

* * *

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.Pretpлата 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
štampanija – 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

3



SADRŽAJ

Mr Goran Dikić, potpukovnik, dipl. inž.	IZBOR KOORDINATNIH SISTEMA ZA PRAĆENJE CILJEVA U MULTISENZORSKOM OKRUŽENJU	257
Stojan Marković, potpukovnik, dipl. inž.	PRIMENA METODA UGAONE SUPERREZOLUCIJE ZA KONCIPIRANJE GLAVE ZA SAMONAVOĐENJE PROTIV- RADARSKÉ RAKETE	267
Profesor dr Miloško Jevtović, dipl. inž.	ANALIZA PROTOKOLA KVALITETA USLUGA TELEKO- MUNIKACIONIH MREŽA	278
Jelena Opačić, dipl. inž.	BEŽIČNA MREŽNA TEHNOLOGIJA BLUETOOTH	288
Goran Šimić, major	WEB UČIONICA	300
Mr Lajoš Tot, dipl. inž.	POBOLJŠANJE MEHANIČKIH OSOBINA DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA ZA IMPULSNE MOTORE	311
Profesor dr Miroslav Demić, dipl. inž.	METOD ZA ANALIZU UTICAJA POLOŽAJA TEŽIŠTA TERETA NA DINAMIČKE PARAMETRE KAMIONA	317
Docent dr Jovanka Lukić, dipl. inž.		
Dr Đorđe Diligenski, dipl. inž.		
Mr Zoran Gradin, pukovnik, dipl. inž.	TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE MOTORA SUS	330
Miroslav Škorić, dipl. oec.	XVIII INFOTECH 2003 – prikaz naučno-stručnog skupa –	338
Milislav V. Đorđević	VOJNI POSLOVI JUGOSLAVIJE I SVET DVADESETOG VEKA – prikaz knjige –	341

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Savremena samohodna artiljerija – M. K.	343
Budući artiljerijski sistemi armije SAD – M. K.	346
Kopnene snage za novi vek – M. K.	347
Razvoj lake jurišne puške armije SAD – M. K.	351
Novi korejski prenosni raketni sistem PVO – M. K.	352

Nivoi zaštite vozila točkaša – M. K.	353
Novi hipersonični letovi – M. K.	355
Modernizacija ruskih strateških bombardera – S. V.	356
Visoka tehnička zaštita budućih borbenih sistema – M. K.	358
Komunikacioni sistem FCB2 – M. K.	359
Novi britanski inženjerski sistem – M. K.	360

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Američko-britanska raketa CMM – M. K.	361
Veća vatrena moć borbenog vozila Pirana IV – M. K.	361
Modernizacija BMP-2 u Rusiji – M. K. ..	362
Poslednje pripreme za buduću borbeni sistem – M. K.	363
Iranski oklopni transporter Boraq – M. K.	364
Preoružavanje tenka M-60 u Jordanu – M. K.	365
Novi kineski brodski topovski sistem – M. K.	366
Poboljšano borbeno vozilo Stalker 2T – M. K.	366
Lako vozilo za nemačke specijalne snage – M. K.	367
Modernizacija lovaca Su-27 u ruskom vazduhoplovstvu – S. V.	367
Rumunija povlači iz upotrebe lovce MiG-29 – S. V.	368
Modernizacija transportnih aviona AN-26 u Slovačkoj – S. V.	368
Nastavak razvoja školskog aviona Jak-152 – S. V.	368
Prvi let indijskog školskog aviona HJT-36 – S. V.	369
Izgradnja novih nosača aviona u Velikoj Britaniji – S. V.	369
Prvi let francuskog helikoptera Tigar – M. K.	369
Zemaljski senzori za vazduhoplovstvo SAD – M. K.	369
Bomba GBU-38 pred početkom serijske proizvodnje – S. V. ...	370

IZBOR KOORDINATNIH SISTEMA ZA PRAĆENJE CILJEVA U MULTISENZORSKOM OKRUŽENJU

UDC: 623.593.5.024 : 623.4.084.7 : 681.586

Rezime:

Rad ukazuje na probleme koji se pojavljuju pri izboru koordinatnih sistema, u slučaju kada treba da se prati mnoštvo ciljeva uz korišćenje više senzora. U savremenim sistemima za praćenje ciljeva ovaj proces je zasnovan na rezultatima dobijenim pomoću algoritama za procenu stanja cilja, koji sadrže jednačine kojima se opisuje kretanje cilja i proces merenja. Postojanje različitih koordinatnih sistema zahteva izvršenje odgovarajućih transformacija tokom procesa estimacije stanja. Kod nekih algoritama to smanjuje tačnost procene stanja. S obzirom na to da je potrebno obaviti više izračunavanja, može se pojaviti problem implementacije tih algoritama u realnom vremenu. Cilj ovog rada jeste da se istaknu relevantne činjenice koje moraju biti uzete u obzir tokom planiranja i razvoja sistema za praćenje više ciljeva pomoću više senzora.

Ključne reči: automatsko upravljanje, praćenje ciljeva, senzori.

THE CHOICE OF TARGET TRACKING SYSTEM IN MULTIPLE SENSOR SURROUNDING

Summary:

This paper gives an overview of the issues in the choice of a coordinate system in the case when multiple target are tracked using multiple sensors. In modern target tracking systems, tracking is based on results obtained using some of the target state estimation algorithms. These algorithms involve equations describing the target movement and the measurement process. The existence of different coordinate systems requires appropriate transformations in the state estimation process. In some algorithms this decreases the state estimation accuracy. Since numerous calculations have to be done, a problem may occur in real-time implementation of these algorithms. The goal of this paper is to emphasize the relevant facts that must be taken into consideration during the planing and development of multiple targets multiple sensors tracking (MTSTT) systems.

Key words: automatic control, target tracking, sensors.

Uvod

Pri projektovanju sistema za realizaciju procesa praćenja ciljeva u multisenzorskom okruženju pojavljuje se niz pro-

blema, kao što su: izbor senzora, sinhronizacija njihovog rada, odabir algoritama za obradu podataka, definisanje protokola za njihovu razmenu, itd. U nizu zahteva koje pri tome treba ispuniti, pojavljuje

se problem izbora adekvatnih koordinatnih sistema. Rešenje ovog problema treba potražiti kroz analizu karakteristika senzora, analizu uticaja njihove mobilnosti i prostornog razmeštaja, kao i analizu zahteva u pogledu mogućnosti primene konkretnih algoritama za procenu kinematskih stanja cilja.

Značaj multisenzorskog osmatranja prostora

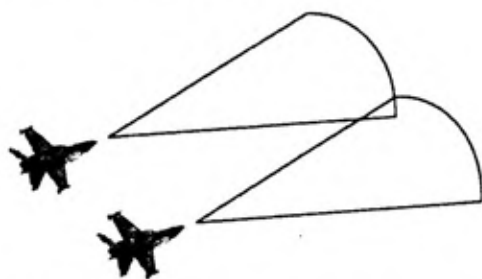
Primenom multisenzorskog osmatranja prostora ostvaruje se:

- proširenje zone osmatranja,
- povećanje verovatnoće otkrivanja cilja,
- povećanje prostorne rezolucije tokom procene koordinata konkretnog cilja,
- podizanje nivoa poverenja u verodostojnost prikupljenih podataka,
- poboljšanje operativne pouzdanosti sistema za osmatranje vazdušnog prostora i dr.

Nabrojani efekti ukazuju na to da se objedinjavanjem podataka koji su prikupljeni u uslovima multisenzorskog osmatranja prostora u suštini rešavaju dva globalna problema, kao što su povećanje „volumena“ korisnih informacija (information augmentation) i ovladavanje nezvesnošću (uncertain managment) [1].

Prvi problem podrazumeva uslove u kojima se zone osmatranja pojedinih senzora ne preklapaju (prostorno i vremenski). U takvoj situaciji svaki senzor, svojim radom, omogućava proširenje ukupne zone osmatranja. Na slici 1 prikazan je primer dva aviona čiji senzori osmatraju susedne zapremine prostora. Treba istaći da se ovakvim objedinjavanjem

prikupljenih podataka ostvaruje kvantitativno povećanje raspoloživih informacija, ali ne i njihov bolji kvalitet.



Sl. 1 – Multisenzorsko proširenje zone osmatranja

Analizirajući problem objedinjavanja prikupljenih podataka sa aspekta odabira najpogodnijeg koordinatnog sistema, treba uočiti nekoliko momenata. Položaj ciljeva definisan je u sfernom koordinatnom sistemu (SKS) koji menja položaj u prostoru zajedno sa letelicom. U tom smislu najpogodnije je prevesti koordinate uočenog cilja u pravougli sistem koordinata čije se ose poklapaju sa osama inercije letelice (body axes system – BKS), a zatim u pokretni sistem koordinata koji je orijentisan tako da mu je x-osa usmerena ka severu, z-osa prema središtu zemlje, a y-osa čini desni pravougli koordinatni sistem sa prethodne dve. U anglosaksonskoj literaturi ovaj sistem se sreće pod nazivom „sever istok dole“ (north east down – NED).

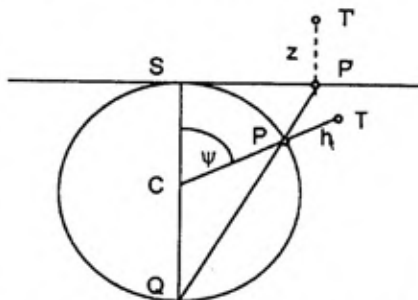
Za konačno objedinjavanje podataka neophodno je poznavanje uzajamnog položaja letelica. Ukoliko se one nalaze na znatnom rastojanju to postaje složen problem. U uslovima primene savremenih tehnologija, kao što je orijentacija uz pomoć satelita (global positioning system – GPS), ovaj problem se relativno lako rešava.

Ovladavanje neizvesnošću, kao što su, na primer, nepoznavanje manevra cilja, greške u proceni njegovih kinematskih stanja, izdvajanje realnih u odnosu na lažne ciljeve, podrazumeva objedinjavanje podataka dobijenih pomoću senzora koji se mogu razlikovati po svojim spektralnim karakteristikama i preciznosti merenja pojedinih parametara ili su distribuirani tako da prate kretanje konkretnog cilja sa različitih lokacija. Pri tome senzori rade u sinhronom ili asinhronom režimu. Na taj način prioritarno se ostvaruje kvalitativno poboljšanje raspoloživih informacija, kao i pouzdaniji rad sistema za osmatranje vazdušnog prostora. Primer takvog sistema predstavlja sprežanje klasičnog impulsnog radara sa pasivnim infracrvenim (*IC*) senzorom [2]. Radar obezbeđuje kvalitetno merenje rastojanja do cilja, ali ne i dobru preciznost u pogledu određivanja njegovih ugaonih koordinata. S druge strane, pasivni *IC* senzor obezbeđuje bolje merenje uglova, ali ne i merenje rastojanja. Objedinjavanjem podataka dobijenih od oba senzora dobija se daleko preciznija informacija o položaju konkretnog cilja. S obzirom na to da se oba senzora nalaze na istoj platformi, prikupljanje podataka se ostvaruje u *SKS*-u, tako da njihovo objedinjavanje ne predstavlja problem. Međutim, u uslovima kada su senzori prostorno distribuirani, izbor koordinatnih sistema postaje nezaobilazni deo analize rada ovih sistema. Pri tome treba imati u vidu dve situacije: kada se senzori nalaze na bliskim rastojanjima, ne većim od 20 do 30 km, i kada su ta rastojanja mnogo veća.

Uticaj prostorne distribucije senzora na izbor koordinatnog sistema

U slučaju senzora koji se nalaze na relativno kratkim rastojanjima praćenje ciljeva se ostvaruje u lokalnim pravouglim sistemima čije su ose međusobno paralelne, a ishodišta im se nalaze na položajima konkretnih senzora. Primenom jednostavnih linearnih transformacija, koordinate ciljeva se lako prevode iz jednog u drugi lokalni pravougli sistem koordinata radi objedinjavanja i dalje obrade. Uspostavljanjem jedinstvenog pravougllog sistema koordinata koji je „vezan“ za jedan od senzora ili neku tačku prostora koja je određena da bude referenca, lako je odrediti sferne koordinate svakog cilja u odnosu na bilo koju tačku konkretnog prostora.

U slučaju kada su senzori razmešteni na široj teritoriji pojavljuje se problem objedinjavanja njihovih merenja u jedinstvenom koordinatnom sistemu. Objekti koji se na ovaj način prate, na većem delu svoje putanje uglavnom održavaju konstantnu visinu u odnosu na nivo mora, pa je njihov položaj pogodno definisati u vidu x , y koordinata i visine. Imajući u vidu složenost problema koja je uslovljena zakrivljenošću Zemljine povr-

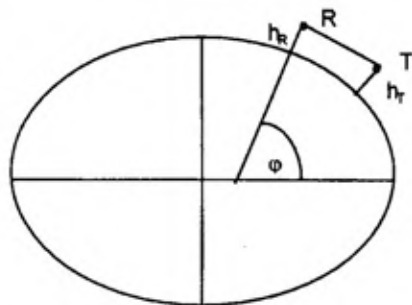


Sl. 2 – Određivanje stereografske projekcije položaja cilja

šine, pri definisanju koordinata ciljeva usvojen je veoma specifičan stereografski sistem koordinata [3–6].

Osnovni princip stereografskog koordinatnog sistema (SGKS) ilustriran je na slici 2. Ravan ovog sistema dodiruje površinu Zemlje u centru koordinatnog sistema (tačka S). Projekcije svih ciljeva definišu se u odnosu na tačku Q koja je određena presekom prave povučene iz tačke S kroz centar Zemlje C i njene površine. Projekcija cilja T predstavljena je u odnosu na SGKS tako što se prvo odredi projekcija P stvarne pozicije cilja T na površini Zemlje, a zatim se povlačenjem linije kroz tačke Q i P određuje projekcija cilja P' u stereografskoj ravni. Na taj način dobijaju se x, y koordinate u stereografskoj ravni. Koordinata z (visina) odgovara visini cilja u odnosu na površinu Zemlje h_T .

Za preciznije određivanje koordinata trebalo bi koristiti elipsoidni model Zemlje (slika 3).



Sl. 3 – Određivanje položaja cilja pri elipsoidnom modelu Zemlje

Tačka R predstavlja položaj radara na geodetskoj širini φ i visini h_R . Cilj T nalazi se na visini h_T na udaljenosti RT u odnosu na položaj radara. Ne postoji izraz, u zatvorenom obliku, za određivanje

geodetske širine tačke T na osnovu kose daljine, azimuta i visine.

Za potrebe praćenja uočenog cilja u stereografskom sistemu neophodna su tri koraka. Merenja se prvo konvertuju u lokalni stereografski sistem čiji je centar smešten na položaju radara. Dobijene koordinate zatim se konvertuju u glavni stereografski sistem koordinata. Na kraju se greške merenja koordinata konvertuju u kovarijansu greški merenja, definisanu u odnosu na glavni SGKS. Očigledno, u pitanju je veoma kompleksan skup jednačina koje su neophodne kako bi se izvršile odgovarajuće transformacije.

Izbor koordinatnog sistema prema algoritmima za estimaciju kinematskih stanja cilja

Primena algoritama za obradu podataka prikupljenih u procesu merenja, u nekom od brojnih modaliteta Kalmanovog filtra [7–12], postala je svojevrsan standard pri realizaciji sistema za praćenje uočenih objekata. U razvoju konkretnog algoritma polazi se od dve jednačine. Prva od njih opisuje model kretanja cilja, a druga proces merenja. U najopštijem slučaju obe jednačine su nelinearne i mogu se zapisati kao:

$$X(k+1) = f[k, X(k), U(k), w_p(k)] \quad (1)$$

$$Z(k) = h[k, X(k), w_m(k)] \quad (2)$$

gde su:

X – vektor kinematskih stanja cilja,

U – poznata pobuda,

Z – vektor merenja,

f – vektorska funkcija kojom se opisuje kretanje cilja,

h – vektorska funkcija kojom se opisuje proces merenja,

w_p – vektor šuma procesa koji opisuje neodređenost trajektorije cilja uslovljenu njegovim slučajnim manevrom,

w_m – vektor šuma kojim se opisuje kvalitet, odnosno preciznost merenja,

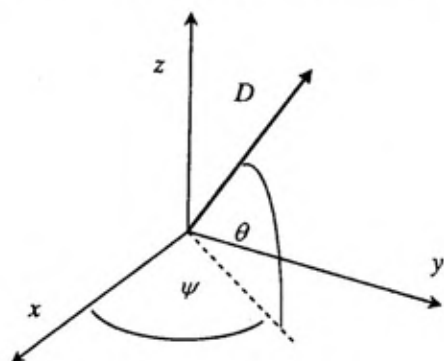
k – diskretna vremenska promenljiva.

Izvođenje jednačina Kalmanovog filtra detaljno je prikazano u literaturi [13–15], tako da se u ovom tekstu navode samo konačne jednačine njegovog algoritma. U zavisnosti od toga kako je u konkretnom algoritmu opisano kretanje cilja, kao i sam proces merenja, jednačine (1) i (2) se pojavljuju u linearnom ili nelinearnom obliku.

Ukoliko se za proces praćenja, kao na slici 4, odabere Dekartov koordinatni sistem (*DKS*) sa ishodištem u položaju senzora, predikcija x koordinate cilja izračunava se na osnovu dobro poznate linearne jednačine;

$$x(k+1) = x(k) + T v_x(k) + \frac{T^2}{2} a_x(k) \quad (3)$$

Pri tome je T perioda odabiranja, a v_x i a_x brzina i ubrzanje cilja u smeru x -ose.



Sl. 4 – Geometrijski odnosi između sfernog i pravouglog koordinatnog sistema

Usvajanjem promenljivih x , v_x i a_x za elemente vektora stanja, kao i matrice prelaza

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

jednačina (1) pojavljuje se u linearnom obliku

$$\bar{X}(k+1) = F\hat{X}(k) + U(k) \quad (5)$$

gde su:

$\hat{X}(k)$ – ažurirana procena stanja u trenutku k ,

$\bar{X}(k+1)$ – predikcija stanja u trenutku $k+1$,

$U(k)$ – poznati deterministički ulaz, kao što je npr. relativna promena položaja cilja uzrokovana manevrom objekta na kojem je smešten senzor.

Istovetan model primenjuje se i u slučaju preostale dve koordinate cilja.

Ukoliko se kao vektor merenja $Z = [x \ y \ z]^T$ usvoje koordinate cilja u *DKS* i jednačinu merenja (2) moguće je opisati u linearnom obliku

$$Z(k+1) = HX(k+1) \quad (6)$$

pri čemu H predstavlja matricu merenja. S obzirom na to da se u slučaju radara, kao rezultat merenja, dobijaju daljina, azimut i elevacija, odnosno sferne koordinate cilja (*SKS*) u odnosu na položaj senzora, neophodno je izvršiti njihovu konverziju u *DKS* na osnovu transformacija opisanih jednačinama (7a–7c):

$$x = D \cos \psi \cos \vartheta \quad (7a)$$

$$y = D \sin \psi \cos \vartheta \quad (7b)$$

$$z = D \sin \vartheta \quad (7c)$$

Ažuriranje nove vrednosti vektora stanja obavlja se korišćenjem jednačine

$$\hat{X}(k+1) = \bar{X}(k+1) + W(k+1)[Z(k+1) - \bar{Z}(k+1)] \quad (8)$$

Vrednosti predikcije merenja $\bar{Z}(k+1)$ i matrice Kalmanovog pojačanja $W(k+1)$ dobijaju se u skladu sa sledećim jednačinama:

$$\bar{Z}(k+1) = H\bar{X}(k+1) \quad (9a)$$

$$\bar{P}(k+1) = F \cdot \hat{P}(k) \cdot F^T + Q \quad (9b)$$

$$S(k+1) = H(k+1) \cdot \bar{P}(k+1) \cdot H^T(k+1) + R \quad (9c)$$

$$W(k+1) = \bar{P}(k+1) \cdot H^T(k+1) \cdot S^{-1}(k+1) \quad (9d)$$

$$\hat{P}(k+1) = \bar{P}(k+1) - W(k+1) \cdot H(k+1) \cdot \bar{P}(k+1) \quad (9e)$$

gde su:

$\hat{P}(k+1)$, $\hat{P}(k+1)$ – ažurirana i predviđena kovarijaciona matrica greški procena stanja,

$S(k+1)$ – kovarijaciona matrica inovacione sekvence $[Z(k+1) - \bar{Z}(k+1)]$,

Q i R – kovarijacione matrice šumova procesa i šumova merenja.

Na prvi pogled prikazano rešenje sasvim je prihvatljivo s obzirom na to da obezbeđuje jednostavnu implementaciju algoritma. Međutim, detaljnijom analizom uočavaju se dva ozbiljna nedostatka [16].

Prvi problem proističe iz zahteva da podatak o daljini cilja bude obavezno raspoloživ, kako bi se mogle izvršiti konverzije podataka iz sfernog u Dekartov sistem koordinata. U slučaju individualnog korišćenja IC senzora ovaj podatak nije raspoloživ.

S druge strane, u slučaju da se praćenje ostvaruje u DKS, greške merenja postaju međusobno korelisane, bez obzi-

ra na to što su u izvornom koordinatnom sistemu merenja međusobno nezavisne. Pri opisu kovarijacione matrice šuma merenja R_S u SKS, pretpostavlja se da statističke karakteristike šumova odgovaraju sekvencama belog Gaussovog šuma, sa nultim srednjim vrednostima, i standardnim devijacijama $\sigma_R^2 \sigma_\psi^2 \sigma_\theta^2$, tako da matrica R_S ima dijagonalnu formu:

$$R_S = \text{diag}[\sigma_R^2 \sigma_\psi^2 \sigma_\theta^2] \quad (10)$$

Imajući u vidu da su merenja u DKS definisana na osnovu transformacija (7a–7c) Jakobijan transformacije iz sfernih u Dekartove koordinate, J_{DS} se definiše kao:

$$J_{DS} = \begin{bmatrix} \cos\psi/\cos\theta & -D\sin\psi/\cos\theta & -D\cos\psi/\sin\theta \\ \sin\psi/\cos\theta & D\cos\psi/\cos\theta & -D\sin\psi/\sin\theta \\ \sin\theta & 0 & D\cos\theta \end{bmatrix} \quad (11)$$

pa se kovarijaciona matrica šuma merenja u DKS izračunava kao:

$$R = J_{DS} R_S J_{DS}^T \quad (12)$$

Očigledno je da su vandijagonalni elementi matrice R različiti od nule, što otežava izračunavanje odgovarajuće inverzne matrice u jednačini (9d) za Kalmanovo pojačanje. Vrednosti njenih elemenata izračunavaju se tokom samog procesa praćenja, u realnom vremenu, na osnovu podataka o daljini D , uglu azimuta ψ i elevaciji θ .

Alternativni pristup problemu omogućava direktno uvođenje izmerenih vrednosti u vidu nelinearnih merenja u jednačinu za ažuriranje stanja (8). S obzirom na to da vektor merenja $Z = [D\psi\theta]^T$ u ovom slučaju sadrži podatke o daljini,

azimutu i elevaciji cilja, neophodno je uvesti predikcije njihovih vrednosti:

$$\bar{D} = [\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2]^{1/2} \quad (13a)$$

$$\bar{\psi} = \tan^{-1}(\bar{y}/\bar{x}) \quad (13b)$$

$$\bar{\vartheta} = \tan^{-1}\left(\left([\bar{x}^2 + \bar{y}^2]^{1/2}\right)/\bar{D}\right) \quad (13c)$$

Jednačina merenja (2) ostaje nelinearna, pa je u odgovarajućim jednačinama filtra (9c–9e) neophodno uvesti matricu H koja se u konkretnom slučaju izračunava kao Jakobijan

$$H = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=\bar{x}(k+1)} \quad (14)$$

na osnovu parcijalnih derivacija jednačina (13a–13c).

Novodobijena forma algoritma poznata je pod nazivom prošireni Kalmanov filter. Imajući u vidu nelinearnost merenja, kao i nemogućnost raspredanja filtra zbog prirode Jakobijana (14) (na primer, parcijalna derivacija elevacionog ugla ϑ sadrži derivative u smeru sve tri ose DKS), numerička realizacija filtra postaje složenija, a može se očekivati i veća osetljivost na greške u proceni inicijalnih vrednosti kinematskih stanja cilja, kao i kovarijacione matrice greške procene stanja P .

Treći mogući pristup zasniva se na prevodenju estimiranih stanja ciljeva, kao i odgovarajućih kovarijacionih matrica, iz pravouglog sistema u koordinatni sistem senzora. Nakon ažuriranja vrednosti unutar odgovarajućeg filtra, novodobijene procene stanja se prevode, kao i odgovarajuća kovarijaciona matri-

ca, ponovo u pravougli koordinatni sistem. S obzirom na to da je neophodno izvršiti dve transformacije, ovaj metod se smatra nepraktičnim u odnosu na prethodna dva, ali je neizbežan u nekim situacijama, kao na primer u slučaju IMM (interactive-multiple-model) algoritma.

Osnovna ideja ovog algoritma ogleda se u paralelnom korišćenju filtra sa različitim modelima kretanja cilja. Ceo algoritam izvršava se u vidu ciklične strukture sastavljene od četiri osnovna koraka a to su:

1. *Formiranje ulaznih procena (interaction)*. Ovaj korak je tipičan za IMM algoritam. Svaki ciklus otpočinje kombinovanjem poslednjih procena stanja $\hat{x}_i(t-1)$, kao i kovarijacionih matrica $P_i(t-1)$, uz upotrebu odgovarajućih težinskih koeficijenata p_{ij} i μ_i , kako bi se formirali podaci $(\hat{x}_j^0(t-1), P_j^0(t-1))$ za filter zasnovan na modelu $M_j(t)$, ($1 \leq j \leq N$):

$$\hat{x}_j^0(t-1) = \sum_{i=1}^N \hat{x}_i(t-1) \frac{p_{ij}\mu_i(t-1)}{c_j} \quad (15)$$

$$P_j^0(t-1) = \sum_{i=1}^N \frac{p_{ij}\mu_i(t-1)}{c_j} [P_i(t-1) + (\hat{x}_i(t-1) - \hat{x}_i^0(t-1))(\hat{x}_i(t-1) - \hat{x}_i^0(t-1))^T] \quad (16)$$

pri čemu

$$c_j = \sum_{i=1}^N p_{ij}\mu_i(t-1) \quad (17)$$

predstavlja normalizacionu konstantu. Koeficijent p_{ij} označava verovatnoću prelaska sa modela M_i u $(t-1)$ na model M_j u trenutku (t) , a $\mu_i(t-1)$ predstavlja vred-

nost odgovarajućeg težinskog koeficijenta. Tako je u okviru N novodobijenih procena $(\hat{x}_j^0(t-1), P_j^0(t-1))$ ostvareno povezivanje hipoteza o validnosti svakog modela M_j .

2. *Obrada podataka u Kalmanovim filtrima.* U ovom koraku svaki filter generiše nove procene $\hat{x}_i(t-1)$ i $P_i(t-1)$ u skladu sa svojim modelom kretanja cilja $M_i (1 \leq i \leq N)$.

3. *Izračunavanje težinskih koeficijenata.* Na osnovu funkcije gustine verovatnoće

$$\Lambda_j(t) = \frac{1}{[(2\pi)^n |S_j(t)|]^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \eta_j^T(t) S_j^{-1}(t) \eta_j(t) \right] \quad (18)$$

gde je:

$\eta_j(t)$ – inovacija (razlika izmerenih i očekivanih vrednosti),

n – dimenzija merenja,

$S_j(t)$ – matrica kovarijanse sekvence inovacija u filtru sa modelom M_j ,

težinski koeficijenti se izračunavaju kao:

$$\mu_j(t) = \frac{\Lambda_j(t) \cdot c_j}{\sum_{j=1}^N \Lambda_j(t) \cdot c_j} \quad (19)$$

4. *Formiranje konačne procene.* Kombinacijom pojedinačnih procena, dobijenih na izlazima svih filtera, formira se konačna procena stanja:

$$\hat{x}(t) \equiv \sum_{j=1}^N \hat{x}_j(t) \mu_j(t) \quad (20)$$

Sličnim postupkom dobija se i odgovarajuća kovarijaciona matrica greški procena stanja:

$$P(t) = \sum_{j=1}^N \mu_j(t) [P_j(t) + (\hat{x}_j(t) - \hat{x}(t)) (\hat{x}_j(t) - \hat{x}(t))^T] \quad (21)$$

Ukoliko se pretpostavi realizacija IMM algoritma tako što su usvojena tri modela kretanja cilja u horizontalnoj ravni [17]:

– kretanje konstantnom brzinom (constant velocity – CV) sa vektorom kinematskih stanja $X_C = (x \ v_x \ y \ v_y)^T$,

– Singerov model kretanja [7] sa vektorom kinematskih stanja $X_S = (x \ v_x \ a_x \ y \ v_y \ a_y)^T$,

– kružno kretanje cilja približno konstantnom brzinom v u horizontalnoj ravni sa vektorom kinematskih stanja $X_T = (x \ y \ \psi \ \omega \ v)^T$,

jasno je da nastaje konfliktna situacija s obzirom na to da treba kombinovati vektore stanja koji se razlikuju, kako po broju, tako i po fizičkoj prirodi odabranih elemenata. U konkretnom slučaju problem se rešava transformisanjem vektora stanja koji odgovara modelu kružnog kretanja cilja u horizontalnoj ravni, u jedinstveni format koji odgovara Singerovom modelu kretanja cilja:

$$X_{TC} = (x \ v_{xC} \ a_{xC} \ y \ v_{yC} \ a_{yC})^T$$

Pri tome su elementi novodobijenog vektora X_{TC} definisani jednačinama:

$$\begin{aligned} v_{xC} &= v \cos(\psi) & v_{yC} &= v \sin(\psi) \\ a_{xC} &= -\omega v_{yC} & a_{yC} &= \omega v_{xC} \end{aligned} \quad (22)$$

U slučaju CV modela fizikalna priroda kinematskih stanja cilja identična je prirodi stanja u jedinstvenom formatu, pa se procenjene vrednosti koriste direktno uz pretpostavku da odgovarajuća ubrzanja a_x i a_y ne postoje, odnosno da su njihove vrednosti jednake nuli.

Nakon objedinjavanja odgovarajućih vektora stanja neophodno je izvršiti konverziju dobijenih podataka na osnovu jednačina (22), ali ovaj put u inverznom obliku, kako bi se mogli koristiti pri reinicijalizaciji filtra sa modelom kružnog kretanja cilja u horizontalnoj ravni. Pri tome treba imati u vidu da je neophodno sprovesti sličan postupak i sa odgovarajućim kovarijacionim matricama stanja cilja P .

Zaključak

U radu je prikazan deo raspoloživih informacija koje se odnose na problematiku izbora koordinatnih sistema, kako bi se ilustrovao značaj razmatranja ovog problema pri projektovanju globalnog sistema za praćenje ciljeva u multisenzorskom okruženju. Konačan izbor očigledno proizlazi iz niza zahteva koje treba ispuniti, posebno kada se ima u vidu mobilnost senzora, njihov prostorni razmeštaj, kao i specifičnost algoritama za estimaciju kinematskih stanja i formiranje trajektorija uočenih ciljeva. U slučaju senzora koji su smešteni na mobilnoj platformi (na primer, bespilotna letelica ili avion) neophodno je obaviti najmanje dve konverzije prikupljenih podataka: iz sfernog u koordinatni sistem, vezan za ose letelice, i konačno u odgovarajući pravougli koordinatni sistem, vezan za neku referentnu tačku na Zemlji, u kojem se objedinjuju podaci sa svih senzora. S

druge strane, kada su u pitanju stacionarni senzori, izbor koordinatnog sistema je uslovljen njihovim prostornim rasporedom. U slučaju da se podaci dobijaju od senzora koji su prostorno udaljeni, tako da zaobljenost Zemlje ima značajniji uticaj, objedinjavanje podataka zahteva primenu stereografskog koordinatnog sistema koji, za razliku od drugih koordinatnih sistema, zahteva primenu niza specifičnih transformacija. Specifičnosti algoritama za estimaciju stanja, kao i numerički zahtevi koji se pojavljuju u tom smislu, takođe unose dodatna ograničenja u pogledu slobode izbora odgovarajućih koordinatnih sistema.

Može se zaključiti da izbor koordinatnog sistema, kada se prati veći broj ciljeva u multisenzorskom okruženju, treba zasnovati na primeni odgovarajuće višekriterijumske analize.

Literatura:

- [1] Lang Hong: Sense Your world better: multisensor/information fusion, Circuits and systems, vol. 10, number 3, September/October 1999.
- [2] A. Houles and Y. Bar-Shalom: Multisensor tracking of a maneuvering target in clutter, IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst., vol AES-25, March. 1989, pages 176-188.
- [3] J. J. Burke: Stereographic Projection of radar data in a netted radar system, ESD-TR-73-210, AD 771544, Bedford, MA: The MITRE corporation, Nov. 1973.
- [4] R. G. Mulholland and D. W. Stout: Stereographic projection in the national airspace system, IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst., vol AES-18, Jan. 1982, pages 48-57.
- [5] E. M. Shank: A coordinate conversion algorithm for multisensor data processing, DOT/FAA/PM-86-37, DTIC Report No AD-A176368, Cambridge, MA: MIT Lincoln Laboratory, Aug. 5, 1986.
- [6] S. S. Blackman et al.: Application of multiple hypothesis tracking to multi-radar air defense systems, AGARD Proc. multi-sensor multi-target data fusion, tracking and identification techniques for guidance and control applications, AGARD-AG-37, Oct. 1996.
- [7] R. A. Singer: Estimation optimal tracking performance for manned maneuvering targets, IEEE trans, on Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-6, July 1970, pages 473-483.
- [8] Y. T. Chan, A. G. C. Hu, J. B. Plant: A Kalman filter based tracking scheme with input estimation, IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-15, Mar. 1979, pages 237-244.

- [9] Y. Bar-Shalom and K. Birmiwal: Variable dimension filter for maneuvering target tracking, *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, vol AES-18, Sept. 1982, pages 621–629.
- [10] P. L. Bogler: Tracking a maneuvering target using input estimation, *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, vol AES-23, May 1987, pages 298–310.
- [11] H. A. P. Blom and Y. Bar-Shalom: The interacting multiple-model algorithm for systems with Markovian switching coefficients, *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, vol AES-24, Aug. 1988, pages 780–783.
- [12] J. A. Roecker, C. D. McGillem: Target tracking in maneuver-centered coordinates, *IEEE Trans. on Aerosp. Electron. Syst.*, vol AES-25, Nov. 1989, pages 836–842.
- [13] A. S. Gelb: *Applied optimal estimation*, Cambridge, MA: MIT Press, 1974.
- [14] Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann: *Tracking and data association*, Orlando, FL: Academic Press, 1988.
- [15] A. H. Jazwinski: *Stochastic processes and filtering theory*, New York: Academic Press, 1970.
- [16] S. S. Blackman: *Multiple-target ytracking with radar applications*, Artech House, 1986.
- [17] S. S. Blackman and R. Popoli: *Design and analysis of modern tracking systems*, Artech House, 1999.

PRIMENA METODA UGAONE SUPERREZOLUCIJE ZA KONCIPIRANJE GLAVE ZA SAMONAVOĐENJE PROTIVRADARSKJE RAKETE

UDC:623.465.3 : [623.46 :: 623.623]

Rezime:

U radu su analizirani sistemi klasične pasivne radarske detekcije ciljeva i definisani zahtevi superrezolucije dva vrlo bliska radarska cilja. Analizirane su referentne metode superrezolucije zasnovane na određivanju ugla dolazećih elektromagnetnih talasa uzorkovanjem talasa i određivanju spektra snage signala u zavisnosti od prostorne frekvencije uz neodvojivo prisustvo ugaonog šuma. Uzorkovanjem određenog broja snimaka, procenom prostorne frekvencije i matrice kovarijacije primljenih korisnih signala i šuma, moguće je egzaktno obnavljati neophodnu informaciju o rezoluciji dva bliska cilja u senzoru glave za samonavođenje protivradarske rakete. Upoređujući zahtevane i dobijene parametre: tačnost smjera, rasipanje smjera, tačnost razdvajanja dva izvora i verovatnoća pouzdanog razdvajanja, u radu se preporučuje modifikovana metoda maksimalne entropije kao najbolja metoda za rezoluciju-razdvajanje dva ugaono vrlo bliska cilja koje „vidi“ glava za samonavođenje protivradarske rakete.

Ključne reči: protivradarska raketa, glava, metoda, superrezolucija, verovatnoća, sličnost, entropija, rasipanje, snimak, tačnost, šum, greška.

ANGULAR SUPERPOSITION WETHOD AND ITS APPLICATION IN THE CONCEPT OF THE ANTIRADAR MISSILE HOMING HEAD

Summary:

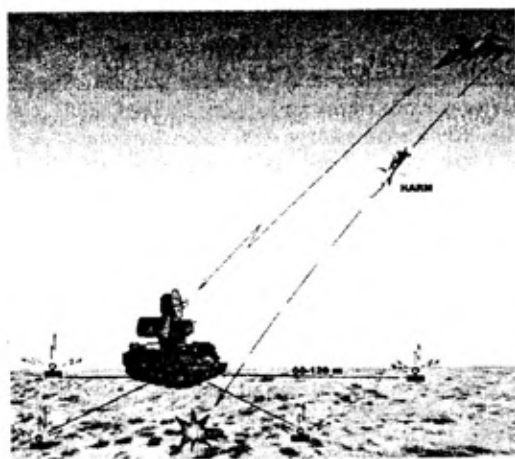
In this paper the systems of classic passive radar detection of radar targets are analyzed and the requests of superposition of two very close radar targets are defined. Also, there are analyzed reference methods of superposition based on the angle determination of incoming electromagnetic waves by waves sampling and determination of signal power spectrum as a function of space frequency in the presence of angular noise (clutter). By sampling a number of footprints of signals and by the estimation of the space frequency and the covariation matrix of received useful signals and noise, it is possible to repeat accurately necessary information about the resolution of two close targets at the sensor of the antiradar missile homing head. After comparing required and gained parameters: accuracy of direction, standard deviation of direction, accuracy of separation of two sources and probability of reliable separation, it is recommended in the paper to use a modified method of maximum entropy, as the best method for the separation of two angular very close targets that are seen by the homing head of the antiradar missile.

Key words: antiradar missile, homing head, method, superposition, probability, similarity, entropy, dissipation, footprint, accuracy, angular noise, error.

Efikasnost ugaone rezolucije glave za samonavođenje protivradarske rakete može kvantitativno da se ustanovi ako se glava posmatra kao određeni sistem za ugaono razdvajanje dva radarska izvora zračenja, uz relativno stroge uslove, a to su [3, 5]: odnos signal / šum < 20 dB i razmak izvora zračenja $< 1^\circ$.

Klasični sistemi, prikazani u tabeli 1, sa specificiranim tačnošću ($1-3^\circ$) kao na slici 3, ne mogu rešiti ovaj problem. Zato se pravac, odnosno vrlo precizan smer izvora zračenja, može odrediti primenom određenih savremenih metoda superrezolucije, koje se temelje na uzorkovanju fronta dolazećeg talasa. Osnovne funkcije, koje bi ovako koncipiran sistem (glava) trebalo da izvrši, kada se posmatraju dva ugaono vrlo bliska izvora zračenja, jesu:

– uzorkovanje M uzoraka – snimaka fronta talasa, koji se pamte u određenoj memoriji glave za samonavođenje uz pomoć linearnog niza p – neusmerenih senzora, uniformno raspoređenih;



Sl. 1 – Realna preciznost pogađanja protivradarske rakete

Red. broj	Sistemi pasivne radarske detekcije		
	Vrsta radarskog senzora	Merni radari, izviđačka sredstva i samonavodene rakete	Upozoravajuća radarska sredstva (lokatori zračenja)
		Visoko zahtevane karakteristike	Nisko zahtevane karakteristike
1.	Frekventno područje	0,5 do 18 GHz	2 do 18 GHz
2.	Greška merenja	0,5 do 1°	5 do 15°
3.	Osetljivost antenskog kanala	-70 dBm	-45 dBm
4.	Dinamičko područje	60 dB	30 do 60 dB
5.	Verovatnoća detekcije	100%	100%
6.	Analiza prepoznavanja svih parametara	ne	da
7.	Vreme odziva	nije kritično	minimalno
8.	Ostali zahtevi	visoka tehnologija	srednja i visoka tehnologija
		srednji i visoki dobitak antene	ne
		moćnost prijema zračenja višefrekvencijskih i agilnih radara	ne
		sektorsko mereno područje (90 do 180°)	ne

– procenjivanje matrice kovarijacije uzoraka talasa (koja treba da bude hermitska, odnosno zatvorena i pozitivno semidefinitna. Za određene metode procenjuje se i matrica kovarijacije šuma samog sistema, uz pohranjivanje snimaka i izvršenje operacije konjugovano kompleksne transpozicije na svakom snimku;

– oduzimanje doprinosa šuma od doprinosa korisnog signala, za dobijanje bolje rezolucije uz što niži odnos signal-šum, što se postiže modifikovanim metodama superrezolucije, koje se temelje na poznavanju procene nove matrice kovarijacije.

Poznate savremene metode superrezolucije (razdvajanje dva ugaono vrlo bliska izvora) zračenja elektromagnet-skih talasa su:

- metoda maksimalne entropije (MEM);
- metoda maksimalne sličnosti (MLM);
- Pisarnikova metoda (PIS);
- modifikovana metoda maksimalne entropije (MEM)*;
- modifikovana metoda maksimalne sličnosti (MLM)*.

Smerovi zračenja izvora elektromagnetskih talasa, za sve navedene metode, određuju se na osnovu zavisnosti spektra snage od funkcije prostorne frekvencije, odnosno, funkcije tzv. prostornog ugla.

Uzorkovanje fronta talasa

Neka se razmatra slučaj kada se elektromagnetni talasi šire u jednoj ravni i kada su prostor i vreme nezavisne veličine, tj. mogu se odvojeno analizirati. Korisni signali, koji datiraju od dva ugao vrlo bliska izvora C_1 i C_2 , su dva ravna talasa, (slika 2). Pretpostavka je da se oni prikupljaju pasivnim monoimpulsnim antenskim sistemom hipotetičke glave za samonavodjenje. Svaki od ovih talasa može se shvatiti kao kompleksni sinusoidalni vremensko prostorni talas, prema relaciji:

$$f(t, r) = c \exp [j(2\pi f t + k r)] \quad (1)$$

gde je:

c – kompleksna slučajna amplituda talasa,

t – kontinualna vremenska promenljiva,

f – vremenska frekvencija,

$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ – kontinualna prostorna promenljiva,

$\vec{k} = k_x\vec{i} + k_y\vec{j} + k_z\vec{k}$ – talasni broj (prostorna frekvencija),

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – jedinični vektori u pravougaonom koordinatnom sistemu.

Talas koji putuje u smeru $\vec{k}$, brzinom prostiranja $v = 2\pi f / |\vec{k}|$, uzorkuje se linearnim nizom neusmerenih antenskih dipola (senzora), uniformno raspoređenih duž x -ose, na međusobnoj udaljenosti d , gde je $y = z = 0$. Tako se za detektovani signal, u pasivnom monoimpulsnom antenskom sistemu glave, može napisati:

$$f_x(t, x) = c \exp [j2\pi f t + k_x x] \quad (2)$$

Uz poznati iznos konstante brzine prostiranja može se odrediti veličina talasnog broja $|k| = 2\pi f / v$ i tzv. polarni ugao γ , pridružen talasu koji datira iz cilja C_1 , a iz sledeće relacije $\cos \gamma = k_x / |k|$.

Ako su vreme i prostor nezavisni, i ako se posmatra da se talas širi u x - y ravni, problem sa 4 promenljive svodi se na jednu dimenziju, tako da se odvojeno može analizirati f i k_x . Ugao koji ravni talas zatvara prema y osi je θ i on je komplement polarnog ugla γ , tako da važi $\sin \theta = k_x / |k| = k_x \lambda / 2\pi$, odakle za talasni broj duž ose x sledi:

$$k_x = 2\pi \sin \theta / \lambda \quad (3)$$

gde je λ talasna dužina ravnog talasa.

Ako se u nultom senzoru O definiše koordinatni početak, tada će n -ti senzor uzorkovati talas u tački $x = n d$. U bilo kom trenutku vremena, na izlazima senzora, dobiće se vrednost [3]:

$$y(n) = f_x(nd) = c \exp \{ [j2\pi nd \sin \theta] / \lambda \} \quad (4)$$

$$0 \leq n \leq p-1$$

Skup p , istovremeno uzetih prostornih uzoraka, prema relaciji (3) naziva se snimak. To je, u stvari, niz uzoraka, kompleksne sinusoide, čija je prostorna frekvencija ω :

$$\omega = k_x d = 2\pi d \sin \theta / \lambda \quad (5)$$

Procena prostorne frekvencije ω daje direktno procenu smera rasprostiranja θ , za ravni talas, za koji je poznata talasna dužina λ , odnosno odnos d/λ . Ovaj model može se proširiti na dva i više ravnih talasa, pri čemu je potrebno uključiti i doprinos šuma u senzorima sistema za uzorkovanje talasa. Procena smera za dva izvora elektromagnetnih

talasa C_1 i C_2 , ugaono vrlo bliska, utoliko se bolje određuje ukoliko se koristi veći broj snimaka, koji, uz ωk -tu prostornu frekvenciju, imaju sledeći oblik:

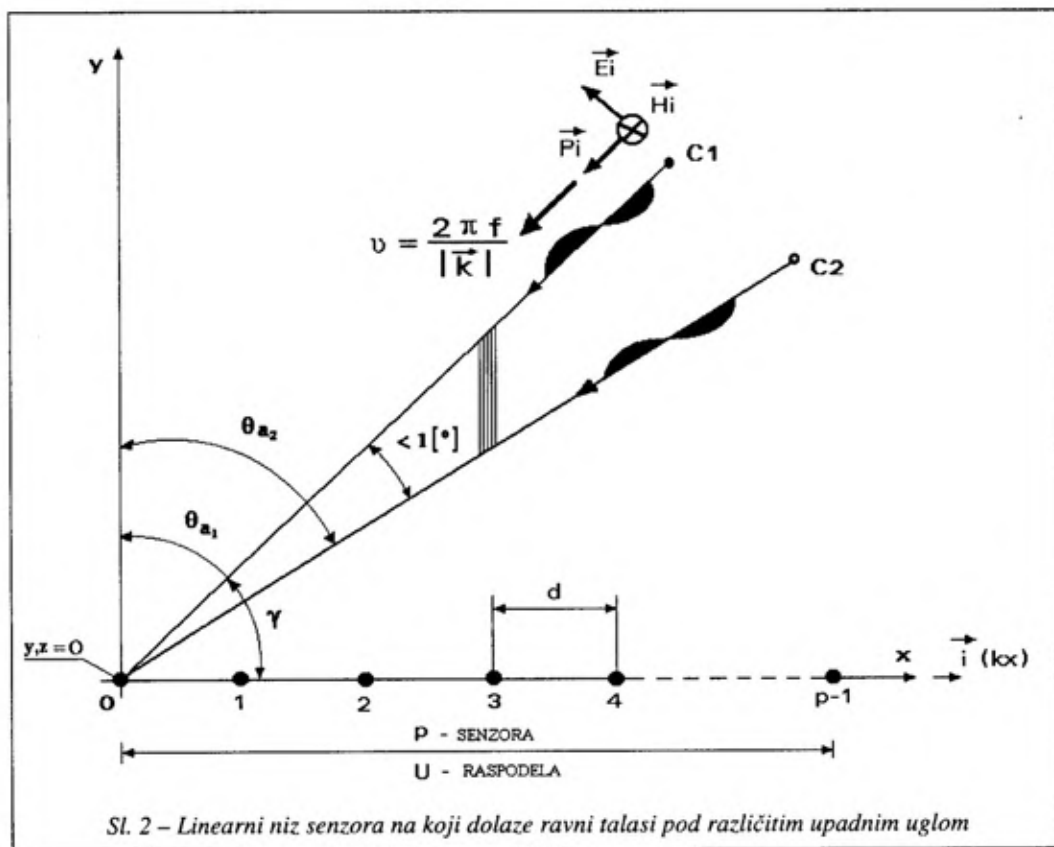
$$y_m(n) = \eta_m(n) + \sum_{k=1}^q C_{km} \exp(jn\omega_k);$$

$$1 \leq m \leq M, 0 \leq n \leq p-1 = \quad (6)$$

$$= \eta_m(n) + \sum C_k \{ \cos(n\omega_k) + j \sin(n\omega_k) \}$$

gde je m – redni broj snimaka, a M – ukupan broj snimaka.

Ako se koriste određene vektorske oznake, snimak dat relacijom (6), poprima oblik koji je slučajan, zbog zavisnosti od šuma η_m i korisnog signala C_m :



$$y_m = \eta_m + \sum_{k=1}^q \alpha_k S_{\omega k} = \eta_m + SC_m; \quad (7)$$

$$1 \leq m \leq M$$

gde je:

$S_{\omega k}$ – vektor kompleksnih sinusoida,

C_m – vektor amplituda korisnog signala,

S – matrica dimenzije $p \times q$, koja je uvedena da se snimak, prikazan šumom, može algebarski napisati.

Cilj istraživanja, iz [3, 4], a koja se ovde samo elaboriraju i predlažu, jeste procenjivanje prostorne frekvencije ω_k uz što veći broj snimaka.

Procenjivanje matrice kovarijacije

Snimak je vektor podataka. Dimenzije su mu određene brojem senzora, a svi elementi vektora su oblika $KA \exp j\phi$, gde je K – determinisana konstanta, a A i ϕ su nezavisne slučajne veličine. Matrica kovarijacije, uz pretpostavku da je srednja vrednost vektora podataka $E\{y_m\} = 0$, jeste:

$$R = E\{y_m y_m^*\} = N + SPS^* \quad (8)$$

gde je:

$N = E\{\eta \eta^*\}$ – matrica kovarijacije šuma,

$P = E\{C_m C_m^*\}$ – matrica kovarijacije korisnog signala,

$S = [S_{\omega 1}, S_{\omega 2}, \dots, S_{\omega m}]$ – matrica dimenzije $p \times q$,

$*$ – operacija konjugovano-kompleksne transpozicije.

Procena matrice kovarijacije korisnog signala i šuma prikazana je uz pomoć sledećih izraza:

$$\hat{R} = 1/M \sum_{m=1}^M y_m y_m^*; \hat{N} = 1/M \sum_{m=1}^M \eta_m \eta_m^* \quad (9)$$

gde je:

M – ukupan broj snimaka,

p – broj senzora,

y_m, η_m – snimak, dimenzije $p \times 1$,

y_m^*, η_m^* – konjugovano transponovani snimak, dimenzije $1 \times p$.

Da bi se dobila procena matrice kovarijacije u elektronskom sklopu (trekeru) glave za samonavođenje, treba pomnožiti vektore $y_m y_m^*$, izvršiti operaciju konjugovano-kompleksne transpozicije na svakom snimku, pohraniti snimke i dobijenu sumu podeliti sa brojem snimaka. Ova procena $\hat{R}$ sadrži doprinos korisnog signala i šuma koji potiče samo od šuma u kanalu, tj. od elektronike iza senzora. Tada je matricu kovarijacije šuma moguće odrediti pre uključivanja sistema za uzorkovanje fronta talasa korisnog signala. Niz senzora može se realizovati kao niz prijemnih antena (npr. dipola, štampanog monoimpulsnog antenskog sistema u strip tehnologiji). Tako koncipirane pasivne antene osetljive su na promenu međusobne udaljenosti, tj. međuimpedancijsko delovanje, tako da se uz pomoć p prilagođenih tereta može prikupiti m uzoraka šuma samog sistema, prikazanog jednačinom (9) pre njegovog uključenja. Ako se analizira slučaj kada je broj uzoraka šuma jednak broju uzoraka fronta talasa, moguće je primeniti određenu proceduru obnavljanja matrice kovarijacije šuma i signala, uz sukcesivno prikupljanje uzoraka.

Prikaz metoda za određivanje smera izvora zračenja

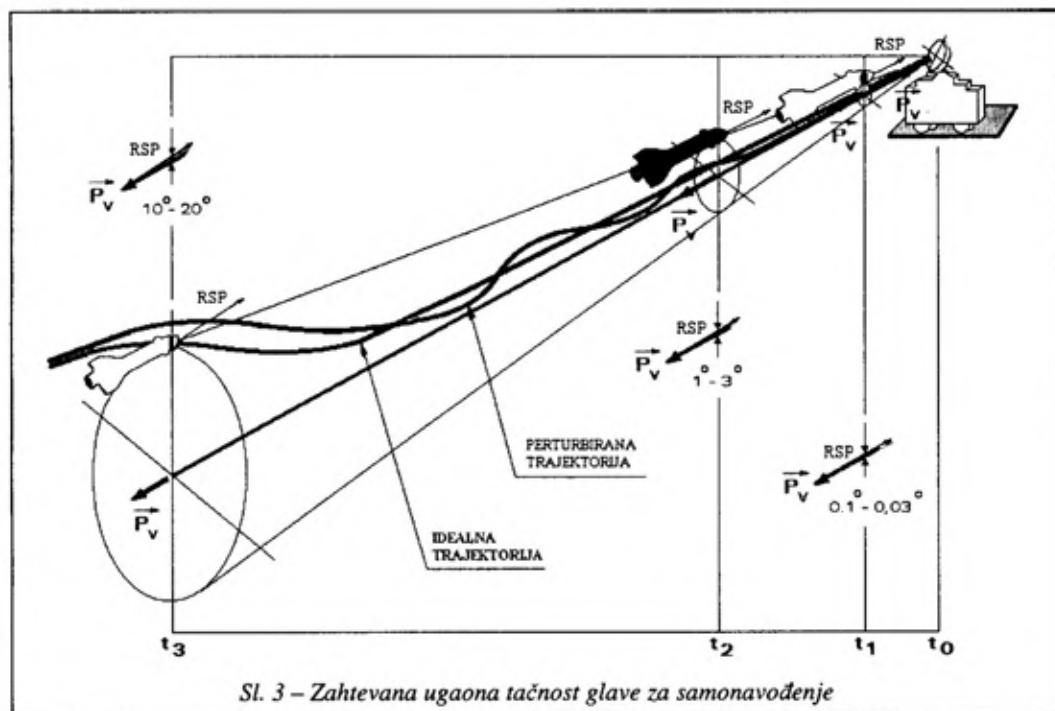
Za sve metode zajednički je oblik funkcije koja daje zavisnost spektra snage od prostorne frekvencije. Budući je prostorna frekvencija ω funkcija prostornog ugla θ , moguće je odrediti i grafički prikazati ovu zavisnost. Položaj maksimuma spektra snage $P[xxx]$ određuje tačan položaj izvora zračenja, gde indeks $[xxx]$ predstavlja skraćenu oznaku metode. Dijagrami određivanja smera zračenja prikazani su na slici 4, za različite metode, odnosno parametre razdvajanja. Ti parametri su: odnos signal / šum (S/N), broj snimaka (M), odnos ($d/\lambda = 0,5$), broj prilagođenih tereta (udaljenost između senzora) ($p = 8$) i uglovi razdvajanja (ugaoni sektor $\theta_1 = 20^\circ$ i $\theta_2 = 21^\circ$).

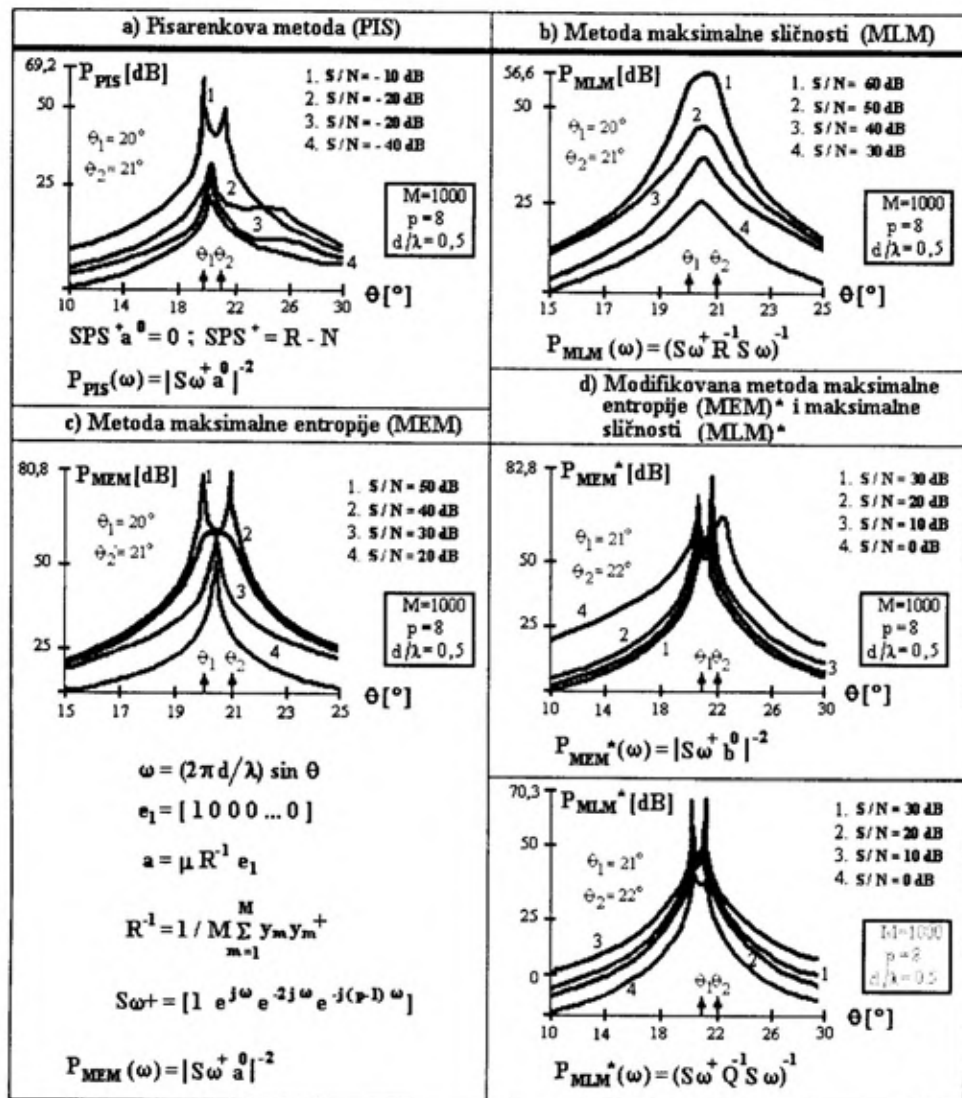
Kao što se uočava na slikama 4 i 5, u slučaju dva izvora postoje dva maksimuma i jedan minimum između njih, koji menja svoju dubinu u zavisnosti od primenjene metode, odnosa S/N i ugaone udaljenosti između senzora.

Metoda maksimalne entropije (MEM) ekvivalentna je Winer-ovom linearnom prediktivnom filtru sa najmanjom kvadratnom greškom predikcije [1].

Metoda maksimalne sličnosti (MLM) ekvivalentna je filtru koji propušta snagu na prostornim frekvencijama od interesa, a snagu na svim ostalim frekvencijama potiskuje na optimalan način.

Pisarenkova metoda (PIS) najpre identifikuje i odstranjuje doprinos šuma u matrici kovarijancije, određuje optimalne koeficijente filtra iz uslova ortogonalnosti, a zatim, pomoću izračunatih koeficijenata, određuje spektar snage.





Sl. 4 – Ilustracija komparacije metoda superrezolucije radarskog zračenja

Modifikovane metode maksimalne entropije i maksimalne sličnosti (MEM, MLM) postižu bolju rezoluciju izvora zračenja uz niži odnos S/N . One se koriste kada šum potiče samo od sistema za uzorkovanje fronta talasa, tj. od prijemnika glave. Tada se doprinos šuma izraču-

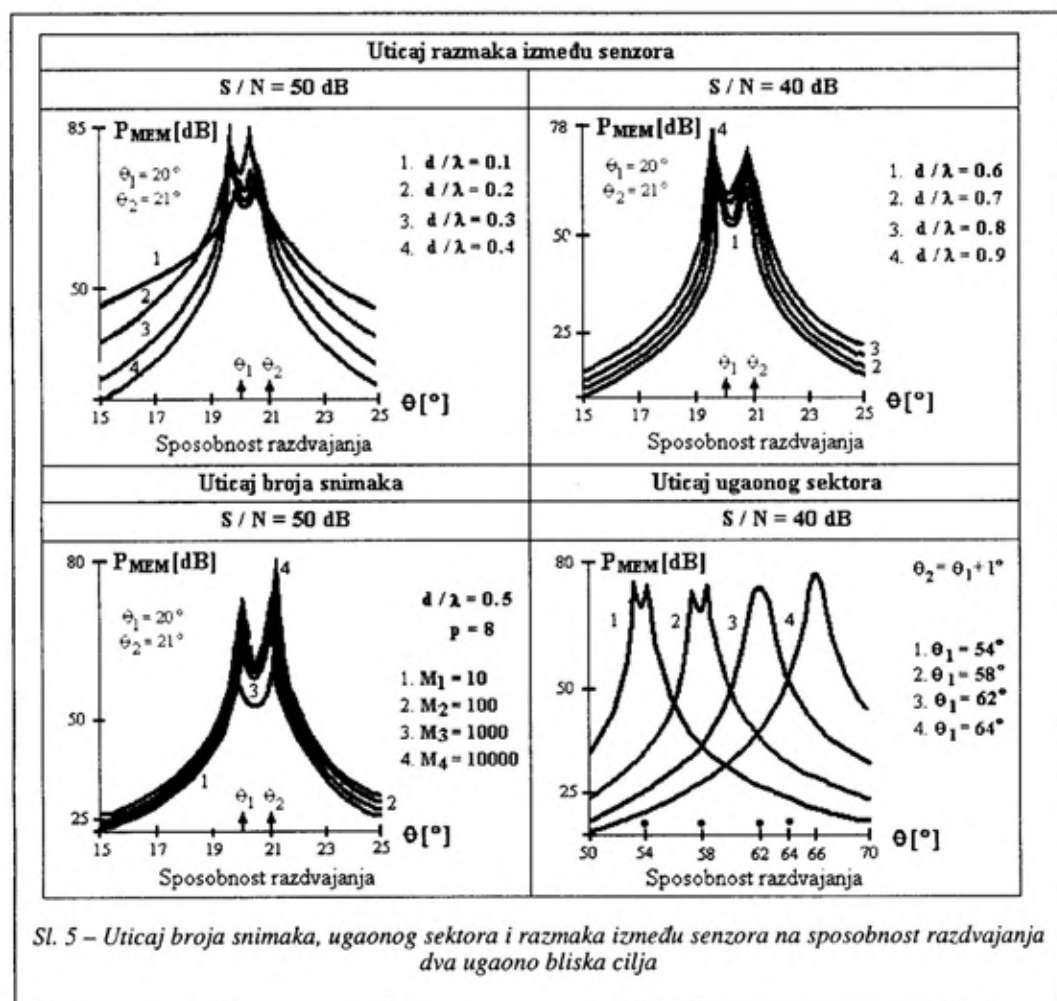
nava pre uključivanja sistema za uzorkovanje i sadržan je u proceni matrice kovarijancije šuma.

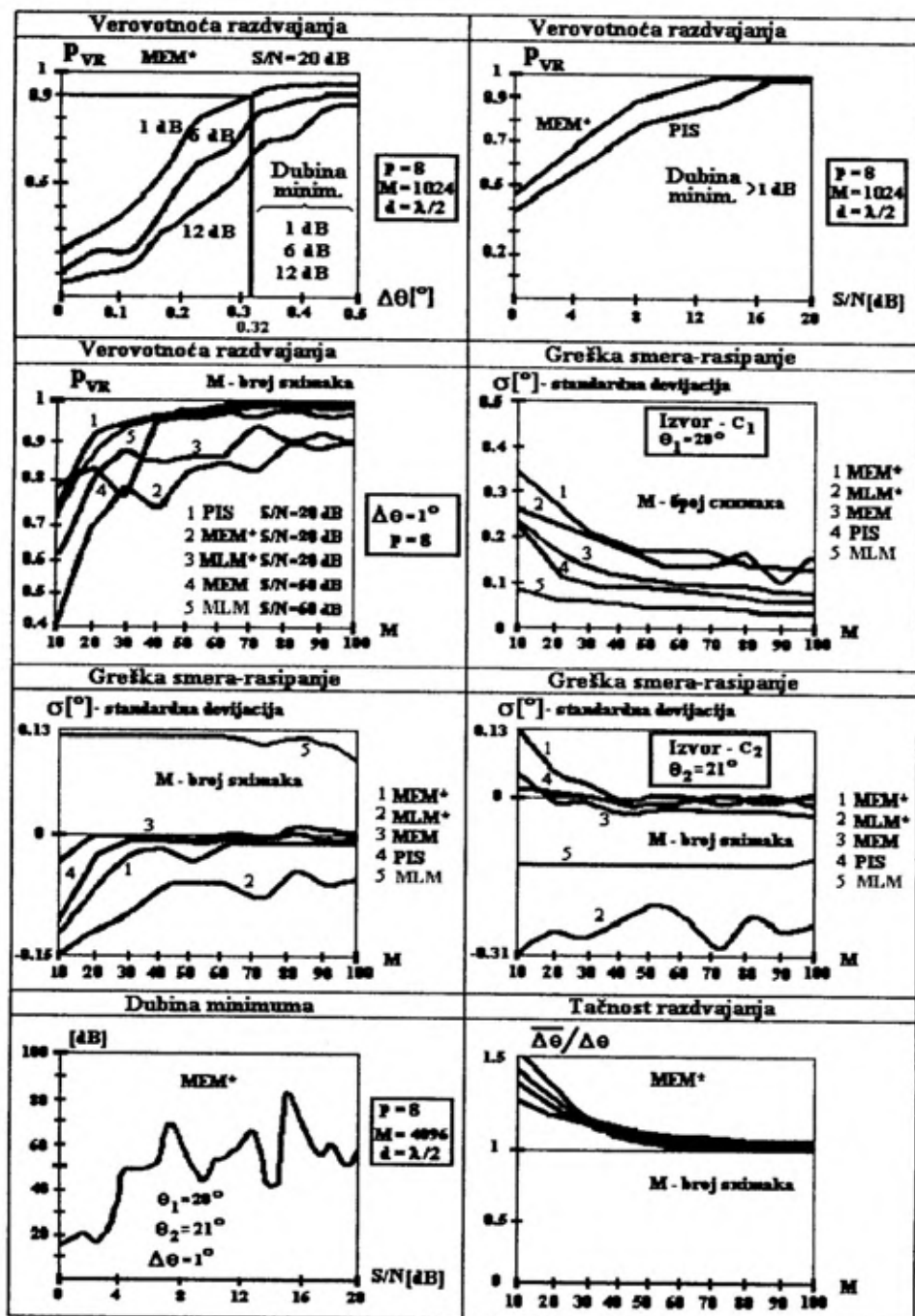
Pouzdanost razdvajanja i upoređenje pojedinih metoda određuje se na osnovu verovatnoće razdvajanja u funkciji od broja snimaka i statističke analize simula-

cionih eksperimenata uz zadate parametre. Računaju se srednja vrednost, kao indikator tačnosti, i standardna devijacija izmerenog smera, kao indikator rasipanja. Uz parametre razdvajanja: broj snimaka talasnog fronta, ugaoni sektor, udaljenost između senzora, broj senzora, ugaona udaljenost, statistika korisnog signala i šuma, navedena statistička analiza treba da odgovori na pitanje da li su zadovoljeni zahtevi, koji se odnose na završni deo putanje leta protivradarske rakete, kao na slici 3 (trenutak - t_1), a to su:

- tačnosti smera $\pm 0,04^\circ$,
- rasipanje smera $0,2^\circ$,
- tačnost razdvajanja dva izvora 14-26%,
- verovatnoća pouzdanog razdvajanja 0,95.

Greška smera definiše se kao razlika tačne vrednosti smera i iznosa srednje vrednosti smera dobijene za datu metodu. Srednja vrednost smera računa se onda, i samo onda, kada je dubina minimuma u odnosu na niži maksimum ≥ 1 dB. Tačnija je ona metoda koja daje manji iz-





Sl. 6 – Zavisnost greške smjera, rasipanja greške, tačnosti, dubine minimuma dva cilja i verovatnoće razdvajanja dva cilja

nos greške smera. Istraživanja sprovedena u [3, 4] pokazuju, kao na slici 6, da se za broj snimaka $M > 40$, vrednosti greške kreću unutar granica $\pm 0,004^\circ$ za metode MEM, PIS i MEM*.

Tačnost razdvajanja određuje se na temelju procene srednje vrednosti ugaonog razmaka $\Delta\theta$, normirane na stvarni iznos ugaonog razmaka od $\Delta\theta = 1^\circ$. U [3, 4] pokazano je da metode MEM, PIS i MEM* tačno razdvajaju dva izvora, jer normirana vrednost uglova $\Delta\theta/\Delta\theta \rightarrow 1^\circ$ sa porastom broja snimaka praktično teži razdvajanju od 100%. Kod metode MLM* to razdvajanje iznosi 14%, a kod MLM približno 26%. Greška razdvajanja u direktnoj je vezi sa iznosom greške smera. Metoda sa većom tačnošću smera ima i veću tačnost razdvajanja, i obratno. Tako se metoda MEM odbacuje po kriterijumu odnosa S/N , metoda MLM* po kriterijumu tačnosti, a MLM po kriterijumu tačnosti i odnosa S/N . Na slici 4 vidi se da najbolje rezultate, po tačnosti razdvajanja, daju metode MLM* i PIS.

Verovatnoća razdvajanja definiše se kao sposobnost da se uz određeni odnos S/N razdvoje dva izvora na nekoj ugaonoj udaljenosti, ako je zadata potrebna dubina minimuma u odnosu na niži maksimum (bočnu lepezu). Verovatnoća razdvajanja koristiti se i kao indikator pouzdanosti pojedine metode superrezolucije. Ako se poveća odnos S/N za metode MEM* i PIS, kao u [5], dobija se 100% verovatnoća razdvajanja za svaki M -i snimak. Pri određivanju navedene verovatnoće razdvajanja potrebno je unapred ostvariti zadatu dubinu minimuma, a većem odnosu S/N ne odgovara uvek i veća dubina navedenog minimuma. Ako se

Tabela 2
Granice ugaonog razmaka za metode MEM*
i PIS dobijene uz odgovarajući odnos S/N [dB]
i verovatnoću razdvajanja $p_{vr} = 90\%$

Metoda	$\Delta\theta$		
	Dubina minimuma		
	1 dB	6 dB	12 dB
PIS	0,34°	0,43°	>0,5°
MEM*	0,32°	0,40°	0,5°

kao parametar upoređivanja posmatra odnos S/N , to će metoda MEM* sa većom verovatnoćom razdvojiti dva izvora, na standardnoj ugaonoj udaljenosti od $\Delta\theta = 1^\circ$, u odnosu na metodu PIS. Smanjenjem odnosa S/N smanjuje se i verovatnoća ovog razdvajanja. Analiza u [2, 4, 5], kao što se vidi i u tabeli 2, pokazuje da se metode MEM* i PIS neznatno razlikuju po iznosu ugaone udaljenosti na kojoj se mogu razdvojiti dva izvora zračenja. Prezentacija ovih istraživanja predstavljena je na slikama 5 i 6.

Zaključak

Stroge polazne tehničke zahteve za ugaono razdvajanje dva bliska radarska cilja, moguće je realizovati sistemom pasivne radarske detekcije koji ima ugrađenu proceduru koja obuhvata uzorkovanje snimaka fronta nailazećih elektromagnetnih talasa, procenjivanje njihove matrice kovarijacije i neophodno oduzimanje doprinosa šuma.

Kako je istraženo, sistem sa visokim zahtevima ugaone rezolucije radarskih ciljeva procenjuje njihovu prostornu frekvenciju formiranjem vektora podataka korisnog signala, uz izvršenje neophodnih matematičkih operacija konjugovano-kompleksne transpozicije signala po određenoj

metodi superrezolucije, uz tačno definisan kriterijum tačnosti razdvajanja, odnosa signal/šum i verovatnoće razdvajanja.

Uzimajući u obzir kriterijume koje treba da realizuje glava za samonavođenje protivradarske rakete na završnom delu putanje, a uz istraživanje uticaja razmaka između senzora i broja neophodnih snimaka, približno optimalni rezultati sposobnosti razdvajanja postignuti su metodom PIS i MEM*.

Analizirajući u ovom radu dubinu minimuma radvajanja dva bliska radarska cilja, kao dodatni parametar, modifikovanoj metodi maksimalne entropije – MEM* daje se određena prednost u realizaciji sistema ugaone superrezolucije pri

procesiranju signala u glavi za samonavođenje protivradarske rakete.

Literatura:

- [1] Bogdanović, M.: Optimalni prijem radarskih signala, Zagreb, TŠC, lekcije, 1980.
- [2] Basalov, F. A.: Statističeskaja teorija radio – lokacij protjačennih ciljev, Moskva, Radio i svjaz, 1982.
- [3] Čosović – Bajić, S.: Komparativna analiza i modifikacija metoda kutne superrezolucije za nekorelisanu smetnju, Beograd, VTI, NTP, br. 5–6, vol. XXXVII, 1987.
- [4] Čosović – Bajić, S.: Statistička analiza metoda kutne superrezolucije za nekorelisanu smetnju, Beograd, VTI, NTP, br. 7, vol. XXXVII, 1987.
- [5] Hovanessian, S. A.: Introduction to Sensor Systems, New York, Artech House, 1988.
- [6] Marković, S.; Šunjevarić, M.: Otkrivanje protivradarske rakete – preduoslov i polazna mera za protivelektronsku zaštitu radarskog sistema, Beograd, VTI, NTP, vol. XLII, br. 10, str. 32–38, 1992.
- [7] Marković, S.; Šunjevarić, M.: Analiza efikasnosti mera protivelektronske zaštite radara od protivradarskih raketa, Beograd, VTI, NTP, vol. XLIII, br. 10, str. 18–28, 1993.

Rezime:

Protokoli kvaliteta usluga (Quality of Service – QoS) sadašnjih i budućih telekomunikacionih mreža razvijeni su, pored ostalog, sa ciljem da podrže različite klase usluga (Class of Service – CoS) komunikaciju u realnom vremenu, kao i prenos multimedijalnih poruka preko paketskih IP (Internet Protocol) mreža. U radu je dat pregled karakteristika tih protokola i ocena njihovih konkretnih mogućnosti u obezbeđenju kvaliteta usluga unutar sistema („s vrha do dna“, tj. vertikalno u OSI arhitekturi) kao i „horizontalno“, odnosno s kraja na kraj veze, tj. između izvora i odredišta.

Ključne reči: kvalitet usluga, protokoli, telekomunikacione mreže, analiza.

ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE PROTOCOLS IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Summary:

Today's and future telecommunication networks must enable transmission throughout heterogeneous environment, using different Quality of Service protocols. Quality of Service protocols use a variety of complementary mechanisms to enable deterministic end-to-end different data delivery. The analysis of these protocols and their efficiency in providing QoS and CoS, has been given in this paper.

Key words: quality of service, protocols, telecommunication networks, analysis of protocols.

Uvod

Postoji više definicija i načina da se objasni suština kvaliteta usluga, tj. QoS-a [1]. Može se reći da QoS predstavlja sposobnost elemenata telekomunikacione mreže, uključujući i računarske mreže, tj. entitete, aplikacije, računare, komutatore ili rutere, da obezbede određeni nivo verodostojnosti i sigurnosti prenosa poruka.

Standardne IP mreže, po svojoj tehničkoj koncepciji, pružaju najviše što u

momentu prenosa mogu, tj. „best effort“ kvalitet i ne obezbeđuju unapred definisan kvalitet usluga. IP mreže prenose pakete podataka sa kašnjenjem, varijacijom kašnjenja i određenom verovatnoćom da će paket podataka biti ispravno prenet, tj. da neće biti izgubljen tokom prenosa. Takav kvalitet zadovoljava samo tipične Internet primene, odnosno klase usluga (engl. Class of Service, CoS), kao što su: elektronska pošta (E-mail), prenos datoteka (file transfer) i Web aplikacije (WWW application).

Kašnjenje pri prenosu paketa podataka preko IP mreže stvara velike probleme za aplikacije koje zahtevaju komunikaciju u realnom vremenu, kao što su multimedijalna komunikacija [2] i paketski prenos govora i video signala [3]. Aplikacije koje zahtevaju prenos u realnom vremenu imaju potrebu za povećanjem propusnog opsega, kao i zahteve za malom varijacijom kašnjenja pri prenosu paketa, odnosno poruke. Povećanje propusnog opsega prvi je neophodan korak za prilagođavanje IP mreža na aplikacije koje se realizuju u realnom vremenu. Čak i na relativno neopterećenim IP mrežama, kašnjenje pri prenosu poruke vrlo je veliko i ne može se jednostavno prilagoditi za komunikaciju u realnom vremenu.

Da bi se obezbedile nove klase usluga i komunikacija u realnom vremenu, IP mreže se moraju dograditi novim tehničkim rešenjima, tj. novim kvantitativnim i kvalitativnim performansama. Pod tim se podrazumeva da se IP mreži dodaje određeni nivo „inteligencije“ kako bi se podržao saobraćaj koji zahteva stroga vremenska ograničenja u prenosu kroz datu mrežu. Pri tome imaju se u vidu zahtevi za ograničeno kašnjenje, varijaciju kašnjenja (džiter), propusni opseg i verovatnoću uspešnog prenosa paketa poruke, odnosno podataka. Problem se rešava korišćenjem *protokola kvaliteta usluga*.

QoS protokol ne kreira potreban propusni opseg već omogućava upravljanje širinom propusnog opsega, tako da se on efikasno koristi kod različitih aplikacionih zahteva. Cilj QoS-a je da obezbedi određeni nivo predikcije i upravljanja kvalitetom, nasuprot postojećim IP „best effort“ (maksimalno što mreža može) uslugama. Dodavanje „inteligencije“ i

poboljšanja „best effort“ usluga čine osnovne tehničke faktore koji su uticali na to da globalna računarska mreža Internet bude uspešna u komunikaciji. Ipak, današnje IP mreže, uključujući Internet, koriste principe rutiranja paketa podataka za koje je karakteristično sledeće:

- korišćenje ruta, odnosno puteva kroz mrežu sa najdužom maskom (eng. longest match);

- rutiranje se vrši isključivo na bazi određene IP adrese, dužine 32 bita za protokol IPv4, a 128 bita za protokol IPv6. IP adresa se obrađuje u svakom čvoru mreže, odnosno u svakom ruteru na putu od izvora do odredišta;

- ne podržavaju se različite klase usluga CoS (Class of Service) niti QoS takvih novih usluga;

- rutiranje nije prilagođeno zahtevima koji se odnose na rad u realnom vremenu i multimedijalnu komunikaciju.

Ove karakteristike svakako su doprinele razvoju i korišćenju protokola kvaliteta usluga.

Namena QoS protokola

Zadatak QoS protokola, kao i drugih mera za obezbeđenje kvaliteta usluga, jeste da omogući različite usluge za individualne saobraćajne tokove (individual flows) ili skupove saobraćajnih tokova (aggregate flows), bez prekidanja rada IP mreže. Uvedeni su brojni QoS protokoli sa zadatkom da zadovolje veoma širok spektar različitih aplikacionih potreba, odnosno zahteva za kvalitet usluga.

Pojedine aplikacije naročito su značajne s obzirom na njihove QoS zahteve. Radi toga se definišu dva osnovna tipa QoS-a, čija je namena:

– *rezervacija resursa* (Resource reservation) ili integrisane usluge. Mrežni resursi se prilagođavaju u skladu sa određenim QoS zahtevima i potčinjavaju principima upravljanja propusnim opsegom;

– *obezbeđenje prioriteta* (Prioritization) ili diferencirane usluge. Mrežni saobraćaj se različito klasifikuje i raspodeljuje mrežni resursi u skladu sa kriterijumima upravljanja propusnim opsegom. Prema mogućem, odnosno traženom QoS-u, elementi mreže daju povlašćeni tretman onim saobraćajnim tokovima koji imaju mnogo strože zahteve u pogledu kvaliteta usluga.

Ovi tipovi QoS-a mogu se primeniti na individualni saobraćajni tok ili na skupove saobraćajnih tokova. Na osnovu ove podele mogu se definisati dva tipa QoS-a:

– *prema toku*: „tok“ se definiše kao individualni, jednosmerni niz podataka koji se prenosi između dve aplikacije (predajnik i prijemnik), i koji se jednoznačno identifikuje na osnovu pet elemenata (transportni protokol, adresa izvora, broj izvornog porta, adresa odredišta, broj odredišnog porta);

– *prema skupu tokova*: skup tokova čine dva ili više saobraćajnih tokova. Skup tokova može imati zajednički jedan ili nekoliko prethodno navedenih parametara, labelu ili broj prioriteta, ili podatak o autentičnosti.

Analiza karakteristika QoS protokola

Aplikacije i topologija IP mreža odlučuju koji je tip QoS-a odgovarajući za individualni tok ili skup tokova. Da bi se mreža prilagodila potrebama tih različitih tipova

QoS-a postoje brojni različiti QoS protokoli i algoritmi, među kojima su najčešći:

– *protokol integrisane usluge* – *IntServ* (Integrated Service – IntServ) dodelom prioriteta porukama osigurava zahtevani kvalitet;

– *protokol upravljanja pod mrežnim propusnim opsegom* – *SBM* (Subnet Bandwidth Management – SBM) omogućava kategorizaciju i prioritete paketa podataka na drugom sloju (Layer 2), odnosno na vodu podataka OSI modela mreže, deljenjem i komutacijom mreža prema standardu IEEE 802;

– *protokol diferenciranih usluga* – *DiffServ* (Differentiated Services – DiffServ) predstavlja jednostavan način za kategorizaciju i obezbeđenje prioriteta tokova mrežnog saobraćaja;

– *protokol rezervacije resursa* – *RSVP* (ReSerVation Protocol – RSVP) obezbeđuje signalizaciju da bi omogućio rezervaciju mrežnih resursa (postupak poznat kao integrisane usluge, engl. Integrated Service);

– *protokol prenosa u realnom vremenu* – *RTP* (Real time Transport Protocol – RTP);

– *protokol upravljanja u realnom vremenu* – *RTCP* (Real Time Control Protocol – RTCP);

– *protokoli ATM adaptacionog sloja* – *AAL-1, AAL-2, AAL-5* (ATM adaptation layer AAL);

– *protokol komutacije multiprotokolske labele* – *MPLS* (MultiProtocol Label Switching – MPLS) omogućava upravljanje propusnim opsegom za skupove saobraćajnih tokova preko mreže sa rutiranjem upravljanim labelom. Labela se nalazi u zaglavlju paketa podataka.

Ne ulazeći detaljno u kompletne karakteristike navedenih protokola, u radu je prikazana samo analiza njihovih performansi sa stanovišta kvaliteta usluga. Posebno su značajni protokoli QoS-a koji se danas masovnije koriste u mrežama, kao i oni koji se planiraju za buduću generaciju mreža.

Protokol integrisane usluge – IntServ najstariji je postupak za poboljšanje QoS-a IP mreža. Ostvaruje se signalizacijom i rezervacijom resursa za prioritetne poruke, koju omogućava Ethernet protokol pri prenosu podataka kroz mrežu. IntServ predstavlja proceduru kojom se označava posebna klasa saobraćaja za koju se zahteva „best effort“ usluga, ili minimalno kašnjenje od izvora do odredišta paketa podataka. Drugim rečima, IntServ omogućava klasifikaciju paketa korišćenjem funkcionalnih mogućnosti Ethernet protokola, dodelom prioriteta. Primenjuje se na periferiji paketskih IP mreža.

Protokol upravljanja podmrežnim propusnim opsegom – SBM omogućava kategorizaciju i definisanje prioriteta paketa podataka na drugom sloju (Layer 2) OSI modela mreže, deljenjem i komutacijom paketa poruka u mreži, prema standardu IEEE 802. Standardi IEEE 802.1p, 802.1Q i 802.1D definišu kako Ethernet komutatori (switches) klasifikuju ramove (frame), radi ekspeditivne otpreme vremenski kritičnog saobraćaja. Radna grupa IETF-a (Internet Engineering Task Force) u dokumentu „Integrated Service over Specific Link Layer“, definisala je mapiranje (preslikavanje) između QoS protokola viših nivoa i usluga koje omogućavaju protokoli voda podataka, kao što je to Ethernet protokol. Pored ostalog, razvijen je SBM protokol za razdva-

janje i komutaciju 802 LAN mreža, kao što su: Ethernet, FDDI, Token Ring, Token Bus, itd. SMB je signalizacioni protokol koji omogućava komunikaciju i koordinaciju između mrežnih čvorova i komutatora sa protokolima drugog sloja. Takode, omogućava mapiranje QoS na QoS protokole viših slojeva.

Protokol diferenciranih usluga – DiffServ je procedura kojom se poboljšava protokol IntServ. Najčešće se koristi u WAN mrežama. DiffServ pravi razliku među paketima podataka, korišćenjem sadržaja polja TOS – „tip usluge“ (Type Of Service) u zaglavlju IPv4 protokola koje je prikazano na slici 1.

Polje TOS u DiffServ protokolu naziva se „DiffServ kodna tačka“ (Differentiated Services Code Point). Sadržaj polja TOS prikazan je na slici 2 [5].

Obezbeđenje QoS-a zasniva se na adaptaciji (označavanju) polja TOS u paketu podataka u zavisnosti od klase usluga (CoS). Različite CoS zahtevaju definisanje QoS parametara puta kroz mrežu, od izvornog do odredišnog rutera. Paketi se različito obeležavaju (diferenciraju), tako da se formiraju različite klase paketa, a time i različite klase usluga određenih aplikacija. Svaki ruter u mreži može da klasifikuje pakete korišćenjem sadržaja polja DSCP. U praktičnim primenama koriste se dva nivoa usluga:

VERSION VERZIJA	4 bita	4 bita	8 bita	78 bita
	IHL	TOS	LENGTH (DUŽINA)	
IDENTIFICATION (IDENTIFIKACIJA)			FLAGS (MEBE)	FRAGMENT OFFSET (OFSET FRAGMENTA)
TTL	PROTOCOL IDENTIFIER (IDEN. PROTOKOLA)		CHECKSUM (KONTROLNI ZBIR)	
SOURCE IP ADDRESS (ADRESA IP IZVORA)				
DESTINATION IP ADDRESS (ODREĐENA IP ADRESA)				
OPTION (OPCIJE)				PADDING (DOPUNA)

Sl. 1 – Zaglavlje IPv4 protokola

dećem ruteru i tako unazad do predajnika. Kada je poslednji ruter primio poruku RESV i prihvatio zahtev, otprema unazad (prijemniku) poruku kojom potvrđuje rezervaciju. Nakon toga, utvrđenim putem preko mreže, obavlja se prenos paketa podataka sa zahtevanim QoS-om.

Protokol prenosa u realnom vremenu – RTP najčešće se koristi pri paket-skom prenosu govora. Zaglavlje ovog protokola prikazano je na slici 3.

RTP protokol pripada skupu protokola četvrtog sloja OSI arhitekture mreže, odnosno sloju prenosa, a služi za prenos poruka „s kraja na kraj“ veze, odnosno od izvornog do odredišnog entiteta. Podržava prenos poruka u realnom vremenu (prenos govora, video slike, teksta, grafike, itd.), omogućava utiskivanje vremenske markice (time stamp), kao i numerisanje sekvenci (sequence numbe-

ring), na osnovu čega se obezbeđuje sinhronizacija paketa poruke na odredištu.

Protokol upravljanja u realnom vremenu – RTCP podržava RTP protokol i obezbeđuje informacije o kvalitetu prenosa poruka, identifikuje RTP izvor, obavlja nadzor saobraćaja u mreži, itd.

Protokoli ATM adaptacionog sloja – AAL-1, AAL-2, AAL-5. U ATM (Asynchronous Transfer Mode) mrežama QoS se obezbeđuje korišćenjem virtuelnih kanala – VC (Virtual Channel) i virtuelnih puteva – VP (Virtual Path). Sistemom signalizacije, pre početka prenosa poruka u formatu ATM ćelija, uspostavlja se logička – virtuelna veza preko koje se prenose sve ćelije koje pripadaju istoj poruci [4]. Pri uspostavljanju takve veze uzimaju se u obzir parametri kvaliteta koji se odnose na zahtevani QoS. Drugim rečima, ATM obezbeđuje garantovani QoS, odnosno komunikaciju u realnom vremenu.

Protokol AAL-1 namenjen je za prenos sinhronih nizova bita i omogućava povezivanje E1 i T1 primarnih multiplesnih signala sa drugim pleziorhronim digitalnim hijerarhijskim sistemima (PDH) preko ATM mreže. Obezbeđuje struktuirani prenos podataka.

Protokol AAL-2 namenjen je za realizaciju usluga klase B, na primer, prenos komprimovanih audio i video signala, prenos multimedijalnih poruka, itd.

Protokol AAL-5 predstavlja jednostavan i efikasan adapterski sloj u familiji AAL protokola i ima najširu primenu u odnosu na sve ostale AAL protokole.

Komutacija multiprotokolske labele – MPLS. Definiše je Internet Engineering Task Force (IETF), kao kostur (Frame-

0	1	2	3	4	5	6	7
V		P	X	CSRC count (broj CSRC)			
M	PAYLOAD TYPE – TIP PEJLODA (Tip informacionog sadržaja)						
SEQUENCE NUMBER (2 bytes) – BROJ SEKVENCE							
TIMESTAMP (2 bytes) – VREMENSKA MARKICA							
SSRC (4 bytes)							
CSRC (0 – 60 bytes)							

Sl. 3 – Zaglavlje RTP protokola:
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – brojevi bita u bajtu, V – verzija RTP protokola (Version), P – dopuna (Padding), X – bit proširenja (Extension bit), CSRC COUNT – broj CSRC iza zaglavlja (Contains the number of CSRC), PAYLOAD TYPE – identifikatori formata RTP pejloada – korisničke informacije (Identifiers the formats of the RTP payload), SEQUENCE NUMBER – broj sekvence, TIMESTAMP – vremenska markica, SSRC – identifikatori izvora sinhronizacije (Identifiers the synchronization source), CSRC – lista identifikatora kontributivnih izvora (Contributing source identifiers list)

work) koji je namenjen za označavanje, rutiranje, usmeravanje i komutaciju saobraćajnih tokova kroz telekomunikacionu mrežu [6].

MPLS protokol obezbeđuje:

- specifične mehanizme za upravljanje saobraćajnim tokovima različitih granulacija, kao što su tokovi između različitih hardvera, mašina ili tokovi zbog različitih primena;

- zadržavanje nezavisnosti protokola drugog i trećeg sloja;

- način jednostavnog preslikavanja IP adresa na jednostavne labele fiksne dužine, koje se koriste pri usmeravanju i komutaciji paketa;

- interfejs prema postojećim ruterskim protokolima, kao što su RSVP protokol (Resource ReSerVation Protocol) i OSPF protokol (Open Shortest Path First);

- podršku protokolima trećeg i drugog sloja: IP, ATM i Frame Relay. MPLS je familija protokola koju čine: MPLS MultiProtocol Switching Label, MPLS Signalling Protocol, LDP Label Distribution Protocol, SR-LDP, RSVP-TE kao modifikovani RSVP protokol.

MPLS protokol pojavio se kao pogodno rešenje problema upravljanja propusnim opsegom i obezbeđenja usluga koje se zahtevaju od buduće generacije širokopojasnih kičmenih (IP backbone network) IP mreža [7]. Format MPLS protokola prikazan je na slici 4. Familijom MPLS protokola uvodi se novi princip rutiranja IP saobraćaja, koji je zasnovan na labelama. Labela je fiksne dužine 24 bita, odnosno znatno kraća u odnosu na dužinu IP adresa (IPv4, IPv6). Time se obezbeđuje znatno kraće vreme obrade u ruterima pri rutiranju saobraćaja, pa je kašnjenje paketa znatno manje u poređenju sa usmeravanjem na bazi IP adresa [8].

MPLS je sličan protokolu DiffServ, po tome što markira saobraćaj na ulaznim graničnim tačkama mreže, a demarkira na izlaznim tačkama. Za razliku od DiffServ protokola, koji markiranje koristi da bi ruterom definisao prioritet, MPLS markiranje (labelom od 20 bita) prevashodno je namenjeno za određivanje sledećeg skoka iz rutera (kroz mrežu) [10].

Aplikacije ne mogu upravljati sa MPLS, jer on nema aplikacione programirane interfejs API (Application Programming Interface) niti elemente protokola koji se odnose na krajnji računar (end-host). Za razliku od većine drugih opisanih QoS protokola, MPLS postoji samo na ruterima. To je nezavisan protokol, tj. označava se kao multiprotokol. Može se koristiti ne samo sa IP protokolom, nego i sa drugima kao što su: IPX, ATM, PPP ili Frame Relay. MPLS se može koristiti i direktno iznad protokola voda podataka (data-link layer).

Takođe, za MPLS se može reći da je više protokol „inženjeringa saobraćaja“, nego što je QoS protokol. MPLS rutiranje koristi se za obezbeđenje fiksiranog puta paketa podataka kroz mrežu, veoma slično uspostavljanju virtuelnih kola sa ATM i Frame Relay protokolima [10].

MPLS uprošćava proces rutiranja (smanjeno zaglavlje, povećane performanse), a istovremeno povećava fleksibilnost. Proces rutiranja saobraćaja u ruterima sa MPLS-om (LSR – Label Switching Router – ruter sa komutacijom labele) odvija se na sledeći način:

- proces počinje u prvom graničnom ruteru MPLS mreže. Ruter donosi odluku o usmeravanju na osnovu određene adrese ili neke druge informacije koja se nalazi u zaglavlju. Zatim, LSR ruter

VREDNOST LABELLE (Label Value)	EKSP (Exp.)	S	VREME ŽIVOTA (Time-to-Live)
-----------------------------------	----------------	---	--------------------------------

Sl. 4 – Format MPLS protokola:

VREDNOST LABELLE (Label Value) – zauzima polje veličine 20 bita. Koristi je ruter LSR (Label Swotching Router) za traženje ili sledećeg skoka (next-hop) ili operacije koju treba da izvrši ili tekući odlazni link

EKSPERIMENTALNI (Experimental) – zauzima polje veličine 3 bita, koje je rezervisano za eksperimentalnu upotrebu

„S“ POLJE – Ovo polje zauzima 1 bit. Označava granicu, odnosno kraj „steke“ labele

VREME ŽIVOTA (Time-to-Live, TTL) – zauzima polje veličine 8 bita. Sadrži broj koji se dekrementira u svakom ruteru kroz koji pređe paket podataka. Označava broj predenih skokova od izvora do odredišnog entiteta

BROJEVI: 1, 2, 3, ..., 30, 31 – označavaju bite 32-bitskog steke MPLS protokola

definiše odgovarajuću vrednost labele, koja identifikuje klasu ekvivalentnog usmeravanja – Forwarding Equivalence Class (FEC), dodaje labelu paketu podataka i usmerava ga na sledeći skok (hop);

– na sledećem „hopu“ LSR ruter koristi vrednost labele kao indeks za pretraživanje tabele koja specifikira sledeći skok i novu labelu. LSR ruter dodaje paketu novu labelu, a zatim paket usmerava na sledeći skok. Proces se dalje ponavlja do isporuke paketa na odredište.

Na taj način postiže se kraće vreme obrade zaglavlja pri rutiranju, a ruteri funkcionišu kao prosti komutatori. S druge strane, svi paketi koji pripadaju jednoj poruci prelaze isti put od izvora do odredišta, čime se smanjuje džiter i kašnjenje.

Ostali tipovi protokola značajni za kvalitet usluga

Postoje protokoli koji se ne mogu klasifikovati kao QoS protokoli. Kvalitet

usluga nije njihova osnovna karakteristika, ali oni imaju funkciju obezbeđenja QoS-a. To su:

– protokol upravljanja u realnom vremenu RTCP (Real Time Control Protocol) koji je namenjen za nadzor komunikacije u realnom vremenu, a koristi se pri multimedijalnoj komunikaciji;

– virtuelna privatna mreža – VPN (Virtual Private Network) omogućava formiranje iste infrastrukture komunikacionog kanala preko različitih tipova mreža. VPN formira vitruelni tunel, obezbeđuje autentifikaciju i protokole koji osiguravaju zaštitu, tajnost i integritet podataka koji se prenose, a može se koristiti kao rešenje koje omogućava QoS;

– multiprotokolska komunikacija preko ATM mreže – MPOA (Multi Protocol Over ATM). U ATM mrežama MPOA se koristi kao saobraćajni tok zasnovan na stvaranju puta kroz mrežu pre prenosa paketa poruke. Odluka o rutiranju donosi se onda kada je putanja paketa preko ATM mreže prethodno trasirana. Time se obezbeđuje da paketi, koji pripadaju istoj poruci, prelaze isti put od izvora do odredišta;

– internet protokol verzija 6 (Internet protocol version 6) jeste protokol mrežnog sloja buduće generacije globalne računarske mreže Internet. U principu nije QoS protokol, ali poseduje mogućnosti specijalnog rukovanja podacima pri njihovom rutiranju kroz mrežu. U zaglavlju IPv6 postoji polje „Tekuća labela“ (Flow Label) koje zauzima 24 bita. Ovim poljem iskazuju se specijalni zahtevi koji potiču od određenih aplikacija koje zahtevaju određeni nivo QoS-a.

Efikasnost u obezbeđenju kvaliteta usluga

Efikasnost QoS protokola, današnjih i budućih heterogenih telekomunikacionih mreža, može se dati na osnovu procene mogućnosti ispunjenja određenih parametara kvaliteta, kao što su:

- sinhronizacija multimedijalnih poruka;
- propusni opseg, odnosno efektivni bitski protok;
- kašnjenje signala pri prenosu;
- varijacija kašnjenja (džiter);

– verovatnoća gubitka paketa ili mogućnost korekcije grešaka nastalih tokom prenosa;

– garancija kvaliteta prenosa za određene klase usluga.

Procena kvaliteta koji mogu da obezbede određeni QoS protokoli prikazana je u tabeli. Zahteve za QoS u IP lokalnim računarskim mrežama mogu da zadovolje neki od pomenutih protokola, ali to nije slučaj sa mrežama širokog prostranstva. Danas QoS mogu da obezbede samo ATM mreže, dok pojedini protokoli mogu to uslovno (RSVP, MPLS, VPN).

Tabela

Parametri kvaliteta i protokoli QoS-a

Protokol kvaliteta usluga	Parametri kvaliteta usluga					Komunikacija u realnom vremenu	Garancija kvaliteta usluga
	Sinhron. multim. poruka	Propusni opseg	Kašnjenje	Varijac. kašnjenj. (džiter)	Verovat. gubitka paketa		
IntServ	ne	ne/da	da	ne	ne	ne	ne
SBM	ne	da	da	ne	ne	ne	ne
DiffServ	ne	da	da	ne	ne/da	ne	ne
RSVP	ne	da	da	ne/da	ne/da	da	ne
RTP	da	ne	da	da	ne	da	ne
ATM adaptacioni protokoli	da	da	da	da	ne/da	da	da
MPLS	ne	ne/da	ne/da	da	ne/da	da	ne/da
VPN	ne	ne/da	da	ne	ne	ne/da	ne/da
MPOA	da	da	da	da	ne	da	ne
RTCP	ne	ne	ne	ne	da	ne	ne
IPv6	ne	ne/da	ne/da	ne	ne	ne	ne

IntServ protokol vrši selekciju saobraćajnih tokova i dodeljuje prioritete pri deljenju resursa.

SBM protokol omogućava kategorizaciju i definisanje prioriteta paketa podataka na drugom sloju.

DiffServ protokol poboljšava protokol IntServ, a zasniva se na konceptu „skupova saobraćajnih tokova“, čime je ograničen broj klasa saobraćaja u kičmenoj mreži.

RTP protokol obezbeđuje sinhronizaciju paketa poruke na određitu i prenos u realnom vremenu.

RTCP protokol obezbeđuje informacije o kvalitetu prenosa poruka, identifikuje RTP izvor, obavlja nadzor saobraćaja u mreži, itd.

MPLS je namenjen za označavanje, rutiranje, usmeravanje i komutaciju saobraćajnih tokova, a više je protokol „inžinjeringa saobraćaja“ nego što je to QoS protokol.

RSVP protokol je signalizacioni protokol koji omogućava postavljanje rezervacije i upravljanje radi ostvarivanja integrisanih usluga.

ATM adaptacioni protokoli obezbeđuju garantovani QoS, odnosno komunikaciju u realnom vremenu.

Zaključak

QoS protokoli u sadašnjim IP mrežama imaju veoma limitirane mogućnosti, što je posledica ograničenja koja objektivno poseduje IP protokol (IPv4, IPv6), odnosno paketske IP mreže. ATM protokoli danas jedini podržavaju kvalitet usluga u širokopojasnim ATM mrežama. Može se očekivati da će dalji razvoj QoS protokola ići u smeru razvoja hibridnih IP/ATM protokola. To znači da će konvergencija IP rutiranja i ATM komutacije obezbediti širokopojasnu komunikaciju sa zahtevanim QoS-om.

Buduću generaciju mreža predstavljaće paketske mreže koje će omogućiti prenos multimedijalnih informacija (tekst, govor, podaci, video slika). Zasni-vaće se na QoS hibridnom ATM/IP protokolu koji će preuzeti sve najbolje od paketskih komutiranih IP mreža (fleksibilnost u rutiranju saobraćaja) i telekomunikacionih mreža sa komutacijom ka-

nala (pouzdanost i QoS za prenos u realnom vremenu).

U savremenim mrežama, zbog nedostataka postojećih QoS protokola, moraju se koristiti složene arhitekture QoS-a da bi se obezbedio kvalitet usluga „s vrha do dna, s kraja na kraj veze“.

Literatura:

- [1] Jevtović, M.: Kvalitet usluga telekomunikacionih mreža, Grafo-Žig, Beograd, 2002.
- [2] Jevtović, M.; Gardašević, G.: Analiza metoda sinhronizacije multimedijalnih poruka, konferencija ETRAN, Zlatibor, septembar 1999.
- [3] Jevtović, M.: Kvalitet usluga multimedijalnih telekomunikacionih mreža, Vojnotehnički glasnik, br. 6/2001, str. 622-637.
- [4] Jevtović, M.: Telekomunikacione ATM mreže, Grafo-Žig, Beograd, 2001.
- [5] <http://www.protocols.com/acronymus/m.html>
- [6] <http://www.lec.org/online/tutorials/mpls/index.html>
- [7] Hoebeke, R.; Aissaoi, M.; Nguzen, T. MPLS: Adding value to networking, Altacel Communications Review, 3-th Quarter 2002, pp. 177-182.
- [8] Guillet, J.; McConnell, S.; Morin S.: Multi-protocol network convergence: striking the right technology balance, Altacel Communications Review, 3-th Quarter 2002, pp. 172-176.
- [9] <http://www.protocols.com/pbook/mpls.htm> Protocol Directory, MPLS.
- [10] QoS protocols & architectures, White Paper, www.stardust.com, July 1999.

Rezime:

U narednim godinama raznovrsni uređaji, od ćelijskih telefona i laptopova do personalnih digitalnih pomoćnih sredstava i kućnih aparata, biće u mogućnosti da komuniciraju i budu međusobno povezani korišćenjem nove visoko-brzinske, mikrotalasne, bežične, link tehnologije male snage nazvane Bluetooth. Sadržaj ovog rada čine pregled tehnologije, standardizacija i primena Bluetootha.

Ključne reči: Bluetooth, tehnologija, bežični prenos, mreža, PAN.

WIRELESS NETWORKING TECHNOLOGY BLUETOOTH

Summary:

In the years to come, variety of devices, from cell phones and laptops to personal digital assistants and household appliances, will be capable of communicating and interoperating with one another using a new high-speed, low-power microwave wireless link technology called Bluetooth. The overview of this technology, standardization and application of Bluetooth are the contents of this paper.

Key words: Bluetooth, technology, wireless transmission, network, PAN.

Uvod

Bežični servisi su reprezent napretka tehnologije i, verovatno, otvaraju novu eru u razvoju telekomunikacija. Međutim, ovi servisi su u upotrebi duže od jednog veka, i za njih se još upotrebljava sinonim „radio“. Pri korišćenju telekomunikacionih usluga susreće se sa ograničenjima koja potiču od žičanih mreža, tako da je od poslednje dekade prošlog veka došlo do porasta primene bežičnih komunikacija, što je privuklo pažnju poslovnih udruženja, proizvođača i stručnih

krugova. Upotreba bežične mreže tehnologije potvrdila je da ona može da podrži dobre osobine koje pružaju žičane mreže, uz pružanje dodatne povoljnosti slobode računarskog rada.

U ovom radu dat je pregled bežične mrežne tehnologije Bluetooth i njena standardizacija.

Bežične mreže

Osamdesetih godina prošlog veka FCC (Federal Communications Commission), propisala je standard za bežične

mreže 802.11 IEEE. Njegov cilj je bio da se standardizuje razvoj bežičnih mreža u ISM (Industrial, Scientific and Medicine) frekvencijskim opsezima. Ovi opsezi obuhvataju frekvencije od 902 do 928 MHz, 2400 do 2483,5 MHz i 5725 do 5850 MHz. Danas je najpopularniji standard 802.11b kojim se reguliše prenos do 11 Mbit/s podataka, pri čemu domet signala zavisi od prepreka, materijala i linije posmatranja.

Komponente bežične mreže uključuju bežičnu adaptersku karticu i primopredajnik, drugačije nazvan access point (AP). Mrežna adapterska kartica je umetnuta u kompjuterski PCMCIA slot. Centralno lociran AP emituje i prima signale ka i od kompjutera u okruženju, koristeći adapterske kartice. Adapter propušta signale između bežičnih kompjutera i žičane mreže koristeći različite signalne tehnike.

Signalne tehnike koje su standardne za bežične mreže su: infracrvena, laserska, uskopojasna mikrotalasna i proširenog spektra (spread spectrum).

Infracrvena (IrDA) tehnologija je vrlo brza bežična tehnologija, ali je i najmanje pouzdana jer njene signale može zaustaviti najmanja prepreka. Ova tehnologija koristi infracrveni snop svetlosti za prenos signala ili informacija između kompjutera, štampača, PDA (personal digital assistants) uređaja i drugih uređaja. Infracrvena tehnologija predaje signale velikim brzinama zahvaljujući svom velikom propusnom opsegu. Postoje četiri tipa infracrvene tehnologije i to su: line-of-sight, scatter, reflective i širokopojasni optički telepoint.

Laserska signalna tehnika je slična infracrvenoj signalnoj tehnici pri čemu je za nju potrebno obezbediti direktnu liniju

posmatranja između uređaja u vezi, i svaki objekat koji se nađe na putu linije posmatranja prekida laserski prenos i blokira transmisiju. Laserska tehnologija je znatno osetljivija na spoljne smetnje od infracrvene tehnologije.

Uskopojasna mikrotalasna tehnologija je slična radiodifuziji radio-stanice. Radiodifuzni domet je 5000 m², a signal ne može proći kroz čelik ili noseće zidove. Ova tehnologija koristi segmente radio spektra od 18,82 do 19,205 GHz i licencirana je od FCC.

Tehnika prenosa u proširenom spektru (PPS) postaje jedna od najefikasnijih i najpouzdanijih tehnika radio-prenosa. Od više tehnika prenosa u proširenom spektru najzastupljenije su tehnike direktne sekvence (DS) i frekvencijskog skakanja (FH).

Kod direktne sekvence nosilac se moduliše pseudoslučajnom (PN) sekvencom čija je brzina prenosa mnogo veća od brzine prenosa modulišućeg signala koji se prethodno digitalizuje i sabira sa PN sekvencom po modulu 2. Na ovaj način dobija se širi radio-spektar od radio-spektra potrebnog za prenos modulišućeg signala bez PPS. Ovaj odnos širina radio-spektra PN sekvence i širine radio-spektra modulišućeg signala naziva se procesno pojačanje.

Kod frekvencijskog skakanja nosilac se pomera za diskretan priraštaj frekvencije diktiran kodnom sekvencom. Kod uređaja posebne namene obično kodna sekvenca predstavlja poverljiv podatak, i mora da bude poznata na prijemnom mestu. Vreme zadržavanja na jednoj učestanosti može biti konstantno, ali može biti i promenljivo do pseudoslučajnog.

Bluetooth je danas dobro ustanovljen komunikacioni standard za bežične veze na kratkim rastojanjima. Bluetooth zamenjuje mnoge odgovarajuće kablove koji povezuju jedan uređaj sa drugim, pomoću univerzalnog radio-linka kratkog dometa. Bluetooth radio-tehnologija, takođe, obezbeđuje univerzalni most ka postojećim mrežama podataka, periferijski interfejs i mehanizam za formiranje malih, privatnih ad hoc povezanih grupa uređaja, udaljenih od fiksni mrežnih infrastrukture.

Perspektiva razvoja bežične tehnologije ogleda se kroz različite realne korisničke scenarije na svetskom nivou, što uslovljava primenu različitih tehnologija. Osnovni korisnički scenariji bežične konektivnosti su:

- Wireless Personal Area Networking (WPAN),
- Wireless Local Area Networking (WLAN),
- Wireless Wide Area Networking (WWAN).

WPAN predstavlja aplikaciju bežične tehnologije koja se odnosi na personalne korisničke scenarije. Naglasak je na trenutnoj konektivnosti između uređaja, pri čemu se upravlja personalnim podacima ili se olakšava razmena podataka između male grupe pojedinaca. Bluetooth je viđen kao nosilac prenosa podataka za PAN mreže.

WLAN mreža je bazirana na organizaciji konektivnosti drugačijoj nego što je to kod žičano baziranih LAN veza. Cilj WLAN tehnologije je da članovima radnih grupa obezbedi pristup poslovnim mrežnim resursima sa mogućnošću vršenja razmene ili raspodele podataka, apli-

kacija ili pošte, ali na takav način da to ne utiče na mobilnost korisnika.

Dok se WLAN odnosi na konektivnost unutar definisanog regiona, WWAN se odnosi na potrebu da se ostane u vezi krećući se i izvan tih granica regiona. Danas ćelijska tehnologija omogućava bežičnu konektivnost kompjutera bilo preko kablova do ćelijskog telefona ili preko PC Card ćelijskog modema.

Pregled Bluetooth tehnologije

Princip rada

Bluetooth je mikrotalasna bežična link tehnologija male snage i velikog informacionog protoka, projektovana da poveže telefone, laptopove, PDA uređaje i drugu portabl opremu zajedno, sa malim učešćem ili bez učešća korisnika. Za razliku od infracrvene tehnologije, Bluetooth ne zahteva optičku vidljivost za rad učesnika u vezi. Kod ove tehnologije primenjene su modificirane postojeće bežične LAN tehnike, ali je najzapaženija po malim gabaritima i niskoj ceni. Kola tekućeg prototipa smeštena su na pločicu površine 0,9 cm², pri čemu je u toku razvoj mnogo manje verzije realizovane u jednom čipu. Očekuje se da će cena uređaja vrlo brzo pasti sa početne od 20 USD na 5 USD u narednih par godina. Takođe, očekuje se da će se Bluetooth više koristiti u sastavu opreme nego kao pojedinačni uređaj.

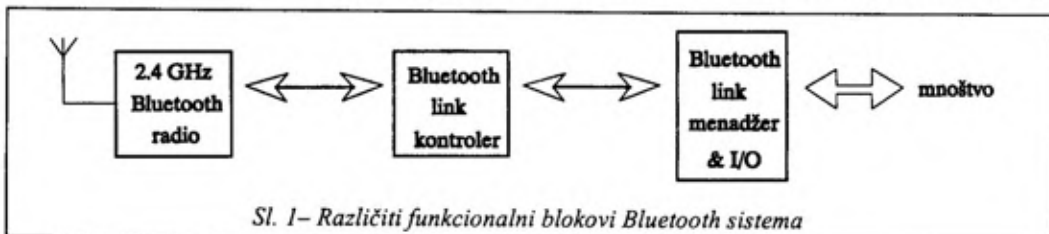
Ovu tehnologiju karakteriše vrlo fleksibilna mrežna topografija. Kada se Bluetooth proizvod nađe u oblasti pokrivanja drugog proizvoda (rastojanja od 10 cm do 100 m) oni automatski razmenjuju adrese i karakteristične detalje. Zatim us-

postavljaju pouzdan 1Mb/s link (do 2Mbps u drugoj generaciji tehnologije) sa korekcijom greške, koji se koristi prema zahtevima. Protokoli podržavaju govor i podatke. Radio funkcioniše na opštedostupnom nelicenciranom radio-opsegu od 2,402 GHz do 2,480 GHz (sa mogućnošću da međunarodni putnici koriste Bluetooth opremu), i obezbeđuje brzinu podataka do 721 Kbps, kao i tri kanala za prenos govora. Ova tehnologija realizuje se umetanjem malih, jeftinih primopredajnika kratkog dometa u električne uređaje koji su danas dostupni. Bluetooth moduli mogu se ugrađivati u električnu opremu ili koristiti kao adaptori. Na primer, u PC-ju se može ugraditi u PC card ili spolja postaviti preko USB porta. Na slici 1 prikazani su različiti funkcionalni blokovi Bluetooth sistema.

Svaki uređaj ima jedinstvenu 48-bit adresu prema IEEE 802 standardu. Veze mogu biti point-to-point ili multipoint. Maksimalni domet iznosi 10 m, ali može biti proširen na 100 m uz povećanje snage. Bluetooth uređaji su zaštićeni od radio-interferencije zahvaljujući proizvoljnoj promeni frekvencije od maksimalno 1600 skokova u sekundi, zbog primenjene tehnike frekvencijskog skakanja. Oni, takođe, koriste tri različite šeme za korekciju greške. Obezbeđena je i ugrađena enkripcija i verifikacija. Bluetooth uređaji nemaju preciziranu potrošnju baterije tako da je potrošnja snage uređaja u

„hold“ režimu 30 μ A, da bi u aktivnom režimu iznosila 8 do 30 mA (ili manje od 1/10 W). Radio-čip troši samo 0,3 mA u standby režimu, što je za 3% manje od snage koju koristi standardni mobilni telefon. Čipovi, takođe, imaju odlične karakteristike čuvanja energije, tako da se uređaj automatski prebacuje u režim male potrošnje snage kada se obim saobraćaja smanji ili prestane. Bluetooth uređaji su klasifikovani u tri različite klase prema izlaznoj snazi. Klasu 1 karakteriše maksimalna predajna snaga od +20 dBm (100 mW), klasu 2 karakteriše maksimalna predajna snaga od +4 dBm (2,5 mW), a klasu 3 karakteriše maksimalna predajna snaga od 0 dBm (1 mW).

Pored toga što se upotrebom ovakvih uređaja zamenjuju kablovi, Bluetooth tehnologija obezbeđuje univerzalni most ka postojećim mrežama, periferijski interfejs i mehanizam za stvaranje malih, privatnih ad hoc povezanih grupa uređaja udaljenih od fiksnih žičanih infrastruktura. Projektovana je da radi u šumnim radio-frekvencijskim sredinama, tako da Bluetooth radio koristi brzu potvrdu i frekvencijsko skakanje što link čini robusnim. Bluetooth radio-moduli izbegavaju interferenciju od drugih signala skačući na novu frekvenciju posle predaje ili prijema paketa. U poređenju sa drugim sistemima koji rade u istom frekvencijskom opsegu, Bluetooth radio tipično skače brže i koristi kraće pakete. Ovo ga



Sl. 1– Različiti funkcionalni blokovi Bluetooth sistema

čini robusnijim nego što su to drugi sistemi. Korišćenjem FEC (Forward Error Correction) ograničava se uticaj slučajnog šuma na linkovima kod velikih udaljenja. Kodiranje je optimizovano za nekoordinisan prostor.

Bluetooth garantuje sigurnost na bitskom nivou. Autentičnost kontroliše korisnik korišćenjem 128 bit-skog ključa. Radio-signalni mogu biti kodirani sa 8 bit-a ili sve drugo do 128 bit-a. Bluetooth radio-transmisija biće prilagođena sigurnosnim standardima koje zahtevaju države u kojima će se ta tehnologija koristiti, uvažavajući efekte koje radio-transmisija ima na ljudski organizam. Emisije od Bluetooth uređaja neće biti veće od emisija industrijski standardizovanih i bežičnih telefona. Bluetooth modul ne unosi interferenciju niti prouzrokuje štetu javnim ili privatnim telekomunikacionim mrežama.

Bluetooth protokol u osnovnom opsegu predstavlja kombinaciju komutacije kanala (CS) i paketske komutacije (PS). Paket nominalno pokriva jedan slot, sa mogućnošću proširenja pokrivanja do 5 slotova. Bluetooth može podržati asinhroni kanal podataka, zatim do tri simultana sinhrona kanala govora, ili kanal koji simultano podržava sinhroni podatak i sinhroni govor. Svaki kanal za prenos govora podržava 64 kb/s sinhroni link za prenos govora. Asinhroni kanal podržava asimetrični link od maksimalno 721 kb/s u oba pravca, obezbeđujući 57,6 kb/s u povratnom pravcu ili 432,6 kb/s simetrični link.

Interoperabilnost

Interoperabilnost je mogućnost softvera i hardvera velikog broja uređaja raz-

ličitih proizvođača da međusobno komuniciraju. Jedan od ciljeva Bluetooth SIG (Special Interest Group) je da se bežične veze učine lakim i jednostavnim za upotrebu. Da bi se obezbedila najbolja moguća usluga korisnicima Bluetooth uređaja, kao što je interoperativnost sa drugim Bluetooth uređajima, Bluetooth SIG je razvila logo program kojim se ozvaničava saglasnost sa objavljenim Bluetooth standardom kao i interoperabilnost sa drugim Bluetooth uređajima. Bluetooth uređaji koji uspešno zadovolje postavljene kriterijume stiču pravo da nose zvaničan Bluetooth logo. Postupak testiranja Bluetooth proizvoda kojim oni stiču ovo pravo je u opticaju od kraja 2000. godine. Po programu testiranja svaki Bluetooth uređaj treba da izvrši proveru da li su drugi Bluetooth uređaji testirani na interoperabilnost. Logo program je veoma iscrpan u svom delokrugu. On uključuje ne samo radio i protokolsku interoperabilnost, već i korisničke profile. Testiranje interoperabilnosti korisničkih profila mora se primenjivati na proizvodima koji su stekli logo, a logo program će specificirati korisničke profile koje će proizvod podržati. Nivo testiranja interoperabilnosti i kvalifikacija jedinstveni su za industriju, i treba da osiguraju zajednički rad aplikacijama čime se izlazi u susret očekivanjima korisnika.

Korisnički modeli

Bluetooth korisnički model zasniva se na zajedničkom povezivanju uređaja, a usredsređen je na tri kategorije i to: voice/data access point uređaje, perifernjske veze i PAN mreže.

Voice/data access point uređaji predstavljaju jedan od ključnih inicijalnih korisničkih modela koji se odnosi na povezivanje kompjuterskog uređaja na komunikacioni uređaj preko sigurnog bežičnog linka, kao što je prikazano na slici 2. Na primer, mobilni kompjuter koji je opremljen sa Bluetooth tehnologijom može se povezati sa mobilnim telefonom koji koristi Bluetooth tehnologiju kako bi se povezao na Internet i imao pristup pošti (e-mail). Mobilni telefon ima funkciju personalne access point. Takođe, notes se može povezati na Internet dok se čelijski telefon nosi u koferčiću ili u novčaniku.

Periferijske veze, druga kategorija korisničkih modela, odnosi se na zajedničko povezivanje drugih uređaja, kao što je prikazano na slici 3. Standardne tastature, miševi i džojstici rade preko bežičnog linka. Bluetooth link se ugrađuje u mobilni kompjuter pa je cena periferijskog uređaja manja, jer access point uređaj nije potreban.

Personal Area Networking (PAN) korisnički model, usmeren je na ad hoc formacije i slučaj kada su personalne mreže u prekidu. Na primer, kada se korisnik nalazi na aerodromu, njemu je



Sl. 3 – Periferijske veze

omogućena brza i sigurna razmena dokumenata uspostavljanjem privatne piconet. U budućnosti, Bluetooth „kiosci“ će obezbeđivati pristup elektronskim medijama, i moći će brzo da se rasterete za naredni pristup mobilnog uređaja.

Bluetooth radio-link

Bluetooth radio-link se odlikuje sledećim karakteristikama:

- Frekvencijsko skakanje u proširenom spektru:
 - 2,402 GHz+k MHz, k=0, ..., 78
 - 1,600 skokova u sekundi;
- GFSK modulacija:
 - 1 Mb/s symbol rate;
- predajna snaga:
 - 0 dBm (do 20 dBm sa upravljanjem snagom).

Bluetooth arhitektura

Bluetooth tehnologija je podeljena na dva standarda: core i profile specifikaciju. Core specifikacija govori o tome kako tehnologija radi, dok je profile specifikacija fokusirana na to kako izgraditi



Sl. 2 – Voice/data access point

interoperabilne uređaje korišćenjem core tehnologije. Core tehnologija je ilustrovana na slici 4, koja prikazuje i niže nivo Bluetooth arhitekture.



Sl. 4 – Bluetooth arhitektura

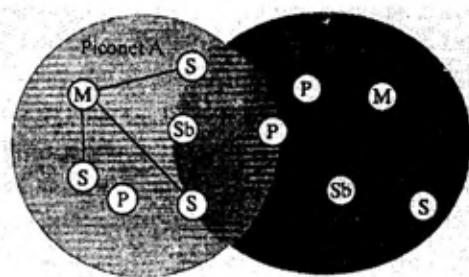
Radio frekvencijski nivo – Bluetooth radio-interfejs se bazira na nominalnoj predajnoj snazi od 0 dBm (1 mW) sa mogućnošću njenog rasta prema potrebama rada do 20 dBm (100 mW) širom sveta. Radio-interfejs odgovara pravilima ISM opsega većine zemalja do 20 dBm (Amerika, Evropa i Japan). Radio funkcioniše u proširenom spektru tehnikom frekvencijskog skakanja u ISM opsegu sa 79 skokova širine po 1 MHz, sa startnom frekvencijom od 2,402 GHz do frekvencije 2,480 GHz. Nominalni domet linka je od 10 cm do 10 m, ali se može proširiti na 100 m sa povećanjem predajne snage (koristeći opciju 20 dBm).

Bluetooth propusni opseg – Bazni radio je hibridni radio sa funkcionisanjem u proširenom spektru. Tipično, radio koristi frekvencijsko skakanje gde je 2,4 GHz ISM opseg razbijen u 79 kanala od 1 MHz kroz koje radio nasumice skače dok predajnik prima podatke.

Piconet se formira kada jedan Bluetooth radio stupi u vezu sa drugim Blue-

tooth radiom. Tada oba radija zajedno skaču kroz 79 kanala. Bluetooth radio-sistem podržava veliki broj piconet, omogućavajući svakoj piconet sopstveni set slučajno skakajućih grupa frekvencija. Povremeno piconets će se zaustaviti na istom kanalu. Kada se ovo dogodi radiji će skočiti u slobodan kanal i tada se vrši ponovni prenos (ukoliko ne dođe do gubitka podataka).

Mrežna topologija – Na slici 5 ilustrovana je tipična piconet sa kružicama (M, S, P ili Sb) koji predstavljaju Bluetooth radije. Oni se povezuju jedan sa drugim u piconets koje su formirane tako da se master radio simultano povezuje sa najviše sedam slave radija. Bluetooth radiji su simetrični tako da svaki od njih može postati master ili slave radio, a konfiguracija piconet je uslovljena trenutkom formiranja. Jedan uređaj može biti master u samo jednoj piconet.



Sl. 5 – Mrežna topologija

Konkurentne tehnologije

Pored Bluetooth tehnologije postoje i mnoge druge tehnologije kao što su IrDA, Home RF (SWAP), koje obezbeđuju slične ili povezane servise. Iskustvo je pokazalo da je međusobna saradnja među tehnologijama mnogo bolja od njihove konkurencije. Da bi Bluetooth i druge tehnolo-

logije imale perspektivu na tržištu, one moraju koegzistirati i biti interoperabilne.

Bluetooth u odnosu na standard 802.11 – Danas, Bluetooth i 802.11 koriste različite radijske proizvode kao što su dve PC Card. Udaljenost između antena određuje nivo interferencije ili koegzistencije dva proizvoda unutar istog PC-ija. Bluetooth PC card i 802.11 PC card su utisnute u susedne PC card slotove, pri čemu antenska interferencija neće uticati na zajednički rad. Iako 802.11b i Bluetooth rade na 2,4 GHz ISM opsega, mogućnost delovanja interferencije je mala s obzirom da Bluetooth uređaji koriste frekvencijsko skakanje, a većina WLAN uređaja koristi direktnu sekven-cu. Teoretskom studijom, koju je izvršio Ericsson a odnosi se na uticaj 802.11 mreže na Bluetooth radio, utvrđeno je da je maksimalna degradacija direktne propusne sposobnosti za scenario najgoreg slučaja 22%. Za razliku od 802.11, Bluetooth danas ne podržava roaming. Za WLAN se pokazalo da 802.11 tehnologija dobija prednost u komercijalnoj upotrebi. Veća propusna sposobnost, veći domet i druge karakteristike, pokazale su se pogodnijim za WLAN od Bluetooth tehnologije.

Bluetooth u odnosu na infracrvenu tehnologiju – Kao i infracrvena tehnologija, Bluetooth tehnologija je razvijena sa ciljem da bude široko implementarna tehnologija niske cene. Neki nivoi softvera koje koristi Infracrvena tehnologija, delovi su Bluetooth standarda. Za razliku od infracrvene tehnologije, koja za rad zahteva optičku vidljivost između uređaja, Bluetooth signal delimično može pro-laziti kroz tanke prepreke (staklo, gipsani zidovi,...) koristeći radio-tehnologiju kao

svoj medijum. IrDA ima veću brzinu pre-nosa podataka. Za Bluetooth iznosi 1 Mb/s dok je za IrDA do 4 Mb/s. IrDA je prikladnija tehnologija za aplikacije kod kojih je značajniji propusni opseg od ograničenja IrDA-e kao što je zahtev za linijom posmatranja.

S obzirom na činjenicu da IrDA ima značajnu prednost u odnosu na Bluetooth u vremenu instaliranja baze, i dalje će se nastaviti sa integracijom IrDA tehnologije u notez računarima i drugim ručnim uređajima. Instalirana baza za Bluetooth ra-ste, a time će i potrebe za IrDA tehnologi-jom opadati, što se ne očekuje za još ne-koliko godina, tako da će i Bluetooth i Ir-DA tehnologija međusobno koegzistirati.

S obzirom da komunikacije sa IrDA zahtevaju liniju posmatranja između uređaja, mnogo je teže prisluškivati IrDA vezu nego Bluetooth. Bluetooth SIG je naznačila sigurnost tehnologije uključivanjem propisa za autentičnost i enkripciju podataka zasnovanoj na ključu kriptografske tehnologije javan/privatan. Pri proceni sigurnosti svake tehnologije treba početi od procene specifičnog korisničkog modela i količine informacija koja se prenosi. Polazeći od ovakve procene Ir-DA može biti prihvatljivija tehnologija za neke aplikacije.

Bluetooth u odnosu na SWAP – Te-kući SWAP ima veću instaliranu bazu u odnosu na Bluetooth, ali se očekuje da će Bluetooth u tome prevagnuti. Bluetooth je tehnologija za povezivanje uređaja bez kablova. Namera je da se obezbede veze kratkog dometa između mobilnih uređaja i na Internet, preko uređaja za premošćenje sa različitim mrežama (žičanim i be-žičnim) koje pružaju Internet mogućnost. Home RF SWAP je bežična tehnologija

	Vršna brzina podataka	Domet	Relativna cena	Mrežna podrška govoru	Mrežna podrška podacima
IEEE 802.11	2 Mbps	50 m	srednja	preko IP	TCP / IP
IrDA	16 Mbps	< 2 m	niska	preko IP	preko PPP
Bluetooth	1 Mbps	< 10 m	srednja	preko IP i cellular	preko PPP
Home RF	1,6 Mbps	50 m	srednja	preko IP i PSTN	TCP/IP

optimizovana za kućnu sredinu. Njena osnovna upotreba je da obezbedi data networking i dial tones između uređaja kao što su PC-ijevi, cordless (bežični) telefoni, Web Tablets i broadband cable ili DSL modem. Obe tehnologije dele isti frekvenzijski spektar pri čemu ne dolazi do interferencije kada rade u istom prostoru.

Kratko poređenje između tehnologija prikazano je u tabeli.

Sigurnost

Bluetooth standardom predviđa se do 128-bitna sigurnost da bi se obezbedio prijem u zajedničkoj sredini. Standard, takođe, uključuje logo sertifikacioni program da bi se obezbedila kompatibilnost među svim različitim uređajima koji sadrže Bluetooth.

Bluetooth koristi 4 bazna ključa u sigurnosnom mehanizmu, i to su: 48-bitna fiksna javna adresa koja je jedinstvena za svaki uređaj, 128-bitni pseudoslučajni broj koji se generiše pri svakoj transakciji i dva tajna ključa. Jedan tajni ključ je 128-bitni privatni korisnički ključ za autentičnost, a drugi je privatni korisnički enkripcioni ključ koji može varirati od 8 bita do 128 bita. Enkripcioni ključ može varirati u svojoj dužini da bi se obezbedio eksport restrikcija. Pored ovih osnovnih ključeva, drugi ključevi se ge-

nerišu za svaki link, kako bi se osiguralo da drugi Bluetooth uređaji koji ne čine piconet ne mogu nehotično ili hotimično prisluškivati Bluetooth vezu.

Bluetooth standard predviđa tri nivoa ili režima sigurnosti, i to su:

- Non-Secure – uređaj ne inicira ni jednu sigurnosnu proceduru. U ovom režimu svakome je dopušteno da priđe uređaju i da koristi njegove servise. Ovaj režim je predviđen da se koristi za rad kod javnih uređaja, kao što je to štampač;

- Service Level Enforced Security – U ovom režimu dozvoljava pristup uređaju zavisi od zahteva servisa. Na primer, dozvoljena je mogućnost prebacivanja fajlova u PC ali ne i pristup kalendaru ili telefonskom imeniku uređaja;

- Link Level Enforced Security – Ovo je režim najveće sigurnosti. On zahteva autentifikaciju i autorizaciju pre dobijanja dozvole za pristup bilo kom servisu koji obezbeđuje uređaj. Ovaj režim je predviđen za ćelijske telefone koji se jedino mogu koristiti individualno ili od strane ograničenog broja pojedinaca.

Standardizacija Bluetooth tehnologije

Za razliku od mnogih drugih bežičnih standarda, Bluetooth bežični standard uključuje i definicije za linijske i aplikaci-

one nivoe, za proizvođače koji razvijaju proizvode i koji podržavaju data, voice i content – centric aplikacije. Bluetooth standard sadrži informacije koje su neophodne da različiti uređaji koji podržavaju Bluetooth bežičnu tehnologiju mogu komunicirati jedan sa drugim širom sveta. Dokument standarda podeljen je u dve sekcije: Core Specification i Profile Definitions. Core deo specificira komponente kao što su radio, osnovni opseg, link manager, service discovery protokol, prenosni nivo i interoperabilnost sa različitim komunikacionim protokolima. Profile deo specificira protokole i procedure potrebne za različite tipove Bluetooth aplikacija.

Bluetooth SIG (Special Interest Group) je industrijska grupa koju čine vodeći proizvođači telekomunikacione i kompjuterske opreme, kao što su 3-COM, Ericsson, Lucent, IBM, Intel, Microsoft, Nokia, Toshiba, i dr. Oni su pokretači razvoja ove tehnologije i njeno plasiranje na tržištu.

Postoji više verzija Bluetooth standarda, kao što su 1.0, 1.0A objavljeni juna 1999. godine, 1.1 objavljen krajem 2000. godine.

Tekući Bluetooth standard (verzija 1.0b) podržava sledeće profile:

- General Access – procedure koje se odnose na istraživanje / link menadžment & sigurnosne nivoe;

- Service Discovery – istraživanja servisa dostupnih u drugim Bluetooth uređajima;

- Cordless Telephony – mogućnost da ćelijski telefon radi kao bežični telefon kada se nalazi u blizini bazne stanice;

- Intercom – definiše intercom funkciju u ćelijskim / mobilnim telefonima koristeći Bluetooth kao radio-link;

- Serial Port – simulacija serijskih ulaza za aplikacije koje tradicionalno koriste žičani serial port i interfejs;

- Headset – definiše predaju / prijem govora i podataka preko Bluetooth linka;

- Dial-up Networking – primarno definisan kao link između ćelijskog telefona i kompjutera. Profil je definisan tako da kompjuter može inicirati data call i primiti data call u zavisnosti od postavke korisnika;

- Fax – ćelijski telefon ili modem mogu se koristiti kao faks interfejs za kompjuter za slanje i prijem faksova;

- LAN Access – uspostavljanje personalne mreže korišćenjem Point-to-Point Protocol-a (PPP);

- Generic Object Exchange (OBEX) – definiše procedure koje se koriste za transfer fajlova, object push i sinhronizacione profile;

- Object push – mogućnost da se postavi i izvuče poslovna kartica ili izvrši ugovaranje sastanaka;

- File Transfer – browse file system on, kreiranje ili brisanje fajlova sa aktivnim folderima, ili transfer fajlova od / ka drugom Bluetooth uređaju;

- Synchronization – razmena personalnih informacija, kao što su kalendar i telefonski imenik. Takođe, korišćenjem mobilnog telefona ili kompjutera, kada su u opsegu pokrivanja, automatski se startuje sinhronizacija.

Dok je standard 1.0 primarno fokusiran na scenarije zamene kablova, Bluetooth 2.0 standardom se teži da se pokrije mnogo više naprednih i korisnih korisničkih modela. Za podršku razvoju 2.0 standarda, Bluetooth SIG je formirala nove radne grupe da istraže niz novih ko-

risničkih modela iz čega će proizići formiranje novih profila 2,0 standarda. Bluetooth 2.0 SIG radne grupe uključuju:

- radio – istraživanja sa povećanim brzinama prenosa (do 2 Mbps+), poboljšana koegzistencija sa drugim 2,4 GHz radijima (posebna radna grupa) i poboljšanja funkcija osnovnog opsega;

- Personal Area Networking (PAN) – koncentracija je na opšte IP umrežavanje (uključujući sigurnost) u prostoru ad-hoc povezivanja;

- Human Interface Device (HID) – postojeća industrijska specifikacija za kompjuterske periferije, kao što su tastature, miševi, džojstici i dr., Bluetooth HID radna grupa razvije profil za korišćenje HID preko Bluetooth;

- Audio/Video – radna grupa za aplikacije istražuje visoke i multimedijalne mogućnosti koje bi se realizovale pomoću Bluetooth-a, kao što su movie/video čipovi, muzika preko bežičnih slušalica i video konferencija;

- Printer Profile – udružen sa bezgajtanskim kompjuterskim korisničkim modelom, Printing Work Group će raditi direct-to-printer scenarije korišćenjem peer-to-peer Bluetooth povezivanja (fokusirano na Universal Plug and Play i Solution tehnologije);

- Enhanced Service Discover Protocols – proširenje 1.0 standarda kojim se teži da se formalizuje Service Discovery Protocol sa profilima za mapiranje izabranih Service Discovery protokola za Bluetooth;

- Local Positioning – implementiranje Bluetooth-a kao sistema za određivanje blizine „lokalnih“ geografskih pro-

stora i davanje informacija o poziciji drugim aplikacijama;

- Still Image – komponenta Instant Post Card Usage Model, osnovni princip je bežičan prenos foto slika sa digitalne kamere na mnoge druge uređaje koji imaju Bluetooth.

Zaključak

Za razliku od WLAN mreža, koje su projektovane da efikasno povežu velike grupe ljudi preko zajedničke magistrale sistema, Bluetooth tehnologija je projektovana da poveže mobilne uređaje preko personalnih privatnih veza, odnosno da zameni kablove koje nose mnogi mobilni korisnici.

Bluetooth tehnologija pokušava da konkuriše mogućnostima koje pružaju kablovi u domenima cene, sigurnosti i drugih mogućnosti koje se pružaju mobilnim korisnicima. S obzirom da je to tehnologija u razvoju, ona treba da bude sigurna isto kao i kablovi (da podržava application/link-layer autorizacije, autentičnosti i enkripcije); da bude proizvedena po gotovo istoj ceni kao i kablovi (projektovana kao jedan CMOS radio-čip, obezbeđujući na duži period cenu od 5 USD i end-point radio); da može da se poveže sa raznim uređajima koji su dostupni mobilnom korisniku (sedam simultanih veza) i podrži brzine prenosa podataka koje su saglasne sa potrebama mobilnih korisnika (1 Mega symbol per second po piconet); da podrži mnoge simultane i privatne mreže (stotine privatnih piconet koje su unutar dometa jedna druge); da podrži tipove podataka koje koriste mobilni korisnici (govor i poda-

tak); i da bude vrlo male potrošnje snage i kompaktna da bi podržala male portabl uređaje u koje će tehnologija biti integrisana. Na kraju, tehnologija treba da bude globalna tako da korisnici mobilnih uređaja u toku putovanja mogu raditi sa uređajima na koje nailaze u drugim delovima sveta.

Bluetooth je tehnologija u ekspanziji. Postoje planovi za dodavanje mnogo

novih aplikacionih profila i sa jakim SIG iza Bluetooth-a standardizacija aplikacionih profila biće u budućnosti sasvim obezbeđena.

Literatura:

- [1] www.wireless-networking-technology.com, novembar 2002.
- [2] www.bluetooth-technology.com, novembar 2002.
- [3] www.bluetooth.com, novembar 2002.
- [4] Rejman E.: Bluetooth Puts Bite On Mobile Communications, Microwave journal, july 2000.

Goran Šimić,

major

ŠC veze, informatike, EI i PED,
Beograd

WEB UČIONICA

UDC: 681.324 : 007.52⁹ : 378.147

Rezime:

U ovom radu opisana je arhitektura, dizajn i implementacija Code Tutor-a, inteligentnog tutorskog sistema zasnovanog na Web-u, koji je namenjen obuci studenata u oblasti radio-komunikacija. Code Tutor je dizajniran kao Web učionica i klijent-server sistem, izgrađen korišćenjem savremenih inteligentnih i Internet tehnologija. Iskustva sa Code Tutor-om pokazuju da i nastavnici i studenti imaju pozitivna mišljenja vezana za korišćenje sistema kao podrške za učenje različitih domenskih tema. U cilju ilustrovanja praktične primene Code Tutor-a, materijal predstavlja neke detalje studentske i nastavničke sesije sa sistemom.

Ključne reči: inteligentni tutorski sistem, Web tehnologije, arhitekture, dizajn, aplikacija.

WEB CLASSROOM

Summary:

This paper describes architecture, design, and implementation of Code Tutor, a Web-based intelligent tutoring system that facilitates learning of radio communications to the students of a telecommunications college. Code Tutor, designed as a Web classroom client-server system, is ontologically founded, and built using modern intelligent and Web-related technologies. Experience with Code Tutor so far shows that both teachers and learners have positive feelings about using Code Tutor as a support tool for learning different topics in the domain. In order to illustrate the use of Code Tutor in practice, the paper also presents some details of both students' and teachers' sessions with the system.

Key words: intelligent tutoring system, Web technologies, architectures, design, application.

Uvod

Dostupnost novih Internet tehnologija otvorila je mnoge mogućnosti za informatičku podršku u procesu nastave. Na serverskom (nastavničkom) računaru moguće je instalirati neki od Web servera (Apache, Tomcat ili neki drugi) i koristiti ga za smeštanje nastavnih HTML stranica. Na klijentskim računarima (stu-

dentski) mogu se pregledati HTML stranice (statičke ili dinamički kreirane). Zahtevi na klijentskoj strani su minimalni: potreban je bilo koji Web pretraživač (Internet Explorer, Netscape Navigator, Opera ili neki drugi). Primer jednog takvog sistema je Code Tutor.

Code Tutor je mali tutorski sistem zasnovan na Internet tehnologiji. Dizajniran je za brzu pripremu i proveru stude-

nata za praktične vežbe u oblasti radio-komunikacija. Pošto se završi teorijski deo predmeta, studenti se praktično obučavaju u korišćenju skupe opreme. U toku izvođenja vežbi nastavnik odgovara za ispravnost opreme i njeno pravilno korišćenje. Ova dva zahteva su neretko protivrečna (u slučaju nedovoljno pripremljenih studenata). Malo je vremena da nastavnik stekne lični uvid i proceni individualnu pripremljenost svakog studenta. Da bi se navedeni problemi rešili razvijen je sistem Code Tutor.

Celokupan sistem implementiran je u programskom jeziku Java. Za razvoj je korišćen JBuilder 6, alat za razvoj Java i Web aplikacija (Borland, 2001). Sistemski srednji (poslovni) sloj dizajniran je korišćenjem Rational Rose alata za softversku analizu i dizajn (Rational, 2000). Novi Code Tutor integrisao je i druge tehnologije:

- CLIPS, alat za razvoj ekspertnih sistema (CLIPS, 2002), korišćen je za generisanje fajlova sa bazom znanja;

- ekspertski sistem shell zasnovan na Java-i, Jess je korišćen za interpretiranje tih fajlova (Jess, 2002), (Friedman-Hill, 2002);

- za komunikaciju učenika sa sistemom korišćen je standardni Web pretraživač;

- Java™ Servlet tehnologija (Sun, 2001), (Hall, 2001a), (Hall, 2001b), korišćena je za implementaciju interakcije učenika sa sistemom;

- Apache server (Apache, 2001a), korišćen je za smeštanje statičkih HTML stranica;

- Apache JServ (Apache, 2001b), korišćen je za interpretiranje servleta;

- XML tehnologija (W3C, 2001), korišćena je u generisanju fajlova koje Code Tutor koristi za obezbeđivanje preporuka učenicima tokom korišćenja sistema.

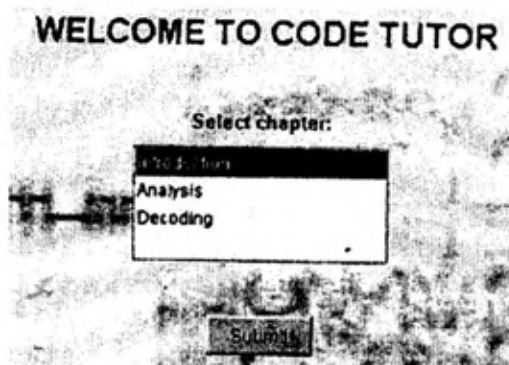
Materijal demonstrira mogućnosti korišćenja pomenutih tehnologija u izvođenju nastave. Sledeći odeljak analizira sistemske slučajeve korišćenja i sistemsku arhitekturu. Detalji dizajna i implementacije predstavljeni su u trećem odeljku, dok četvrti odeljak upućuje na inteligentno ponašanje Code Tutora. Poslednji odeljak sadrži važne detalje korisničkog interfejsa.

Sistemska analiza i arhitektura

U sistemu postoje dva glavna aktera: student (na klijentskoj strani) i nastavnik (na serverskoj strani). Radi toga postoje dva generalna skupa slučaja korišćenja: klijentski i serverski.

SLUČAJEVI KORIŠĆENJA KLJENTSKE STRANE

U sistemu postoje četiri modela studentske interakcije sa sistemom Code Tutor, i svaki od njih predstavlja poseban slučaj korišćenja. Interakcija studenta sa sistemom započinje autentikacijom (*Authentication*) – procesom logovanja za novu sesiju učenja. Učenje (*Learning*) počinje izborom jedne od ponuđenih tema (*Chapters*). Svaka tema sadrži jednu ili više lekcija (*Lessons*), koje predstavljaju osnovnu nastavnu jedinicu. Teme su predstavljene HTML stranicama nastavnog materijala, a lekcije paragrafima u HTML stranici teme. Student proučava

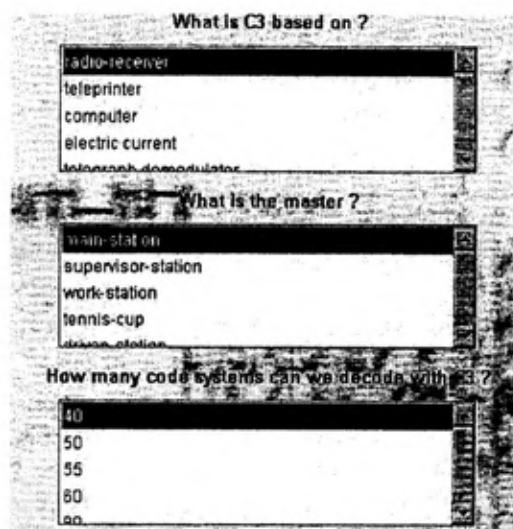


Sl. 1 – Fragment HTML stranice koju generiše „Start“ servlet

tekstualne stranice, koje su obogaćene multimedijalnim sadržajima, kao što su ilustracije vremenskih i spektralnih dijagrama i audio klipovi.

Izučavanje lekcija jedne teme završava se proverom znanja. Pri testiranju (*Assessment*) studenti odgovaraju na pitanja. Pošto unesu sve odgovore, oni potvrđuju korisnički unos. Ta potvrda (klik na komandno dugme) aktivira ocenjivanje (*Validation*). Da bi ocenio studenta, sistem izvršava niz funkcionalnih poziva po dubini modela s ciljem proveravanja i ažuriranja modela studenta, kao i s ciljem ocenjivanja njegovih znanja vezanih za analizu i prijem različitih tipova radio-emisija. Sistem daje ocenu za svaki odgovor i izračunava prosečnu ocenu. Pojedinačne ocene agregiraju u konačnu ocenu domenskog znanja studenta. Ako učenik na testu dobije jednu ili više slabih ocena, sistem ga vraća na početak odgovarajuće lekcije.

Student koji završi testiranje sa pozitivnom ocenom ima dva izbora: da odabere drugu temu, ili da ponovi istu temu da bi popravio lični uspeh. U prvom slučaju sistemski procesi su isti, kao što su opisani u prethodnom paragrafu. U



Sl. 2 – HTML stranica koju generiše „Test“ servlet

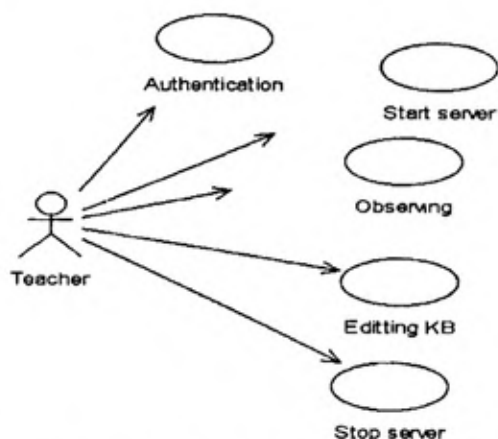
slučaju ponavljanja, Code Tutor pomaže studentu kroz preporuke „Šta bi bilo dobro ponoviti za bolji uspeh“.

SLUČAJEVI KORIŠĆENJA SERVERSKE STRANE

Nastavnik je akter na serverskoj strani. Njegovi zadaci su autentikacija, pokretanje servera, praćenje sesija studenta, editovanje baze znanja i zaustavljanje servera (slika 3).

Neki od zadataka znatno su različiti u odnosu na klijentsku (studentsku) stranu, kao što je, na primer, editovanje baze znanja. Za razliku od korisničkog interfejsa klijentske strane, na kojoj je samo pretraživač, nastavnička strana sadrži veći broj opcija.

Autentikacija nastavnika slična je studentskoj (*Authentication*), ali sa drugačijim svojstvima. Nastavnik može da pokrene server, bez čega je nemoguće korišćenje sistema Code Tutor. Podrazu-



Sl. 3 – Slučajevi korišćenja serverske strane aplikacije

meva se da se server pokreće uvek nakon nastavničke autentikacije.

Kad se učenik prijavi (uloguje) u sistem, serverska strana aplikacije kreira novu instancu korisnika (nadalje klasa *User*). Svaka instanca smešta studentov identifikacioni broj i druge podatke korisnika koji su relevantni za sesiju. Te instance koriste objekat klase *Sesija* (izveden iz Java klase *HttpSession*). Kada student odabere temu za izučavanje, njen naziv se, takođe, smešta u objekat sesije. Nakon što tutor oceni odgovore studenata, rezultat se smešta u odgovarajuću instancu klase *User*. Objekti koji su korišćeni u sesiji su serijabilni, kako bi nastavnik mogao da pristupi podacima studenata i nakon završetka sesije (*Observing*).

Jedan od najznačajnijih modula na serverskoj strani aplikacije jeste editor baze znanja. Nastavnik može dodavati, menjati i brisati lekcije. Na primer, on može odabrati temu i jednu od lekcija, a zatim editovati deo koji želi. Kada je lekcija modifikovana, nastavnik potvrđuje

promene. Kao glavni efekat ove operacije, Code Tutor generiše skript koji ažurira fajl baze znanja (CLIPS fajlovi za baze znanja imaju ekstenziju *.clp*).

Svi studenti moraju završiti svoje sesije pre nego što nastavnik zaustavi Web server (*Stop server*), što je neophodno da bi sistem održao podatke studenata konzistentnim.

ARHITEKTURA SISTEMA CODE TUTOR

Na osnovu analize slučajeva korišćenja proizišla je arhitektura sistema Code Tutor koja je predstavljena na slici 4. Centralizovana arhitektura izražena je kroz jedinstveni repozitorijum studentskih modela i istovremenu podršku za više studenata.

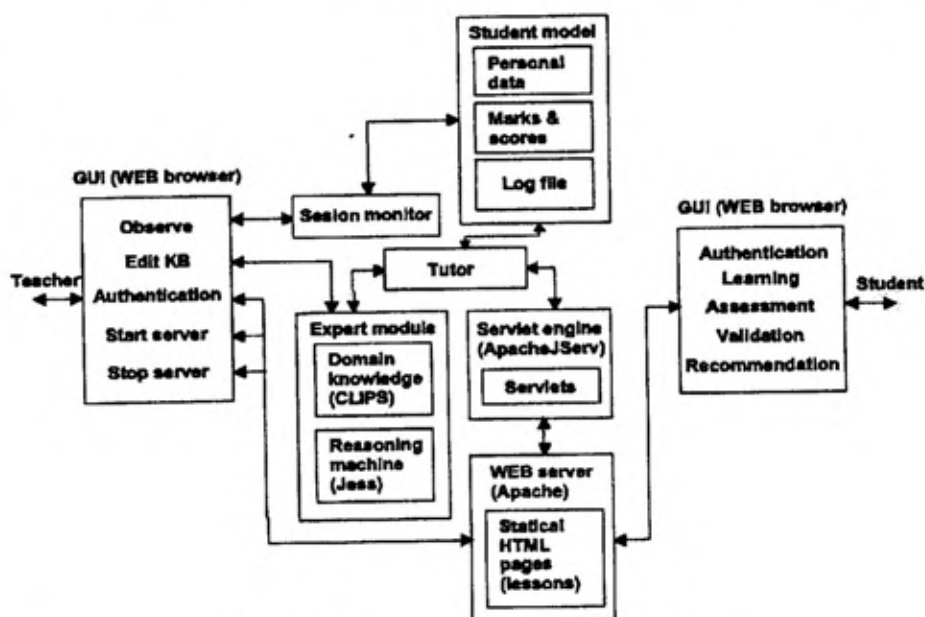
Dizajn i implementacija

Na osnovu slučajeva korišćenja i funkcionalnih opisa i analize modelovanja je ponašanje sistema kroz systemske sekvencijalne i kolaboracione dijagrame.

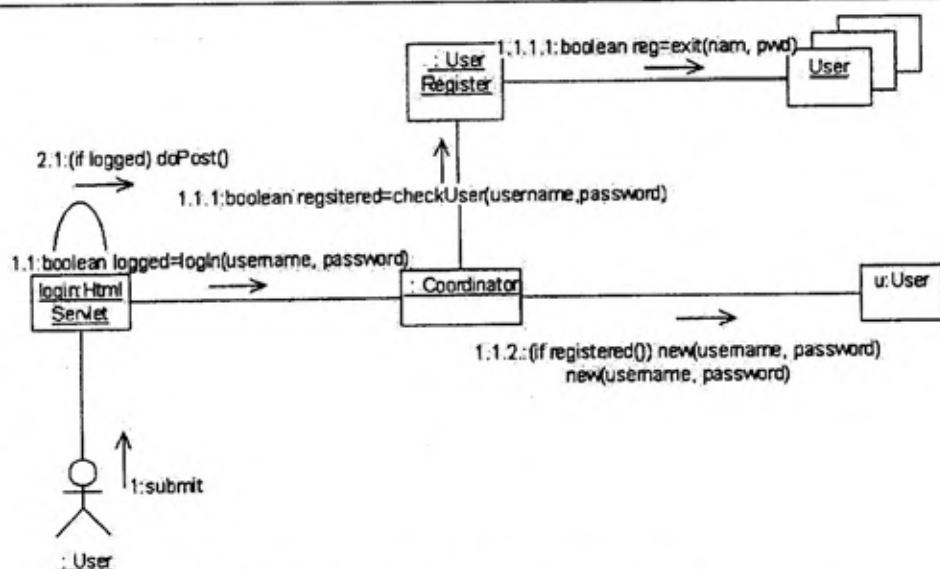
STUDENTSKA SESIJA

Logovanje

Nakon što student pokrene pretraživač, unosi URL prvog servleta. Kao rezultat, generiše se HTML stranica sa kontrolama za unos imena i lozinke za logovanje korisnika. Tokom inicijalizacije, servlet kreira instancu *Koordinator* klase (slika 5) i priključuje je u objekat *Sesije*. Koordinator je dizajniran po GRASP patemu – controller (Larman,



Sl. 4 – Arhitektura celokupnog sistema Code Tutor



Sl. 5 – Kolaboracioni dijagram – logovanje studenta

1999). Inicijalizacija se dalje prostire po dubini modela, a koordinator kreira objekat klase *Registar Korisnika*. Ovaj objekat se puni podacima studenata iz ekster-

nog fajla, pri čemu *Koordinator* proverava autoritet studenta. Ako je registrovan za korišćenje sistema, *Koordinator* kreira novu instancu klase *User* i smešta je u

heš tabelu (Java klasa *Hashtable*). Tada *Koordinator* šalje poruku servletu da se može pozvati jedna od metoda sledećeg servleta (*doPost* ili *doGet*).

Učenje

Prvi servlet za učenje je i poslednji. Kada student odabere temu za izučavanje, *Koordinator* pamti izbor i koristi ga kasnije kao jedan od parametara za testiranje. Studenti mogu krstariti HTML stranicama i učiti željenu temu. Sistem servleta referencira statičke HTML stranice sa mnogobrojnim multimedijalnim sadržajima. U ovoj fazi uključen je samo servlet za učenje.

Provera

Za inicijalizaciju testiranja sistem poziva „Test“ servlet. Ime teme je argument prosleden „Test“ servletu (kroz objekat *Sesije*). *Koordinator* mapira naziv teme na putanju do baze znanja (*.clp fajla), pokreće Jessovu mašinu za zaključivanje (objekat klase *Rete*) i rezultat je punjenje radne memorije sadržajem referenciranog clp fajla. To su pravila od kojih neka bivaju aktivirana odmah po unošenju – pravila koja sistemu šalju pitanja i odgovore za testiranje. Druga pravila se aktiviraju tek pošto studenti završe test.

Ocenjivanje

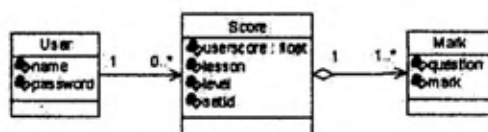
Student kroz testiranje čita pitanja, selektuje odgovore za koje smatra da su najtačniji, a na kraju potvrđuje unos. Tada se odgovori smeštaju automatski u objekat *Sesije* i poziva se servlet za ocenjivanje. U ovom servletu *Koordinator*

ocenjuje korisnika korišćenjem metode *validateAnswers*. Kod ove metode odgovori se šalju u Jess mašinu za zaključivanje. Vrš se određivanje ocena u sistemu radnih pravila i na kraju se izračunava prosečna ocena. Servlet prikazuje te rezultate kroz HTML stranicu, ali i smešta u korisnički *Rezultat* objekat koji je seri-jabilan. Ako student ima jednu ili više negativnih ocena, sesija se nastavlja sa servletom za učenje (ponavljanje istih HTML stranica – stranica teme).

NASTAVNIČKA SESIJA

Nastavnička aplikacija (na server-skog strani) implementirana je kroz definisane forme (Frames&Dialogs). Da bi pokrenuo Web server nastavnik mora da se prijavi (uloguje) na sistem, koji najpre proverava njegov autoritet.

Pored odgovornosti za modifikovanje baze znanja, nastavnik je odgovoran i za izvršenje zadataka administracije. Jedan od njih je ažuriranje studentskih podataka. Pri radu sistema, podaci o studentima smešteni su u objekat klase *Registar Korisnika*. Nastavnik može pratiti rezultate studenata. U toku sesije studentski model sadrži korisničko ime, lozinku, odabranu temu (poglavlje), ocene iz testa i konačan uspeh. Sve to je agregirano u klasi *Korisnik (User)*. Principi ocenjivanja korisnika ukazuju na tri važna dela korisničke klase (slika 6).



Sl. 6 – Važni delovi studentskog modela

Podaci studenata su članovi u objektima koji su pridruženi klasi Korisnik (*User*), dok je Rezultat (*Score*) agregirana iz instanci klase Ocena (*Mark*). Funkcionalnost pojedinih članova podataka u modelu opisana je u odeljku koji obrađuje inteligentno ponašanje sistema Code Tutor.

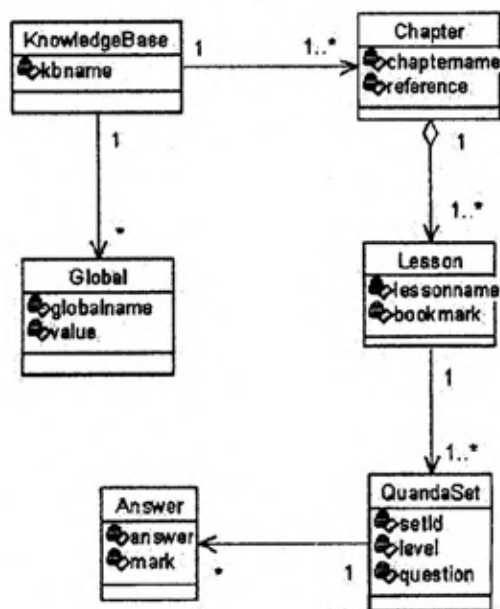
Kada student započne novu sesiju *Koordinator* proverava autoritet korisnika. Kada se korisnik prijavi za korišćenje sistema *Koordinator* ažurira korisničke podatke u instanci korisnika. Slično se dešava i kada se student odjavljuje sa sistema. Pri odjavi *Koordinator* ažurira log fajl koji je dizajniran u XML formatu, kako bi bio dostupan nastavniku kroz Web pretraživač (korišćenjem CSS – Cascade Style Sheet formata). Ove akcije su implementirane u monitoru sesije. Svaki put kada student bude ocenjen *Koordinator* dodaje rezultate testiranja u isti fajl. Na taj način sistem formira zapis istorije učenja korisnika. Zapisi iz log fajla jedino su dostupni kroz nastavničku aplikaciju. Nastavnik može samo da čita, ali ne i da modifikuje podatke. On ne mora pokrenuti server ako želi videti rezultate studenta.

BAZA ZNANJA

Code Tutor sadrži ekspertski modul zasnovan na pravilima. Znanje je sadržano u pravilima, temama (*chapters*), lekcijama (*lessons*) i setovima pitanja i odgovora (*quandasets*). Znanje je struktuirano i predstavljeno ontologijom čiji su osnovni koncepti prikazani na slici 7.

Glavna klasa u ontologiji je Baza Znanja (*Knowledge Base*) i sadrži ostale koncepte ontologije znanja Code Tutora.

Instance klase koja predstavlja nastavnu temu (*Chapter*) predstavljaju teme koje student može da proučava. Lekcije (*Lessons*) su delovi tema i predstavljaju nastavne jedinice. Za svaku lekciju vezan je jedan ili više setova pitanja i odgovora (*QuandaSet*). Svaki set, u stvari, implementira pitanje sa mogućnošću višestrukog izbora (uključuje string pitanja i više odgovora). Klasa Odgovor (*Answer*) sadrži string i ocenu odgovora.



Sl. 7 – Ontologija znanja Code Tutora

Globalne varijable koriste se za smeštanje adrese delova domenskog znanja (instance tema) i broja lekcija po jednoj temi. *Global* je klasa koja sadrži samo *put* i *get* metode kao *JavaBean*. Ako nastavnik dodaje novu lekciju, odgovarajuća globalna varijabla (koja čuva broj lekcija) biva inkrementirana i obrnuto – ako nastavnik edituje postojeće lekcije globalna varijabla se ne menja.

Kada nastavnik edituje lekciju sistem generiše novi skript baze znanja. To znači da će pravila, koja sadrže reference za bilo koji podatak koji nastavnik može promeniti u lekciji takođe biti promenjena.

U Code Tutoru sva ontologija predstavljena je setovima pitanja i odgovora. Pošto Jess mašina za zaključivanje interpretira pravila, a ne setove pitanja i odgovora, Code Tutor automatski generiše pravila iz tih setova i pamti ih u *.clp fajl. Dok studenti (klijentska strana), koriste sistem Jess interpretira sadržaj *.clp fajla (fajla baze znanja). Kad god nastavnik dodaje, menja ili uklanja lekciju, ili ažurira domensko znanje, promene se automatski reflektuju u odgovarajućim pravilima u *.clp fajlu. Ovakav pristup omogućava nastavniku da lako menja sadržaj baze znanja, bez poznavanja programiranja na CLIPS skript jeziku. Na taj način svi delovi baze znanja dobijaju veliku koheziju, u smislu problemske fokusiranosti, i slabu spregu, u smislu uzajamne zavisnosti. Sistem stiče još jedno svojstvo: postaje skalabilan za realizaciju različitih tutorskih zadataka (implementacija različitih tehnika zaključivanja).

Intelligentno ponašanje sistema Code Tutor

Vidi se da Code Tutor funkcioniše kao proceduralni program – student bira temu iz koje odmah zatim uči posredstvom HTML stranica sa tekstovima, ilustracijama i zvukom. Nakon toga odgovara na pitanja, i konačno sistem ocenjuje njegove sposobnosti. Nadalje se nastavlja inteligentna interakcija studenta sa Code Tutorom.

Jedna od manifestacija inteligencije sistema jeste savet (*Recommendation*) studentu šta da uči. Na primer, nakon ocenjivanja Code Tutor može sugerisati studentu da ponovo pročita određenu lekciju. Saveti su formirani na osnovu rezultata testiranja. Postoji poseban modul baze znanja (poseban fajl) za tu namenu. Sistem preuzima rezultate testiranja (preko *User* objekta) i pretražuje ih utvrđujući najlošiju ocenu. Ako postoje dve ili više istih najslabijih ocena, sistem uzima prvu koju nađe. Na osnovu indeksa ocene dalje uzima ime lekcije na koju se ocena odnosi i nalazi mapiranu referencu na odgovarajuću HTML stranicu (paragraf). Konačan rezultat ovog procesa rezonovanja je servletski generisan link koji predstavlja referencu (URL) HTML stranice (paragrafa). Student može kliknuti mišem na preporučeni link i sesija se nastavlja ponovnim čitanjem referencirane lekcije (teme).

Ukoliko je student zadovoljan ocenom, potvrđivanjem rezultata završava sesiju.

Preporuke usmeravaju studenta na odgovarajuću HTML stranicu ili, preciznije, paragraf na stranici. Mapiranje se vrši korišćenjem heš tabele (implementirane u *RefMap* klasi) koja je napunjena u toku inicijalizacije sistema. Za pamćenje referenci korišćen je XML format. Teme i lekcije sadrže reference kao atribut. Svaka tema sadrži referencu na HTML stranicu (hyperlink), dok lekcije sadrže referencu na paragraf u HTML stranici (hyperlink+bookmark). Sistem čita XML fajl i puni heš tabelu, čiji je ključ naziv lekcije. Servlet koji generiše HTML stra-

nicu sa rezultatima obrađuje pojedinačne ocene i generiše referencu koja odgovara imenu lekcije iz koje je postignuta najslabija ocena. Sesija se nastavlja ako student klikne na tu referencu. Rezultati studenta su zapamćeni pre nego što Code Tutor prikaže stranicu sa rezultatima.

VIŠENIVOJSKO UČENJE

Višenivojsko učenje je druga manifestacija inteligentnog ponašanja Code Tutora. Ekspertsko znanje u sistemu Code Tutor struktuirano je u dva nivoa: osnovnom nivou i naprednom nivou. Student najpre savladava osnovne koncepte radio-komunikacija, a ako savlada osnovni test bez negativnih ocena, prelazi na savladavanje naprednog nivoa. Treba napomenuti da sistem nije limitiran na samo dva nivoa.

TEST SETOVI

Jedno od iskustava u korišćenju sistema Code Tutor je nastojanje studenata da zapamte pitanja i slabe odgovore kako bi položili test iz drugog puta. Sa takvom neadekvatnom motivacijom (učenje radi ocene a ne radi znanja), studenti brzo završavaju iščitavanje tekstova i prelaze na testiranje, jer su sigurni u uspeh. Iz toga je proisteklo da jedan set pitanja (po lekciji) nije dovoljan, tako da postoji veći broj setova pitanja i odgovora (Quanda-Set instance). Studenti koji ponavljaju temu, bilo zbog negativne ocene ili želje za boljim uspehom, uvek dobijaju novi set pitanja, što je uticalo na pažljivije i ozbiljnije proučavanje lekcija. Upravo radi toga sistem je postao nešto komplikovaniji.

Uloga tutora vrlo je značajna za motivaciju studenata. Njegov cilj je da pomogne studentima u razumevanju domena i akviziciji znanja koje im treba. Ukoliko je nastavnik prestrog i ne razume potrebe studenata, motivacija opada. Code Tutor rešava taj problem tako što daje šansu studentu da ponovi test, savetujući ga šta da bolje nauči kako bi postigao bolji rezultat. Slobodno pretražujući HTML stranice student je sigurniji u sopstveni uspeh, a zahvaljujući višenivojskom učenju satisfakcija u učenju je veća.

Dizajn korisničkog interfejsa

Jedna od glavnih karakteristika u tutorskom sistemu jeste da očuva pažnju i motivaciju studenta tokom sesije učenja. Kao i kod realnih nastavnika (ljudi), više interakcije sa učenikom rezultira boljom koncentracijom i rezultatima, što zahteva višenivojski pristup. Osnovna percepcija studenta (vizuelna i audio percepcija) mora biti razmatrana isto kao i njegove kognitivne sposobnosti (čitavanje, učenje, interpretiranje, primena i transfer znanja). Sva dešavanja između studenta i veštačkog tutora odvijaju se kroz korisnički interfejs.

DIZAJN I SADRŽAJ LEKCIJA

Kao što je istaknuto, teme (*Chapters*) sadrže tekstove, grafiku i audio klipove koji su dostupni posredstvom Web pretraživača (kao HTML stranice). Pozadina tih stranica dizajnirana je kao tamne, nenametljive slike koje odražavaju kontekste tema. Na slikama su spektralni i vremenski dijagrami nekih radio-emisi-

ja, ali koji ne odvrćaju studenta od učenja. Preuzeto iz prethodne verzije Code Tutora, svaka tema ima različitu sliku u pozadini. To pomaže učeniku da vizuelno zapamti gde može naći određene podatke. Pozadina, boja teksta, veličina i izgled fonta takođe uvećavaju čitljivost i jasnoću sadržaja, pomažući studentu da uči sa što manje naprezanja. U lekcijama Code Tutora korišćeno je mnoštvo ilustracija i audio-uzoraka. Svaka slika i audio-klip povezani su sa odgovarajućim paragrafom u tekstu. Ključne lekcije u nastavnim temama naznačene su i tag-ovane na detaljnija objašnjenja. Ako student nešto zaboravi, sistem mu omogućava da pretražuje niže nivoe lekcija.

Drugi aspekt je kompleksnost HTML stranice. Prenatrpanost tekstom, slikama i kontrolnim objektima (komandna dugmad i dugmad za potvrđivanje i izbor, itd.) može biti vrlo naporna za studenta. Zbog toga teme u Code Tutoru mogu biti podeljene u više HTML stranica, dok svaka ima nekoliko lekcija (koje su u suštini nastavne jedinice), tako da su pregledne i lake za snalaženje. Takođe, ontologija je raslojena – student se može uvek vratiti na stranice na nižem nivou izučavanja, ali sa nižeg nivoa može preći na viši nivo tek kada položi testove nižeg nivoa.

DIZAJN STRANICA ZA TESTIRANJE

Postoje mnoge tehnike za ocenjivanje znanja studenta. U svim testovima student ili bira odgovor od više ponuđenih (ako su zahtevani tekstualni odgovori) ili upisuje numeričke podatke u odgovaraju-

će polje. Da bi se zadržala jednostavnost sistema, testovi nižeg nivoa su dizajnirani tako da izvrše kategorizaciju odgovora na tačne ili netačne. Sistem registruje da li je student položio test. Tek tada on može čitati lekcije na višem nivou, kao i učestvovati u testu višeg nivoa. Testovi višeg nivoa skaliraju znanje studenta ocenom od jedan do pet. Code Tutor ne ograničava broj pitanja u testu vezanom za temu. Preporučuje se pravilo – više lekcija sa manje pitanja po lekciji. Međutim, ovo pravilo je u kontradikciji sa činjenicom da ocena bolje odslikava znanje ispitanika ako se postavi više pitanja po temi. U praksi, nastavnik će, na osnovu iskustva, doneti odluku o optimalnom broju pitanja za specifikiranu temu.

Zaključak

Sadašnja verzija sistema Code Tutor, zahvaljujući korišćenju najsavremenijih tehnologija, u potpunosti podržava koncepte Web učionice. Iako je namenjena za korišćenje u realnoj učionici (intranet), sa malim dodacima vezanim za povećanje bezbednosti sistema, može se koristiti u virtuelnoj učionici. Objektivno orijentisan pristup omogućio je značajnu fleksibilnost dizajna, što je jedna od značajnijih prednosti sadašnje verzije Code Tutora u odnosu na prethodnu.

Jedan od prvih koraka u budućem razvoju sistema Code Tutor biće proširivanje njegovih mogućnosti, kako bi bio domenski nezavisan. Bez potrebe za poznavanjem ekspertskih sistema, Internet tehnologije i mrežnog programiranja, nastavnik će dizajnirati ontologiju kursa, dodavati nastavne materijale (materijali za učenje), kreirati teme, lekcije, setove

pitanja i odgovora za testiranje dok će sistem obavljati svu potrebnu automatiku: prebacivanje statičkih HTML stranica na Web server, generisanje skript-fajlova koje ekspertske sistem shell može interpretirati, generisati potrebne fajlove sa struktuiranim podacima (kao što su mape referenci) i sl. To znači da će nastavnik imati zadatak samo da markira lekcije (markiranje ključnih reči i imenovanje tema i lekcija) i smestiti ih u bazu znanja (smeštanje fajla teme na određeni direktorijum i ubacivanje reference za fajl u sistem). Nakon toga sistem treba da iskoristi nastavnički unos za punjenje XML fajla sadržajem. Takođe, sistem treba da generiše *Template* za temu i odgovarajuće forme vezane za ključne reči. Obeležena fakta u lekcijama mogu biti iskorišćena za generisanje pravila.

Nastavnik bi trebalo da razume domen i osnovne principe obeležavanja lekcija, ali nije neophodno i poznavanje detalja sistemskog dizajna.

Promene studentske strane aplikacije trebalo bi da pruže što bolje uslove za savladavanje nastavnih sadržaja. Student bi, nakon autorizacije, mogao da podešava izgled stranica (pozadinu, veličinu i vrstu slova, formu za testiranje).

Jedno od značajnijih unapređenja treba da bude povećanje inteligencije si-

stema, u smislu preciznije obrade istorije rezultata studenata. Korelaciona statistika ukrštanjem rezultata jednog studenta iz više kurseva, ili rezultata više nastavnih grupa za jedan kurs, pomogla bi i nastavnicima i rukovodiocima u korigovanju vođenja studenata. Pragmatičan pristup u rešavanju konkretnih problema nastavne prakse omogućio bi masovniju primenu i više ulaganja u razvoj inteligentnih tutorskih sistema.

Literatura:

- [1] Hall, L. and Gordon, A.: Synergy on the Net: Integrating the Web and Intelligent Learning Environments. Proceedings of The Workshop on Web-Based ITS. San Antonio, TX, USA (electronic edition), 1998.
- [2] López, J. M. et al: Design and Implementation of a Web-based Tutoring Tool for Linear Programming Problems. Proceedings of The Workshop on Web-Based ITS. San Antonio, TX, USA (electronic edition), 1998.
- [3] Johnson, W. L. et al: Pedagogical Agents on the Web. Proceedings of The Workshop on Web-Based ITS. San Antonio, TX, USA (electronic edition), 1998.
- [4] Melis, E. et al: ActiveMath: A Generic and Adaptive Web-Based Learning Environment. International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 12, pp. 385-407, 2001.
- [5] Alpert, S. R. et al: Deploying Intelligent Tutors on the Web: An Architecture and an Example. International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 10, pp. 183-197, 1999.
- [6] Mitrović, A. and Hausler, K.: Porting SQL-Tutor to the Web. Proceedings of the International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems. Montreal, Canada, pp. 50-60, 2000.
- [7] Devedžić, V. Understanding Ontological Engineering. Communications of the ACM, Vol 45, No. 4ve, pp. 136-144, 2002.
- [8] Devedžić, V.: Next-Generation Web-Based Education. International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning, Special Issue on The Issues of Technological Support for New Educational Perspectives (forthcoming), 2003.

Rezime:

Prikazan je i analiziran uticaj delovanja para acetona na mehaničke osobine i brzinu gorenja dvobaznih raketnih goriva u obliku barutnih cevčica. Mehanička ispitivanja vršena su jednoosnim zatezanjem i ispitivanjem na udar. Ispitivanja brzine gorenja obavljana su u manometarskoj bombi i u realnim motorima. Dobijeni rezultati ispitivanja pokazuju znatan uticaj para acetona na mehaničke osobine baruta bez većeg uticaja na brzinu gorenja.

Ključne reči: mehaničke osobine, brzina gorenja, dvobazno raketno gorivo.

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF DOUBLE BASE
PROPELLANTS FOR BUSTER MOTORS

Summary:

Acetone vapours influence on the double base propellant mechanical properties and the burning rate is shown and analysed. Mechanical investigations were done with uniaxial tensile and impact tests. Burning rate investigations were carried out in the manometric bomb and rocket motors. The obtained results of the investigations show a significant acetone vapours influence on mechanical properties without a significant influence on the burning rate.

Key words: mechanical properties, burning rate, double base propellant.

Uvod

Pogonska punjenja impulsnih motora obično se formiraju od aksijalno simetričnih barutnih cevčica, malih debljina zidova, čiji se snop pojedinačno pričvršćuje jednim krajem za držač cevčica pomoću nazubljenog klinića (slika 1), a drugi kraj je slobodan u smeru strujanja gasovitih produkata sagorevanja. Na ovaj način omogućena je paralelnost barutnih cevčica sa osom motora.

U toku leta rakete, a za vreme trajanja procesa sagorevanja, pogonsko punjenje izloženo je mehaničkim naprezanjima pri pripaljivanju, usled aksijalnog ubrzanja rakete (inercijalne sile), rotacije oko uzdužne ose rakete (centrifugalne sile), usled razlike pritiska u komori za sagorevanje raketnog motora (erozije pogonskog punjenja) i drugim.

Ukoliko u toku leta rakete dode do loma pogonskog punjenja, tada dolazi do nekontrolisane promene u količini nast-

lih gasovitih produkata sagorevanja. To ima za posledicu nekontrolisanu promenu u parametrima putanje rakete, a može izazvati i njeno razaranje. Otuda proističe važnost kvantitativnog poznavanja mehaničkih naprežanja kojima je izloženo pogonsko punjenje u konkretnom raketnom motoru, posebno radi izbora raketnog goriva odgovarajućih mehaničkih karakteristika [1, 2].

Barutne cevčice opterećene su na istezanje kao posledica aksijalnog ubrzanja. Napon na istezanje je najveći u korenu cevčice. Napon (σ) u trenutku vremena (t) u korenu cevčice proporcionalan je koeficijentu koncentracije napona (α), ubrzanju (a) u posmatranom trenutku vremena, dužini cevčice (l), u posmatranom trenutku vremena i gustini baruta (ρ) [3]:

$$\sigma = \alpha \cdot a \cdot \rho \cdot l$$

U ovom radu opisan je pokušaj poboljšanja mehaničkih osobina dva modela dvobaznih raketnih goriva (DRG), namenjena impulsnim raketnim motorima, uz manju promenu brzine gorenja. Osnovu za to predstavljalo je zapažanje da se pod dejstvom para organskih rastvarača bitno menjaju mehaničke osobine DRG. Sopstvenim ispitivanjem uočeno je da su promene mehaničkih osobina DRG najviše izražene posle delovanja para acetona, a njegov uticaj na barutne cevčice prikazan je u ovom radu [1, 2].

Kako formiranje pogonskog punjenja ne zahteva nikakav toplotni i mehanički tretman ovih cevčica, ostvareni efekti delovanja para acetona na njihove mehaničke osobine ostaju prisutni u krajnjem proizvodu, povećavajući sigurnost rada impulsnog raketnog motora.

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja

Hemijski sastavi, fizičko-hemijske i energetske osobine opitnih modela DRG, za dve kombinacije katalizatora brzine sagorevanja, (K1 i K2) [1], prikazani su u tabeli 1.

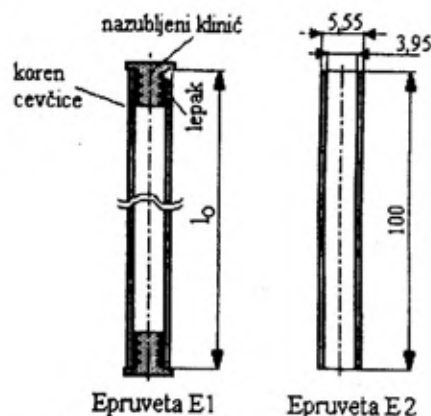
Tabela 1
Fizičko-hemijske i energetske osobine opitnih modela DRG

Sastav i osobine	Oznaka opitnog modela	
	DRG1	DRG2
Nitroceluloza (mas. %)	55,65	50,46
Azot u NC (mas. %)	12,67	12,61
Nitroglicerol (mas. %)	37,50	38,53
Centralit I (mas. %)	2,80	2,04
Vazelin (mas. %)	0,30	—
K1 (mas. %)	3,75	—
K2 (mas. %)	—	8,97
Gustina (g/cm ³)	1,644	1,672
Toplotni potencijal (J/g)	4597,6	4462,8
Hemijska stabilnost:		
Grejanje na 100°C (dana, h)	6d.18h	4d.18h
Bergman-Junk na 120°C (cm ³ NO/5 g)	3,11	6,60
Hanzen-test na 110°C (pH)	3,41	3,20
Metilviolet test na 120°C (min)	60	55

Ispitivanja mehaničkih karakteristika izrađenih DRG jednoosnim istezanjem vršena su na po 7 epruveta na kidalici tipa ZWICK 1464, pri brzini hoda hvataljki 100 mm/min, na temperaturama ispitivanja -30, 20 i 50°C.

Oblik i dimenzije korišćenih epruveta prikazani su na slici 1.

S obzirom na oblik epruvete E1, nisu izračunavane zatezna čvrstoća i relativno izduženje, već su korišćene vrednosti izmerene sile (F) i izduženja (Δl). Kako je u svim slučajevima, navedenim u ovom radu, maksimalna vrednost sile istovremeno i prekidna sila, to su prekidna sila i odgovarajuća prekidna deformacija označavani sa F_z i Δl_z .



Sl. 1 – Epruvete za mehanička ispitivanja

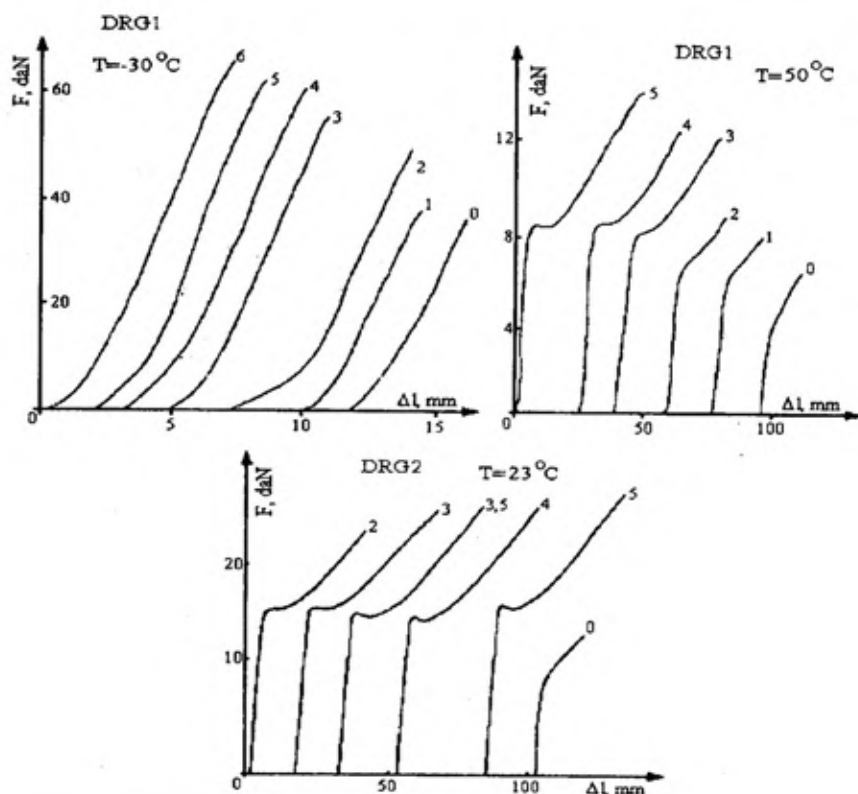
Ispitivanje na udar vršeno je na Šarpijevom klatnu na po pet epruveta tipa E2 (slika 1) na -30°C , pri čemu je izra-

čunavan potreban rad za lom epruvete. Svi rezultati ispitivanja prikazani su kao srednje vrednosti.

Modeli barutnih cevčica izrađivani su kao jednokanalne, aksijalno simetrične barutne cevčice, a oblikovane su ekstruzijom prethodno pripremljenih barutnih masa kroz odgovarajući alat.

Radi istraživanja efekata delovanja para acetona izvršena su ispitivanja mehaničkih karakteristika opitnih modela DRG1 i DRG2, kako netretiranih, tako i tretiranih, parama acetona u intervalu od 1 do 6 sati.

Proverom gustine i toplotnog potencijala barutnih cevčica, izloženih dejstvu



Sl. 2 – Dijagrami sila – deformacija

para rastvarača, ustanovljeno je da nema promena ni u gustini ni u toplotnom potencijalu [4] u odnosu na netretirane DRG. Od barutnih cevčica urađene su epruvete tipa E1 (dužine 138 mm za DRG1, a 157 mm za DRG2) i ispitane mehaničke karakteristike koje su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2
Mehaničke osobine barutnih cevčica

Oznaka DRG	τ (h)	F_z (daN)	Δl_z (mm)	T (°C)
DRG1	0	14,7	12,5	23
	1	19,0	16,1	
	3	25,3	35,9	
	6	34,2	49,1	
	0	6,1	17,0	50
	1	8,6	20,5	
	3	13,3	39,2	
	6	20,0	65,3	
	0	36,0	3,6	-30
	1	39,3	-	
	3	64,6	7,4	
	6	74,9	5,5	
DRG2	0	15,8	26,6	23
	1	17,9	31,4	
	2	24,1	45,6	
	3	25,9	53,6	
	3,5	25,0	47,8	
	4	23,7	47,8	
	5	24,6	48,3	

Karakteristični oblici dijagrama sila – deformacija prikazani su na slici 2. Oznake krivih odgovaraju vremenu izlagaanja parama acetona.

Rezultati ispitivanja baruta zatezanjem (za DRG1) prikazani su na slici 3.

Sa slika 2 i 3 i iz tabele 2 uočava se da sa porastom vremena delovanja para acetona dolazi do porasta i sile i izduženja, što je posledica naknadne želatinizacije nitroceluloze [1, 2]. Pored toga, izvršena su i ispitivanja udarne žilavosti na -30°C na opitnom modelu DRG1 na

epruvetama tipa E2, a dobijeni rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 3.

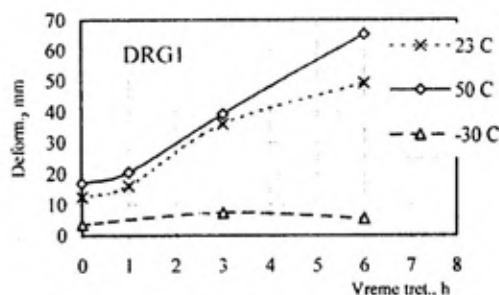
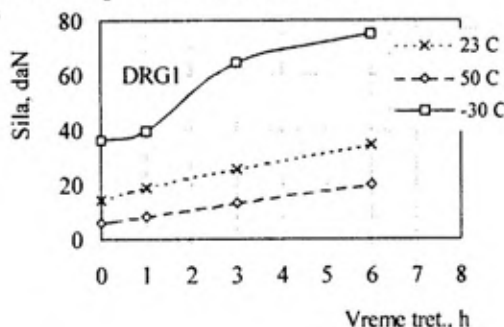
Tabela 3
Rezultati ispitivanja udarne žilavosti

Opitni model	Izvršeni rad (J)						
	Vreme tretiranja (h)						
	0	1	2	3	4	5	6
DRG1	0,187	0,207	0,196	0,356	0,392	0,534	0,685

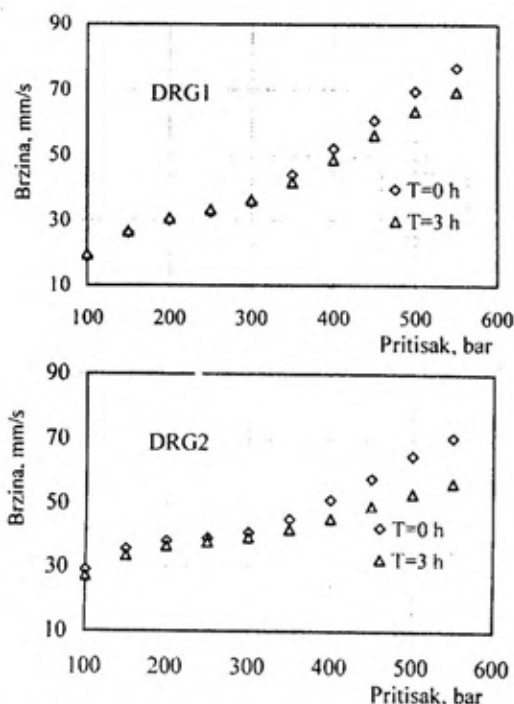
Iz prikazanih rezultata uočava se porast vrednosti udarne žilavosti sa porastom vremena delovanja para acetona.

Da bi se proverio uticaj delovanja para acetona na brzinu gorenja barutnih cevčica, izvršena su i ispitivanja brzine gorenja u manometarskoj bombi [5], za opitne modele DRG1 i DRG2, čiji su rezultati prikazani na slici 4.

Na opitnom modelu DRG1 izvršena su ispitivanja brzine gorenja u realnim motorima, [6], na 20°C i 50°C, a dobijeni rezultati prikazani su na slici 5.



Sl. 3 – Dijagrami sila (deformacija) – vreme tretiranja



Sl. 4 – Dijagrami brzina gorenja – pritisak na 20°C

Analiza rezultata prikazanih u tabeli 2 i na slikama 2 i 3 ukazuje na veliki porast maksimalne sile (ona je istovremeno i prekidna sila), a takode i maksimalnog izduženja (to je istovremeno i prekidno izduženje) u funkciji vremena tretiranja u parama acetona.

Rezultati ispitivanja udarne žilavosti (tabela 3), ukazuju na veliki porast udarne žilavosti u funkciji vremena tretiranja.

Rezultati ispitivanja brzine gorenja u manometarskoj bombi (slika 4), ukazuju na smanjenje brzine gorenja kod ispitivanih tretiranih baruta.

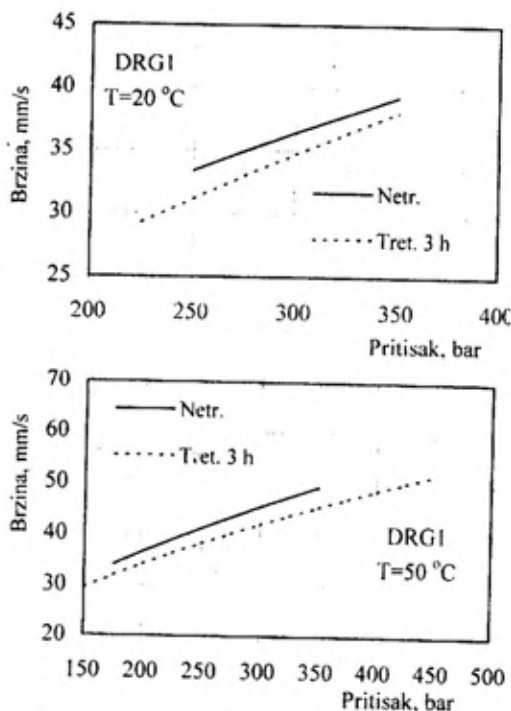
Analiza rezultata ispitivanja brzine gorenja u realnim motorima (slika 5) ukazuje na smanjenje brzine gorenja kod ispitivanog tretiranog baruta. Pri ispitivanju brzine gorenja (kod netretiranih barutnih cevčica) uočeno je izletanje iz mo-

tora delimično sagorelih barutnih cevčica. Ova pojava nije uočena kod tretiranih barutnih cevčica. Sa slike 5 uočava se da na 50°C tretirane barutne cevčice imaju manji eksponent u zakonu brzine gorenja ($v=2,23 P^{0,515}$) u odnosu na netretirane cevčice ($v=2,08 P^{0,541}$).

Ukoliko se želi da se kod postojećeg raketnog goriva ostvare bolje mehaničke osobine barutnih cevčica to će se postići povećanjem radnog pritiska ili zadržavanjem postojećeg uz duže vreme sagorevanja.

Pri izboru novog raketnog goriva potrebno je odabrati gorivo sa većom brzinom gorenja, kako bi se nakon tretiranja parama acetona dobila zahtevana brzina gorenja.

Smanjenje eksponenta u zakonu brzine gorenja (za ispitivani sastav DRG1 na 50°C) povoljno je sa stanovišta pouzdanosti raketnog motora.



Sl. 5 – Dijagrami brzina gorenja – pritisak na 20°C i 50°C

Zaključak

Ispitan je uticaj para acetona na pogonskim punjenjima u obliku barutnih cevčica. Ova ispitivanja su jasno pokazala veoma značajan uticaj para acetona na mehaničke karakteristike opitnih modela DRG, tj. da sa porastom vremena tretiranja baruta dolazi do porasta zatezne čvrstoće, izduženja i udarne žilavosti. Tako, na primer, prekidna sila je (na 23°C) povećana za oko 2,3 puta, a izduženje za oko 4 puta u odnosu na netretirane cevčice (tabela 2).

Povećana zatezna čvrstoća tretiranog baruta doprinosi boljem iskorišćenju goriva tokom sagorevanja u motoru, jer nema izletanja delimično sagorelih barutnih cevčica.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata može se zaključiti da dolazi do manjih promena u brzini gorenja kao i da su brzine gorenja kod ispitivanih tretiranih DRG manje od netretiranih.

Literatura:

- [1] Tot, L.: Istraživanje uticaja delovanja para organskih rastvarača na mehaničke osobine dvobaznih raketnih baruta, magistarski rad, TMF Beograd, 1989.
- [2] Tot, L.: Ispitivanja uticaja para acetona na mehaničke osobine dvobaznih raketnih goriva, Vojnotehnički glasnik 3/2002, 280-287.
- [3] Savković, M.: XIII Simpozijum o eksplozivnim materijama, Vitez, 1980. str. 201-207.
- [4] Tot, L.; Dučić, R.; Uzelac, M.: Dvobazna raketna goriva tretirana parama rastvarača IV, TI-943, 1988.
- [5] Filipović, M.: Određivanje linearne brzine sagorevanja i regresionih koeficijenata u zakonu brzine sagorevanja baruta korišćenjem manometarske bombe, Naučnotehnički pregled, 33, 1983, 2, 47-57.
- [6] Tot, L.; Dučić, R.; Uzelac M.: Dvobazna raketna goriva tretirana parama rastvarača III, TI-873, 1987.

Profesor dr Miroslav Demić,
dipl. inž., akademik
Docent dr Jovanka Lukić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Kragujevac
Dr Đorđe Diligenski,
dipl. inž.
naučni saradnik, INN „Vinča“,
Beograd

METOD ZA ANALIZU UTICAJA POLOŽAJA TEŽIŠTA TERETA NA DINAMIČKE PARAMETRE KAMIONA*

UDC: 623.437.44 : 621.86.01

Rezime:

Koncepcija teretnih motornih vozila utiče na njihove dinamičke parametre, mada neki od njih zavise i od položaja tereta u odnosu na tovarni sanduk. U ovom radu analiziran je uticaj položaja tereta, a samim tim i težišta vozila na dinamičke parametre kamiona. Pored promene dinamičkih parametara analizirana je i njihova funkcija osetljivosti prvog reda. Uočen je uticaj promene položaja težišta u podužnom pravcu na vertikalne oscilacije, kao i uticaj promene položaja težišta u bočnom pravcu na ugaone oscilacije.

Ključne reči: teretno motorno vozilo, eksploatacioni uslovi, dinamičke karakteristike.

METHOD FOR THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE LOAD CENTER OF GRAVITY POSITION ON DYNAMIC PARAMETERS OF TRUCKS

Summary:

The concept of heavy motor vehicles exerts influence on their dynamic parameters. Some dynamic parameters also depend on the load position with respect to load space. In this paper, the effects of the load position, i.e. the center of gravity on dynamic parameters of trucks have been analyzed. Besides the dynamic parameter variation analysis, the first order sensitivity functions have been given as well. The influence of changing the center of gravity position in the longitudinal direction on vertical oscillations as well as changing the position of the center of gravity in the lateral direction on angular oscillations have been noticed.

Key words: heavy motor vehicles, exploitation conditions, dynamic characteristics.

Uvod

Pod pojmom koncepcije kamiona u literaturi [4, 21] podrazumeva se međusobni položaj najvažnijih agregata i sistema, kao npr.: položaj motora u odnosu na kabinu, način ugradnje motora u odnosu na noseći sistem (horizontalno, podužno,

poprečno), položaj pogonskog mosta(ova), broj i raspored prenosnika snage, broj i položaj upravljačkih točkova i sl.

Koncepcija utiče na karakteristike kamiona, pa joj se mora posvetiti maksimalna pažnja u fazi projektovanja. Imajući u vidu da je problem uticaja koncepcije kamiona na dinamičke karakteristike detaljno objašnjen u [5], u ovom radu biće razmatran uticaj nekih eksploatacionih parametara na pomenute karakteristike,

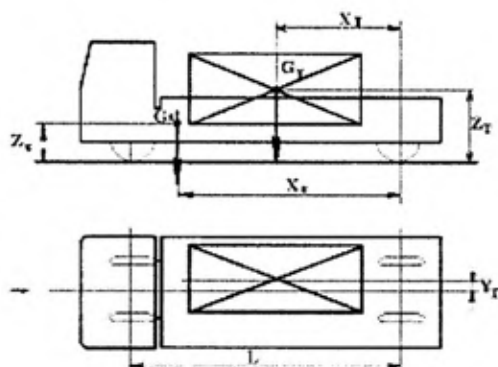
* Rad predstavlja deo rezultata istraživanja u okviru projekta „Istraživanje i razvoj vozila formule točkova 4x4, ukupne mase do 4 t“, Ministarstva za nauku i tehnologiju Vlade Srbije.

sa posebnim osvrtom na položaj tereta u odnosu na tovarni prostor.

Prostorni položaj tereta u tovarnom prostoru kamiona utiče na inercijalne parametre vozila, pa samim tim i na njegove dinamičke parametre. Kako je to značajno za oscilatornu udobnost, upravljivost i bezbednost vozila, u daljem tekstu će pomenuti fenomen biti detaljnije objašnjen, uz korišćenje metoda dinamičke simulacije.

Prikaz metoda istraživanja

Položaj tereta u tovarnom prostoru kamiona znatno utiče na njegove inercijalne parametre. Radi lakšeg praćenja daljeg teksta treba posmatrati sliku 1. Na njoj su označeni položaji težišta neopterećenog vozila (x_s i z_s) i tereta (x_T , y_T i z_T). Na istoj slici G_s predstavlja silu usled mase neopterećenog vozila, a G_T silu usled mase tereta. Treba ukazati na činjenicu da je usvojena pretpostavka da se težište neopterećenog vozila nalazi na podužnoj osi simetrije ($y_s=0$).

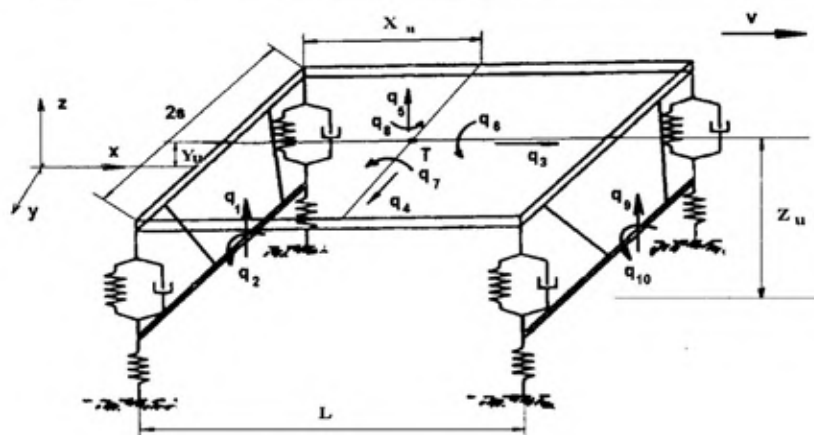


Sl. 1 – Šema opterećenog vozila

Radi analize uticaja položaja težišta opterećenog vozila (x_u , y_u i z_u) na dinamičke parametre ocenjeno je celishodnim da se izvrši dinamička simulacija. Radi toga je posmatran oscilatorni model na slici 2.

Oscilatorni model obuhvata uticaj inercijalnih parametara, koordinata težišta oslonjene mase i svih oscilatornih parametara na oscilatorna kretanja oslonjenih i neoslonjenih masa. Naime, korišćeni oscilatorni model omogućio je analizu sledećih sekundarnih kretanja vozila:

- a) zadnje osovine:
 - q_1 – vertikalne oscilacije,
 - q_2 – valjanje,



Sl. 2 – Oscilatorni model vozila

b) oslonjene mase:

- q_3 – podužne oscilacije,
- q_4 – bočne oscilacije,
- q_5 – vertikalne oscilacije,
- q_6 – valjanje,
- q_7 – galopiranje,
- q_8 – vijuganje,

c) prednje osovine:

- q_9 – vertikalne oscilacije,
- q_{10} – valjanje.

Očigledno je da posmatrani model kamiona ima deset stepeni slobode kretanja, a nelinearnog je karaktera jer su uključene nelinearnosti opruga, amortizera, pneumatika i stabilizatora. Sile i momenti pomenutih sistema detaljno su opisani u [2, 5, 8, 11, 13, 16, 17, 21, 22].

Diferencijalne jednačine posmatranog oscilatornog modela generisane su pomoću programskog paketa NEWEUL [18]. Postupak pripreme podataka za pomenuti paket veoma je precizan [18] i ovde neće biti prikazan. U toku pripreme

ulaznih podataka korišćena su 24 koordinatna sistema i 5 linearizovanih veličina (q_2, q_6, q_7, q_8 i q_{10}). Značajno je istaći da je posmatran slučaj prostornog kretanja u odnosu na koordinatne sisteme koji se ne poklapaju sa glavnim težišnim osama inercije [7, 13, 14, 17, 19], što je dovelo do još veće složenosti posmatranog oscilatornog modela. Zbog toga je rešavan numerički, primenom metode Kuta-Mersona, sa početnim korakom 0,02 s u 128 tačaka. To je omogućilo pouzdanost rezultata u oblasti 0,4 do 25 Hz, [1], što je sasvim zadovoljavajuće sa aspekta oscilatorne udobnosti [2, 21]. Tokom simulacije korišćena je poliharmonijska funkcija pobude od mikroneravnina puta, koja je detaljno opisana u [2].

Kako na oscilatorne pobude od mikroneravnina puta utiče i brzina kretanja, ocenjeno je celishodnim da se simulacija realizuje pri kretanju posmatranog vozila po asfaltnom putu, brzinom od 20 m/s [8, 9].

Inercijalni parametri oslonjene mase za razne varijante

Tabela 1

	a	b	c	d	e	f	g	i	j
m (kg)	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290
x_u (m)	0,975	1,639	2,304	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639
y_u (m)	0,00	0,00	0,00	-0,531	0,00	0,531	0,00	0,00	0,00
z_u (m)	1,011	1,011	1,011	1,011	1,011	1,011	0,279	0,411	0,544
I_x (kgm ²)	4118	4118	4118	5729	4118	5729	3953	4118	4485
I_y (kgm ²)	41582	29472	22397	29472	29472	29472	29307	29472	29838
I_z (kgm ²)	44076	31965	24891	33577	31965	33577	31965	31965	31965
I_{xy} (kgm ²)	0,00	0,00	0,00	3836	0,00	-3836	0,00	0,00	0,00
I_{xz} (kgm ²)	-1930	-1266	-601	-1266	-1266	-1266	-306	-1266	2225
I_{yz} (kgm ²)	0,00	0,00	0,00	-531	0,00	531	0,00	0,00	0,00

Parametar	Osovina	
	Prednja	Zadnja
m (kg)	698	1012
x_o (m)	4,00	0,00
y_o (m)	0,00	0,00
z_o (m)	0,60	0,60
I_x (kgm ²)	16	33
I_y (kgm ²)	600	1297
I_z (kgm ²)	600	1263
I_{xy} (kgm ²)	0,00	0,00
I_{xz} (kgm ²)	0,00	0,00
I_{yz} (kgm ²)	0,00	0,00

Podaci iz tabela 1 i 2 odnose se na težišne ose inercije.

Imajući u vidu postavljeni cilj, položaj težišta tereta variran je u granicama koje dozvoljava tovarni sanduk kamiona iz proizvodnog programa FAP [8], čiji su inercijalni parametri, za neopterećeno stanje, poznati.

Tokom analize pretpostavljeno je da su glavne težišne ose inercije tereta paralelne sa glavnim težišnim osama inercije neopterećenog vozila.

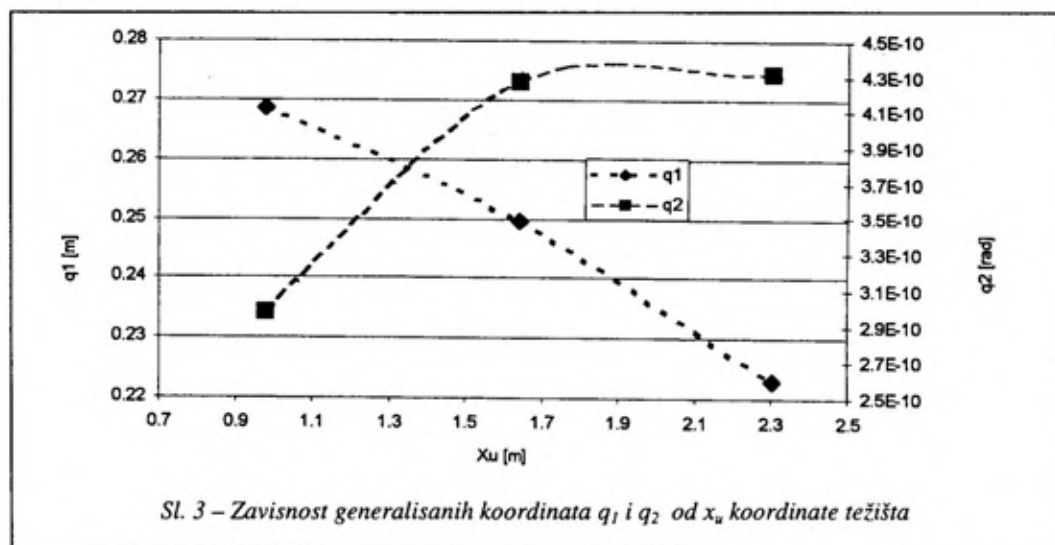
Koristeći razvijeni računarski program DEMPARIN [6], izračunati su inercijalni

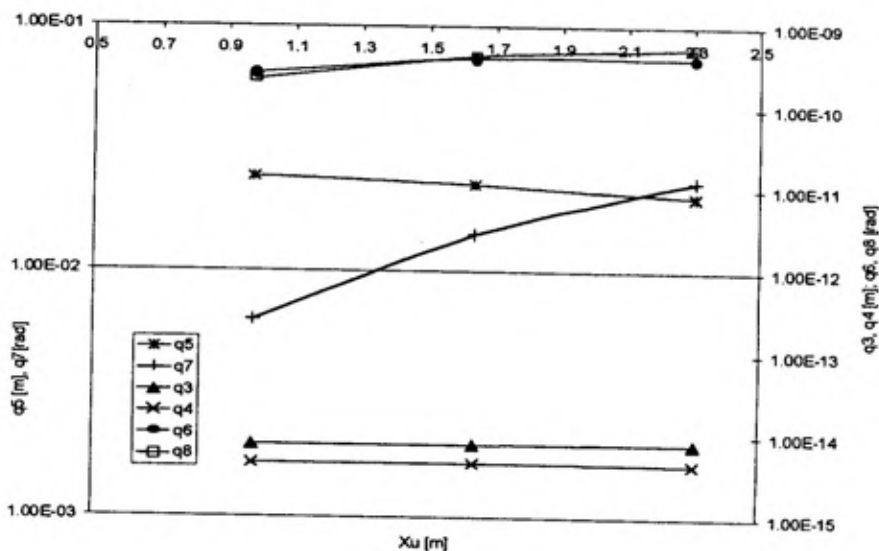
parametri za razne varijante (a, b, ... j) opterećenog vozila na osnovu podataka o neopterećenom vozilu i teretu, a rezultujući podaci su prikazani u tabelama 1 i 2.

Dinamička simulacija i analiza rezultata

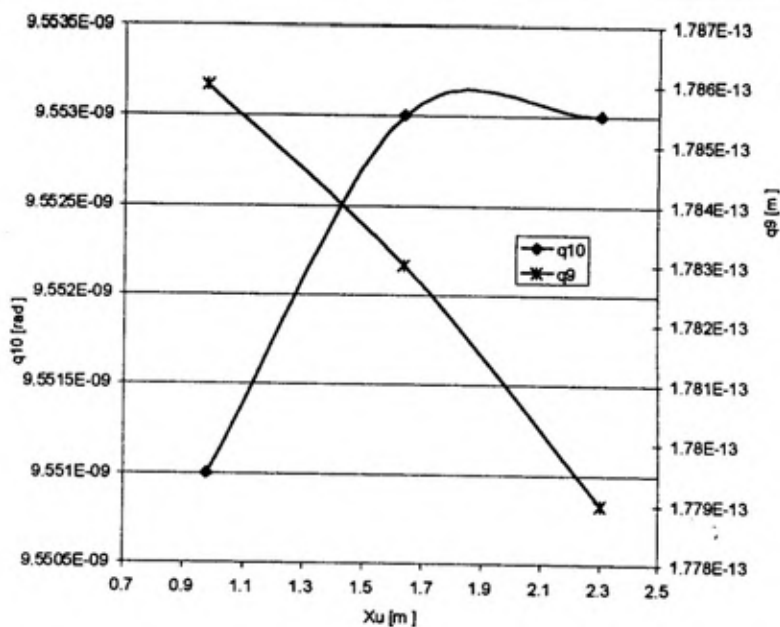
U ovom radu izvršena je analiza uticaja koordinata težišta tereta, a samim tim i kompletnog vozila, na oscilatorna kretanja q_1 – q_{10} . Imajući u vidu da je za ponašanje vozila na putu [4] veoma značajan odnos prednje i zadnje reakcije tla, ocenjeno je celishodnim da se u analizu uključi i ova veličina.

Na osnovu podataka iz tabela 1 i 2 i definisanih eksploatacionih uslova, uz koršćenje računara Pentium 3 (takt 1.133 GHz, 128 MB ram i 20 Gb hard disc), za oko 12 sati rada izvršena je dinamička simulacija. Analize su pokazale da je celishodno istraživati uticaj efektivnih vrednosti posmatranih veličina, u funkciji koordinata težišta x_u , y_u i z_u . Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 3 do 14.

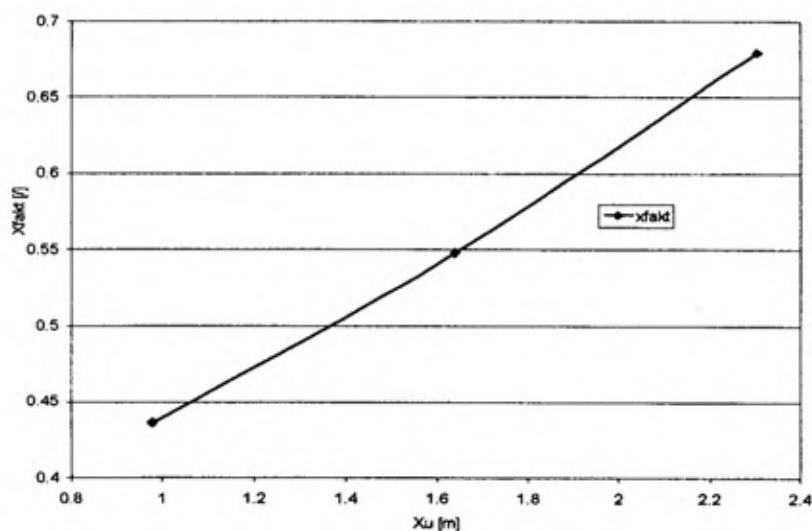




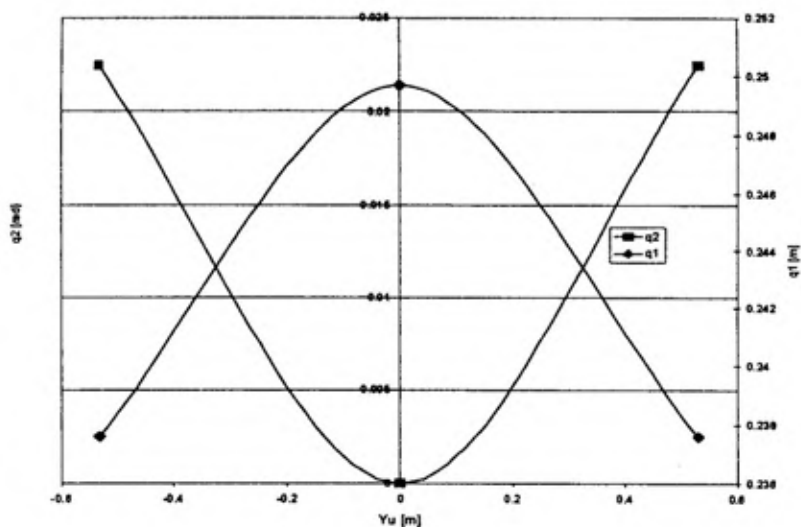
Sl. 4 – Zavisnost generalisanih koordinata $q_3 - q_8$ od x_u koordinate težišta



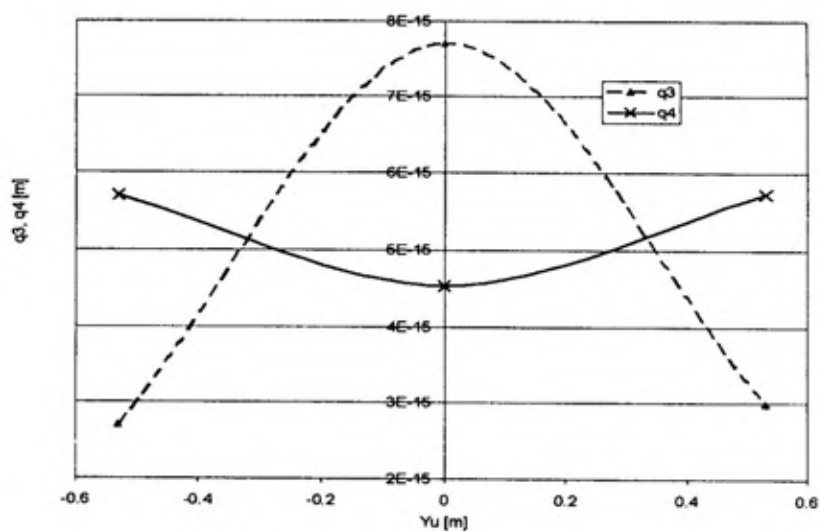
Sl. 5 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od x_u koordinate težišta



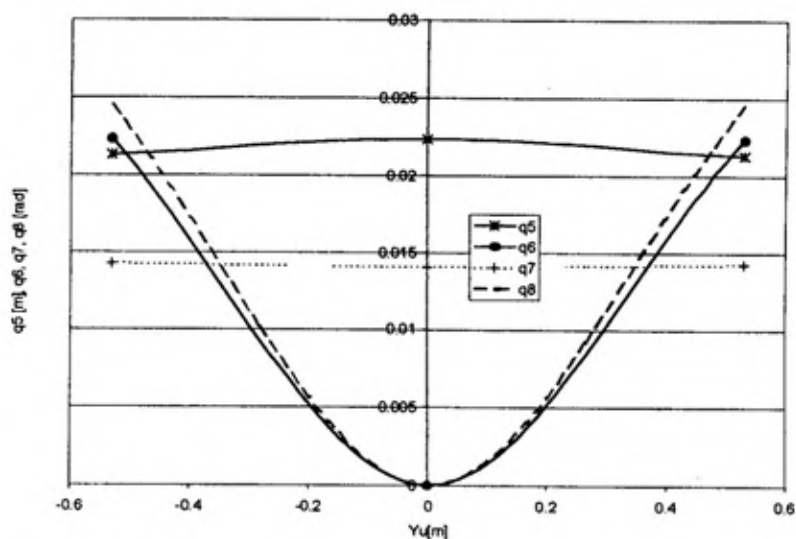
Sl. 6 – Zavisnost odnosa dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine od x_u koordinate težišta



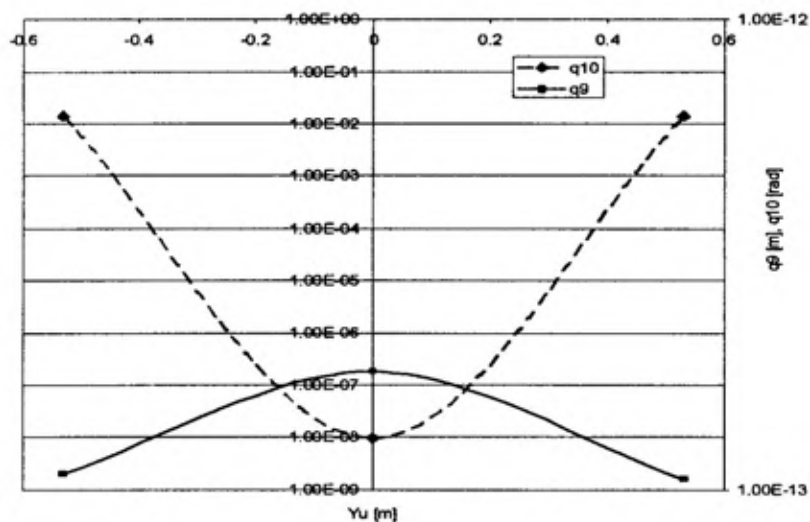
Sl. 7 – Zavisnost generalisanih koordinata q_1 i q_2 od y_u koordinate težišta



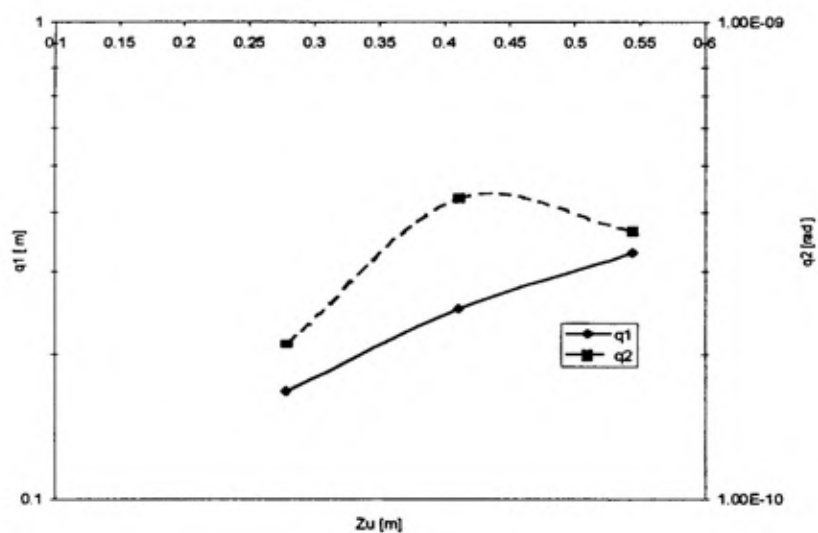
Sl. 8 – Zavisnost generalisanih koordinata q_3 i q_4 od y_u koordinate težišta



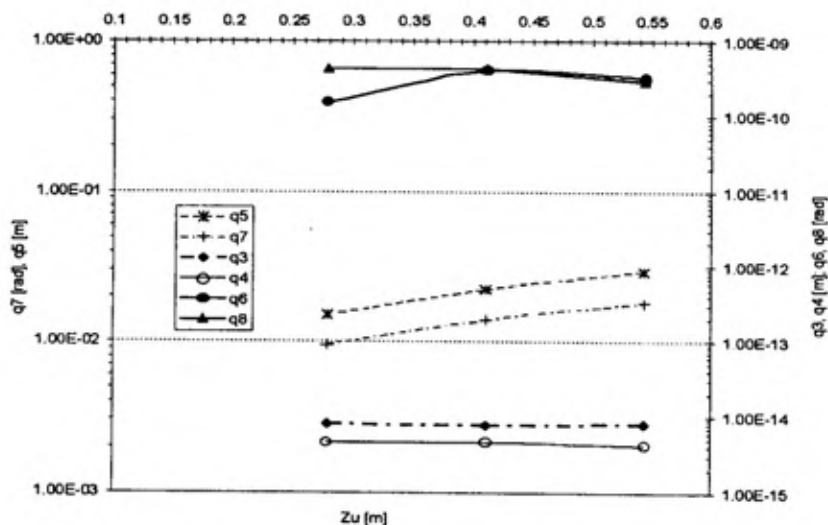
Sl. 9 – Zavisnost generalisanih koordinata q_5, q_8 od y_u koordinate težišta



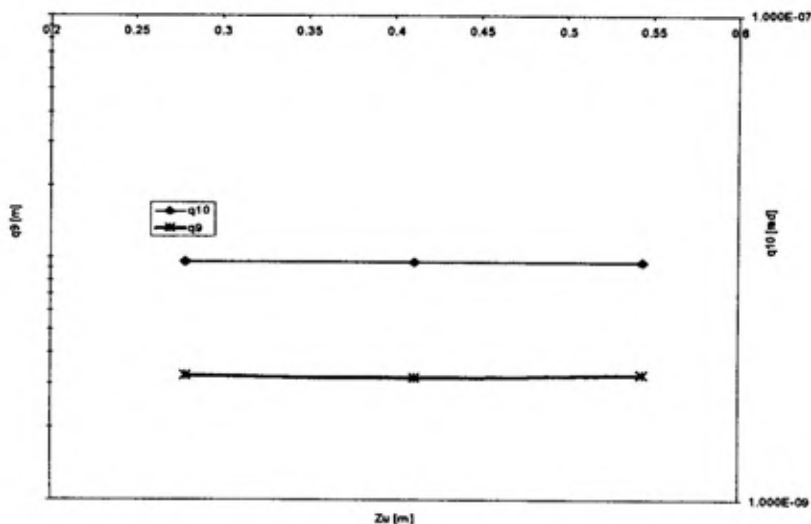
Sl. 10 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od y_u koordinate težišta



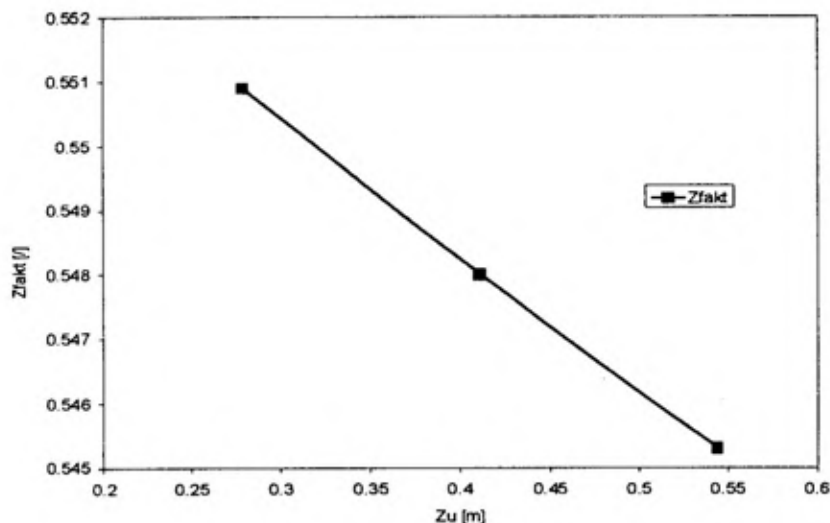
Sl. 11 – Zavisnost generalisanih koordinata q_1 i q_2 od z_u koordinate težišta



Sl. 12 – Zavisnost generalisanih koordinata q_3 – q_8 od z_u koordinate težišta



Sl. 13 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od z_u koordinate težišta



Sl. 14 – Zavisnost odnosa dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine od z_u koordinate težišta

Na slikama 3 do 14 uočava se da promena položaja tereta po dužini vozila bitno utiče na posmatrane dinamičke parametre vozila (q_1 – q_{10}), kao i odnos dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine Z_{fakt} . Treba istaći da je taj uticaj različit i da zavisi od posmatranog parametra. Ako se položaj težišta pomera ka prednjoj osovini u podužnom pravcu, vertikalne oscilacije zadnje osovine se snižavaju, a ugaone oscilacije valjanja naglo rastu, a zatim imaju blag rast u odnosu na polazne vrednosti (slika 3).

Podužne (q_3) i bočne (q_4) oscilacije oslonjene mase ne zavise od promene položaja težišta vozila u podužnom pravcu. Vertikalne oscilacije oslonjene mase (q_5) povećavaju se dok se ugaone oscilacije galopiranja oslonjene mase (q_7) blago smanjuju pomeranjem položaja težišta ka prednjoj osovini (slika 4).

Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja oslonjene mase blago rastu sa porastom veličine x_u (slika 4). Pomeranje te-

žišta ka prednjoj osovini naglo smanjuje vertikalne oscilacije prednje osovine (q_9) i povećava ugaone oscilacije prednje osovine (q_{10}) (slika 5).

Odnos dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine povećava se sa porastom koordinate x_u . Približavanjem težišta prednjoj osovini povećava se opterećenje prednje osovine u odnosu na zadnju (slika 6).

Promena položaja težišta u bočnom pravcu utiče na smanjenje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i na povećanje ugaonih oscilacija valjanja zadnje osovine (slika 7). Podužne oscilacije oslonjene mase se smanjuju sa promenom položaja težišta, dok se bočne oscilacije povećavaju (slika 8).

Vertikalne oscilacije oslonjene mase blago se smanjuju sa promenom položaja težišta, dok ugaone oscilacije galopiranja oslonjene mase blago rastu. Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja oslonjene mase naglo rastu sa promenom položaja težišta u odnosu na podužnu težišnu osu vozila (slika

9). Vertikalne oscilacije prednje osovine se smanjuju, dok ugaone oscilacije valjanja prednje osovine naglo rastu sa promenom položaja težišta u bočnom pravcu (slika 10).

Promena položaja težišta u odnosu na podužnu težišnu osu u bočnom pravcu ne utiče na odnos dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine.

Promena visine težišta utiče na posmatrane dinamičke parametre vozila. Povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine (slika 11).

Na podužne i bočne oscilacije oslonjene mase promena visine težišta veoma malo utiče. Povećanje visine težišta utiče na porast vertikalnih i ugaonih oscilacija galopiranja oslonjene mase. Pri manjim visinama težišta ugaone oscilacije valjanja oslonjene mase (q_6) rastu da bi pri većim visinama težišta opadale. Ugaone oscilacije vijuganja oslonjene mase blago opadaju sa povećanjem visine težišta (slika 12). Na vertikalne i ugaone oscilacije valjanja prednje osovine ne utiče položaj visine težišta (slika 13). Porast visine težišta smanjuje razliku između dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine (slika 14).

Imajući u vidu činjenicu da uticaj x_u , y_u i z_u na posmatrane dinamičke veličine nije istovetan, ocenjeno je celishodnim da se izračunaju tzv. „funkcije osetljivosti“ prvog reda [24]:

$$L_z = p \frac{\partial z(p, t)}{\partial p}, \quad (1)$$

gde je:

$z(p, t)$ – efektivna vrednost posmatrane dinamičke veličine,

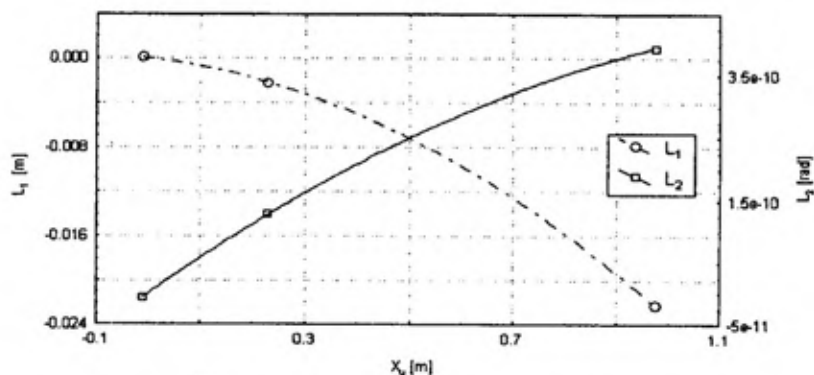
p – parametar sistema (x_u , y_u i z_u).

t – vreme.

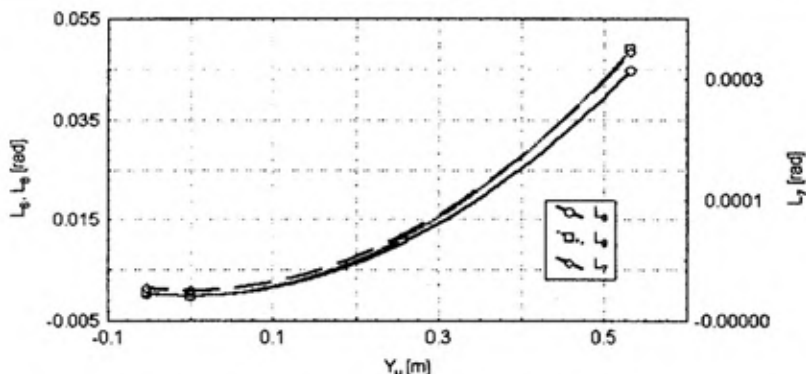
Na osnovu podataka sa slika 3 do 14 i primenom izraza (1) izračunate su funkcije osetljivosti koje su, radi ilustracije, delimično prikazane na slikama 15 do 17. Može se uočiti da analizirani parametri utiču na dinamičke parametre kamiona.

Analizom svih funkcija osetljivosti može se zaključiti da funkcija osetljivosti svih posmatranih veličina zavisi od položaja težišta tereta u odnosu na tovarni sanduk.

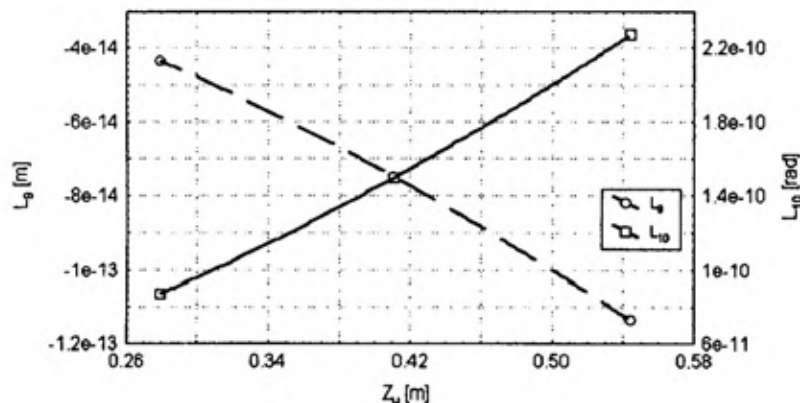
Pomeranje težišta ka prednjoj osovini utiče na povećanje funkcija osetljivosti vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine, smanjenje funkcije osetljivosti podužnih i vertikalnih oscilacija oslonjene ma-



Sl. 15 – Funkcija osetljivosti u zavisnosti od koordinate x_u



Sl. 16 – Funkcija osetljivosti u zavisnosti od koordinate y_u



Sl. 17 – Funkcija osetljivosti u zavisnosti od koordinate z_u

se, dok je uticaj na bočne oscilacije zadnje osovine neznan. Funkcije osetljivosti određene za ugaone oscilacije oslonjene mase rastu pomeranjem težišta vozila ka prednjoj osovini. Funkcija osetljivosti vertikalnih oscilacija prednje osovine opada, dok funkcija osetljivosti ugaonih oscilacija prednje osovine opada sa porastom koordinate x_u . Razlika dinamičkih opterećenja prednje i zadnje osovine raste pomeranjem težišta napred.

Promena položaja težišta u bočnom pravcu smanjuje funkcije osetljivosti koje opisuju vertikalna pomeranja, i dovode do

povećanja funkcije osetljivosti koje opisuju ugaona pomeranja prednje osovine, zadnje osovine i oslonjene mase. Promena položaja težišta u bočnom pravcu ne utiče na promenu funkcije osetljivosti koja se odnosi na razliku dinamičkih reakcija tla.

Povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine. Funkcije osetljivosti podužnih i vertikalnih oscilacija rastu, dok bočnih oscilacija oslonjene mase opadaju sa porastom koordinate z_u . Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja opadaju dok ugaone oscilacije galopiranja opadaju sa

porastom z_u . Povećanje koordinate z_u smanjuje funkciju osetljivosti koja se odnosi na razliku između dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine.

Zaključak

Na osnovu izvršenih istraživanja, može se zaključiti sledeće:

- položaj težišta tereta utiče na dinamičke parametre kamiona;
- pomeranje položaja težišta ka prednjoj osovini utiče na smanjenje vertikalnih oscilacija prednje i zadnje osovine i oslonjene mase, dok na podužne i bočne oscilacije oslonjene mase nemaju uticaja;
- ugaone oscilacije rastu sa povećanjem koordinate x_u ;
- promena položaja težišta u bočnom pravcu ima najveći uticaj na ugaone oscilacije valjanja;
- promena visine težišta ima najveći uticaj na povećanje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i oslonjene mase, kao i na smanjenje razlike dinamičkih sila na prednjoj i zadnjoj osovini;
- funkcije osetljivosti vertikalnih oscilacija opadaju sa promenom položaja težišta ka prednjoj osovini u podužnom pravcu, dok funkcije osetljivosti ugaonih oscilacija valjanja prednje i zadnje osovine rastu;
- uticaj promene položaja težišta u podužnom pravcu na ugaone oscilacije valjanja i galopiranja oslonjene mase nije znatno izražen;
- funkcija osetljivosti koja se odnosi na razliku dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine raste sa pomeranjem težišta ka prednjoj osovini;
- najslabiji uticaj na funkcije osetljivosti ima promena položaja težišta u bočnom pravcu, jer vertikalne oscilacije

osovina opadaju dok se ugaone oscilacije valjanja povećavaju;

– povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i oslonjene mase, na smanjenje razlike dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine, a nema uticaja na ugaone oscilacije oslonjene mase, kao ni na oscilacije prednje osovine.

Literatura:

- [1] Bendat, J. S. and Piersol, A. G.: Analysis and Measuring Procedures, Wiley Interscience (na ruskom) Applications of Correlation and Spectral analysis, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [2] Demić, M.: Optimizacija oscilatornih sistema motornih vozila, monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [3] Demić, M.: Teorija kretanja motornih vozila, Tehnički fakultet, Čačak, 1999.
- [4] Demić, M. i dr.: Osnovi projektovanja teretnih motornih vozila, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.
- [5] Demić, M. i dr.: Prilog analizi koncepcije na dinamičke parametre teretnih motornih vozila, časopis Tehnika 2003.
- [6] Demić, M.: DEMPARIN, program za izračunavanje momenta inercije u fazi projektovanja vozila, <http://ptt.zu/korisnici/m/mimizm034/>
- [7] Đurić, S.: Mehanika III i IV, Dinamika i teorija oscilacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
- [8] Ellis, J. R.: Vehicle Dynamics, MEP Ltd, London, 1974.
- [9] FAP: Informacije, 2002.
- [10] Fitch, W.: Motor Truck Engineering Handbook, SAE, Warrendale, 1993.
- [11] Gillespie, T.: Fundamental of vehicle dynamics, SAE, 1992.
- [12] Hačaturov, A. A. i dr.: Dinamika sistemi: Doroga – šini-avtomobilj-voditelj, Mašinostrojenje, Moskva, 1976.
- [13] <http://kwon3d.com/theory/moi/moi.html>: Moment of inertia of a systems of particles, 2002.
- [14] Mastinu, G.; Gobbi, M.; Miano, C. M.: The influence of the body Inertia Tensor on the active Safety and Ride Comfort of road Vehicles, SAE 2002, 2002-01-2058
- [15] Miliken, W.; Miliken, D.: Race car Dynamics, SAE, 1995.
- [16] Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, Springer, 1973
- [17] Navarro, H. A.; Canale, A. C.: Influences of the load centre gravity of heavy vehicle acceleration, Heavy Vehicle Systems, vol. 8, No.1, 2001, pp. 17-47
- [18] NEWEUL, Manual, TU Stuttgart, 2000.
- [19] Pars, A.: Treatise of Analytic Dynamics, Heinemann. London, 1971.
- [20] Rotenberg, V.: Podveska avtomobilja, Mašinostrojenje, Moskva, 1972.
- [21] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [22] Simić, D.: Motorna vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [23] Skinder, I. B.; Zacerkovnii, I. G.: Teoretičeskoe i eksperimentalnoe issledovanie koeficienta raspodelenija mass avtobusa LAZ-695 B, Avtomobiljnaja promišlenost, No 2, 1964, pp. 9-12.
- [24] Tomović, R. i dr.: Uvod u nelinearne sisteme automatskog upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1974.

TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE MOTORA SUS

UDC: 621.434 : 531.43

Rezime:

Poznato je da se intenzivno teži smanjenju potrošnje goriva kod motora SUS, pre svega iz ekoloških razloga. To se postiže primenom raznih konstrukcionih mera, među kojima su i postupci koji doprinose smanjenju trenja. Da bi se postigao određeni uspeh na tom planu, neophodno je da se poznaju tribološke karakteristike motora u celini, kao i pojedinih sklopova i sistema. Najveći uticaj na trenje u motoru, a time i najveći interes za izučavanje triboloških karakteristika, izazivaju klipna grupa, ležaji kolenastog vratila, sistem razvoda i sistem za podmazivanje. Tribološke karakteristike motora treba poznavati još u fazi konstruisanja motora, jer jedino na taj način može da se da puni doprinos smanjenju potrošnje goriva i izduvne emisije.

Ključne reči: motor SUS, mehanički gubici, tribologija motora.

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF IC ENGINES

Summary:

Intensive research for decreasing fuel consumption of IC engines is due mainly to ecological reasons. The problem can be solved by applying numerous different design solutions, among them methods for friction decrease. In order to achieve any success in that field it is necessary to be familiar with tribological features of a complete engine and its individual parts and assemblies. The main influence on IC engine friction losses comes from the piston group, the crankshaft bearings, the timing system and the lubrication system. Tribological characteristics have to be determined in the first stage of IC engine design, because this is the only way to give full contribution to the decreasing of fuel consumption and exhaust emission.

Key words: IC engine, mechanical losses, engine tribology.

Uvod

Razvoj motora SUS uslovljen je razvojem mnogih drugih disciplina, među kojima tribologija (nauka i tehnologija o procesima trenja, habanja i podmazivanja) zauzima vidno mesto, jer znatno doprinosi rešavanju aktuelnih problema sa gledišta efektivnosti i pouzdanosti motora.

S obzirom na to da radne karakteristike, pouzdanost i vek trajanja vitalnih delova motora u znatnoj meri zavise od triboloških procesa, predviđanje njihovih triboloških karakteristika u fazi projektovanja i konstruisanja od posebnog je interesa. Osnovni razlozi koji iniciraju značajna istraživanja u tribologiji motora SUS su [1]:

– najveće uštede energije mogu se ostvariti pri transportu sredstava;

– visok je značaj i uticaj tribologije na ekonomičnost rada motora;

– motor SUS sadrži veliki broj triboelemenata;

– postoji opšta tendencija smanjenja mase motora u odnosu na snagu, sa svim posledicama na razvoj triboloških procesa.

Imajući u vidu da se od ukupno proizvedene energije u svetu 30% utroši na savladavanje procesa trenja, jasno je zbog čega se ova problematika razmatra u oblasti motora. Istraživanja u tribologiji motora SUS povezana su sa smanjenjem potrošnje goriva preko smanjenja trenja, sa povećanjem pouzdanosti svih pokretnih komponenata i sa zaštitom okoline od загаđenja izduvnim gasovima.

Definisanje triboloških karakteristika motora SUS

Sa stanovišta delova i sistema motora, što je praktičniji prilaz za većinu inženjera konstruktora, naročito su interesantne sledeće komponente motora: klizni ležajevi kolenastog vratila, klipna grupa, sistem razvoda i sistem za podmazivanje.

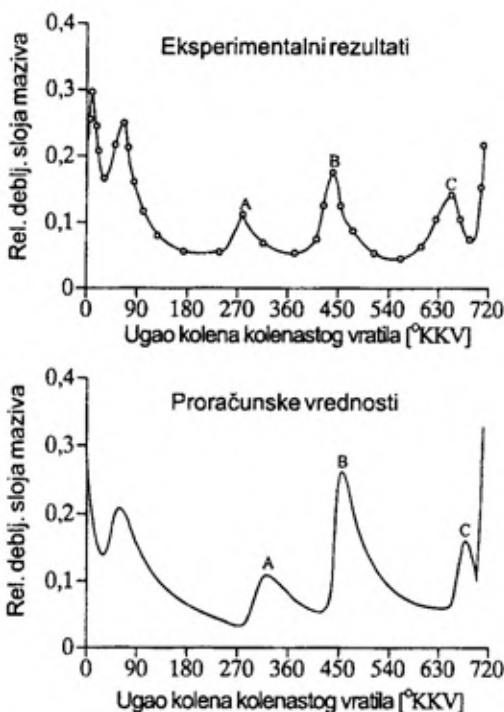
Triboelementi u ovim sistemima i sklopovima obavljaju svoju funkciju pri različitim režimima podmazivanja, što treba da bude osnovno polazište pri daljim tribološkim razmatranjima.

Klizni ležaji kolenastog vratila

Pošto klizni ležaji kolenastog vratila funkcionišu u oblasti hidrodinamičkog podmazivanja, njihov proračun sa tribološkog stanovišta obuhvata određivanje:

debljine uljnog filma, veličine trenja, temperature ulja u ležaju i protoka ulja kroz ležaj. Sloj maziva ima sledeće funkcije: da odvodi toplotu generisanu u ležaju, nosi opterećenje i održava spregnute površine potpuno razdvojene. Otuda i osnovni značaj određivanja debljine uljnog filma.

Međutim, dinamička opterećenja koja trpe ležaji motora SUS pri promenljivom broju obrtaja čine proračun relativno složenim zadatkom. Do hidrodinamičkog trenja može doći u ulaznoj oblasti ležaja, pri čemu dolazi do habanja samo ako nema podmazivanja, kada je moguće kratkotrajno suvo trenje. Danas postoje brojni postupci za procenu debljine uljnog filma, a njihovi rezultati pokazuju relativno dobro slaganje sa eksperimentalnim mere-



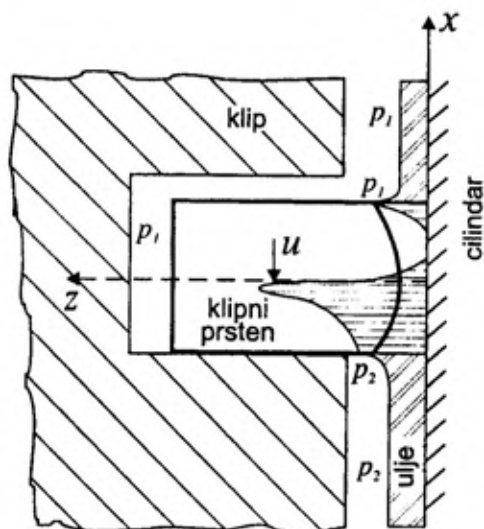
Sl. 1 – Uporedni rezultati relativne debljine uljnog filma kod kliznih ležaja kolenastog vratila

njima (slika 1). To dokazuje da se već danas u fazi konstruisanja može analizirati stanje ležaja sa gledišta podmazivanja i uticaja pojedinih faktora. Temperatura ulja u ležaju i protok ulja međusobno su zavisne veličine. Predviđanje protoka povezano je sa vrednošću pritiska pod kojim se ulje dovodi u ležaj i sa dozvoljenom radnom temperaturom ležaja.

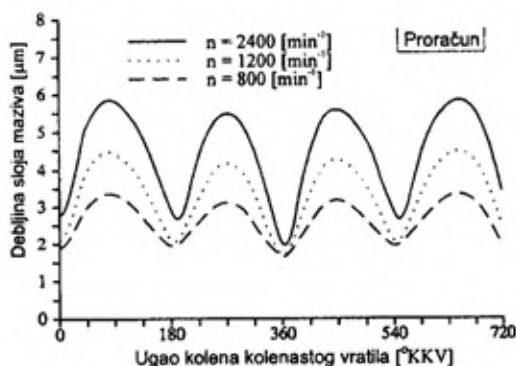
Klipna grupa

Razvoj klipnih prstenova, sa gledišta materijala i konstrukcije, menjao se zajedno sa opštim tendencijama smanjenja mase motora i oscilujućih masa. Zbog toga je uočljivo smanjenje dimenzija, ali i promena oblika radne površine klipnih prstenova. Pri tome se postavljaju zahtevi da se smanji trenje i habanje bez degradacije efikasnosti zaptivanja. Istovremeno, iskazuje se tendencija smanjenja zazora i potrošnje ulja, što rezultira i smanjenjem štetne emisije motora.

Od upotrebljenih materijala dominantna je upotreba sivog liva, ali je sve prisutnije i korišćenje čeličnih prstenova sa odgovarajućim prevlakama, i to posebno kod savremenih motora velikih snaga. Gubici usled trenja kod klipno-cilindarske grupe neminovno su povezani sa uslovima podmazivanja klipnog prstena i cilindra. Kako klipni prsten može da radi u oblasti potpunog i nepotpunog podmazivanja, matematički modeli za proračun vezani su za hidrodinamičko i granično podmazivanje. Teorijska analiza hidrodinamičkog podmazivanja klipnih prstenova znači primenu Reynoldsove jednačine, sa analizom pritiska u sloju maziva (slika 2) i proračunom debljine sloja maziva (slika 3).



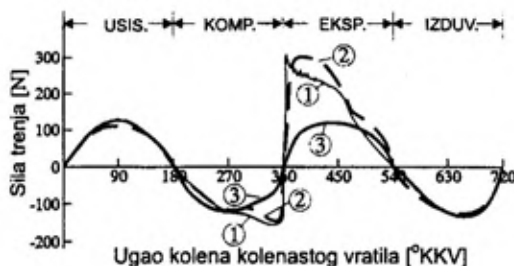
Sl. 2 – Geometrija klipnog prstena i pritisak u uljnom filmu



Sl. 3 – Promena debljine uljnog filma ispod klipnog prstena

Smanjenje trenja klipne grupe odlučujuće je za povećanje mehaničkog stepena korisnosti motora, pa su istraživanja u toj oblasti vrlo intenzivna. Posebno treba ukazati na rezultate matematičkog modeliranja trenja, koji pokazuju dobro slaganje sa eksperimentalnim istraživanjima (slika 4). To omogućava da se u fazi projektovanja motora oceni vrednost trenja i mehaničkih gubitaka.

1. Furuhamu: eksperimentalni rezultati (puno opt.)
2. Hoši: računski rezultati (puno opt.)
3. Hoši: računski rezultati (bez opt.)



Sl. 4 – Sila trenja klipnog prstena

Hidrodinamički podmazujući uljni film između klipa i cilindra narušava se usled naizmeničnog kretanja klipa [2], koje uključuje i zaustavljanje u mrtvim tačkama, što dovodi do stvaranja uslova graničnog podmazivanja, posebno za vreme razrade motora. Mada legura aluminijuma i silicijuma u klipnoj grupi ima dobre osobine, primena dodatnih prevlaka na površini pruža još značajnije prednosti za vreme razrade. Koriste se tanke prevlake od metala ili grafita, a odgovarajuće radne osobine dobijaju se upotrebom olova i kalaja. Ove prevlake nanose se jonskom razmenom sa površinom aluminijuma (bez električne struje) uz pomoć rastvora olova i kalaja. Pošto su oba metala plemenitija (u elektromehaničkoj seriji) od aluminijuma, oni se deponuju na površini. Aluminijum se rastvara dok se formira zatvoreni sloj olova ili kalaja na površini. Na račun njihovih prednosti pri radu u lošim uslovima, široku primenu u oto motorima imaju prevlake od ovih metala, čija debljina iznosi svega 1 do 2 nm [2].

Firma Mahle koristi prevlaku od *grafala*, koja se sastoji od finog koloidnog grafita koji se povezuje fenolnom smolom. Sloj je deo približno 10 do 20

nm, a nanosi se prskanjem i zaštitnim otiskivanjem, posle čega sledi pečenje. Poboljšanje adhezionih karakteristika može da se postigne pomoću tankog metalno-fosfatnog sloja (vezujući sloj) koji se primenjuje pre nanošenja prevlake. Zbog svoje kompatibilnosti sa uljem i dobrih osobina rada u uslovima lošeg podmazivanja, ova prevlaka se koristi preko cele površine, posebno kod dužih klipova. Osim kod većih motora, ova prevlaka se u velikoj meri primenjuje i kod automobilskih oto i dizel motora [2].

Kod najnovijih konstrukcija velikih brodskih motora primenjuje se poboljšano podmazivanje klipnih prstenova i cilindarske košuljice, doziranjem dovoda ulja kroz otvore u cilindarskoj košuljici, na rastojanju oko 20% hoda klipa od spoljne mrtve tačke [3]. Takođe, primenjuje se i elektronski sistem kontrole podmazivanja cilindra, koji ima za cilj kontrolu količine ulja koja se doprema u zonu klipnih prstenova, u zavisnosti od broja obrtaja i opterećenja motora, u svim režimima, uključujući i prelazne. Takav sistem dopunjen je uređajem za automatsko okretanje motora pri njegovom puštanju u rad, što znatno povećava ne samo pouzdanost nego i ekonomičnost motora. Potrošnja ulja je veoma značajna stavka kod brodskih motora. Ona se sada kreće od 1,02 g/kWh do 1,9 g/kWh, a u bliskoj budućnosti predviđa se 0,68 g/kWh do 0,95 g/kWh [3].

Sistem razvoda

Za sve sisteme razvoda karakteristično je da na površinama u dodiru i relativnom kretanju vladaju visoka specifična opterećenja, što znači da za njih va-

že Hercovi uslovi dodira. Elastično-hidrodinamička teorija podmazivanja osnov je za rešavanje takvih triboloških problema. Međutim, zavisno od geometrije i brzine kretanja delova, kao i od osobina ulja, obim ostvarene vrste podmazivanja realno se kreće od graničnog do elasto-hidrodinamičkog podmazivanja. U kontaktnoj oblasti između brega i pogona ventila, usled velikog površinskog pritiska i nepovoljne geometrije, mora se računati sa velikim udelom mešovitog trenja.

Sistem za podmazivanje

Podmazivanje vitalnih delova i mehanizama motora uključuje i razmatranje sistema pomoću kojeg se proces podmazivanja ostvaruje. U prošlosti su sistemi za podmazivanje, po pravilu, bili predimenzionirani kako bi se osigurala potrebna količina ulja i u ekstremnim slučajevima (npr. pri velikom zazoru koji nastaje usled habanja ležaja ili da se omogući adekvatno podmazivanje ako se iz osnovnog modela motora proizvode varijante većih snaga). Međutim, danas kada su svi naponi usmereni na povećanje ekonomičnosti motora, takav pristup nije adekvatan. Rešenja se traže kroz optimizaciju svih elemenata sistema za podmazivanje, simulacijom sistema tokom projektovanja motora. Optimizacija sistema za podmazivanje vrši se sa tendencijom integracije sistema za podmazivanje i hlađenje.

Sistem podmazivanja može se nazvati „krvotokom“ motora, jer gubici ulja, ili nedovoljno snabdevanje uljem kritičnih komponenata, može dovesti do havarije motora. Za kvalitet podmazivanja naročito su bitni:

- kontakti pritisak (ili napon opterećenja u kontaktu). Kod jednokrake klackalice, koja naleže na breg, kontakti pritisak zavisi od geometrije sistema razvoda i sile ventilskih opruga. U linijskom kontaktu prstena, kontaktno opterećenje definisano je pomoću kombinacije pritiska gasa, konstrukcijom (oblikom) prstena i deformacijom cilindarske košuljice, i teško ih je odrediti sa većom tačnošću;

- kontaktna temperatura. U glavnim ležajevima to je temperatura motorskog kućišta (gornjeg) i uticaj toplote zbog smicanja (klizanja). U jednokrakoj klackalici i u linijskom kontaktu prstena okolna temperatura može da se meri, ali postoji jaka dodatna komponenta usled stvaranja toplote u procesu klizanja, dok najveći uticaj ima proces sagorevanja. Najveći gradijent pruža se prema donjem delu klipa. Postoje merenja ovih temperatura pomoću infracrvenih sonde na strani cilindra, a od ovakvog metoda puno se očekuje u budućnosti.

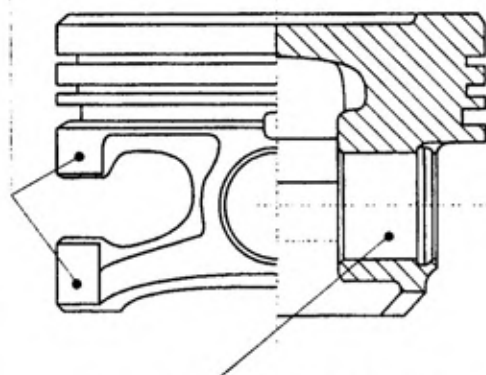
Formulacija maziva veoma je bitna za rešavanje triboloških problema. Međutim, ona je vrlo složena, jer postoji niz oprečnih zahteva koji se moraju ispuniti. Mazivo mora da ima oksidacionu stabilnost, karakteristike protiv penjanja, deterdžentnost, otpornost na kidanje uljnog filma, ograničenja u viskozitetu, dobre karakteristike u širokom temperaturnom opsegu, protivhabajuće osobine i osobine protiv „skafinga“ [4]. Iz istog kućišta motora vrši se, radi podmazivanja, snabdevanje uljem mehanizama koji imaju u tom pogledu različite zahteve (klipnih prstenova, cilindarske košuljice, klackalica ventila, ležaja kolenastog vratila, bregastog vratila i osovinice klipa). U takvim

uslovima ne samo da su različiti materijali u kontaktu, nego ulje funkcioniše i u širokom dijapazonu temperatura i opterećenja. U glavnim ležajima ulje radi na temperaturi kućišta koja može da varira od vrednosti ispod nule (temperatura okoline), do radne temperature od 80°C do 120°C. Isto ulje je na pojedinim mestima izloženo temperaturi od 300°C do 360°C (gornji prsten u spoljnoj mrtvoj tački – u fazi sagorevanja), a tu se meša i sa produktima sagorevanja. Motori SUS u seriji i razvoju do devedesetih godina prošlog veka doveli su tehnologiju maziva do gornje granice. Uvođenje bregastog vratila na glavi motora, povezano sa kućištima od aluminijuma i poboljšanjem konstrukcije komore sagorevanja, doveli su do velikog smanjenja mase i boljeg stepena korisnosti procesa sagorevanja. Ova poboljšanja zahtevala su i razvoj maziva koje će moći da prati ekstremne radne uslove.

Konstrukcija sklopova motora mnogo utiče na tribološke karakteristike, jer je uspešno trenje (na primer klackalice ventila ili klizni ležaji bregastog vratila) povezano sa kombinacijom dobrih materijala, dobrog procesa finalne obrade površina i kvalitetnog ulja. Smanjenje mase dovelo je do izmena u funkciji klipa, smanjenja dimenzija pojedinih regiona na klipu, prečnika osovinice klipa, kompresione visine kao i promene oblika plašta (slika 5). Međutim, ove promene izazvale su kreking na čelu klipa, žlebu za prsten i zidu komore za sagorevanje. Na tim mestima su velika toplotna i mehanička naprezanja, usled čega dolazi do slabljenja materijala. Visok položaj prvog kompresionog prstena, ili mala debljina zida komore za sagorevanje, povećavaju promene

usled krekinga ulja. Ove karakteristike klipa imaju i mnoge koristi, uključujući povećan termodinamički stepen sagorevanja (smanjenu potrošnju goriva), kao i smanjenu emisiju (izduv i buku).

PLAŠT JE ZAMENJEN SA 2 POJASA
MALE MASE ZA VOĐENJE
čime je smanjena kontaktna površina
i poboljšana hidrodinamika



SMANJENA OSOVINICA I OTVOR
čime je smanjena kontaktna površina

Sl. 5 – Klip sa smanjenom kontaktnom površinom
plašta koja smanjuje trenje i masu klipa

Primenjeni materijali takode imaju veliki uticaj na tribološke karakteristike. Danas se, uglavnom, koriste cilindarske košuljice od sivog liva. Koristi zbog smanjenja mase i izbegavanja dve proizvodnje koje treba radno objединiti (sivi liv+Al) jasne su. Silicijumska legura aluminijuma ima prihvatljivu otpornost na dugotrajan rad prstena (kontakt klipa i prstena) i duži vek upotrebe od sivog liva. Ipak, livena aluminijumska legura još uvek nema mikrostrukturu koja može da pruži dobre karakteristike otpornosti na habanje [4].

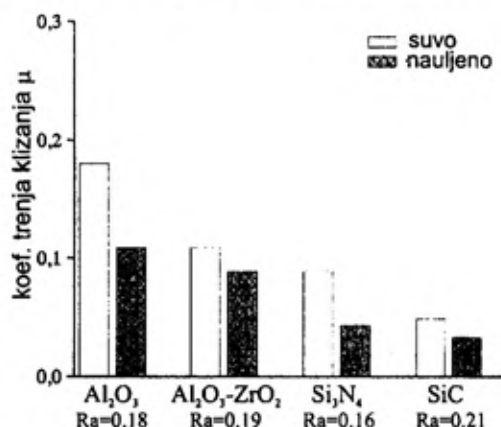
Treba istaći da se u konstrukciji motora SUS sve češće primenjuju delovi od keramike ili delovi sa keramičkim pre-

vlakama (oblogama), zbog visoke toplotne otpornosti, kao i zbog malog trenja i habanja. Habanje utiče na vek upotrebe i intervale remonta, pri čemu treba posebno obratiti pažnju na elemente cilindra (klizne površine), sedišta ventila i vodice ventila, poluge podizača (klackalice), podizače ventila, bregasto vratilo, klizne prstenove u pumpi za vodu i ležaje. Velika krtost i tvrdoća keramičkih površina ne moraju istovremeno da znače i optimum u odnosima trenja i habanja.

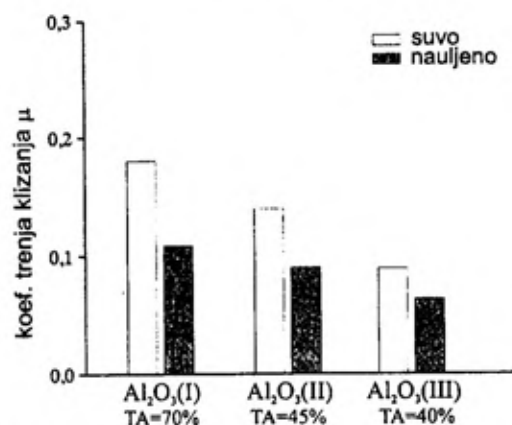
U [5] su dati koeficijenti trenja klizanja koji su izračunati pri suvom trenju i pri podmazivanju uljnim kapima. Pri oba radna uslova, kako je predstavljeno na slici 6, menjani su materijali ispitnog uzorka u obliku valjka: Al_2O_3 , $Al_2O_3-ZrO_2$, Si_3N_4 i SiC . Najmanje vrednosti koeficijenta trenja pokazao je uzorak od SiC ($\mu=0,05$ za suvo trenje i $\mu=0,035$ za trenje u prisustvu ulja).

7). Ove relacije često opovrgavaju pogrešnu pretpostavku, da „veoma glatka“ površina znači i malo trenje.

Trokomponentna keramika (PSZ , Al_2O_3-TiC , Si_3N_4) koristi se kao prevlaka na klackalicama u sistemu razvoda. Serijsko izvođenje ovih elemenata motora

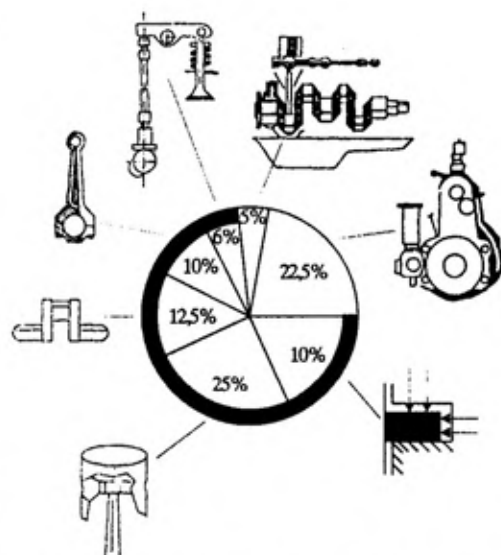


Sl. 7 – Trenje klizanja u zavisnosti od uslova na kliznim površinama (hrapavost R_a je obrnuto proporcionalna veličini noseće površine ležaja T_A)



Sl. 6 – Trenje klizanja u zavisnosti od materijala keramika – keramika

Parovi sa najmanjom veličinom noseće površine (ali sa najvećom hrapavošću), imaju najmanji koeficijent trenja klizanja i to $\mu=0,09$ pri suvom i oko $\mu=0,07$ pri trenju u prisustvu ulja (slika



Sl. 8 – Raspodela gubitaka trenja u motoru

biće uspešno samo ako napreduje tehnika spajanja keramičkih oblika i osnovnog tela u serijskim uslovima primene.

Na slici 8 prikazana je distribucija mehaničkih gubitaka po komponentama. Postoje mogućnosti smanjenja trenja upotrebom kvalitetnijeg ulja, boljim snabdevanjem motora uljem i korišćenjem kvalitetnijih materijala. Ti sklopovi su na dijagramu posebno označeni. Sa stanovišta habanja dve su oblasti najkritičnije – kontakt prstena i cilindarske košuljice i kontakt klackalice sa bregastim vratilom.

Poboljšanja materijala od kojih su izvođeni elementi motora i odgovarajuća maziva, imaju važnu ulogu u konstrukciji motora devedesetih godina prošlog veka. Način tribološkog konstruisanja u sistemima motora je esencijalan za očuvanje njihove trajnosti i korisnosti u toku rada. Zbog toga ova poboljšanja treba da budu definisana još u fazi konstruisanja, kao što su: optimalna metalurgija i finiširanje tarnih parova, prikladan izbor maziva i aditiva za očekivane radne uslove i sistem podmazivanja koji će obezbediti pristup ulja na sva mesta gde je neophodno podmazivanje osetljivih delova.

Zaključak

Zbog značaja i uticaja tribologije na ekonomičnost rada motora od posebnog je interesa predviđanje triboloških karakteristika motora još u fazi projektovanja i konstruisanja. Rešenja koja se danas nude uglavnom se odnose na poboljšanje triboloških karakteristika materijala, pre svega primenom raznih modifikacija površina i prevlaka [6]. Osim toga, neophodan je i razvoj analitičkih modela za što tačnije predviđanje triboloških karakteristika pokretnih delova motora u toku samog projektovanja. Pored toga, neophodan je i dalji rad na razvoju motornih ulja visokog učinka, kao i na optimizaciji sistema za podmazivanje.

Literatura:

- [1] Rac, A.: Tribologija motora SUS – stanje i tendencije, Tribologija u industriji, dec. 1994, str. 119–125.
- [2] Röhrle, D. M.: Pistons for Internal Combustion Engines – Fundamentals of Piston Technology, MAHLE GmbH, 1993, str. 28–29; 66–67.
- [3] Ведерников, Д. Н.; Шляхтов, В. А.: Решение трибологических проблем двигателей внутреннего сгорания: современная практика изготовителей и перспективы (по материалам зарубежной печати), Трение и износ, том 15, №1, январь – февраль, 1994, стр. 138–147.
- [4] Alliston, P.: (Plint and Partners Ltd, Workingham, Berks), Tribology in engine development – The role of test methods and procedures, Fuel and lubricants, str. 221–225.
- [5] Droscha, H.: Reiving und Verschleiß bei Keramik im Motorenbau, MTZ 7–8/1987, str. 278–280.
- [6] Gradin, B. Z.: Analiza mehaničkih gubitaka dizel motora sa direktnim ubrizgavanjem, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

XVIII naučno-stručni skup *INFOTECH 2003* održan je od 26. do 30. maja 2003. godine u Vrnjačkoj Banji. Skup je otvorio Slobodan Milosavljević, ministar trgovine, turizma i usluga u Vladi Republike Srbije.

Većim delom ovogodišnjeg skupa *INFOTECH* dominirale su teme iz oblasti elektronske trgovine, bezgotovinskog plaćanja i fiskalnih kasa. Pažnju učesnika privukao je rad pod naslovom „Uloga Narodne Banke Srbije – Zavoda za izradu novčanica i kovanog novca – Topčider, na planu personalizacije platnih kartica i drugih usluga koje u toj oblasti Zavod može da ponudi“. Od inostranih firmi pažnju je privukla prezentacija švajcarske kompanije Trüb, koja je lider na polju platnih kartica i elektronskih identifikacionih dokumenata, i pokriva 95% švajcarskog tržišta.

Proizvođač opreme HP najavio je novi asortiman prenosnih računara sa poboljšanim karakteristikama. Među njima je i tzv. Centrino tehnologija koja koristi Intelove sklopove (centralni procesor, skup sistemskih čipova i mrežni adapter). Kod većine modela biće ugrađeni procesori nešto nižeg radnog takta nego dosadašnji. Međutim, „keš“ na procesoru je povećan sa ranijih 256 kB na 1 MB, što bi

trebalo značajno da ubrza rad, uz smanjenje potrošnje energije i, samim tim, veću autonomiju funkcionisanja. Jedna od karakteristika novih prenosnih računara je delimično ili potpuno odbacivanje serijskih i paralelnih priključaka kao i floppy disk jedinice, što je u skladu sa razvojem tehnologije i primenom novih medijuma. Rezultat je ušteda u prostoru, pa se debljina računara smanjuje na 2,5 cm, a masa uređaja se kreće u rasponu od 1,5 do 3 kg. Pored toga, u standardnu opremu novih modela biće uključena i integrisana mrežna komponenta propusne moći od 1 GB.

Dr Milan Marković iz Instituta za matematiku u Beogradu, održao je predavanje po pozivu na temu „Savremeni sistemi zaštite računarskih mreža – svetski trendovi i domaća iskustva“. Iz njegovog izlaganja stiče se utisak da smo u primeni savremenih rešenja u oblasti zaštite među vodećim zemljama, iako se to možda na prvi pogled ne bi reklo.

Od tematskih oblasti autorskih radova, bile su zastupljene sledeće: IS državnih organa i javne uprave, Zaštita u informacionim sistemima, Geodemografski informacioni sistemi, E-poslovanje, M-poslovanje, POS aplikacije, Napredne softverske arhitekture, Učenje na daljinu, Upravljački informacioni sistemi, Plani-

ranje, razvoj i održavanje IS, IST i digitalna ekonomija, Multimediji, Učenje uz pomoć računara, ICT primene u javnim preduzećima, Dokumentacioni informacioni sistemi, itd.

U radu pod nazivom „Savremena rešenja nacionalnih ID dokumenata“, predstavnici MUP-a Srbije su predstavili svoje planove na primeni savremenih rešenja ličnih karata u kojima će se naći brojne tehnološke novine, među kojima su: otisak prsta, fotografija lica (analogna i digitalizovana), zatim razni drugi kodovi i dopunske oznake, širok dijapazon zaštitnih mera koje onemogućavaju falsifikovanje isprave, itd.

U tematskim grupama Računarske mreže i telekomunikacije i Pravni aspekti ICT primene, radovi Miroslava Škorića razjasnili su neke aktuelne probleme koji usporavaju razvoj savremenih telekomunikacija u oblasti radio-amaterizma.

Telekom Srbija, PTT i EPS su predstavili nove obrasce računa za naplatu svojih usluga, za koje je već počela primena ili se očekuje u najskorijem periodu. Većina javnih preduzeća je konstatovala problem na relacijama: građani/firme – poslovne banke – javna preduzeća, gde se zapažaju brojne greške i propusti u vezi sa plaćanjem telefonskih računa, troškova električne energije i sl. Rečeno je da javna preduzeća pokušavaju da usvoje nove forme računa koje uključuju savremene informatičke tehnologije, kao što je to OCR i dr. Pošto neke poslovne banke još nisu prihvatile verzije ponuđenih računa, dolazi do ručnog prepisivanja podataka (sa originalnih računa na bankarska sredstva plaćanja), pa se tom prilikom neke rubrike popunjavaju na neod-

govarajući način (model, poziv na broj, itd.). Tada dolazi do neispravnih uplata od strane potrošača što dovodi do knjigovodstvenog neslaganja u javnim preduzećima koja nisu u mogućnosti da izvrše razduženje potrošača, što dovodi do zateznih kamata, itd. Najavljuju se objedinjeni naponi javnih preduzeća u pravcu unifikacije obrazaca računa za različite komunalne troškove što bi, u slučaju usvajanja na „državnom“ nivou, dovelo do jednostavnijeg plaćanja na šalterima svih pošta i poslovnih banaka.

Predstavnik firme ICTT predložio je rešenje pod nazivom „Reinženjering mreže korišćenjem tankih klijenata“. Reč je o primeni tzv. „diskless“ računara starije generacije, tj. računara u kojima su kapacitet i brzina hard diska „usko grlo“. Predložena je nadogradnja takvih računara tako da se iz njih ukloni hard disk jedinica i umesto nje ugradi mrežna karta koja sadrži „boot“ EPROM koji je programiran „tankim klijentom“, tj. jezgrom Linux-a. Nakon uključjenja računara, EPROM bi davao nalog da se radna stanica putem lokalne računarske mreže poveže na mrežni server sa kojeg bi preuzela sistemске programe. Predloženi metod doprinosi znatnim uštedama putem reafirmisanja zastarele i odbačene računarske opreme. Ukoliko se kao mrežni serveri postave grupe Windows i Linux računara, tada se otvara mogućnost da se grafički interfejsi oba operativna sistema, uključujući i rad aplikativnih programa, „virtuelno“ koriste i na računarima starije generacije (na kojima, usled nedovoljnih kapaciteta zastarele opreme, instalacija pomenutih operativnih sistema i korisničkih programa ne bi bila moguća).

Održan je i okrugli sto u organizaciji Privredne komore Srbije, pod nazivom „Standardizacija i sertifikacija obrazovanja i obuke u ICT“, pod predsedavanjem profesora dr Dušana Starčevića (FON, Beograd). Tom prilikom mogla su se čuti neka britanska iskustva u oblasti obrazovanja, koja polaze od pretpostavke da više nije dovoljno da informatički stručnjak poseduje tehnička ili druga znanja iz svoje uže stručne oblasti, nego su uvede-

ne i discipline kao što su kontakti sa javnošću, veština upravljanja i menadžmenta u računarsko-informatičkim poslovima, multidisciplinarna teorijska i praktična znanja, itd. Visokoškolske diplome neće se više dobijati sa trajnim (neograničenim, doživotnim) rokom trajanja, već će se nakon određenog broja godina obavljati ponovna evaluacija znanja nosioca diplome, što nalaže proces permanentnog obrazovanja do kraja radne karijere.

VOJNI POSLOVI JUGOSLAVIJE I SVET DVADESETOG VEKA

– prikaz knjige –

Knjiga „Vojni poslovi Jugoslavije i svet dvadesetog veka“, autora mr Jovana Matovića, u izdanju TETRA GM iz Beograda, izašla je iz štampe aprila ove godine.

U ovom delu autor govori o poslovnim aranžmanima jugoslovenskih državnih i vojnih institucija, preduzećima vojne industrije i vojnih ustanova specijalizovanih za proizvodnju i pružanje usluga u oblasti istraživanja, razvoja, proizvodnje i prometa naoružanja i vojne opreme, vojnog inženjeringa i drugih delatnosti (investicionih radova, remonta, školovanja i sl.). U strukturi sadržaja knjige centralno mesto zauzima specijalizovana ustanova za spoljnotrgovinske poslove „Savezna direkcija za promet i rezerve proizvoda sa posebnom namenom“ (SDPR), koja je kasnije preimenovana u „Jugoimport SDPR“.

Knjiga je napisana, kako i sam autor ističe, na osnovu beleški sačinjenih tokom putovanja po brojnim zemljama i nakon vođenja poslovnih razgovora sa vodećim ličnostima iz kompanija koje proizvode naoružanje i vojnu opremu, sa kupcima oružja, kao i predstavnicima ministarstava odbrane i generalštabova zemalja zainteresovanih za ovakvu vrstu poslova.

Sadržaj knjige sistematizovan je u jedanaest poglavlja iz kojih se može, po-

red ostalog, saznati i na koji način su vođeni veoma respektabilni projekti, kao što su: proizvodnja podzvučnog lovca bombardera ORAO, tenka M-84A, višecernog samohodnog raketnog sistema ORKAN, kao i izgradnja tri vazduhoplovne baze i baze KoV u Iraku.

Autor je nastojao da čitaocu približe upozna sa ljudima koji se bave ovom specifičnom vrstom delatnosti, načinom obavljanja tih poslova, kao i ambijentima u kojima su vođeni pregovori i sklapani poslovni aranžmani. Na efektan način opisan je „bazarni svet“, kroz koji se kreću ugledni državnici, ministri, generali, poznati poslovni magnati, ali i vešti trgovci i razni špekulanti. Autor je na zanimljiv način opisao zemlje, krajeve, gradove i znamenita mesta na kojima je boravio u okviru svojih poslovnih putovanja, unoseći pri tome notu ličnog opažanja i doživljavanja.

Nedvosmisleno, može se zaključiti da se razvoj i proizvodnja oružja u svetu nastavlja ubrzanim tempom, u sve većem obimu i uz sve veća finansijska ulaganja. Proizvodnjom naoružanja i vojne opreme, kao osnovnom delatnošću, u svetu se bavi preko 85 000 kompanija i još oko 250 000 firmi koje se u toj proizvodnji angažuju kao kooperanti ili isporučioци specijalnih sirovina i polufabrikata. U

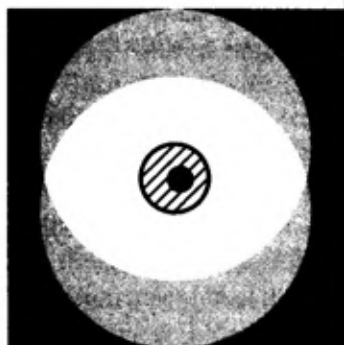
tom specifičnom proizvodnom procesu angažovano je oko sto miliona radnika. Istraživanjem i razvojem novih oružja u svetu bavi se nekoliko hiljada instituta sa desetinama hiljada zaposlenih inženjera i vrhunskih naučnika.

U knjizi su detaljno prikazani i podaci o proizvodnji ogromnog arsenala naoružanja koji se neprestano uvećava uz poboljšanje razorne moći. Sa puno detalja i na zanimljiv način opisana je poslovna saradnja u oblasti vojnih poslova sa zemljama Severne i Južne Amerike (Kanadom, SAD, Brazilom), istočne Evrope (Rumunijom, Bugarskom, Mađarskom, Čehoslovačkom, Poljskom i SSSR), srednjeg Istoka (Irakom, Kuvajtom, Ujedinjenim Arapskim Emiratima,

Jordanom, Sirijom), Afrike (Egiptom, Libijom, Alžirom, Etiopijom) i zapadne Evrope (Francuskom, Italijom, Švajcarskom, Grčkom, Švedskom).

Prezentovani sadržaj knjige upućuje na zaključak da je savremeno naoružanje u svetu imperativ koji nema alternative, da su pregovori i konferencije o razoružanju u ozbiljnoj stagnaciji, pa i blokadi, i da su procesima razoružanja potrebni novi impulsi, prilazi i efikasniji metodi.

Knjiga „Vojni poslovi Jugoslavije i svet dvadesetog veka“ mr Jovana Matovića predstavlja solidnu osnovu za razumevanje opisane problematike, i može korisno poslužiti u današnjim uslovima, kada predstoji reforma i u oblasti vojno-industrijskog kompleksa naše zemlje.



prikazi iz inostranih časopisa

SAVREMENA SAMOHODNA ARTILJERIJA*

Slično mnogim drugim elementima za borbu na kopnu, i samohodna artiljerija je pretrpela značajne promene u vremenu nakon završetka hladnog rata.

Najveći broj zemalja NATO i bivšeg VU smanjio je svoje zalihe za sve tipove artiljerijskih sistema. Na primer, Velika Britanija razvija samo jedan samohodni sistem – 155 mm AS90 – koji se koristi uporedo sa višecevnim lansirnim raketnim sistemom (VLRs) 227 mm, a SAD razvija samohodno oruđe 155 mm M109A6 Paladin i, takođe, VLRs.

Iako vazduhoplovne snage, sa povećanjem broja precizno vođene municije, imaju važnu ulogu u podršci borbe, potreba za samohodnom artiljerijom ipak ostaje. Takođe, smatra se da je zemaljska artiljerija zaostala u razvoju u odnosu na sisteme za precizno vođenu municiju.

U mnogim zemljama veliki deo ulaganja u artiljeriju odnosi se na sisteme za obaveštavanje, osmatranje, zahvat cilja i izviđanje, kao i savremenu municiju. Municija podrazumeva ne samo projektele, već i punjenja i upaljače.

Pored upotrebe konvencionalnih eksplozivnih, dimnih i osvetljavajućih projektila, artiljerijski sistemi danas mogu ispaljivati brojnu savremeniju municiju. Tu spadaju projektili koji sadrže bombice koje su veoma efikasne protiv oklopnih vozila i jedinica, zatim brojni „pametni“ projektili za dejstvo iz gornje polusfere, kao što su nemačka SMART municija 155 mm i francusko-švedska Bonus.

Pre mnogo godina armija SAD je uvela u upotrebu topovsko-lansirni vođeni projektil Coperhead, a Rusija je razvila kompletnu familiju laserski vođenih artiljerijskih projektila 122 mm i 152 mm koji se i danas izvoze.

Domet artiljerije može da se poveća na više načina, a najprihvaćenija opcija je produžavanje cevi na 155 mm/52-kalibra, ali i nova pojačana municija.

Dok je domet veoma značajan za postavljanje artiljerijskih platformi izvan domašaja baterijske vatre, danas se preciznost smatra još značajnijom nego ranije.

U mnogim zemljama od artiljerije se zahteva sposobnost izvođenja vrlo preciznih (tzv. hirurških) napada, u odnosu na zasipanje ciljeva velikim količinama projektila. Ipak, masovnost artiljerijske vatre egzistira u značajnoj meri, i u

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

mnogim zemljama biće dominantna u nameni artiljerije još za dogledno vreme.

Uvođenje novih tipova projektila smanjiće broj potrebnih zrna za neutralisanje ciljeva, što će se odraziti i na logističku podršku.

Punjenja u vrećicama danas su osnovni načini za stvaranje modularnih sistema punjenja. Ona su lakša za rukovanje i veoma su pogodna za automatizovane municijske sisteme. Mnoge zemlje nabavile su najnovije artiljerijske projekte 155 mm, ali za mnoge druge oni su još uvek nedostupni. U isto vreme, malo je zemalja koje mogu projektovati, razvijati i proizvoditi nove tipove artiljerijske municije.

U najvećem broju zemalja prednost se daje guseničnoj samohodnoj artiljeriji, ali postoji i trend razvoja i uvođenja u upotrebu samohodnih artiljerijskih sistema točkaša. Upoređujući ih sa guseničarima, sistemi samohodnih artiljerijskih oruđa točkaša nude brojne prednosti, posebno u strategijskoj pokretljivosti, a i niža im je nabavna i operativna cena. Za prevoz na veća rastojanja guseničnoj artiljeriji potrebni su vučni vozovi, dok se točkaši mogu brzo premeštati sopstvenim pogonom.

Dok pojedine zemlje kupuju nove sisteme, druge nemaju takvih mogućnosti, pa je porasla potreba za modernizacijom (poboljšanjem) postojećih sistema samohodne artiljerije.

Tipična modernizacija samohodne artiljerije uključuje ugradnju duže cevi radi povećanja dometa, poboljšani sistem za popunu municijom, osavremenjavanje sistema za upravljanje vatrom i pozicioniranje. Nabavka nove municije sa većim dometom i ubojnošću takođe je aktuelna.

Najnoviji američki samohodni artiljerijski sistem 155 mm M109A6 Paladin je, u stvari, nastao modernizacijom. Originalni projekat tog oruđa M109 datira još iz 1952. godine. Turska je nedavno kompletno modernizovala svoje sisteme M52 (105 mm) i M44 (155 mm) koji su proizvedeni još pedesetih godina.

Zemlje NATO već duže vreme razvijaju samohodne artiljerijske sisteme, uključujući kalibre 105 mm, 155 mm, 175 mm i 203 mm. Danas je 155 mm osnovni kalibar, mada i ostali ostaju u upotrebi u mnogim delovima sveta. Realno gledano, sva ulaganja u artiljerijsku municiju danas se odnose na kalibar 155 mm.

Bivše zemlje Varšavskog ugovora i Kina razvijale su brojne kalibre za artiljeriju, ali najčešće su bili 122 mm i 152 mm. Slovačka Republika prva je zemlja bivšeg Varšavskog ugovora koja se preorijentisala na kalibar 155 mm, dok Kina izvozi kalibre 155 mm već više godina. Rusija, takođe, razvija verziju poznatog samohodnog sistema 152 mm 2S19 (MSTA-S) sa cevi 155 mm/52-kalibra, koji je namenjen uglavnom za izvoz. Takođe, porastao je interes i za samohodne minobacače 120 mm. Tradicionalno ovi minobacači su bili pod operativnom komandom pešadije, ali neke zemlje su ih prebacile u artiljerijsko naoružanje, zbog većeg dometa i ciljeva koje ostvaruju.

Najveći proizvođači samohodnih artiljerijskih sistema

Kineska korporacija NORINCO proizvodi i samohodne artiljerijske sisteme, uglavnom 155 i 122 mm.

Oruđe 155 mm/45-kalibra PLZ 45 razvijeno je kasnih osamdesetih godina.

Kuvajt je bio prvi kupac ovog sistema koji se sastojao od 27 samohodnih oruđa, sredstava za popunu odgovarajućom municijom i uređenje komandnog mesta kao i komandnih vozila. Sledećih 27 još savremenijih ovih sistema biće takođe isporučeno Kuvajtu.

Korporacija NORINCO je nedavno razvila i prototip samohodnog artiljerijskog sistema 155 mm/45-kalibra konfiguracije 6×6, sličan francuskom oruđu CAESAR.

Proteklih godina Kina je počela da pridaje veću pažnju oklopnim borbenim vozilima točkašima konfiguracije 8×8 za samohodna artiljerijska oruđa 122 mm, koja se montiraju u kupolu. Takođe, razvijeni su i brojni gusenični samohodni artiljerijski sistemi 122 mm. Najnoviji je Tip 89 sa maksimalnim dometom 21 km, sa projektilom ERFB-BB (Extended-range full-bore-base-bleed).

Standardni samohodni artiljerijski sistem francuske vojske već duže vreme je 155 mm GCT, izrađen na bazi modifikovane šasije tenka AMX-30. Ukupno je proizvedeno 273 ovih sistema za potrebe francuske armije, a izvoz je ostvaren u Irak (86), Kuvajt (18) i Saudijsku Arabiju (63).

Sa firmom Giat Industries, koja je proizvođač ovih sistema, sklopljen je ugovor o modernizaciji 173 sistema GCT do sada isporučenih francuskoj armiji. Preostalih 100 sistema zadržaće sadašnju cev 155 mm/40-kalibra, biće opremljeni sistemom Atlas a šasija i kupola će biti modernizovane. Za ove sisteme razvijen je i novi modularni sistem punjenja, koji je u Indiji testiran na šasiji tenka T-72.

Giat Industries razvila je samohodni artiljerijski sistem CAESAR 155 mm/52-kalibra koji se montira na modifikovanoj

nemačkoj šasiji Unimag 6×6. Pet ovih sistema nedavno je isporučeno francuskoj armiji. Sistem CAESAR već je demonstriran na Srednjem Istoku i u SAD. On ima izvrsnu strategijsku pokretljivost, jer je transportabilan avionima C-130 Hercules, sa kompletnom posadom i kompletnom municije pripremljene za upotrebu. CAESAR je opremljen kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom i zemaljskim navigacionim sistemom, brzo se može razviti ili povući iz borbenih dejstava, ostvarujući tako visoku održivost na bojnopolju.

Nemačka, Italija i Velika Britanija trebalo je da zamene svoja oruđa M109 novim sistemima nazvanim SP-90, ali se od toga odustalo i sada svaka zemlja traži zasebna rešenja.

Nemačka armija je odabrala Krauss-Maffei Wegmannov sistem PzH2000, kojih treba da joj se isporuči u količini od 185 primeraka. Ovaj sistem poručile su i Grčka (24), Italija (70) i Holandija (57).

Iran je, šireći svoje mogućnosti u proizvodnji naoružanja, razvio i proizvodi dva samohodna artiljerijska sistema: 155 mm Raad-2 i 122 mm Raad-1. Raad-2 je sličan širokorasprostranjenom američkom oruđu M109 i ima cev 155 mm/39-kalibra, kojom se postiže maksimalni domet od 24 km. Njegova borbena masa iznosi 36 t. Standardni model koristi dizel motor V-84MS sa 620 kW, dok Raad-2M pogoni dizel motor 5TDF od 515 kW. Sistem Raad-1 nalazi se na šasiji guseničnog oklopnog transportera sa kupolom i skoro je identičan ruskom samohodnom oruđu 122 mm 2S1, koje je uvedeno u upotrebu još 1972. godine. Sa standardnom municijom 122 mm ovo oruđe ima maksimalni domet od 15,2 km.

Soltam Systems jedini je proizvođač artiljerijskih sistema u Izraelu, dok je Israel Military Industries glavni snabdevač municijom. ATMOS 2000 je njihov najnoviji samohodni artiljerijski sistem razvijen za izvoz. Postavljen je na modificiranoj šasiji vozila Tatra 6×6 na čijem je zadnjem delu montiran artiljerijski sistem 152 mm/52-kalibra, mada mogu da se ugrade i cevi dužine 39 ili 45 kalibara. Kada se postavlja za gađanje, na zadnjem delu platforme spuštaju se dva široka oslonca radi stabilizacije. Sistem ATMOS 2000 opremljen je savremenim sistemom za upravljanje vatrom sa povećanom tačnošću. Kompanija je izradila i dva prototipa guseničnih, avioprenosnih samohodnih artiljerijskih sistema Rascal i Slammer. Sistem Slammer 155 mm/52-kalibra izrađen je na bazi borbenog tenka Merkava, i ima borbeni komplet od 60 pripremljenih zrna i još 15 u rezervi.

Posle više godina odugovlačenja, italijanska armija je krajem 2002. godine potpisala ugovor o kupovini nemačkih samohodnih artiljerijskih sistema 155 mm/52-kalibra PzH2000. Prva dva sistema doćiće sa nemačke proizvodne linije, a firma Oto Melara sklopiće preostalih 68 u svojoj fabrici La Specija.

Firma Oto Melara je, pre više godina, modernizovala 280 oruđa M109, ugrađujući cevi 155 mm/39-kalibra sa vučnih haubica FH-70. Nova oznaka ovog oruđa je M109L. Oto Melara je razvila izvoznju varijantu sistema 155 mm/41-kalibra Palmaria, od kojih je 210 primeraka isporučeno Libiji i izvestan broj Nigeriji. Kompletan kupola sistema Palmaria ugrađuje se i na tenkovsku šasiju, i tada ima oznaku VCA155.

Standardni samohodni artiljerijski sistem armije Republike Koreje jeste

američki 155 mm M109A6, izrađen u koprodukciji sa kompanijom Samsung Techwin. Ta kompanija je nedavno razvila i stavila u proizvodnju sisteme 155 mm/52-kalibra K9 Thunder. Jedna verzija tog sistema namenjena je za Tursku. Sistem K9 Thunder nosi komplet od 48 projektila koji se automatski ubacuju dok se punjenje obavlja ručno. Samsung Techwin razvija i vozilo za popunu municijom na istoj šasiji.

Na osnovu iskustva sa sistemima M109A6, SAD su razvile haubicu sa cevi 155 mm/52-kalibra i drugim poboljšanjima, uključujući integrisani automatizovani sistem za upravljanje vatrom i kompjuterizovanom balistikom.

Američki projekat Crusader, ukoliko bude realizovan, trebalo bi da bude najsavremeniji samohodni artiljerijski sistem na svetu. Za sada sistem M109A6 Paladin i dalje ostaje u upotrebi bez značajnih modifikacija.

Na primeru zemaljske samohodne artiljerije može se videti da mnoge zemlje menjaju strukturu i opremu svojih oružanih snaga kako bi zadovoljile potrebe i zadatke koji ih očekuju u budućnosti. S obzirom na visoku cenu i prisutna ograničenja, teško je sagledati u kojoj meri će to biti i ostvareno.

M. Krbavac

<<<<◇>>>>

BUDUĆI ARTILJERIJSKI SISTEMI ARMIJE SAD*

Sveobuhvatna ispitivanja pokaznog tehnološkog koncepta zemaljske artiljerije budućih američkih borbenih sistema treba da počnu pre kraja ove godine.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 9. april 2003.

Firme United Defense LP i Armament Systems rade na izradi ovog koncepta za top NLOS-C (Non-Line-of-Sight Cannon). Početak stacionarnih ispitivanja očekuje se u septembru, zatim slede vatrene ispitivanja u novembru i testovi izdržljivosti početkom 2004. godine.

U fiskalnoj 2004. godini završiće se razvoj sistema i demonstracija prototipa, uporedo sa nabavkama materijala za fabričku izradu prototipa i ugradnju sistema. Prvi prototipovi treba da se završe u 2005. godini. Jedinice bi trebalo da budu opremljene u 2008. godini, a početne operativne mogućnosti mogle bi se realizovati dve godine kasnije.

Tehnološki demonstrator biće gusenično vozilo opremljeno artiljerijskim oruđem 155 mm/39-kalibara i mehanizmom za elevaciju M777 vučne artiljerije. Imaće maksimalni početni režim vatre od 6 zrna/min, a cilj je da se dostigne 10 zrna u minutu. Uz to, top NLOS-C treba da ima mogućnosti da izvršava višestruke kružne istovremene udare i neposredne vatrene zadatke. Radi povećanja preciznosti predviđen je i sistem za praćenje projektila pri dejstvu.

Ovo vozilo pogoniće dizel motor, kao deo hibridnog elektromotornog sistema, a pogonski točkovi nalaziće se na prednjem delu vozila. Gusenice će biti gumirane, imaće manju masu i stvaraće manju buku pri vožnji.

Vozilo će nositi ukupno 30 artiljerijskih projektila 155 mm sa 102 modularna punjenja. Kada se koristi sistem 155 mm/39-kalibara istovremeno se može koristiti maksimalno pet punjenja. Radi smanjenja ukupne mase pri transportu vazduhoplovima, može se nositi i manje

municije. Za takav vid transporta sistema NLOS-C predviđaju se avioni C-130 Hercules.

Primenjena automatizacija smanjiće posluhu oruđa na dva člana, za razliku od 6 članova koji opslužuju haubicu 155 mm M109A6 Paladin.

Projektili i punjenja kompletiraće se daljinskim upravljanjem, a laserski sistem paljenja biće standardan. Moći će da se koristi standardni NATO projektili 155 mm, a trebalo bi da se ostvari i veći domet korišćenjem novog Excalibur projektila XM982, koji je još u fazi razvoja.

Artiljerijski sistemi u proizvodnji imaće nove cevi od čelika velike čvrstoće sa titanovom gasnom kočnicom, i koristiće postolje sa samohodne haubice 155 mm Crusader, od čijeg se daljeg razvoja odustalo. Koristiće se savremeni sistem aktivne zaštite.

Oruđa će biti logistički podržavana kamionima 6×6 iz familije srednjih taktičkih vozila, opremljenih automatizovanim sistemom za popunu municijom.

Očekuje se da će Armija SAD opremiti 33 brigade tipa jedinica za brza dejstva sa budućim borbenim sistemima, od kojih će svaki imati jedan bataljon od 18 sistema NLOS-C. To znači da će se zahvatiti najmanje 594 oruđa.

M. Krbavac

<<<<◇>>>>

KOPNE NE SNAGE ZA NOVI VEK*

Početkom 21. veka preispituje se održivost kopnenih snaga zasnovanih na osnovnim borbenim tenkovima, koji su

* Prema podacima iz časopisa Armada International, mart 2003.

se iskazali na bojnim poljima u toku proteklog veka.

Pretežak, prespor, suviše masivan za prebacivanje na udaljena vojišta, bučan i glomazan, tenk je „umro“ s prestankom hladnog rata, ističu eksperti koji se okreću viziji lakih, brzih, i posebno brzora-zvijajućih snaga, zahvaljujući razvoju novih materijala i tehnologija. Uporedo sa razvojem sve ubojitijih protivtenkovskih oružja, ovakav razvoj omogućava stvaranje kopnenih snaga, bitno drugačijih od današnjih.

Međutim, još uvek je rano za tvrdnju da je tenku došao kraj. Veteran iz mnogih ratova i dalje će biti snažan oslonac za mnoge armije.

Sudeći po učincima koje su tenkovi imali u sukobima na Bliskom Istoku, Kuvajtu i Iraku, oni će ostati glavni faktor ratnih sukoba još najmanje 30 do 40 godina. Upravo radi toga, mnogi proizvođači pristupaju njihovoj modernizaciji i poboljšanjima.

SAD su planirale programe za modernizaciju i poboljšanje osnovnog tenka Abrams, koji će se odvijati do 2012. godine. Ovim programima rekapitalizacije tenka Abrams, armija SAD želi u njih da ugradi sva poboljšanja ostvarena u toku njegove 15-godišnje upotrebe. Cilj je da se stvore novi početni uslovi za resurse modernizovanih sistema elektroopreme, upravljanja i transmisije.

Francuski osnovni borbeni tenk Leclerc, koji proizvodi firma Giat, novijeg je datuma, tako da su njegova poboljšanja planirana tek za 2007. godinu. Dosadašnje manje izmene odnosile su se na kombinaciju oklopa i aktivne zaštite protiv dejstva raketa nove generacije iz gor-

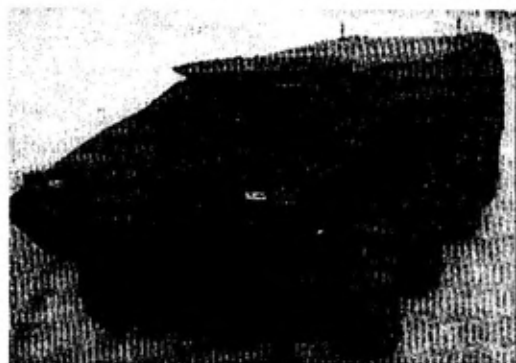
nje polusfere. Takođe, razmatraju se i mogućnosti upotrebe ovog tenka u borbama u naseljenim mestima. Predviđaju se alternativna rešenja za sisteme komunikacija, novi sistemi za osmatranje i izviđanje i nove vrste municije. Zahtevaju se oružja na tenkovima za izvođenje udara i izvan linije nišanja, posebno po oklopnim sredstvima na rastojanjima preko 10 km.

Programi za nove vrste oklopnih vozila koja su sada u razvoju, ne pružaju samo letimičan pogled na potencijalne mogućnosti budućih tehnologija, već su i veliki ispit za primenu potvrđenih tehnologija. Tri nova vozila iz te generacije su točkaši modularne konstrukcije, koji na bojno polje nose veći koristan teret i više ugrađene elektronike nego vozila koja će zameniti. U SAD se u tome najdalje otišlo sa vozilom Stryker, koje razvija firma General Motors Defence iz Kanade. Osim poteškoća oko utovara 19-tonskog vozila na transportni avion C-130, ukazano je i na poteškoće u vezi s pronalaženjem ciljeva i gađanja iz pokreta, kada su senzori vozila zaslepljeni bleskom svetlosti, i što je pri testiranjima 13 od 14 vozila uništeno tradicionalnom zemaljskom vatrom i granatama.

Najveći prioritet armija SAD pridaje programu razvoja budućeg borbenog sistema FCS (Future Combat Systems).

U Evropi je zajednička agencija za nabavke Occar decembra 2002. godine prikazala prva dva prototipa vozila Boxer, kao višenamenskih oklopnih vozila. Konstruisala ih je industrijska grupacija Artec, a izradile firme Alvis Vickers, Rheinmetall, Stork i Krauss-Maffei Wegman (KMW). Prototip sa 8 točkova isporučen

je za potrebe razvojnih ispitivanja, kojima će se kasnije pridružiti još 10 prototipova. Prvih 600 vozila, počevši od 2007. godine, biće isporučeno Velikoj Britaniji, Holandiji i Nemačkoj, svakoj po 200.



Sl. 1 – Prototip vozila Boxer

Prema dostupnim izvorima očekuje se da će cena ovog vozila biti oko 2 miliona evra. Veruje se da bi ukupno 2500 vozila, u pet varijanti, moglo da se proizvede za ove tri države.

Sa kompletnim posadama od 12 vojnika, potpuno popunjeno vozilo Boxer imaće masu između 25,5 i 32 t, kretaće se brzinom do 100 km/h sa motorom od 530 kW, noseći pri tom koristan teret od 8 t, i imati akcioni radijus do 1050 km.

Unikatnu karakteristiku vozila predstavlja mogućnost izmene modula, pretvarajući ga od logističkog u sanitetsko vozilo, ili u komandni centar, za manje od jednog sata. Izrađeno je od savijenih čeličnih ploča, radi smanjenja broja zavarenih spojeva i poboljšanja otpornosti protiv dejstva mina.

Francuska razvija oklopno borbeno vozilo pešadije (VBCI), a ugovor je sklopljen sa firmama Giat i Renault za ukupno 700 vozila, od čega 550 borbenih vozila pešadije i 150 komandnih vozila. Prvih 65 vozila trebalo bi da bude isporučeno

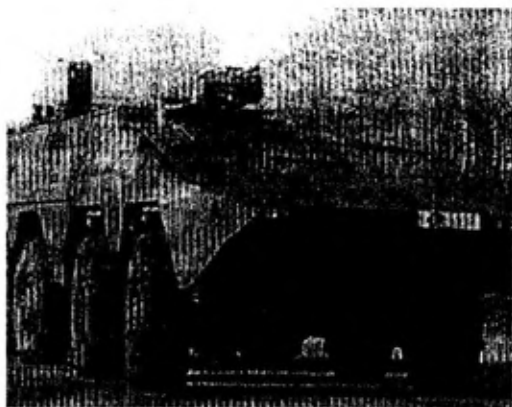
u 2006. godini. Sa borbenom masom od 26 t, VBCI će sa 8 nezavisno upravljanih točkova postizati brzinu do 100 km/h sa dizel motorom od 405 kW. Posada ima tri člana (nišandžija, vozač i komandir), a borbeno odeljenje 8 vojnika. Glavno naoružanje kupole, za jednog člana posade, u pešadijskoj verziji, predstavlja top 25 mm i mitraljez 7,76 mm. Komandna verzija ima kupolu sa daljinski upravljanim mitraljezom 12,7 mm.

Radi maksimalne mogućnosti za transport i diferencirane oklopne zaštite koriste se modularni oklopni elementi, kao, na primer, eksplozivni reaktivni oklop protiv projektila bacača granata RPG-7. Standardni oklop štiti od mitraljeske vatre 14,5 mm i parčadi granata 155 mm. Protivminka zaštita ugrađena je u strukturu korpusa i poda, a aktivna zaštita obuhvata IC ometač i uređaj za stvaranje dimne zavese.

VBCI će služiti kao integraciona platforma za vod pešadije koji će biti opremljen opremom „budućeg vojnika francuske armije“. Verzija vozila za komandna mesta opremljena je terminalskim informacionim sistemom pukovskog nivoa, a ima i simulatore za terenska uvežbavanja.

Fraza „budući borbeni sistem“ (FCS) već je poznata kako u vojnim strukturama, tako i kod proizvođača naoružanja u SAD.

Oklopna vozila, sa posadom ili bez nje, imaju centralnu ulogu u tzv. „objektivnim snagama“. To su snage koje bi trebalo da budu operativne do 2010. godine, a morale bi da imaju mogućnosti da razviju borbeno sposobnu brigadu na bilo kojoj tački sveta za četiri dana, a ukoliko borbena dejstva potraju – i do pet divizija borbeno spremnih za dejstva do 30 dana.



Sl. 2 – Varijanta vozila FCS

Izazov razvoja generacije ovih budućih vozila bio je dovoljno jak u početnoj fazi, kada je program bio fokusiran na 40-tonski tenk. Kada je ideja o evoluiranju zatečenih snaga napuštena, kasnih devedesetih godina proizašla je specifikacija za klasu 20-tonskog vozila sa karakteristikama tradicionalnog tenka. Već su urađene dve probne varijante vozila FCS, jedna gusenična i druga sa 8 točkova, koje su prikazane na izložbi AUSA u oktobru prošle godine. Pošto je Pentagon svoju odluku potvrdio, trka za adekvatnim tehnologijama može da počne, kako bi se verifikovala proizvodnja do 2006. godine.

Evropske zemlje nemaju zajedničku ideju o budućem borbenom vozilu. Velika Britanija ubrzano traga za budućim brzim efikasnim sistemom Fres (Future Rapid Effects System), i namerava da ga uvede u upotrebu 2007. godine kao novo oklopno borbeno vozilo.

Demonstraciono vozilo, koje je razvila firma QinetiQ sa firmom Vickers, rađeno je po zahtevima za oklopno borbeno vozilo iz ovog programa, a predstavlja prototip savremenog kompozitnog oklopnog vozila, nazvanog „plastični tenk“.

Vozilo je rezultat osmogodišnjih studija u proizvodnom procesu i u svetu

jedinstvenog pristupa u primeni kompozita za borbeno vozilo. Umesto stavljanja modularnih kompozitnih elemenata u metalnu strukturu, ovde su oklopne ploče ugrađene u kompozitnu strukturu, što je bitno smanjilo masu vozila. Sadašnja proučavanja, koja će trajati do 2004. godine, imaće težište na korišćenju ugljeničnih vlakana radi ostvarenja još većih ušteda u masi. Primena ugljeničnih vlakana pokazala se veoma uspešnom u izgradnji švedskog stelnog patrolnog broda Visby.

Gusenice ili točkovi takođe su značajni za konačnu masu vozila. Nove kompozitne gusenice imaju velike prednosti u pogledu mase, vibracija i buke. Nedostatak je što nisu sastavljene iz sekcija koje bi se mogle lako menjati, a to prouzrokuje značajne logističke probleme i zahteva veće zalihe rezervnih gusenica.

Kao i kod američkog programa za FCS, odlučujući zahtev za program Fres biće mogućnost transporta avionima C-130. U vezi s tim, ukupna masa je presudna, jer od nje zavisi maksimalni dolet aviona. S druge strane, smanjenjem mase vozila ograničavaju se mogućnosti za prevoz ljudstva, municije, goriva, specijalnih kompleta i opreme ili, u celini, borbeni gotovost. Na tom polju treba da se postignu optimalna rešenja.

Francuski opitni centar DGA u Angersu izgradio je eksperimentalno vozilo sa hibridnim pogonom 8×8, nazvano Modix, radi testiranja mogućih načina pogona. Istraživane su i mogućnosti korišćenja električnog pogona.

Demonstraciono vozilo biće opitovano 2006. godine, a isporuka vozila za upotrebu predviđena je za 2012. godinu.

Dok su programi budućih borbenih vozila u SAD i Velikoj Britaniji relativno dobro definisani, u Francuskoj se kasni oko četiri godine, mada će Francuzi primeniti aluminijumski skelet sa integrisanim selektivnim kompozitnim elementima. Ključna oblast vozila biće elektronska oprema koja će uključivati senzore, protiv elektronska dejstva, komunikacije i povezanost sa drugim vozilima i komandnom strukturom.

Primetno je da nova vozila i u SAD i Evropi sve više postaju informacione platforme, a sve manje borbena vozila.

M. Krbavac

<<<<◇>>>>

RAZVOJ LAKE JURIŠNE PUŠKE ARMIJE SAD *

Armija SAD priprema novi projekat puške 5,56 mm, namenjene za upotrebu krajem ove dekade, uporedo sa individualnim oružjem XM29.

Novo oružje je, prema projektu, laka jurišna puška (automat) XM8, koja će se zasnovati na komponentama puške 5,56 mm XM29, koja spada u sledeću generaciju sistema pešadijskog oružja.

Puška XM29 je modularne konstrukcije koja uključuje lanser granata, kojim se ispaljuje rasprskavajuća municija 20 mm, i pušku koja koristi standardnu NATO municiju 5,56 mm.

Oba oružja imaju znatne prednosti nad sadašnjom puškom M16 5,56 mm/M209 40 mm. Bacač granata 40 mm omogućava vojniku da ispaljuje samo pojedinačna zrna pre ponovnog punjenja.

Sistem za praćenje cilja i upravljanje vatrom sadrži: daljinomer, optički sistem sa ugrađenim termalnim pokazivačem, balistički računar, ubacivač upaljača u granate, senzore za stanje okoline i busolu.

Kompanija ATK glavni je ugovarač i objedinjava kompletan projekat XM29. Ostali članovi tima su Heckler & Koch (H&K), odgovoran za razvoj oružja 5,56 mm i 20 mm, ATK Ammunition Systems – za municiju, Brashear LP – za sistem za upravljanje vatrom i Omega – za sistem obučavanja.

Za module XM29 i XM8 firma H&K je iskoristila već razvijene tehnologije za familiju svojih pušaka 5,56 mm G36, koje se sada uvode u nemačku armiju, a odabrane su i za špansku armiju.

Od početka se zahtevao razdvojitiv tip oružja, a da bi se dobro uklopile obe komponente sa XM29 u jedan paralelni sistem, lakom puškom XM8 nastojale su se ostvariti progresivne mogućnosti zajedno sa mogućnostima municije 20 mm. To će smanjiti logističke zahteve, zbog zajedničkih delova pušaka XM8 i XM29.

Laka jurišna puška XM8 udovoljava i stalnim zahtevima za olakšanje opreme budućih vojnika. Prema sadašnjem stanju, XM8 sa popunjenim okvirom od 30 metaka ima masu od 3,45 kg, što je za 0,454 kg manje od mase sadašnje puške 5,56 mm M4, najnovije varijante serijski proizvedenih pušaka M16, koje su na upotrebi u armiji SAD.

Oružjem XM8 obezbediće se potreban nivo integracije, modularnosti i merljivosti.

U sklopu integracionog dela nišan se integriše sa unutrašnjim delom i postaje polutrajno pričvršćen. Teži se trostrukointegrisanoj optici sa optikom za bli-

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 26. mart 2003.

sku borbu i vidu crvene tačke sa uveličavajućom optikom.

Radi zadovoljavanja nivoa modularnosti, XM8 je opremljen sa nekoliko montažnih površina koje omogućavaju vojniku da pridoda razne delove iz kompleta prateće opreme.

Aspekt merljivosti (skalarnosti) kod XM8 podrazumeva plemenitost cevi. Aktuelne su kratke cevi dužine 35,5 cm (14 inča) ili 14,5 do 20 inča (37 do 51 cm). Na taj način mogu se skalirati cevi u skladu sa potrebama vojnika ili jedinice. Ovakvim sistemom želi se obezbediti i upotreba lansera granata 40 mm, kao i 12 drugih standardnih sačmarskih dodataka.

Predviđa se prilagođavajući kundak, podešavanje za rukovanje sa obe ruke, ugradnja odbojnika za levoruko gađanje, kao i sigurnosni polu ili potpuno automatski režimi vatre. Napušta se mogućnost paljbe sa tri zrna.

Koncept razvojnih aktivnosti zasniiva se na kombinaciji postojećih rešenja za pušku M4 i operativne dokumentacije za XM29.

Prema sadašnjim planovima četiri vojnika od devet pešadinaca u odeljenju biće naoružano puškom XM29, dva sa 5,56 mm M249, a preostala tri sa XM8.

M. Krbavac

<<<◇>>>

NOVI KOREJSKI PRENOSNI RAKETNI SISTEM PVO*

Agencija za razvoj odbrane Republike Koreje u potpunosti je završila razvoj prenosnog raketnog sistema zemlja-va-

zduh KP-SAM, koji je danas potpuno operativan.

Sistem KP-SAM razvijan je od ranih devedesetih godina prema zahtevu oružanih snaga, a nosilac razvoja bila je firma LG Innotek. Sistem će biti dopuna brojnim uvoznim sistemima PVO, kao što su francuski Mistral, britanski Javelin i američki Stinger.

Tronožno postolje omogućava operatoru da okreće lanser za 360° i zauzima elevaciju u granicama od -15° do +60°. Lanser poseduje termički nišanski sistem i uređaj za identifikaciju čija se antena nalazi na desnoj strani lansera. Nišanski sistem omogućava korišćenje ovog PVO sistema u svim vremenskim uslovima, danju i noću.

Osnovni podaci raketnog sistema KP-SAM

dužina rakete	1,76 m
masa pri lansiranju	manje od 20 kg
prečnik rakete	80 mm
brzina rakete	supersonična
efikasan domet	više od 5 km
efikasna visina leta	više od 3 km

Jedna od ključnih osobina rakete je savremeni na vrhu montirani dvobojni IC senzor za samonavođenje, koji je veoma otporan na IC ometanje. Bojna glava raketne aktivira se pomoću blizinskog upaljača.

Prva aplikacija sistema KP-SAM, kao tronožni model, može brzo da se rastavi u brojne podsisteme radi lakšeg rukovanja na terenu. Za operatora je obezbeđeno sedište.

Uбудuće će biti moguće i druge aplikacije, kao što su helikopterska i brodska varijanta.

Raketa može da se ugradi i na druge nosače na zemlji ili da se koristi u sklopu samohodnih artiljerijskih sistema PVO.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 9. april 2003.

Kasnije aplikacije trebalo bi da koriste rakete za uništavanje ciljeva na većim udaljenostima, dok bi se topovi tih oruđa koristili za blisku borbu.

Sistem PVO KP-SAM veoma liči na ruski prenosni raketni sistem Igla (SA-18), ali je korejska raketa neznatno duža i većeg je prečnika. Ruske rakete imaju termičke baterije ugrađene ispod čela lansera i usmerene su naniže. Kod korejskih raketa one su postavljene vertikalno ispod lansera, na sličan način kao kod novih kineskih prenosnih raketa PVO poput NF-6 i QW-1.

Mada je KP-SAM prenosni sistem, trebalo bi da se koristi zajedno sa izviđačkim radarom za male visine TPS-830KE, montiranim na kamionu koji bi mu obezbeđivao informacije o visini, udaljenosti i brzini cilja. Ovaj sistem obično se razvija za nivo voda.

Radar TPS-830KE ima maksimalni domet 40 km i može da se razvije za rad sa različitim topovskim i raketnim sistemima PVO, kao i za potrebe obalskog izviđanja.

M. Krbavac

<<<<◇>>>>

NIVOI ZAŠTITE VOZILA TOČKAŠ*

Ljudstvo koje obavlja zadatke u mirovnim operacijama mora da poseduje adekvatnu zaštitu koja uključuje ličnu zaštitu i zaštitu vozila koja se koriste.

Izbor tipa i nivoa zaštite zavisi od vrste lokalnih pretnji, a to su najčešće napadi manjih grupa ili pojedinaca, opremlje-

nih streljačkim naoružanjem (uz korišćenje pancirne municije, i snažnih sportskih pušaka sa teleskopskim nišanima) ili minama i drugim eksplozivnim sredstvima.

Jasno je da je laka taktička vozila nemoguće zaštititi od svih tih opasnosti, ali kompromisni balans mora da se postigne. Prema tome, treba definisati lako taktičko vozilo (ukupne mase do 9000 kg), pogodno za razne zadatke mirovnih operacija, koje će objedinjavati dobru oklopnu zaštitu i održivost za posadu, uz visoku putnu i terensku pokretljivost i brzinu. Vozila projektovana u skladu sa ovim zahtevima klasifikuju se kao *zaštićena vozila*.

U proteklim dekadama zaštićena vozila bila su opremljena lakim oklopom Mn/čelične ploče (debljine 2 do 3 mm) koji je mogao da zaustavi pištoljske metke i kuglice sačmarice. Međutim, snažnije vojno naoružanje, (kao što je to automatska puška AK-47) zahtevalo je adaptaciju i ugradnju čeličnih ploča debljine 5 do 7 mm i tvrdoće do 400 HB.

Tipični primeri tih kategorija vozila su modeli Hotspur i Shortland, izrađeni na šasiji Land Rovera 4×4 (ukupna masa oko 3,5 t a transportni kapacitet 2+6 vojnika) ili 6×6 (5,3 do 5,5 t, 1+13 vojnika). Ova vozila imaju manji transportni kapacitet od osnovnih modela, ali nude odgovarajući nivo zaštite uz istu masu i pokretljivost. Odnos nosivosti i ukupne mase smanjuje se za oko 0,4/0,45 : 1, za standardne Land Rovere 110 do 0,25 : 1 za zaštićene verzije.

Nastojanje da se stvori što više prostora za ljudstvo i njihovu opremu dovelo je do razvoja zaštićenih vozila na bazi lakih kamionskih šasija (klase 1,5 t), koja se mogu klasifikovati u 2. nivo NATO klasi-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 9/2002.

fikacije sistema zaštite na vozilima. Interesantan primer tog trenda je vozilo FIAT/IVECO M40.12WM/P, koje se pod oznakom WM-90P koristi u italijanskoj armiji. Balistički čelični korpus vozila (6 mm bočne strane, tvrdoće oko 500 HB) ima zapreminu 9,2 m³, konfiguracija je 4×4 a motor snage 93 kW (125 KS) omogućava brzinu preko 100 km/h i dobre terenske karakteristike. Vozilo može da prevozi odeljenje pešadije od 5 do 6 vojnika sa ličnom opremom i odeljenjskim naoružanjem mase do 800 kg.

Krauss-Maffei Wegmann razvio je slično vozilo, nazvano TERRIER. Ono je izrađeno na bazi šasije FIAT/IVECO, ali ima nešto veću ukupnu masu zbog dodatne zaštite protiv mina, koja se nalazi na podu.

Devedesetih godina prošlog veka, uglavnom na osnovu iskustva iz mirovnih operacija u prethodnoj Jugoslaviji, neke zemlje Zapada (SAD, Nemačka) pristupile su izradi kompleta za zaštitu kojima se, kada se ugrade na vozilo, obezbeđivao 2. nivo zaštite za ljudstvo i 1. nivo zaštite od mina. Međutim, takvi kompleti imali su i negativnih implikacija. Pored ostalog, javila se potreba za nizom modifikacija na mehanizmima vozila, smanjeni su korisna nosivost, vidljivost, unutrašnji komfor i dr.

Formulisanje novih zahteva

Procenom iskustava iz operacija u prethodnoj Jugoslaviji jasno su istaknute koristi i potrebe za novom klasom lakih vozila, koja bi već imala ugrađenu adekvatnu oklopnu zaštitu u svoje bazne projekte, i bila sposobna da u potpunosti iz-

vršavaju zadatke u okviru mirovnih operacija, kao što su:

- transport i zaštita lakih pešadijskih odeljenja, uključujući brze pokrete preko teških terena;
- patrolni, kontrolni i izviđački zadaci;
- pratnja konvoja;
- evakuacija ranjenih;
- borbena dejstva s ugrađenim naoružanjem.

Zaštićena vozila u toj klasi imaju sledeće karakteristike:

- dobru pokretljivost i brzinu, sa najmanje istim nivoom kao kod standardnih lakih taktičkih vozila;
- vrlo dobru kružnu vidljivost, uključujući i otežane terenske i urbane uslove;
- 2. nivo zaštite (minimalno) od dejstva pešadijskog naoružanja i mina;
- korisnu nosivost od 1000 do 1500 kg, uz ukupnu masu ne veću od 8 do 9 t;
- mogućnost transporta letelicom C-130 HERCULES.

Primeri vozila izrađenih u skladu sa navedenim zahtevima su: nemački ATF-2 DINGO, francuski Panhard, italijanski WM-90P, južnoafrički RG-32M, LMV (Light Multi-role Vehicle) izrađen na bazi vozila IVECO, oklopno-patrolna verzija vozila LAND ROVER DEFENDER, zatim M1114, TERRIER, WIESEL i dr.

Prema dokumentu NATO STANAG 4509 decidno su definisani parametri nivoa zaštite lakooklopljenih vozila i vozila za logistiku od streljačkog naoružanja i fragmenata artiljerijske municije i mina. Taj dokument koristi se za potrebe planiranja i kao uputstvo komandantima za određivanje tipova vozila koje treba koristiti u budućim operacijama, s obzirom na opasnosti koje se predviđaju. Različiti ni-

voi definisani su kao 90% verovatnoća kojom se nudi adekvatna zaštita posadi u slučaju različitih opasnosti.

Nivoi zaštite lakooklopljenih vozila točkaša

Nivo	Opasnost – municija	Fragmenti 155 mm (rastojanje)
1.	7,62 × 51 mm NATO 5,56 × 45 mm NATO	100 m
2.	7,62 × 39 mm API-BZ	80 m
3.	7,62 × 51 mm AP 7,62 × 54 mm R-B32 API	60 m
4.	12,7 × 99 AP 14,5 × 114 mm API/B32	25 m
5.	25 × 137 mm APDS-T	25 m

Zaštita od vatre streljačkog naoružanja i parčadi artiljerijske municije podrazumeva se kružno za svih 360°, dok je minimum vatrenog dometa 30 m za nivoe 1. do 3, 200 m za nivo 4. i 500 m za nivo 5.

Najnovije generacije lakih taktičkih vozila nude 3. nivo zaštite kao maksimalni. Postizanje 4. nivoa mnogo je teže, pre svega zato što se za ova vozila zahtevaju relativno široka vetrobranska stakla u kabini i prozori radi dobre vidljivosti, a neprobojna stakla koja štite od zrna 12,7 mm/14,5 mm AP suviše su teška i glomazna. Nivo 5. odnosi se na oklopne transportere i borbena vozila pešadije.

U odnosu na mine, STANAG 4509 definiše četiri nivoa opasnosti i, na osnovu toga, sledeće zahtevane nivoe zaštite:

- nivo 1: protivpešadijske mine ili ručne granate u vidu eksplozivnih naprava;
- nivo 2: eksplozivne protivtenkovske mine sa eksplozivnom masom od 6 kg;
- nivo 3: eksplozivne protivtenkovske mine sa eksplozivnom masom od 8 kg;
- nivo 4: eksplozivne protivtenkovske mine sa eksplozivnom masom od 10 kg.

Eksplozivne protivtenkovske mine uključuju i nagazne i potezne. Nijedan nivo opasnosti nije definisan za kumulativne ili SFF protivtenkovske mine, verovatno zbog toga što od njih nema efikasne pasivne zaštite.

M. Krbavac



NOVI HIPERSONIČNI LETOVI*

Vazduhoplovne snage SAD preduzimaju sledeći korak u osavremenjavanju hipersoničnih pogonskih sistema i najavljuju seriju probnih letova sa svojim Hy Tech motorima koji su još u razvoju.

Ispitivanja Hy Tech supersoničnih vazdušno-reaktivnih motora biće prva demonstracija leta na sistemima sa hipersoničnim pogonom u dosadašnjoj praksi. Letovi treba da smanje rizik ambicioznog eksperimenta letelice X-43C, koji je planiran da se izvede krajem dekad sa NASA (National Aeronautics and Space Administration). Prema poslednjim inicijativama razmatra se letelica koju će pogoniti modul sa tri Hy Tech povezana motora.

Program demonstracije endotermičkih supersoničnih vazdušno-reaktivnih motora, koji je predložila Vazduhoplovna istraživačka laboratorija, treba da sa drži pet letova, počevši od fiskalne 2006. ili 2007. godine.

Eksperimentalni Hy Tech supersonični vazdušno-reaktivni motor predviđen je da radi na režimu brzine između 4,0 i 8,0 Maha, i da potvrdi tehnologije motora pogodne za buduće krstareće ra-

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 19. mart 2003.

kete velike brzine i jurišne avione koji mogu napadati sa velikih rastojanja i brzinama većim od sadašnjih.

Očekuje se da će supersonični vazdušno-reaktivni pogon, kombinovan sa turbinskim motorima velike brzine i rake-tama, pokretati i višekratno upotrebljiva lansirna sredstva već u narednoj dekadi.

Ratno vazduhoplovstvo SAD je, uz NASU i Mornaricu ključni faktor u istraživanju hipersoničnih pogona. Program NA-SE X-43A Hyper-x, koji je vođen 2001. godine, morao je prekinuti zadatke u vezi letova posle nepouzdanog rada potisne raket-e i eksperimentalne letelice. Planirani su probni letovi brzinama oko 7,0 Maha septembra meseca 2003. godine.

Mornarica nastavlja sa radom na projektu osnosimetrične letelice, u okviru svog Hy Fly programa, u koju se ugrađuje nehla-deni vodonikom punjeni supersonični vazdušno-reaktivni motor. Prvi eksperimentalni letovi očekuju se krajem 2004. godine.

Za razliku od Hy Fly motora, Hy Tech sistem upotrebljava klasično ugljovodonično mlazno gorivo, koje hladi strukturu motora apsorbovanjem toplote za vreme leta velikom brzinom. Motor radi u režimu dvostrukog sagorevanja, koji omogućava i subsonično i supersonično strujanje vazduha u motoru, sve do brzina približno 7,0 Maha, kada strujanje vazduha postaje isključivo supersonično.

Prototipi Hy Tech motora su u fazi ispitivanja na zemlji. Testovi pri brzinama 4,5 Maha su završeni, a eksperimenti pri brzinama 6,5 Maha treba da traju do kraja aprila ove godine. Nakon toga procenjivaće se performanse ispitnog motora GDE II, modela koji će koristiti potpuno zatvoreni sistem za gorivo. To će biti veoma slično varijanti kojom se testira let, sa izuzetkom nekih modifikacija.

Presudno kod motora GDE II biće sposobnost njegovog goriva da hladi strukturu motora i puni gorionik bez radikalnih promena zbog toplote koju apsorbuje. Proces apsorpcije toplote i termodinamičke i hemijske transformacije goriva smatra se ključnim za uspeh ovog programa.

Prva dva probna leta trebalo bi da potvrde performanse motora i njegovu operativnost. Tri naredna leta treba dodatno da prošire performanse motora potrebne za ispitivanje maksimalnih brzina i brzina krstarećeg leta.

NASA i Ratno vazduhoplovstvo planiraju tri leta letelice X-43C, od kojih prvi u 2007. ili 2008. godini. Letovima se predviđa vrednovanje performansi motora pri ubrzanju sa 5,0 do 7,0 Maha, i promene sa dvostrukog režima sagorevanja do čisto supersoničnog sagorevanja.

Očekuje se da će NASA krajem de-kade pokrenuti inicijativu za projekat letelice X-43B. To će biti test kombinovanocikličkog motora – povezivanjem supersoničnog vazdušno-reaktivnog motora ili sa raketnim ili sa turbinskim pogonom – i višekratno upotrebljive letelice.

M. Krbavac



MODERNIZACIJA RUSKIH STRATEŠKIH BOMBARDERA*

Konstruktioni biro Tupoljeva nedavno je obelodanio da će modernizacija ruskih strateških bombardera Tu-22M3 Backfire C, Tu-95 MS Bear-H i Tu-160 Blackjack biti izvedena u dve etape.

* Prema podacima iz Combat Aircraft, Vol. 4, No. 5, mart 2003.

U prvoj etapi, koja je naznačena kao manji poduhvat i koja će biti sprovedena u periodu 2003–2004, avioni će biti osposobljeni da nose nova ubojna sredstva, i to sa minimalnim izmenama u avionici. Izrada tehničke dokumentacije i priprema za izvođenje tzv. državnih testova već su u toku.

Kroz čitav program avionima će biti produžen i vek upotrebe do 2020–2025. godine.

Drugi stepen modernizacije planira se nakon 2005. godine, i bio bi mnogo opsežniji. Obuhvatio bi ugradnju mnogo savremenije opreme namenjene otkrivanju i identifikaciji ciljeva, navigaciji, kao i elektronskoj samozaštiti aviona.

Tokom prve faze Tu-22M3 biće opremljen novim protivbrodskim raketama Raduga K-32, nastalim od starijih raketa K-22 (AS-4), koje trenutno nose avioni Tu-22M. Oblik i dimenzije obe rakete veoma su slični. Zahvaljujući savremenijoj pogonskoj grupi, optimizovanom profilu leta i verovatno novoj vrsti raketnog goriva, domet nove rakete biće skoro dvostruko veći od dometa prethodnog modela. I sistem za navođenje K-32 doživio je poboljšanja, i nalazi se u fazi operativnog ispitivanja u pojedinim jedinicama.

Avioni Tu-95MS se još od 1999. godine, u 360. remontnom centru u Rjazanu adaptiraju za nošenje nove, podzvučne krstareće rakete K-101. Prema saopštenjima najveći deo radova već je završen. Na sličnim postavkama doradivan je i Tu-160 sa kojim se trenutno obavljaju ispitivanja u kombinaciji sa novom raketom. Inače, oba aviona, osim što su opremljena istim radarom (Obzor) i lansirnim sistemom (Sprut), naoružana su i

istim krstarećim raketama tipa K-55 SM (AS-15B). Modernizacijom će oba tipa aviona biti osposobljena da nose podzvučne, konvencionalne krstareće projektele K-101 i K-555 i, u skladu s tim, dobiće i novi lansirni sistem tipa Sigma. Kako se sada predviđa, samo 35 aviona Tu-95 MS opremljenih sistemom Sprut, biće modifikovani. Stariji avioni, sa sistemom Osina, neće biti razmatrani, ali će čitava flota Tu-160 biti obuhvaćena programom modernizacije.

Fabrika u Smolensku trenutno je u fazi započinjanja serijske proizvodnje rakete K-101, koja na cilju postiže preciznost sa greškom od samo 6–20 m, i to zahvaljujući novom, savršenijem elektrooptičkom sistemu vođenja. Domet rakete K-101 je u granicama od 5000 do 5500 km. Modernizovani Tu-160 moći će da nosi do 12 ovakvih raketa u unutrašnjosti trupa. Tu-95 će nositi do osam K-101 ili do 10 K-55/555 – četiri pod krilima i šest u bomboluku. Modernizacija K-55 na standard K-555 uključuje zamenu nuklearne bojne glave konvencionalnom, i ugradnju sistema za vođenje koji se koristi na K-101.

Druga faza modernizacije podrazumeva zamenu gotovo kompletne avionike sa novim standardizovanim uređajima. Sva tri tipa aviona dobiće identičan radar, isti lansirni sistem i nosiće isto oružje. To će biti strategijske rakete K-101 i K-102 (sa nuklearnom glavom), nove rakete K-SD (podzvučna, srednjeg dometa) i K-41 (nadzvučna, srednjeg dometa).

Radovi na Tu-22M i Tu-160 biće izvedeni u fabrici KAPO u Kazanu, gde su avioni i proizvedeni, dok će nadogradnja Tu-95 MS biti sprovedena u fabrici Aviakor u Samari u saradnji sa Taviom iz Taganroga.

Rusko vazduhoplovstvo i mornarica trenutno imaju 150 srednjih bombardera Tu-22M, 63 Tu-95MS i 15 Tu-160.

S. Vlačić



VISOKA TEHNIČKA ZAŠTITA BUDUĆIH BORBENIH SISTEMA*

Budući američki borbeni sistemi uključivaće lake zemaljske platforme sa visokim nivoom održivosti na bojnom polju budućnosti.

Kako postojeći oklopi ne mogu obezbediti zahtevani nivo zaštite na 16-tonskom vozilu, kakva je na današnjim teškim oklopnim vozilima poput tenka M1, moraju se obezbediti druga sredstva za zaštitu posade. Budući borbeni sistemi FCS (Future Combat Systems) predstavljaju visokoprioritetni armijski program namenjen za brzorazvijajuće jedinice za borbena dejstva, ekvivalenta brigada, bilo gde u svetu, u vremenu od 96 časova.

Na nedavno održanoj raspravi o oklopu i protivoklopu istaknuto je da je rešenje za obezbeđenje održivosti FCS integralni deo balističke zaštite sistema. Projektovani sistem za FCS obuhvata oklop, aktivni zaštitni sistem APS (Active Protection System) i protivelektronsku zaštitu, koje treba da se integrišu u kompaktnu celinu. Dok tipični 70-tonski tenk M1 sadrži oko 36 t oklopa u osnovnoj strukturi i zaštiti, kod 16-tonskog FCS to se može obezbediti sa svega 6,4 t.

Armija se odlučila za realizaciju programa u dve faze. U prvoj fazi cilj je obezbeđenje zaštite od protivtenkovskih vođenih raketa, raketnih granata i municije koja dejstvuje iz gornje polusfere. Cilj druge faze treba da bude uništenje

protivtenkovskih zrna visoke razorne moći (HEAT) i visoke kinetičke energije. Takođe, želi se obezbediti pokrivenost svih 360° polusfere.

Oklop treba da obezbedi frontalnu zaštitu od napada zrna srednjeg kalibra, dok će zaštita sa strane i odozgo biti obezbeđena od zrna koja deluju kinetičkom i hemijskom energijom. Osnovnu strukturu FCS trebalo bi da čini keramički kompozitni oklop, koji mora da bude elektromagnetičan radi odbijanja hemijskih zrna putem elektromagnetske energije. U Velikoj Britaniji radi se na sličnom sistemu koji je uspešno testiran na jednom oklopnom transporteru.

Tipičan sistem za aktivnu zaštitu APS treba da sadrži monolitni mikrotalasni radar za pretraživanje i praćenje, savremeni lanser sa mogućnošću rotacije za 360°, koji se može ugraditi ispod oklopa, i nevođene raketne projektele za protivdejstva, koji treba da eksplodiraju ispred nadolazeće opasnosti.

Protivelektronska zaštita treba da sadrži sistem IC zaštite DIRCM (Directable Infrared Countermeasure), koji se zasniva na sistemu ATIRCM razvijenom prema zahtevima vazduhoplovstva. On koristi široki radio-far za ometanje poluautomatskih vođenih projektila.

Druga inovacija kompleta za povećanje održivosti treba da obuhvati sistem za uništenje laserskih poluaktivnih samonavedenih projektila. SAD su već koristile probnu platformu, koja sadrži detektor opasnosti, senzor za lasersku opasnost, mamac lasera, sistem IC zaštite DIRCM i sistem aktivne zaštite APS.

Prema dostupnim izvorima rezultati sprovedenih testova veoma su dobri. Slična oprema ugrađuje se na borbene avione već više godina, za razliku od ze-

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

maljskih sistema. Ipak, još nije poznato kada će biti moguće uspostaviti sveobuhvatni sistem odbrane na platformama budućih borbenih sistema.

M. Krbavac



KOMUNIKACIONI SISTEM FFCB2*

Armija SAD je u pripremi za rat u Iraku distribuirala prvi taktički komunikacioni sistem FFCB2 (The Force XXI Battle Command Brigade and Below) svojim kopnenim snagama i snagama alijanse, radi obezbeđenja informacija na bojnopolju.

Četvrta pešadijska divizija, razvijena u persijskom golfskom regionu, opremljena je sistemom FFCB2 sa potpunim digitalnim mogućnostima i taktičkim internetom, koji omogućava praćenje savezničkih i protivničkih snaga kao i taktičkih pojedinosti sa bojnopolja. Obezbeđeno je više od 1000 sistema za ostale jedinice, uključujući mornaričku pešadiju SAD i savezničke snage, radi uvezivanja u jedinstveni sistem i upoznavanja sa međusobnim lokacijama.

Armija SAD ima na raspolaganju 8000 uređaja FFCB2. Na divizijskom nivou isporučeno je oko 50 sistema. Tri britanske brigade, posebno 7. oklopna brigada, takođe su primile te sisteme, kao i treća pešadijska divizija i druge jedinice američke armije u Iraku.

Od sopstvene vatre u operaciji Puštinska oluja SAD su imale oko 24% gubitaka a i kopnene snage Velike Britanije pretrpele su velike gubitke. Prema američkim zvaničnicima, od svih žrtava 61% su nastale zbog incidenata pri dejstvu ze-

mlja-zemlja. Ti nesrećni slučajevi, kao i bombardovanje jedinice kanadske pešadije američkom avijacijom F-16, aprila 2002. godine u Avganistanu, podstakli su razvoj sistema FFCB2.

Ovaj sistem omogućava osmatranje neprijatelja, terena i sopstvenih snaga, tako da se povećavaju razmere operativne zone divizije sa 30 do 50 km na 60 do 100 km.

Jedinice izvan 4. pešadijske divizije nemaju pristup taktičkom internetu koji uključuje upotrebu jednokanalnog zemaljskog i avionskog radio-sistema i poboljšanog sistema za pozicioniranje i izveštavanje. Ta mogućnost, kojom je obezbeđena bežična veza u pokretu, prvi put se pojavljuje u borbenim operacijama 4. pešadijske divizije. Umesto toga, druge jedinice će koristiti sisteme koji koriste satelitske veze za omogućavanje komunikacije na velikom rastojanju i na složenom zemljištu, gde nisu moguće direktne veze (line-of-sight). Jedinice su, sve do četnog nivoa, obezbeđene ovim sistemima umesto da, kao kod 4. pešadijske divizije, bude opremljena svaka borbona platforma.

Drugi sistemi, namenjeni za „spoznavaju situacije“ i identifikaciju savezničkih snaga, takođe su distribuirani koalicionim snagama. To su termopaneli za borbonu identifikaciju vozila, IC borboni svetlosni sistem Feniks (Phoenix) i toplotne trake za vojnike.

Sistem FFCB2 još uvek je u razvoju, a podaci prikupljeni za vreme ratnih operacija poslužiće za njegovo vrednovanje. Takođe nastavlja se razvoj ručnih verzija FFCB2 sa ekranom. Sistem radi pomoću L-spektra satelitskih komunikacija umesto radio-taktičkog interneta. Oko 100 takvih sistema biće isporučeno u julu radi testiranja.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

Northrop Grumman razvija manju verziju sistema koja bi trebalo da se spoji direktno na mrežu, omogućavajući vojniku da napusti svoje vozilo, ali da i dalje ima pristup do podataka sa FBCB2.

M. Krbavac



NOVI BRITANSKI INŽINJERIJSKI SISTEM*

U Vickersovoj fabrici u Njukastlu u Velikoj Britaniji prikazana su prva dva prototipa inženjerskog tenkovskog sistema (ITS) za potrebe britanske armije.

Firma Alvis Vickers sklopila je 2001. godine ugovor na 393 miliona dolara za isporuku četiri prototipa i proizvodnju 66 primeraka ITS. Preciziranje i budžetsko planiranje programa tek predstoji, kao i konkurs za kompletan program obuke, koji bi trebalo da se završi ove godine.

Nova vozila inženjerskog tenkovskog sistema čine Trajan, savlađivač prepreka i Titan, polagač mosta. Oba vozila bazirana su na komponentama Vickersovog osnovnog borbenog tenka Čelendžer 2, kojih je britanskoj armiji isporučeno 396 primeraka.

Titan i Trajan su prva oklopna inženjerska vozila namenski projektovana, kojima će se zameniti postojeći oklopni lansirni mostovi Chiftain i oklopna vozila inženjerije koja se sada otežano održavaju. Kada budu uvedeni u upotrebu britanska armija će biti jedina u NATO koja će imati zajedničku tešku oklopnu flotu, a sastojace se od osnovnih borbenih tenkova Čelendžer 2, oklopnih remontnih i izviđačkih vozila Čelendžer i inženjerskih tenkovskih sistema ITS. Očekuju se i znatne uštede u obuci i logističkoj podršci.

Dozerski nož ili minočistač mogu da se ugrade na vozilo Trajan koje je opremljeno eskavatorskim priključcima Caterpillar. Trajan može da nosi i opremu za obeležavanje minskog polja i vuče prikolicu sa raketnim sistemom za čišćenje mina Giant Viper. Na njega je ugrađeno naoružanje 7,62 mm, lanseri dimnih granata i savremeni dnevno-termalni sistem kamera.

Titan je novi hidraulički lansirni sistem koji je sposoban da položi i povlači most dužine 26 m za dva minuta ili most dužine 13,5 m za 90 sekundi. Oni su deo mostovnog sistema BR90 koji je već u upotrebi u britanskoj armiji.

Postoje dva prototipa Titana i dva prototipa Trajana. Sva četiri vozila biće podvrgnuta ispitivanjima sa kompletnim posadama krajem ove godine.

Očekuje se da će serijska proizvodnja započeti sledeće godine, a prve isporuke planirane su za početak 2005. godine. Proizvodnja će se povećavati do tri vozila mesečno tako da se konačne isporuke planiraju za 2007. godinu.

Vozila će imati isti nivo oklopne zaštite kao tenk Čelendžer 2 sa standardnom opremom, ali će imati poboljšanu zaštitu od mina, pomoćni motor, sistem za klimatizaciju i savremeni sistem za NHB zaštitu koji se smatra najboljim sistemom regenerativne filtracije.

Radi ubrzanja razvoja Alvis Vickers koristi dve ispitne opreme u svojoj fabrici Risdale radi ispitivanja bagerskih sistema i mehanizama za lansiranje mosta pre njihove ugradnje u samo vozilo. Na primer, lanser mosta treba da izvrši 2000 sekvenci polaganja mosta pre nego što se nađe u upotrebi.

M. Krbavac



* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.



tehničke novosti i zanimljivosti

AMERIČKO-BRITANSKA RAKETA CMM*

Nosioci razvoja američko-britanske modularne rakete CMM (Common Modular Missile) ubrzavaju postupke razvoja sistema i njegove demonstracije. Ugovor za ovaj posao vredan oko milijardu dolara može dovesti do proizvodnje oko 100000 raketa.

Projekat uključuje izradu zajedničke rakete prečnika 177,8 mm (7 inča) za avijaciju, sa fiksnim i rotacionim krilima, radi zamene američke rakete AGM-114 Hellfire i momaričke rakete AGM-65 Maverick. Velika Britanija, koja je zainteresovana za ove rakete, očekuje se da učestvuje sa oko 15% u fazi razvoja i demonstracija.

Lockheed Martin, Raytheon i tim Boeing/Northrop Grumman već su uključeni u projektne ugovore i, takođe, prate ugovor o razvoju i demonstraciji. Relevantni prateći programi uključuju i rakete vazduh-vazduh AIM-9X Sidewinder i protivbetonske laserski vođene bombe.

Raytheon je decembra prošle godine demonstrirao trorežimski tragač, koji je prototip za raketu i koji, kombinovan sa drugim postojećih tehnologijama, čini konkurenta sa malim rizikom. Tragač

ima IC, poluaktivne laserske i milimetarsko talasne radarske senzore.

Tim Boeing/Northrop Grumman takođe planira učešće sa svojim prestižnim programima. Boeing će uključiti i tehnologiju raketa Hellfire/Brimstone i lanser M299. Northrop Grumman će uložiti svoje iskustvo u tehnologiji višerežimskih tragača za protivtenkovsku submuniciju, kao i tehnologiju za radar za upravljanje vatrom AN/APG-78 Longbow. Ovaj tim prikazaće reprezentativni model u junu ove godine.

Lockheed Martin, takođe, ističe svoju participaciju u programima Hellfire i Hellfire II.

Predviđa se da modularna raketa CMM zameni i protivtenkovske rakete TOW, a mogla bi se ponuditi i zemaljska verzija za kasnije buduće borbene sisteme.

M. K.



VEĆA VATRENA MOĆ BORBENOG VOZILA PIRANA IV*

Švajcarsko oklopno vozilo Pirana IV, konfiguracije 8x8, firme MOWAG, nedavno je opremljeno, radi ispitivanja, kupolom

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 2. april 2003.

za dva člana posade i potpuno stabilizovanim topovskim sistemom 30 mm.

Vozilo Pirana IV razvijeno je na osnovi lakog oklopnog vozila Pirana III 8×8. Armija SAD usvojila je verziju ovog vozila pod nazivom Stryker, a očekuje se da 2131. vozilo bude proizvedeno u Kanadi i SAD.

Prvi primerak Pirane IV bio je prikazan krajem 2001. godine u konfiguraciji oklopnog transportera naoružanog mitraljezom 12,7 mm na kupoli. Posle toga, prototip Pirana IV prolazio je sveobuhvatna ispitivanja u Švajcarskoj, opreman je brojnim drugim naoružanjem, uključujući i kupole sa topovima 25 mm i 30 mm firme Delco Systems.

MOWAG sada radi drugi prototip vozila Pirana IV 8 × 8, koje će biti kompletirano u Švajcarskoj krajem ove godine. Ono će imati određena poboljšanja, uključujući i poboljšanja pogonske grupe, koja su rezultat opitovanja sa prvim prototipom.

Sa povećanjem nosivosti Pirana IV je prilagođena za mnogo širi spektar borbenih zadataka nego njeni prethodnici. Bez naoružanja, dodatnog oklopa i posade, masa vozila iznosi 15 000 kg. Ukupno, sa maksimalnom oklopnom zaštitom i celokupnim naoružanjem i municijom, masa vozila biće 25 000 kg.

Sa kupolom za top 30 mm vozilo Pirana IV svrstava se u red borbenih vozila pešadije više nego u oklopne transportere. Nivo B oklopne zaštite omogućava zaštitu vozila od pancirne municije 7,62 mm i 12,7 mm kružno za 360°, dok je frontalna zaštita od pancirne municije 25 mm i 30 mm. Pod vozila obezbeđuje zaštitu od protivtenkovskih mina mase 8 kg.

Standardna verzija Pirane IV obuhvata poluautomatsko hidropneumatsko elastično oslanjanje, dizel motor MTU snage 400 kW automatsku transmisiju, sistem protiv blokiranja kočnica, centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima i digitalizovan sistem informacija za vozilo.

Pirana IV može da se opremi i savremenim sistemom za obezbeđenje potrebnih životnih uslova, koji obuhvata kondicioniranje vazduha, NHB zaštitu, grejač i sistem za otkrivanje i gašenje požara.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA BMP-2 U RUSIJI*

Ruski biro KBP razvio je i testirao poboljšani sistem naoružanja za borbeno vozilo pešadije BMP-2.

Vozilo BMP-2, koje je uvedeno u upotrebu kasnih sedamdesetih godina, naoružano je topom 30 mm 2A42, spregnutim mitraljezom 7,62 mm PKT i na krovu montiranim lanserom za protivtenkovske vođene rakete (PTVR) 9M113 Konkurs. Rezervne tri rakete smeštene su u kupolu, i ručno se postavljaju na lanser. Njihov maksimalni domet je 4000 m. Pošto imaju poluautomatski sistem vođenja, nišandžija mora da drži nišan na cilju sve dok ga raketa ne pogodi. Glavni nedostatak sistema jeste da je nišandžija izložen dejstvu protivničke vatre sve dok koristi lanser, i što sistem vođenja može da se ometa. Prva generacija raketa 9M113 Konkurs imala je samo jednu bojnu glavu koja ne može da probije najnovije oklopne sisteme.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 2. mart 2003.

Modernizovani i poboljšani BMP-2 je zadržao top 30 mm 2A42, ali su na obe strane kupole ugrađena po dva lanse- ra za PTVR 9M113 Kornet-E, uz dodat- ne tri rakete smeštene u kupoli koje se ručno postavljaju na lanser.

Novije rakete Kornet imaju sistem sa laserskim vođenjem koji se mnogo te- že ometa. One imaju maksimalni domet 5500 m, i mogu se opremiti tandem PT bojnim glavama (9M133-1) radi unište- nja ciljeva opremljenih eksplozivnim re- aktivnim oklopom (ERA). Druge rakete (9M133F-1) imaju termobaričnu bojnu glavu, a efikasne su protiv fortifikacijski utvrđenih objekata.

Rakete sa tandem PT bojom gla- vom probijaju čelični oklop zaštićen si- stemom ERA, debljine 1000–1200 mm.

Na zadnjem delu kupole vozila ugrađen je automatski bacač granata 30 mm AG-30, kojim se upravlja iz unutra- šnjosti kupole. Njegov komplet iznosi 300 zrna spremnih za upotrebu, a efika- san domet mu je 1700 m. Bacač granata koristi se za brzo neutralisanje vatre jedi- nica i lakih vozila.

Prethodni top 30 mm 2A42 koristio je pancirnu i rasprskavajuću municiju, sa borbenim kompletom od 500 zrna. Nova municija 30 mm, koja je skoro razvijena, uključuje pancirnu municiju tipa APDS (armour-piercing discarding sabot) i no- vu rasprskavajuću municiju HEF (high- explosive fragmentation).

Nišandžija, ima novi stabilizovani nišan, koji je u kompletu sa kompjuteri- zovanim sistemom za upravljanje va- trom. Dnevni nišan uveličava 12 puta, a noćni kanal 2,5 puta, i ima pojačivač sli- ke druge generacije. Laserski daljinomer

je integrisan u nišan, i meri rastojanja od 200 do 10 000 m. Sistem takode ima, automatsko praćenje cilja, a komandir iz kupole kontroliše i prostor iza vozila. Po- daci o položaju vozila i atmosferi auto- matski se uvode u kompjuter.

Mnogi podsistemi modernizovanog BMP-2 već se koriste na drugim aplika- cijama i dobro su provereni.

Poboljšani BMP-2 može da dejstvu- je po stacionarnim i pokretnim ciljevima, kako sa zemlje tako i sa vode, na udalje- nostima do 5500 m, danju i noću.

Osim poboljšane kupole, za BMP-2 KBP je ranije razvio poboljšane kupole za tenkove T-54, T-55, T-62 i T-72. On je, takode, razvio poboljšane kupole za teža borbena vozila pešadije BMP-3, ko- je su naoružane topom 100 mm, topom 30 mm i mitraljezom 7,62 mm. Ta kupo- la može da se ugradi na brojne šasijske gu- seničara i točkaša i spremna je za opito- vanje na BMP-3 i oklopnim transporteri- ma BTR-90, 8 × 8.

Takode, kompanija KBP razvila je i uspešno ispitala kupolu za jednog člana, naoružanu topom 30 mm, mitraljezom 7,62 mm PKT i 4 rakete Kornet-E spremne za lansiranje.

M. K.

<<<<>>>>

POSLEDNJE PRIPREME ZA BUDUĆI BORBENI SISTEM*

Armija SAD završila je seriju de- monstracija iz programa svog budućeg borbenog sistema FCS (Future Combat Systems), namenjenih da smanje tehno-

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 9. april 2003.

loške rizike i dobiju odobrenje Ministarstva odbrane za nastavak sledeće faze razvoja.

Završne demonstracije uključivale su simulaciju i stvarna ispitivanja radi prikaza kako bi armijske snage trebalo da se bore kada su naoružane ovim sistemima, sa posadom ili bez nje. Taj događaj označio je kulminaciju koncepta i faze tehnološkog razvoja FCS, a nadgledao ga je vodeći sistemski integrator – firma Boeing/SAIC.

Armija čeka na važnu odluku Ministarstva odbrane, prema kojoj bi se potvrdilo da li će se nastaviti sistemski razvoj kako je planirano. To je od velikog značaja jer svako odgađanje može poremetiti planove po kojima bi se FCS uveli u upotrebu 2008. godine. Prema toj odluci očekuje se da se objavi da li najviši zvaničnici daju prelazne ocene i ukupnim planovima transformacije armije.

Istaknuto je da će FCS na bojnopolju biti jednako efikasan kao današnji osnovni borbeni tenk M1, posedovati visok nivo situacionih podataka, veći dolet i preciznost vatre.

Vežbe su pokazale pokretnu borbenu komandu i kreiranje koordinirane zajedničke operativne slike kroz sistem nazvan „Ratnik – mašina“ (Warfighter – Machine Interface).

Upotreba sistema bez posade daje komandantima više podataka o ciljevima na bojnopolju i drži vojnike dalje od rizičnih situacija. Aktivna i pasivna zaštita sistema štiti platforme bez potrebe za korišćenjem teških oklopa. Jedinice na vozilima FCS, mase 20 t ili manje, razvijale su se i do 12 puta brže od brigada opremljenih tenkovima M1 (Abrams),

borbenim vozilima M2 Bradley i drugim borbenim sistemima. Međutim, razvojni scenario pretpostavlja da jedinica bude prvenstveno transportovana vazдушnim putem. Teške armijske jedinice danas se prebacuju, uglavnom, pomorskim putem, jer sredstava za vazdušni transport nema dovoljno, što je pokazala i operacija u Iraku, a ubuduće se očekuje da taj problem bude i veći.

Navedene demonstracione vežbe pokazale su i druge potrebe, kao što su manjak baterija PVO ili bataljona za brza dejstva u brigadama opremljenim budućim borbenim vozilima FCS.

M. K.



IRANSKI OKLOPNI TRANSPORTER BORAQ*

Iranska Organizacija odbrambene industrije ponudila je dva vozila za izvoz – samostalno proizvedeni ruski tip borbenog vozila pešadije BMP-2 i samostalno razvijeni oklopni transporter Boraq.

Prva verzija oklopnog transportera Boraq imala je otvorenu kupolu naoružanu mitraljezom 12,7 mm i obezbeđivala kružnu zaštitu za operatora. Iran je nedavno razvio pojačani kompozitni oklopni paket za transporter Boraq koji može brzo da se postavi na prednji deo korpusa radi zaštite od pancirne municije 30 mm. Bez njega vozilo obezbeđuje zaštitu od pancirne municije 12,7 mm.

Šasija vozila Boraq slična je ruskom BMP-1, ali mu je unutrašnjost sasvim drugačija. Na ruskom vozilu ukrncni deo

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 9. april 2003.

posade je smešten u sredini vozila i okrenut je spolja, a glavni rezervoar za gorivo je pozadi. U Boraqu se klupe za posadu nalaze sa obe strane vozila, dok je prostor između njih slobodan za smeštaj dodatne opreme.

Torzione osovine su iste kao kod BMP-1, ali su osloni točkovi identični kao na američkom oklopnom vozilu M113, koji je u Iran izvezen pre mnogo godina.

Druga varijanta vozila Boraq koja je uvedena u proizvodnju opremljena je kupolom za dva člana posade, i veoma je slična onoj koja je ugrađena na rusko borbeno vozilo pešadije BMP-2. Naoružana je topom 30 mm, spregnutim mitraljezom 7,62 mm i na krovu montiranim lanserom za protivtenkovske vođene rakete.

Standardna oprema na svim verzijama vozila Boraq uključuje puškarnice, opremu za zadimljavanje, žiroskopski indikator upravljanja, sistem za NHB zaštitu i sistem za detekciju i prikrivanje vatre.

Varijanta Boraq prikazana na izložbi IDEX 2003 u Abu Dabiju bila je opremljena i sistemom za kondicioniranje. Vozilo je amfibijsko i pogoni se na vodi sopstvenim gusenicama posle minimalnih priprema. Takođe, završen je razvoj i drugih varijanti, i moguće je otpočeti sa proizvodnjom čim stignu zahtevi. Varijante obuhvataju municijski, sanitetski i minobacački transporter. Municijski transporter trebalo bi da se koristi za podršku domaćeg samohodnog oruđa 122 mm Raad, koji koristi i neke podsisteme sa vozila Boraq.

M. K.

PREORUŽAVANJE TENKA M60 U JORDANU*

Verzija tenka M60A3 sa novim oklopom i topom biće prikazana na izložbi IDEX 2003. Jordanski kraljevski projektni i razvojni biro (KADDB) razvio je ovu varijantu u saradnji sa američkom firmom Raytheon i švajcarskom RUAG.

Preimenovan u Feniks (Phoenix) ovaj tenk sada ima RUAG-ov top 120 mm sa glatkom cevi, i odgovarajući Raytheonov sistem za upravljanje vatrom. Novi koncept obuhvata i izmenjenu kupolu i oklopnu zaštitu.

Komplet modularnog oklopa Feniks nivo 3, treba da obezbedi dodatnu zaštitu od zrna 120 mm, bombica iz kasetnih bombi i od mina. Nova spoljašnjost kupole smanjuje radarski odraz tenka i olakšava postupke za dalje smanjenje IC i vizuelne slike.

Unutrašnjost kupole je ispod spoljašnjeg oboda oklopa. Zadnji deo kupole ima proširenje u koje se mogu smestiti 22 granate 120 mm. Proširenje će imati „izduvne panele“ i biće odvojeno od odeljenja za posadu oklopnim vratima.

Jordanske oružane snage preuzele su isporuku svoje prve operativne čete od 14 tenkova Feniks februara ove godine. Ti tenkovi imaju originalni top 105 mm M68 i Raytheonov sistem za upravljanje vatrom, što znatno poboljšava verovatnoću pogađanja pri gađanju iz pokreta, i povećava mogućnosti pri dejstvima noću uvođenjem termovizije za nišandžiju.

Bataljon sa 44 tenka treba da bude potpuno preuređen do sredine 2003. godine, a obezbeđena su sredstva za preoružavanje još jednog bataljona. Takođe, plani-

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 5. mart 2003.

ra se i preoružavanje tenka Falkon II, na kojem se kombinuje oklop tenka Čelinđer sa novom niskoprofilnom kupolom, slično tenku Feniks nivo 2 ili 3, sa glatkocevnim topom 120 mm RUAG L50.

Biro KADDB projektuje i kupolu tenka Falkon zajedno sa južnoafričkim MDB (Mechanology Design Bureau), i ugrađuje automatski punjač za 11 zrna, koji izrađuje kompanija FHL Claverham iz Velike Britanije.

M. K.

<<<◇>>>

NOVI KINESKI BRODSKI TOPOVSKI SISTEM*

Obelodanjeni su detalji novog broskog oružnog sistema za blisku borbu tipa 730, koji je razvio Kineski istraživački institut 713.

Sistem koristi sedmocevni top 30 mm. Senzori za upravljanje vatrom ugrađeni su na radar za praćenje EFR-1, koji je korišćen i na postojećem dvocevnom topovskom sistemu 37 mm, i elektrooptički sistem za praćenje, sličan sistemu OFC3, koji je razvio Institut za elektrooptičku tehnologiju Hua Zhong. Sistem OFC3 sadrži termovizor, TV kameru i laserski daljinomer.

Domet detekcije ciljeva u vazdušnom prostoru površine 2 m² iznosi 15 km, i povećava se na 20 km za ciljeve površine 10 m².

Ovaj topovski sistem do sada nije ugrađivan na brodove kineske mornarice, a postoje indicije da je namenjen za sisteme PVO na novom razaraču tipa 052B, koji je sada u izgradnji.

M. K.

<<<◇>>>

POBOLJŠANO BORBENO VOZILO STALKER 2T*

Belorusija je na Izložbi vojne opreme IDEX u Abu Dabiju marta ove godine prikazala svoje poboljšano borbeno vozilo Stalker 2T. Prvi put je Stalker 2T prikazan na IDEX-u 2001. godine, privukavši interes nekih zemalja Srednjeg Istoka.

Na poboljšanjima ovog vozila i pripremi za eksport radile su firme Monitor (kao nosilac ugovora) i Pelang (nišanski sistem) iz Belorusije i KBM (rakete zemlja – vazduh i sistem protivtenkovskog vođenog oružja) iz Rusije.

Zaštita posade poboljšana je rekonfiguracijom borbenog odeljenja. Komandir i nišandžija prebačeni su iz kupole u unutrašnjost oklopnog tela, čime je poboljšana njihova ukupna zaštita. Oklop varene čelične konstrukcije, štiti od pancirnih projektila kalibra 35 mm. Unutrašnjost vozila oklopljena je do standarda osnovnog borbenog tenka sa pojačanom zaštitom od protivtenkovskih mina.

Poboljšani Stalker ima pasivni sistem za osmatranje noću i senzore za lasersko zračenje na oklopu, koji aktiviraju osvetljivače čim se otkrije dejstvujući laserski snop.

Vozilo ima višenamensko naoružanje koje omogućava njegovu upotrebu kao adekvatno protivtenkovsko ili protivavionsko sredstvo.

Konvencionalno naoružanje čini stabilizovani top 30 mm (sa kompletom od 500 zrna municije), mitraljez 7,62 mm (sa kompletom od 2000 zrna) i bacač granata 30 mm (sa kompletom od 166 zrna), a svaki od njih mogu upotrebiti komandir i nišandžija.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 12. mart 2003.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 19. mart 2003.

Kupola ima i dva dvocevna uvlačeća lansera za dejstvo po udaljenim ciljevima. Kontejner sa dve rakete Igla/Igla 1 (princip opali i zaboravi) smešten je desno, sa rezervom od 10 raketa.

Lanser za protivtenkovske vođene rakete Ataka montiran je sa desne strane, a u kompletu se nalazi 12 raketa.

Savremeni optronički kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom omogućava istovremeno otkrivanje, selekciju i praćenje ciljeva na zemlji i u vazdušnom prostoru, danju i noću.

Masa vozila iznosi 24,7 t, maksimalna brzina 35 km/h, a akcioni radijus po putevima 1000 km.

Vozilo poseduje dizel motor u kompletu sa hidromehaničkom transmisijom, a hidropneumatsko ovešanje omogućava vozaču da prilagođava klirens od 130 do 570 mm. Za vožnju unazad koristi se TV kamera.

M. K.

<<<◇>>>

LAKO VOZILO ZA NEMAČKE SPECIJALNE SNAGE*

Firma Rheinmetall Landsysteme isporučila je nemačkim specijalnim snagama prvo od 21 ugovorenog lakog vozila koja su namenjena za specijalne operacije.

Firma RLS je prvi put prikazala lako vozilo pešadije za specijalne operacije na Izložbi IDEX u Abu Dabiju i tada ga ponudila za prodaju.

Lako vozilo pešadije za specijalne operacije izrađeno je na bazi najnovijih verzija standardnih šasija vozila G – klase firme Daimler Chrysler. Njihov motor,

zapremine 2,7 litara CDI, koji ispunjava ekološke standarde EURO III, obezbeđuje ekonomičnu potrošnju goriva. Predviđeno je da vozilo opslužuje četvoročlana posada, uključujući vozača.

Vozilo je opremljeno postoljem koje je pogodno za ugradnju oružja, kao što je teški mitraljez 12,7 mm ili automatski bacač granata 40 mm. Postolje sa oružjem može da se složi i spusti niže u vozilo pri avio transportu. Takođe, vozilo može da se opremi i mitraljezom 7,62 mm, a može se transportovati i teškim helikopterom CH-53.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA LOVACA Su-27 U RUSKOM VAZDUHOPLOVSTVU*

Mada se modifikovane verzije borbenih aviona, koje izrađuju ruski konstrukcioni biro, često prezentuju javnosti, retko se dešava da se oni nađu u operativnoj upotrebi.

Izuzetak predstavlja prva serija od 12 lovaca tipa Su-27 koji se modernizuju u pogonima fabrike u Komsomolsku na Amuru. Avion Su-27 ruskih vazduhoplovnih snaga dobiće kokpit identičan prvoj kabini modela Su-30 MKI isporučenog Kini, što pored nekoliko displeja podrazumeva i dejstvo preciznovođenim sredstvima tipa vazduh-zemlja. Letna testiranja ovih aviona uskoro treba da počnu u opitnom centru u Ahtubinsku.

S. V.

<<<◇>>>

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 19. mart 2003.

* Prema podacima iz Air Forces Monthly, mart 2003.

RUMUNIJA POVLAČI IZ UPOTREBE LOVCE MiG-29*

Uprkos najavama da Rumunija planira modernizaciju postojeće flote aviona tipa MiG-29, Ministarstvo odbrane je januara 2003. godine obelodanilo da će uskoro iz upotrebe povući 18 lovaca MiG-29 koji se sada nalaze u 57. lovačkoj bazi nadomak Konstance. Umesto njih u toj bazi naći će se modernizovani borbeni avioni tipa MiG-21 Lanser.

Ministarstvo odbrane je u svom obraćanju naglasilo da će avioni MiG-21 u naoružanju biti zadržani do 2010. godine, kada će biti zamenjeni savremenijim višenamenskim avionom. Takođe, Rumunija namerava da poveća broj transportnih aviona tipa C-130 Herkules.

S. V.



MODERNIZACIJA TRANSPORTNIH AVIONA AN-26 U SLOVAČKOJ**

Slovački remontni zavod u Trenčinu nedavno je dobio posao koji se odnosi na modernizaciju slovačkih transportnih aviona tipa AN-26. Suština poboljšanja svodi se na ugradnju savremenije avionike. Tako se, na primer, zamenjuju ruske radio-stanice, radio-kompas i drugi pojedini navigacijski uređaji. Cilj modernizacije je, pre svega, usklađivanje sa savremenim standardima vazdušnog saobraćaja, ali i standarda NATO.

Modifikovani avioni AN-26 će u kabini imati dva kolor-displeja, transponder, radio-magnetni indikator, GPS, TA-

CAN, rezervni veštački horizont i predajnik za slučaj nužde. Nova avionika smanjuje masu praznog aviona za 92 kg, a zahteva i znatno manje energije. Smatra se da će ova modernizacija biti obrazac za buduće zahvate na ostalim vazduhoplovima slovačkog vazduhoplovstva.

S. V.



NASTAVAK RAZVOJA ŠKOLSKOG AVIONA Jak-152*

Rukovodstvo konstruktorskog biroa Jakovljević odlučilo je da nastavi sa razvojem novog klipnog školskog aviona Jak-152. Ovaj vazduhoplov svojevremeno je bio ponuđen na konkursu ruskog vazduhoplovstva za novi školski avion namenjen početnoj i osnovnoj obuci pilota. Mada je pobedu odneo suparnički Su-49 smatra se da i program razvoja aviona Jak-152 ima perspektivu, posebno na inostranom tržištu koje može da prihvati nekoliko stotina aviona ove kategorije.

Jak-152 se po konstrukciji zasniva na avionu Jak-54. Opremljen je motorom M-14K, snage 265 kW. Kabina bi trebalo da bude identična kokpitu novog ruskog mlaznog aviona za naprednu obuku Jak-130. Maksimalna masa aviona Jak-152 iznosi 1320 kg, maksimalna brzina 380 km/h, a dolet 1000 km.

Očekuje se da će nastavak razvojnog programa zahtevati ulaganja od 2 do 3 miliona dolara. Vreme izrade prototipa nije precizirano, a zavisiće od priliva sredstava.

S. V.



* Prema podacima iz Air Forces Monthly, mart 2003.

** Isto.

* Prema podacima Interfax-AVN, 4. april 2003.

PRVI LET INDIJSKOG ŠKOLSKOG AVIONA HJT-36*

Dugo očekivani prvi let novog indijskog školskog aviona HJT-36 odigrao se marta ove godine iznad Bangalora.

Ovaj avion, namenjen prelaznoj letačkoj obuci, proizvodi firma HAL. Pogonsku grupu aviona čini jedan turboventilatorski motor tipa Snekma Larzak 04H20. HJT-36 trebalo bi da u indijskom ratnom vazduhoplovstvu i mornarici zameni oko 200 aviona tipa HJT-16 Kiran, koji se u operativnoj upotrebi nalaze već oko 30 godina i služe za različite stepene obuke.

Avion HJT-36 je od odluke za razvoj do prototipske forme doveden za samo tri i po godine, što je izuzetan rezultat u odnosu na program indijskog lakog borbenog aviona LCA čiji je projekat praćen mnoštvom problema i kašnjenja. Sam prototip proizveden je za 18 meseci. Indijski RV već je naručio 12 aviona HJT-36 kojim će biti opremljena indijska akro-grupa Suraja-Kiran.

S. V.



IZGRADNJA NOVIH NOSAČA AVIONA U VELIKOJ BRITANiji**

Krajem prošle godine Velika Britanija je donela odluku o izgradnji dva nova nosača aviona. Nosači, očekivanog deplasmama od oko 60 000 tona, biće najveći i najmoćniji brodovi ikada izgrađeni u Velikoj Britaniji. Na njihovoj palubi nalaziće se avioni Lokid Martin F-35B odnosno, Joint Combat Aircraft, kako se označavaju u Britaniji. Vrednost ovog posla procenjuje se na 2,9 milijardi funti sterlinga, ali

će kroz njihov upotrební vek i planirane modernizacije cena značajno porasti. Novi nosači aviona dužine 289 metara zamenice u Britanskoj Kraljevskoj floti tri postojeća broda iste namene – Illustrious, Invincible i Ark Royal.

S. V.



PRVI LET FRANCUSKOG HELIKOPTERA TIGAR*

Prvoproizvedeni borbeni helikopter Tigar, firme Eurocopter, izvršio je prvi let u južnoj Francuskoj marta ove godine, nakon čega će uslediti početne isporuke vazduhoplovnom korpusu francuske armije.

Francuska je naručila 80 helikoptera u jurišno-zaštitnoj varijanti i verziji za vatrenu podršku. Prva dva helikoptera biće isporučena u ovoj godini, narednih osam 2004. godine, a sledećih 10 u 2005. i 2006. godini.

Programski partner Nemačka takode će ove godine primiti prve primerke od planiranih 80 helikoptera Tigar. Australija je prvi inostrani kupac sa porudžbinom od 22 helikoptera u borbeno-izviđačkoj varijanti. Mogući su i naručioci iz Španije i Skandinavskih zemalja.

M. K.



ZEMALJSKI SENZORI ZA VAZDUHOPLOVSTVO SAD**

Brza lokacija i uništenje pokretnih ciljeva na bojnóm polju ostaje jedan od najtežih izazova za vojsku SAD. To je bio slučaj i u nedavnom ratu u Iraku, upr-

* Prema podacima iz Air Forces Monthly, maj 2003.

** Isto, mart 2003.

* Prema podacima iz Janes Defence Weekly, 2. april 2003.

** Isto, 9. april 2003.

kos rezultatima ostvarenim upotrebom bespilotnih letelica, upravljanih inteligentnih aviona i sofisticiranih izviđačkih satelita za praćenje kretanja tenkova i lansera sa raketama zemlja-zemlja.

Da bi se ostvario taj zadatak vazduhoplovne snage SAD će uskoro započeti program ARGUS (Advanced Remote Ground Unattended Sensor) u želji da se stvori familija autonomnih operativnih senzora koji bi mogli da se pozicioniraju na mestima kao što su ključne tačke i mostovi na putevima, a radi snimanja ciljeva i slanja podataka na neki od operativnih centara u vazдушnom prostoru u realnom vremenu.

Prema tvrdnjama stručnjaka iz Centra za elektronske sisteme Vazduhoplovne baze Hanscom, Massachusetts, program ARGUS povećava mogućnost njihovih manjetrajnih senzora, delujući kao „tip-off“ senzor (upozoravajući) i ukazujući komandantima na bojnom polju gde da traže neprijatelja.

Jedinica ARGUS imaće sopstveni pogon i biće sposobna za samokontrolu, sa dvostranom komunikacijom i akumuliranjem podataka. Ona će slati informacije putem distribucione opšte zemaljske stanice za slanje podataka do komandanata.

Predlog za industrijsku proizvodnju sistema ARGUS očekuje se uskoro, a prvi sistemi pojaviće se, verovatno, već 2004. godine. Program sadrži i opciju za potrebe mornarice.

Vojnici na zemlji i u avionu moći će da razviju senzore ARGUS. U početku

će se integracija vršiti pomoću višenamenskog lovca F-16, a zatim eventualno i drugim. Poboljšani blokovi mogli bi uključiti modele koji osećaju seizmičke, akustičke, magnetne, termičke, elektromagnetne, elektrooptičke, radio, radiološke, hemijske i biološke signale.

Armija SAD zainteresovana je i za razvoj i širenje ovih senzora kao dela programa budućih borbenih sistema.

M. K.

<<<◇>>>

BOMBA GBU-38 PRED POČETKOM SERIJSKE PROIZVODNJE*

Boing je nedavno započeo testiranja bombe GBU-38 koja je nastala na bazi poznate avio-bombe Mk 82, mase 227 kg. GBU-38 pripada porodici JDAM bombi, što znači da se na cilj navodi kombinacijom GPS/INS navigacijskih sistema. Nakon ispitivanja na taktičkim avionima F/A-18 i F-16 započeto je ispitivanje i na stratezijskom bombarderu B-2 u rejonu baze Edvards u Kaliforniji.

Prema dostupnim podacima, u jednom od testova sa aviona B-2 u jednom letu odbačeno je 16 bombi i to na različite ciljeve. Bombe su se, inače, nalazile na četiri nosača koji su sposobni da potkače i do 20 bombi. Pošto se ispitivanja odvijaju po planu i privode se kraju, početak serijske proizvodnje bombe GBU-38 očekuje se veoma brzo.

S. V.

<<<◇>>>

* Prema podacima iz Air Forces Monthly, maj 2003.

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Vojske Srbije i Crne Gore, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i razvoj, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Vojske Srbije i Crne Gore.

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

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

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

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

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

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima Vojske Srbije i Crne Gore.

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

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

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Mirko Obradović

Lektor
Dobрила 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)