi mogao da bude vrlo interesantan na tržištu. Ukupno ima 10 podvesnih tačaka na kojima u konfiguraciji vazduh-vazduh nosi rakete AA-10, AA-11 i AA-12 ili u konfiguraciji vazduh-zemlja/površina projektele AS-10, AS-14 i AS-17. Sredstva koja se koriste pri dejstvu po zemaljskim objektima mogu imati lasersko i televizijsko vođenje, a mogu se koristiti i protivradarske rakete.

Prototip na izložbi MAKSS 2001 bio je izložen sa protivbrodskim raketama Kh-35 (AS-20) podvešenim pod unutrašnje krilne nosače. Maksimalan korisni teret aviona MiG-29M2 je 4500 kg. Pretpostavlja se da bi avionika mogla da bude po izboru kupca, s tim da bi se najverovatnije zadržala ruska procesorska jedinica Ts-90, poboljšani kombinovani

IC/TV/laserski sistem OSL-M i ruska kaciga sa integrisanim nišanom. U obzir dolazi i instaliranje inercijalnih platformi i opreme za elektronska dejstva proizvedenih na Zapadu.

S. V.



## **POVEĆANJE BORBENIH SPOSOBNOSTI LOVCA Su-30MK\***

Na aeromitingu Kina-2002, koji je održan u novembru mesecu, prikazan je višenamenski lovac Su-30MK, najnoviji zajednički proizvod avio-industrije iz Komsomolska na Amuru i projektnog biroa Suhoj. Su-30MK, naoružan precizno vodenim oružjem vazduh-zemlja, uspešno je prošao program probnih letova, i sada se serijski proizvodi i izvozi.

Na Su-30MK primenjene su najnovije ruske tehnologije. Avion ima izvanredne aerodinamičke karakteristike, savremenu avioniku, moćne i ekonomične motore i pojačanu konstrukciju u odnosu na svoj prototip. Dolet aviona, bez dodatne dopune gorivom, premašuje 3000 km, i vreme leta od 4 časa. Radi povećanja doleta i vremena patroliranja, Su-30MK ima mogućnost i dopunjavanja gorivom u toku leta.

Borbeni avion Su-30MK namenjen je za uništavanje ciljeva u vazdušnom prostoru, na zemlji i na površini mora, a opremljen je sistemima za otkrivanje ciljeva i sistemima vođenog oružja za upravljanje raketama i topovskim naoružanjem razmeštenim na 12 pajlona. Po-

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 2002.



red toga, avion može da se koristi kao izviđačka platforma u vazдушnom prostoru.

Oružja vazduh-vazduh na avionu čine visokomanevarske rakete bliskog dometa R-73, razne verzije raketa srednjeg dometa R-27 i rakete sa aktivnim radarskim samonavedenjem tipa „opali i zaboravi“ RVV-AE.

Do poboljšanja borbenih mogućnosti lovca Su-30MK došlo je zahvaljujući karakteristikama nekoliko tipova precizno vođenih raketa vazduh-zemlja i protivbrodskih raketa Kh-29T/TE/L i Kh/31A/P, raketama srednjeg dometa Kh-59ME, namenjenim za uništavanje prioritetnih ciljeva na zemlji sa unapred snimljenim koordinatama i aviobombama KAB-1500KR/L i KAB-500KR.

Supersonična raketa Kh-31A, koja ima aktivan radarski sistem vođenja, efikasno je protivbrodsko oružje sa brzinom leta od 1000 m/s, što je čini mnogo manje osetljivom na presretanje sistema PVO. Avion Su-30MK može nositi do 6 ovih raketa.

Za uništavanje ciljeva na zemlji avion može da se naoruža nevođenim bombama i raketama, sa ukupnom masom do 8000 kg i automatizovanom upotrebom. Do tipičnih napada na ciljeve na zemlji dolazi pri poniranju, uspinjanju i navigacionom načinu bombardovanja. Tom prilikom sistemi upravljanja oružjem aktiviraju bombe i lansiraju rakete u skladu sa trajektorijom leta aviona, tipom naoružanja i koordinatama cilja, omogućavajući bezbedno vraćanje aviona, sprečavanje sukoba sa oružjem na zemlji i štete od fragmenata bombi i raketa.

Su-30MK je opremljen radarima za dejstva tipa vazduh-površina i vazduh-vazduh. Upoređujući ga sa svojim prethodnikom Su-27, kod ovog aviona radar-

ske karakteristike su znatno poboljšane. Avion ima dodatne kompjutere i opremu za kanal vazduh-površina, povezan sa najnovijim raketama RVV-AE i Kh-31A, a može dejstvovati na dva cilja istovremeno. Radar može da otkriva i prati ciljeve u vazдушnom prostoru na rastojanju do 100 km i površinske brodove na rastojanju do 250 km, zavisno od njihovog radarskog preseka.

Pored radara, avion je opremljen IC stanicom za pretraživanje i praćenje, koja je namenjena za otkrivanje ciljeva pomoću njihovog IC odraza. Zavisno od vremenskih prilika i uslova elektronskog ometanja, radar ili IC stanica, ili oboje, koriste se za tačno određivanje koordinata cilja i parametara leta i vođenje raketa. U bliskoj borbi (u dometu do 6 km) koriste se raketne glave za samonavedenje i pilotov vizuelni kontakt sa ciljem. U tom slučaju i radar i IC stanica funkcionišu na osnovu algoritama velike brzine radi obezbeđenja brzog zahvata i uništenja cilja.

Laserski daljinar (deo IC stanice) koristi se za tačnije određivanje udaljenosti ciljeva u vazдушnom prostoru i na zemlji, i za obeležavanje ciljeva na zemlji radi upravljanja laserski vođenim oružjem.

Oprema za upravljanje letom i navigaciju omogućava avionu Su-30MK dejstvo u svim vremenskim uslovima, danju i noću. Avion je opremljen savremenim komunikacijskim i navigacionim sistemima. Glavni senzor, koji se koristi za pozicioniranje aviona, može se korigovati sistemom za satelitsku navigaciju, vizuelnim podacima i radio-navigacionim sistemom. Navigacioni sistem omogućava automatski let i presretanje cilja, vođenje do cilja prema podacima sa zemaljskih stanica ili ugrađenog sistema za otkriva-

nje cilja i povratak do svoje baze i prilaz za prizemljenje. Programi za presretanje optimizirani su po parametrima potrošnje goriva i vremena, i omogućavaju nekoliko načina supersoničnih i podsoničnih presretanja cilja. Algoritmi sistema navigacije koriste se za vreme prilaza zoni cilja, dok se algoritmi sistema za upravljanje oružjem koriste za uništenje cilja.

Radi korišćenja precizno vođenog oružja sa televizijski i laserski vođenim glavama protiv ciljeva na zemlji i površini mora, ugrađen je sistem za upravljanje raketama vazduh-površina SUV-P. On je ugrađen oko jedinstvenog kompjuterskog modula velike brzine. Pored upotrebe oružja, sistem izvršava deo navigacionih zadataka i formira informaciono-upravljačko polje pilotske kabine. Sistem SUV-P uključuje i satelitski navigacioni terminal i sistem za informacije i zapis slike u memoriju kompjutera.

Kokpit sa dva sedišta ima višefunkcionalne displeje u četiri boje (dva za „prednjeg“ i dva za „zadnjeg“ pilota) koji daju informacije o letu, taktičkoj situaciji i gađanju. Višefunkcionalni tasteri, smešteni po obodu indikatora, koriste se radi prikaza raznih informacija, zavisno od načina leta i namere pilota. Prednji pilot je snabdeven i HUD jedinicom.

Avion poseduje savremeni paket opreme za protivelektronska dejstva. Radar za upozorenje sa Su-27 zamenjen je savremenijim i osetljivijim u odnosu na potencijalne opasnosti. Novi paket uključuje opremu za vođenje protivradarske rakete Kh-31P. Takođe, podaci za elektronsko izviđanje mogu da se prikupljaju i pohranjuju u sistemu za zapis podataka, radi analize nakon leta. Radi pariranja ra-

darima i raketama PVO, Su-30MK je opremljen aktivnim sistemom za ometanje (sa antenama smeštenim na kraju krila) i raspršivačem sa 98 patrona. Pripreme za let su, takođe, pojednostavljene. Manuelne operacije unosa podataka sada se izvršavaju pomoću sistema PC. Podaci za zadatak leta (rute leta, koordinate cilja, karakteristike upotrebljivanih raketa i bombi) predstavljaju ulaze za taj sistem, a zatim se prenose u opremu avionike aviona pomoću modula sa memorijom. Plan zadatka označava i sektore protivničke PVO i osmatračke zone radara na zemlji. Naoružanje koje se koristi odabira se u skladu sa vrstom cilja, a snimljeni podaci o letu interpretiraju se u zemaljskim PC sistemima ARM-TSV. Organiski softver omogućava analizu zadatka leta, određuje status sistema aviona i procenjuje dejstvo posade i rezultate upotrebe naoružanja.

Lovac Su-30MK ima visoke mogućnosti modernizacije. Radi poboljšanja manevarskih sposobnosti avion može da se opremi motorima sa upravljivim vektorom potiska i krilima čija je strela usmerena napred. Njegove mogućnosti dejstva vazduh-vazduh i vazduh-površina mogu se povećavati novim fazno-usmerenim radarima i sistemom indikacije sa povećanim brojem multifunkcionalnih indikatora.

Nesumnjivo je da će se višenamenski lovac Su-30MK i dalje najviše izvoziti, a predstavljajući i osnovu za ruske proizvodne programe narednih godina.

M. Krbavac



## HELIKOPTERI U 21. VEKU\*

Najnovija istraživanja i tehnološka dostignuća svrstala su helikoptere u sisteme sa novim mogućnostima za njihov dalji razvoj i primenu za vojne potrebe.

Očigledno je da će vojni helikopteri ojačati svoj status kao efikasna, visokotehnološka mobilna komponenta za sve rodove i službe oružanih snaga. Njihov veliki potencijal može efikasno da se eksploatiše ukoliko se izabere strategija razvoja u postojećim vojnim i ekonomskim uslovima. Ključni elementi te strategije (za period od najmanje 15 do 20 godina) obuhvataju analize, sistemske procene i izbor prioriteta za savremeni razvoj helikoptera (tip, osnovne karakteristike i borbene mogućnosti). Taj veoma važan zadatak može biti uspešno izvršen samo saradnjom vojnih specijalista, istraživača, inženjera i razvojnog kadra projektnih biroa za helikoptere i instituta za industrijska istraživanja.

U Rusiji je za poslednjih 40 godina proizvedeno desetine hiljada helikoptera za vojne i civilne potrebe, koji se uspešno koriste u preko 80 zemalja sveta. Takva tendencija očekuje se i ubuduće, jer im tehničke i borbene karakteristike obezbeđuju konkurentnost na međunarodnom tržištu.

Izbor prioriteta i faza razvoja novog helikoptera mora biti urađen na osnovu celine sistema kriterijuma koji karakterišu tip helikoptera, kao što su uslovi razvoja, proizvodnje, upotrebe, primene, izvoza, mogućih rizika kupca za vreme razvoja prototipa, itd.

Prvi kriterijum tog izbora je nedostatak operativnih sposobnosti helikop-

terске flote u svim klasama borbenih zadataka (razlika između zahtevane efikasnosti helikoptera u budućem ratu i stvarnih mogućnosti postojeće helikopterske flote u razmatranom periodu).

Prema iskustvima u razvoju aviona, postoje dve dobro definisane faze: faza koncepta dokazivanja i eksperimentalnog razvoja i pokazivanja (tzv. faza akumulacije istraživačkih i tehničkih potencijala) i faza aktuelne izrade.

Novi helikopterski koncept služi kao upravljački i organizacioni vodič za sve naredne istraživačke, razvojne i proizvodne aktivnosti. Ukoliko ključni elementi koncepta nisu dovoljno proučeni i shvaćeni moguće su pogrešne odluke u izboru helikopterskog projekta.

Opšta ideja (ili kompleks ideja i osnovnih principa) razvoja i primene helikoptera integriše operativno-taktičke i istraživačko-tehničke inovacije za određeni period, i služi za rešenje kontradikcija (ili glavnog problema) između nacionalnih vojnih potreba i proizvodnih, tehničkih i ekonomskih mogućnosti.

Problem ostvarenja koncepta uključuje koordinaciju svih komponenta koncepta, tj. operativno-taktičkih, istraživačko-tehničkih i proizvodno-ekonomskih zahteva koji su ključni za određivanje tehničkih i taktičkih karakteristika savremenog helikoptera, kao i načine njihovog ostvarenja. Rešenje tog problema pomaže da se pokaže kako glavna načela razvoja sredstava za oružanu borbu mogu da se uvežu u sistem visokog nivoa naučnog i tehničkog procesa.

Analiza zakonitosti oružane borbe i principa ratne veštine pomaže u definisanju osnovnih borbenih mogućnosti helikoptera, kao što su vatrena moć, pokretljivost i održivost u borbi, kojima se u

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli 2002.

potpunosti definiše borbena efikasnost helikoptera. Postepen rast efikasnosti helikoptera obezbeđuje se stalnim poboljšanjem navedenih mogućnosti u novim uslovima njegove borbene upotrebe.

Današnji helikopteri mogu da se klasifikuju kao borbeni, borbeno-transportni, višenamenski i helikopteri specijalne namene. Svaka klasa savremene helikopterske flote ima svoje osnovne tipove koji se koriste za razvoj različitih verzija. Za narednih 15 do 20 godina, znatan broj taktičkih zadataka biće dodeljen borbenim helikopterima, kao što su dobro poznati Mil Mi-24, Mi28N, Kamov Ka-50 i Ka-52. Njihova konstrukcija i osnovne karakteristike verovatno se neće radikalno menjati. Ograničavajući faktor je nedostatak sredstava za nabavku novih helikoptera i istraživačko-razvojne projekte za njihovu sveobuhvatnu modernizaciju. Za sada, najprihvatljiviji način za razvoj borbenih helikoptera jeste poboljšanje performansi, tehničkih karakteristika i borbenih mogućnosti postojećih tipova. Međutim, u povoljnim uslovima mogućnosti borbenih helikoptera mogu da se prošire novim sredstvima (prvenstveno u lakoj klasi) sposobnim da prihvate izazove koji se nameću u lokalnim ratovima i oružanim sukobima.

Ruska flota borbenih transportnih helikoptera uglavnom se sastoji od helikoptera MI-8 srednje klase i teških podizača Mi-26. U narednih 15 do 20 godina ta flota će biti generalno obnovljena kako bi udovoljila savremenim zahtevima. Procena, urađena na osnovu sistemskih kriterijuma, pokazuje da nova familija savremenih srednjih helikoptera ima prioritet.

Helikopter Mi-26 je po parametrima efikasnosti transporta i borbenim mogućnostima najbolji u svetu, a iz analiza ino-

stranih projekata teških helikoptera vidi se da se u skoroj budućnosti njegove mogućnosti neće prevazići. Istovremeno, efikasnost helikoptera Mi-26 može se povećati za 150 do 200% opcijom paketa modernizacije koju je razvio Moskovski helikopterski zavod.

Jedna od mana ruske helikopterske flote je manjak savremenih lakih višenamenskih helikoptera sa maksimalnom nosivošću od 6000 do 6500 kg. Međutim, ta se situacija menja nabolje razvojem helikoptera Mi-34, Ka-60, Ka-226 i onih čiji su radovi u toku, kao što su Ka-115, Ka-215, Mi-54, Mi-52 i drugi. Familija lakih helikoptera Ka-60 vrlo je perspektivna.

Generalno, zahtevi ruskih oružanih snaga za lakim helikopterima (koji će imati dva tipa) već su specificirani. Međutim, na njihovu konačnu konfiguraciju uticaće:

- raspoloživost domaćih lakih motora snage od 330 do 590 kW, sa visokim gasnodinamičkim parametrima koji zadovoljavaju zahtevanu specifičnu potrošnju goriva i masu;

- visoka pouzdanost i dug vek upotrebe trupa, motora i dinamičkih elementa sistema, na nivou najboljih inostranih lakih helikoptera;

- poboljšanje sigurnosti flote za dva do tri puta, uvođenjem savremenih tehničkih rešenja i „pametne“ tehnike za upravljanje letom;

- smanjenje troškova razvoja, proizvodnje, nabavke i operativnih troškova, poboljšanjem aerodinamičke efikasnosti, efikasnosti goriva i smanjenjem mase.

U sledećoj dekadi u upotrebu će se uvoditi mnogi novi laki helikopteri, što će biti posledica zahteva tržišta.

Borbene mogućnosti helikoptera, kao što su vatrena moć, pokretljivost i održivost u borbi zadržaće svoj konceptijski status i značaj za sve tipove helikoptera i njihovu taktičku primenu u 21. veku. U isto vreme, novi faktori i uslovi koji utiču na vojni razvoj, uključujući naučni i tehnički progres u raznim oblastima, pomažu da se formulišu neka prioriteta obeležja savremenih borbenih helikoptera. Jedan od značajnih faktora je konkurentnost izvoznih verzija čiji koncept zavisi od osnovnih karakteristika i zahteva tržišta. Ti faktori moraju optimalno da se sagledaju u fazi razvoja, jer oni određuju ulogu i mesto borbenog sredstva u sistemu naoružanja i vojne opreme, njihovoj serijskoj proizvodnji i izvoznim kontingentima.

Proizvodnja savremenih helikoptera karakterisaće se nivoom perfekcije i aerodinamike, mase, gasne dinamike, operativnih, funkcionalnih i informaciono-softverskih rešenja. Helikopteri mogu da se razvijaju u različitim strukturnim i aerodinamičkim konfiguracijama. Međutim, sigurno je da tradicionalni singl-rotor i koaksijalna konfiguracija neće biti zamenjeni.

Primarna svojstva helikoptera su mogućnosti vertikalnog podizanja, lebdenje i prizemljenje u raznim fizičkim, geografskim i klimatskim uslovima, i let na visinama od 3500 do 4000 m. Te mogućnosti im obezbeđuju visoku borbenu i transportnu efikasnost.

Dolet savremenih helikoptera (400 do 500 km) sa normalnom korisnom nosivošću za sada je nedovoljan za efikasno i ekonomično izvršenje mnogih zadataka. Savremeni helikopteri moraju da imaju veći dolet za 50 do 100%, što se može

postići smanjenjem potrošnje goriva (poboljšanjem aerodinamike trupa, sistema za podizanje i upravljanje, efikasnijim motorom), i mase helikoptera (prvenstveno helikopterskih sistema, opšte i specijalne opreme).

Bolja pokretljivost savremenih helikoptera zahteva veću maksimalnu i krstareću brzinu leta. Razvoj helikoptera velike brzine zavisiće, uglavnom, od napora industrije da razvije glavne rotore za velike brzine i obezbedi neophodnu pouzdanost, vek upotrebe i potrebne nivoe sigurnosti leta. Generalno, povećanje brzine leta helikoptera, posebno borbenih, značajan je pravac u njihovom razvoju i zahteva velika ulaganja.

Drugo kritično usmerenje uključuje rad na smanjenju helikopterske IC, akustičke i radarske slike, kao i lakše rukovanje i održavanje helikoptera.

Značajna osobina u proizvodnji savremenih helikoptera treba da bude visok nivo njihove automatizacije pri izvršenju borbenih zadataka i upotrebi naoružanja, kao i obezbeđenje sigurnosti leta primenom raznih „pametnih“ sistema avionike.

M. Krbavac



## LETEĆE LABORATORIJE ZA ISPITIVANJE SISTEMA AVIONIKE\*

Razvoj sistema savremene avionike suočava se sa osnovnim kontradikcijama između kompleksnosti i visokog nivoa zahteva za njihovom efikasnošću, s jedne

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2002.

strane, i strogih ograničenja za dozvoljeni tehnički rizik, s druge strane, što nameće velike potrebe za optimizacijom i hardvera i softvera sistema avionike. Stepentehničkog rizika ugrađen u prototipove naoružanja i vojne opreme i konsekventno sistema avionike, koji obezbeđuje efikasnost perspektivnog naoružanja i vojne opreme, danas je veoma visok zbog ograničenog broja sveobuhvatnih testova, što je posledica nedovoljnih ulaganja.

Tradicionalni putevi za obezbeđenje visokog kvaliteta sistema avionike sadrže, pre svega, njihovu optimizaciju za vreme ispitivanja u laboratorijama na zemlji, i matematičko i fizičko modeliranje. Za te svrhe razvijen je paket programa i procedura koji omogućavaju da se obavi značajan broj testova sistema avionike na zemlji. Međutim, mora se priznati da je otklanjanje grešaka u sistemima avionike raznih aviona u zemaljskim uslovima nedovoljno, i ne može da osigura zahtevani kvalitet.

Iskustva govore da je, radi obezbeđenja visokog nivoa optimizacije sistema avionike, potrebno celovito izučavanje integrisanih sistema i njihovo testiranje u uslovima koji su maksimalno slični realnim. Za te potrebe koriste se leteće laboratorije koje su opremljene neophodnom testnom i servisnom opremom.

Testovi koji se primenjuju u letećim laboratorijama omogućavaju procenu funkcionisanja sistema avionike u skladu sa uticajem glavnih činilaca, koji ne mogu da se adekvatno simuliraju na zemaljskim ispitnim stanicama. Među tim faktorima su nestabilna putanja leta, vibracije, približavanje objektima za izvidanje, sekundarna kolebanja radarskog polja, itd.

Istovremeno, upotreba letećih laboratorija podrazumeva ne samo stvaranje adekvatnih uslova za sisteme avionike, već i potreba da se dobiju informacije koje se ne mogu dobiti na drugom mestu. Karakterističan slučaj je podrška prvobitne informacije sistema avionike, tj. generisanje početne informacije o ciljevima i pozadini, što je neophodno za efikasnu akviziciju, prepoznavanje i klasifikaciju cilja.

Odskora, različite metode za prikrivanje radara i deformaciju radarske slike vojnih objekata široko su primenjivane: menjana je arhitektura oblika, sprečeni su sopstveni lomovi, uklonjene su ugaoformacije, sistemi oružja i laseri su prikrivani, korišćeni su antiradarski premazi i maske širokog spektra. Dodatnih deformacija radarske slike i drugih informacija evidentno je bilo u operacijama neprijatelja u složenim zemljišnim i priobalnim uslovima.

Kompletna i pouzdana informacija o karakteristikama cilja (ukupna i diferencijalna efektivna površina refleksije, radarski profili, polarizacione karakteristike, itd.) ponudnog prototipa naoružanja i vojne opreme može da se dobije samo u letećoj laboratoriji opremljenoj realnim ili njima analognim sistemima avionike. Mnogi problemi uočavaju se za vreme razvoja savremenih, kontinualno ispitivanih sistema vođenja na avionu, koji su višenamenski po parametrima ciljeva i unificirani po parametrima nosača.

Danas su zahtevi za otpornost na buku, selektivnost i tačnost vođenja sistema avionike drastično pooštreni, što zahteva i razvoj odgovarajuće elektroničke i informatičke podrške.



Povećani zahtevi za performanse prototipa sistema avionike i visok nivo razvoja opreme za protivlektronsku borbu, uzrokuju razvoj i uvođenje novog osnovnog koncepta konfiguracije integrisanih sistema za upravljanje na avionu. Njime se obezbeđuje ugradnja nekoliko informacionih kanala za rad u različitim fizičkim poljima sa adaptivnom integracijom informacija. Svaki automatski integrisani avionski sistem za upravljanje postaje sofisticirani, kompjuterski podržani informativni upravljački sistem, sa dobro razvijenom višestepenom informatičkom podrškom.

Set informacionih kanala, ugrađen u poseban integrisani sistem za upravljanje, određen je celinom zadataka koje naoružanje i oprema izvršavaju za sve vreme leta. Tu pripada i kombinacija aktivnih i pasivnih radarskih i optroničkih informacionih kanala. Istovremena optimizacija visokog kvaliteta različitih informacionih kanala može se izvršiti samo na integralnoj letećoj laboratoriji.

Za procenu informacionog kapaciteta okoline i pripremu referentne informacije za integrisani avionski sistem upravljanja neophodno je sastaviti i potvrditi katalog karakteristika refleksije objekata i pozadine za ceo set informacionih kanala. Ti problemi mogu se rešiti samo upotrebom odgovarajuće opreme na letećoj laboratoriji i letenjem nad sličnim regionima i objektima.

Informaciona podrška i testiranje sistema avionike, uz upotrebu integralne leteće laboratorije, imperativ je za otklanjanje nedostataka pri razvoju i uvođenju novog naoružanja i vojne opreme na avionu. Nedostaci koji se manifestuju u fazi

leta, otklanjanje grešaka i testiranje aviosistema u potrebnom obimu, često dovođe do neželjenih posledica, uključujući i zastoj u razvoju i odlaganje uvođenja u upotrebu naoružanja i vojne opreme.

Komparativna analiza avionske i helikopterske leteće laboratorije ukazuje na svrsishodnost prioritarnog razvoja laboratorije smeštene u avionu, zbog sledećih faktora:

- visokog stepena približavanja karakteristika performansi leta aviolaboratorije u odnosu na putanje, brzine i dinamičke karakteristike nosača sistema avionike, što obezbeđuje dobro usklađivanje eksperimenta sa uslovima upotrebe naoružanja i vojne opreme;

- većeg dozvoljenog korisnog tereta, što omogućava istovremeno (ili sukcesivno) rešavanje raznih istraživačkih problema u toku jednog leta, uključujući navigaciju, izvidanje, lociranje cilja, vođenje i prizemljenje, pomoću sopstvene avioopreme laboratorije i sistema avionike koji su ugrađeni u integrisani eksperimentalni sistem;

- većeg akcionog radijusa, što omogućava istraživanja više različitih geografskih regiona u toku jednog leta.

Glavni zadaci leteće laboratorije su sledeći:

- otklanjanje nedostataka u sistemima avionike u uslovima koji su približni realnim, i potvrđivanje izmerenih karakteristika performansi sa projektnim;

- sertifikacija matematičkih modela sistema avionike i ispitivanja koja su sprovedena u ispitnim stanicama;

- informaciona podrška rada sistema avionike u odnosu na uticaj karakteristika cilja, pozadine, elemenata infra-



strukture i drugih sredstava na površini zemlje i vode;

– priprema i celovito testiranje sistema avionike instaliranih na nosaču.

Unikatna oprema integralnog istraživačkog sistema, postavljena na avionsku laboratoriju, omogućava njeno korišćenje za vojne i civilne potrebe, kao što su geološka istraživanja, pretraživanja i spasilačke operacije, monitoring, otkrivanje požara i sl.

Integralna avionska laboratorija može, takođe, da služi kao baza za optimizaciju osnovne opreme za druge avione specijalne namene, iz čega proističe i njen veliki ekonomski značaj.

M. Krbavac



## DIZEL MOTORI ZA ORUŽANE SNAGE\*

Firma Tulamažavod pokrenula je serijsku proizvodnju višenamenskog vazduhom hlađenog jednocilindarskog dizel motora TMZ-450, koji je izrađen od savremenih materijala i predviđen za upotrebu u niskotemperaturnim uslovima, a koristi standardna goriva i ulja i zahteva minimalno održavanje.

Dizel motor TMZ-450 je s direktnim ubrizgavanjem goriva, što smanjuje potrošnju goriva i omogućava pouzdano puštanje u rad pri niskim temperaturama okoline (sve do  $-25^{\circ}\text{C}$ ). Sistem balansiranja pomaže da se smanje vibracije, što je veoma značajno kada je motor ugrađen na vozilo male mase.

Ovaj dizel motor sadrži brojne tehničke inovacije, koje pojednostavljaju njegovo održavanje i korišćenje, kao što su:

– pojačano hlađenje koje uspešno održava određene toplotne uslove motora;

– ugrađen varijabilni regulator brzine, koji automatski održava broj obrtaja motora, i znatno pojednostavljuje upravljanje, posebno u surovim radnim uslovima, ili kada se koristi kao stacionarna verzija;

– podmazivanje ležaja pod pritiskom, što znatno povećava vek upotrebe motora;

– smanjenje mase motora zahvaljujući lakim legurama aluminijuma i progresivnim metodama izrade odlivaka za košuljice ležaja.

Ovaj motor spada u kategoriju ekoloških o čemu poseduje i odgovarajući sertifikat. Zajedno sa firmom AVL Corporation (Austrija) izrađen je novi dizel motor poboljšanih tehničkih karakteristika, kao što su niži nivo buke, ekonomičnost i širi temperaturni režimi. Njegovi tehnički parametri odgovaraju zahtevima najnovijih evropskih standarda.

Centralni istraživački institut Ministarstva odbrane Rusije završio je ispitivanja verzije dizela TMZ-450D, koji je namenjen za korišćenje kao deo 4/kW generatorskog kompleta za inženjerske jedinice i jedinice veze. Motor TMZ-450D, i njegove modifikacije, prilagođeni su za vojne potrebe radi zamene benzinskih motora UD-2.

Posebno je značajan razvoj dizel generatora na bazi TMZ-450D, koji je namenjen za ugradnju na razna borbena vozila. Pri tome motor koristi isto gorivo kao i osnovni motor borbenog vozila.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2002.

## NOVA GENERACIJA RADIO-PRIJEMNIKA ZA MORNARICU\*

Uprkos globalnom širenju satelitske telefonije i mobilnih komunikacija, dalji razvoj dugih, srednjih i kratkotalasnih sistema još uvek je vrlo značajan zadatak, jer omogućava prenos informacija na stotine i hiljade kilometara bez relejnih stanica.

Razvoj komunikacijskih sistema velikog dometa, za brodove i objekte mornarice, očigledno je kompleksan naučni i tehnološki problem zbog nestandardnih radio-veza, složenih elektromagnetskih uslova na brodovima, prouzrokovanih istovremenim radom brojnih radio-sistema, niskom efikasnošću prijemnih antena i porastom zahteva za pouzdanost, otpornost na ometanje i brzinu slanja-prijema podataka. Razvoj opreme za komunikacije na brodovima uvek je zahtevao najsavremenija rešenja koja su se kasnije koristila za razvoj komunikacijskih sistema za druge rodove i službe OS i druge komercijalne sisteme.

Istraživački institut iz Omska preko 40 godina radi na razvoju radio-prijemnika za potrebe mornarice. U saradnji sa proizvodnim preduzećima Institut je opremio brodove i obalske objekte mornarice sa tri generacije primopredajnika koji funkcionišu u širokom dijapazonu talasnih područja, od superdugih do kratkotalasnih. Ti sistemi ekvivalentni su po taktičkim i tehničkim karakteristikama inostranim prijemnicima, i obezbeđuju ruskoj mornarici pouzdane komunikacije i komandovanje.

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 2002.

Ovaj motor može se ugraditi i na pridodato oklopljeno sredstvo, a njime se može upravljati sa vozačevog mesta u borbenom vozilu.

Pojava nove modifikacije dizel motora snage 10-kW TMZ-520D sa elektroopremom od 24V, koja je još savremenija i nalazi se u fazi razvoja, svakako će omogućiti još širu primenu u vojsci.

Vojne verzije motora imaju ugrađen grejač ulja za ležajeve radilice i dodatni sistem hlađenja, što omogućava njegovu upotrebu u temperaturnim uslovima okoline od -50 do +50°C. Usavršavanje osnovnog modela TMZ-450D dovešće do serije jednocilindarskih malogabaritnih motora snage od 5 do 15 kW i sa 3000, 3600, 4500 i 5500 o/min, što omogućava stvaranje modifikacija koje će imati najbolje ekološke i ekonomske karakteristike, znatno povećanje životnog ciklusa i upotrebu relativno jeftinih goriva i delova. Verzije dizel motora sa vrtložnim komorama omogućavaju njihovo postavljanje u manja transportna vozila, a proširen brzinski režim suštinski pomaže pri izboru parametara prenosa. Benzinaska verzija ovog motora može da se ugradi i na transportna vozila a radi smanjene buke i povećane snage u odnosu na dizel verzije.

Familija motora, sa unificiranim delovima i sklopovima, omogućava proizvodnju i specijalnih verzija u skladu sa zahtevima tržišta.

M. Krbavac



Do danas je razvijena i puštena u redovnu proizvodnju celokupna četvrta generacija brodskih i obalskih prijemnika serije 774. Zbog višestrukog smanjenja mase dimenzija i potrošnje energije, kao i povećane pouzdanosti u odnosu na danas upotrebljavanu treću generaciju, ova nova generacija obezbeđuje radikalno poboljšanje prijema u komplikovanim elektromagnetnim uslovima. To je omogućeno primenom:

- novih namenski razvijenih elemenata izrađenih za te prijemnike, kao što je visokostabilni kristalni oscilator sa visokom spektralnom jasnoćom i vrlo efikasnim delovima za prethodnu i glavnu selekciju signala;

- unikatnog sistema za adaptivno podešavanje osetljivih parametara koji maksimizira odnos signal/šum;

- konstrukcionih rešenja bez elektromehaničkih elemenata u preselektoru visoke selektivnosti, koji eliminiše ograničenja upotrebe prijemnika po frekvenciji.

Serijski prijemnik 744 pokrivaju širok pojas frekvencija, od 8 do 100 kHz (R-744DS1.1) i od 100 kHz do 60 MHz (R-744DSK1). Ovi radio-prijemnici imaju bolje karakteristike osetljivosti i služe za namenske prijemne radio-centre. Prijemnici sa većom selektivnošću frekvencija, kao što su R-744 DS1 (100 kHz do 2MHz) i R-744 K1 (1,5 MHz do 60 MHz), razvijeni su radi korišćenja u kombinovanim centrima prijem-predaja, uključujući i one na brodovima. U pojedine komplete radio-opreme može se ugraditi do osam prijemnika.

Radi poboljšanja radio-pouzdanosti, mnogi mornarički i obalski objekti koriste paralelni (izdvojeni) prijem pomoću 6 do

16 izdvojenih odeljaka. Institut je razvio prijemnik R-774-0 sa četiri nezavisna prijemna osnovna pojasa i grupni demodulator izrađen na principu digitalne obrade signala u režimu izdvojenog vremena.

Ta tehnologija obezbeđuje sabiranje telegrafskih signala primljenih putem različitih kanala. Nekoliko verzija R-744-0 razvijeno je sa povećanom osetljivošću i selektivnošću. Kombinujući prijemne kanale u pojedinim uređajima je smanjena cena svakog kanala za tri puta, i omogućena je ugradnja do 28 nezavisnih prijemnih osnovnih kanala u pojedinom kompletu.

Efikasna tehnika digitalne obrade signala korišćena je u glavnom prijemu, modulisanju i dekodiranju osnovnog pojasa kod prijemnika R-744-0. Taj pristup je smanjio masu prijemnika, dimenzije i cenu, šireći dijapazon klasa prijemnih emisija i znatno smanjio potrošnju energije. Postignuto je potpuno ponavljanje rezultata i uvedeni su algoritmi obrade signala koji realno nisu mogući kod analognih prijemnika. Nova funkcionalna fleksibilnost prijemnika, koja omogućava uvođenje novih principa rada kod serijski proizvedenih prijemnika, čini radio-prijemnik R-744-0 uređajem pete generacije.

Digitalna obrada signala i ugrađeni kompjuteri pojednostavljaju integraciju različitih komunikacijskih sistema i šire funkcionalne mogućnosti komunikacijske opreme. Takav je osmopojasni upozoravajući radio-prijemnik R-744-S. On sadrži 24-kanalni demodulator frekvencije manipuliranih signala (sa tri kanala u svakom prijemnom osnovnom pojasu) i komunikacijski procesor namenjen da automatski prepozna uključen kôd koji

otvara kanal, prima poruke putem 24 kanala u svakoj kombinaciji i slaže ih u ugrađenu memoriju, obrađuje primljene informacije i šalje do štampača ili drugih uređaja za dalje prenošenje.

Po parametrima funkcionalnih mogućnosti ovaj radio-prijemnik zamjenjuje jedan ceo prijemni sistem i predstavlja najnoviji trend u razvoju komunikacijske opreme, kao što je povećanje funkcionalnih mogućnosti i korišćenje novih tipova signala, a ostvaren je i veći stepen i pouzdanost prenosa poruka.

M. Krbavac



## KORAK KA KOSMIČKOM TURIZMU\*

Godine 1996. nagradna asocijacija USX, ponudila je nagradu od 10 miliona USD za konstruktore prvog privatnog kosmičkog broda sposobnog da ponese troje ljudi na visinu od 100 km, na suborbitalni let dva puta u toku dve sedmice. Do 2000. godine nijedna kompanija u Rusiji i van nje nije prihvatila taj izazov. Međutim, januara 2000. godine Eksperimentalni mašingraditeljski zavod Myasishchev, uz podršku suborbitalne korporacije, odlučio je da pomogne Rusiji da povрати svoju vodeću ulogu u istraživanju kosmosa, ovoga puta u oblasti kosmičkog turizma.

Godine 1954. glavni projektant Vladimir Myasishchev započeo je razvoj krilate rakete velikog dometa Buran. Tri godine kasnije započeti su radovi na hipersoničnoj, višekratno upotrebljivoj letelici sa posadom (tzv. sateloid), sposobnoj za hori-

zontalno prizemljenje na aeropisti. Već 1960. godine počeo je razvoj višekratno upotrebljivog krilatog upravljanoeg Zemljinog satelita. Stečeno iskustvo, kao i specifični naponi da se ostvari mogućnost ponovnog i horizontalnog prizemljenja, omogućili su projektnom birou Myasishchev da 1975. godine razvije principijelno novu aerodinamičku konfiguraciju za kosmičku letelicu Buran i avionski sistem za transport VM-T Atlant.

Nešto kasnije završeno je projektovanje transportnog sistema Demonstrator, kao eksperimentalne platforme za izučavanje procesa razdvajanja pojedinih stepena raketa. Taj transporter bio je određen za nosača budućih turističkih kosmičkih brodova, ali je zatim predloženo efikasnije rešenje – subsonična letelica za velike visine Geofizika M-55. Ova letelica pretvorena je u platformu, a poznata je po svojim letovima nad Indijskim okeanom, Arktikom i Antarktikom radi izučavanja atmosferskih uslova i ozonskog sloja na visinama do 21 km. Posедуje stabilne aerodinamičke karakteristike, uprkos višestrukim prozorima i širokom proširenju koje omogućava razmeštaj istraživačke opreme čija je masa do 2000 kg. Zamenom te opreme u trupu Geofizike sa kosmičkim turističkim modulom S-XXI olakšaće se problem transportovanja orbitera na određenu visinu, sa koje je lansiranje u orbitu mnogo povoljnije.

Modul S-XXI je bezrepne konstrukcije sa barutnim busterom. Hermetizovana kabina omogućava uporedni smeštaj pilota i dva putnika na lako izbacujućim sedištim. Sistem za izbacivanje omogućava sigurno iskakanje padobranom pilota i putnika u fazama uzdizanja, spuštanja i prizemljenja. Orbiter je pričvršćen na

\* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

brod nosača sa tri pokretne zglobne veze i odvojenim pneumatskim sistemom.

Za Geofiziku se let sa ugrađenim kosmičkim turističkim modulom neće razlikovati od standardnih zadataka. Na visini od 17 km, gde se napadni ugao orbitera povećava na 15 do 17°, on se odvaja od nosača (koji se strmo uzdiže) i aktivira svoj potisni buster od 6300 kg, koji ga ubrzava do brzine oko 1100 m/s. Tada se orbiter kreće po balističkoj putanji sa postepenim smanjenjem nagiba i konačno dostiže visinu od 101 km.

U toku tri do pet minuta na gornjem delu putanje leta putnici će osetiti nula-g uslove, pri čemu lagano okretanje orbitera omogućava da uživaju u pogledu na Zemlju. Nakon toga orbiter ponovo zauzima napadni ugao od 60° i počinje da smanjuje visinu na 40 km. Na visini 25 km, modul se spušta maksimalnom aerodinamičkom sposobnošću, smanjujući brzinu do ispod brzine zvuka. Ukupno opterećenje pri spuštanju i prizemljenju ne prelazi 4 g.

Kako brzina prizemljenja modula iznosi oko 220 km/h, prizemljenje se može obaviti na avio-pistama druge klase.

Let nosača letelice traje oko 1 sat, a nezavisni let orbitera 20 minuta. Nosivost kosmičkog modula iznosi 3500 kg, a nosača sa spojenim kosmičkim modulom ne prelazi standardnu nosivost Geofizike, zbog manje količine goriva potrebnog za ove namene.

Obuka turista neće trajati više od jedne sedmice, uključujući medicinske provere, testove na centrifugi i neke druge vežbe. Ukoliko budu obezbeđena adekvatna sredstva, radovi na ovom sistemu mogu da se završe tokom 2004. godine, bez obzira na kompleksnost projekta, potrebu izgradnje ispitnih objekata i izvođenja probnih letova nosača letelice i modula S-XXI.

Zavod Myasishchev već je prezentovao model ovog kosmičkog modula u realnoj veličini, čime je načinjen prvi korak ka kosmičkom turizmu.

M. Krbavac





## tehničke novosti i zanimljivosti

### RAPTOR KAO DELTAKRILNI BOMBARDER\*

Kompanija Lokid Martin (Lockheed Martin) predložila je američkom vazduhoplovstvu (USAF) radikalnu modifikaciju lovca F-22 Raptor, koja će imati delta-krilo, duži trup, veći radijus dejstva i mogućnost nošenja većeg i korisnog tereta.

Studiju o novoj verziji Raptora, tzv. FB-22, kompanija sprovodi vlastitim sredstvima i biće nastavljena tokom čitave godine. Kako skraćenica naziva sugeriše, FB-22 bi trebalo da bude bombarder. Istraživanje se temelji na zaključku da su za većinu američkih taktičkih borbenih aviona aerodromi koji se nalaze na određenim udaljenostima od rejonu dejstva iznad Avganistana nedostupni, zbog čega veliki teret iznosi bombarderska avijacija sa velikim doletom. U vezi s tim, Lokid Martin ispituje mogućnosti prilagodavanja F-22 takvim zadacima.

S. V.

### MODERNIZACIJA SLOVAČKIH AVIONA MiG-29\*

Ruska korporacija RSK MIG potpisala je okvirni ugovor o remontu i modernizaciji slovačkih aviona MiG-29 i njihovom vraćanju u letno stanje. Radovi na lovcima biće u potpunosti izvedeni u lokalnom remontnom zavodu „Letecka Opravovna“ u Trenčinu, pod nadzorom i asistencijom ruskih stručnjaka. Ruski inženjeri procenjuju stanja slovačke flote „dvadesetdevetki“ i obim potrebnih radova, kako radi osavremenjavanja, tako i radi produženja životnog veka letelica. Premda načelnim ugovorom još uvek nije preciziran stepen modernizacije, očekuje se da će slovački RV prihvatiti ponudu o dovođenju aviona MiG-29 na NATO standard, jer Slovačka očekuje skoro učlanjenje u NATO.

Prema sadašnjim očekivanjima 18 aviona planiranih za radove, biće dovedeni u operativno stanje do kraja 2003. godine.

S. V.



\* Prema podacima sa [www.janes.com](http://www.janes.com)



\* Prema podacima Interfax-AVN.



## NOVA VERZIJA MOTORA ZA AVION Su-27\*

Nova, jača verzija motora AL-31F uskoro će biti ugrađena na opitni avion Su-27. Glavna karakteristika novog motora biće potisak povećan na 130,5 kN. Letna ispitivanja uskoro treba da počnu u moskovskom opitnom centru Žukovski. Na posebno pripremljenom Su-27 najpre će biti montiran jedan standardni i jedan novi motor AL-31F, a nakon par letova ispitivanja će biti nastavljena sa oba nova motora. Prema predviđanjima konstruktora ugradnja nove verzije motora izводиće se veoma lako na postojećim serijskim avionima Su-27 i Su-30.

U sledećem stepenu poboljšanja ovog motora očekuje se da njegov potisak bude povećavan na 137 kN, a zatim i na 147 kN. Prema procenama to će zahtevati i veće konstruktivne izmene.

S. V.



## MODERNIZACIJA ISTOČNO-EVROPSKIH HELIKOPTERA Mi-24\*\*

Memorandum o saglasnosti, koji se odnosi na zajedničku modernizaciju helikoptera Mi-24 i produženje njihovog životnog veka, potpisale su Češka, Mađarska, Poljska i Slovačka. Oko 115 ovih helikoptera biće nadograđeno savremenom avionikom zapadnog tipa, kompatibilnom sa zahtevima NATO-a pogotovo u sferi borbene upotrebe u noćnim i složenim vremenskim uslovima. Na taj način vek upotrebe helikoptera biće produžen do

\* Prema podacima Interfax-AVN.

\*\* Prema podacima iz časopisa Air International, juli 2002.



Helikopter Mi-24

2015–2020. godine. Prvi helikopter preveden na novi standard biće poljski Mi-24V za koji će poljsko Ministarstvo odbrane izdvojiti od 10 do 15 miliona USD.

Poljska planira da modifikuje 40 helikoptera, Slovačka 10 do 12, Češka 24 i Mađarska 28 do 32 aparata. Oko 70% modifikacija biće identično, dok će ostatak biti sproveden prema specifičnim potrebama. Tako će npr. Poljskoj biti potreban određeni broj helikoptera za borbeno traganje i spasavanje, spremnih za operativno angažovanje već tokom 2004. godine. Takvi helikopteri moraće imati dodatnu zaštitnu i medicinsku opremu, meteo-radar i druge navigacijske i komunikacijske uređaje potrebne za ovakve misije. Češka i Slovačka će dodatnim sredstvima svojim helikopterima obezbediti jače motore i poboljšani rotor, što je slično rešenjima na ruskom Mi-24VM.

Za ovaj posao postoji veliko interesovanje u svetu vazduhoplovne industrije. Pretpostavlja se da će u svakoj od navedenih zemalja biti formiran pogon za modernizaciju, kao i to da bi još neke istočnoevropske zemlje, poput Ukrajine ili Hrvatske, mogle da pristupe ovom programu.

S. V.





## OSAVREMENJAVANJE KINESKIH AVIONA Su-27\*

Kineski izvori potvrdili su da njihova kompanija Šenjang (SAC) razvija novu, višenamensku verziju aviona J-11 (lokalna oznaka Su-27) koji je originalnom konstrukcijom namenjen isključivo za lovačke zadatke. Procenjuje se da je do sada u Kini licencno proizvedeno oko 20 aviona tipa J-11, na osnovu ugovora iz 1996. godine kojim je Kina od Rusije kupila licencu za proizvodnju 200 ovih vazduhoplova.

Na izložbi u Žuhai 2000 istaknuto je da možda neće biti proizvedeno svih 200 aviona, ali će oni koji budu izrađivani istovremeno biti i osavremenjavani. Planira se da će ovi avioni dobiti novi kineski višemodni radar i drugu savremenu elektroniku, kako bi se efikasno mogla upotrebljavati nova kineska aktivno vodena raketa vazduh-vazduh, označena kao Projekt 129.

Očekuje se da bi modernizovani avion J-11 mogao da nosi širok asortiman precizno vođenih ubojnih sredstava, kako ruske, tako i kineske proizvodnje, što je do sada bio monopol samo vazduhoplova Su-30.

Na prošlogodišnjem sajmu u Farnbrou najavljena je i mogućnost da Kina nabavi dodatnih 30 aviona Su-30 MK2, najnovije mornaričke varijante, što bi uz dosad kupljene iznosilo ukupno 80. Pretpostavlja se da bi ova serija aviona mogla u kineskom mornaričkom vazduhoplovstvu da zameni zastarele H-6 (Tu-16).

S. V.



\* Prema podacima iz Air forces monthly 10/2002.

## PRVI LET KOREJSKOG ŠKOLSKO-BORBENOG AVIONA T-50\*

Školsko-borbeni avion T-50, projektovan zajedničkim snagama korejske vazduhoplovne industrije KAI i američke firme Lokid Martin izveo je svoj prvi let. Let je trajao 39 minuta i obuhvatio je inicijalna ispitivanja upravljivosti aviona u dijapazonu visina od 2100 do 4500 m i brzine do 565 km/h. Maksimalni napadni ugao iznosio je 13°. U sledećim opitnim letovima planira se širenje upotrebne anvelope, a celokupna ispitivanja trajaće do 2005. godine.

S. V.



## ŠKOLSKI AVION Su-49 SPREMAN ZA PROIZVODNJU\*\*

Avion Su-49, koji je izabran kao novi školski avion na kojem će se obučavati budući piloti ruskog vazduhoplovstva, nalazi se u završnoj fazi izrade. Odlučeno je da fabrika NAPO u Novosibirsku bude nosilac proizvodnje. Mada je Ratno vazduhoplovstvo poručilo 300 aviona, verovatno će biti potrebno još 1000 primeraka, za rusku vazduhoplovnu sportsku asocijaciju ROSTO. Inače, ROSTO u Rusiji ima značajnu ulogu u pripremi i izboru kandidata za buduće vojne pilote.

Avion Su-49 baziran je na aerodinamičkim rešenjima familije aviona Su-26/29/31. Za razliku od njih, u njegovoj strukturi je zastupljeno više aluminijumskih legura nego kompozita. Ima uvlačeći stajni trap tipa tricikl, a pogonjen je

\* Prema podacima iz Air forces monthly 10/2002.

\*\* Isto.

devetocilindričnim radijalnim motorom Voronjež M-9 od 309 kW. Kompanija Suhoj razvija novi školski avion vlastitim sredstvima, dok će vojska plaćati samo preuzete aparate. Smatra se da Su-49 ima veliki izvozni potencijal, pre svega među tradicionalnim ruskim klijentima na Bliskom istoku i u Indiji.

S. V.



## **SNAŽNO LASERSKO ORUŽJE NA AVIONU\***

Američko ratno vazduhoplovstvo (USAF) i Odbrambena agencija koja se bavi raketnim programima uskoro očekuju prvi let opitnog aviona opremljenog snažnim laserom.

Cilj programa ABL (Airborne Laser) jeste da se ispita mogućnost da se sa visine od oko 13 000 m (40 000 fita) sa modifikovanog aviona B-747 (YAL-1), opremljenog laserskim uređajem, uništavaju nadolazeći balistički projektili. Planirano je da visokoenergetski laserski snop, koji putuje brzinom svetlosti i ima prečnik košarkaške lopte, bude sposoban da razvijenom toplotnom energijom onesposobi protivničke balističke rakete, obarajući ih zajedno sa ubojnim teretom na teritoriju sa koje su lansirane.

S. V.



## **KOMPJUTERI ZA UPRAVLJANJE LETOM HELIKOPTERA\*\***

Kompanija DRS technologies dobila je novu ponudu za izradu kompjutera

\* Prema podacima sa [www.janes.com](http://www.janes.com)

\*\* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 12. jun 2002.

za upravljanje letom koji će se ugrađivati na evropske helikoptere EH-101.

Ponuda je rezultat ugovora potpisanog u junu 1997. godine između kompanije DRS i Smiths Industries, radi udruživanja u proizvodnji kompjutera za upravljanje letom za sve buduće isporuke helikoptera EH-101.

Takođe, DRS obezbeđuje signalne sisteme avionike za taj helikopter i njegove varijante, uključujući helikoptere za podršku vazduhoplovnih snaga Velike Britanije, kanadske helikoptere Cormorant za pretraživanje i spasavanje, italijanske MMI i japanske helikoptere za potrebe policije Tokija.

Na svaki helikopter ugrađuju se dva DRS kompjutera za upravljanje letom, čime se obezbeđuju redundantne kompjuterizovane funkcije upravljanja u duplex automatizovanom sistemu za upravljanje letom.

Helikopteri familije EH-101 namenjeni su za pomorske i kopnene višekratne vojne zadatke, kao i za razne komercijalne potrebe. Ti helikopteri predstavljaju rezultat zajedničkih italijansko-britanskih napora u proizvodnji. Najčešće se koriste za protivpodmornička dejstva, pretraživanje i spasavanje, evakuaciju poginulih i ranjenih i transport ljudstva.

M. K.



## **OPREMA ZA LASERSKO OZNAČAVANJE CILJEVA\***

„Sapsan“ je kontejner sa opremom, namenjen za lasersko obeležavanje ciljeva. Kao model prikazan je na izložbi

\* Prema podacima iz Air forces monthly 10/2002.

MAKS 99, a sada se, prema izjavama predstavnika ruske firme UOMZ, nalazi u fazi ispitivanja.

Dužina kontejnera iznosi 3 m, a prečnika 0,36 m. Njegova masa je 250 kg i namenjen je za podvešavanje na avione tipa MiG-29, Su-24 i Su-27/30. U skladu sa adekvatnom avionikom ovo sredstvo omogućava upotrebu mnogo šireg spektra „pametnih“ bombi i raketa nego što je to do sada bio slučaj na ruskim avionima. „Sapsan“ bi posebno mogao da bude interesantan korisnicima koji u većoj ili manjoj meri koriste avione MiG-29. Polje osmatranja na ovom kontejneru iznosi od +10° do -150° po elevaciji i od +10° do -10° po azimutu.

Uvođenje ove opreme u operativnu upotrebu najavljeno je za period 2004–2005. godine.

S. V.



## PREUZIMANJE PRVE HAUBICE XM-777\*

Kompanija BAE systems je u svom pogonu u Hetisburgu-Misuri, jula meseca predala predstavnicima američke armije i



Haubica XM-777

\* Prema podacima sa [www.defense-aerospace.com](http://www.defense-aerospace.com)

marinskog korpusa prvu laku haubicu XM-777.

Haubica je razvijena radi njihovih zajedničkih potreba, a u skoroj budućnosti će zameniti vučne haubice tipa M198. Zbog veće primene titanijumovih legura nova haubica 155 mm je za oko 3,2 tone lakša od prethodne. Do početka predserijske proizvodnje haubica će do kraja godine biti ispitivana u operativnim jedinicama, kada se očekuje i odluka o punoj serijskoj proizvodnji.

S. V.



## ITALIJANSKA ARMIJA PREUZELA PRVO VOZILO DARDO\*

Konzorcijum Iveco Fiat-Oto Melara isporučio je italijanskoj armiji prvo borbeno vozilo pešadije tipa DARDO. Ceremonija prve isporuke održana je u fabrici u mestu La Spezia.

DARDO je borbeno vozilo pešadije namenjeno da deluje u sadejstvu sa osnovnim tenkovima, i da pešadijskom odeljenju obezbedi adekvatnu zaštitu i vatrenu podršku. Prihvatanjem ovog vozila italijanska armija će biti opremljenija za izvođenje mirovnih operacija. Važeći ugovor predviđa proizvodnju osnovne varijante vozila naoružane topom Oto Melara 25 mm u kupoli HITFIST, kao i četiri specijalne verzije. Jedna verzija je komandno vozilo, druga ambulatno, treća je platforma za minobacač i poslednja je namenjena za protivoklopnu borbu pomoću dva lansera raketa TOW.

\* Prema podacima sa [www.defense-aerospace.com](http://www.defense-aerospace.com)

Ugovor je potpisan 1999. godine, a isporuka treba da bude završena u 2004. godini, ukoliko se italijanska armija ne odluči za dodatne serije.

S. V.



## **BROD VISBY ZA ŠVEDSKU MORNARICU\***

Brod-korveta Visby isporučen je za kupca FMV u Švedskoj (Uprava za materijalno obezbeđenje odbrane), nakon što ga je odobrila inspekcija i posle serije uspešnih proba. Posada broda preuzela je odgovornost za plovno sredstvo i kontinuirano će sprovoditi seriju ispitivanja na moru i izvršiti konačna podešavanja.

Korveta Visby projektovana je u potpunosti stela konfiguraciji i konstruisana je od ugljenikovih vlakana, čime se otežava njeno otkrivanje, čak i sa najnovijom radarskom i IC izviđačkom opremom. Odluku da se investira u stela tehnologiju donela je švedska vlada još 1995. godine. Švedska uprava za materijalno obezbeđenje odbrane (FMV) koja je naručila ova plovna sredstva za šved-

sku mornaricu bila je uključena u tehnički razvoj i planiranje projekta.

Koncept se zasniva na sedmogodišnjem iskustvu na prototipu Smyge. Švedski kraljevski institut za tehnologiju (KTH) iz Štokholma participirao je u projektu zajedno sa firmama Erikson Mikrotalasni sistemi, Bofors, GDC i General Dynamics iz Kanade.

Visby klasu plovnih sredstava čine površinski borbeni brodovi osposobljeni za potpuno čišćenje mina i protivpodmorničku borbu, kao i za polaganje mina, borbu na otvorenom moru, podvodnu odbranu i odbranu od sredstava iz vazdušnog prostora. Minimalni radarski odraz i šum, njegova magnetska svojstva i visoka otpornost na udar pojačavaju ukupne mogućnosti samoodbrane.

Da bi se zadržala minimalna radarska slika, trup broda ima široke ravne površine i oštre rubove. Radi smanjenja IC signala, izduvni gasovi turbine i zračenje na krmi smanjeno je i približeno površini vode. Trup je u celini nemagnetičan, a ugrađena oprema je razmagnetisana ili konstruisana od nemagnetičnih materijala.

M. K.



\* Prema podacima iz Defence Systems Daily, 11. jun 2002.

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

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničke podrške vojske, 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 Srbije i Crne Gore.

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 prilozima originalni, a koji pozajmljeni.

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

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

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

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima Vojske Srbije i Crne Gore.

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

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

REDAKCIJA

## VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Balkanska 53

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

Telefaks: (011) 36-12-506

## NARUDŽBENICA

Preplaćujemo se u 2003. godini na časopis

primeraka

„Vojnotehnički glasnik“

(stručni i naučni časopis)

Godišnja pretplata **750,00 dinara.**

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963

.....

Broj primeraka časopisa upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Poručioци uplaćuju iznos pretplate na tekući račun broj **840-51845-846 RC SMO – za VIZ, poziv na broj 054/963**, i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac ..... tel. ....

Mesto ..... Ulica ..... br. ....

Dana .....

M. P.

Potpis naručioца

.....

Pretplatne cene važe do 31. marta 2003. godine

*Tehničko uredenje*  
Mirko Obradović

*Lektor*  
Dobriła Miletić, profesor

*Korice*  
Milojko Milinković

*Korektor*  
Bojana Uzelac

Cena: 180,00 dinara  
Tiraž 1.000 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

---

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)