

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Zastupa direktora
Pukovnik
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

UREĐIVAČKI ODBOR

Pukovnik
dr VLADO RADIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

Pukovnik
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr BRANKO KOVAČEVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr SLOBODAN JARAMAZ, dipl. inž.

Profesor
dr LAZAR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
LJUBOMIR SAMARDŽIĆ, dipl. inž.

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

Pukovnik
dr VASILIJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr BRANISLAV JAKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr JUGOSLAV RADULOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr ZORAN FILIPOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr JUGOSLAV SRNDOVIĆ, dipl. inž.

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

* * *

Glavni i odgovorni urednik

Pukovnik
sc Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 300-60-23)

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 2641-795, vojni 23-497)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

E-mail: vtg@viz.vj.yu

Pretplata tel.-fax: 3612-506, tekući račun:
840-51845-846 RC SMO Topčider – za VIZ,
poziv na broj 054/963

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

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

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



2

GODINA LIV • APRIL–JUN 2006.

SADRŽAJ

Dr Dragoslav Ugarak, pukovnik, dipl. inž.	OCENA DALJINE CILJA U TOKU PRAĆENJA VIDEO SEN- ZORIMA	141
Mr Stevan Boarov, pukovnik, dipl. inž.	OCENA TAČNOSTI SISTEMA SAMOVOĐENJA RAKETE ZEMLJA-VAZDUH	151
Mr Zvonko Radosavljević dipl. inž.	ANALIZA GREŠKE U ALGORITMIMA ZA PRAĆENJE PO- KRETNIH CILJEVA PRIMENOM ALGORITMA GNN	160
Mr Luka Grbović, pukovnik, dipl. inž. Slaviša Stoilković, potpukovnik, dipl. inž.	ANALIZA REZULTATA ODREĐIVANJA SADRŽAJA STA- BILIZATORA U PRIRODNO STARENIM BARUTIMA	168
Dr Radun Jeremić, pukovnik, dipl. inž.	PRIVREDNI EKSPLOZIVI I NEKI ASPEKTI NJIHOVE PRAKTIČNE PRIMENE	181
Dr Žarko Barbarić, dipl. inž. mr Boban Bondžulić, kapetan, dipl. inž.	STATISTIČKA ANALIZA TERMOVIZIJSKE I TELEVIZIJ- SKE SLIKE I PRAG DETEKCIJE POKRETA NA SCENI	191
Dr Radomir S. Gordić, pukovnik, dipl. inž. Boriša Jovanović, student, Đuro Alfirević, student	IZBOR OPTIMALNOG PUTA ZA KRETANJE ORGANI- ZOVANOG KOLONSKOG SAOBRAĆAJNOG TOKA NA OSNOVU REZULTATA MODELIRANJA	202
Đuro Jovanić, poručnik, dipl. oec.	TESTIRANJE BALISTIČKE OTPORNOSTI ZAŠTITNIH PRSLUKA	214
Sc Goran Prodanović, kapetan	DEMARKACIJA I OBELEŽAVANJE V GRANIČNOG ODSE- KA DRŽAVNE GRANICE IZMEĐU SRBIJE I CRNE GORE I REPUBLIKE MAKEDONIJE	227

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Mobilni topovski sistem CT-CV 105 mm – M. K.	234
Novo autonomno precizno oružje – M. K.	235
Koncept za upravljanje vatrenom podrškom – M. K.	239
Novi odbrambeni sistem THOR – M. K.	240
Artiljerijski upaljači s korekcijom kursa – M. K.	241
Artiljerijski radar Firefinder – M. K.	245
Poboljšani češki BVP-2 – M. K.	246
Modernizacija oklopnih borbenih vozila Turske – M. K.	247
Razvoj novog izviđačkog vozila u Kanadi – M. K.	248
Trenažni helikopter TH-1H – M. K.	249
Kulminacija u razvoju MiG-35 – M. K.	250
Modernizacija avionskih motora AL-31F – M. K.	251
Snajperska puška 12,7 mm Tor – M. K.	252
Bacači granata ASM – M. K.	253
Noćni nišani NS-685C – M. K.	254
Taktička puška Tactical Elite – M. K.	254
Binokularni dvogled Recon III – M. K.	256
Novi finski radio-demonstrator – M. K.	257
Plovilo Stingray bez posade – M. K.	258
Savremeni teški torpedi – M. K.	258
Zaštićeni transportni kontejner TransProtec – M. K.	260
Novi britanski sistemi bespilotnih letelica – M. K.	262

Dr Dragoslav Ugarak,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnički opitni centar,
Beograd

OCENA DALJINE CILJA U TOKU PRAĆENJA VIDEO SENZORIMA

UDC: 621.397 : 623.4.023.4

Rezime:

U radu su opisani kinematski modeli estimacije daljine cilja, dobijene obradom video snimaka u toku praćenja. Analizirani su uticaji šuma procesa na veličinu grešaka estimacije daljine i predložen je metod adaptacije modela, podešavanjem nivoa šuma procesa.

Ključne reči: video senzori, estimacija daljine cilja, kinematski modeli, Kalmanov filter, adaptacija modela na šum procesa.

TARGET RANGE ESTIMATION BASED ON VIDEO SENSOR TRACKING

Summary:

This paper specifies kinematic models of target range estimation based on analyzing video frames during the tracking. The influences of process noise on range estimation accuracy are analyzed, and adaptive estimation method by noise level adjustment is nominated.

Key words: video sensors, target range estimation, estimation for kinematic models, Kalman filter, adaptive estimation, noise level adjustment.

Uvod

Pozicija cilja u prostoru definisana je njegovim pravouglim ili sfernim koordinatama u toku vremena. Koordinate cilja određuju se na osnovu očitavanja parametara sa senzora u toku njegovog praćenja. Najčešće korišćeni senzori za praćenje ciljeva su: nišanski radar, laserski daljinomer, televizijska i termovizijska kamera. Radar i laser su aktivni senzori čije prisustvo se lakše otkriva i ometa od video senzora (TV i TTV kamere) koji rade u pasivnom režimu. Osnovni nedostatak video sistema je velika zavisnost daljine efikasnog praćenja cilja od meteoroloških uslova, ali se mogu efikasno

koristiti na bliskim i srednjim daljinama. Video uređaji u nišanskim sistemima služe za vizuelno otkrivanje i praćenje ciljeva po ugaonim koordinatama. Problem određivanja daljine cilja, bez upotrebe aktivnih senzora, može se rešiti na osnovu poznavanja dimenzija cilja metodama projekтивne geometrije. Za uspešno praćenje cilja odlučujući značaj ima tačnost određivanja koordinata cilja. Merenja koordinata cilja opterećena su šumovima i greškama, pa je potrebno izvršiti uravnavanje (filtriranje) merenih podataka radi dobijanja valjane ocene pozicije cilja u toku praćenja. Da bi se ocenjivanje pozicije cilja izvršilo dovoljno kvalitetno, potrebno je da merenja budu izvedena sa

određenom tačnosti i učestanosti i da su poznate statističke karakteristike grešaka i šumova merenja. U radu je opisan postupak merenja pozicije cilja primenom video senzora i matematički modeli za obradu podataka merenja radi dobijanja optimalnih ocena pozicije cilja u toku praćenja.

Senzori za praćenje cilja

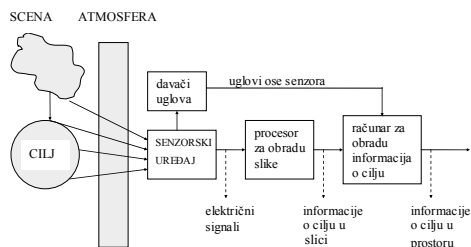
Senzori za praćenje ciljeva su uređaji namenjeni da izvrše transformaciju energije elektromagnetnih talasa, koji nose informaciju o cilju, u električne signale koji treba da omoguće detekciju, prepoznavanje i identifikaciju cilja i određivanje njegovih koordinata i orijentacije u prostoru. Daljom obradom ovih informacija u računarima SUV-a, pomoću pogodnih algoritama, formiraju se signali upravljanja.

Senzorski podsistem za prikupljanje i obradu informacija o cilju podrazumeva par senzorski uređaj – procesor (slika 1). Senzorski uređaj obezbeđuje transformaciju elektromagnetnog zračenja koje nosi informaciju o cilju u električne signale, a procesorski uređaj vrši detekciju, prepoznavanje i identifikaciju cilja. Pod detekcijom cilja podrazumeva se utvrđivanje pri-

sustva cilja u vidnom polju senzora. Prepoznavanje je utvrđivanje vrste cilja (na primer – avion, helikopter, bespilotna letelica, raketa, ptica), a identifikacija mogućnost utvrđivanja tipa cilja u okviru utvrđene vrste (na primer, tip aviona i slično).

Kod uređaja za automatsko praćenje ciljeva u vazdušnom prostoru senzorski podsistem obezbeđuje informacije o ugaonoj poziciji cilja u odnosu na osu senzora i daljini do cilja. Pri tome, davači uglova uređaja za praćenje cilja mere uglove azimuta i elevacije ose senzora.

Zahvaljujući svojim poznatim svojstvima televizijski i termovizijski uređaji našli su široku primenu u sistemima za izvidanje, osmatranje i praćenje ciljeva. Kompatibilnost formata termovizijske slike sa standardnim televizijskim formatom omogućava primenu jedinstvenog procesa obrade slike i simultanu obradu slike sa televizijskog i termovizijskog senzora. Njihova komplementarna primena u multisenzorskim sistemima bitno je povećala ukupne mogućnosti primene optoelektronskih nišanskih sistema, danju i noću. Zahvaljujući pasivnom režimu rada znatno je povećana otpornost na ometanje nišanskih sistema. Optoelektronski nišanski sistemi mogu se samostalno koristiti u sistemima PVO na bliskim i srednjim daljinama, a poseban značaj imaju u odbrani od niskoletećih ciljeva.



Sl. 1 – Blok-šema senzorskog podsistema za praćenje cilja

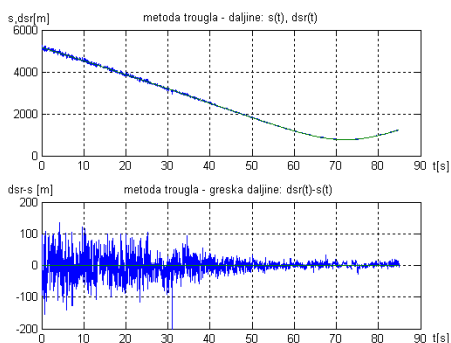
Merenje daljine cilja na osnovu video snimaka

Za određivanje daljine cilja na osnovu video snimaka koriste se metode perspektivne projektivne geometrije, pri čemu je potrebno poznavati prirodnu veli-

činu cilja. Pri tome će biti korišćena metoda lokacije trougla poznatih dužina strana opisana u [2].

Metoda lokacije trougla poznatih dužina strana može poslužiti za određivanje lokacije cilja na kojem se mogu uočiti tri tačke čija su međusobna rastojanja poznata. To su obično vrh, rep i krajevi krila letelice koja se prati i čiji tip i dimenzije su poznati. U [2] je obrađena putanja aviona G2, snimljena „sky track“ teodolitima, koja predstavlja let sa manevrom propinjanja u vertikalnoj ravni.

Za potrebe određivanja daljine cilja sa snimaka TV kamere izvršeno je očitavanje koordinata vrha, dna i vrhova krila aviona u ravni snimka. Određivanje daljine cilja na osnovu poznavanja veličine cilja i koordinata karakterističnih tačaka u ravni snimka (dna, vrha i krajeva krila) izvršeno je metodom lokacije trougla poznatih dužina stranica tako što su formirana četiri trougla i za svaki od njih određena je daljina. Konačna vrednost daljine cilja dobijena je usrednjavanjem vrednosti dobijenih za četiri uočena trougla (slika 2). Kao što se može videti, daljina određena obradom snimaka osciluje oko njene stvarne vrednosti, što je posledica slučajnih grešaka merenja. Odstupanja daljine od njene stvarne vrednosti veća su na većim daljinama, zato što je lik cilja tada sitniji a time je i relativna greška merenja veća. Srednja greška određivanja daljine na rastojanju od 5 do 2,5 km kreće se oko 50 m, a na manjim rastojanjima naglo pada do vrednosti oko 10 m, odnosno do veličine realnog cilja. Vrednosti greške određivanja daljine cilja obradom video snimaka ukazuju na potrebu filtriranja dobijenih podataka.



Sl. 2 – Daljina cilja određena sa snimaka TV kamere

Kvalitet podataka dobijenih obradom snimaka cilja prvenstveno zavisi od kvaliteta i rezolucije slike, odnosno od uticaja šuma u video slici i grešaka kvantizacije video signala.

Estimacija daljine cilja

Iskustva sa senzorskih uređaja za praćenje ciljeva ukazuju na to da svestranost Kalmanovog filtera čini njegovu primenu gotovo obaveznom u problemima kada nedostaju podaci, sa promenljivim statistikama šumova merenja ili pri praćenju manevrišućih ciljeva sa promenljivim dinamičkim mogućnostima. Posebno je pogodna primena sofisticiranih metoda Kalmanovog filtera na probleme praćenja visoko manevrišućih ciljeva [3, 4, 5].

Izbor koordinata praćenja zavisi od primene [3]. Uopšte, sistemi koji koriste više fizički razdvojenih senzora treba da koriste Kartezijeve koordinate. Sferne koordinate su povoljnije za sisteme sa jednim senzorom ili sa više zajedno lociranih senzora. Upotreba sfernih koordinata olakšava razdvajanje filtera po koordinatama, što dovodi do znatnog smanjenja računanja. Razdvojeni filteri daljine i

uglova sa dva stanja primenjuju se radi uravnavanja podataka merenja. Kada se meri samo pozicija uglavnom se koriste filteri sa dva stanja – pozicija i brzina. Upotreba ubrzanja kao veličine stanja generalno se zahteva ako se meri brzina, kao kod radarske radijalne brzine ili ugaone brzine praćenja. Radi predikcije kretanja cilja koristi se filter sa Kartezijevim koordinatama i devet veličina stanja.

Ovde će biti primenjen Kalmanov filter za estimaciju daljine cilja. Pošto se opservacije cilja vrše u diskretnim trenucima vremena, potrebno je da se u estimatoru koriste diskretni modeli sistema. U mnogim aplikacijama koristi se isti model za svaku koordinatu, pod pretpostavkom da se kretanje duž svake koordinate može razdvojiti od drugih koordinata. Šumovi uvedeni za različite koordinate su, po pretpostavci, uzajamno nezavisni sa moguće različitim varijansama.

Široko korišćeni modeli su kinematski modeli izvedeni iz prostih jednačina kretanja sa konstantnom brzinom i konstantnim ubrzanjem [4, 5]. Diskretna dinamička jednačina sistema je:

$$x(k+1) = Fx(k) + \Gamma v(k) \quad (1)$$

gde je: F matrica prelaza, Γ pojačanje šuma dato kao vektor dimenzije n_x , a $v(k)$ skalarna veličina šuma procesa, bela sekvencija nulte sredine sa kovarijansom:

$$E[(\Gamma(k)v(k))(\Gamma(k)v(k))^T] = \Gamma(k)Q(k)\Gamma(k)^T \quad (2)$$

Uvodi se pretpostavka da za vreme svakog perioda uzorkovanja dužine T model drugog reda ima konstantno ubr-

zanje, a da se u modelu trećeg reda ubrzanje uvećava sa sekvencijom belog šuma:

$$\bar{v}(t) = v(k), \quad t \in [kT, (k+1)T] \quad (3)$$

To ubrzanje je intervalno periodično konstantno ubrzanje koje je nekorelisano od perioda do perioda. Jasno je da gornja pretpostavka važi za dati period uzorkovanja T_1 , ali ne mora da važi i za neki drugi period T_2 (osim za celobrojni umnožak od T_1). Pretpostavka zasnovana na modelu periodično konstantnog ubrzanja, kao belog šuma procesa, nije potpuno tačna, nego samo aproksimativno, ali u praksi daje dobre rezultate [4].

Diskretna jednačina merenja, kada su dostupna samo merenja pozicije, data je formulom:

$$z(k) = H(k)x(k) + w(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Ovde je za modele ubrzanja, kao belog šuma drugog i trećeg reda, matrica merenja data sa:

$$H[1 \ 0] \quad \text{ili} \quad H[1 \ 0 \ 0] \quad (5)$$

Autokorelaciona funkcija šumova merenja je:

$$E[(w(k)w(k)^T)] = R(k) \quad (6)$$

Diskretni model približno konstantne brzine

To je model drugog reda u kojem šum procesa $v(k)$ predstavlja konstantno ubrzanje u toku k -tog perioda uzorkovanja dužine T . Uvećanje brzine u toku tog perioda je $v(k)T$, dok je uticaj tog ubrzanja na poziciju izražen sa $v(k)T^2/2$.

Jednačina stanja za model sa periodično konstantnim ubrzanjem drugog reda data je relacijom (1), gde je $v(k)$ beli šum procesa sa nultom sredinom. Stanje modela predstavlja dvodimenzionalni vektor:

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d \\ \dot{d} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Jednačine promene stanja biće:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + x_2(k)T + v(k)T^2/2 \\ x_2(k+1) &= x_2(k) + v(k)T \end{aligned} \quad (8)$$

Jednačina stanja u vektorskom obliku određena je matricama sistema F i G. Tranziciona matrica sistema dobija se u obliku:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Vektor pojačanja skalarnog šuma procesa iznosi:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \quad (10)$$

Kovarijansa šuma procesa uvećanog sa vektorom pojačanja iznosi:

$$Q = \Gamma \sigma_v^2 \Gamma^T = \sigma_v^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{4}T^4 & \frac{1}{2}T^3 \\ \frac{1}{2}T^3 & T^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ovde je σ_v^2 varijansa skalarnog šuma procesa $v(k)$. Fizička dimenzija za šum v i njegovo standardno odstupanje σ_v je ista

kao i za ubrzanje $[m/s^2]$. Promene brzine u toku perioda T su reda veličine:

$$\Delta V = \sqrt{Q_{22}} = \sqrt{T^2 \sigma_v^2} = T \sigma_v [m/s] \quad (12)$$

Ova činjenica može poslužiti da se odredi veličina šuma procesa. Za ovaj model standardno odstupanje šuma procesa mora biti reda veličine ubrzanja:

$$\sigma_v = \frac{\Delta V}{T} = a [m/s^2] \quad (13)$$

Izborom male vrednosti za standardno odstupanje šuma procesa promena brzine biće mala u odnosu na aktuelnu brzinu, pa se tada dobija model *približno konstantne brzine (NCV)*.

Da bi se izloženi model sistema primenio za sintezu Kalmanovog filtera za estimaciju daljine cilja merenu sa video snimaka u toku praćenja, potrebno je odrediti varijanse šuma merenja i šuma modela.

Varijansa šuma merenja daljine cilja sa video snimaka određena je ranije u obliku formule za standardno odstupanje daljine. Standardno odstupanje daljine cilja može se odrediti na osnovu standardnog odstupanja veličine lika cilja i prema [2] iznosi:

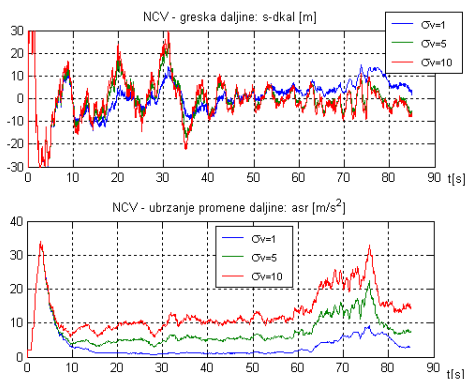
$$\sigma_d = \frac{d^2}{fL} \sigma_l \quad (14)$$

gde je: d daljina cilja, f fokusna daljina izražena u pikselima, koja za upotrebljenu TV kameru iznosi 40 000 piksela, L je dimanzija cilja koja za avion G2 iznosi $L=10$ m, a $\sigma_l=1$ piksel je standardna greška merenja dimenzije cilja na video snimcima.

Smenom ovih vrednosti u jednačinu (14) dobija se da varijansa šuma merenja daljine sa video snimaka iznosi:

$$R(k) = \left(\frac{d(k)^2}{400000} \right)^2 \quad [m^2] \quad (15)$$

Radi određivanja varijanse šuma procesa σ_v potrebno je pretpostaviti veličinu ubrzanja promene daljine cilja, saglasno relaciji (13). Za ilustraciju uticaja veličine ubrzanja promene daljine cilja na kvalitet estimacije daljine urađen je primer sa tri vrednosti ubrzanja, odnosno standardnog odstupanja šuma procesa, i to: $\sigma_v=1$, $\sigma_v=5$ i $\sigma_v=10$ m/s². Dobijene vrednosti greške estimacije u odnosu na daljinu određenu „sky track“ teodolitima (s-dkal) i ubrzanja promene daljine (asr), date su na slici 3.



Sl. 3 – Estimacija daljine cilja prema modelu približno konstantne brzine (NCV)

Sa dijagrama se može videti da je u početnom delu putanje greška određivanja daljine manja kod modela sa manjim standardnim odstupanjem σ_v , a da se sa približavanjem cilja dobija manja greška kod modela sa većim standardnim odstupanjem σ_v . Srednja vrednost ubrzanja na poslednjem dijagramu određena je usrednjavanjem u prozoru od n=50 tačaka, po formuli:

$$asr = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{Vkal(k) - Vkal(k-1)}{T} \quad (16)$$

Dobijeni rezultati pokazuju da srednje ubrzanje menja vrednost saglasno promeni brzine kretanja cilja.

Može se zaključiti da tačnost estimacije veoma zavisi od veličine varijanse šuma procesa, odnosno od pretpostavljene vrednosti ubrzanja promene daljine. Štaviše, pokazuje se da to ubrzanje ima promenljiv karakter, što je potrebno uzeti u obzir pri modeliranju filtera. To se rešava adaptacijom modela estimacije na promenljivi šum procesa.

Diskretni model približno konstantnog ubrzanja

To je model trećeg reda u kojem šum procesa $v(k)$ predstavlja uvećanje ubrzanja u toku k-tog perioda. Pod pretpostavkom da je šum bela sekvenca sa nultom sredinom, ubrzanje je diskretni Wienerov proces. Vektor stanja u ovom slučaju je:

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d \\ \dot{d} \\ \ddot{d} \end{pmatrix} \quad (17)$$

Jednačine stanja ovog modela su:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + x_2(k)T + x_3(k)T^2 / 2 + v(k)T^2 / 2 \\ x_2(k+1) &= x_2(k) + x_3(k)T + v(k)T \\ x_3(k+1) &= x_3(k) + v(k) \end{aligned} \quad (18)$$

Tranziciona matrica sistema dobija se u obliku:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Vektor pojačanja skalarnog šuma procesa iznosi:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \\ 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Kovarijansa šuma procesa uvećanog sa vektorom pojačanja iznosi:

$$Q = \Gamma \sigma_v^2 \Gamma^T = \sigma_v^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{4}T^4 & \frac{1}{2}T^3 & \frac{1}{2}T^2 \\ \frac{1}{2}T^3 & T^2 & T \\ \frac{1}{2}T^2 & T & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Ovde je σ_v^2 varijansa skalarnog šuma procesa $v(k)$. Fizička dimenzija za šum v i njegovo standardno odstupanje σ_v je ista kao i za ubrzanje $[m/s^2]$. Promena ubrzanja u toku perioda T je reda veličine:

$$\Delta a = \sqrt{Q_{33}} = \sqrt{\sigma_v^2} = \sigma_v \quad [m/s^2] \quad (22)$$

Za ovaj model standardno odstupanje šuma procesa treba da bude reda veličine maksimalne promene ubrzanja Δa u periodu uzorkovanja. Izborom malog intenziteta standardnog odstupanja šuma procesa promena ubrzanja biće mala u

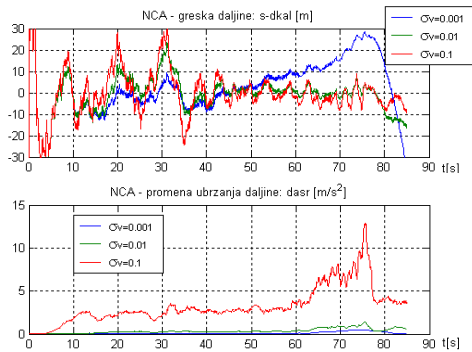
odnosu na aktuelno ubrzanje, pa se tada dobija model *približno konstantnog ubrzanja (NCA)*.

Da bi se izloženi model sistema primenio za sintezu Kalmanovog filtera za estimaciju daljine cilja merenu sa video snimaka u toku praćenja potrebno je, kao i u prethodnom slučaju, odrediti varijanse šuma merenja i šuma procesa. Varijansa šuma merenja daljine cilja $R(k)$ sa video snimaka ranije je određena formulom (15).

Radi određivanja varijanse šuma procesa Q potrebno je pretpostaviti veličinu ubrzanja promene daljine cilja, saglasno relaciji (22). Za ilustraciju uticaja promene ubrzanja promene daljine cilja na kvalitet estimacije daljine urađen je primer sa tri vrednosti promene ubrzanja, odnosno standardnog odstupanja šuma procesa, i to: $\Delta a=0,001$, $\Delta a=0,01$ i $\Delta a=0,1m/s^2$. Dobljene vrednosti greške estimacije daljine (s-dkal), u odnosu na daljinu (s) određenu „sky track“ teodolitima i promene ubrzanja (Δasr) prikazane su na slici 4.

Sa dijagrama se može videti da je u početnom delu putanje greška određivanja daljine manja kod modela sa manjom promenom ubrzanja Δa , a da se sa približavanjem cilja dobija manja greška kod modela sa većom promenom ubrzanja. Srednja vrednost promene ubrzanja Δasr na poslednjem dijagramu određena je usrednjavanjem u prozoru od $n=50$ tačaka, po formuli:

$$\Delta asr = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [a_{kal}(k) - a_{kal}(k-1)] \quad (23)$$



Sl. 4 – Estimacija daljine cilja prema modelu približno konstantnog ubrzanja (NCA)

Dobijeni rezultati pokazuju da promena ubrzanja zadržava zadatu vrednost u početnom delu putanje i da je sa približavanjem cilju uvećava proporcionalno dinamičnu kretanja cilja, kao što se može videti sa zadnjeg dijagrama na slici 4.

Može se zaključiti da tačnost estimacije daljine i za ovaj model veoma zavisi od veličine varijanse šuma procesa, odnosno od pretpostavljene vrednosti promene ubrzanja daljine. To znači da je potrebno izvršiti adaptaciju modela estimacije na promenljivi šum procesa u toku praćenja cilja.

Podešavanje nivoa šuma procesa

Za praćenje cilja koristi se model u kojem je pretpostavljen određen nizak nivo šuma procesa. Nivo šuma određen je pomoću njegove varijanse. Ako cilj počne da menja način kretanja dolazi do promene ubrzanja koje je modelisano sa šumom procesa. To znači da se pri pojavi manevra u modelu cilja mora menjati intenzitet šuma procesa da bi se model prilagodio novim vrednostima ubrzanja cilja.

Kod estimacije daljine cilja, čak i kada se cilj kreće konstantnom brzinom a približava video senzoru, dolazi do promene radialne brzine u odnosu na uređaj za praćenje, što se može smatrati pojavom manevra. Praktično, to znači da se sa približavanjem cilja prag manevra neprestano menja. Zato se u svrhu adaptacije estimatora u toku praćenja cilja predlaže stalno određivanje ubrzanja promene daljine cilja radi prilagođavanja nivoa šuma procesa.

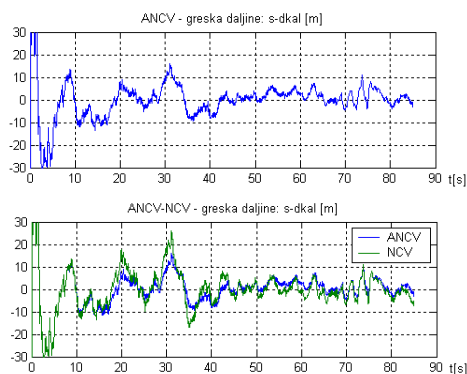
Na osnovu dijagrama grešaka estimacije daljine (s-dkal) na slikama 3 i 4 zaključuje se da je potrebno uvesti promenljivu vrednost za standardno odstupanje šuma procesa σ_v , saglasno promenama ubrzanja (asr), odnosno priraštaja ubrzanja (Δasr) u toku praćenja cilja, kako bi greška određivanja daljine u početnom delu putanje odgovarala modelu sa manjim σ_v , a u završnom delu sa većim σ_v . To se rešava adaptacijom modela estimacije na promenljivo ubrzanje.

Kod modela sa približno konstantnom brzinom (NCV), nakon inicijalizacije Kalmanovog filtera, uz pretpostavku nižeg nivoa varijanse šuma procesa $\sigma_v^2=1$, izračunavaju se srednje vrednosti ubrzanja promene daljine cilja $asr=\Delta V/T$, u kliznom prozoru, po formuli (16). Posle izračunavanja prve vrednosti asr uvođi se nova vrednost za varijansu šuma po formuli:

$$\sigma_v^2 = asr \quad (24)$$

Dijagram greške određivanja daljine nakon izvršene adaptacije estimatora po modelu NCV prikazan je na slici 5. Radi poredjenja rezultata sa estimatorom bez adaptacije po istom modelu, prikazan je

dijagram greške određivanja daljine za adaptivni (ANCV) i neadaptivni (NCV) model. Kao što se može videti, nakon uvođenja adaptacije rezultati estimacije su poboljšani u smislu smanjivanja greške određivanja daljine cilja.

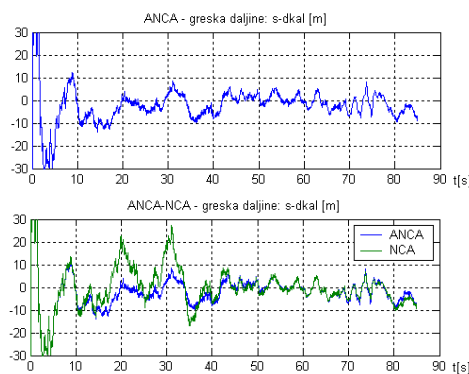


Sl. 5 – Greške daljina za ANCV i NCV modele

Kod modela sa približno konstantnim ubrzanjem (NCA), nakon inicijalizacije Kalmanovog filtera uz pretpostavku nižeg nivoa varijanse šuma procesa $\sigma_v^2=0,0001$, izračunavaju se srednje vrednosti promene ubrzanja Δasr , u kliznom prozoru, po formuli (23). Posle izračunavanja prve vrednosti asr uvodi se nova vrednost za varijansu šuma po formuli:

$$\sigma_v^2 = \Delta asr T \quad (25)$$

Rad estimatora po NCA modelu nakon izvršene estimacije (ANCA) prikazan je na slici 6 u vidu dijagrama greške određivanja daljine i dijagrama grešaka daljine cilja za adaptivni i neadaptivni NCA model. Vidi se da je nakon adaptacije određivanje daljine znatno popravljeno, naročito u početnom delu putanje, gde su greške i bile najveće.



Sl. 6 – Greške daljina za ANCA i NCA modele

Poređenjem rezultata estimacije adaptivnih modela sa približno konstantnom brzinom i približno konstantnim ubrzanjem može se zaključiti da u ovom slučaju kretanja cilja oba modela podjednako dobro estimiraju daljinu cilja.

Zaključak

U radu je izvršena sinteza estimatora daljine cilja u vidu adaptivnog Kalmanovog filtera za dva modela promene daljine, sa približno konstantnom brzinom (ANCV) i približno konstantnim ubrzanjem (ANCA). Konačni rezultati pokazuju da se dobijena daljina cilja veličine 10 m na daljini od 5 km, sa video sistemom fokusne daljine 750 mm, određuje sa tačnošću ± 10 m. To znači da su dobijene vrednosti daljine cilja potpuno upotrebljive za određivanje pozicije cilja u SUV PVO, čak se može reći da su u klasi tačnosti radarskih (5 do 10 m) i laserskih (2 do 5 m) daljinomera. Tačnost određivanja daljine cilja obrnuto je srazmerna fokalnoj daljini video sistema. Znači da će se sa povećavanjem fokusne daljine video sistema povećati tačnost određivanja daljine

udaljenih ciljeva. U datom primeru, povećanjem fokusne daljine na 1500 mm, što postoji kao mogućnost razmatrane kamere, procenjuje se da će tačnost određivanja daljine cilja veličine 10 m na daljini od 8 do 10 km iznositi 10 m. To ukazuje na važan zaključak da je obradom video snimaka cilja moguće dovoljno tačno određivanje daljine aktuelnih letećih ciljeva na zahtevanim daljinama dejstva SUV PVO artiljerijskim oruđima. Primena ove metode moguća je uz upotrebu savremenih digitalnih video kamera i računarskih sistema velikog kapaciteta i brzine obrade podataka. Oni mogu u realnom vremenu da obrade sve podatke sa video slike i izvrše estimaciju sfernih koordinata cilja, azimuta, elevacije i daljine, u periodu formiranja video slike, koji se dalje koriste za predikciju pozicije cilja radi određivanja elemenata gađanja.

U radu je izložena osnovna primena nove metode za potrebe praćenja cilja u pasivnom režimu rada senzora, koji se teško otkriva i ometa. Izložena metoda ima i ograničenja zbog zahteva za apriornim poznavanjem veličine cilja, sensorima viso-

kog kvaliteta video snimaka sa velikim uvećanjem i računarima velike brzine i kapaciteta za obradu velikog broja podataka u realnom vremenu. Ova ograničenja se lako mogu prevazići, pa se preporučuje primena ove metode u SUV PVO samostalno ili kao obavezna dopuna uz postojeće načine određivanja pozicije cilja pomoću aktivnih senzora, radara ili lasera.

Nova metoda za određivanje i estimaciju daljine cilja, postavljena na osnovu obrade video snimaka, može imati veoma široku primenu, kako vojnu, tako i civilnu. Značajno mesto može imati u sistemima za navigaciju pokretnih objekata ili u automatizaciji industrijske proizvodnje i slično.

Literatura:

- [1] Ugarak, D.; Milinović, M.: Error and noise analyses and their influence on the air target tracking and coordinates estimation, Scientific Technical Review, Vol LIII, No.1, 2003.
- [2] Ugarak, D.: Određivanje daljine cilja pomoću video senzora i analiza uticaja grešaka i šuma merenja, OTEH Vojna akademija, Beograd, 2005.
- [3] Blackman, S.: Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Norwood, MA:Artech House, 1999.
- [4] Bar-Shalom, Y.: Estimation With Applications to Tracking and Navigation, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [5] Zarchan, P.; Musoff, H.: Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach, Cambridge, Massachusetts, 2000.

Mr Stevan Boarov,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

OCENA TAČNOSTI SISTEMA SAMOVOĐENJA RAKETE ZEMLJA-VAZDUH

UDC: 623.462.2 : 623.465.3 : 519.245

Rezime:

U ovom članku razmatra se ocena tačnosti sistema samovođenja raketa zemlja-vazduh računarskim simulacijama OFF-LINE. Izvršena je ocena zakona raspodele verovatnoće promašaja, za dva režima gađanja pod različitim početnim uglovima preticanja, kada na sistem deluju poremećaji izazvani slučajnim šumom u glavi za samovođenje. Simulacija je izvedena primenom metode Monte Carlo. Model koji je korišćen za simulacije uključuje linearizovani model kretanja rakete i glavne nelinearnosti sistema vodenja i upravljanja.

Ključne reči: raketni sistem zemlja-vazduh, režim gađanja, ugao preticanja, tačnost sistema samovođenja, totalni promašaj.

EVALUATION ACCURACY FOR HOMING SYSTEM OF GROUND – AIR MISSILE

Summary:

In this paper approach of evaluation accuracy for homing system of ground – air missile is showed by OFF-LINE computer simulations. Two ranges of action under different angles of approach are appraised in the case of the presence of the seeker noise. The probability density function and the root-mean-square estimation of the miss distance are realised by Monte - Carlo methods, using linearized model only of the missiles flight and main nonlinearity of guidance and control systems.

Key words: ground – air rocket system, regime of aim, angle of lead, accuracy of homing system, total miss.

Uvod

Gađanje ciljeva vodenim raketama u vazдушnom prostoru neizbežno je praćeno rasturanjem stvarnih trajektorija od kinematičkih, zavisno od tačnosti sistema vodenja. Tačnost sistema, u ovom slučaju – samovođenja, određuje *tehničku efektivnost* procesa gađanja ciljeva. Osnovni pokazatelj tehničke efektivnosti sistema samovođenja je *totalna verovatnoća uništenja cilja* koju može obezbediti dati sistem. Izrazi za totalnu i uslovnu verovatnoću uništenja cilja, kao i osnovni pokazatelji

kvaliteta sistema samovođenja nalaze se u [1, 2, 3, 4]. Metod ocene statističkih karakteristika tačnosti sistema samovođenja poznat je pod nazivom metod statističkih ispitivanja ili metod *simulacija Monte Carlo* [1, 3, 4]. Suština metoda je u sledećem: ako su tražene veličine jednake parametrima slučajnog procesa, tada je moguće prihvatiti da su vrednosti traženih veličina, na osnovu zakona velikih brojeva, jednake ocenama parametara tog procesa. Ocena parametara dobija se na osnovu statističke obrade skupa realizacija procesa. Ako je, na primer, tražena veličina jed-

naka matematičkom očekivanju nekog slučajnog procesa, njena približna vrednost je, pri dovoljno velikom broju dobijenih nezavisnih realizacija procesa jednaka aritmetičkoj sredini realizacija tog procesa [5]. U zadacima određivanja tačnosti sistema upravljanja, tražene veličine su slučajnog karaktera. Višestrukim ponavljanjem računarskih simulacija modelovanog procesa i posmatranjem izlaznih promenljivih sistema, moguće je sprovesti statističku obradu dobijenih podataka i odrediti neophodne karakteristike sa aspekta verovatnoće. Za dobijanje tačnih i pouzdanih rezultata ovaj metod zahteva vrlo veliki broj računarskih simulacija modelovanog procesa. Neophodno je kreiranje slučajnih funkcija sa zadatim karakteristikama u pogledu verovatnoće. Realizacija slučajnih funkcija izvedena je pomoću generatora slučajnih brojeva, a kvalititet celokupnog procesa u velikoj meri zavisi od karakteristika generatora. Konkretno, u softverskom paketu IMSLIB [5] realizovan je vrlo kvalitetan generator.

Metod simulacija Monte Carlo nema principijelnih ograničenja i primenljiv je za analizu, kako linearnih, tako i nelinearnih sistema koji su opisani sistemima jednačina, tj. modelima. Za primenu ovog metoda potrebno je obezbediti mogućnost višestrukog ponavljanja eksperimenata pri jednakim uslovima i osmotrivost izlaznih promenljivih veličina sistema, a konkretna ograničenja biće obrazložena. U praksi, ovaj metod statističkih ispitivanja koristi se u slučajevima kada se ne zahteva tačnost veća od 10 do 15% [5, 6, 7, 8]. U daljem razmatranju izložena je ideja metoda Monte Carlo za ocenu promašaja sistema samovođenja.

Simulacije Monte Carlo

Simulacije Monte Carlo tradicionalno je poznat metod za analizu nelinearnih sistema i široko se primenjuje pri statističkoj analizi sistema vođenja [1, 4, 8, 9]. Konceptijski se zasniva na direktnoj simulaciji koja podrazumeva određivanje odziva nelinearnog sistema na tipične slučajne poremećaje, koji se generišu prema zadatoj statistici. Sistemi vođenja raketa moraju se razmatrati kao stohastički sistemi, jer su u svom funkcionisanju izloženi delovanju slučajnih poremećaja različitog vida. Za sticanje potpunijeg uvida u ponašanje sistema vođenja u takvim uslovima potrebne su simulacije koje uključuju npr. delovanje slučajnih poremećaja na objekat upravljanja, uticaj šumova merenja senzora, kao i slučajne početne uslove. Time se ispitivani sistem stavlja u uslove koji su bliži realnim. Provedena statistička analiza sistema treba da omogući ocenu kvaliteta sintetizovanih zakona vođenja u smislu obezbeđenja željenih performansi tačnosti vođenja, verovatnoće pogađanja cilja i drugih funkcionalnih (borbenih) mogućnosti.

Konkretno razmatranje statističkih karakteristika vektora promašaja može se dobiti direktnom simulacijom sistema samovođenja sa slučajnim početnim uslovima i slučajnim poremećajima kao ulaznim funkcijama. Radi toga je potrebno poznavati model sistema samovođenja, statističke karakteristike početnih uslova, kao i statističke karakteristike slučajnog ulaza. U opštem slučaju model sistema samovođenja može se opisati u prostoru stanja relacijom:

$$\hat{x}(t) = \hat{f}(\hat{x}, t) + B\hat{w}(t) \quad (1)$$

gde je:

$\hat{f}(\hat{x}, t)$ – linearne i nelinearne dinamičke relacije sistema,

$\hat{w}(t)$ – ulazni vektor sastavljen od elemenata determinističkih i slučajnih ulaza.

Početni uslovi vektora stanja modela (1) zadaju se uz pretpostavku da promenljive stanja imaju normalnu raspodelu, karakterisanu vektorom srednjih vrednosti i matricom kovarijansi [1]:

$$E[\hat{x}(t=0)] = \hat{m}_0 \quad (2)$$

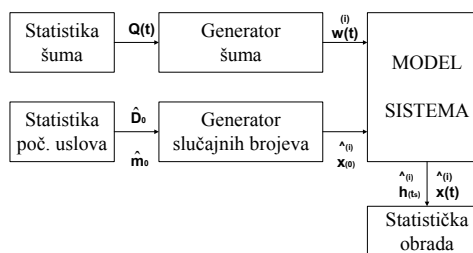
$$E[(\hat{x}(x=0) - \hat{m}_0)(\hat{x}(t=0) - \hat{m}_0)^T] = \overline{S}_0 \quad (3)$$

Matrica kovarijansi početnih uslova vektora stanja, u slučaju kada promenljive stanja u $t = 0$ nisu u korelaciji, ili je stepen korelacije toliko mali da se može zanemariti, postaje dijagonala čiji elementi po dijagonali predstavljaju standardne devijacije promenljivih stanja u $t = 0$. Za ulazni vektor $\hat{w}(t)$ usvojena je pretpostavka da njegovi elementi mogu biti predstavljeni nezavisnim Gausovim „belim šumom“ i aditivnim srednjim vrednostima. U tom slučaju statističke karakteristike ulaznog vektora $\hat{w}(t)$ određene su sledećim relacijama [1]:

$$E[\hat{w}(t)] = \hat{d}(t) \quad (4)$$

$$E\{[\hat{w}(t) - \hat{d}(t)][\hat{w}(\tau) - \hat{d}(\tau)]\} = \overline{Q}(t) \delta(t - \tau) \quad (5)$$

gde je $\overline{Q}(t)$ matrica spektralnih gustina ulaza (za nezavisne ulaze $\overline{Q}(t)$ je dijagonalna), a $\delta(t - \tau)$ je impulsna funkcija koja označava da ulazni vektor slučajnih komponenti ima nultu autokorelacionu funkciju za $(t \neq \tau)$ [1].



Sl. 1 – Blok-šema procedure simulacija Monte Carlo

Da bi se dobio uzorak koji se može statistički obrađivati u smislu ocene statističkih karakteristika vektora totalnog promašaja u tački susreta, potrebno je izvršiti N nezavisnih simulacija procesa samovođenja Monte Carlo. Na taj način dobijen je skup realizacija konačnog totalnog promašaja u tački susreta, u zavisnosti od slučajnih početnih uslova i slučajnih ulaznih funkcija:

$$\left. \begin{array}{l} \hat{h}^{(1)} [t, \hat{x}^{(1)}(t=0), \hat{w}^{(1)}(t)] \\ \hat{h}^{(N)} [t, \hat{x}^{(N)}(t=0), \hat{w}^{(N)}(t)] \end{array} \right\} \text{ za } t=t_s \quad (6)$$

Procedura metoda simulacija Monte Carlo odvija se u sledećim koracima [1]:

1. Generiše se slučajni vektor početnih stanja $\hat{x}(t=0)$ pomoću generatora slučajnih brojeva sa statističkim karakteristikama datim izrazima (2) i (3).

2. Simulira se proces samonavodeanja, opisan modelom (1) uz zadavanje ulaznog vektora, koji se generiše na osnovu statistike određene izrazima (4) i (5) u svakom koraku integracije. Simulacija se izvodi do trenutka susreta rakete i cilja ($t = t_s$) i u tački susreta se ocenjuje vektor totalnog promašaja $\hat{h}(t=t_s)$. Ponaavljanjem ove procedure N puta dobije se navedeni skup realizacija promašaja

(6). Suština date procedure simulacija Monte Carlo može se grafički predstaviti blok-šemom prikazanom na slici 1 [1].

3. Posle dobijanja statističkog skupa (6) estimiraju se srednja vrednost \hat{m}_h i varijansa $\hat{S}_h^2 = \hat{\sigma}_h^2$ totalnog promašaja prema izrazima [1]:

$$\hat{m}_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{h}^{(i)}(t=t_s) \quad (7)$$

$$\hat{S}_h^2 = \hat{\sigma}_h^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \{ [\hat{h}^{(i)}(t=t_s) - \hat{m}_h][\hat{h}^{(i)}(t=t_s) - \hat{m}_h]^T \} \quad (8)$$

gde oznaka „~“ znači da se radi o estimovanim vrednostima.

4. Vrednosti \hat{m}_h i \hat{S}_h^2 su tačkaste ocene slučajnog skupa (6), a da bi bile verodostojne potrebno je izvršiti ocenu njihove statističke verodostojnosti. Suština ocene statističke verodostojnosti tih vrednosti je ocena u kojoj meri one predstavljaju stvarne vrednosti matematičkog očekivanja i standardne devijacije totalnog promašaja. Izvođenjem jednog skupa od N simulacija Monte Carlo dobije se jedna estimacija za \hat{m}_h i \hat{S}_h^2 .

5. Izvodi se novi skup od N simulacija Monte Carlo nezavisno od prvog skupa, osim što ostaje ista statistika za generisanje slučajnih početnih uslova i slučajnih ulaza. Na taj način dobiju se nove estimirane vrednosti za \hat{m}_h i \hat{S}_h^2 .

6. Potrebno je potvrditi hipotezu o raspodeli slučajne promenljive, pod uslovom da je „N“ dovoljno velik ($N > 50$) [10].

7. Vršiti se ocena statističke pouzdanosti estimiranih vrednosti, koja se izvo-

di određivanjem intervala pouzdanosti estimiranih vrednosti s nekom verovatnoćom $P = 1 - \Delta$ [10].

Interval pouzdanosti zavisi od broja simulacija N. Što je veći N za neku zadatu vrednost P, interval pouzdanosti estimiranih vrednosti \hat{m}_h i S_h^2 je uži. Što je taj interval uži, to su estimirane vrednosti \hat{m}_h i S_h^2 tačnije, odnosno bliže stvarnim vrednostima m_h i σ_h^2 . Na osnovu ocene intervala pouzdanosti i definisanja željene veličine tog intervala može se odrediti potreban broj N simulacija Monte Carlo.

8. Posle dobijanja statistički verodostojnog skupa vektora promašaja i estimiranja vrednosti matematičkog očekivanja i standardne devijacije tog skupa, potrebno je odrediti zakon raspodele verovatnoće $\omega(h)$ vektora promašaja.

9. Testira se hipoteza o slaganju empirijske raspodele dobijenog statističkog skupa s pretpostavljenom, teorijskom (χ^2 -test) [10, 11].

Model sistema samovođenja za simulacije Monte Carlo

Ocena statističkih karakteristika vektora promašaja $\hat{h} = [h_x \ h_y \ h_z]^T$ metodom simulacija Monte Carlo izvodi se pod sledećim uslovima [1]:

- odvijanje procesa samovođenja posmatra se samo u završnoj fazi vođenja, odnosno na vremenskom intervalu koji obuhvata poslednjih nekoliko sekundi leta do tačke susreta (od 2,5 s do t_{KON});
- na sistem samovođenja mogu da deluju poremećaji slučajnog karaktera, određeni slučajnim komponentama šuma merenja ugaone brzine linije viziranja ci-

lja pomoću GSV ili instrumentalnim greškama slučajnog karaktera, u bloku za formiranje signala upravljanja. Imajući to u vidu, kompletan sistem samovođenja predstavljen je simulacionim modelom datim u [1]. Bez obzira na to što, u principu, za metod simulacija Monte Carlo nema ograničenja u smislu složenosti matematičkog modela sistema koji se ispituje, zbog postojanja nekih praktičnih ograničenja kod OFF-LINE simulacija, potrebno je nešto reći o izboru modela. Naime, kako simulacije Monte Carlo zahtevaju veliki broj realizacija rešenja, kod OFF-LINE simulacija nije praktično moguće uključiti sve elemente raketnog sistema u simulaciju, zbog dugog vremena rada procesora računara. Razmatrajući to sa aspekta vođenih raketa, teži se da kinematičke veze budu postavljene u najopštijem obliku. Ostali elementi raketnog sistema mogu se predstaviti modelima različite složenosti, na primer [1, 3]:

- sistem vođenja i petlja autopilot – raketa uzimaju se idealnim i bezinercionim;

- sistem vođenja je idealan i bezinercioni, a kolo autopilot-raketa predstavlja se modelima različitog nivoa složenosti;

- kolo autopilot-raketa uzima se idealnim i bezinercionim, a sistem vođenja predstavlja se modelima različitog nivoa složenosti;

- sistem vođenja, autopilot i raketa predstavljeni su najopštijim matematičkim modelima.

Na osnovu toga formiran je simulacioni model sistema samovođenja sa slučajnim ulaznim poremećajima. Prema tom modelu sačinjena je programska po-

drška u programskom jeziku FORTRAN za ispitivanje uticaja ugla preticanja na vrednost promašaja pri samovođenju hipotetičke rakete zemlja-vazduh simulacijama na računaru. Opis uticaja ugla preticanja na vrednost promašaja pri samovođenju predstavlja prilog oceni robustnosti zakona vođenja na poremećaje i greške pri određivanju i zauzimanju početnih uslova lansiranja [1].

Analiza statističkih karakteristika vektora totalnog promašaja u tački susreta

U ovoj tački data je analiza statističkih karakteristika vektora totalnog promašaja $\hat{h}(t_s)$ u tački susreta. Najpotpuniji pokazatelj tačnosti sistema samovođenja je zakon raspodele verovatnoće totalnog promašaja $\omega(h)$. Pored $\omega(h)$ često se, kao kvantitativni pokazatelji statističkih karakteristika vektora totalnog promašaja, koristi matematičko očekivanje $E[h(t_s)]$ i standardna devijacija $D[h(t_s)]$. Za svaki od četiri odabrana ugla preticanja izvršeno je ponovo po $N = 80$ simulacija gađanja, radi dobijanja statistički verodostojnih skupova slučajne promenljive – vektora totalnog promašaja. Za opisivanje slučajne promenljive potrebno je znati sve moguće vrednosti koje ona može da poprimi, kao i frekvenciju i verovatnoću pojavljivanja pojedinih vrednosti. Slučajna promenljiva je diskretna ako poprima najviše prebrojivo mnogo različitih vrednosti, tj. koncentrisana je na prebrojivom skupu [11].

Pravilo koje omogućava da se nađu verovatnoće svih mogućih događaja vezanih za tu slučajnu promenljivu naziva se *zakon raspodele* [10]. Iz zakona raspo-

dele dobijaju se konstante koje daju kvantitativni opis slučajne promenljive, a od posebnog značaja su: matematičko očekivanje, standardna devijacija (kvadratni koren varijanse) i medijana raspodele. Slučajni početni uslovi procesa samovođenja generisani su po normalnoj raspodeli [1, 3]. Pošto se vektor totalnog promašaja računa po izrazu (6) on nema negativnih vrednosti. Zbog toga uzorci vektora totalnog promašaja, dobijeni simulacijama, nisu raspoređeni po normalnoj raspodeli. Zakon raspodele, koji najbolje opisuje uzorke vektora totalnog promašaja dobijene simulacijama, predstavlja eksponencijalnu funkciju oblika:

$$f(x) = ax^b e^{cx} \quad (9)$$

gde je:

a – parametar skaliranja,

b – parametar oblika rastućeg dela funkcije,

c – parametar oblika padajućeg dela funkcije.

Proučavajući pojedine zakone raspodela uvek se postavlja pitanje njihovog prilagođavanja podacima dobijenim simulacijama. Pretpostavka je da se podaci dobijeni simulacijama odnose na promenljivu h i da su grupisani u n razreda (intervala). Svakom intervalu pripadaju dve frekvencije: empirijska f_i i teoretska f_{ti} . Konkretni primeri pokazuju da se empirijske i teoretske frekvencije u potpunosti ne podudaraju. Pitanje koje se nameće je da li su te razlike prevelike da bi se moglo smatrati da se promenljiva h , na koju se odnose podaci, pokorava pretpostavljenoj prilagođenoj raspodeli. Odgovor na postavljeno pitanje daje χ^2 -test

koji je postavio K. Pearson 1900. godine sledećom teoremom [11]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}} \quad (10)$$

gde je:

f_i – empirijska frekvencija, i

f_{ti} – teoretska frekvencija.

Kad god se mogu izračunati teoretske frekvencije na osnovu postavljene hipoteze moguće je primeniti χ^2 -test [10]. Važan parametar za χ^2 -test je stepen slobode k [11], koji se posebno izračunava za svaki pretpostavljeni zakon raspodele koji podleže testu. Za eksponencijalni zakon raspodele stepen slobode k izračunava se po izrazu:

$$k = n - 2 \quad (11)$$

gde je n – broj razreda (intervala).

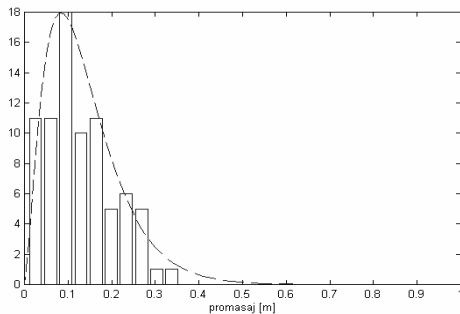
Za početne ili krajnje intervale u kojima su empirijske frekvencije $f_i < 5$ može se izvršiti objedinjavanje intervala i sabiranje dobijenih empirijskih frekvencija.

Uzorak vektora totalnog promašaja posle $N = 80$ izvedenih računarskih simulacija gađanja prve vrste za ugao prećicanja $\xi_0 = +5^\circ$ opisan je po sledećem:

– sve vrednosti slučajne promenljive nalaze se u intervalu od 0,0078 m do 0,3552 m;

– matematičko očekivanje je 0,1289 m, medijana je 0,1116, a varijansa 0,006;

– parametri zakona raspodele (9) su: $a = 3350$; $b = 1,5$ i $c = -18$. Dobijeni su podešavanjem eksponencijalne funkcije (9) prema predstavljenom histogramu na slici 2.



Sl. 2 – Histogram frekvencije promašaja i estimirani zakon raspodele verovatnoće za ugao preticanja $\xi_0 = +5^\circ$ za prvu vrstu simulacija

Računanje matematičkog očekivanja, medijane i varijanse, kao i prezentovane slike urađene su korišćenjem programskog paketa Matlab. Na slici 2 dati su histogram i estimirani zakon raspodele verovatnoće vektora totalnog promašaja za ugao preticanja $\xi_0 = +5^\circ$ za prvu vrstu simulacija. Izračunate vrednosti parametara χ^2 -testa po formuli (10) su: $0,50 < P\{\chi^2 > 3,7122\} < 0,70$, a uzete su iz tabele u [11].

Po izrazu (11) izračunati stepen slobode $k = 5$. Iz ovoga proizilazi da se hipoteza o slaganju empirijske i teoretske eksponencijalne raspodele može prihvatiti sa nivoom značajnosti od 0,5 do 0,7.

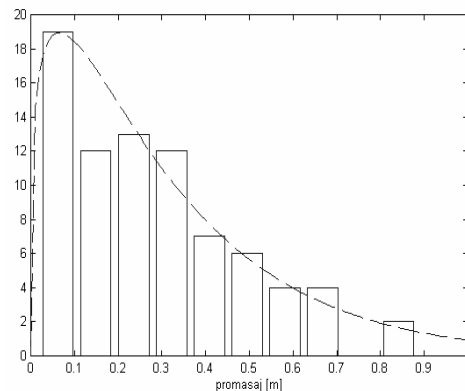
Uzorak vektora totalnog promašaja posle $N=80$ izvedenih računarskih simulacija gađanja druge vrste za ugao preticanja $\xi_0 = -1^\circ$ opisan je po sledećem:

- sve vrednosti slučajne promenljive nalaze se u intervalu od 0,0194 m do 0,8842 m;

- matematičko očekivanje 0,2826 m, medijana 0,2246, a varijansa 0,0417;

- parametri funkcije raspodele (9) su: $a = 50$; $b = 0,26$ i $c = -4$.

Na slici 3 dati su histogram i estimirani zakon raspodele verovatnoće vektora totalnog promašaja za ugao preticanja $\xi_0 = -1^\circ$ za drugu vrstu simulacija. Izračunate vrednosti parametara χ^2 -testa po formuli (10) su: $0,80 < P\{\chi^2 > 1,9569\} < 0,90$, a uzete su iz tabele u [11].



Sl. 3 – Histogram frekvencije promašaja i estimirani zakon raspodele verovatnoće za ugao preticanja $\xi_0 = -1^\circ$ za drugu vrstu simulacija

Po izrazu (11) izračunati stepen slobode $k = 5$. Iz toga proizilazi da se hipoteza o slaganju empirijske i teoretske eksponencijalne raspodele može prihvatiti sa nivoom značajnosti od 0,8 do 0,9.

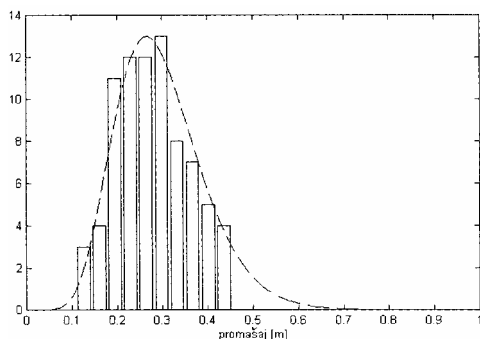
Uzorak vektora totalnog promašaja posle $N = 80$ izvedenih računarskih simulacija gađanja treće vrste za ugao preticanja $\xi_0 = +5^\circ$ opisan je po sledećem:

- sve vrednosti slučajne promenljive nalaze se u intervalu od 0,1258 m do 0,4333 m;

- matematičko očekivanje je 0,2784 m, medijana je 0,2734, a varijansa 0,0065;

- parametri funkcije raspodele (9) su: $a = 5 \cdot 10^9$; $b = 8,5$ i $c = -32$.

Na slici 4 prikazani su histogram i estimirani zakon verovatnoće vektora totalnog promašaja za ugao preticanja $\xi_0 = +5^\circ$ za treću vrstu simulacija. Izračunate vrednosti parametara χ^2 -testa po formuli (10) su: $0,95 < P\{\chi^2 > 1,2138\} < 0,98$, a uzete su iz tabele u [11].



Sl. 4 – Histogram frekvencije promašaja i estimovani zakon raspodele verovatnoće za ugao preticanja $\xi_0 = +5^\circ$ za treću vrstu simulacija

Po izrazu (11) izračunati stepen slobode $k = 6$. Iz toga proizilazi da se hipoteza o slaganju empirijske i teoretske eksponencijalne raspodele može prihvatiti sa nivoom značajnosti od 0,95 do 0,98.

Uzorak vektora totalnog promašaja posle $N = 80$ izvedenih računarskih simulacija gađanja četvrte vrste za ugao preticanja $\xi_0 = -1^\circ$ opisan je po sledećem:

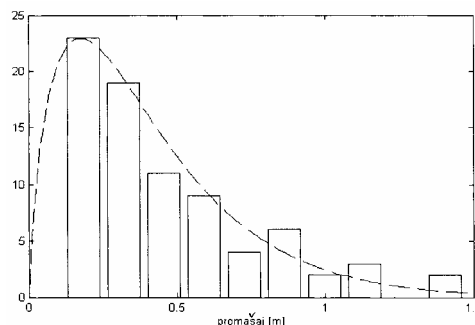
– sve vrednosti slučajne promenljive nalaze se u intervalu od 0,1146 m do 1,4724 m;

– matematičko očekivanje je 0,474 m, medijana je 0,3671, a varijansa 0,0914;

– parametri funkcije raspodele (9) su: $a = 180$; $b = 0,75$ i $c = -4,3$.

Na slici 5 prikazani su histogram i estimirani zakon raspodele verovatnoće vektora totalnog promašaja za ugao preticanja

$\xi_0 = -1^\circ$ za četvrtu vrstu simulacija. Izračunate vrednosti parametara χ^2 -testa po formuli (10) su: $0,95 < P\{\chi^2 > 1,213\} < 0,98$, a uzete su iz tabele u [11].



Sl. 5 – Histogram frekvencije promašaja i estimovani zakon raspodele verovatnoće za ugao preticanja $\xi_0 = -1^\circ$ za četvrtu vrstu simulacija

Po izrazu (11) izračunati stepen slobode $k = 4$. Iz toga proizilazi da se hipoteza o slaganju empirijske i teoretske eksponencijalne raspodele može prihvatiti sa nivoom značajnosti od 0,95 do 0,98.

Zaključak

U ovom članku opisano je računarsko modelovanje za ocenu tačnosti sistema samovođenja rakete zemlja-vazduh, tj. određivanje promašaja. Prema matematičkom modelu sistema samovođenja, sa slučajnim ulaznim poremećajima i slučajnim početnim uslovima, sačinjen je program za simulacije Monte Carlo u Fortranu. Postavljeni model slučajnih poremećaja omogućava širok spektar daljih istraživanja. Pri tome, mogu se koristiti razni zakoni vođenja, razni oblici ometanja sistema samonavođenja, kao i modeli komponenti sistema samonavođenja različitih stepena složenosti.

Osnovni pokazatelj kvaliteta sistema samovođenja je tačnost samovođenja, određena veličinom vektora promašaja $\bar{h} = [h_x, h_y, h_z]^T$ u trenutku susreta rakete i cilja [1, 2]. Vreme susreta i konačni promašaj slučajne su funkcije opisane metodom Monte Carlo. Tačnost sistema samovođenja određena je statističkim karakteristikama svih slučajnih faktora koji deluju na sistem. Ocenjuje se usrednjavanjem promašaja na osnovu skupa realizacija gađanja raketnim sistemom zemlja-vazduh. Opisane simulacije omogućavaju ispitivanje uticaja različitih okolnosti, kao što su: uglovi lansiranja rakete, gađanje cilja u dolasku i odlasku, manevar cilja, šum merenja i sve druge okolnosti koje su značajne za ponašanje sistema samovođenja tokom leta. Statističkim testom je pokazano da zakon raspodele promašaja u tački susreta podleže eksponencijalnoj raspodeli. Izloženi postupak otvara mogućnost projektovanja: simulacionog modela za proračun uslovne verovatnoće uništenja cilja, ekspertskog sistema za organizaciju protivvazduhoplovne odbrane i ekspertskog sistema za ocenu obučenosti jedinice protivvazduhoplovne odbrane. Pored navedenog, rezultati pre-

zentovani u ovom radu mogu biti veoma svrsishodno iskorišćeni u kreiranju i realizaciji softverskih i HIL simulacija u najrazličitijim strategijama razvoja i modifikacija sistema vođenih i samovođenih raketa.

Literatura:

- [1] Boarov, S.: Analiza efektivnosti i borbene upotrebe raketnih sistema protivvazdušne odbrane, Magistarski rad, OLV VA VJ, Beograd, 2002.
- [2] Deskovski, S.: Sinteza sistema vođenja raketa primjenom inverznih modela kretanja, Doktorska disertacija, VVTŠ Zagreb, 1990.
- [3] Dikić, G.: Izbor estimatora stanja za sintezu stohastičkog zakona samovođenja PA raketa, Magistarski rad, ETF Beograd, 1995.
- [4] Tanjga, R.: Prilog stohastičkoj sintezi zakona vođenja samovođenih raketa, Doktorska disertacija, VTA UVJ, Beograd, 1992.
- [5] IMSL (International Mathematical and Statistical Library), Vol. 1, 2, 3, CONTROL DATA.
- [6] Milovanović, M.: Đekić, M.: Hardware in the Loop simulation of the TV and IR Homing Head, VTI skripta, Beograd, 1998.
- [7] Milovanović, M.: Softverski simulatori sistema vođenja i upravljanja raketa zemlja-zemlja, elaborat, VTI, Beograd, 2004.
- [8] Boarov, S.; Milovanović, M.: Softverska simulacija leta samovodene rakete zemlja-vazduh, Naučni skup OTEH 2005, Beograd.
- [9] Deskovski, S.: Kinematika kretanja centra mase letelica malog dometa, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1990.
- [10] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1990.
- [11] Merkle, M.; Vasić, P.: Verovatnoća i statistika, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 1995.

Mr Zvonko Radosavljević,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

ANALIZA GREŠKE U ALGORITMIMA ZA PRAĆENJE POKRETNIH CILJEVA PRIMENOM ALGORITMA GNN

UDC: 621.396.969.3 : 004.421

Rezime:

Izbor podesnog algoritma u skladu sa raspoloživim računarskim resursima važna je karika u lancu otkrivanja i praćenja pokretnih ciljeva pomoću osmatračkog radara. Efikasnost ovih algoritama zavisi od izbora estimatora stanja, položaja i brzine i metode za asocijaciju podataka. U radu je analizirana greška praćenja 20 ciljeva pomoću algoritma „najbližeg suseda“ (GNN). Za estimaciju stanja korišćen je Kalmanov filter i algoritam IMM. Mera kvaliteta praćenja je srednja kvadratna greška po poziciji. Za simulaciju praćenja odabrane su putanje leta četiri grupe po pet ciljeva sa i bez manevra.

Ključne reči: praćenje pokretnih ciljeva, Kalmanov filter, algoritmi IMM i GNN.

A STUDY OF A TARGET TRACKING METHOD USING GLOBAL NEAREST NEIGHBOR ALGORITHM

Summary:

This paper compares two algorithm for Multiple Target Tracking using Global Nearest Neighbor (GNN) approach: first by the use standard Kalman filter (SKF-GNN) and second by the use Interacting Multiple Model (IMMGNN) in order to derive final tracking estimation. For both algorithms the observations are divided in clusters to reduce computational efforts. Results of simulations by tracking 20 targets simultaneously reveal that in some cases the IMMGNN approach gives better solution then KF-GNN approach. The computational time for assignment problem solution for maneuvering target tracking using both algorithm is studied and results prove that is IMMGNN suitable for real time imlementations.

Key words: multiple target tracking, data association, Global Nearest Neighbor.

Uvod

Proces kontrole vazdušnog saobraćaja obuhvata praćenje pokretnih ciljeva u okruženju gustog klatera. To su, pre svega, civilni avioni na redovnim destinacijama, ali i vojni avioni čiji su opseg manevra i brzina znatno veći. Kod vojnih borbenih aviona opterećenje u manevru dostiže vrednost do 7 g, pa postoji opasnost da dođe do konfliktnih situacija. Rekurzivni postupak estimacije stanja (pozicije, brzine i ubrzanja) pomoću Kal-

manovog filtera i interaktivnog višestrukog modela (IMM) detaljno je opisan u literaturi. Algoritmi za asocijaciju podataka koriste neke statističke parametre vektora stanja (statistička distanca, funkcija gustine verovatnoće, itd.), ali u osnovi poseduju filter za estimaciju vektora stanja cilja.

U ovom radu je izvršena analiza srednje kvadratne greške RMSE (Root Mean Square Error) kada se koristi algoritam „najbližeg suseda“ GNN (Global Nearest Neighbor) i procena potrošnje

procesorskog vremena pri situaciji istovremenog praćenja 20 ciljeva u vazdušnom prostoru, pomoću osmatračkog radara TWS (Track While Scan) sa periodom $T = 10$ s. Predloženi algoritam koristi se u dve varijante: sa standardnim Kalmanovim filterom 6. reda i algoritmom IMM (Interacting Multiple Model) sa tri Kalmanova filtera kao estimatorima stanja položaja, brzine i ubrzanja aviona. Praćenje se vrši u dvodimenzionalnom Dekartovom koordinatnom sistemu.

Definisanje problema

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja opisanih u [4], gde su dati teorijski aspekti primene estimatora stanja u vidu Kalmanovog filtera i algoritma IMM, kao i postupak optimizacije parametara za primenu pri praćenju manevrišućih ciljeva pomoću osmatračkih radara. On treba da zaokruži celinu praćenja ciljeva, kroz konkretnu proveru rada estimatora, za koju je odabran scenario istovremenog praćenja 20 pokretnih ciljeva. Ažuriranje gejtta sprovodi se po proceduri predloženoj u [6]. Sprovedene simulacije treba da budu komparativna analiza pomenutih algoritama, u smislu srednje kvadratne greške praćenja po poziciji i potrošnje procesorskog vremena, za slučaj praćenja standardnim Kalmanovim filterom ili IMM estimatorom.

Polazeći od dinamičkih jednačina stanja, koje se mogu modelovati kao:

$$x(k+1) = F(k)x(k) + G(k)v(k) \quad (1)$$

i jednačine merenja koja je data kao:

$$y_j(k) = H(k)x(k) + \omega(k), j=1,2,\dots,m(k) \quad (2)$$

pri čemu je:

$x(k)$ – vektor stanja cilja u k-tom skenu,

$y_j(k)$ – j-ta opservacija koja je primljena u k-tom skenu,

$F(k)$ – tranziciona matrica (matrica prelaza iz stanja u stanje),

$H(k)$ – matrica merenja (opservacija).

$v(k)$ – šum procesa i

$\omega(k)$ – šum merenja, tj. nekorelisani beli Gausov šum sa poznatom kovarijacionom matricom R,

$G(k)$ – matrica šuma procesa $v(k)$

$m(k)$ – broj merenja pristiglih u k-tom skenu.

Odabiranjem modela filtera koji prati poziciju i brzinu cilja i praćenje cilja u Dekartovom koordinatnom sistemu, matrice F, G, H dobijaju sledeće vrednosti:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

gde je sa T označena perioda skeniranja radara, dok je kovarijaciona matrica šuma merenja uzeta vrednost:

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

gde su σ_x^2 i σ_y^2 varijanse šuma merenja za x i y koordinate, respektivno.

Opis algoritma „najbližeg suseda“

Sistemi za praćenje pokretnih ciljeva u vazdušnom prostoru koriste estimatore stanja u situacijama kada se prati jedan cilj. Međutim, proces praćenja se komplikuje kada se u gejt u posmatranog traga nađu dva ili više ciljeva. Tada je neophodno koristiti algoritme za asocijaciju podataka. U ovom radu predložen je algoritam „najbližeg suseda“. Drugim rečima, ovaj algoritam predlaže da se posmatranom tragu dodeljuje ona opservacija iz skupa pristiglih opservacija koje su upale u gejt, čija je statistička distanca najmanja u odnosu na predikciju iz prethodnog skena.

Rad je zamišljen kao analiza greške u sistemima za praćenje pokretnih ciljeva u vazdušnom prostoru i odnosi se na dve kategorije algoritama: prvu kategoriju predstavlja kombinacija standardnog Kalmanovog filtera za estimaciju stanja i GNN algoritam za asocijaciju podataka; druga kategorija algoritama koristi kombinovanje IMM algoritma za estimaciju stanja i GNN algoritma za asocijaciju podataka.

Algoritmi za asocijaciju podataka, po pravilu, sadrže neki od filtera za estimaciju stanja. Na taj način moguće je napraviti poređenje ovih algoritama sa stanovišta srednje kvadratne greške praćenja po poziciji.

Kombinovanjem algoritama za estimaciju stanja (Kalmanov filter i interaktivni višestruki model) sa algoritmom za asocijaciju podataka („najbližeg suseda“) dobijene su dve klase algoritama za praćenje pokretnih ciljeva, koje će se proveriti tokom simulacija. Ovi algoritmi detaljno su opisani u [1, 2 i 4].

Za proces asocijacije podataka, kada se u gejt nađe više od jedne opservacije, predložen je i ispitan algoritam najbližeg suseda (GNN – Global Nearest Neighbor). On je odabran zbog jednostavnosti i male potrošnje procesorskog vremena, a pokazao je dobre rezultate za primene u kojima se koriste osmatrački radari sa periodama skeniranja većim od $T = 4$ s.

Algoritam „najbližeg suseda“ predstavlja jednostavan pristup problemu praćenja ciljeva u okruženju klatera. On koristi standardni Kalmanov filter i, uzimajući „najbliže“ merenje unutar gejta, ažurira stanje položaja i kovarijacione matrice. Princip asocijacije podataka može se opisati sa tri moguća događaja:

M_T – merenje potiče od cilja,

M_F – merenje ne potiče od cilja,

M_0 – merenje nije validno (ne nalazi se u gejt u traga koji se prati).

Ovi događaji takođe se uzimaju u obzir pri derivaciji kovarijacione greške estimacije cilja. Osnovni koraci ovog algoritma su:

– *korak predikcije*: identičan je kao kod standardnog Kalmanovog filtera,

– *korak ažuriranja stanja i kovarijacione matrice*:

a) za slučaj M_0 , ako se sa k označi redni broj skena,

$$\hat{x}_k = \bar{x}_k; \quad \hat{P}_k = \bar{P}_k + \frac{P_D P_G (1 - C_{\tau_g})}{1 - P_D P_G} K_k S_k K_k^T \quad (5)$$

b) za slučaj \bar{M}_0

$$\begin{aligned}\hat{x}_k &= \bar{x}_k + K_k (y_k - H_k \bar{x}_k); \\ \hat{P}_k &= \bar{P}_k - K_k S_k K_k^T\end{aligned}\quad (6)$$

pri čemu je:

P_D – verovatnoća detekcije cilja,

P_G – verovatnoća da se cilj nalazi unutar gejtta,

$$P_G = \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \int_0^\gamma q^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{q}{2}} dq \quad (7)$$

C_{τ_g} – konstanta odnosa kovarijansi data kao:

$$C_{\tau_g} = \frac{\int_0^\gamma q^{n/2} e^{-q/2} dq}{n \int_0^\gamma q^{\frac{n}{2}-1} e^{-q/2} dq} \quad (8)$$

gde je:

– $n = 2$ (dvodimenzionalni prostor),

– $\sqrt{\gamma}$ – dimenzija gejtta,

– $\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) = 2\pi^{\frac{n}{2}} / nc_n$, dok je za

$$c_2 = 2\pi, \quad c_3 = \frac{4\pi}{3}.$$

– q – vrednost vektora inovacije.

S obzirom na to da se radi o problemu 2D, navedeni izrazi se lako uprošćavaju. Pretpostaviće se da postoji set od n tragova koji se istovremeno prate, dok je broj merenja (opservacija) koja pristižu u toku jedne periode obrta antene radara (skene) jednak m . U realnoj situaciji, kada se unutar seta opservacija, pored ciljeva, mogu naći odrazi koji potiču od kla-

tera, jasno je da je $n < m$. Validna merenja su ona koja se nalaze unutar gejtta ili na njegovim granicama. Matematički gejt može se definisati kao

$$d_{ij} = \tilde{y}_{ij}^T S_i^{-1} \tilde{y}_{ij} < \gamma \quad (9)$$

Vrednost parametra γ bira se tako da se osigura opstanak merenja unutar gejtta, sa određenom verovatnoćom [3]. Nejednačina (9) predstavlja test. Na osnovu literature [7] formira se matrica statističkih distanci između j -te opservacije i i -tog traga, c_{ij} definisana kao:

$$[c_{ij}] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Elementi matrice poprimaju sledeće vrednosti:

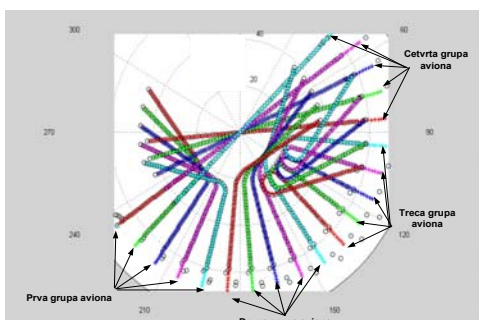
$$c_{ij} = \begin{cases} 100, & \text{ako se } j\text{-ta opservacija ne} \\ & \text{nalazi unutar gejtta } i\text{-tog skena} \\ d_{ij}^2, & \text{ako se } j\text{-ta opservacija} \\ & \text{nalazi unutar gejtta } i\text{-tog skena} \end{cases} \quad (11)$$

Problem se svodi na dodeljivanje tragu one opservacije koja ima minimalnu statističku distancu. Drugim rečima, traži se minimalna vrednost svake vrste matrice, a redni broj minimuma unutar vrste određuje opservaciju koja je pripala tragu. Ovaj način pridruživanja ne vodi računa o drugim statističkim parametrima vektora stanja tragova, kao što je funkcija gustine verovatnoće, pa ima određenih manjkavosti pri konkretnoj primeni u praksi.

Rezultati simulacije

Program realizacije simulacije

Za simulaciju je izabran scenario kretanja aviona, kao što prikazuje slika 1. Naime, istovremeno lete četiri grupe po pet aviona, a ukupno trajanje leta je 72 skena. Putanje su napadnute aditivnim Gausovim belim šumom, čija je srednja vrednost jednaka nuli. Standardna devijacija šuma procesa je $\sigma_p = g/2$, $g=10 \text{ m/s}^2$, a standardna devijacija merenja po x i y koordinatama je $\sigma_x=200 \text{ m}$, $\sigma_y=200 \text{ m}$, respektivno, [2]. Verovatnoća detekcije cilja je 1.

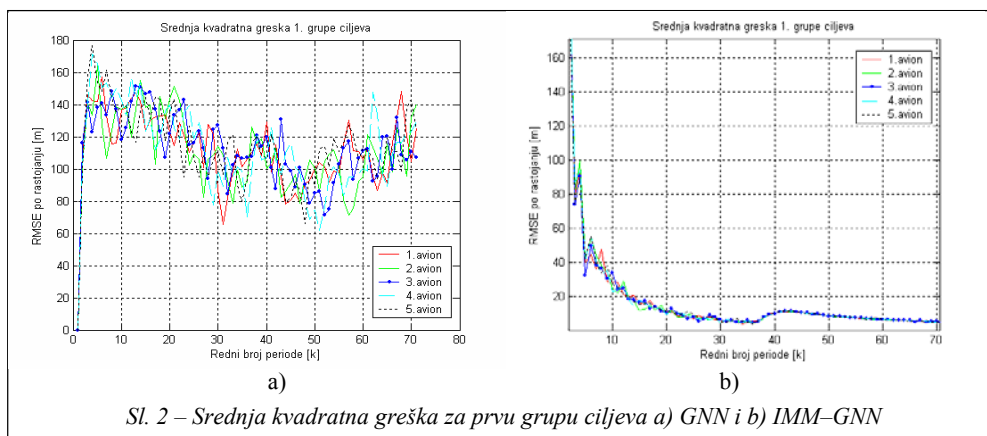


Sl. 1 – Simulacione trajektorije kretanja četiri grupe po 5 aviona

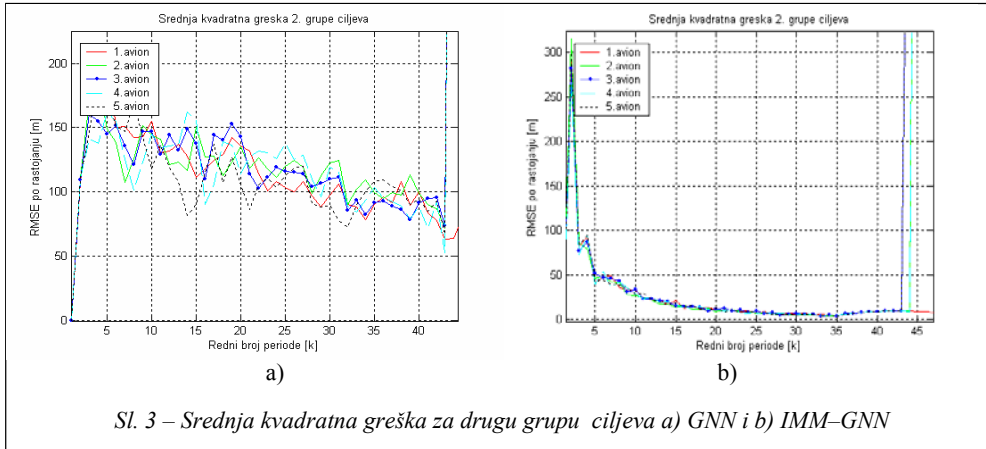
Prva grupa aviona leti pravolinijski, brzinom od 311 m/s, sve do 34 skena, kada vrši manevar od 2 g, u trajanju od 8 skenova. Druga i treća grupa aviona leti na isti način, ali brzinama od 341 m/s i 371 m/s, respektivno, i vrednošću opterećenja u maneuvru od 1 g i 3 g respektivno. Četvrta grupa aviona leti pravolinijski brzinom od 401 m/s bez manevara. Podaci o njihovom položaju dobijaju se sa radara čija je perioda odabiranja $T = 4 \text{ s}$. Svi filteri podešeni su tako da prate poziciju i brzinu aviona. Cela simulacija urađena je na PC Pentium III, čiji procesor radi na 1200 MHz. U tabeli su navedeni parametri simulacije leta aviona za sve četiri grupe ciljeva.

Parametri simulacije leta aviona

Grupa aviona	Broj aviona u grupi	Brzina aviona [m/s]	Opterećenje u maneuvru	Trajanje manevara [T]	Ukupno trajanje leta [T]
Prva	5	311	2g	8 (34–42)	72
Druga	5	341	g	8 (34–42)	72
Treća	5	371	3g	8 (34–42)	72
Četvrta	5	401	–	–	72



Sl. 2 – Srednja kvadratna greška za prvu grupu ciljeva a) GNN i b) IMM-GNN



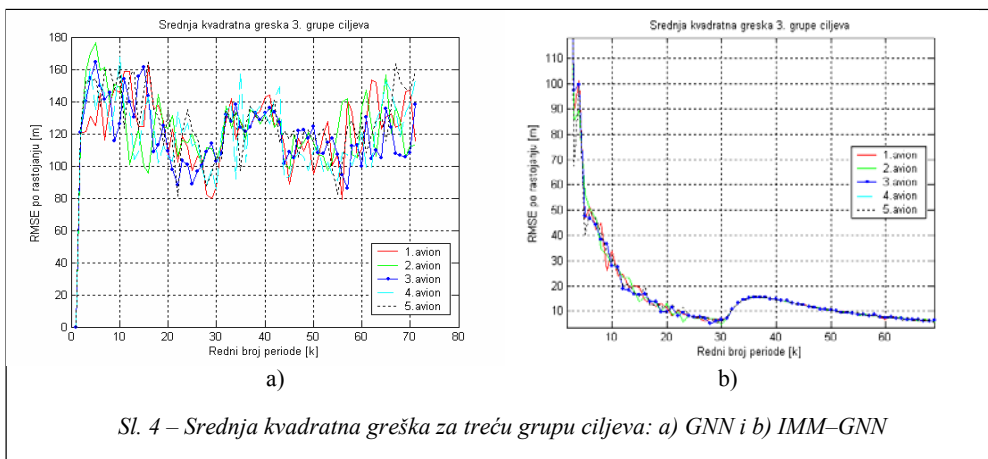
Tokom simulacije mereno je procesorsko vreme za algoritme GNN i IMM-GNN. Algoritmi rade paralelno, pri čemu se smatra da je gejt posmatranog traga konstantan.

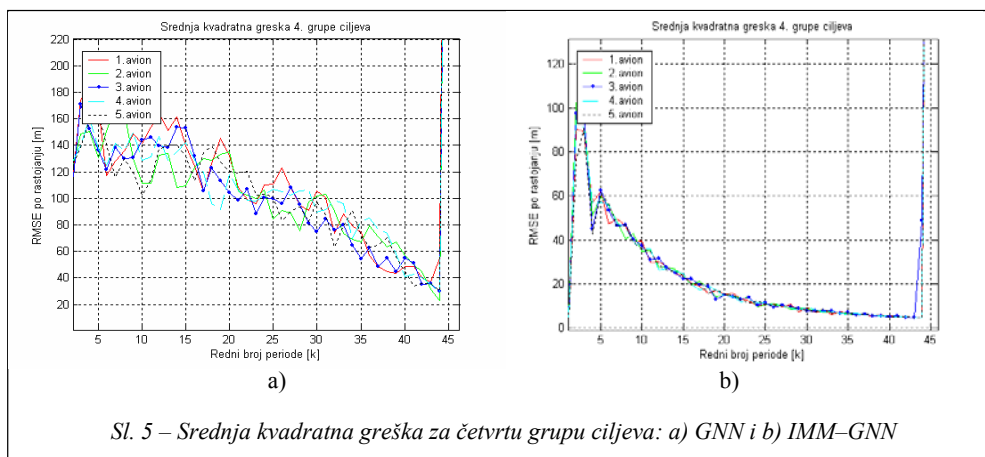
Prikaz rezultata simulacije

Rezultati simulacije dati su za sve pomenute klase algoritama. Sve kategorije rezultata prikazuju srednje kvadratne greške pozicije aviona za sve četiri grupe ciljeva na bazi 50 Monte Karlo prolaza,

za pomenute klase algoritama. Na slika 2, 3, 4 i 5 prikazani su rezultati srednje kvadratne greške po poziciji za algoritam, GNN i IMM-GNN algoritam za prvu, drugu, treću i četvrtu grupu aviona, respektivno. Upporednom analizom ovih grešaka može se uočiti da je IMM-GNN filter kvalitetniji i stabilniji, jer je manje „razbacivanje“ greške, ali je cena ovog poboljšanja visoka, jer je potrošnja procesorskog vremena veća.

Međutim, ovo poboljšanje odnosi se na situacije kada nema ukrštanja putanja





aviona. Gubitak praćenja koji se ogleda u porastu srednje kvadratne greške (situacija posle 45. skena na slikama 3 i 5), potvrđuje činjenicu o nesigurnosti pomenu-tih testiranih algoritama asocijacije podataka. U slučajevima kada se ukrštaju dva ili više aviona dolazi do gubitka traga, pa se ne može govoriti o realnoj grešci, jer nije poznato koji se trag prati u odnosu na inicijalno stanje. Zato je potrebno izvršiti ponovnu inicijalizaciju tragova. Nova inicijalizacija tragova vrši se ukoliko se ne pojave tri opservacije u toku 5 uzastopnih skenova.

Za razliku od algoritma GNN, složeniji algoritam IMM–GNN ima znatno manje srednje kvadratne greške u delu gde nema gubitka cilja, ali posle ukrštanja putanja aviona greška se naglo povećava. Na taj način nameće se zaključak da treba tragati za kvalitetnijim algoritmima za asocijaciju podataka. To su, prvenstveno, klase algoritama za asocijaciju podataka po verovatnoći (PDA), kao i algoritmi sa formiranjem hipoteza (MHT), koji će biti predmet daljih istraživanja.

Zaključak

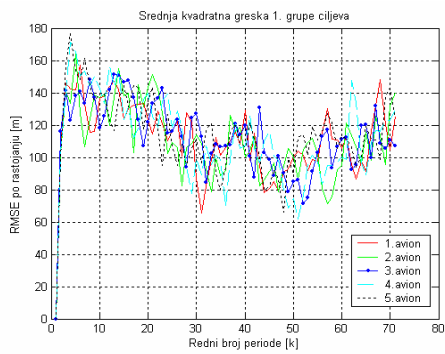
U radu su prikazani rezultati primene dve klase algoritama za praćenje ciljeva. Tokom simulacija zadate su realne putanje sa uticajem Gausovog belog šuma. Korišćena je metoda Monte Karlo za proračun srednje kvadratne greške. Rezultati simulacije pokazali su da je za praćenje ciljeva pomoću osmatračkog radara, u slučaju vojnih formacija, nedovoljno koristiti standardni GNN algoritam. Tada dolazi do ukrštanja putanja aviona, odnosno u gejt u traga nađe se više od dve opservacije. Pored toga, oseća se znatno povećanje računarskih resursa kada se koriste estimatori stanja složeniji od standardnog Kalmanovog filtera. Prikazani su rezultati srednje kvadratne greške za jednostavne algoritme za asocijaciju podataka. Oni su pokazali određene nedostatke za slučajevne manevrišućih ciljeva koji se kreću u formacijama.

U narednim istraživanjima treba proširiti simulacije za praćenje u prisustvu šuma, ali sa sofisticiranim metodama za asocijaciju podataka, kao što su PDA, IMM-PDA, JPDA, IMMJPDA i MHT [8, 9, 10, 11].

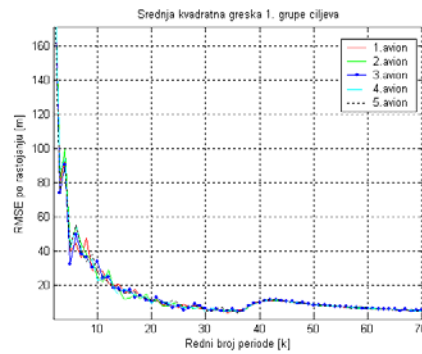
Pored toga, istraživanja treba proširiti na situacije sa ažuriranjem dimenzija gejeta, kao i sa grupama manevrišućih ciljeva koji imaju veće brzine i vrše oštrije manevre.

Literatura:

- [1] Li, X. R., Shalom, Y. Bar: Design of Interacting Multiple Model Algorithm for Air Traffic Control Tracking 0147 IEEE Transactions on Control, Systems Technology, 1(3), 186–194, September 1993.
- [2] Shalom, Y. Bar, Blair, W. D.: Multitarget-Multisensor Tracking: Applications and Advances-Volume III, Artech House, Norwood, MA 02062, 2000.
- [3] Blackman, S.: Multiple-Target Tracking with Radar Applications, Artech House, Dedham, 1986.
- [4] Blackman, S., Popoli, R.: Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, 1999.
- [5] Radosavljević, Z.: Analiza primene IMM algoritma za praćenje manevrišućih ciljeva, Vojnotehnički glasnik, br. 3, juni, 2005.
- [6] Lee, D. G., Song, T. L.: Performance Analysis of NNF-class Target Tracking Algorithms Applied to Benchmark Problem, Hanyang University Korea.
- [7] Konstantinova, P., Udvarov, A., Semerdjiev, T.: A Study of a Target Tracking Algorithm Using Global Nearest Neighbor Approach, International Conference on Computer Systems and Technologies – CompSysTech'2003.
- [8] Keuk, G.: Multihypothesis tracking using incoherent signal-strength information. IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, 32(3), pages 1164–1170, 1996.
- [9] Feo, M., Graziano, A., Migliolo R., Farina, A.: IMMJPDA versus MHT and Kalman Filter with NN Corelation: Performance Comparision, IEEE Proceedings – Radar Sonar and Navigation, 144(2):49–56, April, 1997.
- [10] Hadzagic, M., Mishalska, H., Jouan, A.: IMM-JVC and IMM-JPDA for closely maneuvering target, In Conference Record of the Thirty-Fifth Asilomar conference on Signals, Systems and Computers, Volume 2, pages 1278–1282, November, 2001.
- [11] Gad, A., Farooq, M., Serdula J., Peters D.: Multitarget tracking in a multisensor multiplatform envirmnt, in Proc. of the 7th International Conference on Information Fusion, IF-0206, Stockholm, Sweden, 2004.

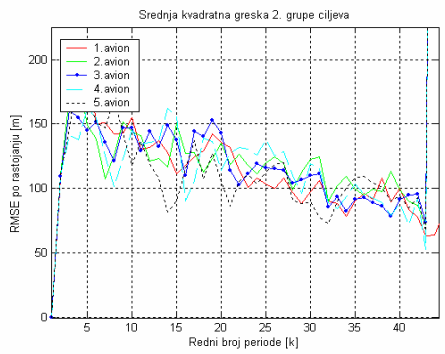


a)

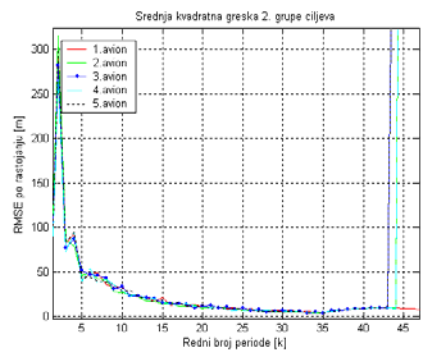


b)

Sl. 2 – Srednja kvadratna greška za prvu grupu ciljeva a) GNN i b) IMM-GNN

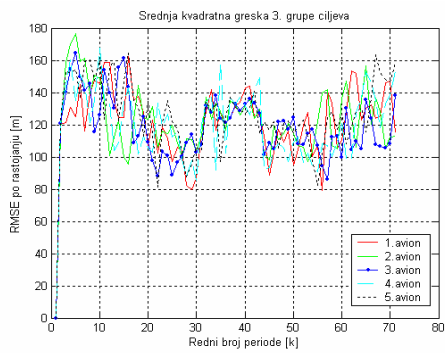


a)

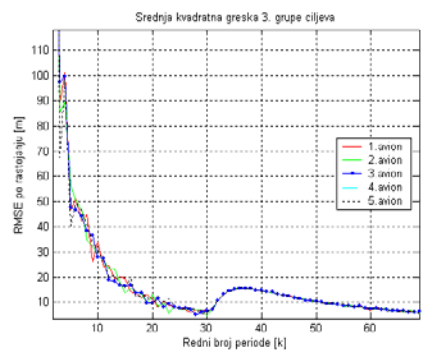


b)

Sl. 3 – Srednja kvadratna greška za drugu grupu ciljeva a) GNN i b) IMM-GNN

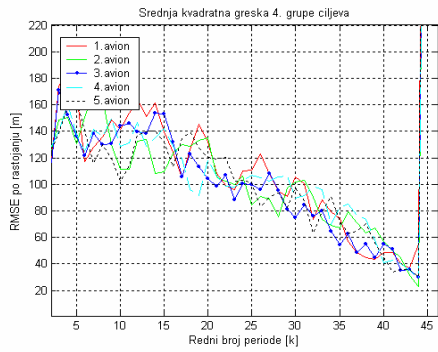


a)

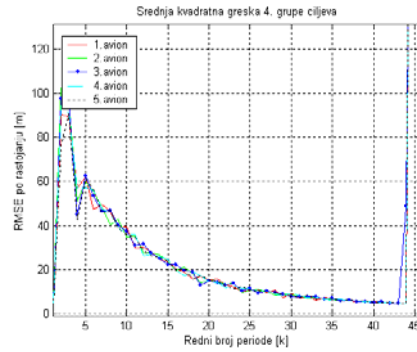


b)

Sl. 4 – Srednja kvadratna greška za treću grupu ciljeva: a) GNN i b) IMM-GNN



a)



b)

Sl. 5 – Srednja kvadratna greška za četvrtu grupu ciljeva: a) GNN i b) IMM-GNN

Mr Luka Grbović,
pukovnik, dipl. inž.
Uprava za odbrambene
tehnologije MO,
Beograd
Slaviša Stoilković,
potpukovnik, dipl. inž.
Tehnički remontni zavod,
Kragujevac

ANALIZA REZULTATA ODREĐIVANJA SADRŽAJA STABILIZATORA U PRIRODNO STARENIM BARUTIMA

UDC: 662.3 : 662.216.1

Rezime:

Praćenje sadržaja stabilizatora jedna je od savremenih i pouzdanih metoda koja se u svetu, a i kod nas, primenjuje za kontrolu hemijske stabilnosti i prognoziranje veka upotrebljivosti baruta. Radi ocene hemijske stabilnosti baruta domaće proizvodnje u radu su analizirani rezultati određivanja sadržaja stabilizatora u prirodno starenim jednobaznim barutima tipa NC i NCD i dvobaznim barutima tipa NGB i NGH. Pri tome su uporedno analizirani rezultati uzoraka iz kolekcija baruta iz Kragujevca (KB-1) i Zelenike (KB-2). Dobijeni rezultati ukazuju na znatno brži pad stabilnosti uzoraka baruta iz kolekcije KB-2, što se može objasniti značajnim uticajem klimatskih uslova. Osim toga, dobijeni rezultati potvrđuju uticaj mnogih faktora na hemijsku stabilnost baruta, kao što su: sastav, kvalitet sirovina, tehnološki postupak, oblik i dimenzije barutnog zrna i sl.

Ključne reči: barut, hemijska stabilnost, stabilizator, tečna hromatografija.

CONTENT OF STABILIZER DETERMINATION RESULTS ANALYSIS OF NATURALLY AGED GUN PROPELLANTS

Summary:

Monitoring of the stabilizer content is one of the modern and reliable methods in the world, and here also, which is used to control chemical stability and to predict the usage time of gun propellants. For the purpose of evaluation of gun propellants' chemical stability manufactured in our country, in this paper we analyzed results from the content of stabilizer determination in naturally aged single base, NC and NCD type, and double base, NGB and NGH type of gun propellants. At the same time we analyzed results from both collections of gun propellant samples, one from Kragujevac factory (KB-1) and the other from Zelenika factory (KB-2). Obtained results point that the stability decays faster for KB-2 collection samples, which can be explained due to climate factors. Beside this influence, obtained results prove the influence of many factors on chemical stability of gun propellants: used components, quality of the ingredients, procedures of manufacture, shape and dimensions of gun propellant grains, etc.

Key words: gun propellant, chemical stability, stabilizer, HPLC.

Uvod

Osnovna komponenta malodimnih baruta – nitroceluloza, po svojoj prirodi je hemijski nestabilna, i podložna termičkoj dekompoziciji (razgradnji) i na temperaturama okoline. Produkti dekompozicije nitroceluloze su azotni oksidi, koji autokata-

liziraju dalju razgradnju i tako uzrokuju promenu fizičko-hemijskih osobina baruta. Da bi se usporila njena razgradnja, barutima se dodaju stabilizatori, supstance koje reaguju sa azotnim oksidima. Reakcije dekompozicije baruta i reakcije stabilizatora sa azotnim oksidima su egzotermne – uzrokuju akumuliranje toplote i povećanje

temperature u masi baruta, što u određenim kritičnim uslovima može dovesti i do samozapaljenja baruta.

Stabilnost baruta je rezultat uticaja brojnih parametara od kojih neki, još uvek, nisu dovoljno proučeni, pa je postizanje zadovoljavajuće stabilnosti u dužem periodu čuvanja i danas predmet mnogih istraživanja.

Stabilnost i vek trajanja baruta

Od kada je proizveden prvi barut na bazi nitroceluloze (pre više od 150 godina), prisutan je problem njegove stabilnosti i veka trajanja [1, 2]. Pod *stabilnošću* baruta podrazumeva se zadržavanje njegovih početnih karakteristika na nivou koji garantuje bezbednu upotrebu i čuvanje bez rizika u uslovima skladištenja, a obuhvata hemijsku, balističku i mehaničku stabilnost.

Hemijska stabilnost baruta bavi se problemom termičke dekompozicije baruta. Produkti razgradnje nitroestera (azotni oksidi) autokataliziraju dalju razgradnju baruta. Budući da se radi o egzotermnim reakcijama, dolazi do akumuliranja toplote (barut je loš provodnik toplote) i povećanja temperature u masi baruta, što može prouzrokovati samozapaljenje. Da bi se usporila autokatalizirajuća razgradnja estera azotne kiseline, barutima se dodaju stabilizatori, centralit (CI) i difenilamin (DFA) – supstance koje akceptiraju produkte razgradnje (azotne okside). Autokataliza se odlaže zahvaljujući tome što NO_2 reaguje oko 20 000 puta brže sa CI i DFA nego sa osnovnim komponentama baruta (nitrocelulozom i nitroglicerinom) [3, 4].

Markrol (Marquerol) je utvrdio da je DFA odličan stabilizator nitroceluloznih baruta, ali samo u količinama do 5% jer pri većoj količini DFA uzrokuje hidrolizu nitroceluloze [1]. U reakcijama DFA sa azotnim oksidima prvo nastaju mononitro derivati DFA (N-nitrozodifenilamin, 2-nitrodifenilamini, 4-nitrodifenilamin), koji su bazičnog karaktera i veoma dobri stabilizatori nitroceluloznih i dvobaznih baruta. Pod daljim uticajem azotnih oksida nastaju dinitro derivati DFA, a stabilizirajuće dejstvo DFA prestaje nastajanjem trinitrodifenilamina [1, 3, 4].

Šreder (Schoeder) je utvrdio da je dietildifenilkarbamid – centralit I odličan stabilizator za dvobazne i trobazne barute. U prvoj fazi reakcije centralita sa azotnim oksidima nastaju mononitro derivati (2-nitrocentralit, 4-nitrocentralit, N-nitroso-N-etilanilin) koji imaju stabilizirajuće delovanje (akceptiraju azotne okside). U kasnijim fazama nastaju dinitro i trinitro derivati koji nemaju stabilizirajućih svojstava [1].

Metode za kontrolu hemijske stabilnosti i prognoziranje veka trajanja baruta

Da bi se neka metoda mogla koristiti za ocenu hemijske stabilnosti baruta, trebalo bi da bude brza, jednostavna, pouzdana, reproduktivna i da omogućava predviđanje ponašanja baruta u toku dugogodišnjeg čuvanja municije u skladištima. Postoji veliki broj metoda koje se koriste za kontrolu hemijske stabilnosti baruta, odnosno za prognoziranje njegovog veka trajanja. U procesu skladištenja ubojnih sredstava, prema SNO 8069/91, kod nas se u tu svrhu koriste slede-

će tri metode: metoda grejanja na 100°C, metoda praćenja sadržaja stabilizatora i metoda merenja toplotne aktivnosti – mikrokalorimetrija [2].

Metoda grejanja na 100°C

Kriterijum za ocenu hemijske stabilnosti baruta po metodi grejanja na 100°C je broj dana i sati od početka stavljanja uzorka baruta u aparat, da se greje na povišenoj temperaturi, do početka izdvajanja vidljivih azotnih oksida (gasovi žutosmeđe boje).

Metoda grejanja na 100°C je indikativna, naročito za NC barute. Barut koji zadovoljava po ovoj metodi hemijski je stabilan i obrnuto – barut koji ne zadovoljava po ovoj metodi ima narušenu hemijsku stabilnost, u manjoj ili većoj meri zavisno od rezultata. Zbog svoje jednostavnosti i dugogodišnjeg iskustva ona je pogodna za primenu kao indikativna metoda u kontroli hemijske stabilnosti baruta.

Određivanje sadržaja stabilizatora

Na temperaturi skladištenja reakcija utroška stabilizatora usled termičke dekompozicije baruta, do koncentracije 50% od početne, može se smatrati (aproksimirati) nepovratnom reakcijom prvog reda. U tom slučaju konstanta brzine reakcije (k) je [2, 4]:

$$k = \frac{1}{t_{sk}} \ln \frac{C_0}{C} \quad (1)$$

gde je:

t_{sk} – vreme skladištenja,

C_0 – početna koncentracija stabilizatora,

C – koncentracija stabilizatora u nekom vremenu t odvijanja reakcije.

Poznavanjem konstante brzine reakcije utroška stabilizatora može se, na osnovu izraza (1), prognozirati promena sadržaja stabilizatora sa vremenom, a time i vek trajanja baruta, zavisno od usvojenog kriterijuma kritičnog sadržaja stabilizatora. U svetu ti kriterijumi još uvek nisu jedinstveni i predmet su istraživanja. Ako se za kriterijum stabilnosti usvoji pad sadržaja stabilizatora na 50% od početne vrednosti, vek trajanja baruta je jednak poluvremenu reakcije utroška stabilizatora:

$$\tau = \frac{\ln 2}{k} \quad (2)$$

Dakle, vek trajanja baruta je vreme za koje koncentracija stabilizatora dostigne polovinu svoje početne vrednosti.

Mikrokalorimetrija

Ova metoda podrazumeva merenje brzine razvijanja toplote u najkritičnijem delu uzorka (geometrijskom centru) za vreme termostatiranja na određenoj temperaturi [2, 3, 4]. Poznavanjem količine toplote koja se akumulira u jedinici vremena, pri dekompoziciji uzorka baruta; onih dimenzija koje odgovaraju realnim dimenzijama zrna, ili kalibru municije, može se odrediti:

– energija aktivacije procesa dekompozicije baruta;

– vreme do gubitka određene količine toplote u uslovima skladištenja, što može poslužiti kao mera balističke stabilnosti baruta;

– veličina kritičnog prečnika na osnovu kojeg se može proceniti mogućnost samozapaljenja baruta.

Mikrokalorimetrija je savremena metoda koja jedina prati direktni uzročnik samozapaljenja – brzinu oslobađanja toplote. U nekim zemljama je veoma usavršena (Švedska). Kod nas je uvedena pre 15 godina i još uvek je u fazi usavršavanja. Dobijeni rezultati, uglavnom, korespondiraju sa rezultatima dobijenim merenjem sadržaja stabilizatora. Unapređenje ove metode kod nas zahteva nabavku veoma skupe opreme, jer je postojeća skromnih mogućnosti.

Opis istraživanja

Izvršena je analiza rezultata ispitivanja hemijske stabilnosti baruta sprovedenih u TRZ Kragujevac određivanjem sadržaja stabilizatora metodom UV–VIS spektrofotometrije (spektrofotometar „Perkin Elmer lambda 25“) i tačne hromatografije – HPLC (tačni hromatograf „LDC – Milton Roy 3000“ sa UV detektorom).

Analizirani su rezultati sadržaja stabilizatora prirodno starenih baruta domaće proizvodnje, i to jednobaznih baruta tipa NC i NCD i dvobaznih baruta tipa NGB i NGH. Za svaki tip baruta analizirano je više vrsta, a unutar svake vrste analizirani su ukupno raspoloživi rezultati od svih kolekcioniranih serija baruta. Rezultati sadržaja stabilizatora grupisani su prema vremenu skladištenja (eksploatacije) baruta t_{sk} – broj godina od proizvodnje do ispitivanja.

U okviru analize rezultata sadržaja stabilizatora po tipovima, vrstama i vremenu skladištenja, posebno su analizirani rezultati uzoraka baruta iz kolekcije Kragujevac (KB-1) i kolekcije Zelenika (KB-2). Pri tome su upoređivani, uglav-

nom, rezultati istih serija baruta nakon jednakog vremena skladištenja, a u nekim slučajevima, usled nedostatka podataka, upoređivani su i rezultati različitih serija iste vrste baruta, dobijeni nakon jednakog perioda skladištenja u dve različite klimatske zone (KB-1 i KB-2).

Za ocenu stabilnosti jedne vrste baruta, nakon konkretnog vremena eksploatacije, uzimana je srednja vrednost rezultata od najmanje pet serija nakon istog (konkretnog) vremena skladištenja, s tim da nisu uzimani u obzir rezultati koji odstupaju od srednje vrednosti više od $\pm 10\%$.

Na osnovu srednje vrednosti rezultata sadržaja stabilizatora od više vrsta baruta, koji pripadaju jednom tipu baruta, izračunate su srednje vrednosti parametara hemijske stabilnosti baruta za svaki analizirani tip baruta.

Osnovni sastav analiziranih baruta, prema SNO za svaku vrstu, prikazan je u tabeli 1 [5].

Tabela 1
Sastav ispitivanih baruta

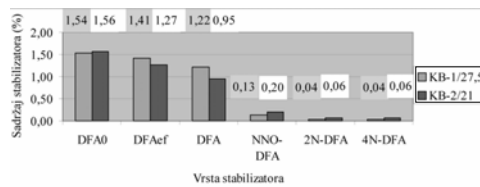
Tip i vrsta baruta	% NC	% N ₂ u NC	% NGL	% DNT	% DFA	% CI	% vlage
1	2	3	4	5	6	7	8
NC-A	97,5	13,10			1,60		1,30
NC-B	96,8	13,10			1,50		1,35
NC-C	94,3	13,05			1,20	4,00	1,25
NC-D	96,7	13,10			1,50		1,35
NC-E	97,4	13,10			1,60		1,30
NC-F	97,5	12,95			1,10		1,30
NC-G	96,8	13,25			1,40		1,20
NC-H	96,75	13,00			1,50		1,35
NCD-A	82,9	13,05		9,75	1,30		0,60
NCD-B	82,6	13,05		9,75	1,30		0,60
NCD-C	86,0	13,05		9,75	1,30		0,60
NGB-A	57,5	12,75	40,50			1,70	0,50
NGB-B	57,5	12,75	40,50			1,70	0,50
NGB-C	58,0	12,15	40,00			1,70	0,30
NGB-D	57,5	12,75	40,50			1,70	0,30
NGB-E	58,0	12,15	40,00			1,70	0,30
NGH-A	56,0	12,05	26,80	9,00		3,00	0,70
NGH-B	56,0	12,05	26,60	9,00		3,00	0,70

Analiza rezultata

JEDNOBAZNI BARUTI

NC baruti

Sumarni prosečni rezultati ispitivanja promene sadržaja stabilizatora četiri vrste NC baruta iz KB-1 i pet vrsta NC baruta iz KB-2 prikazani su u tabeli 2.



Sl. 1 – Prosečna promena sadržaja stabilizatora NC baruta nakon 27,5 godina u KB-1, odnosno 21 godinu u KB-2

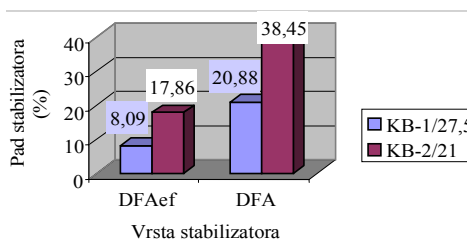
Tabela 2

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NC baruta

Red. br.	Vrsta baruta	Br. serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFAef	DFA	DFAef		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NC-B	6	25	1,48	1,16	0,09	0,03	0,04	21,54	10,68	0,02	0,09	0,01	0,06	72,2	1
2.	NC-D	9	25	1,46	1,17	0,10	0,02	0,03	19,73	9,30	0,05	0,10	0,03	0,07	80,2	1
3.	NC-A	9	30	1,59	1,32	0,15	0,06	0,04	17,24	1,54	0,04	0,04	0,03	0,03	111,7	1
4.	NC-E	14	30	1,61	1,21	0,16	0,03	0,03	25,01	10,85	0,08	0,15	0,05	0,10	76,2	1
5.	AV	9,5	27,5	1,54	1,22	0,13	0,04	0,04	20,88	8,09	0,07	0,12	0,05	0,08	85,1	1
6.	NC-D	9	15	1,62	0,77	0,29	0,10	0,15	52,72	19,21	0,33	0,12	0,21	0,08	18,8	2
7.	NC-F	6	15	1,43	1,15	0,16	0,03	0,04	19,39	3,43	0,08	0,07	0,05	0,05	57,3	2
8.	NC-H	10	15	1,55	1,28	0,15	0,04	0,02	17,29	3,72	0,05	0,05	0,03	0,03	57,0	2
9.	NC-A	9	30	1,59	0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,4	2
10.	NC-E	13	30	1,61	0,60	0,24	0,08	0,07	62,35	37,96	0,29	0,15	0,19	0,09	24,0	2
11.	AV	9,4	21,0	1,56	0,95	0,20	0,06	0,06	38,45	17,86	0,28	0,19	0,18	0,12	39,5	2
12.	NC-A	9	30	1,59	1,32	0,15	0,06	0,04	17,24	1,54	0,04	0,04	0,03	0,03	111,7	1
13.					0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,4	2
14.	NC-E	6	30	1,60	1,28	0,18	0,06	0,05	20,16	1,99	0,02	0,03	0,02	0,02	93,2	1
15.					0,82	0,19	0,06	0,02	48,43	31,85	0,15	0,09	0,10	0,06	32,6	2

NAPOMENA: $D_{DFA} = (C_0 - C) \times 100 / C_0$, $D_{DFAef} = (C_0 - C_{ef}) \times 100 / C_0$, SD = standardna devijacija, δ = odstupanje od srednje vrednosti, AV = srednja vrednost.

Uočena je značajna razlika u stabilnosti između uzoraka NC baruta iz KB-1 i KB-2, čak i pri najopštijim poređenjima srednjih vrednosti rezultata određivanja sadržaja stabilizatora od uzoraka baruta različitih vrsta i različitih perioda skladištenja (slike 1 i 2). Baruti iz KB-2 pokazuju brži pad stabilnosti – smanjenje sadržaja DFA i povećanje sadržaja mono-nitro derivata DFAef, što je posledica klimatskog faktora (veća prosečna temperatura, znatno veća vlažnost i uticaj slane atmosfere u zoni KB-2).

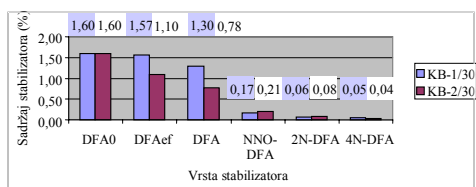


Sl. 2 – Pad sadržaja preostalog i efektivnog stabilizatora za NC barute nakon 27,5 godina u KB-1, odnosno 21 godinu u KB-2

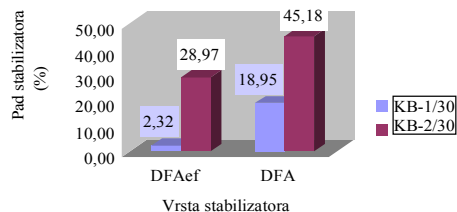
Osim toga, baruti iz KB-1 pokazuju manji pad efektivnog stabilizatora (zbir pre-

ostalog DFA i nastalih mono-nitro derivata) u odnosu na barute iz KB-2, što se može objasniti činjenicom da u nepovoljnim uslovima, kakvi su u KB-2, nastaje veća količina azotnih oksida, proces dekompozicije NC se samoubrzava, stabilizator se brže troši, pored mononitro derivata DFA nastaju dinitro i trinitro derivati DFA, a menja se i model reakcije utroška stabilizatora (tako se red reakcije pomera od prvog ka nultom redu).

Nepovoljan uticaj uslova u KB-2 na hemijsku stabilnost baruta potvrđuju rezultati hemijske stabilnosti od svih vrsta NC baruta, a posebno egzaktno od 9 istih serija baruta NC-A i 6 istih serija baruta NC-E nakon jednakog vremena skladištenja (30 godina) u KB-1 i KB-2, koji su prikazani u tabeli 2 i na slikama 3 i 4. Osim toga, analizom ovih rezultata uočena je bolja stabilnost baruta NC-A u odnosu na barut NC-E, po rezultatima iz obe kolekcije. S obzirom na to da su baruti NC-A i NC-E praktično istog hemijskog sastava, ova pojava se jedino može objasniti njihovim različitim oblicima (barut NC-A ima oblik jednokanalne cilindrične cevčice, a barut NC-E je cilindričnog oblika sa sedam kanala). Iako ovi baruti imaju gotovo identičan odnos površine i mase ($NC-A=0,68$; $NC-E=0,70 \text{ mm}^2/\text{mg}$), a s obzirom na dobru stabilnost drugih baruta koji, takođe, imaju oblik jednokanalne cevčice (NGH-A i NGH-B), može se



Sl. 3 – Zavisnost promene sadržaja stabilizatora baruta NC-A i NC-E od uslova čuvanja



Sl. 4 – Zavisnost pada preostalog i efektivnog stabilizatora od uslova čuvanja za barute NC-A i NC-E

zaključiti da je jednokanalna cevčica povoljnija za hemijsku stabilnost baruta, jer omogućava bržu izmenu nastale toplote u barutu sa okolinom, čime se usporava i odlaže autokatalitički proces hemijske degradacije baruta.

Pojedine serije NC baruta iz KB-2 pokazuju drastičan pad stabilnosti i znatno odstupaju od prosečnih rezultata. Podaci su prikazani u tabeli 3.

Analizom rezultata hemijske stabilnosti baruta, iz tabele 3, uočeno je da pojedine serije, praktično od svih vrsta NC baruta, nakon određenog perioda skladištenja, pre svega u uslovima KB-2, pokazuju nagli pad hemijske stabilnosti. Za većinu baruta to je period od 15 do 20 godina, a za izrazito stabilne barute (poput NC-A) to je period od 25 do 30 godina. Nakon kritičnog perioda, kod određenih serija NC baruta dolazi do naglog ubrzanja reakcije stabilizatora sa azotnim oksidima i promene mehanizma odvijanja reakcije od prvog ka nultom redu. Ovu tvrdnju potkrepljuju sledeći primeri:

– NC-A: velika je razlika u stabilnosti za serije koje su ispitane nakon istog perioda skladištenja od 30 godina; razlika je samo u godini proizvodnje. Serije iz 1970. godine (9 serija) stabilnije su od serija koje su proizve-

Tabela 3

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NC baruta iz KB-2 karakteristični primeri

Red. br.	Vrsta baruta	Br. serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFAef	DFA	DFAef		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NC-A	9	30	1,59	0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,35	2
2.		5	30		0,52	0,28	0,08	0,10	67,14	37,51	0,16	0,13	0,10	0,08	19,25	2
3.		3	30		0,15	0,33	0,14	0,13	90,30	52,76	0,04	0,06	0,02	0,04	8,90	2
4.			31		0,13	0,30	0,14	0,16	92,01	54,37	0,05	0,07	0,03	0,04		
5.			32		0,02	0,36	0,16	0,21	98,72	52,57	0,03	0,07	0,02	0,04		
6.	NC-B	3	15-16	1,54	1,17	0,12	0,04	0,04	24,41	11,03	0,06	0,09	0,04	0,06	40,32	1
7.					0,02	0,36	0,13	0,13	98,49	57,50	0,02	0,15	0,01	0,10	2,93	2
8.		1	15	1,64	1,24	0,16	0,04	0,08	24,39	7,32					39,67	2
9.	18		0,00		0,03	0,11	0,06	100,0	87,80					-	2	
10.	NC-D	3	15	1,45	1,12	0,18	0,04	0,03	23,22	5,60	0,11	0,05	0,07	0,03	41,73	1
11.					0,36	0,30	0,10	0,12	76,22	40,14	0,34	0,47	0,22	0,31	10,37	2
12.	NC-F	4	15	1,41	1,20	0,16	0,03	0,03	14,85	-0,95	0,03	0,04	0,02	0,02	70,42	2
13.					19	0,00	0,17	0,17	0,19	100,0	62,41	0,00	0,09	-	0,06	-
14.	NC-G	3	10	1,09	0,38	0,61	0,10	0,21	65,46	19,25	0,23	0,17	0,15	0,11	6,99	2
15.	NC-H	4	17	1,64	0,36	0,31	0,13	0,17	77,98	43,16	0,09	0,05	0,06	0,03	7,82	2
16.			18		0,21	0,40	0,12	0,17	87,30	45,31	0,09	0,07	0,06	0,05	5,70	2
17.			19		0,18	0,34	0,13	0,13	89,01	52,53	0,02	0,04	0,01	0,03	5,33	2
18.			21		0,09	0,43	0,13	0,17	94,53	50,26	0,03	0,05	0,02	0,04	4,04	2
19.	NC-B	4	15	1,60	0,11	0,29	0,18	0,29	93,47	45,87	0,11	0,57	0,07	0,37	3,71	2
20.	NC-D	6	20	1,60	0,13	0,41	0,15	0,20	91,76	43,98	0,04	0,06	0,03	0,04	5,53	2
21.	NC-H	7	19,3	1,60	0,19	0,34	0,14	0,16	88,32	48,05	0,05	0,13	0,03	0,08	6,19	2
22.	NC-H	7	21,3	1,60	0,08	0,41	0,14	0,17	94,86	50,06	0,04	0,04	0,02	0,03	4,89	2
23.	AV	6,0	19,0	1,60	0,13	0,36	0,15	0,21	92,10	46,90	0,05	0,04	0,03	0,03	5,08	2
24.	NC-C	12	15	1,24	0,95	0,14	0,01	0,02	22,99	9,84	0,14	0,12	0,09	0,08	48,78	2
25.		6	20	1,20	0,05	0,34	0,09	0,16	96,23	46,85	0,07	0,16	0,04	0,11	4,69	2
26.		5	15	*3,36	*3,59				17,37		*0,24		*0,16			2
27.		5	20	*3,50	*2,88				17,53		*0,18		*0,12			2
28.		6	26	*3,31	*2,55				22,53		*0,20		*0,13			2

NAPOMENA: rezultati od uzoraka iz KB-1 su dati radi poređenja, * – podaci se odnose na CI

dene 1972. godine (pet serija), odnosno znatno stabilnije od serija proizvedenih 1973. godine (tri serije), koje su najnestabilnije. To se može objasniti uticajem tehnološkog postupka i kvaliteta sirovina na hemijsku stabilnost baruta (logično je da su serije iz iste godine proizvedene po približno istom tehnološkom postupku i od sirovina istog kvaliteta). Primetan je veliki pad stabilnosti tri serije iz 1973. godine u toku sledeće dve godine skladištenja;

– NC-B: hemijska stabilnost serija MBL 8873, 8981 i 8985 nakon 15 do 16 godina skladištenja u KB-2 znatno je niža od prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2, a drastično niža od rezultata istih serija nakon istog perioda skladištenja u KB-1. Uočeno je da više uzoraka serija baruta NC-B nakon 15 godina čuvanja u KB-2 pokazuju nagli pad hemijske stabilnosti. To najbolje ilustruju rezultati hemijske stabilnosti serije MBL 8768 nakon 15 i 18 godina skladištenja;

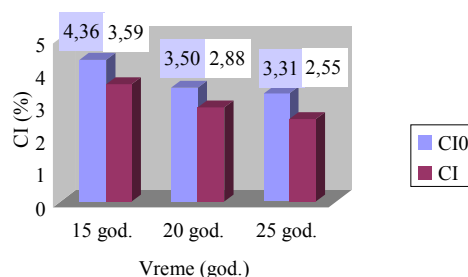
– NC-D: hemijska stabilnost serija MBL 89150, 89154 i 89157 nakon 15 godina skladištenja u KB-2 znatno je niža od prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2, a drastično niža od rezultata tih serija nakon istog perioda skladištenja u KB-1;

– NC-F: hemijska stabilnost serija MBL 8613, 8614 i 8615 nakon 15 godina skladištenja u KB-2 je u nivou prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2, a nakon 19 godina sledi drastičan pad hemijske stabilnosti istih serija;

– NC-G: hemijska stabilnost serija MBL 9407, 9511 i 9712 nakon prosečno 10 godina skladištenja u KB-1 znatno je niža od prosečnih rezultata za NC barute iz KB-1. Praktično, to je jedinstven primer da NC barut nakon desetak godina čuvanja u KB-1 pokaže veliki pad hemijske stabilnosti, a objašnjava se hemijskim sastavom baruta. Naime, barut NC-G sadrži so kalijumsulfat (kalijumnitrat) [5], koja je izrazito higroskopska, a to u krajnjem veoma ubrzava proces degradacije baruta;

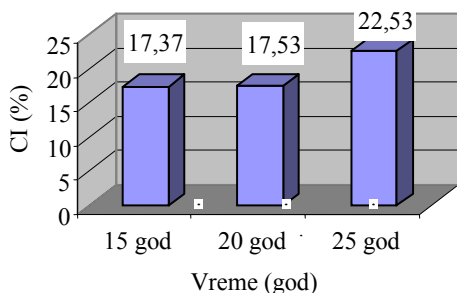
– NC-H: hemijska stabilnost 10 serija (proizvedenih 1985, 1987 i 1988) nakon 15 godina skladištenja u KB-2 je u nivou prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2. Međutim, hemijska stabilnost drugih 6 serija (proizvedenih, uglavnom, 1984) nakon prosečno 19,3 godina skladištenja u KB-2 znatno je niža od prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2, a pad stabilnosti tih 6 serija baruta u istim uslovima nakon narednih dve godine veoma je ubrzan. Osim toga, drastičan pad hemijske stabilnosti uočen je kod četiri serije (proizvedene 1984) već nakon 17 godina skladištenja, a ubrzano opada tokom svake sledeće godine. Na osnovu iznetog očito je da barut NC-H pokazuje manju

stabilnost od baruta NC-A, iako se radi o barutima sličnog sastava i istog oblika barutnog zrna [5]. Baruti u obliku jedno-kanalne cevčice izrazito su stabilni. Uzrok manje stabilnosti pojedinih serija baruta NC-H verovatno je u tehnologiji i kvalitetu sirovina, što potvrđuje činjenica da su baruti proizvedeni 1984. godine pokazali prosečno znatno manju stabilnost od ostalih baruta ove vrste;



Sl. 5 – Utrošak CI sa vremenom u barutu NC-C

– NC-C: u okviru NC baruta posebno su specifični oni koji u svom sastavu pored DFA u svojstvu stabilizatora imaju i CI u svojstvu balističkog modifikatora (površinska obrada – poliranje) [1]. Tipičan predstavnik ovih baruta je NC-C [5]. Hemijska stabilnost 12 serija nakon 15 godina skladištenja u KB-2 je u nivou prosečnih rezultata za NC barute iz KB-2. Nakon 20 godina čuvanja u KB-2 uzorci pokazuju pad stabilnosti, po HPLC metodi, ali po metodi grejanja na 100°C ovi baruti su izrazito stabilni, čak i onda kada se DFA potpuno potroši. To se objašnjava prisustvom CI (makar i na površini barutne mase), koji neminovno preuzima ulogu stabilizatora. U prilog ovom zaključku ide činjenica da se koncentracija CI smanjuje tokom vremena (slike 5 i 6). I ovde je uočeno da baruti istog godišta pokazuju približno istu sta-



Sl. 6 – Pad sadržaja CI sa vremenom u barutu NC-C

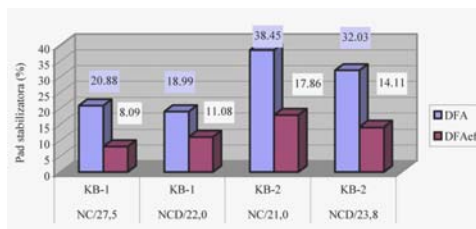
bilnost koja se znatno razlikuje od baruta drugog godišta nakon istog perioda skladištenja od 15 godina u istim uslovima, što potvrđuje zaključak da tehnološki postupak i kvalitet sirovina bitno utiču na hemijsku stabilnost baruta.

NCD baruti

Sumarni prosečni rezultati ispitivanja promene sadržaja stabilizatora dve vrste NCD baruta iz KB-1 i tri vrste NCD baruta iz KB-2 prikazani su u tabeli 4.

Slično NC barutima, i NCD baruti iz KB-2 pokazuju manju stabilnosti u odnosu na barute iz KB-1, što je posledica uticaja klimatskog faktora.

Na slici 7 dato je poređenje pada stabilizatora NC i NCD baruta. Oba baruta u KB-1 imaju približno istu stabilnost, ali u nepovoljnijim uslovima (KB-2) NCD baruti su stabilniji i pokazuju znatno manje oscilacije u hemijskoj stabilnosti od NC baruta. Ovaj fenomen može se objasniti povoljnijim sastavom NCD baruta u odnosu na NC barute. Naime, NCD baruti imaju za 10 do 14% manji sadržaj NC u barutnoj masi, a NC je glavni generator nestabilnosti baruta. Na račun NC, NCD baruti sadrže oko 10% DNT-a, koji je stabilno hemijsko jedinjenje. Osim toga, DNT vrši i delimičnu želatinizaciju molekula NC koja na taj način postaje stabilnija. Takođe, NCD baruti imaju manji početni sadržaj vlage i manje su higroskopni od NC baruta [1, 5].



Sl. 7 – Poređenje pada stabilizatora za NC i NCD barute

Tabela 4

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NCD baruta

Red. br.	Vrsta baruta	Br. serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFAef	DFA	DFAef		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NCD-A	5	20	1,41	1,14	0,07	0,01	0,04	19,21	12,50	0,02	0,06	0,02	0,04	66,58	1
2.	NCD-A	5	26	1,42	1,14	0,12	0,02	0,00	19,32	9,15	0,04	0,04	0,03	0,03	89,01	1
3.	NCD-B	7	20	1,42	1,15	0,06	0,02	0,02	18,45	11,60	0,04	0,07	0,02	0,04	80,57	1
4.	AV	5,7	22,0	1,42	1,14	0,08	0,02	0,02	18,99	11,08	0,01	0,03	0,00	0,02	78,72	1
5.	NCD-A	7	25	1,40	1,03	0,09	0,08	0,03	25,89	11,57	0,05	0,06	0,03	0,04	59,66	2
6.	NCD-B	5	20	1,38	0,99	0,10	0,07	0,03	27,87	13,17	0,05	0,06	0,03	0,04	44,09	2
7.	NCD-B	8	25	1,44	0,77	0,17	0,12	0,05	46,19	22,92	0,25	0,15	0,16	0,10	33,85	2
8.	NCD-C	10	25	1,43	1,02	0,14	0,09	0,05	28,17	8,77	0,25	0,14	0,16	0,09	79,13	2
9.	AV	7,5	23,8	1,41	0,95	0,13	0,09	0,04	32,03	14,11	0,12	0,08	0,08	0,05	53,43	2

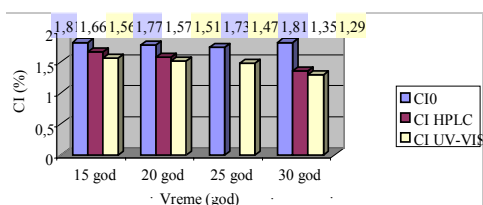
DVOBAZNI BARUTI

NGB baruti

Sumarni prosečni rezultati hemijske stabilnosti pet vrsta NGB baruta prikazani su u tabeli 5. Većina rezultata odnosi se na uzorke baruta iz KB-2, izuzev baruta NGB-B za koji postoje rezultati od uzoraka iz KB-1 i KB-2. Rezultati baruta NGB-A odnose se na uzorke baruta delaborisane iz UbS, koja su čuvana u zoni KB-2, pa su i ovi rezultati tretirani kao da su od uzoraka baruta iz KB-2.

Dvobazni barut NGB-B (slično jednobaznim barutima NC i NCD) pokazuje manju stabilnost u KB-2 u odnosu na KB-1.

U tabeli 6 i na slikama 8 i 9 prikazani su zbirni rezultati promene sadržaja stabilizatora kod NGB baruta iz KB-2, grupisani prema vremenu ispitivanja i metodama. Uočeno je da se po UV-VIS metodi dobijaju manje vrednosti sadržaja CI, veći pad stabilizatora i kraći vek trajanja NGB baruta nego po HPLC metodi.



Sl. 8 – Zavisnost sadržaja stabilizatora u NGB barutima iz KB-2 sa vremenom

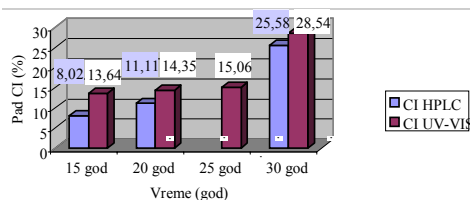
Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGB baruta

Tabela 5

Red. br.	Vrsta baruta	Broj serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C _{CI} %		D _{CI} %		SD _{CI}	δ _{CI}	τ	Barut iz
					UV-VIS	HPLC	UV-VIS	HPLC				
1.	NGB-B	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2.		4	25	1,78	1,58		11,19		0,14	0,09	186,6	KB-1
					1,48		16,67		0,07	0,04	100,4	KB-2
3.	NGB-A	8	22,8	1,77	1,46		17,54		0,09	0,06	86,0	UbS
4.	NGB-B	4	25	1,78	1,48		16,67		0,07	0,04	100,4	KB-2
5.		4	30	1,79	1,29		27,82		0,06	0,04	65,3	
6.	NGB-C	3	15	1,84	1,56		14,71		0,12	0,08	80,7	
7.		5	20	1,79	1,49		16,44		0,08	0,05	80,1	
8.		4	25	1,70	1,46		14,12		0,08	0,05	120,9	
9.	NGB-D	4	30	1,82	1,29		29,26		0,06	0,04	60,9	
10.	NGB-E	9	15	1,77	1,55		12,57		0,12	0,08	118,9	
11.		14	20	1,74	1,52		12,26		0,09	0,06	119,5	
12.		6	25	1,70	1,46		14,40		0,05	0,03	113,3	
13.	AV	6,1	22,8	1,77	1,46		17,58		0,09	0,06	91,7	
14.	NGB-A	8	22,8	1,77		1,45		18,54	0,08	0,06	80,1	UbS
15.	NGB-B	3	30	1,80		1,34		25,88	0,05	0,03	69,9	KB-2
16.	NGB-C	3	15	1,84		1,67		8,96	0,07	0,05	154,3	
17.		5	20	1,79		1,60		10,59	0,07	0,04	130,3	
18.		3	25	1,72		1,56		9,68	0,08	0,05	179,2	
19.	NGB-D	4	30	1,82		1,36		25,27	0,02	0,02	71,7	
20.	NGB-E	9	15	1,77		1,64		7,07	0,07	0,04	221,6	
21.		14	20	1,74		1,53		11,62	0,06	0,04	125,3	
22.		6	25	1,70		1,55		9,20	0,06	0,04	191,2	
23.	AV	6,1	22,5	1,77		1,52		14,09	0,12	0,08	135,9	

Tabela 6
Zbirni rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora
NGB baruta, grupisani po godinama starosti

t _E	UV-VIS			HPLC		
	C ₀ (%)	C _{Cl} %	D _{Cl} %	C ₀ (%)	C _{Cl} %	D _{Cl} %
1	2	3	4	5	6	7
15	1,81	1,56	13,64	1,81	1,66	8,02
20	1,77	1,51	14,35	1,77	1,57	11,11
25	1,73	1,47	15,06			
30	1,81	1,29	28,54	1,81	1,35	25,58



Sl. 9 – Zavisnost pada stabilizatora NGB baruta iz KB-2 sa vremenom

Uočeno je da na NGB barute, u poređenju sa jednobaznim, pogotovo NC barutima, manje utiču nepovoljni uslovi skladištenja kakvi vladaju u zoni KB-2. To se može objasniti činjenicom da NGB baruti imaju povoljniji sastav od NC baruta (manji sadržaj NC u barutnoj masi, manji sadržaj azota u NC, manji početni sadržaj vlage i manju higroskopnost). Takođe, nitroglicerina vrši impregnaciju i želatinizaciju molekula nitroceluloze i čini ih stabilnijim.

NGH baruti

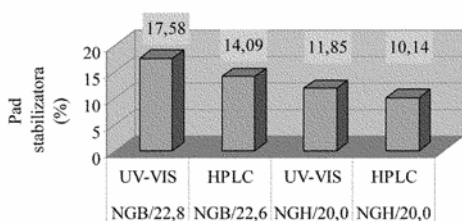
Sumarni prosečni rezultati ispitivanja promene sadržaja stabilizatora dve vrste NGH baruta iz KB-1 i KB-2 prikazani su u tabeli 7. Slično opisanim barutima, i dvobazni NGH baruti iz KB-2 pokazuju manju stabilnost.

I kod NGH baruta određene serije, različitih godina proizvodnje, iste vrste baruta nakon jednakog perioda skladištenja u istoj kolekciji pokazuju različitu stabilnost, što se, kao u prethodnim slučajevima, može objasniti razlikama u tehnološkom postupku ili u kvalitetu sirovina (tabela 7).

Tabela 7
Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGH baruta različitih godina starosti

Red. br.	Vrsta baruta	Broj serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C _{Cl} %		D _{Cl} %		SD _{Cl}	δ _{Cl}	τ	KB
					UV-VIS	HPLC	UV-VIS	HPLC				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	NGH-B	9	15	3,07	2,92		4,83		0,04	0,03	230,5	1
2.	NGH-A	17	30	3,21	2,86		10,90		0,14	0,09	201,4	
3.	AV	13,0	22,50	3,14	2,89		7,87		0,04	0,03	216,0	
4.	NGH-A	5	15	3,18	2,77		12,94		0,11	0,07	171,5	2
5.	NGH-B	15	20	3,12	2,81		9,92		0,11	0,07	156,8	
6.	NGH-A	3	25	3,16	2,76		12,69		0,14	0,09	134,8	
7.	AV	7,7	20,0	3,15	2,78		11,85		0,03	0,02	154,4	
8.	NGH-A	5	15	3,18		2,82		11,53	0,10	0,07	180,7	2
9.	NGH-B	15	20	3,12		2,89		7,29	0,05	0,04	188,2	
10.	NGH-A	3	25	3,16		2,79		11,61	0,04	0,02	142,2	
11.	AV	7,7	20,0	3,15		2,83		10,14	0,05	0,03	170,4	
12.	NGH-A	4	25	3,14	3,04		3,19		0,03	0,02	541,1	2
13.	NGH-A	3	25	3,16	2,76		12,69		0,14	0,09	134,8	
14.	NGH-A	4	25	3,14		3,05		3,03	0,05	0,04	631,3	
15.	NGH-A	3	25	3,16		2,79		11,61	0,04	0,02	142,2	
16.	NGH-A	4	35	3,08	2,85		7,54		0,09	0,06	331,2	

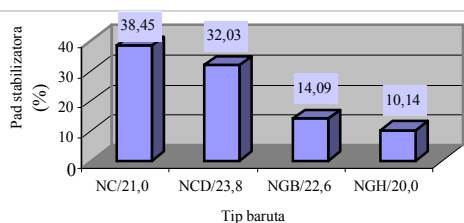
U poređenju sa NGB barutima, NGH baruti su stabilniji, i to u uslovima obe kolekcije, pogotovo u nepovoljnim uslovima smeštaja kakvi vladaju u zoni KB-2. To je uslovljeno optimalnim hemijskim sastavom (DNT, DBF, DEF i manji saržaj NGL) i povoljnim oblikom barutnog zrna (jednokanalna cevčica) NGH baruta. Na slici 10 prikazani su uporedni rezultati stabilnosti.



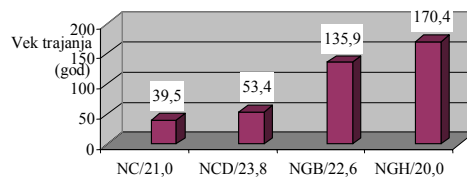
Sl. 10 – Poređenje pada stabilizatora za NGB i NGH barute

U poređenju sa jednobaznim barutima, dvobazni baruti pokazuju bolju stabilnost (slike 11 i 12), što se objašnjava činjenicom da dvobazni baruti imaju povoljniji sastav (naročito NGH baruti), manju poroznost, homogeniju strukturu, veći stepen želatinizacije nitroceluloze, manji početni sadržaj vlage i manju higroskopnost, što u krajnjem rezultira boljom hemijskom stabilnošću.

Međutim, pitanje je pouzdanosti dobijenih rezultata za dvobazne barute, jer su na osnovu analize rezultata uočene sledeće pojave:



Sl. 11 – Poređenje pada stabilizatora jednobaznih i dvobaznih baruta iz KB-2



Sl. 12 – Poređenje veka trajanja jednobaznih i dvobaznih baruta iz KB-2

– često se dešava da se nakon perioda skladištenja od 15 i više godina dobiju veće vrednosti preostalog sadržaja stabilizatora od vrednosti početnog (određen analitičkim merenjem), što je očigledna eksperimentalna greška. To je uočeno kod svih baruta koji u svom sastavu imaju CI, bilo u svojstvu stabilizatora (dvobazni baruti) ili u svojstvu modifikatora (pojedini jednobazni baruti npr. NC-C);

– uočena je zavisnost rezultata ispitivanja sadržaja stabilizatora CI od metode. Naime, po UV-VIS metodi dobijaju se manje vrednosti sadržaja CI, veći pad stabilizatora i kraći vek trajanja dvobaznih baruta nego po HPLC metodi.

Zaključak

Hemijska stabilnost baruta zavisi od mnogo faktora, pre svega od uslova skladištenja. Svi analizirani baruti pokazuju manju stabilnost u nepovoljnijim uslovima čuvanja, kakvi vladaju u KB-2, naročito NC baruti kod kojih se nakon 15 do 20 godina provedenih u KB-2 naglo ubrzava proces degradacije, a mehanizam reakcije utroška stabilizatora menja od prvog ka nultom. Pored toga, hemijska stabilnost zavisi od sastava – jednobazni baruti su manje stabilni od dvobaznih. U okviru jednobaznih baruta, NCD baruti su stabilniji od NC baruta, jer sadrže DNT, koji vrši želatinizaciju molekula

NC i čini ih znatno stabilnijim. Takođe, NGH baruti su stabilniji od NGB baruta zbog povoljnijeg sastava.

Uočeno je da hemijska stabilnost baruta zavisi i od dimenzija i oblika barutnog zrna. Sa tog aspekta može se zaključiti da jednokanalna cevčica ima povoljan oblik, jer omogućava bržu izmenu nastale toplote sa okolinom, čime se usporava autokataliza degradacije baruta. Kod dvobaznih baruta uočena je zavisnost rezultata sadržaja CI od metode – po UV-VIS metodi se dobijaju manje vrednosti sadržaja CI, veći pad stabilizatora i samim tim kraći vek trajanja baruta u odnosu na HPLC metodu. Ovaj fenomen do sada nije analiziran. Potrebno je utvrditi uzroke postojanja razlika i, u

skladu s tim, predložiti korekciju SNO za ispitivanje hemijske stabilnosti baruta.

Literatura:

- [1] Maksimović P., V.: Eksplozivne materije, VIZ, Beograd 1985.
- [2] Praćenje hemijske stabilnosti baruta i raketnih goriva – SNO 8069/91, Beograd 1991.
- [3] Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 935 „Reactions in the System Nitro-cellulose/ Diphenylamine with Special Reference to the Formation of a Stabilizing Product Bonded to Nitro-cellulose“, BY TORBJORN LINDBLON, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS, Uppsala, 2004.
- [4] Grbović, L.: Hemijska degradacija baruta, Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Zagreb, 1985.
- [5] SNO broj: 7118/94 (NC-18), 1243/89 (NC-27), 1240/94 (NC-29), 1261/89 (NC-37), 1175/84 (NC-38), 1189/84 (NC-40), 7653/97 (NC-70), 7883/88 (NC-123), 1194/89 (NCD-11), 1195/89 (NCD-21), 1218/95 (NCD-27), 1269/84 (NGB-061), 1178/84 (NGB-081), 1167/94 (NGB-161), 1179/84 (NGB-231), 1224/94 (NGB-261), 1170/84 (NGH-215) i 1268/92 (NGH-285).
- [6] Zbornik radova Kvalitet uskladištenih UbS, Tematski skup TU GŠVJ, Beograd 1994.

Tabela 1

Sastav ispitivanih baruta

Tip i vrsta baruta	% NC	% N ₂ u NC	% NGL	% DNT	% DFA	% CI	% vlage
1	2	3	4	5	6	7	8
NC-A	97,5	13,10			1,60		1,30
NC-B	96,8	13,10			1,50		1,35
NC-C	94,3	13,05			1,20	4,00	1,25
NC-D	96,7	13,10			1,50		1,35
NC-E	97,4	13,10			1,60		1,30
NC-F	97,5	12,95			1,10		1,30
NC-G	96,8	13,25			1,40		1,20
NC-H	96,75	13,00			1,50		1,35
NCD-A	82,9	13,05		9,75	1,30		0,60
NCD-B	82,6	13,05		9,75	1,30		0,60
NCD-C	86,0	13,05		9,75	1,30		0,60
NGB-A	57,5	12,75	40,50			1,70	0,50
NGB-B	57,5	12,75	40,50			1,70	0,50
NGB-C	58,0	12,15	40,00			1,70	0,30
NGB-D	57,5	12,75	40,50			1,70	0,30
NGB-E	58,0	12,15	40,00			1,70	0,30
NGH-A	56,0	12,05	26,80	9,00		3,00	0,70
NGH-B	56,0	12,05	26,60	9,00		3,00	0,70

Tabela 2

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NC baruta

Red. br.	Vrsta baruta	Br. serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFA _f	DFA	DFA _f		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NC-B	6	25	1,48	1,16	0,09	0,03	0,04	21,54	10,68	0,02	0,09	0,01	0,06	72,2	1
2.	NC-D	9	25	1,46	1,17	0,10	0,02	0,03	19,73	9,30	0,05	0,10	0,03	0,07	80,2	1
3.	NC-A	9	30	1,59	1,32	0,15	0,06	0,04	17,24	1,54	0,04	0,04	0,03	0,03	111,7	1
4.	NC-E	14	30	1,61	1,21	0,16	0,03	0,03	25,01	10,85	0,08	0,15	0,05	0,10	76,2	1
5.	AV	9,5	27,5	1,54	1,22	0,13	0,04	0,04	20,88	8,09	0,07	0,12	0,05	0,08	85,1	1
6.	NC-D	9	15	1,62	0,77	0,29	0,10	0,15	52,72	19,21	0,33	0,12	0,21	0,08	18,8	2
7.	NC-F	6	15	1,43	1,15	0,16	0,03	0,04	19,39	3,43	0,08	0,07	0,05	0,05	57,3	2
8.	NC-H	10	15	1,55	1,28	0,15	0,04	0,02	17,29	3,72	0,05	0,05	0,03	0,03	57,0	2
9.	NC-A	9	30	1,59	0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,4	2
10.	NC-E	13	30	1,61	0,60	0,24	0,08	0,07	62,35	37,96	0,29	0,15	0,19	0,09	24,0	2
11.	AV	9,4	21,0	1,56	0,95	0,20	0,06	0,06	38,45	17,86	0,28	0,19	0,18	0,12	39,5	2
12.	NC-A	9	30	1,59	1,32	0,15	0,06	0,04	17,24	1,54	0,04	0,04	0,03	0,03	111,7	1
13.					0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,4	2
14.	NC-E	6	30	1,60	1,28	0,18	0,06	0,05	20,16	1,99	0,02	0,03	0,02	0,02	93,2	1
15.					0,82	0,19	0,06	0,02	48,43	31,85	0,15	0,09	0,10	0,06	32,6	2

NAPOMENA: $D_{DFA} = (C_0 - C) \times 100 / C_0$, $D_{DFAef} = (C_0 - C_{ef}) \times 100 / C_0$, SD = standardna devijacija, δ = odstupanje od srednje vrednosti, AV = srednja vrednost.

Tabela 3

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NC baruta iz KB-2 karakteristični primeri

Red. br.	Vrsta baruta	Br. serija	t_{sk}	C_0 (%)	C, % (HPLC)				D_{DFA}	D_{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFA _f	DFA	DFA _f		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NC-A	9	30	1,59	0,95	0,18	0,07	0,00	40,48	24,97	0,05	0,05	0,03	0,03	40,35	2
2.		5	30		0,52	0,28	0,08	0,10	67,14	37,51	0,16	0,13	0,10	0,08	19,25	2
3.		3	30		0,15	0,33	0,14	0,13	90,30	52,76	0,04	0,06	0,02	0,04	8,90	2
4.			31		0,13	0,30	0,14	0,16	92,01	54,37	0,05	0,07	0,03	0,04		
5.			32		0,02	0,36	0,16	0,21	98,72	52,57	0,03	0,07	0,02	0,04		
6.	NC-B	3	15-16	1,54	1,17	0,12	0,04	0,04	24,41	11,03	0,06	0,09	0,04	0,06	40,32	1
7.					0,02	0,36	0,13	0,13	98,49	57,50	0,02	0,15	0,01	0,10	2,93	2
8.		1	15	1,64	1,24	0,16	0,04	0,08	24,39	7,32					39,67	2
9.			18		0,00	0,03	0,11	0,06	100,0	87,80					-	2
10.	NC-D	3	15	1,45	1,12	0,18	0,04	0,03	23,22	5,60	0,11	0,05	0,07	0,03	41,73	1
11.					0,36	0,30	0,10	0,12	76,22	40,14	0,34	0,47	0,22	0,31	10,37	2
12.	NC-F	4	15	1,41	1,20	0,16	0,03	0,03	14,85	-0,95	0,03	0,04	0,02	0,02	70,42	2
13.					19	0,00	0,17	0,17	0,19	100,0	62,41	0,00	0,09	-	0,06	-
14.	NC-G	3	10	1,09	0,38	0,61	0,10	0,21	65,46	19,25	0,23	0,17	0,15	0,11	6,99	2
15.	NC-H	4	17	1,64	0,36	0,31	0,13	0,17	77,98	43,16	0,09	0,05	0,06	0,03	7,82	2
16.			18		0,21	0,40	0,12	0,17	87,30	45,31	0,09	0,07	0,06	0,05	5,70	2
17.			19		0,18	0,34	0,13	0,13	89,01	52,53	0,02	0,04	0,01	0,03	5,33	2
18.			21		0,09	0,43	0,13	0,17	94,53	50,26	0,03	0,05	0,02	0,04	4,04	2

Red. br.	Vrsta baruta	Br.serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFA _f	DFA	DFA _f		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
19.	NC-B	4	15	1,60	0,11	0,29	0,18	0,29	93,47	45,87	0,11	0,57	0,07	0,37	3,71	2
20.	NC-D	6	20	1,60	0,13	0,41	0,15	0,20	91,76	43,98	0,04	0,06	0,03	0,04	5,53	2
21.	NC-H	7	19,3	1,60	0,19	0,34	0,14	0,16	88,32	48,05	0,05	0,13	0,03	0,08	6,19	2
22.	NC-H	7	21,3	1,60	0,08	0,41	0,14	0,17	94,86	50,06	0,04	0,04	0,02	0,03	4,89	2
23.	AV	6,0	19,0	1,60	0,13	0,36	0,15	0,21	92,10	46,90	0,05	0,04	0,03	0,03	5,08	2
24.	NC-C	12	15	1,24	0,95	0,14	0,01	0,02	22,99	9,84	0,14	0,12	0,09	0,08	48,78	2
25.		6	20	1,20	0,05	0,34	0,09	0,16	96,23	46,85	0,07	0,16	0,04	0,11	4,69	2
26.		5	15	*4,36	*3,59				17,37		*0,24		*0,16			2
27.		5	20	*3,50	*2,88				17,53		*0,18		*0,12			2
28.		6	26	*3,31	*2,55				22,53		*0,20		*0,13			2

NAPOMENA: rezultati od uzoraka iz KB-1 su dati radi poređenja, * – podaci se odnose na CI

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NCD baruta

Tabela 4

Red. br.	Vrsta baruta	Br.serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C, % (HPLC)				D _{DFA}	D _{DFAef}	SD		δ		τ	KB
					DFA	NNO-DFA	2N-DFA	4N-DFA			DFA	DFA _f	DFA	DFA _f		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1.	NCD-A	5	20	1,41	1,14	0,07	0,01	0,04	19,21	12,50	0,02	0,06	0,02	0,04	66,58	1
2.	NCD-A	5	26	1,42	1,14	0,12	0,02	0,00	19,32	9,15	0,04	0,04	0,03	0,03	89,01	1
3.	NCD-B	7	20	1,42	1,15	0,06	0,02	0,02	18,45	11,60	0,04	0,07	0,02	0,04	80,57	1
4.	AV	5,7	22,0	1,42	1,14	0,08	0,02	0,02	18,99	11,08	0,01	0,03	0,00	0,02	78,72	1
5.	NCD-A	7	25	1,40	1,03	0,09	0,08	0,03	25,89	11,57	0,05	0,06	0,03	0,04	59,66	2
6.	NCD-B	5	20	1,38	0,99	0,10	0,07	0,03	27,87	13,17	0,05	0,06	0,03	0,04	44,09	2
7.	NCD-B	8	25	1,44	0,77	0,17	0,12	0,05	46,19	22,92	0,25	0,15	0,16	0,10	33,85	2
8.	NCD-C	10	25	1,43	1,02	0,14	0,09	0,05	28,17	8,77	0,25	0,14	0,16	0,09	79,13	2
9.	AV	7,5	23,8	1,41	0,95	0,13	0,09	0,04	32,03	14,11	0,12	0,08	0,08	0,05	53,43	2

Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGB baruta

Tabela 5

Vrsta	t _{sk}	C ₀	C _{CI} %	D _{CI} %	SD _{CI}	δ _{CI}	τ	KB
-------	-----------------	----------------	-------------------	-------------------	------------------	-----------------	---	----

					UV-VIS	HPLC	UV-VIS	HPLC				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	NGB-B	4	25	1,78	1,58		11,19		0,14	0,09	186,6	KB-1
2.					1,48		16,67		0,07	0,04	100,4	KB-2
3.	NGB-A	8	22,8	1,77	1,46		17,54		0,09	0,06	86,0	UbS
4.	NGB-B	4	25	1,78	1,48		16,67		0,07	0,04	100,4	KB-2
5.		4	30	1,79	1,29		27,82		0,06	0,04	65,3	
6.		3	15	1,84	1,56		14,71		0,12	0,08	80,7	
7.	NGB-C	5	20	1,79	1,49		16,44		0,08	0,05	80,1	
8.		4	25	1,70	1,46		14,12		0,08	0,05	120,9	
9.	NGB-D	4	30	1,82	1,29		29,26		0,06	0,04	60,9	
10.		9	15	1,77	1,55		12,57		0,12	0,08	118,9	
11.	NGB-E	14	20	1,74	1,52		12,26		0,09	0,06	119,5	
12.		6	25	1,70	1,46		14,40		0,05	0,03	113,3	
13.	AV	6,1	22,8	1,77	1,46		17,58		0,09	0,06	91,7	
14.	NGB-A	8	22,8	1,77		1,45		18,54	0,08	0,06	80,1	UbS
15.	NGB-B	3	30	1,80		1,34		25,88	0,05	0,03	69,9	KB-2
16.	NGB-C	3	15	1,84		1,67		8,96	0,07	0,05	154,3	
17.		5	20	1,79		1,60		10,59	0,07	0,04	130,3	
18.		3	25	1,72		1,56		9,68	0,08	0,05	179,2	
19.	NGB-D	4	30	1,82		1,36		25,27	0,02	0,02	71,7	
20.		9	15	1,77		1,64		7,07	0,07	0,04	221,6	
21.	NGB-E	14	20	1,74		1,53		11,62	0,06	0,04	125,3	
22.		6	25	1,70		1,55		9,20	0,06	0,04	191,2	
23.	AV	6,1	22,5	1,77		1,52		14,09	0,12	0,08	135,9	

Tabela 6

Zbirni rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGB baruta, grupisani po godinama starosti

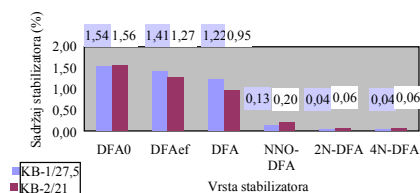
t _E	UV-VIS			HPLC		
	C ₀ (%)	C _{Cl} %	D _{Cl} %	C ₀ (%)	C _{Cl} %	D _{Cl} %
1	2	3	4	5	6	7
15	1,81	1,56	13,64	1,81	1,66	8,02
20	1,77	1,51	14,35	1,77	1,57	11,11
25	1,73	1,47	15,06			
30	1,81	1,29	28,54	1,81	1,35	25,58

Tabela 7

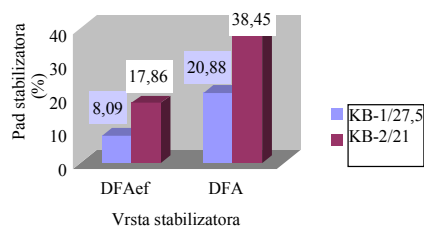
Rezultati ispitivanja sadržaja stabilizatora NGH baruta različitih godina starosti

Red. br.	Vrsta baruta	Broj serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C _{Cl} %		D _{Cl} %		SD _{Cl}	δ _{Cl}	τ	KB
					UV-VIS	HPLC	UV-VIS	HPLC				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	NGH-B	9	15	3,07	2,92		4,83		0,04	0,03	230,5	1
2.	NGH-A	17	30	3,21	2,86		10,90		0,14	0,09	201,4	
3.	AV	13,0	22,50	3,14	2,89		7,87		0,04	0,03	216,0	
4.	NGH-A	5	15	3,18	2,77		12,94		0,11	0,07	171,5	2

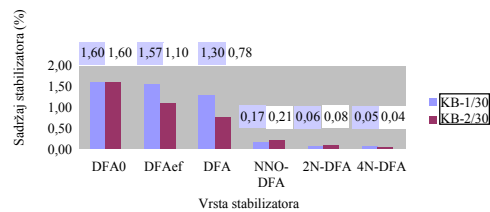
Red. br.	Vrsta baruta	Broj serija	t _{sk}	C ₀ (%)	C _{Cl} %		D _{Cl} %		SD _{Cl}	δ _{Cl}	τ	KB
					UV-VIS	HPLC	UV-VIS	HPLC				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5.	NGH-B	15	20	3,12	2,81		9,92		0,11	0,07	156,8	2
6.	NGH-A	3	25	3,16	2,76		12,69		0,14	0,09	134,8	
7.	AV	7,7	20,0	3,15	2,78		11,85		0,03	0,02	154,4	
8.	NGH-A	5	15	3,18		2,82		11,53	0,10	0,07	180,7	
9.	NGH-B	15	20	3,12		2,89		7,29	0,05	0,04	188,2	
10	NGH-A	3	25	3,16		2,79		11,61	0,04	0,02	142,2	
.	AV	7,7	20,0	3,15		2,83		10,14	0,05	0,03	170,4	
11.	NGH-A	4	25	3,14	3,04		3,19		0,03	0,02	541,1	2
12.	NGH-A	3	25	3,16	2,76		12,69		0,14	0,09	134,8	
13.	NGH-A	4	25	3,14		3,05		3,03	0,05	0,04	631,3	
14.	NGH-A	3	25	3,16		2,79		11,61	0,04	0,02	142,2	
15.	NGH-A	4	35	3,08	2,85		7,54		0,09	0,06	331,2	



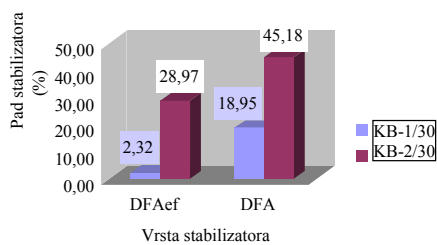
Sl. 1 – Prosečna promena sadržaja stabilizatora NC baruta nakon 27,5 godina u KB-1, odnosno 21godinu u KB-2



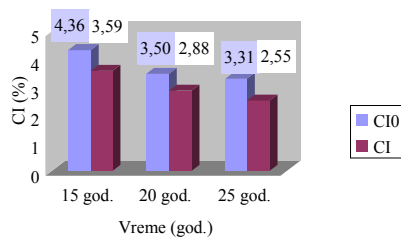
Sl. 2 – Pad sadržaja preostalog i efektivnog stabilizatora za NC barute nakon 27,5 godina u KB-1, odnosno 21godinu u KB-2



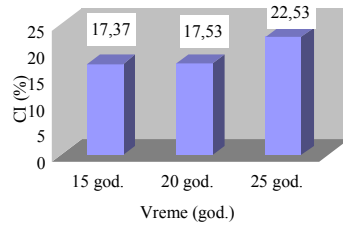
Sl. 3 – Zavisnost promene sadržaja stabilizatora baruta NC-A i NC-E od uslova čuvanja



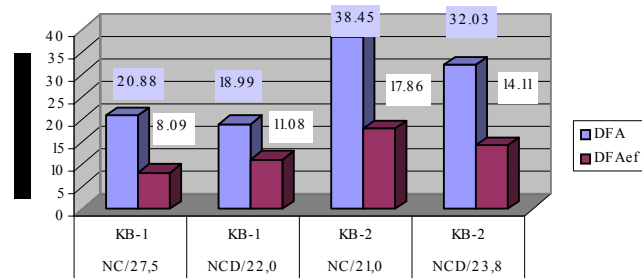
Sl. 4 – Zavisnost pada preostalog i efektivnog stabilizatora od uslova čuvanja za barute NC-A i NC-E



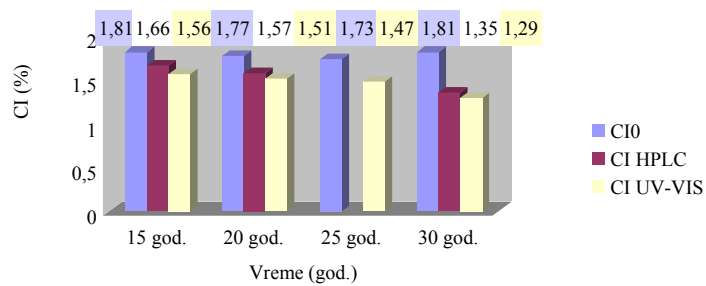
Sl. 5 – Utrošak CI sa vremenom u barutu NC-C



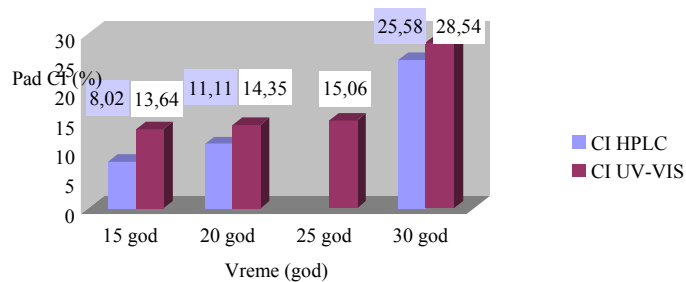
Sl. 6 – Pad sadržaja CI sa vremenom u barutu NC-C



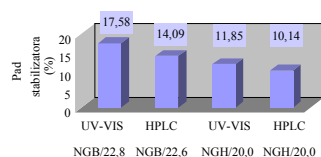
Sl. 7 – Poređenje pada stabilizatora za NC i NCD barute



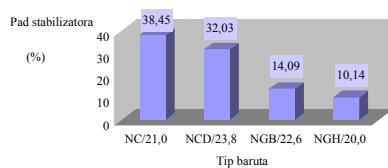
Sl. 8 – Zavisnost sadržaja stabilizatora u NGB barutima iz KB-2 sa vremenom



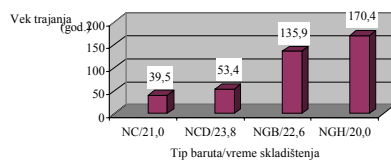
Sl. 9 – Zavisnost pada stabilizatora NGB baruta iz KB-2 sa vremenom



Sl. 10 – Poređenje pada stabilizatora za NGB i NGH barute



Sl. 11 – Poređenje pada stabilizatora jednobaznih i dvobaznih baruta iz KB-2



Sl. 12 – Poređenje veka trajanja jednobaznih i dvobaznih baruta iz KB-2

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

PRIVREDNI EKSPLOZIVI I NEKI ASPEKTI NJIHOVE PRAKTIČNE PRIMENE

UDC: 662.24

Rezime:

Privredni eksplozivi primenjuju se za miniranja u rudnicima, kamenolomima, pri izgradnji puteva, pruga, rušenju zgrada, kao i u specijalne svrhe, kao što su zavarivanje metala, seizmička istraživanja, itd. U radu je prikazan razvoj privrednih eksploziva, kao i osobine i namena najvažnijih sastava koji se danas najviše primenjuju u praksi. Prikazana je metoda optimizacije miniranja „Power-deck“, koja se primenjuje radi uštede količine eksploziva, poboljšanja fragmentacije i smanjenja potresa zemljišta.

Ključne reči: privredni eksplozivi, sredstva za rušenje, miniranje stena.

COMERCIAL EXPLOSIVES AND SOME ASPECTS OF THERE PRACTICAL USE

Summary:

Commercial explosives are used for mining in main, quarries, construction of road and railway-track, building demolition and for special purpose as metal welding, seismic investigation etc. In this paper a shot historical overview of commercial explosives development is given and presented properties and use of some compositions that have the greatest practical importance in our country and in the world. The „Power-deck“ method for quarrying optimization, using for explosive consumption decreasing, also is presented.

Key words: commercial explosives, blasting agents, quarrying.

Uvod

Za razliku od vojnih eksploziva, koji su, uglavnom, bazirani na čistim jedinjenjima, privredni (komercijalni) eksplozivi sastoje se od oksidansa, reducenta, senzibilizatora i inertnih komponenti, zbog čega imaju heterogenu strukturu. S obzirom na njihovu primenu sastav im se podešava tako da se postigne uravnoteženi ili blago pozitivni bilans kiseonika, kako u produktima eksplozije ne bi nastale značajnije količine otrovnih gasova (nitrozni gasovi i ugljenmonoksid).

Sa aspekta osetljivosti prema američkim DoT standardima (US Department of Transportation) danas se privredni eksplozivi dele na dve grupe: pravi eksplozivi i sredstva za rušenje. Osnovna razlika između njih je u osetljivosti, odnosno načinu inicijacije. Eksplozivi su osetljivi na detonatorsku kapislu br. 8, dok se sredstva za rušenje mogu inicirati samo pomoću pojačnika (bustera). Kojoj grupi će neki privredni eksploziv pripadati zavisi isključivo od njegovog sastava. Ako u sebi ne sadrži ni jednu komponentu koja se klasifikuje kao čist eksploziv onda spada u

sredstva za rušenje, a u suprotnom se klasifikuje kao pravi eksploziv.

Zbog male osetljivosti na inicijaciju sredstva za rušenje su izuzetno bezbedna za transport, skladištenje i manipulaciju, usled čega ne podležu strogim propisima koji važe za prave eksplozive. To umnogome pojednostavljuje a samim tim i pojeftinjuje njihovu proizvodnju i primenu.

Zbog heterogene strukture, a i relativno male gustine, pri detonaciji privrednih eksploziva dolazi do većih gubitaka u hemijskoj energiji u odnosu na vojne eksplozive, postižu se manje brzine detonacije i mnogo više je izražen rušeci efekat u odnosu na brizantni eksploziv.

Savremeni privredni eksplozivi poseduju mnogo veću stabilnost i otpornost na vlagu u odnosu na tradicionalne, a prilagođeni su i za mehanizovano direktno punjenje bušotina (pumpanjem).

Razvoj privrednih eksploziva

Energija eksplozije prvi put je primenjena za miniranje početkom 17. veka. Godine 1627. Caspar Weindl iz Slovačke [1] zvanično je prvi put primenio crni barut za podzemno miniranje.

Sve do polovine 19. veka crni barut je ostao jedino sredstvo za miniranje. Revolucija u razvoju i primeni eksplozivnih materija, kako za vojne, tako i za civilne potrebe nastupa 1865. godine, kada je Švedanin Alfred Nobel pronašao dinamit. Izuzetno osetljiv i snažan tečni eksploziv nitroglicerina, koji je 20 godina ranije sintetizovao Ascanio Sobrero, Nobel je pomešao sa dijatomejskom zemljom (kiselgur, prirodni hidratizirani silikat velike specifične površine), čime ga je učinio

bezbednim za manipulaciju i tako proizveo dinamit. Novi eksploziv naglo je osvojio svet, jer je omogućio brzo i ekonomično vađenje rude i uglja, probijanje tunela i izgradnju puteva i železničkih pruga. Za inicijaciju dinamita Nobel je koristio detonatorsku kapislu sa živinim fulminatom. Pronalazak i proizvodnja dinamita doneli su Nobelu ogroman profit koji je i danas osnova dodeljivanja Nobelove nagrade za najznačajnija dostignuća u različitim naučnim oblastima.

I danas su eksplozivi, koji kao senzibilizator koriste nitroglicerina, poznati kao dinamiti. Oni predstavljaju prvu generaciju privrednih eksploziva. Njihova proizvodnja i primena sve više se izbegava zbog mnogih akcidenata, koji su posledica velike osetljivosti nitroglicerina.

Već 1867. godine u Švedskoj je patentiran i u praksi primenjen eksploziv za rušenje na bazi amonijumnitrata (bez nitroglicerina), koji je kasnije bio osnova, kako za proizvodnju privrednih eksploziva sa ili bez eksplozivnih komponenti, tako i za izradu različitih eksplozivnih smeša za vojne potrebe, najčešće sa trinitrotoluenom (amatoli).

Sastavi u kojima se kao senzibilizator primenjuje neki od brizantnih eksploziva (TNT, metilamin nitrat i drugi) pripadaju drugoj generaciji privrednih eksploziva. Oni su mnogo bezbedniji od dinamita, ali zbog prisustva eksplozivne komponente nisu potpuno bezbedni za proizvodnju i primenu.

Treću generaciju privrednih eksploziva čine potpuno bezbedni sastavi koji ne sadrže ni jednu komponentu koja se klasifikuje kao čist eksploziv (ANFO, slari i emulzioni eksplozivi).

Prvi eksplozivi ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) našli su širu primenu u praksi tek nakon 1950. godine. Oni se sastoje od amonijumnitrata, kao oksidansa, i neke gorive komponente (mineralno ulje, dizel gorivo). Ovi, pre svega jeftini eksplozivi, imaju najširu primenu u svetu, naročito zbog jednostavne proizvodnje i bezbedne manipulacije. Međutim, njihov glavni nedostatak je velika osetljivost na vlagu, što je posledica higroskopnosti amonijumnitrata. Zato se ovi eksplozivi primenjuju samo u suvim uslovima.

Amerikanac Melvin A. Cook je 1956. godine uspeo prvi da izradi voodtoporne eksplozive ANFO. Eksplozivnu smešu sastavljenu od amonijumnitrata, vode i aluminijuma u prahu uspešno je primenio u praksi za rušenje u vlažnim uslovima. Ova smeša imala je izgled paste, blatnjave konzistencije, zbog čega je nazvana „slurry eksploziv“.

U SAD je 1970. godine uspešno razvijena najnovija generacija jednostavnih voodtopornih eksploziva na bazi neorganskih soli – nitrata, tzv. emulzionih eksploziva, koji ne sadrže eksplozivne komponente.

Savremeni privredni eksplozivi

Danas se u svetu i kod nas proizvodi veliki broj različitih tipova i sastava privrednih eksploziva, namenjenih za različita miniranja. Sastavi koji sadrže bar jednu komponentu koja se klasifikuje kao čist eksploziv tretiraju se kao pravi eksplozivi, a sastavi koji ne sadrže nijednu eksplozivnu komponentu tretiraju se kao sredstva za rušenje.

Pravi eksplozivi osetljivi su na detonatorsku kapislu br. 8, dok je za inicijaci-

ju sredstava za rušenje potreban pojačnik. Uopšte, sastavi koji se tretiraju kao pravi eksplozivi imaju bolje eksplozivne karakteristike, ali su skuplji, manje bezbedni, pa zahtevaju primenu mnogo strožih mera pri proizvodnji, transportu, skladištenju, manipulaciji i primeni u odnosu na sredstva za rušenje.

Tendencije u razvoju privrednih eksploziva usmerene su na povećanje energije, smanjenje cene, povećanje voodtopornosti, fizičke i hemijske stabilnosti, kao i manjoj primeni eksplozivnih komponenti radi povećanja bezbednosti.

Eksplozivi na bazi nitroglicerina

Prvi privredni eksploziv – dinamit, izrađen je na bazi nitroglicerina. Nitroglicerina apsorbovan na dijatomejskoj zemlji bio je bezbedan za transport i upotrebu. Većina savremenih dinamita sadrži nitroglicerina kao senzibilizator i ujedno izvor energije. Od svih privrednih eksploziva oni imaju najveću energiju i brzinu detonacije (preko 6000 m/s), a otporni su i na vlagu. Međutim, njihov najveći nedostatak je visoka cena u odnosu na ostale eksplozive i relativno veliki rizik u proizvodnji, zbog čega se danas sve manje proizvode i primenjuju. Pošto u svom sastavu sadrže nitroglicerina tretiraju se kao pravi eksplozivi. Laborišu se u cilindrična punjenja (papir ili plastiku) prečnika 20 mm ili većih, različitih dužina.

Postoje tri osnovna tipa dinamita: praškasti, semiželatinozni i želatinozni. Semiželatinozni i želatinozni dinamiti sadrže nitrocelulozu koja u kombinaciji sa nitroglicerinom formira gel u relativno velikom procentu. Ovu vrstu dinamita Nobel je nazvao razorni želatin.

Nakon Drugog svetskog rata naglo je opala primena razornog želatina zbog visoke cene, osetljivosti na udar i trenje, kao i lake zapaljivosti.

Vremenom sve veći procenat nitroglicerina u dinamitima zamenjuje amonijumnitrat, čime oni postaju znatno jeftiniji i bezbedniji za proizvodnju i upotrebu. U švedskom razornom želatinu, koji je originalno sadržavao 92% nitroglicerina i 8% nitroceluloze, postepeno je sadržaj nitroglicerina smanjivan sve do 20%, tako da se sveo na ulogu senzibilizatora [2].

Eksplozivi na bazi amonijumnitrata i TNT-a

Zbog niže cene i vrlo male osetljivosti, TNT je mnogo pogodniji za izradu eksplozivnih smeša sa amonijumnitratom u odnosu na nitroglicerina, bez obzira na to što ovi sastavi imaju manju energiju u odnosu na dinamite.

Smeša koja se sastoji od 79% amonijumnitrata i 21% TNT-a ima nulti bilans kiseonika, a pri eksploziji oslobađa oko 85% energije u odnosu na razorni želatin. Međutim, ovaj sastav je zbog velikog udela TNT-a dosta skup i nije isplativ za komercijalnu primenu. U praksi se koriste sastavi u kojima udeo TNT-a varira od 5 do 15%, zavisno od namene eksploziva.

Pored navedenih komponenti ovi eksplozivi mogu sadržavati i aluminijum u prahu koji se dodaje za povećanje energije, zatim dinitrotoluen, drveno brašno, nitrocelulozu, karboksimetilcelulozu, itd.

Kao i dinamiti, sastavi na bazi amonijumnitrata i TNT-a tretiraju se kao pravi eksplozivi. Oni su zbog amonijumni-

trata osetljivi na vlagu, tako da se primenjuju samo u suvim uslovima. Bilo je puno pokušaja da se naprave sastavi koji su otporni na vlagu. U tu svrhu u uslovima toplog mešanja dodaju se male količine voska, ali se time smanjuje njihova osetljivost. Bolji rezultati postignuti su dodavanjem kalcijumovih sapuna, kao što je kalcijumstearat.

Po svojoj konzistenciji ovi eksplozivi se, uglavnom, proizvode u praškastom obliku i pakuju u odgovarajuće patrone izrađene od parafinskog papira ili plastike. Zavisno od sastava i prečnika punjenja brzina detonacije im se kreće od 3000 do 5000 m/s. Primenjuju se za miniranje srednje tvrdih i tvrdih stena.

Eksplozivi ANFO

Privredni (komercijalni) eksplozivi ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) danas se, zbog niske cene i jednostavne proizvodnje, najviše primenjuju u praksi (oko 80%), pre svega za površinsko miniranje mekih i srednjtvrđih stena. Spadaju u grupu vrlo neosetljivih (teško detonabilnih) eksploziva, jer ne sadrže nijednu komponentu koja se klasifikuje kao čist eksploziv. Ne mogu se inicirati detonatorskom kapislom, već isključivo pojačnikom detonacije – busterom, pa se klasifikuju u sredstva za rušenje.

Pogodni su i bezbedni za manipulaciju, transport i skladištenje, a i vrlo su ekonomični.

U osnovi, eksplozivi ANFO predstavljaju smešu od 94% (mas) amonijumnitrata u obliku poroznih granula (prilovani amonijumnitrat) male gustine, koji ima ulogu oksidansa, i 6% dizel goriva.

Stehiometrijski odnos je 94,5:5,5, ali se primenjuje odnos 94:6 da bi se obezbedila potpuna hemijska reakcija amonijumnitrata:



Produkti eksplozivnog razlaganja su netoksični, mada se u vrlo malim količinama javljaju i CO i NO₂.

Granule amonijumnitrata moraju zadovoljavati specifične zahteve u pogledu sposobnosti apsorpcije i zadržavanja dizel goriva, sadržaja vlage, veličine čestica, gustine i posebno termičke stabilnosti. Optimalna je sledeća distribucija veličina granula [3]: > 2 mm – 15%; 1–2 mm – 80%; 0,5–1 mm – 5%.

Sam amonijumnitrat, ako u svom sastavu ima manje od 0,2% sagorljivih materija, prema UN klasifikaciji spada u grupu 5.1. (oksidans), zbog čega nema posebnih ograničenja u pogledu manipulacije, transporta i skladištenja. Može se skladištiti u velikim količinama blizu mesta miniranja, gde se može mešati sa dizel gorivom i odmah primenjivati za miniranje. Međutim, treba naglasiti da i ovakav amonijumnitrat može detonirati ako se inicira dovoljno snažnim početnim impulsom.

Eksplozivi ANFO mogu sadržavati i druge neeksplozivne komponente, kao što su: aluminijum u prahu, ferosilikon, ugljena prašina, karboksimetilceluloza, itd. Dodavanje eksplozivne komponente, kao što je TNT, menja klasifikaciju od sredstva za rušenje u pravi eksploziv. Sastavi koji sadrže 5% TNT-a mogu se inicirati detonatorskom kapislom br. 8.

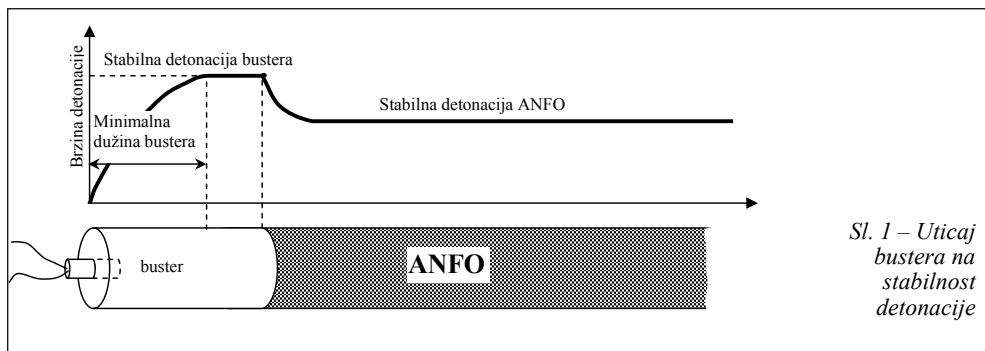
Za postizanje maksimalne energije eksploziva ANFO najvažnije je što bolje

mešanje komponenti. To se najbolje postiže u namenskim specijalnim vozilima – mikserima, koja poseduju svu elektronsku i hidrauličku opremu za proizvodnju i pneumatsko punjenje minskih bušotina.

Mnogo jednostavniji način, koji daje dobre rezultate, jeste direktno nalivanje granula amonijumnitrata u otvorenim vrećama sa 8 do 10% dizel goriva. Pola sata nakon nalivanja goriva vrši se odlivanje viška goriva. Pri tome, amonijumnitrat zadrži približno potrebnu količinu goriva (oko 6%). Najjednostavniji način je da se sukcesivno pune bušotine sa po jednom do dve vreće amonijumnitrata, nakon koje se naliva potrebna količina dizel goriva i postupak se ponavlja do pune bušotine (gorivo disperguje relativno lako i brzo).

Pri iniciranju je važno da se obezbedi dovoljno jak početni impuls, kako bi se obezbedilo pouzdano aktiviranje punjenja u bušotini. U suprotnom, može doći do pojave male brzine detonacije ili do gašenja detonacije. Radi toga se busteri mogu rasporediti i duž bušotine. Zato buster treba da bude istog prečnika kao i punjenje i da je dovoljno dugačak da bi se obezbedila stabilna detonacija. Pored toga, treba da ima veću brzinu detonacije od osnovnog punjenja (slika 1).

Brzina detonacije ANFO eksploziva izrazito zavisi od prečnika bušotine, a i od gustine punjenja. U optimalnim uslovima brzina detonacije može dostići i 4800 m/s (pri maksimalnoj gustini od 1,1 g/cm³). Ne preporučuje se da prečnik punjenja (bušotine) bude manji od 70 mm. Ispod d = 25 mm dolazi do gašenja detonacije bez obzira na snagu početnog impulsa.



Sl. 1 – Uticaj bustera na stabilnost detonacije

Gravimetrijska gustina eksploziva varira od $0,75$ do $0,95 \text{ g/cm}^3$, što zavisi od veličine i gustine čestica amonijumnitrata, a maksimalna gustina koja se praktično može postići iznosi $1,1 \text{ g/cm}^3$.

Pošto je propisno balansiran kiseonikom, s obzirom na neškodljive produkte eksplozije, eksplozivi ANFO mogu se koristiti i za podzemna miniranja.

Nekada se ovaj eksploziv primenjivao upakovan, jer je tako bio zaštićen od vode, međutim, mana mu je otežano punjenje bušotina i pojava zazora između punjenja i zida bušotine, što se odražava na iskorišćenost energije.

Prednost slobodnog nasipanja i punjenja bušotina jeste što je taj postupak znatno ekonomičniji i što se na taj način popunjava cela bušotina, čime se postiže efikasnije iskorišćenje energije eksplozije.

Pošto je amonijumnitrat rastvorljiv u vodi, u slučaju vlažnih bušotina iz njih se najpre mora odstraniti voda. Pojava narandžastosmeđih gasova nakon eksplozije ukazuje na prisustvo vode u bušotinama. Mogu se koristiti i plastične patrone prečnika bušotine koje se

stavljaju u bušotinu, a zatim se pune eksplozivom. Pri tome, mora se voditi računa o statičkom elektricitetu, naročito ako se punjenje vrši pneumatskim putem.

U poslednje vreme razvijeni su i eksplozivi ANFO za miniranje u vlažnim uslovima. Ovi sastavi sadrže posebne komponente koje u kontaktu sa vodom formiraju gel koji sprečava dalje prodiranje vode i rastvaranje amonijumnitrata [4] ili oslobađaju gasove koji potiskuju vodu sa dna bušotine i u gelu koji se postepeno stvara formiraju mehuriće koji omogućuju lakše prihvatanje detonacije [5].

Vodoplastični eksplozivi

Vodoplastični, kašasti ili slari (Slurry) eksplozivi (tzv. vodeni gel) jesu priredni eksplozivi za masovnu upotrebu razvijeni u SAD šezdesetih godina prošlog veka. To su vodootporni eksplozivi namenjeni za rušenja u vlažnim uslovima. Predstavljaju smešu vodenog rastvora oksidansa, najčešće amonijumnitrata, natrijumnitrata i kalcijumnitrata (koriste se i kalijumnitrat, kalijumperhlorat, amo-

nijumhlorat i metilaminnitrat) i nerastvorne tečne i/ili čvrste gorive komponente koja reaguje sa oksidansom (aluminijum, ugljena prašina, šećer, brašno, glikol, nafta). Sadržaj vode, u kojoj je potpuno ili većim delom rastvoren amonijumnitrat, kreće se od 10 do 20%. Dodavanjem posebne komponente (guar guma ili neko sredstvo za umrežavanje) vrši se njihovo zgušnjavanje, čime se prevode u želatinozno stanje [6]. Ako im se doda komponenta koja se klasifikuje kao čist eksploziv, menjaju klasifikaciju od sredstva za rušenje u prave eksplozive.

Slari-sredstvima za rušenje mogu se dodavati i senzibilizatori kao što su delaborisani baruti i eksplozivi, ugljena prašina, sumpor, aluminijum, itd. U novije vreme senzibilizacija slari-eksploziva sve više se vrši ubacivanjem velikog broja staklenih mikrobalona sa vazduhom, prečnika do 0,1 mm, koji igraju ulogu „vrućih tačaka“, što je jeftinije i mnogo bezbednije. Brzina detonacije im se može podešavati prema karakteru tla za miniranje a najviše zavisi od sastava i prečnika punjenja i kreće se u širokim granicama od 1500 do 5500 m/s.

Kod slari-eksploziva prečnik punjenja manje utiče na brzinu detonacije u odnosu na eksplozive ANFO. Gustina ovih eksploziva kreće se od 1,0 do 1,6 g/cm³. Direktno punjenje bušotina pri miniranju ima prednosti u odnosu na punjenje patronama, isto kao i kod eksploziva ANFO. Za miniranje jako tvrdih stena dodaje se aluminijum koji izrazito povećava energiju eksplozije.

Emulzivni eksplozivi

Pojam emulzivni eksploziv načelno se koristi za smeše visokokoncentrovanih

rastvora neorganskih soli – oksidansa i gorivih komponenti. Sastav se stabilizuje u obliku emulzije „voda u gorivu“ pomoću odgovarajućih sredstava za emulgovanje. Sastoje se od kontinuelne i diskontinuelne faze.

Diskontinuelnu fazu čini vodeni rastvor oksidansa (amonijumnitrata, natrijumnitrata ili kalcijumnitrata) koji je u obliku finih kapi raspoređen u kontinuelnoj fazi koju čini goriva komponenta (dizel gorivo, vosak, mineralno ili biljno ulje). Pored toga, može se dodavati i aluminijum u prahu za povećanje energije. Diskontinuelnu fazu čini 80 do 95% emulzije.

Klasifikuju se kao sredstva za rušenje, jer u svom sastavu ne sadrže nijednu eksplozivnu komponentu. To su danas najbezbedniji eksplozivi sa aspekta proizvodnje, transporta, skladištenja i manipulacije. Otporni su na vodu i pri detonaciji ne oslobađaju otrovne produkte. Da bi se mogli inicirati dodaju im se stakleni mikrobaloni ili reagensi za oslobađanje mehurića vazduha (nitriti u kombinaciji sa tioureom), koji služe kao vruće tačke. Ujedno, stakleni mikrobaloni, kao i prilovani amonijumnitrat, najčešće se koriste za podešavanje gustine emulzivnih eksploziva. U proizvodnji ovih eksploziva najvažnija faza je emulgovanje od koje zavisi brzina detonacije i stabilnost. Kapi diskontinuelne faze su pri odnosu od oko 10:1 deformisane i emulzija nije uniformna, tj veličina kapi se kreće u određenom rasponu. Zbog velikih površinskih sila u ovim uslovima u emulziju se dodaju površinski aktivne materije – emulgatori. Svojim liofilnim delom one se rastvaraju u gorivu, a liofobnim delom u vodenom rastvoru soli. Tako raspore-

đene na granici faza ove materije smanjuju površinski napon i stabilišu sačastu strukturu emulzije.

Kao emulgatori najčešće se koriste estri masnih kiselina i sorbitana (anhidrid sorbitola, šestohidroksilnog alkohola), zatim kalcijumstearat, estri fosforne kiseline, mono i digliceridi masnih kiselina, itd. Emulgator se dodaje u količini 1 do 5%.

Na emulgovanje utiče sastav diskontinualne i kontinualne faze, odnos diskontinualne i kontinualne faze, tip emulgatora, vreme i brzina mešanja. Ovi parametri direktno utiču na karakteristike emulzivnih slari-eksploziva. Eksperimentalno je dokazano da je optimalna veličina kapi oko jednog mikrona, a postiže se pri brzini mešanja većoj od 1000 o/min [7].

Brzina detonacije ovih eksploziva kreće se oko 5000 m/s, što zavisi od sastava, gustine i prečnika punjenja.

Emulzivni eksploziv, koji se sastoji od oko 60% amonijunitrata, 15% natrijumunitrata, 15% vode, 6% dizel goriva, 2% emulgatora i 2% staklenih mikrobaloana, ima odličnu stabilnost i brzinu detonacije od oko 4600 m/s ($\rho=1,2 \text{ g/cm}^3$) [7].

U poslednje vreme emulzivni eksplozivi se sve češće kombinuju sa eksplozivima ANFO. Taj odnos se kreće od 20/80 u manje vlažnim uslovima, do 80/20 u izrazito vlažnim uslovima miniranja.

Emulzivni eksplozivi mogu se pakovati u patrone ili proizvoditi na licu mesta u specijalnim vozilima i direktno nalivati u bušotine.

Eksplozivi za podzemno miniranje

Pri podzemnom miniranju, posebno u rudnicima uglja, postoji rizik od eks-

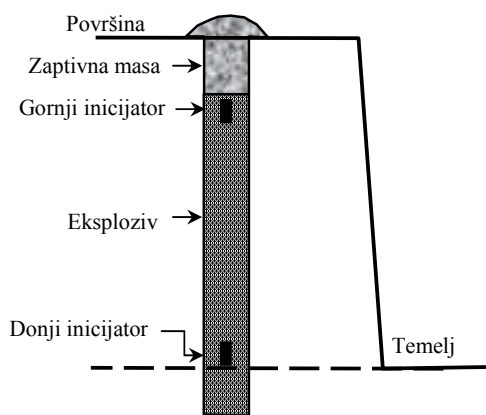
plozije smeše metana ili ugljene prašine i vazduha. U takvim slučajevima zabranjena je upotreba konvencionalnih eksploziva, koji se zbog toga označavaju kao nemetanski eksplozivi. Međutim, eksplozije gasnih smeša ne započinju odmah sa pojavom prve varnice. Zavisno od temperature plamena do inicijacije dolazi sa zadržkom i do nekoliko sekundi. Pri temperaturi plamena od 650°C to vreme iznosi oko 10 s, dok pri temperaturi od 1100°C pada na 1 s. Da bi se izbegla mogućnost pojave eksplozije, u takvim uslovima moraju se koristiti eksplozivi sa nižom temperaturom eksplozije, poznati kao metanski eksplozivi. Zato se privrednim eksplozivima dodaje i do 40% natrijumhlorida koji ima relativno veliku toplotnu vodljivost i specifičnu toplotu, usled čega apsorbuje toplotu od vrelih gasovitih produkata i time znatno snižava temperaturu eksplozije.

Visokobezbedni eksplozivi su sastavi koji sadrže inverzne soli u paru. Umesto potencijalno eksplozivnog amonijunitrata inertni amonijumhlorid i natrijumnitrat se dodaju u sastav. Pri detonaciji eksplozivne komponente iz sastava u bušotini, na primer nitroglicerina, oslobođena energija biće koncentrisana u samoj bušotini. Ova energija biće dovoljna za kratkotrajno stvaranje amonijumunitrata i natrijumhlorida koji će odmah reagovati na već opisan način. Ako se eksplozija odigrava van bušotine, u kontaktu sa eksplozivnom smešom metana i vazduha detonacija eksplozivne komponente uzrokuje odbacivanje obe komponente inverznih soli, čime će eksplozija metana biti izbegnuta.

Optimizacija postupka miniranja

Pri realizaciji različitih miniranja jedan od važnih zahteva je ekonomičnost. S obzirom na to da se pri miniranju (posebno u kamenolomima) troše ogromne količine eksploziva, postoji težnja da se pri tome troši što manje eksploziva i da, po mogućstvu, on bude što jeftiniji. U poslednje vreme radilo se na usavršavanju različitih tehnika miniranja čiji je cilj bio ušteda na eksplozivu, smanjenje vibracija i potresa zemljišta, poboljšanje fragmentacije i eliminacija bušenja ispod određenog nivoa.

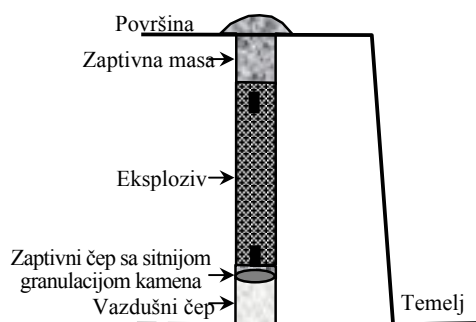
Jedna od novih tehnika, nazvana „Power Deck“ [8], zasniva se na posebno organizovanom punjenju bušotina koje se sastoji od specijalno dizajniranog čepa, vazdušnog prostora na dnu bušotine i unapred definisane mase za zaptivanje vrha bušotine sa istovremenim iniciranjem sa gornje i donje strane punjenja. Efikasnost nove metode praktično je dokazana realizacijom određenih eksperimenata pri miniranju stena (slike 2, 3 i 4).



Sl. 2 – Standardno napunjena bušotina koja se prostire ispod nivoa temelja

Na slici 2 prikazana je standardno pripremljena bušotina za miniranje, koja zahteva određeno bušenje i ispod nivoa temelja tla. Vrh bušotine zaptiva se sitnijom granulacijom miniranih stena, a aktiviranje eksplozivnog punjenja vrši se istovremeno sa donje i gornje strane.

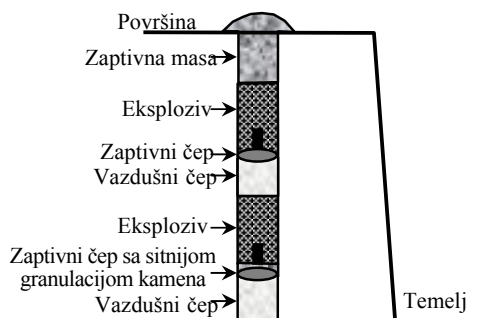
Na slici 3 prikazana je suština metode „Power Deck“, čija je osnova specijalni čep od plastike sa drvenim distancerima, pomoću kojeg se na dnu bušotine ostavlja vazdušni stub određene visine. Iniciranje eksploziva vrši se električnim putem, istovremeno odozgo i odozdo, uz pomoć bustera.



Sl. 3 – Bušotina napunjena eksplozivom sa vazdušnim stubom na dnu bez bušenja ispod nivoa temelja

Sa ovako realizovanim punjenjem, u odnosu na prethodni slučaj, ostvarene su uštede u eksplozivu od 17%, za oko 30% su smanjene vibracije zemljišta, fragmentacija je poboljšana za 25%, a eliminiše se i potreba za bušenjem ispod temelja.

Ako se miniranje realizuje sa dva eksplozivna punjenja, odvojena vazdušnim segmentom u sredini i vazdušnim segmentom na dnu bušotine (slika 4), ostvaruje se ušteda u eksplozivu za oko 25% u odnosu na standardni način miniranja.



Sl. 4 – Bušotina sa dva eksplozivna punjenja odvojena vazдушnim segmentom u sredini i vazдушnim segmentom na dnu

Pri miniranju stena u kamenolomima teži se da se postigne fragmentacija koja je najpribližnija željenoj, kako bi se izbegla naknadna operacija usitnjavanja, što umnogome poskupljuje konačni proizvod. Zbog velikog broja parametara koji utiču na proces fragmentacije stena, teško je postaviti pouzdan model koji će dati precizne rezultate. Jedan od najpoznatijih matematičkih modela koji se danas primenjuje u praksi za optimizaciju fragmentacije je tzv. model fragmentacije Kuz-Ram [9] koji se zasniva na kombinaciji karakteristika stena, karakteristika eksploziva i željenih parametara fragmentacije.

Zaključak

Danas se proizvodi veliki broj različitih tipova i sastava privrednih eksploziva namenjenih za različita miniranja. Zavisno od toga da li sadrže neku komponentu koja se klasifikuje kao čist eksplo-

ziv ili ne, svrstavaju se u dve grupe: prave eksplozive i sredstva za rušenje. Pravi eksplozivi su osetljivi na detonatorsku kapislu br. 8, dok je za inicijaciju sredstava za rušenje potreban pojačnik. U svetu i kod nas danas se, uglavnom, primenjuju sledeći tipovi privrednih eksploziva: sastavi na bazi nitroglicerina (dinamiti), sastavi na bazi amonijumnitrata i TNT-a, eksplozivi ANFO, vodoplastični (slari) eksplozivi i emulzivni eksplozivi. Sastavi podešeni za podzemna miniranja, u uslovima kada postoji opasnost od eksplozije metana, tretiraju se kao metanski eksplozivi. Od svih sastava danas se najviše primenjuju eksplozivi ANFO, jer su najjeftiniji i izuzetno bezbedni za proizvodnju, manipulaciju i primenu.

Metodama optimizacije miniranja, kao što je metoda „Power Deck“, mogu se postići uštede u eksplozivu i poboljšanje fragmentacije i do 25%.

Literatura:

- [1] Ringgenberg, O.; Mathieua, J.: Commercial High Explosives, *Chimia*, 58, 2004, (390–393).
- [2] Olofsson, O. S.: Applied Explosives Technology for Construction and Mining, APPLE, Sweden, 1988.
- [3] Prilled Ammonium Nitrate, VBC INDUSTRIES LTD www.vbcindia.com/industries.htm.
- [4] Water resistant explosive composition, United States Patent 6261393, 2001.
- [5] Solid sensitizers for water-in-oil emulsion explosives, United States Patent 4453989, 1984.
- [6] Water-in-oil type emulsion explosive with chelating agent, United States Patent 4908080, 1990.
- [7] Matejić-Grgurić, M.: Uticaj promene parametara diskontinualne faze emulzije na karakteristike emulzionog slari eksploziva, XXI simpozijum JKEM, Tara, 2001.
- [8] Chiappetta, F.: New Blasting Technique to Eliminate Subgrade Drilling, Improve Fragmentation, Reduce Explosive Consumption and Lower Ground Vibrations, *The Journal of Explosives Engineering*, January/February, 2004.
- [9] Kuz-Ram Fragmentation Model www.mininglife.com/Miner/blasting/Fragmentation.htm.

Dr Žarko Barbarić,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Beograd
mr Boban Bondžulić,
kapetan, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

STATISTIČKA ANALIZA TERMOVIZIJSKE I TELEVIZIJSKE SLIKE I PRAG DETEKCIJE POKRETA NA SCENI

UDC: [621.348.3 : 536.5] : 621.397.13 : 621.391.837

Rezime:

U ovom radu prikazana je uporedna analiza osobina televizijske i termovizijske slike iste scene. Analizirani su raspodela nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija, entropija i korelacija televizijske i termovizijske slike bliske i daleke scene. Rezultati analize ukazuju na razlike i sličnosti televizijske i termovizijske slike iste scene. Razlike u vrednostima statističkih parametara televizijske i termovizijske slike bliske scene posledica su dominantnosti komponenata radijanse scene, dok je za slike daleke scene dominantan uticaj transmittivnosti atmosfere. Sličnost postoji zbog fizičkih dimenzija objekata na sceni i sličnih principa vizuelizacije scene termovizijskom i televizijskom kamerom. Analiza je sprovedena i za slike razlike dobijene oduzimanjem sukcesivnih frejmova, posebno za televizijsku i termovizijsku sliku. Ova analiza slika razlike sukcesivnih frejmova ukazuje na veliku saglasnost statističkih parametara ova dva tipa slika iste scene, što je iskorišćeno za određivanje praga detekcije pokreta istim postupkom na oba tipa slika razlike.

Ključne reči: televizijska i termovizijska slika, statističke osobine slika, statistička analiza, prag detekcije pokreta.

STATISTICAL ANALYSIS OF TELEVISION AND THERMOVISION IMAGE AND CHANGE DETECTION THRESHOLDING

Summary:

A comparative analysis of statistical properties of television and thermovision images of the same scene is analyzed. Histogram, mean value, standard deviation, entropy, and correlation of gray level both images we studied, for near and far scenes. Results show differences and similarities between television and thermo vision image of the same scene. Differences in values of statistical properties of television and thermo vision images of near scene are consequence of scene radiance. The transmittance of atmosphere is dominated effect for far scene images. Similarities are consequence of scene objects dimensions and similar concepts of visualization television and thermovision cameras. In addition, statistical analysis on the difference images, obtained as difference two successive frames, for television and thermovision image, is given. This analysis shows good agreement on statistical properties of two types of images of the same scene. We used this fact (data) for change detection thresholding with the same procedure.

Key words: television and thermovision images, statistical properties of image, statistical analysis, change detection thresholding.

Uvod

Potreba za sve većim saznanjima o sceni dovela je do proširenja elektromagnetskog spektra koji se koristi za vizueli-

zaciju scene. Tako se danas koriste televizijske, fotografske, laserske, termovizijske i radarske slike iste scene, radi potpune kontrole i praćenja procesa na sceni. Scenu predstavljaju objekti, njih-

va okolina (pozadina) i atmosfera. Slike scene zavise od njenog tipa, uslova prostiranja elektromagnetskog zračenja od objekata do senzora i vrste senzora koji se koristi za formiranje slike scene.

Pored obrade slika iste scene sa različitim sensorima [1] često se koristi obrada slike razlike jednog senzora radi detekcije i praćenja objekata na sceni [2]. Na primer, za detekciju pokreta na sceni koristi se više senzora, kao i slike razlike formirane oduzimanjem sukcesivnih frejmova sa jednog senzora [3].

U ovom radu upoređeni su statistički parametri televizijske i termovizijske slike iste scene, kao i statistički parametri slike razlike formirane oduzimanjem dve sukcesivne slike sa istog senzora. Odre-

đen je prag detekcije pokreta slike razlike, na osnovu sprovedene analize statističkih parametara slike razlike.

Statistički parametri slike scene

Slike scene dobijene su pomoću televizijske crno-bele kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra (0,4 do 0,7 μm) i termovizijske kamere firme ATIS (Advanced Thermal Imaging System), u dalekom infracrvenom delu spektra (8 do 12 μm). Formirane su baze od po jedanaest sekvenci televizijskih i termovizijskih slika dve scene, bliske scene na daljini oko 70 m (parking u VTI) i daleke scene na daljini oko 4 km (magistralni put Beograd – Obrenovac i



njegova okolina). Baza slika formirana je pomoću fiksnih kamera postavljenih na platformi zgrade u VTI, 19. novembra 2004. od 10³⁰ do 11⁵⁰ časova. Optička vidljivost bila je ograničena zbog oblačnosti i sumaglice.

Na slici 1 prikazani su frejmovi termovizijske i televizijske sekvence bliske (parking) i daleke scene (magistralni put). Prikazane termovizijske i televizijske slike scena istih su dimenzija 410x610 piksela, a formirane su isecanjem originalnih slika scene dimenzija 480x640 piksela. Na slikama 1a i 1b prikazana je bliska scena, vidljivi su detalji na obe slike, iako je termovizijska slika formirana sa širokim vidnim poljem (7,9°x5,4°). Na slikama 1c i 1d prikazana je daleka scena na termovizijskoj i televizijskoj slici, gde se slabo vide detalji na sceni, iako je termovizijska slika formirana u uskom vidnom polju (2,2°x1,5°). Pri formiranju baze slika vidno polje televizijske kamere podešavano je prema vidnom polju termovizijske kamere. Na termovizijskoj slici 1a objekti sa većom emisijom (topli delovi objekata) prikazani su u svetlijoj, a na slici 1c u tamnijoj nijansi sivog.

Za slike bliske i daleke scene određeni su statistički parametri: histogrami, srednje vrednosti, standardne devijacije, entropije i korelacije nivoa sivog.

Na slici 2 prikazani su normalizovani histogrami nivoa sivog slika bliske scene (slike 1a i 1b).

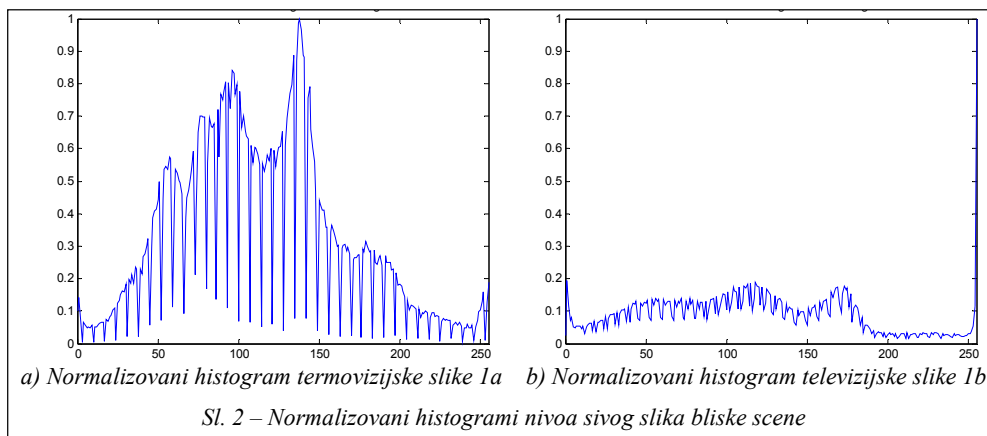
Sa slike 2 vidi se da su nivoi sivog ujednačeniji na televizijskoj nego na termovizijskoj slici bliske scene. Takođe, vidi se da su zastupljeni svi nivoi sivog (0 – 255) na obe slike.

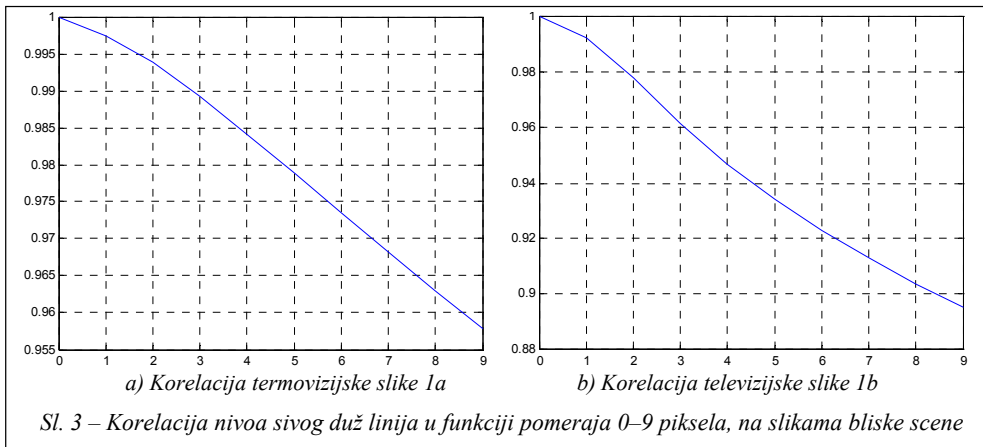
U tabeli 1 dati su: opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog, za slike 1a i 1b.

Tabela 1

Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika bliske scene

Parametar/slika	Termovizijska slika 1a	Televizijska slika 1b
Opseg nivoa sivog	0–255	0–255
Srednja vrednost	114,3083	117,1239
Standardna devijacija	50,1309	65,0493
Entropija	7,4817	7,6857





Iz table 1 vidi se da termovizijska slika bliske scene ima znatno manju standardnu devijaciju nivoa sivog od televizijske slike iste scene. Srednja vrednost i entropija termovizijske slike su nešto manje od istih parametara televizijske slike iste scene.

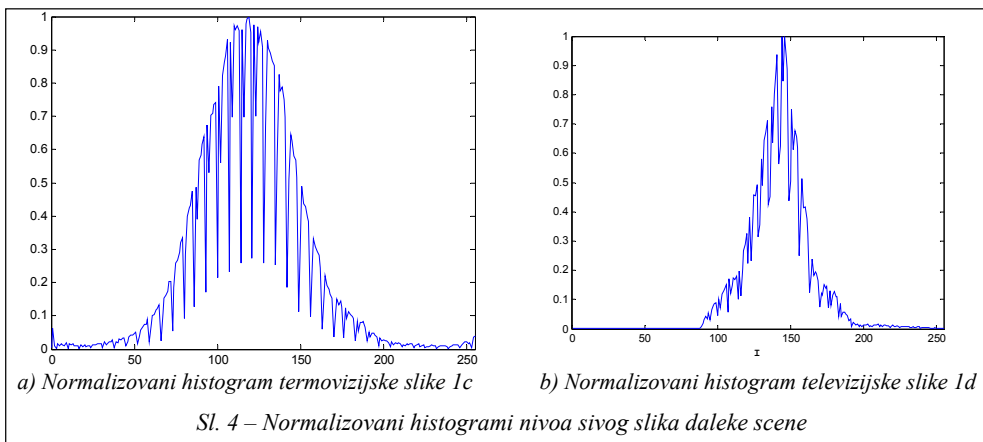
Na slici 3 prikazane su vrednosti korelacije nivoa sivog duž linija termovizijske i televizijske slike bliske scene u funkciji pomeraja 0–9 piksela.

Sa slike 3 vidi se da je visoka korelisanost nivoa sivog piksela na obe slike,

ali je veća za termovizijsku sliku, za sve pomeraje od prvog do devetog piksela. Za obe slike bliske scene vrednost korelacije opada sa pomerajem broja piksela. Slične vrednosti korelacije dobijene su i po kolonama slika bliske scene.

Isti parametri određeni su i za slike daleke scene. Na slici 4 prikazani su normalizovani histogrami nivoa sivog termovizijske i televizijske slike daleke scene.

Sa slike 4 vidi se da histogram termovizijske slike ima veći broj nivoa sivog od televizijske slike daleke scene.



Histogrami slika daleke scene ograničeni su po nivoima sivog. Najveći broj piksela televizijske slike uzima vrednosti nivoa sivog iz opsega 100–200, a termovizijske slike iz opsega 50–200 (slika 4). Poređenjem histograma sa slika 2 i 4 vidi se da je fluktuacija nivoa sivog veća na televizijskoj slici bliske scene i termovizijskoj slici daleke scene (histogrami 2b i 4a su širi).

U tabeli 2 dati su: opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog za slike 1c i 1d.

Tabela 2

Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika daleke scene

Parametar/slika	Termovizijska slika 1c	Televizijska slika 1d
Opseg nivoa sivog	0–255	1–255
Srednja vrednost	119,5990	142,6231
Standardna devijacija	31,3085	20,3547
Entropija	6,8731	6,2690

Iz tabele 2 vidi se da je standardna devijacija nivoa sivog veća na termovizijskoj nego na televizijskoj slici daleke

scene. Srednja vrednost je veća, a entropija nivoa sivog nešto manja na televizijskoj slici daleke scene.

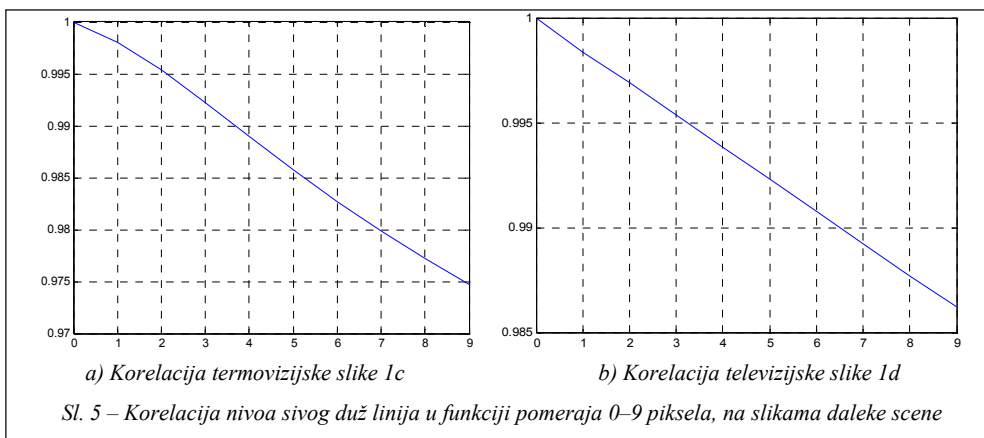
Na slici 5 prikazane su vrednosti korelacije nivoa sivog duž linija termovizijske i televizijske slike daleke scene u funkciji pomeraja 0–9 piksela.

Sa slike 5 vidi se da je visoka korelisanost nivoa sivog piksela na obe slike, ali je veća na televizijskoj nego na termovizijskoj, za sve pomeraje od 1 do 9 piksela. Slične vrednosti korelacije dobijene su i po kolonama slika daleke scene.

Analiza slika scene

Na slikama bliske scene (slike 1a i 1b) dominantan je uticaj kontrasta na sceni, jer je transmitivnost atmosfere velika za mala rastojanja od kamere do objekta (oko 70 m). Sa druge strane, na slikama daleke scene (slike 1c i 1d) dominantan je uticaj atmosferskog slabljenja, posebno za vidljivo područje talasnih dužina.

Televizijska i termovizijska slika predstavljaju površinsku raspodelu radi-



janse na sceni, koja se redukuje zbog slabljenja u atmosferi i translira u sliku optičkim sistemom senzora [4].

Za formiranje televizijske slike važna je promena reflektovane komponente spektralne radijanse, ΔL_{λ}^R . Promena se može proceniti pomoću ukupnog priraštaja [5]:

$$\Delta L_{\lambda}^R = \frac{\rho_{\lambda}}{\pi} \Delta(E_{\lambda}^S + E_{\lambda}^N) + \frac{E_{\lambda}^S + E_{\lambda}^N}{\pi} \Delta \rho_{\lambda} \quad (1)$$

gde su priraštaji spektralnih iradijansi od Sunca ΔE_{λ}^S i neba ΔE_{λ}^N i spektralne reflektivnosti $\Delta \rho_{\lambda}$ funkcije koordinata na sceni.

Prvi sabirak sa desne strane jednačine (1) predstavlja promenu spektralnih iradijansi od Sunca i neba, između dve tačke na sceni. Pošto spektralne iradijanse od Sunca i neba u kratkom intervalu imaju konstantne vrednosti, do promene dolazi samo zbog senke na sceni. Drugi član sa desne strane jednačine (1) predstavlja promenu reflektovane spektralne radijanse usled promene spektralne refleksivnosti između dve tačke na sceni. Spektralna refleksivnost površina na sceni zavisi od hemijskog sastava i hrapavosti površine, tako da zavisi od tipa scene. Iz navedenih razloga na televizijskoj slici bliske scene, gde se uticaj transmitivnosti atmosfere može zanemariti, prosečan nivo sivog zavisi, uglavnom, od obasjanosti scene, a fluktuacija nivoa sivog od fluktuacije refleksivnosti na sceni.

Termovizijska slika scene predstavlja raspodelu emisione komponente radijanse scene. Promena emisione komponente spektralne radijanse scene ΔL_{λ}^E može se proceniti na osnovu ukupne pro-

mene emitovane spektralne radijanse. Na osnovu poznatog Plankovog zakona za realne scene dobija se promena emitovane spektralne radijanse:

$$\Delta L_{\lambda}^E = L_{\lambda}^{CT} \Delta \varepsilon_{\lambda} + \varepsilon_{\lambda} \Delta L_{\lambda}^{CT} \quad (2)$$

gde je L_{λ}^{CT} spektralna radijansa crnog tela temperature T.

Prvi sabirak sa desne strane jednačine (2) predstavlja priraštaj emisione komponente spektralne radijanse usled promene spektralne emisivnosti između dve tačke na sceni. Ovaj član, uglavnom, zavisi od tipa scene, jer za realne scene važi $\varepsilon_{\lambda} \cong 1 - \rho_{\lambda}$. Drugi sabirak u (2) predstavlja promenu emitovane spektralne radijanse usled promene temperature na sceni. Na osnovu Plankovog zakona promena spektralne radijanse crnog tela usled promene temperature data je relacijom [5]:

$$\Delta L_{\lambda}^{CT} = L_{\lambda}^{CT} \frac{C_2}{\lambda T} \frac{\Delta T}{T} \frac{1}{1 - \exp(-C_2 / \lambda T)} \quad (3)$$

gde je C_2 druga radijaciona konstanta ($C_2 = 14387,90 \mu\text{mK}$).

Iz relacije (3) vidi se da je promena spektralne radijanse crnog tela veća na manjoj temperaturi, za konstantnu relativnu promenu (kontrast) temperature na sceni $\Delta T/T$. Treba napomenuti da temperaturna razlika između objekta i pozadine na prirodnim scenama nije skokovita nego eksponencijalna funkcija rastojanja i vremena. Zbog toga je promena emisione komponente spektralne radijanse na sceni blaga i po pravilu ne određuje fizičke dimenzije objekta. Na termovizijskoj sli-

ci bliske scene L_{λ}^{CT} određuje srednju vrednost nivoa sivog, a fluktuacije nivoa sivog zavise od promene spektralne emisivnosti i relativne promene temperature na sceni, što pokazuju relacije (2) i (3).

Na slikama daleke scene dominantan je uticaj spektralne transmitivnosti atmosfere, koja redukuje kontrast scene na slici. Relacija za procenu transmitivnosti atmosfere prema eksponencijalnoj aproksimaciji je:

$$\tau_{\lambda} = \exp\left(-\frac{a_{\lambda}}{R_V} R\right) \quad (4)$$

gde je: R_V – optička vidljivost za talasnu dužinu $0,55 \mu\text{m}$, R – koso rastojanje od kamere do objekta na sceni i a_{λ} – spektralni koeficijent slabljenja u atmosferi.

Koeficijent slabljenja, u funkciji talasne dužine, po Košiderovoj formuli [6], dat je u obliku:

$$a_{\lambda} = 3,912 \left(\frac{0,55}{\lambda}\right)^q \quad (5)$$

gde se q računa iz relacije $q = 0,585(R_V)^{1/3}$.

Iz izraza (4) i (5) vidi se da je spektralna transmitivnost atmosfere najmanja u vidljivom opsegu talasnih dužina. Dakle, na slikama daleke scene veća je redukcija nivoa sivog i fluktuacija nivoa sivog na televizijskim nego na termovizijskim slikama iste scene.

Statistički parametri slike razlike

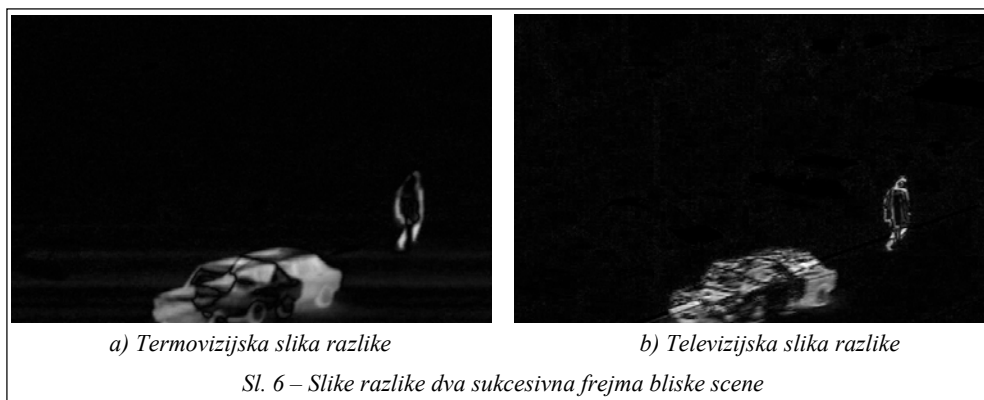
Pored analize iste scene na slikama različitih senzora sprovedena je i analiza slike razlike sukcesivnih frejmova sa istih senzora. Slika razlike dobijena je oduzimanjem dva sukcesivna frejma:

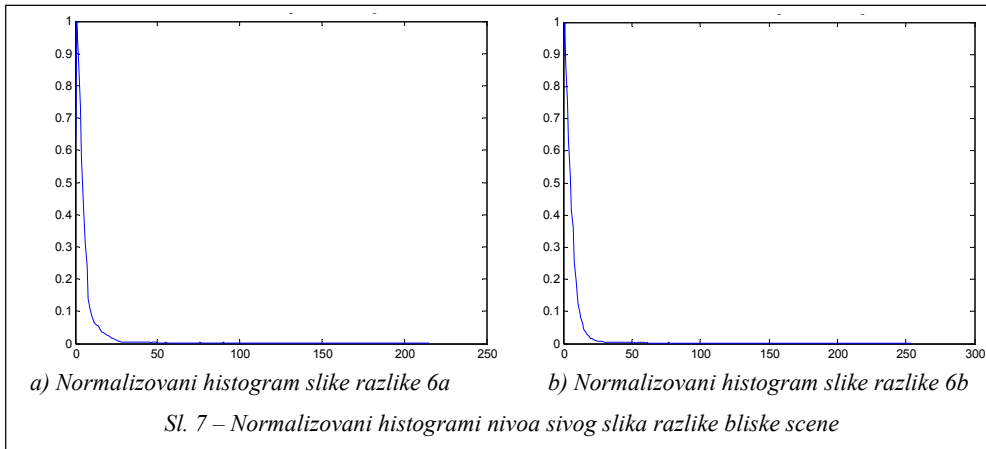
$$R(x, y) = |F_1(x, y) - F_2(x, y)| \quad (6)$$

gde su F_1 i F_2 sukcesivni frejmovi istog senzora, a (x, y) koordinate na slici. Frejmovi su uzeti sa vremenskim razmakom $1/6$ s za blisku, a $1/10$ s za daleku scenu.

Na slici 6 prikazane su termovizijske i televizijske slike razlike bliske scene, formirane prema (1).

Na slici 6 uočavaju se promene nivoa sivog zbog pokreta putničkog automobila i čoveka, dok su ostali delovi scene





sa slika 1a i 1b iščezli. Na termovizijskoj slici 6a nisu oštre ivice objekata kao na televizijskoj slici 6b.

Normalizovani histogrami nivoa sivog slika razlike sa slike 6 prikazani su na slici 7.

Normalizovani histogrami sa slike 7 pokazuju da su nivoi sivog na slikama razlike redukovani i da je srednja vrednost pomena ka nuli, u odnosu na histograme termovizijske i televizijske slike bliske scene (slika 2).

Na slici 8 prikazane su korelacije nivoa sivog piksela za slike razlike sa slike 6.

Sa slike 8 vidi se da je korelisanost piksela veća na termovizijskoj nego na televizijskoj slici razlike za sve pomeraje od 1 do 9 piksela. Međutim, vrednost koeficijenta korelacije na slikama razlike mnogo je manja nego na originalnim slikama (slika 3).

U tabeli 3 date su vrednosti statističkih parametara slika razlike bliske scene, sa slike 6.

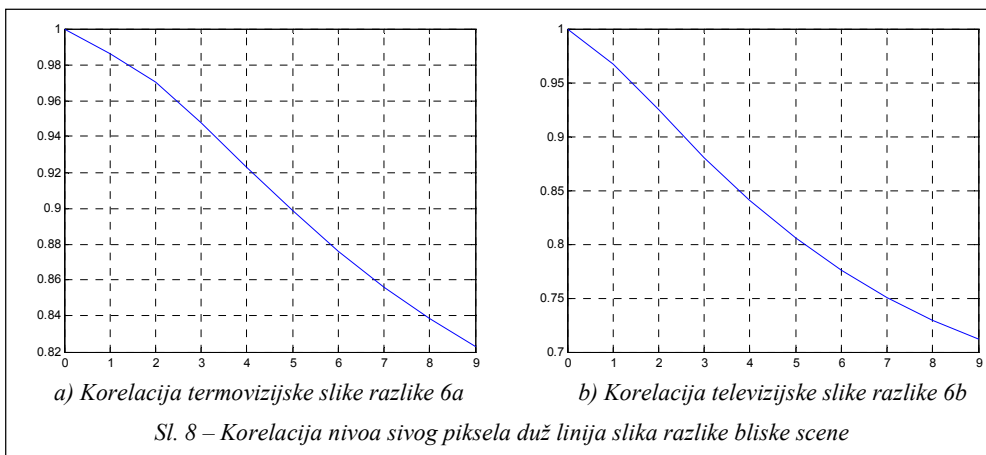


Tabela 3
Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika razlike bliske scene

Parametar/slika	Termovizijska slika razlike 6a	Televizijska slika razlike 6b
Opseg nivoa sivog	0–215	0–254
Srednja vrednost	9,7013	9,1408
Standardna devijacija	24,339	23,266
Entropija	4,1988	4,2165

Rezultati iz tabele 3 pokazuju da je standardna devijacija veća od srednje vrednosti nivoa sivog na slikama razlike bliske scene, iako je redukovana u odnosu na standardnu devijaciju datu u tabeli 1. Sa druge strane, ne postoji značajna razlika između vrednosti statističkih parametara termovizijske i televizijske slike razlike. Ova činjenica može se iskoristiti za dalju obradu obe slike razlike.

Kompletna analiza sprovedena je i za slike razlike daleke scene, koje su prikazane na slici 9, a u tabeli 4 date su vrednosti statističkih parametara.

Na slici 9 uočavaju se regioni promena nivoa sivog, ali se iz kontura ne

može zaključiti da li se radi o šumu ili o objektima.

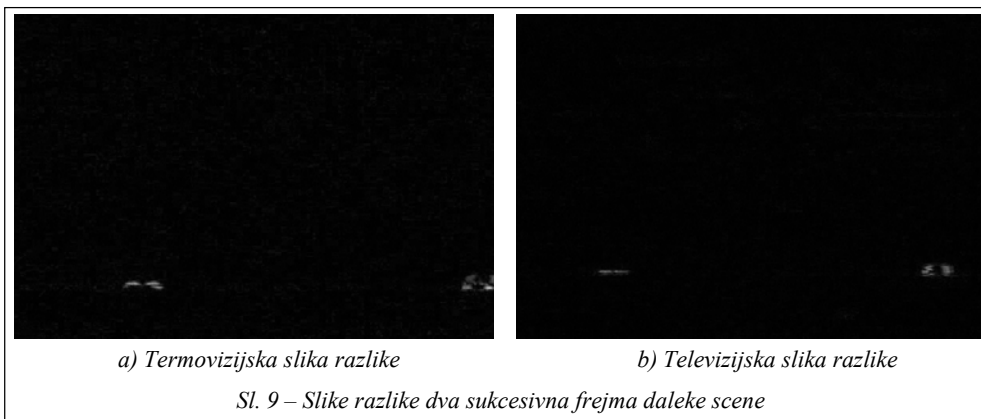
Tabela 4
Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika razlike daleke scene

Parametar/slika	Termovizijska slika razlike 9a	Televizijska slika razlike 9b
Opseg nivoa sivog	0–201	0–136
Srednja vrednost	3,9544	2,6515
Standardna devijacija	5,1168	3,6419
Entropija	3,4848	2,9433

Iz tabele 4 vidi se da su srednja vrednost, standardna devijacija i entropija na termovizijskoj slici razlike veće nego na televizijskoj slici razlike. U poređenju sa istim parametrima iz tabele 2, vidi se da su vrednosti parametara u tabeli 4 znatno manje.

Prag detekcije pokreta na slikama razlike

Na slike razlike primenjen je prag detekcije pokreta, koji su predložili autori [7]. Prag detekcije pokreta određen je



za poznatu raspodelu nivoa sivog slike razlike i zadatu verovatnoću da nivo šuma pređe prag (verovatnoća lažnog alarma). Vrednost praga T , za Gausovu raspodelu nivoa sivog slike razlike, data je relacijom [7]:

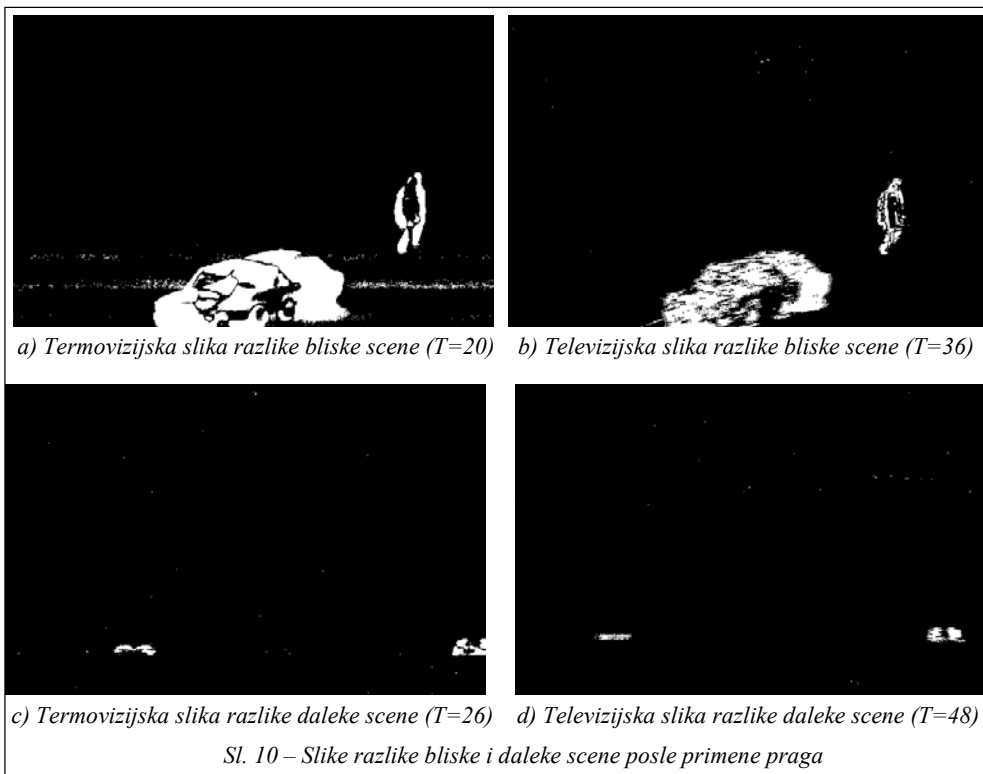
$$T = \sqrt{2}\sigma_0 \operatorname{erf}^{-1}(1 - P_{la}) \quad (7)$$

gde je σ_0 – standardna devijacija slike razlike kada ne postoji pokret, P_{la} – zadata verovatnoća lažnog alarma, a $\operatorname{erf}^{-1}(x) = \operatorname{erf}^{-1}(x)$.

Standardna devijacija σ_0 procenjuje se tako što se slika razlike podeli na blokove i izračunaju standardne devijacije blokova dimenzija $n \times m$. Za σ_0 uzima se

srednja vrednost minimalnih standardnih devijacija blokova slike razlike (postupak je dat u [7]). Prag detekcije pokreta (7) određen je za slike razlike bliske i daleke scene (prikazane na slikama 6 i 9). Vrednosti praga za slike razlike bliske i daleke scene dobijene su za $P_{la} = 10^{-9}$, dok je standardna devijacija σ_0 određena podelom slika razlike na blokove 8×8 piksela. Na slici 10 prikazane su slike razlike bliske i daleke scene posle primene pragova.

Na slikama razlike bliske i daleke scene, posle primene praga detekcije pokreta (slika 10), vidljivi su regioni u kojima je detektovana promena nivoa sivog. Na slikama 10a i 10b mogu se videti konture putničkog automobila i čoveka u



pokretu, dok su na slikama daleke scene (slike 10c i 10d) uočljivi regioni promene nivoa sivog, a konture vozila nisu jasne. Poređenjem slika razlike bliske i daleke scene (slike 6 i 9) sa binarnim slikama (slika 10) uočljivi su efekti praga, jasnije su izdvojeni regioni promene i dobijena je digitalna slika sa dva nivoa sivog (binarna slika). Na slici 10a detektovane su linije piksela koje se ne vide na slici razlike 6a, a mogu poticati od toplog traga putničkog automobila u pokretu. Pored toga, na slici 10 uočljivi su i usamljeni pikseli, čija je detekcija posledica šuma na slikama razlike.

Zaključak

Nivo sivog na slikama bliske scene predstavlja raspodelu radjanse na sceni, pod pretpostavkom da je atmosfera idealna. Osnovna karakteristika slika bliske scene je relativno visoka vrednost standardne devijacije nivoa sivog, ali je veća na televizijskim nego na termovizijskim slikama. Na slikama daleke scene vrednost standardne devijacije je mnogo manja, a veća je na termovizijskim nego na televizijskim slikama, što je posledica veće transmittivnosti atmosfere u opsegu talasnih dužina 8 do 12 μm nego u opsegu 0,4 do 0,7 μm . Na slikama obe scene uočena je visoka entropija, koja ukazuje na potrebu za 7 do 8 bita po pikselu, za

slike daleke i bliske scene, respektivno. Visoka korelisanost piksela na slikama obe scene može se objasniti relativno velikim korelacionim rastojanjem emisivnosti, reflektivnosti i temperature prirodnih scena. Veća korelisanost na slikama daleke scene posledica je slabljenja u atmosferi i konačne prostorne rezolucije kamera.

Analiza slika razlike pokazuje veliku saglasnost parametara termovizijske i televizijske slike razlike za obe scene. Ova činjenica iskorišćena je za obradu slika razlike. Prag detekcije pokreta na televizijskim i termovizijskim slikama razlike određen je istim postupkom. Rezultati primene praga na slike razlike pokazuju da je taj postupak opravdan.

Literatura:

- [1] Blackman, S.; Popoli, R.: Design and analysis of modern tracking systems, Artech House, Boston-London, 1999.
- [2] Pratt, K. W.: Digital image processing, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [3] Foresti, G. L.: Active Video-Based Surveillance System, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 2, March 2005., pp. 25-37.
- [4] Barbarić, Ž.: Thermal-image generation by line-scanning technique: a new computer model, Applied Optics, Vol. 33, No. 14, 1994., pp. 2883-2890.
- [5] Barbarić, Ž.: Uporedna analiza televizijske i termovizijske slike iste scene, XLV Konferencija za ETRAN, Zbornik radova, Sveska 2, jun 2001., pp. 277-280.
- [6] Barbarić, Ž.; Nikolić, M.: Analiza primljene snage reflektovanog sunčevog zračenja od objekta i pozadine u laserskim sistemima, XLVIII Konferencija za ETRAN, Zbornik radova, Sveska 2, jun 2004., pp. 333-336.
- [7] Bondžulić, B.; Barbarić, Ž.: Određivanje praga detekcije pokreta analizom slike razlike, XLIX Konferencija za ETRAN, Sveska 2, jun 2005.

Dr Radomir S. Gordić,
pukovnik, dipl. inž.,
Boriša Jovanović,
student,
Đuro Alfirević,
student
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

IZBOR OPTIMALNOG PUTA ZA KRETANJE ORGANIZOVANOG KOLONSKOG SAOBRAĆAJNOG TOKA NA OSNOVU REZULTATA MODELIRANJA

UDC: 656.1 : 519.863

Rezime:

U toku planiranja i praktične realizacije zadataka jedinica Vojske SCG često se javlja problem izbora optimalnog puta između dva mesta (čvora) na putnoj mreži. Kriterijumi optimizacije mogu biti različiti. Ovaj projekat treba da omogući brzo i lako određivanje optimalnog puta, primenom dinamičkog programiranja (DP), uz korišćenje Belmanovog (Bellman), algoritma u zavisnosti od izabranog kriterijuma – parametra. Kriterijum optimizacije je minimalno vreme kretanja (putovanja), koje je dobijeno imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka. Razrađeni algoritam omogućuje izbor optimalnog puta, za bilo koja dva čvora na mreži.

Ključne reči: dinamičko programiranje, optimalni put, Belmanov algoritam.

CHOOSING AN OPTIMAL ROUTE FOR ORGANIZED VEHICLE MOVEMENT BASED ON MODELING RESULTS

Summary:

During the planing and practical realization of Serbian & Montenegro units' tasks a problem which often occurs is choosing an optimal transport route between two places (nodes). Optimization criterias can be various. This project should enable quick and easy defining of an optimal route, applying dynamic programing (DP) using Bellman's alghorithm depending on choosen criteria – parameter. Optimization criteria represent minimum movement time (traveling), which are taken from imitational modeling of a traffics queue flow. Operating alghorithm enable choosing an optimal transport route, for any two nodes on a road map.

Key words: Dynamic programing, optimal route, Bellman's alghorithm.

Uvod

U realizaciji zadataka saobraćajne podrške (SbP) jedinica Vojske SCG, često se javlja problem određivanja optimalnog puta između dva mesta na putnoj mreži. Kriterijumi optimizacije su različiti. Oni se, u principu, razlikuju u ratnim i mirnodopskim uslovima funkcionisanja SbP.

Poseban problem izbora puta na određenoj mreži javlja se pri kretanju kolo-

ne, zbog interakcija između vozila u koloni i delovanja različitih parametara sistema: vozač – vozilo – put – okolina – organizacija (V–V–P–O–O), koji su promenljivi u prostoru i vremenu, pa utiču na efikasnost kretanja, a time i SbP.

Postojeća rešenja izbora puta nisu efikasna. U praksi se, pri različitim poremećajima, javlja problem realnosti usvojenih planova, jer se vreme kretanja kolone određuje prostom analitičkom vezom

između puta i brzine. Takvi planovi predstavljaju idealizovan model saobraćajnog toka, pa se u praksi ne ostvaruju [1].

Ovaj problem spada u klasu zadataka „optimalnog upravljanja“, a realizuje se u okviru funkcije „planiranje“. Može se rešiti primenom različitih algoritama dinamičkog programiranja. Neki od postojećih algoritama pogodni su i efikasni u računskom smislu, samo za posebne slučajeve izbora najkraćeg puta na odabranoj mreži. Zbog toga, s obzirom na značaj ovog problema sa aspekta realizacije zadataka jedinica Vojske i mogućnosti savremene računarske tehnike, ovaj rad predstavlja korak ka usavršavanju postojećih i razvoju novih metoda optimizacije. Pored toga, učinjen je pokušaj da se izabere optimalan put primenom dinamičkog programiranja, uz korišćenje Belmanovog algoritma. Najkraći put, između izabranih čvorova na putnoj mreži, određuje se na osnovu vremena putovanja koje je dobijeno imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka [2, 3].

Analiza zahteva saobraćajne podrške

Na teritoriji gde postoji razgranata putna mreža potrebno je pri planiranju zadataka SbP, na osnovu merodavnog parametra, izabrati komunikacije za kretanje jedinica i kolona, tako da se zadatak realizuje za najkraće vreme. U ovom radu su za merodavne parametre sistema V-V-P-O-O, odabrani:

- maksimalno mogući protok na mreži Q [voz/h],
- moguće brzine kretanja na pojedinim deonicama V [km/h],

– uzdužni nagibi puta („+“ i za uspon i „-“ i za pad) u %,

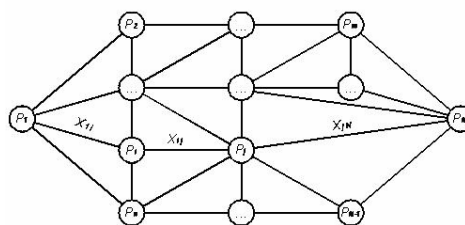
– koeficijent prijanjanja pneumatika sa podlogom μ (sa aspekta kvaliteta i stanja kolovoznog zastora (KZ)).

Pored toga, pri izboru optimalnog puta neophodno je uzeti u obzir specifičnosti saobraćajnog toka i interakcije koje se javljaju između učesnika u saobraćaju i elemenata sistema V-V-P-O-O.

Radi rešenja iznetog problema uočena je neorijentisana mreža sa N čvorova (slika 1). Ovako definisana mreža potpuno je određena matricom X ,

$$X = \|x_{ij}\| \quad (1)$$

gde je X kvadratna matrica dimenzija $(N \times N)$, a element x_{ij} dužina puta od čvora P_i do čvora P_j . Ako takav put ne postoji onda je $x_{ij} = \infty$ (slika 1).



Sl. 1 – Neorijentisana mreža sa N čvorova [1]

Dužina puta između čvora P_m i čvora P_n iznosi:

$$L = \sum_{k=m}^n l_k \text{ [km]} \quad (2)$$

gde je l_k udaljenost između susednih čvorova na izabranom putu.

Vreme putovanja između čvora P_m i čvora P_n iznosi:

$$T = \sum_{k=m}^n t_k \text{ [min]} \quad (3)$$

gde je t_k vreme putovanja između susednih čvorova na izabranom putu, dobijeno imitacionim modeliranjem kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka [2, 3].

Vreme putovanja predstavlja srednje vreme kretanja simulirane kolone na određenoj dužini puta za ukupan broj simulacija. Ono uzima u obzir dubinu i druge specifičnosti kolone [4] i dobija se prema izrazu:

$$\bar{t}_{kk} = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{\bar{D}_k} + \bar{t}_{ok} \text{ [min]} \quad (4)$$

gde je:

\bar{t}_{kk} – srednje vreme kretanja kolone između čvorova P_m i P_n [min],

L – dužina puta između čvorova na mreži [km],

\bar{t}_{ok} – srednje vreme opsluživanja kolone (kretanje na sopstvenoj dubini kolone, \bar{D}_k), dobijeno modeliranjem [min],

\bar{D}_k – srednja dubina kolone [km].

Relacija (3) dobija sledeći oblik:

$$T = \sum_{k=m}^n \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{\bar{D}_k} + \bar{t}_{ok} \text{ [min]} \quad (5)$$

Zadatak određivanja minimalnog puta na mreži, između čvorova P_m i P_n , jeste da se minimizira vreme putovanja

između izabranih čvorova, predstavljeno relacijom (5).

Da bi vreme putovanja T , odnosno t_k , bilo minimalno, vrednost merodavnog parametra mora biti optimalna. Pri određivanju optimalnog puta, u zavisnosti od relevantnog parametra, potrebno je izabrati deonice sa maksimalnim vrednostima: protoka Q , brzine V , koeficijenta prijanjanja pneumatika μ , i vrednostima uzdužnog nagiba puta i što bliže 0.

Matematički model određivanja najkraćeg puta na mreži

Problem određivanja najkraćeg puta na mreži između čvora P_1 i čvora P_N , tj. dva unapred zadata čvora, klasičan je problem dinamičkog programiranja. Jedan od najpoznatijih algoritama za nalaženje najkraćeg puta od zadatog čvora P do ostalih čvorova u mreži jeste Belmanov algoritam [5, 6].

Algoritam se zasniva na uspostavljanju rekurentnih relacija između vrednosti kriterijumske funkcije f_i^k čvora P_i i čvora P_N . Veličina f_i^k predstavlja dužinu najkraćeg puta između čvora P_i i čvora P_N u koraku k . Rekurentna relacija je posledica principa optimalnosti i glasi:

$$f_i^{k+1} = \min_{j \neq i} (x_{ij} + f_j^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$f_n^{k+1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (6)$$

Algoritam spada u grupu iterativnih, relaksacionih algoritama, u kojem se u svakoj iteraciji izračunava kriterijumska funkcija f_i^k za sve čvorove. Tokom itera-

cija veličine f_i^k se menjaju, a proces je završen kada u dve uzastopne iteracije kriterijumska funkcija f_i^k svih čvorova bude ista.

Pri izračunavanju se polazi od puta koji direktno povezuje P_i i P_N , a zatim se traži put od P_i do P_N sa dve grane, pa sa tri, itd.

Početno rešenje definisano je sledećim izrazima:

$$\begin{aligned} f_i^1 &= X_{in}, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \\ f_n^1 &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

U koraku $k = 2$ vrši se izbor najkraćeg puta od čvora P_i do čvora P_N , koji vodi preko jednog čvora. Tako se dobija novo rešenje:

$$\begin{aligned} f_i^2 &= \min(x_{ij} + f_j^1) \quad i=1, 2, \dots, n-1 \\ f_n^2 &= 0, \end{aligned} \quad (8)$$

pri čemu je zadovoljena nejednakost:

$$f_i^2 \leq f_i^1, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \quad (9)$$

Rešenje problema postiže se u k -toj iteraciji za koju važi relacija:

$$\begin{aligned} f_i^k &= f_i^{k+1}, \quad i=1, 2, \dots, n-1 \\ f_n^k &= f_n^{k+1} = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Drugi deo algoritma, ucrtavanje optimalnog puta na mreži, odvija se prema sledećim koracima:

– uočavaju se svi čvorovi direktno povezani sa P_i za koje u poslednjem koraku važi $f_i < f_j$;

– optimalni put prolaziće kroz onaj sledeći čvor za koji važi relacija:

$$f_i = x_{ij} + f_j, \quad (11)$$

gde j dobija vrednosti P_i onih čvorova koji su direktno povezani sa čvorom P_i ;

– prethodni postupak se ponavlja za čvorove za koje je zadovoljena relacija (11) i nastavlja do čvora P_N , tj. dok se ne ucrtava čitav optimalni put. Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne ucrtaju sve varijante optimalnog puta, ukoliko je rešenje višestruko;

– ako se u relacijama (6) i (11) umesto dužine puta x_{ij} između čvora P_i i čvora P_j uvrsti vreme putovanja:

$$t_{ij} = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} \quad (12)$$

dobija se:

$$f_i^{k+1} = \min_{j \neq i} \left(\frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} + f_j^k \right), \quad k=0, 1, 2, \dots,$$

$$f_n^{k+1} = 0, \quad i=1, 2, \dots, n-1, \quad (13)$$

$$f_i = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} + f_j \quad (14)$$

U prikazanom algoritmu postoji mogućnost izbora najkraćeg puta samo od čvora P_N do ostalih čvorova u mreži. Međutim, mnogo češće se javlja potreba da se u postojećoj mreži odredi najkraći put za bilo koja dva čvora.

Da bi se to omogućilo postojećim modelom, potrebno je matricu rastojanja X transformisati tako da se red i kolona

matrice zadatog početnog čvora P_m prebace na mesto poslednjeg reda i kolone P_N .

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{m1} & \cdots & X_{n1} & \cdots & X_{N1} \\ X_{21} & X_{22} & & X_{m2} & & X_{n2} & & X_{N2} \\ X_{1m} & X_{2m} & & X_{mm} & & X_{nm} & & X_{Nm} \\ \vdots & & & & & & & \\ X_{1n} & X_{2n} & & X_{mn} & & X_{nn} & & X_{Nn} \\ \vdots & & & & & & & \\ X_{1N} & X_{2N} & & X_{mN} & & X_{nN} & & X_{NN} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Nakon transformacije, nova matrica rastojanja X_1 ima oblik:

$$X_1 = \begin{pmatrix} X_{mm} & X_{1m} & X_{2m} & \cdots & X_{Nm} & X_{nm} \\ X_{m1} & X_{11} & X_{21} & & X_{N1} & X_{n1} \\ X_{m2} & X_{12} & X_{22} & & X_{N2} & X_{n2} \\ \vdots & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ X_{mN} & X_{1N} & X_{2N} & & X_{NN} & X_{nN} \\ X_{mn} & X_{1n} & X_{2n} & & X_{Nn} & X_{nn} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Nakon transformacije matrice rastojanja, Belmanov algoritam može se primeniti bez ikakvih promena.

Algoritam za određivanje optimalnog puta

Zadatak izbora optimalnog puta na osnovu rezultata imitacionog modeliranja, prema odabranom merodavnom parametru, rešen je u programskom jeziku „C“. Glavni program povezuje četiri potprograma:

– za izbor merodavnog parametra i određivanje optimalnog vremena putova-

nja organizovane kolone, na osnovu rezultata imitacionog modeliranja;

– za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja;

– za određivanje minimalnog puta na mreži primenom dinamičkog programiranja, i

– za unos relevantnih podataka o putnoj mreži.

Algoritam za izbor merodavnog parametra i određivanje optimalnog vremena putovanja

Da bi model dinamičkog programiranja mogao nesmetano da radi, potrebno je za celu mrežu izračunati vremena putovanja u zavisnosti od uslova i stanja sistema V-V-P-O-O, izraženih preko merodavnog parametra. Zbog toga, potprogram za izbor merodavnog parametra i izračunavanje vremena putovanja mora da prethodi potprogramu za izbor optimalnog puta.

Za rad ovog potprograma formirano je šest datoteka podataka:

– „KARTA“ – datoteka podataka o putevima na odabranoj mreži;

– „1DPSMO“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavnog protoka na mreži;

– „DPSMO1“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavne brzine na mreži;

– „DPSMO4“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavnih koeficijenata prijanjanja pneumatika i kolovoza;

– „DPSMOI“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, za-

visno od merodavnog uzdužnog nagiba puta na mreži;

– „TMIN“ – datoteka vremena putovanja za sve puteve na mreži, zavisno od odabranog merodavnog parametra.

Datoteke 1DPSMO, DPSMO1, DPSMO4 i DPSMOI formirane su u toku modeliranja kolonskog saobraćajnog toka. U ovom potprogramu se pomoću numeričkih karakteristika sistema V–V–P–O–O*, određuje vreme putovanja za sve puteve na mreži prema izabranom merodavnom parametru.

Vreme putovanja za pojedine deonice puta na mreži pri kretanju saobraćajnog toka ne može se izračunati prostom analitičkom vezom između osnovnih veličina: puta, vremena i brzine, jer predstavlja idealizovan model saobraćaja koji važi samo za kretanje pojedinačnog vozila u idealnim uslovima [7]. Vreme putovanja je promenljiva veličina, koja zavisi od interakcija u sistemu V–V–P–O–O i velikog broja slučajno promenljivih faktora. Za kretanje kolonskih saobraćajnih tokova ono se realno može dobiti imitacionim modeliranjem prema izrazu (4). Zbog toga, iz podataka dobijenih modeliranjem, treba odrediti i uzeti u obzir parametre kolonskog saobraćajnog toka: srednje odstojanje između vozila u koloni, \bar{l}_{ps} ; srednju dubinu kolone \bar{D}_k ; srednju gustinu saobraćaja, \bar{G} i srednje vreme opsluživanja kolone \bar{t}_{ok} [4].

U datoteci „KARTA“, za čvorove koji su direktno povezani, nalaze se sledeći podaci:

*Ove karakteristike dobijene su imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka [2, 3] i ovde se koriste kao baza podataka. Kretanje kolone posmatra se kao rad „sistema za masovno opsluživanje“ (SMO), pa ove datoteke sadrže podatke tipične za SMO.

– $L(i, j)$ [km] – dužina puta između i-tog i j-tog čvora;

– $Q(i, j)$ [voz/h] – maksimalni mogući protok između i-tog i j-tog čvora na mreži;

– $V(i, j)$ [km/h] – moguća brzina između i-tog i j-tog čvora na mreži, za kolonski tok;

– $\mu(i, j)$ – koeficijent prijanjanja pneumatika sa podlogom na deonici između i-tog i j-tog čvora na mreži;

– $\pm i$ [%] – uzdužni nagib puta, „+“ za uspon, „–“ za pad, na deonici između i-tog i j-tog čvora na mreži.

Za čvorove koji nisu direktno povezani nalazi se podatak o dužini i to: ∞ za $i \neq j$ i 0 za $i = j$.

U datoteci „TMIN“, na osnovu odabranog parametra, za sve direktno povezane čvorove, izračunava se i upisuje vreme putovanja t_{ij} , a za ostale čvorove upisuje se ∞ za $i \neq j$ i 0 za $i = j$.

Na slici 2 prikazan je opšti blok-dijagram potprograma za izbor optimalne brzine kretanja i izračunavanja vremena putovanja.

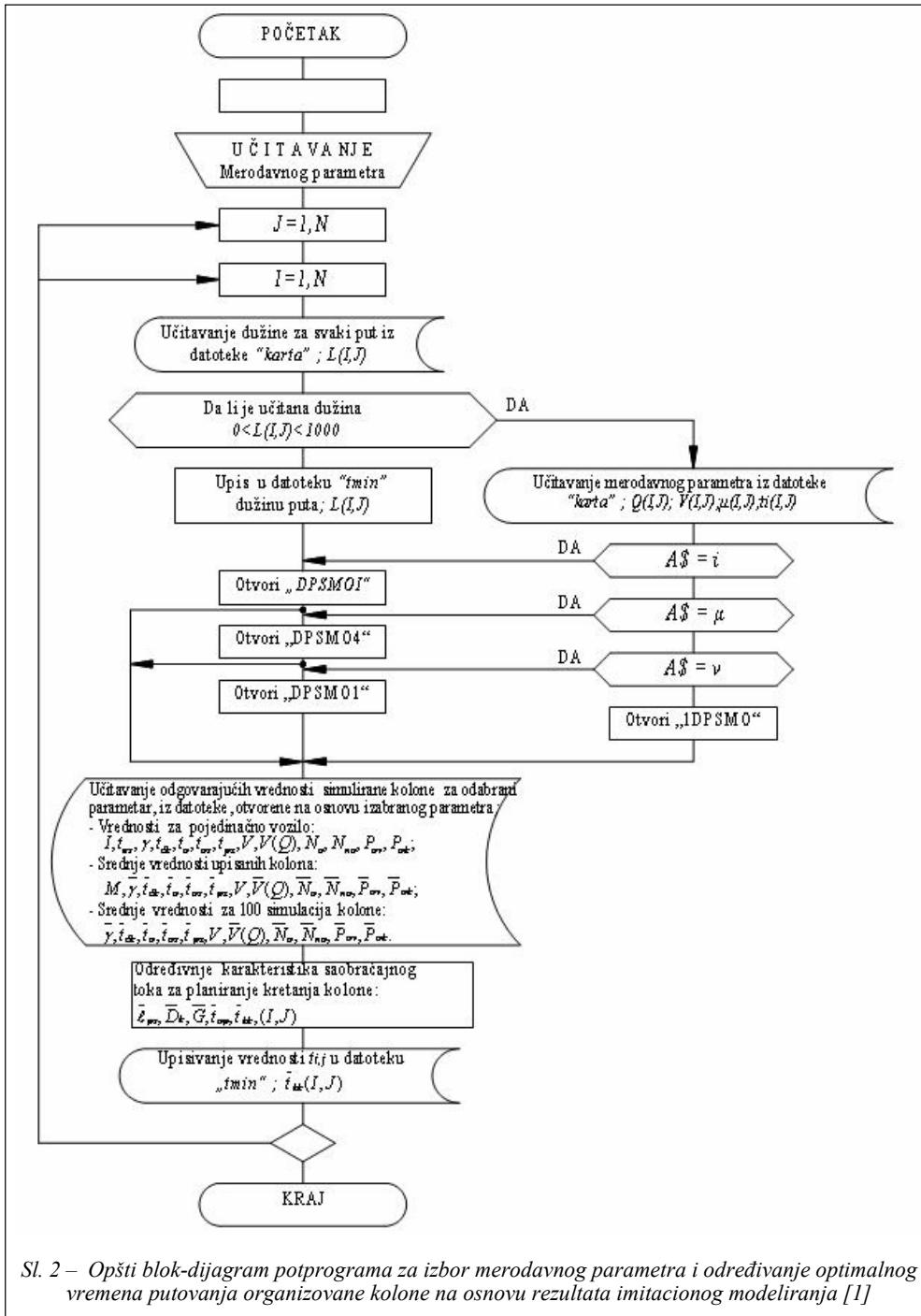
Algoritam za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja

Prema opisu problema, a radi uopštavanja modela tj. izbora puta za kretanje između bilo koja dva čvora na mreži, potrebno je izvršiti transformaciju matrice vremena putovanja $T = [t_{ij}]$.

Za rad ovog potprograma koristi se šest datoteka:

– „MESTA“ – nepromenljiva datoteka naziva čvorova – mesta na mreži;

– „MESTA2“ – promenljiva datoteka naziva čvorova na mreži;



- „KARTA1“ – promenljiva pomoćna datoteka vremena putovanja;
- „KARTA2“ – promenljiva datoteka vremena putovanja;
- „TMIN“ – datoteka vremena putovanja, za sve puteve na mreži;
- „MESTA3“ – promenljiva datoteka za upis maršrute kretanja (početno i krajnje mesto).

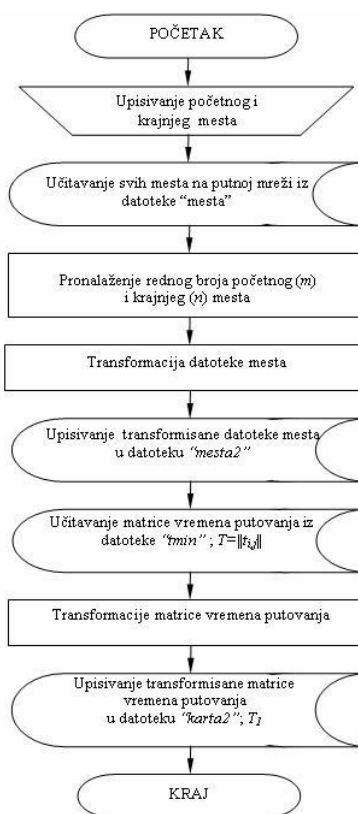
Na osnovu opisanog postupka razrađen je algoritam za preuređenje datoteke mesta (naziva čvorova) i datoteke vremena putovanja.

Nakon upisa početnog i krajnjeg mesta i pronalaženja njihovih rednih brojeva m i n u datoteci „MESTA“, vrši se preuređenje datoteka „MESTA2“ i „KARTA2“. Najpre se preuređuje datoteka „MESTA2“ tako da na prvo mesto dolazi naziv čvora m (početno mesto), a na poslednje naziv čvora n (krajnje mesto). Datoteka „KARTA2“ preuređuje se tako što se m -ti red i kolona prebace na mesto prvog reda i kolone, dok se n -ti red i kolona prebace na mesto N -tog reda i kolone (N je broj mesta na putnoj mreži). Ako se zahteva izbor maršrute za iste čvorove, postupak preuređenja datoteka se preskače i zahteva unos validnih podataka (različito početno i krajnje mesto).

Na slici 3 prikazan je opšti blok-dijagram potprograma za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja.

Algoritam za određivanje najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova – mesta, primenom dinamičkog programiranja

Nakon određivanja optimalne brzine, izračunavanja vremena putovanja i preuređenja datoteka, moguće je primeniti Belmanov algoritam dinamičkog programiranja za izbor najkraćeg puta.

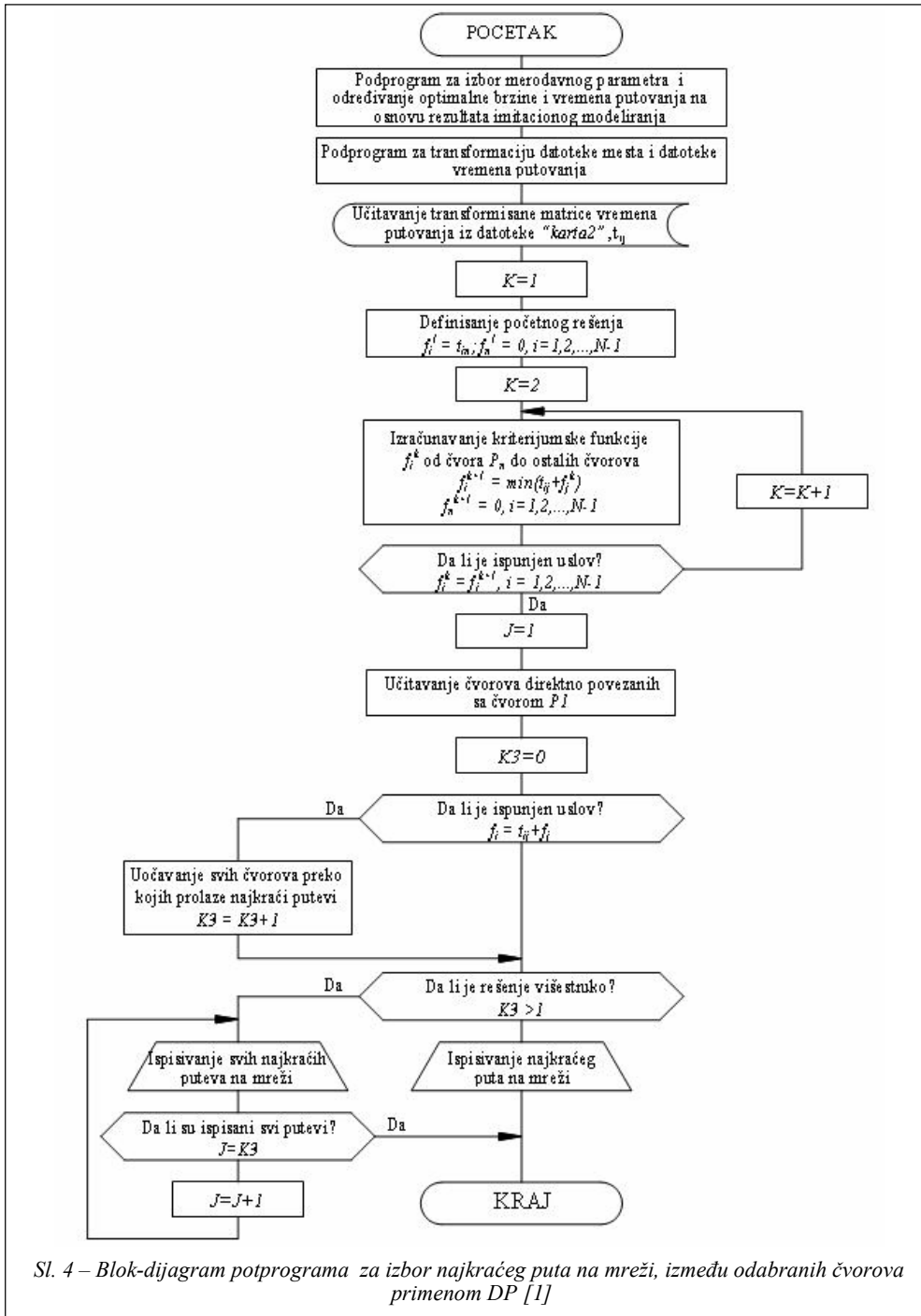


Sl. 3 – Opšti blok-dijagram potprograma za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja [1]

Za rad ovog potprograma koriste se četiri datoteke:

- „KARTA2“ – preuređena datoteka vremena putovanja;
- „MESTA2“ – preuređena datoteka naziva čvorova;
- „MESTA3“ – datoteka u koju je upisana maršruta kretanja (početno i krajnje mesto).
- „MESTA4“ – datoteka u koju se upisuju sva mesta, na određenoj, minimalnoj maršruti.

Na osnovu opisanog postupka razrađen je algoritam za izbor najkraćeg puta na mreži.



Sl. 4 – Blok-dijagram potprograma za izbor najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova primenom DP [1]

U datotekama postoje podaci dobijeni modeliranjem za sledece parametre:

1. Osnovni-direktni protok (protok po desnoj traci), $Q1$ [voz/h]
2. Moguce deonicne brzine kretanja kolonskog toka, V [km/h]
3. Koefficient prijanjanja pneumatika s kolovozom, m
4. Uzduzni nagib puta, ['+'i za uspon i '-' za pad] u '%'

Svaka kolona simulirana je 1000 puta a u koloni se kretalo 187 vozila

Na osnovu popisa izaberite redni broj merodavnog parametra prema kome zelite vrstiti izbor puta

Prema kom parametru se vrshi izbor putanje za kretanje(1-4)?

PARAMETAR= 1

Prilog 1 – Izbor relevantnog parametra sistema V–V–P–O–O [1]

Algoritam ispisuje: vrednost kriterijumske funkcije f_i^k za sve čvorove prema koracima izračunavanja, minimalno vreme putovanja izraženo u satima, relaciju kretanja i , na kraju, određuje i ispisuje dužinu minimalne maršrute izraženu u kilometrima. Ukoliko je rešenje višestruko, ispisuju se podaci o svim određenim maršrutama.

Na slici 4 prikazan je opšti blok-diagram potprograma za izbor najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova – mesta, primenom dinamičkog programiranja.

Ovaj algoritam (slika 4) realizovan je kao konzolna aplikacija, u kojoj se od korisnika najpre zahteva da izabere relevantni parametar po kojem se vrši izbor optimalnog puta (prilog 1). Zatim, ispisuje nazive svih čvorova na putnoj mreži i od korisnika zahteva da unese početno i krajnje mesto maršrute za kretanje kolone (prilog 2). Nakon toga, program ispisuje vrednosti parametarske funkcije f , po koracima izračunavanja (prilog 3). Na kraju se ispisuju: minimalno vreme kretanja na izabranoj maršruti u satima, čvorovi putne mreže koji povezuju početno i

Čvorovi na putnoj mreži:

1. DJURDJEVICA_TARA
2. MOJKOVAC
3. RIBAREVINE
4. BIJELO_POLJE
5. CAJETINA(R)
6. UZICE
7. POZEGA
8. KRATOVSKA_STENA
9. CACAK
10. PRELJINA
11. KRALJEVO
12. BERANE
13. PLJEVLJA
14. PRIJEPOLJE
15. ALJINOVICI
16. SJENICA
17. DUGA_POLJANA
18. NOVI_PAZAR
19. RASKA
20. UVAC
21. RIBARICE
22. USCE
23. PRIBOJ
24. BISTRICA
25. NOVA_VAROS
26. KOKIN_BROD
27. PRILIKE
28. IVANJICA
29. GUCA(R1)
30. GUCA(R2)

Na osnovu popisa čvorova izaberite marsrutu kretanja za kolonu vozila.

Upisite pocetno mesto? MOJKOVAC
Upisite krajnje mesto? IVANJICA

Prilog 2 – Definisanje početnog i krajnjeg čvora za izbor minimalne maršrute [1]

Minimalna vremena putovanja izmedju IVANJICA
i ostalih cvorova u mrezi prema koracima izracunavanja

	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12	k=13
1. MOJKOVAC	0	81	134	186	238	290	342	394	446	498	550	586	586
2. DJURDJEVICA_TARA	0	104	193	245	297	349	401	453	505	529	529	529	529
3. RIBAREVINE	0	52	104	156	208	260	312	364	416	468	517	517	517
4. BIJELO_POLJE	0	52	104	156	208	260	312	364	416	465	465	465	465
5. ČAJETINA(R)	0	72	145	210	267	294	294	294	294	294	294	294	294
6. UZICE	0	72	138	195	247	247	247	247	247	247	247	247	247
7. POZEGA	0	57	113	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
8. KRATOVSKA_STENA	0	57	113	170	222	222	222	222	222	222	222	222	222
9. CACAK	0	54	108	161	215	235	235	235	235	235	235	235	235
10. PRELJINA	0	54	108	161	215	269	288	288	288	288	288	288	288
11. KRALJEVO	0	100	154	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
12. BERANE	0	89	141	193	245	297	349	401	453	467	467	467	467
13. PLJEVLJA	0	94	155	217	278	331	382	425	425	425	425	425	425
14. PRIJEPOLJE	0	61	123	184	237	288	332	332	332	332	332	332	332
15. ALJINOVICI	0	81	140	198	236	236	236	236	236	236	236	236	236
16. SJENICA	152	84	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
17. DUGA_POLJANA	143	99	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143
18. NOVI_PAZAR	0	79	158	237	243	243	243	243	243	243	243	243	243
19. RASKA	0	79	158	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
20. UVAC	0	51	102	154	205	256	307	359	410	440	440	440	440
21. RIBARICE	0	82	161	240	319	325	325	325	325	325	325	325	325
22. USCE	138	88	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
23. PRIBOJ	0	51	102	154	205	256	307	359	388	388	388	388	388
24. BISTRICA	0	61	123	176	227	278	315	315	315	315	315	315	315
25. NOVA_VAROS	0	59	117	176	234	247	247	247	247	247	247	247	247
26. KOKIN_BROD	0	59	117	176	189	189	189	189	189	189	189	189	189
27. PRILIKE	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
28. GUCA(R1)	91	61	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
29. GUCA(R2)	0	76	123	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
30. IVANJICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Minimalno vreme putovanja 9.45 h
Minimalna marsruta izmedju MOJKOVAC i IVANJICA

1. MOJKOVAC
2. BERANE
3. RIBARICE
4. NOVI_PAZAR
5. DUGA_POLJANA
6. IVANJICA

Duzina marsrute je 228 km

Prilog 3 – Prikaz minimalnih rezultata za izabranu maršrutu [1]

krajnje mesto izabrane maršrute i dužina maršrute u kilometrima (prilog 3). U priložima 1, 2 i 3 prikazan je ispis programa za izabrani merodavni parametar sistema V–V–P–O–O, „osnovni-direktni protok (protok po desnoj kolovoznoj traci)“ i Mojkovac kao početno, a Ivanjica kao krajnje mesto [1]. Kao što se vidi iz priloga 3, za izabrani parametar se dobija: minimalno vreme kretanja 9,45 h, minimalna maršruta: „Mojkovac – Berane – Ribariće – Novi Pazar – Duga Poljana – Ivanjica, dužine 228 km. Ako korisnik,

kao relevantni parametar sistema V–V–P–O–O, izabere moguću brzinu kretanja na pojedinim deonicama, kao izlaz se dobija: minimalno vreme kretanja 16,34 h, minimalna maršruta: „Mojkovac – Ribarevine – Bijelo Polje – Prijepolje – Bistrica – Nova Varoš – Kokin Brod – Čajetina – Užice – Požega – Prilike – Ivanjica“ dužine 248 km. U slučaju izbora koeficijenta priranja pneumatika kao relevantnog parametra sistema V–V–P–O–O na izlazu se dobijaju sledeće vrednosti: minimalno vreme kretanja 9,13 h,

minimalna maršruta: „Mojkovac – Ribarvine – Bijelo Polje – Prijepolje – Aljinovići – Sjenica – Ivanjica“ dužine 193 km. Na kraju, za izbor uzdužnog nagiba puta kao relevantnog parametra sistema V-V-P-O-O, vreme kretanja kolone je 9,13 h, a ostale vrednosti parametara puta identične su kao u slučaju izbora koeficijenta prijanjanja pneumatika sa podlogom, kao relevantnog parametra sistema V-V-P-O-O. Na osnovu prikazanih i navedenih podataka može se zaključiti da se za različite izabrane parametre, a isto početno i krajnje mesto, dobijaju različiti rezultati.

Zaključak

Cilj ovog projekta jeste da se SbP, ali i proces rukovođenja i komandovanja, učine što efikasnijim. Korisnik bi, upotrebom ovog sistema, mnogo brže i lakše donosio odluke. To bi sistem funkcionisanja logističke podrške i sistem komandovanja u celosti učinilo efikasnijim.

U kasnijem razvoju moguće je poboljšanje funkcionalnosti ovog sistema. Program se može poboljšati tako da korisnik – operater zadaje određene uslove i ograničenja koja bi se uzimala u obzir pri izračunavanju optimalnog puta. Model

izbora optimalnog puta treba usavršiti prema realnim zadacima SbP. Vojska ima potrebe da se kreće u raznim uslovima i uz različita ograničenja, pa zadaci optimizacije mogu biti uslovljeni. Na primer, potrebno je odrediti minimalnu maršrutu između dva mesta na putnoj mreži, uz uslov da kolona prođe kroz određeno mesto (usputni utovar, istovar, ukrcavanje, iskrcavanje i sl.), ili da zbog određenih ograničenja izbegne kretanje kroz određeno mesto (srušen most, tučena deonica, snežni nanosi, nedovoljan kapacitet i sl.). Pored toga, sistem se može unaprediti i izradom odgovarajućeg grafičkog korisničkog interfejsa.

Literatura:

- [1] Gordić, S. R.: Efikasnost organizovanog vojnog kolonskog saobraćajnog toka, doktorska disertacija, Vojna akademija, Škola nacionalne odbrane, Beograd, 2005.
- [2] Gordić, S. R.: Izračunavanje osnovnih karakteristika rada puta kao sistema masovnog opsluživanja, seminarski rad iz predmeta Operaciona istraživanja I, TVA PDS, Zagreb, 1981.
- [3] Gordić, S. R.: Modeliranje kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka, Simpozijum sa međunarodnim učešćem Optimizacija razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije, zbornik radova, Beograd, 1990.
- [4] Gordić, S. Radomir: Operativno planiranje saobraćaja na putevima kod kolonskih kretanja, Vojnotehnički glasnik, br. 2, 1983.
- [5] Petrović, R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.
- [6] Калихман, И. И. и сот.; Динамическое программирование в примерах и задачах, Москва, Высшая школа, 1979.
- [7] Kuzović, Lj.; Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.

Đuro Jovanić,
poručnik, dipl. oec.
VP 3065-6,
Sombor

TESTIRANJE BALISTIČKE OTPORNOSTI ZAŠTITNIH PRSLUKA

UDC: 623.445.1 : 006

Rezime:

U radu je predstavljena osnova standarda NIJ 0101.04 (Nacionalni Institut Pravde), namenjenog za utvrđivanje minimuma tehničkih zahteva i propisivanje metoda ispitivanja balističke otpornosti zaštitnih prsluka, koji treba da zaštite gornji deo tela od dejstva streljačkog oružja. Standard jeste revizija standarda NIJ 0101.03 iz aprila 1987. i preciznije definiše zahteve u pogledu obeležavanja, kriterijume za prijem i postupke merenja otiska u materijalu iza prsluka. Područje ovog standarda odnosi se samo na balističku otpornost, ali ne i na pretnje od noža i predmeta sa oštrim vrhom. Takođe, ne odnosi se na zaštitne prsluke koji sadrže dopunske elemente ili varijacije u konstrukciji balističkih panela za malu površinu torza, radi povećanja osnovnog nivoa zaštite na ograničenim površinama (bilo balističke ili povrede od tupog vrha).

Ključne reči: upadni ugao, penetracija, ispravan pogodak, deformacija, zaštitni prsluk, uzorak.

BALLISTIC RESISTANCE OF BODY ARMOUR TESTING

Summary:

This work is a basic presentation of NIJ 0101.04 (National Institute of Justice) standard, whose purpose is to establish minimum performance requirements and methods of testing ballistic resistance of body armor intended to protect the torso against gunfire. This standard is a revision of NIJ Standard 0101.03 dated April 1987 and it clarifies the labeling requirements, acceptance criteria, and backface signature measurement procedure. The scope of this standard is limited only to ballistic resistance; and it does not include threats from knives and sharply pointed instruments. In addition, the standard does not include armor that incorporates inserts, or variations in construction of the ballistic panel over small areas of the torso, used for increasing the basic level of protection of the armor (whether ballistic or blunt trauma) on localized areas.

Key words: angle of incidence, penetration, fair hit, deformation, body armour, sample.

Uvod

Potreba za preciznim utvrđivanjem balističke otpornosti zaštitnih prsluka, minimuma tehničkih zahteva koje moraju ispuniti, razgraničavanjem vidova pretnji (balistička otpornost, zaštita od hladnog oružja), kao i pomoći pri nabavci opreme koja treba da zaštiti gornji deo tela od dejstva streljačkog oružja, uslovi-

la je propisivanje standarda za ovo specifično područje primene. Pojedini standardi koji danas važe, mogu uneti nejasnoće, propisujući neadekvatne uslove o metodama testiranja, balističkoj otpornosti i nivou zaštite koja se pruža krajnjim korisnicima.

Upravo zbog nedoumica koje se javljaju, nabavne službe vodećih armija sveta odlučuju se za zaštitne prsluke koji

ispunjavaju zahteve propisane standardima poput GSS (German Standard Schutzklasse), AS/NZS (Australian and New Zealand Standard), ali generalno najčešće za zaštitne prsluke akreditovane najpouzdanijim standardom NIJ (National Institute of Justice).

Standard NIJ formulisala je Laboratorija za standarde bezbednosti 1972. godine, u Nacionalnom birou za standarde pod upravom Ministarstva pravde SAD, pri Programu ocenjivanja tehnologija visokog kvaliteta. Tehnička istraživanja izvode se pri Laboratoriji za hemijske sisteme, na opitnom poligonu armije SAD u Aberdeenu. Do danas je nastao veliki broj modifikacija i dopuna ovog standarda, tako da i dalje, radi sveopšte bezbednosti krajnjih korisnika, podleže stalnom preispitivanju i usavršavanju.

Standard koji predstavlja polaznu osnovu za precizno testiranje balističke otpornosti zaštitnih prsluka nosi oznaku NIJ 0101.04 i odnosi se na balističku otpornost, kriterijume za prijem, postupke merenja otiska u materijalu iza prsluka i zahteve vezane za obeležavanje zaštitnih prsluka. Ovaj standard ne odnosi se na prsluke koji služe za zaštitu od noža i predmeta sa oštrim – tupim vrhom, jer su to drugačiji vidovi pretnji, kao i zaštitne prsluke koji sadrže dopunske elemente ili varijacije u konstrukciji balističkih panela za malu površinu torza, radi povećanja osnovnog nivoa zaštite na ograničenim površinama.

Klasifikacija balističkih zaštitnih prsluka

Zaštitni prsluci obuhvaćeni standardom NIJ-0101.04 klasifikuju se u 7 razli-

čitih tipova (stepena), u zavisnosti od nivoa balističkih zaštitnih osobina, i to na:

– tip I (.22 LR, .380 ACP) štiti od olovnog zrna kal. .22 LR LRN, nominalne mase 2,6 g (40 gr), pri udarnoj brzini od 320 m/s (1050 ft/s) ili manjoj i od .380 ACP FMJ RN nominalne mase 6,2 g (95 gr), koji ima udarnu brzinu od 312 m/s (1025 ft/s) ili manju;

– tip II-A (9 mm; 40 S&W) štiti od zrna 9 mm FMJ RN, nominalne mase 8,0 g (124 gr), pri udarnoj brzini od 332 m/s (1090 ft/s) ili manjoj i 40 S&W FMJ zrna nominalne mase 11,7 g (180 gr), čija je udarna brzina 312 m/s (1025 ft/s) ili manja, kao i od pretnji navedenih za tip I;

– tip II (9 mm; 357 Magnum) štiti od zrna 9 mm FMJ RN nominalne mase 8,0 g (124 gr), čija je udarna brzina 358 m/s (1175 ft/s) ili manja i 357 Magnum JSP zrna nominalne mase od 10,2 g (158 gr), čija je udarna brzina od 427 m/s (1400 ft/s) ili manja. Takođe, obezbeđuje zaštitu od pretnji koje su napomenute za tip I i II-A;

– tip III-A (9 mm; 44 Magnum većih brzina) štiti od olovnih zrna 9 mm FMJ RN, nominalne mase 8,0 g (124 gr), čija je udarna brzina 427 m/s (1400 ft/s) ili manja i 44 Magnum SJHP zrna nominalne mase od 15,6 g (240 gr), čija je udarna brzina od 427 m/s (1400 ft/s) ili manja. Takođe, obezbeđuje zaštitu od najvećeg broja zrna koja su ispaljena iz pištolja i revolvera, kao i od pretnji za tip I, II-A i II;

– tip III (puške velike moći) štiti od zrna 7,62 mm FMJ (U.S. vojne oznake M80) nominalne mase 9,6 g (148 gr), čija je udarna brzina 838 m/s (2750 ft/s) ili manja. Takođe, obezbeđuje zaštitu od pretnji pomenutih za tip I, II-A, II i III-A;

– tip IV (puške za proboj oklopa) štiti od zrna cal.30 AP (U.S. vojne oznake M2 AP) nominalne mase 10,8 g (166 gr), čija je brzina 869 m/s (2850 ft/s) ili manja. Takode, obezbeđuje zaštitu od najmanje jedne vrste zrna, koja su navedena za tip I, II-A, II, III-A i III.

– specijalni tip, pruža ispunjenje specijalnih zahteva krajnjih korisnika, za nivo zaštite koji je viši od definisanog standardom NIJ 0101.04, a pre testiranja je potrebno tačno da se navede od kojih zrna je potrebna zaštita. Nijedan ispravan pogodak ili zrno pri brzinama manjim od minimalno zahtevanih ne sme da probije prsluk.

U tabeli 1 prikazano je značenje skraćenica korišćenih pri definisanju tipova zaštitnih prsluka.

Tabela 1

LRN	Lead Round Nose	Potpuno olovno zrno
FMJ RN	Full Metal Jacketed Round Nose	zrno sa potpunom metalnom košuljicom
JSP	Jacketed Soft Point	zrno sa mekanom košuljicom
SJHP	Semi Jacketed Hollow Point	zrno sa polumekanom košuljicom i zaobljenim vrhom
AP	armor piercing	pancirno zrno

Važno je imati u vidu da balistička otpornost od nekog zrna generalno zavisi od njegovog sastava, oblika, kalibra, ma-

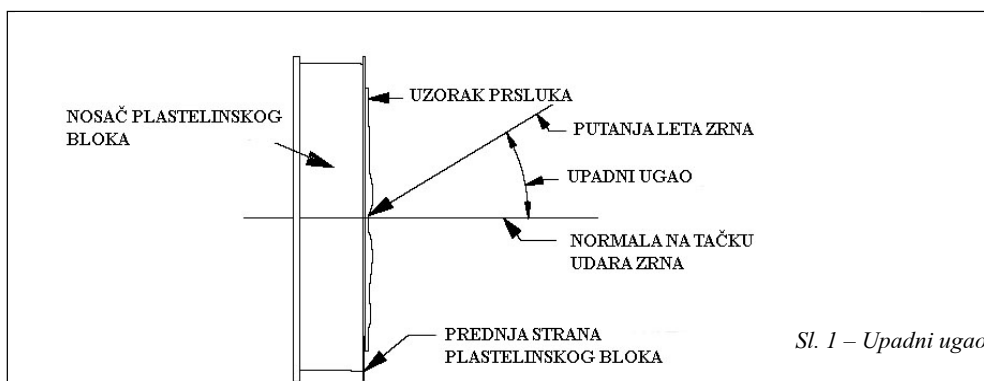
se, upadnog ugla i udarne brzine. Međutim, zbog širokog asortimana municije koja se može dobiti u određenom kalibru, kao i zbog postojanja ručno punjene municije, prsluci koji štite od standardnih test-zrna ne moraju da štite od municije istog kalibra, a drugog punjenja. Tako da, na primer, prsluk koji sprečava penetraciju standardnog zrna 40 S&W može, ali ne mora, da štiti od zrna 40 S&W većih brzina. Uopšte, neki prsluk koji štiti od datog olovnog zrna ne mora da bude otporan na penetraciju drugih zrna u istom kalibru, ali različite konstrukcije ili oblika.

Definicije

Upadni ugao je ugao između linije putanje leta zrna i normale na tangentu ravni do tačke udara zrna (slika 1).

Materijal za pozadinu predstavlja blok od plastelina za modeliranje, na bazi ulja, postavljen tako da bude u kontaktu sa zadnjom stranom ispitivanog uzorka prsluka za sve vreme balističkog ispitivanja.

Deformacija je maksimalno trenutno istiskivanje zadnje strane uzorka prsluka koji se ispituje, izazvano ispravnim pogotkom koji ne prodire kroz uzorak kada je u početnom kontaktu sa plastelinom.



Sl. 1 – Upadni ugao

Dubina otiska je rastojanje mereno na materijalu za pozadinu od osnovne – neporemećene površine, do najniže tačke otiska.

Ispravan pogodak je onaj koji pogađa prsluk pod upadnim uglom ne većim za $\pm 5^\circ$ od planiranog upadnog ugla, ne bliže ivici prsluka od 76 mm (3,0 in) i ne bliže prethodnom pogotku (mereno od centra do centra pogotka) na rastojanju od 51 mm (2,0 in), pri udarnoj brzini koja nije veća za 50 ft/s (15 m/s) od najmanje zahtevane brzine za testiranje.

Proboj (penetracija) ispitivanog uzorka prsluka sa ispitivanim zrnom ili fragmentom zrna ili fragmentom panela, očitava se prisustvom zrna ili fragmenta u plastelinu ili postojanjem rupe u plastelinu.

Pripreme za ispitivanje balističke otpornosti zaštitnih prsluka

Pre početka ispitivanja balističke otpornosti potrebno je izvršiti uzorkovanje metodom slučajnih uzoraka, izdvajanjem određenog broja kompletnih prsluka, u zavisnosti od stepena zaštite za koji se vrši testiranje. Svaki izdvojeni prsluk treba da bude bez: nabora, mehurova, izbočina, prskotina ili poderotina (tekstilnih), pukotina, odsečaka, oštih uglova ili drugih oštećenja.

Važno je uzeti u obzir da što je veća veličina uzorka, to je veća verovatnoća da se balističko testiranje okonča na manjem broju kompletnih prsluka.

Uzorkovanje:

– za tip I, II-A, II, III-A izdvaja se šest kompletnih prsluka u veličinama koje odgovaraju obimu grudi od 117 cm (46 in) do 122 cm (48 in) za muškarce i veli-

činama koje odgovaraju obimu grudi od 107 cm (42 in) do 112 cm (44 in) za žene;

– za tip III izdvajaju se četiri kompletna prsluka ili panela, koji ne smeju biti manji od 254 mm \times 305 mm (10,0 in \times 12,0 in);

– za tip IV izdvaja se devet kompletnih prsluka, uzoraka–panela–umetaka, koji ne smeju biti manji od 203 mm \times 254 mm (8,0 in \times 10,0 in).

Kondicioniranje vlažnog prsluka

Kompletan prsluk treba da se kondicionira tako što se obe strane (svakog dela prsluka) podvrgavaju dejstvu vode koja prska pod sledećim uslovima:

– sprej – mlaznica treba da bude takve veličine i postavljena tako da 100 mm/h \pm 20 mm/h (4,0 in/h \pm 0,8 in/h) kapljica vode padne u uniformnom rasporedu na obe strane prsluka;

– mlaznicu orijentisati tako da kada dođe do udara kapljica u površinu prsluka, nastane njihovo slivanje usled dejstva sile gravitacije;

– temperatura vode na izlazu iz mlaznice treba da iznosi od 10°C do 21°C (50°F do 70°F);

– kompletan zaštitni prsluk, uključujući i odvojive delove, kondicira se 6 minuta;

– poslednja se prska udarna strana prsluka (Strike face) u intervalu od 3 minuta.

Ako usled nedostatka odgovarajućih uslova ne mogu da se kondicioniraju kompletni prsluci, onda se pristupa kondicioniranju minimalne površine prsluka od 762 mm \times 762 mm (30,0 in \times 30,0 in) koja će omogućiti dalje uspešno testiranje.

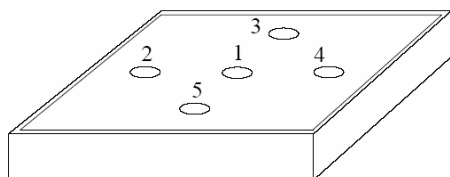
Materijal za pozadinu

Da bi se mogla precizno izmeriti deformacija, nastala posle udara zrna u uzorak, potrebno je iza njega postaviti odgovarajući materijal, na kojem će biti moguće izmeriti nastali otisak. Taj materijal treba da bude u obliku bloka plastelina debljine 25 mm (1,0 in) do 51 mm (2,0 in), širine i dužine 254 mm × 254 mm (10,0 in × 10,0 in) i kao takav je dovoljan za kompletno naslanjanje dela prsluka koji se ispituje. Potrebno je da bude bez šupljina i kondicionira najmanje 3h, na temperaturi između 15°C i 30°C (59°F i 95°F).

Konzistencija ovog materijala treba da bude takva da se nakon pada sa visine od 2,0 m (6,56 ft) čeličnog tega cilindričnog oblika (mase 1043 g ± 5 g (2,29 lb ± 0,01 lb)), prečnika 63,5 mm ± 0,05 mm (2,5 in ± 0,001 in) i poluloptastog oblika na udarnom kraju, na jednoj strani plastelina kvadratnog oblika postigne debljina ulegnuća (otiska) od 19 mm ± 2 mm (0,748 in ± 0,08 in).

Potrebno je uraditi pet ovakvih testiranja na pad tega, s tim da centar svakog mesta udara bude najmanje 152 mm (6,0 in) udaljen od centra prethodnog udara i 76 mm (3,0 in) od svake ivice plastelinskog bloka (slika 2). Plastelin može biti na bilo kojoj temperaturi u navedenom rasponu, pod uslovom da daje traženu konzistenciju.

Za prsluke koji su po veličini i obliku namenjeni ženama izrađuju se korpe za grudi napunjene plastelinom, kondicioniranim zajedno sa plastelinom za po-



Sl. 2 – Testiranje konzistencije materijala za pozadinu

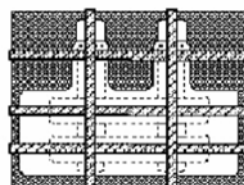
stavljanje iza prsluka i na isti način. Pri testiranju otiska u materijalu za pozadinu ovakvog prsluka, na posebno oblikovane korpe ne ispušta se čelični teg, već se to vrši u njihovoj blizini.

Materijal za pozadinu postavlja se na nosač plastelinskog bloka koji je izrađen od drveta unutrašnjih dimenzija 610 × 610 × 140 mm ± 2mm (24,0 in × 24,0 in × 5,5 in ± 0,06 in). Dozvoljene tolerancije pri izradi nosača plastelinskog bloka su ± 2 mm (± 0,06 in).

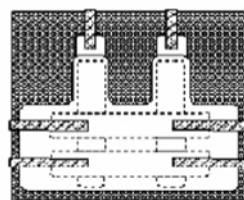
Pre početka testiranja potrebno je izvaditi iz kondicioniranog prsluka sve uklonive umetke, osim zaštitnog.

Učvršćivanje uzoraka

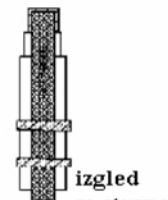
Uzorak zaštitnog prsluka potrebno je postaviti na materijal za pozadinu, tako da zauzima vertikalni položaj u odnosu na cev za testiranje. Radi što boljeg učvršćivanja i naleganja uzorka prsluka koristi se elastično-lepljiva traka širine 51 mm, kao što je to prikazano na slici 3.



fiksiranje pomoću elastičnih traka



fiksiranje pomoću lepljivih traka



izgled sa strane

Sl. 3 – Učvršćivanje uzorka prsluka pomoću elastično-lepljive trake

Tabela 2

Zahtevi za ispitivanje otpornosti zaštitnih balističkih prsluka prema standardu NIJ 0101.04

Parametri ispitivanja					Zahtevane performanse						
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Tip prsluka	Ispitno zmo	Ispitna municija	Masa zrna	Min. potrebna brzina zrna (± 30 ft/s)	Maks. udubljenje	Broj ispravnih pogodaka (upadni ugao 0°)	Broj ispravnih pogodaka (upadni ugao 30°)	Broj pogodaka za panel	Broj pogodaka za uzorak	Broj pogodaka za postupak	Ukupan broj pogodaka
I	1	.22 caliber LR LRN	2,6 g 40 gr.	329 m/s (1080 ft/s)	44 mm (1,73 in)	4	2	6	12	24	48
	2	.380 ACP FMJ RN	6,2 g 95 gr.	322 m/s (1055 ft/s)		4	2	6	12	24	
II-A	1	9 mm FMJ RN	8,0 g 124 gr.	341 m/s (1120 ft/s)		4	2	6	12	24	48
	2	40 S&W FMJ	11,7 g 180 gr.	322 m/s (1055 ft/s)		4	2	6	12	24	
II	1	9 mm FMJ RN	8,0 g 124 gr.	367 m/s (1205 ft/s)		4	2	6	12	24	48
	2	357 Mag JSP	10,2 g 158 gr.	436 m/s (1430 ft/s)		4	2	6	12	24	
III-A	1	9 mm FMJ RN	8,2 g 124 gr.	436 m/s (1430 ft/s)		4	2	6	12	24	48
	2	44 Mag SJHP	15,6 g 240 gr.	436 m/s (1430 ft/s)		4	2	6	12	24	
III	1	7.62 mm NATO FMJ	9,6 g 148 gr.	847 m/s (2780 ft/s)		6	0	6	12	12	12
IV	2	.30 caliber M2 AP	10,8 g 166 gr.	878 m/s (2880 ft/s)		1	0	1	2	2	2
Specijalni	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*

*Ove zahteve mora da navede kupac. Svi podaci moraju da budu navedeni, a nijedan ispravan pogodak ili zmo pri brzinama manjim od minimalno zahtevanih ne smeju da probiju prsluk.

Položaj uzorka obeležava se na materijalu za pozadinu, trasiranjem pomoću vrha olovke ili sličnog alata, radi preciznog utvrđivanja njegovog položaja posle izlaganja penetraciji i deformaciji nastalih za vreme testiranja.

Ispitno oružje i municija

Oružje za ispitivanje može da bude pištolj, revolver, automat, puška ili opitna cev ANSI/SAAMI sa komorom za zrna od kojih ispitivani tip prsluka treba da

pruži zaštitu. Ispitna municija se klasifikuje prema detaljnim zahtevima za ispitivanje otpornosti zaštitnih balističkih prsluka prema standardu NIJ 0101.04, koji su prikazani u tabeli 2.

Za određena testiranja može da se zahteva i ručno laborisana municija, radi postizanja zahtevane brzine za određeni tip balističkog zaštitnog prsluka.

Opremu za testiranje treba postaviti na način prikazan na slici 4, vodeći računa da se cev za testiranje nalazi u horizontalnom položaju. Elektronska oprema treba da se zagreje do radne temperature, koju propisuje proizvođača za svaki uređaj. Prostoriju za testiranje treba zagrejati i održavati na temperaturi od $21^{\circ}\text{C} \pm 2,9^{\circ}\text{C}$ ($70^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$) i relativnoj vlažnosti vazduha od $50\% \pm 20\%$.

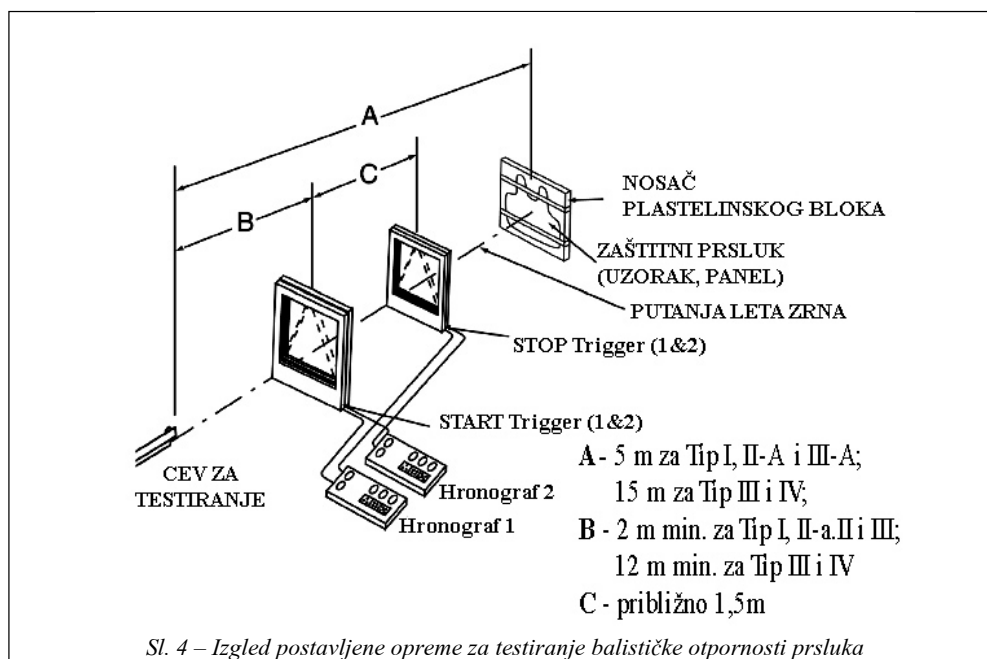
Svaki put pre i nakon ispaljivanja serije test-municije potrebno je izmeriti

temperaturu i vlažnost prostorije za testiranje. Da bi sa sigurnošću znali da će prvo test-zrno pogoditi prsluk brzinom koja nije veća za 15 m (50 ft) u sekundi od najniže zahtevane brzine za test-zrno, potrebno je ispaliti dovoljan broj probnih zrna pre testiranja.

Poslednje zrno pre testiranja ispaljuje se tako da prođe kroz karton, radi određivanja njegove putanje i mesta pogotka. Alternativno, može se upotrebiti snop svetla nišanske sprave ili drugog pogodnog sredstva za nišanje i obeležavanje tačke udara zrna.

U slučaju da karton koji je korišćen pre testiranja ostane, uzorak prsluka treba postaviti tako da željeno mesto narednog pogotka dodiruje rupu u kartonu od pogotka pre testiranja, a zatim ukloniti karton.

Prvu barijeru START-TRIGGER, vezanu za hronograf, treba postaviti tako



da bude udaljena najmanje 2 m (6,6 ft) od usta cevi za testiranje, a drugu barijeru (STOP-TRIGGER) na rastojanje od prve približno za 1,5 m (4,9 ft). Barijere treba postaviti tako da obrazuju ravni normalne na liniju putanje leta zrna.

Rastojanje između njih treba izmeriti sa preciznošću od 1mm (0,04 in), a rastojanje do barijera A i B, meri se od usta cevi za testiranje sa preciznošću od ± 25 mm ($\pm 1,0$ in).

Testiranje balističke otpornosti

Kompletan uzorak prsluka (svaki njegov deo) treba da se testira na otpornost prema balističkoj penetraciji i balističkoj deformaciji, odmah posle vlažnog kondicioniranja. Celokupno testiranje uzorka prsluka mora da se obavi u roku od 30 minuta. Ovo vreme se računa od momenta uklanjanja prsluka ispod spreja – mlaznice.

Prvo testiranje ispitnom municijom treba da se završi za 10 minuta. U slučaju da testiranje nije kompletno završeno u predviđenom intervalu, rezultati ispitivanja se odbacuju, a drugo testiranje vlažnog uzorka mora da se ponovi sa novim prslukom.

Proboj ostvaren svakim ispravnim pogotkom, tj. svaka deformacija do dubine veće od 44 mm (1,73 in) ili penetracija zrnom pri brzini manjoj od najniže zadate u bilo kom testu, dovodi do odbacivanja prsluka po standardu NIJ 0101.04.

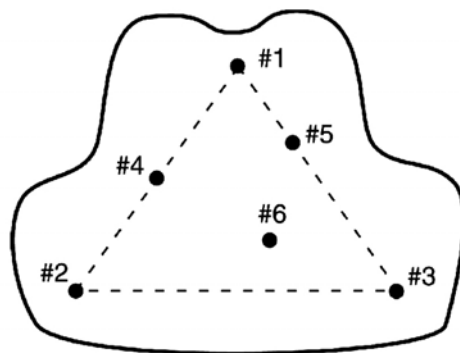
Zrno koje pogodi prsluk suviše blizu ivice ili prethodnom pogotku ili je registrovana suviše velika brzina zrna ali nije došlo do proboja, smatraće se ispravnim pogotkom sa aspekta penetracije.

Takođe, zrno koje udari većom brzinom od propisane, a pogodak je ispravan i iza prsluka proizvede otisak u plastelinu na dubini manjoj od 44 mm (1,73 in), smatra se ispravnim pogotkom u cilju određivanja deformacije.

Ispitivanje penetracije i karakteristika plastelina za tipove prsluka I, II-A, II i III-A

Rastojanje mereno od usta cevi za testiranje do udarne površine uzorka prsluka treba da iznosi 5 m (16,4 ft), uz dozvoljenu toleranciju od ± 25 mm ($\pm 1,0$ in). Prsluk sa plastelinom treba postaviti tako da njegova prednja strana bude normalna na putanju zrna, tj. pod upadnim uglom od 0° .

Prvo zrno treba ispaliti tako da pogodi prsluk na mesto označeno sa #1, kao što je prikazano na slici 5, koristeći hronograf za određivanje brzine zrna. Nakon toga treba pregledati prsluk i materijal za pozadinu, kako bi se utvrdilo da li je zrno napravilo ispravan pogodak i da li je došlo do penetracije.



Sl. 5 – Raspored pogodaka na uzorku prsluka definisanih standardom NIJ 0101.04

Ako nije došlo do proboja prsluka, a pogodak se smatra ispravnim, treba izmeriti i zabeležiti dubinu otiska koja je nastala u plastelinu. Ako je izmerena dubina otiska u skladu sa zahtevima standarda NIJ 0101.04, definisanim u koloni 6 tabele 2, prsluk ispunjava standard i ispravan je za korišćenje.

Međutim, ako je dubina otiska veća od dopuštene, a izmerena brzina zrna premašuje za više od 15 m/s (50 ft/s) najnižu zahtevanu brzinu, plastelin treba ponovo kondicionirati, a prsluk izravnati i uraditi novo testiranje kako bi se dobio ispravan pogodak. Drugi pokušaj treba izvesti tako da se pogodi ista površina prsluka, ali za 51 mm (2 in) dalje od prethodnog pogotka i minimalno 76 mm (3 in) dalje od bilo koje ivice prsluka.

Ovaj postupak treba ponavljati sve dok se ne postigne ispravan pogodak, iza kojeg treba izmeriti dubinu otiska, kako bi se proverila saglasnost sa zahtevima standarda NIJ 0101.04.

Ukoliko nije bilo neispravnih pogodaka, prsluk treba staviti ponovo na materijal za pozadinu, i to bez ponovne primene plastelina (ne ravnati udubljenje nastalo od prethodnog pogotka) i bez uklanjanja zrna koje se zadržalo u prsluku. Brzine preostalih zrna, koja slede prema propisanom rasporedu, treba da ispunje zahteve prikazane u tabeli 2.

Pri sledećem gadanju treba pregledati prsluk da bi se uverili da je postignut ispravan pogodak. Ako nije, ispitivanje u istoj zoni prsluka treba ponoviti sve dok se ne postigne ispravan pogodak, a pre nego što se pređe na ispitivanje naredne lokacije prsluka.

Prsluk i materijal za pozadinu treba ponovo postaviti tako da po ispaljivanju *drugo zrno* pogodi prsluk na mesto označeno sa # 2.

Bez remećenja odnosa između plastelina i prsluka (ne uklanjati zadržana zrna u prsluku i ne ravnati plastelin) treba opet postaviti elemente, tako da *treće zrno* pogodi prsluk na mestu označenom sa # 3.

Testiranje se nastavlja bez remećenja odnosa između prsluka i plastelina, a „delovi“ postavljaju tako da precizan upadni ugao između normale na prsluku i putanje leta zrna bude 30°, omogućavajući da *četvrto zrno* bude upućeno prema centralnom delu prsluka i pogodi prsluk na mestu označenom sa # 4.

Peto zrno ispaljuje se pod istim uslovima kao četvrto zrno, osim da se prsluk pogodi na mestu označenom sa # 5.

Šesto zrno se, kao i kod ostalih, ispaljuje bez remećenja odnosa između prsluka i plastelina, s tim da se elementi prsluka postave tako da upadni ugao zrna bude 0° i da prsluk bude pogoden na mestu označenom sa # 6.

Nakon završene prve serije test-pogodaka treba ispitati prsluk i plastelin da bi se ustanovilo da li je došlo do penetracije.

Prema izboru ispitivača, deo prsluka tipa I, II, II-A ili III-A, koji uspešno izdrži 6 ispravnih pogodaka sa jednom vrstom ispitne municije, može da bude testiran sa drugom opitnom municijom. Međutim, ako sa drugim tipom municije dođe do proboja prsluka, potrebno je izvršiti novo testiranje.

Drugi uzorci prsluka biće ispitani drugom ispitnom municijom, a rezultati ovog ispitivanja smatraće se regularnim.

Prsluci tip I, II, II-A ili III-A, namenjeni da sadrže uklonive umetke za dopunsku balističku zaštitu ili zaštitu od traume na ograničenom delu prsluka, ispituju se bez dodatnog zaštitnog umetka.

Delove prsluka koji pokrivaju prsni i leđni deo torza, sa ili bez bočne zaštite, treba svaki put gađati predviđenim brojem ispravnih pogodaka koji je definisan u tabeli 2.

Pri testiranju prsluka namenjenih ženama pogoci na lokacijama 4 i/ili 5 treba da budu takvi da najmanje jedno zrno pogodi u korpu, pod upadnim uglom 30°. Ako korpe za grudi imaju jedan ili više šavova, zrno treba da pogodi u jedan šav.

Plastelin treba ponovo pripremiti i ponoviti postupak ispitivanja koji je opisan, koristeći test-zrno broj 2 iz tabele 2, a koje se zahteva za ispitivani tip prsluka. Ako nema više prostora na ovom prsluku, ponoviti ispitni postupak novim delom prsluka, koristeći drugu vrstu municije.

Ukoliko su prethodni postupci ispravni, celokupan postupak ispitivanja treba ponoviti kako je već opisano sa oba tipa zrna, koristeći nov uzorak prsluka.

*Penetracija i karakteristike
plastelina pri testiranju
prsluka tip III*

Rastojanje mereno od usta cevi za testiranje do udarne površine uzorka prsluka treba da iznosi 15 m (50 ft), uz dozvoljenu toleranciju od ± 25 mm ($\pm 1,0$ in).

Zadnja strana prsluka postavlja se tako da površinom dodiruje jednu površinu plastelina, a elementi se pričvršćuju

pomoću dve vertikalne i tri horizontalne elastično-lepljive trake, tako da udarna strana prsluka ostane slobodna za ispitivanje.

Prsluci za ovaj tip zaštite najčešće su kruti i oblikovani tako da odgovaraju obliku ljudskog torza, pa njihova zadnja površina ne dolazi u kontakt sa površinom plastelina. Ovde je potrebno formirati zadnju stranu plastelina, tako da se dobije kontakt sa zadnjom stranom prsluka. Plastelin treba kondicionirati istovremeno sa osnovnim blokom plastelina i na isti način. Međutim, na ovaj nastavljeni plastelin ne mora da se izvede test sa čeličnim tegom.

Ovaj sklop treba postaviti tako da prednja strana prsluka bude normalna na putanju leta zrna, ispaliti jedan test-metak u prsluk i pri tom koristiti hronograf za određivanje brzine zrna. Zatim treba pregledati prsluk i plastelin, kako bi se odredilo da li je postignut ispravan pogodak i da li je došlo do penetracije ili cepanja.

Ako je pogodak ispravan prsluk se postavlja tako da se postigne još pet dodatnih pogodaka, po istim sekvencama kao kod testiranja vezanog za tip I, II-A, II, III-A, s tim da zrna pogode uzorak pod uglom od 0° i da se ukupno dobije šest ispravnih pogodaka.

U slučaju da postoje šavovi na balističkom materijalu, željeni broj ispravnih pogodaka planira se tako da najmanje jedan bude ostvaren direktno u šav. Ako nije došlo do penetracije uzorka prsluka, potrebno je izmeriti i zabeležiti dubinu otiska u plastelinu za dva ispravna pogotka, vezanih za najveće izmerene brzine, i zabeležiti da li je dubina otiska u skladu sa zahtevima standarda NIJ 0101.04.

Ukoliko nije bilo promašaja ili loših rezultata, celokupnu ispitnu proceduru treba ponoviti prema opisanom postupku za ispitivanje suvih prsluka.

Penetracija i karakteristike plastelina pri testiranju prsluka tip IV

Rastojanje mereno od usta cevi za testiranje do lica udarne površine uzorka prsluka treba da iznosi 15 m (50 ft), uz dozvoljenu toleranciju od ± 25 mm ($\pm 1,0$ in). Zadnju stranu prsluka treba postaviti tako da površinom dodiruje jednu površinu plastelina i pričvrstiti elemente sa dve vertikalne i dve horizontalne elastično-lepljive trake, tako da udarna strana prsluka ostane slobodna za ispitivanje.

Ako je prsluk krut i oblikovan da odgovara ljudskom torzu, tako da zadnja strana prsluka ne može da dođe u kontakt sa površinom plastelina, na prednju stranu plastelina treba dodati onoliko gline koliko je potrebno da se postigne odgovarajući oblik i postigne kontakt sa zadnjom površinom prsluka. Plastelin treba da bude kondicioniran u isto vreme i na isti način kao osnovni (glavni) oblik plastelina.

Ovakav sklop postavlja se tako da prednja strana prsluka bude normalna na liniju putanje leta zrna, ispaljuje se jedan test-metak u prsluk i pri tom koristi hronograf za određivanje brzine zrna. Zatim se pregledaju prsluk i plastelin, kako bi se odredilo da li je postignut ispravan pogodak i da li je došlo do penetracije ili cepanja. U slučaju da nije došlo do proboja uzorka prsluka, izmeriti i zabeležiti dubinu otiska u plastelinu, a zatim proveriti da li je u skladu sa zahtevima standarda NIJ 0101.04.

Ukoliko je postignut ispravan pogodak, ponoviti celokupnu ispitnu proceduru

prema sekvencama navedenim u postupku koji je propisan za ispitivanje prsluka tip I, II-A, II, III-A i III, s tim da zrna pogode uzorak pod uglom od 0° i da se ukupno dobije šest ispravnih pogodaka.

Penetracija i karakteristike plastelina pri testiranju specijalnog tipa prsluka

Ako je prsluk u osnovi izrađen od tkanine, koristi se ispitni postupak primenjen za prsluke tip I, II-A, II i III-A. Ukoliko prsluk nije izrađen od tkanine, već je po samoj izradi krut ili čvrst (sadrži metalne ili keramičke ploče) treba koristiti ispitni postupak primenjen za prsluke tip III ili tip IV, što zavisi od konstrukcije prsluka koji se ispituje.

Penetracija i karakteristike plastelina pri testiranju delova prsluka za zaštitu prepona i trtičnog dela

Delove prsluka za zaštitu prepona i trtičnog dela treba gađati sa tri ispravna pogotka pod upadnim uglom od 0° . Deformacija se meri od prvog ispravnog pogotka radi provere ispravnosti pogotka. Nijedan pogodak zrna pri brzinama manjim od minimalno zahtevanih ne sme da probije prsluk.

Označavanje zaštitnih prsluka

Svaki set balistički otpornog prsluka treba da bude jasno i trajno označen (obeležan etiketom) čitljivim slovima, a svaki balistički paket treba da ima jednu etiketu.

Etiketa za balistički paket treba da sadrži sledeće podatke:

– naziv, logotip ili drugu oznaku za identifikaciju proizvođača;

– procenjen nivo zaštite, pozivanje na određeno izdanje standarda (tip II u skladu sa NIJ-STD-0101.04);

– veličinu;
 – broj partije (serije);
 – datum isporuke;
 – model ili oblik koji jedinstveno identifikuje paket radi nabavke (paketi označeni da odgovaraju muškom i ženskom torzu treba da imaju posebne oznake za model-oblik);

– udarna strana ili zadnja strana (površina) odeće, koja treba da bude izložena opasnosti ili da se nosi uz telo mora biti vidno obeležena;

– serijski broj;
 – upustvo za održavanje balističkog materijala u skladu sa 16 CFR 423;

– za prsluk tip I do tipa III-A upozorenje treba da bude najmanje 15 puta veće od veličine ostalih slova na etiketi (izuzev potrebne informacije u „a“) kojom se izjavljuje da prsluk nije namenjen za zaštitu od pušanih zrna;

– potvrda o saglasnosti sa standardom NIJ 0101.04. Prsluci sa balističkim paketima koji se ne uklanjaju moraju, pored etikete za balistički element, da poseduju etiketu na spoljnom plaštu koja je u skladu sa zahtevima za balističke pakete, osim ako je prsluk konstruisan tako da etiketa na balističkom paketu ne bude pokrivena plaštom.

Spoljni plašt sa zamenljivim paketima treba da ima etiketu (jednu ili više) na bilo kojoj spoljašnjoj strani. Ako je plašt iz jednog komada, tako da su svi delovi zajedno prošiveni u jednom komadu odeće, dovoljna je i jedna etiketa sa navedenim zahtevima.

Ako se prednja i zadnja strana plašta mogu razdvojiti, onda se etiketom označava i jedna i druga strana.

Etiketa za spoljni plašt treba da sadrži sledeće informacije:

– ime, logotip ili drugu oznaku proizvođača;

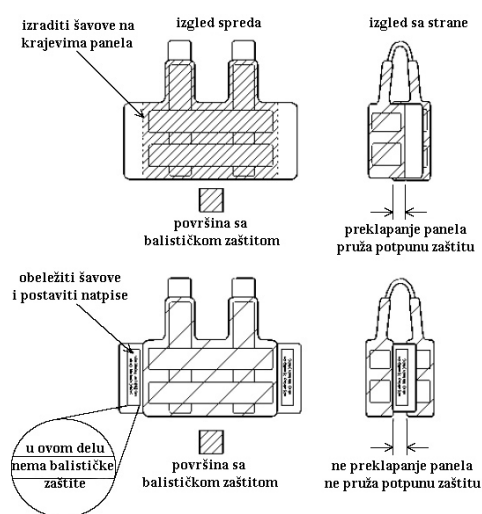
– izjavu kojom se korisniku saopštava da pogleda na balističke pakete da bi se utvrdio nivo zaštite;

– veličinu (ako kupcu odgovara, odobrenje za ime pojedinca za koga je prsluk napravljen);

– datum isporuke;

– model ili oznaku za oblik koji jedinstveno identifikuje paket radi nabavke (prsluk izrađen da odgovara muškom i ženskom torzu mora da ima odvojene oznake za model-oblik);

– vidno istaknute oznake na krajevima prsluka gde se balistički paneli završavaju, obeležavanjem šavova i postavljanjem natpisa „U OVOM DELU NEMA BALISTIČKE ZAŠTITE“, a balistička zaštita se omogućava preklapanjem prsluka na delu koji ne pokriva celokupan torzo (slika 6);



Sl. 6 – Označavanje zaštitnih prsluka

- upustvo za održavanje za plašt prsluka u skladu sa propisom 16 CFR 423;
- certifikat o saglasnosti sa standardom NIJ-0101.04.

Zaključak

Svakodnevna izloženost opasnosti- ma i uslovi primene oružja najrazličitijih vrsta i kalibara, kao i drugi akcidenti od sličnih sredstava, predstavljaju idealno polje za testiranje i utvrđivanje balističke otpornosti zaštitnih prsluka. Da bi se izbeglo testiranje u takvim situacijama, standard NIJ 0101.04 nudi najdetaljnije i najpouzdanije metode za ispitivanje u laboratoriji, omogućujući dobijanje relevantnih podataka o tačnoj balističkoj otpornosti zaštitnih prsluka.

Ujedno, ovaj standard predstavlja svojevrsan vodič za izbor odgovarajućeg tipa zaštitnog balističkog prsluka, ali i kada je potrebno da se u izvesnom stepenu pronade kompromis između balističke zaštite i komfora pri nošenju.

Pre nabavke prsluka treba proučiti Vodič NIJ 100-01 „Selection and Application Guide to Personal Body Armor“, koji opisuje suštinu problematike upotrebe zaštitnih prsluka.

Literatura:

- [1] National Institute of Justice, NIJ Standard–0101.04, Ballistic Resistance of Police Body Armor, 2000.
- [2] National Institute of Justice, NIJ Standard–0101.03, Ballistic Resistance of Police Body Armor, 1987.
- [3] American National Standards Institute, „SAAMI Z299.3–1993: Voluntary Industry Standards for Pressure and Velocity of Centerfire Pistol and Revolver Ammunition for the Use of Commercial Manufacturers,“ 1993.
- [4] U. S. Army Test and Evaluation Command, TOP 2–2–710, Test Operations Procedure, Ballistic Tests of Armor Materials, 1999.
- [5] Department of Defense, MIL–STD–662F, D o D Test Method Standard, V50 Ballistic Test for Armor, 1997.

Sc Goran Prodanović,
kapetan,
Vojnogeografski institut,
Beograd

DEMARKACIJA I OBELEŽAVANJE V GRANIČNOG ODSEKA DRŽAVNE GRANICE IZMEĐU SRBIJE I CRNE GORE I REPUBLIKE MAKEDONIJE

UDC: 528.486 : 341.222(497.1 : 497.7)

Rezime:

U ovom radu govori se o demarkaciji i obeležavanju V graničnog odseka državne granice između Srbije i Crne Gore i Republike Makedonije. Posebno je naglašen tehnički deo, odnosno izvršenje terenskih geodetskih radova čiji su nosioci, sa srpskokrnogorske strane, bili pripadnici Vojnogeografskog instituta.

Ključne reči: državna granica, demarkacija, obeležavanje, GPS premer, kinematika.

DEMARCATIION AND DENOTING OF THE 5th SECTION OF THE BORDER BETWEEN SERBIA AND MONTENEGRO AND REPUBLIC OF MACEDONIA

Summary:

The topic of this text is demarcation and denoting of the 5th section of the border between Serbia and Montenegro and Republic of Macedonia (especially geodetic survey indispensable for these labors), which members Joint Working Group of Serbia and Montenegro from Military Geographic Institute carried out.

Key words: border, demarcation, delimitation, GPS survey, kinematic.

Uvod

Posle Drugog svetskog rata novostvorena Narodna Republika Makedonija egzistirala je kao samostalna republika u okviru jugoslovenske federacije. Granice Narodne Republike Makedonije bile su praktično nasledena državna granica Kraljevine Jugoslavije prema Grčkoj, kao i deo državnih granica Kraljevine Jugoslavije prema Bugarskoj i Albaniji, dok administrativna granična linija prema Narodnoj Republici Srbiji egzistira od 1945. godine. Međutim, već 1946. godine, Vlada Narodne Republike Srbije, nezadovoljna administrativnom granicom, predlagala je njenu ispravku. U pri-

log tome dostavila je Vladi Federativne Narodne Republike Jugoslavije, predlog o izmeni granice sa Makedonijom sa detaljnim opisom protezanja granice. Ovaj dokument urađen je, uglavnom, na osnovu etničkih, a manjim delom i ekonomskih principa.

U isto vreme, i sa makedonske strane je izražena potreba o izmeni granične linije. U dopisu Vladi Federativne Narodne Republike Jugoslavije, od 31. oktobra 1946. godine, Vlada Narodne Republike Makedonije iznosi svoje predloge o izmenama administrativne granice. I pored ova dva predloga, stanje na terenu ostalo je nepromenjeno, a otvorena pitanja nerešena.

Raspadom Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije dolazi do ponovnog aktuelizovanja pitanja granice između Republike Srbije, odnosno Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije. Stav međunarodne zajednice da se poštuje princip o nepovredivosti avnojevskih granica između bivših jugoslovenskih republika bio je presudan i u opisu, demarkaciji i obeležavanju državne granice između Srbije i Crne Gore i Republike Makedonije.

Pregovori o razgraničenju

Na osnovu čl. 2 Sporazuma o regulisanju odnosa i unapređenju saradnje Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, od 8. aprila 1996. godine, formirana je Zajednička diplomatsko-ekspertska komisija, čiji je zadatak bio da pripremi predlog sporazuma u kome će se tekstualno opisati protezanje jugoslovensko-makedonske državne granice, i pripremiti geografske karte na kojima će biti ucrtana zajednička državna granica.

Do oktobra 1998. godine Zajednička diplomatsko-ekspertska komisija sastala se osam puta, ali zadatak komisije nije bio izvršen. Usled ratnih događanja u 1999. godini, Komisija nije održala nijedan sastanak. Na Devetom sastanku Zajedničke diplomatsko-ekspertske komisije, održanom u Skoplju 11. maja 2000. godine, nastavljani su pregovori o razgraničenju dve države, s tim što je tada utvrđena samo dinamika pregovora [2].

Četrnaestim zasedanjem Zajedničke diplomatsko-ekspertske komisije, održanom 14. i 15. februara 2001. godine u Skoplju, rad Zajedničke diplomatsko-ekspertske komisije okončan je uspehom. Na ovom zasedanju, postignut je do-

govor o protezanju i opisu državne granice i usaglašen tekst Ugovora između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije o protezanju i opisu državne granice, koji su u Skoplju, 23. februara 2001. godine, potpisali predsednici dve države, a zatim su ga ratifikovali parlamenti država potpisnica Ugovora. Pomenuti ugovor stupio je na snagu 16. juna 2001. godine, a 16. marta 2001. godine je objavljen, kao dokument Generalne skupštine UN i Savezne bezbednosti. Osim tekstualnog opisa i ucrtane granične linije na topografskim kartama 1:25 000, kao sastavnog dela potpisanog ugovora, ugovorom je predviđeno formiranje zajedničke Mešovite komisije čiji će zadatak biti da na osnovu tekstualnog opisa protezanja državne granice, izvrši demarkaciju i obeležavanje međudržavne granične linije i izradi potrebnu dokumentaciju u dva originalna primerka u kojima će biti opisan način obeležavanja zajedničke granične linije, kao i položaj graničnih belega. Pored pomenutog, u Ugovoru se precizira da, pri obeležavanju državne granice, na mestima gde je opis urađen na osnovu usaglašene dokumentacije, Mešovita komisija koristi podatke sadržane u katastarskim planovima (1:2500 i 1:5000), kao i da uz uzajamnu saglasnost može da napravi nužne i izbalansirane korekcije koje odstupaju od tekstualnog opisa državne granice po dubini ne više od 150 metara.

Aktivnosti Mešovite komisije za demarkaciju i obeležavanje državne granice

Posle formiranja Mešovite komisije za demarkaciju i obeležavanje državne granice između Savezne Republike Jugoslavi-

je i Republike Makedonije, prišlo se izradi akata koji je trebalo da omoguće uspešnu realizaciju zadatka. U prvom redu, donesen je Pravilnik o radu Mešovite komisije, Uputstvo za demarkaciju i obeležavanje državne granice između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, Tehničko uputstvo za izradu granične dokumentacije o državnoj granici između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, a zatim i Uputstvo za rad mešovitih radnih grupa za demarkaciju i obeležavanje te državne granice.

Radi lakše organizacije izvođenja radova i prevazilaženja drugih ograničavajućih faktora, Mešovita komisija izvršila je podelu državne granice na šest približno jednakih graničnih odseka (slika 1). Radove na terenu i izradu granične dokumentacije, kako je predviđeno Uputstvom za demarkaciju i obeležavanje državne granice, izvodila je Mešovita radna grupa, koju je činila jugoslovenska i makedonska strana. Radi podjednakih materijalnih troškova, postignut je i dogovor o podeli radova na obeležavanju, tako da je osnovne radove na graničnim odsecima I, III i V izvodila jugoslovenska strana u prisustvu makedonskog dela i, obratno, osnovne radove na graničnim

odsecima II, IV i VI, izvodila je makedonska strana u prisustvu jugoslovenskog dela Mešovite radne grupe.

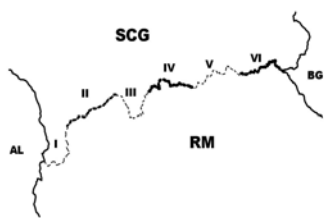
Predviđeno je da se obeležavanje državne granice na terenu obavi graničnim oznakama (tromeđne granične piramide, granični betonski stubovi, granične ploče, granični reperi, granične table i dr.), na sledeći način:

- direktno na graničnoj liniji,
- u paru ili naizmenično, na mestima gde nije moguće izvršiti postavljanje granične oznake na samoj graničnoj liniji.

Postavljanjem graničnih oznaka trebalo je obezbediti da granična linija između prelomnih tačaka bude prava linija i da se sa svake granične oznake vide njoj susedne oznake, osim na vodotokovima, gde je granica definisana maticom vodenog toka pri srednjem vodostaju.

Pri postavljanju graničnih oznaka, radi vidljivosti protezanja granice, pročišćen je pojas od drveća, žbunja i drugog rastinja, po tri metra sa svake strane granične linije, osim na vodenim tokovima gde zbog zaštite obala treba očistiti teren samo u prečniku jedan metar oko granične oznake [4].

Utvrđena su dva tipa graničnih oznaka: glavne granične oznake koje se postavljaju na karakterističnim prelomnim tačkama (promena opšteg pravca protezanja, vodotokovi, presek državne granice sa važnim komunikacijama, i dr.) i pomoćne granične oznake, koje se postavljaju na prelomima granične linije između glavnih graničnih oznaka. Predviđeno je da svaka granična oznaka ima svoj geometrijski centar, koji predstavlja i prelomnu tačku granične linije, svoj podzemni centar i da bude označena inicijalima država i brojem granične ozna-



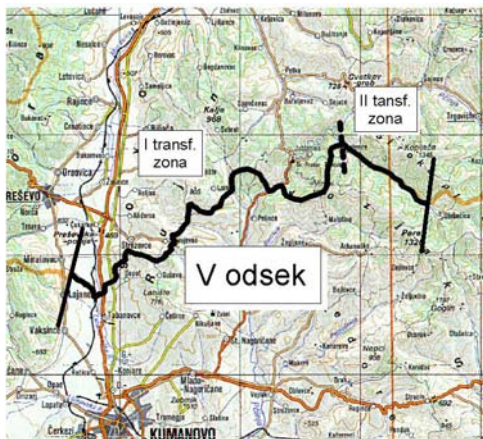
Sl. 1 – Podela državne granice na odseke

ke. Pri obeležavanju granične linije na terenu planirano je da se izvrše geodetska merenja. Potrebna merenja za obeležavanje i naknadni premer graničnih oznaka obaviće se GPS tehnologijom ili klasičnim geodetskim metodama, a položaj graničnih oznaka biće definisan u koordinatnom sistemu ETRS 89 i državnom koordinatnom sistemu (Gaus-Krigerova projekcija, Beselov elipsoid).

Zbog nemogućnosti pristupa naših državnih organa na područje Kosova i Metohije, Mešovita komisija je odlučila da se sa radovima na demarkaciji i obeležavanju otpočne na graničnim odsecima V i VI.

Obeležavanje V graničnog odseka

Granični odsek V (slika 2), proteže se od granične oznake V-1, koja se nalazi u isušenom koritu potoka Rakite, jugoistočno od sela Miratovac, do granične oznake VI-1, koja se nalazi na ušću Kravarskog potoka u Malu reku.



Sl. 2 – V granični odsek državne granice između Srbije i Crne Gore i Republike Makedonije sa transformacionim zonama

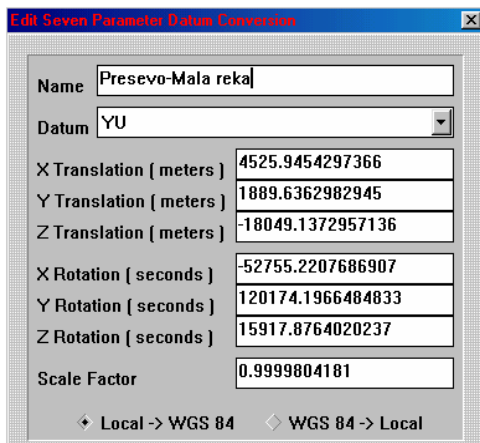
Odlukom Mešovite komisije, radovi na obeležavanju granične linije na V graničnom odseku, započeli su 7. maja 2003. godine, formiranjem Mešovite radne grupe u komandi 57. graničnog bataljona u Preševu. Mešovita radna grupa imala je u svom sastavu: rukovodioca Mešovite radne grupe (oficir geodetske službe Vojske SCG), člana Mešovite radne grupe (geodeta, predstavnik makedonske strane), i potreban broj vojnika za rad.

Bila je opremljena i potrebnim tehničkim sredstvima za izvođenje terenskih geodetskih radova koji su se odvijali u tri faze. To su:

- rekognosciranje terena i određivanje transformacionih parametara,
- stabilizacija prelomnih tačaka granične linije,
- definitivno određivanje položaja prelomnih tačaka granične linije.

Faza 1: neposredno pre početka stabilizacije graničnih oznaka obavljen je obilazak terena radi sagledavanja stanja postojeće geodetske osnove radi planiranja baznih stanica i računanja parametara transformacije.

Sagledavanjem postojećeg stanja geodetske mreže utvrđeno je da uz graničnu liniju postoji dovoljan broj tačaka Srpske referentne mreže (SREF) i tačaka državne trigonometrijske mreže, koje se mogu koristiti za računanje parametara transformacije, kao bazne stanice pri obeležavanju i kasnije pri premeru. Radi dobijanja kvalitetnijih vrednosti parametara transformacije, odsek je podeljen na dve transformacione zone. Prva transformaciona zona (slika 2) obuhvata prostor od Preševa (V-1) do Male reke (V-38), za koji su određeni transformacioni parametri (slika 3).



Sl. 3 – Parametri transformacije (Preševo – Mala reka)

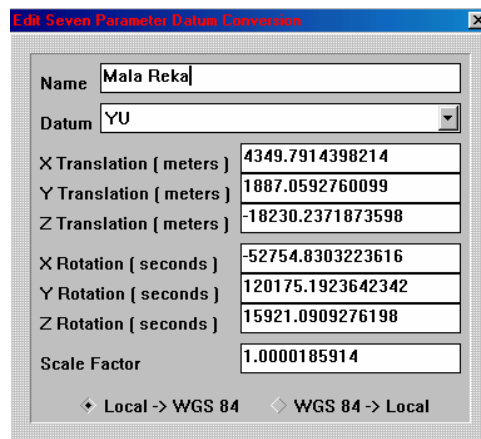
Druga transformaciona zona (slika 2) obuhvata prostor od ulaska granice u Malu reku (V-38) do ušća Kravarskog potoka u Malu reku (VI-1) za koji su, takođe, određeni transformacioni parametri (slika 4).

Faza 2: nakon određivanja transformacionih parametara, a na osnovu projektovanih koordinata prelomnih tačaka granične linije, otpočeli su radovi na obeležavanju. Kao merna oprema korišćeni su dvofrekventni GPS prijemnici tipa Trimble 4400 i Trimble 5800.

Obeležavanje prelomnih tačaka, postupkom navigacije, izvršeno je u odnosu na poznate koordinate tačaka geodetske osnove, GPS merenjima po metodi RTK (Real Time Kinematic), uz prethodno izvršenu proveru horizontalne i vertikalne tačnosti. Na mestima gde nije bilo moguće koristiti GPS tehnologiju, obeležavanje je izvršeno na klasičan način (vlakom), totalnom stanicom Leica TCM 1101. Navedenim metodama obeležavanje su prelomne tačke direktno određene

na terenu. Od ukupno 662 prelomne tačke granične linije (39 glavnih i 623 pomoćne), GPS metodama merenja obeležena je 401 prelomna tačka, klasičnim geodetskim metodama 11, a ostalih 250 prelomnih tačaka određeno je indirektno sa naizmeničnih ili parnih graničnih oznaka. Materijalizovanje direktno i indirektno određenih prelomnih tačaka obavljeno je betonskim oznakama (glavnim i pomoćnim) i jednim graničnim reperom. Na V odseku državne granice između Srbije i Crne Gore i Republike Makedonije ukupno su stabilisane 723 granične oznake, od čega 55 betonskih graničnih oznaka za glavne prelomne tačke, 667 betonskih graničnih oznaka za pomoćne prelomne tačke i jedan granični reper.

Faza 3: po završetku obeležavanja i stabilizacije graničnih oznaka obavljena su geodetska merenja. U tu svrhu korišćeni su GPS prijemnici tipa Trimble 4400, Trimble 5800 i totalna stanica Leica TCM 1101. Merenja GPS prijemnicima obavljena su metodom RTK i brzom statičkom metodom. RTK metodom od-



Sl. 4 – Parametri transformacije (Mala reka)

ređene su koordinate 646 tačaka, pri čemu je, osim provere horizontalne i vertikalne tačnosti, bilo potrebno ispuniti i sledeće uslove:

- vertikalni ugao prijema signala mora biti veći od 15° ,
- geometrijski raspored PDOP < 8,
- izvršena inicijalizacija sa najmanje pet satelita,
- horizontalna tačnost $1 \text{ cm} + 2 \text{ mm/km}$,
- rastojanje između baze i tačke na kojoj se vrši merenje ne sme biti veće od 5 km,
- interval registracije mora biti u granicama od 2 do 5 s,
- ako tokom merenja dođe do prekida prijema signala sa satelita ili radija, merenje se prekida i obavlja se ponovna inicijalizacija.

Brzom statičkom metodom mereno je 66 graničnih oznaka, pri čemu je bilo potrebno ispuniti sledeće uslove:

- vertikalni ugao prijema signala mora biti veći od 15° ,
- geometrijski raspored PDOP < 8,
- merenja obavljati u periodu kada je moguć prijem signala sa najmanje četiri satelita,
- vreme prijema signala traje od 8 do 30 minuta u zavisnosti od broja satelita,
- horizontalna tačnost od $5 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km}$ do $1 \text{ cm} + 2 \text{ mm/km}$.

Transfer podataka GPS merenja, obrada i izravnanje obavljeno je komercijalnim softverom TGO V1.6.

Klasičnim metodom, totalnom stanicom Leica TCM 1101, izmereno je 11 graničnih oznaka. Transfer, obrada podataka i izravnanje obavljeno je komercijalnim softverom Survey Office V 2.21.

Izrada dokumentacije

Neposredno posle terenskih radova pristupilo se izradi granične dokumentacije. Mešovita komisija za demarkaciju i obeležavanje državne granice predvidela je da se za svaku postavljenu graničnu oznaku izradi privremeni zapisnik, koji sadrži sledeće delove:

- broj, datum i mesto postavljene granične oznake,
- opis položaja granične oznake,
- koordinate granične oznake u državnom i ETRS 89 sistemu,
- opis protezanja granične linije od granične oznake do sledeće granične oznake,
- skicu položaja granične oznake,
- potpise ovlašćenih lica koja su postavila graničnu oznaku i odobrila zapisnik.

Izrada privremene dokumentacije je pri kraju, te se u 2006. godini očekuje njeno potpisivanje. Nakon toga, treba da se obavi definitivni premer graničnih oznaka, izrade definitivni zapisnici graničnih oznaka, aerofotosnimanje granične linije i izrada ortofoto-karte.

Zaključak

Demarkacija i obeležavanje granične linije i potpisivanje privremene dokumentacije za V granični odsek predstavlja važan korak u sprovođenju odredbi Ugovora između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije o protezanju i opisu državne granice, posle čega sledi izrada konačnih dokumenata o razgraničenju između dve države. Ove godine očekuje se završetak terenskih geodetskih radova na VI graničnom odse-

ku, a radovi na ostala četiri odseka uslovljeni su raspletom aktuelne političke situacije na Kosovu i Metohiji.

Radovi na demarkaciji i obeležavanju V graničnog odseka državne granice između Srbije i Crne Gore i Republike Makedonije imaju višestruki značaj. Po prvi put izvršeno je razgraničenje između dve države bivše članice Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije. Primenjena GPS tehnologija obeležavanja i premera državne granice je novina. Pouzdanost geodetskih merenja i višestruko skraćanje vremena terenskih geodetskih radova opredeljuje GPS metode kao dominantne, a stečena iskustva su veoma korisna za izvođenje radova razgraničenja sa ostalim susednim državama, biv-

šim članicama Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije.

Literatura:

- [1] Guide to the Trimble Geomatics office Sample Data, Trimble Navigation Limited, Dayton USA, 2001.
- [2] Pavlica, B.: Ugovor između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije o protezanju i opisu državne granice, Tokovi istorije 1-2/2004, Beograd, 2004.
- [3] Ugovor između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije o protezanju i opisu državne granice, Arhiva Ministarstva spoljnih poslova – Služba za granice.
- [4] Uputstvo za demarkaciju i obeležavanje državne granice između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, Arhiva Ministarstva spoljnih poslova – Služba za granice.
- [5] Uputstvo za rad Mešovitih radnih grupa za demarkaciju i obeležavanje državne granice između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, Arhiva Ministarstva spoljnih poslova – Služba za granice.
- [6] Tehničko uputstvo za izradu granične dokumentacije o državnoj granici između Savezne Republike Jugoslavije i Republike Makedonije, Arhiva Ministarstva spoljnih poslova – Služba za granice.
- [7] Uredba o primeni tehnologije globalnog pozicionog sistema u okviru premera nepokretnosti, Službeni glasnik Republike Srbije br. 69/02, Beograd, 2002.



savremeno naoružanje i vojna oprema

MOBILNI TOPOVSKI SISTEM CT-CV 105 mm*

Otkako je 2004. godine obelodanjen topovski sistem CT-CV 105 mm nastavlja svoj razvoj i u fazi je serijskih vatre-nih ispitivanja. Kompanija CMI Defence, koja je razvila sistem, u ovom poslu ima poslovnu saradnju sa američkom kompanijom US/Textran.

Sistem CT-CV sastoji se od kupole za dvočlanu posadu u koju je ugrađen novi top Cockerill 105 mm CV. Dva člana posade smeštena su sa obe strane topa, komandir s leve, a nišandžija s desne strane. Oba člana posade snabdevena su dvoosnim, nezavisno stabilizovanim nišanima SAGEM, od kojih svaki ima dvostruko vidno polje dnevnog i toplotnog kanala, i laserskim daljinomerom bezbednim za oči.

Komandirski nišan je panoramski i ima mogućnost uvlačenja u kupolu pri transportu radi smanjenja ukupne visine vozila. Svaki član posade ima ravan kolor display za dnevno i noćno osmatranje koji su s nišanima povezani elektronskim linkom.

Nišandžija je obezbeđen i teleskopskim nišanom za gađanje iz topa u povratnom režimu dejstva. Inače, osmatranje ispod kupole je potpuno elektronsko, izuzev sa par periskopa postavljenih na poklopcima posade.

Oba člana posade mogu da upravljaju vatrom topa 105 mm i koaksijalnog mitraljeza 7,62 mm ili 12,7 mm. Svaki može da otvara vatru i iz daljinski upravljanih mitraljeza 7,62 mm ili 12,7 mm, koji su montirani izvan kupole, ispred ili iza poklopca komandira.

Top i koaksijalni mitraljez pokreću se po elevaciji, a kupola kružno, pomoću elektromehaničkog pogona s ručnim potpomaganjem.

Top se puni automatski iz skidajućih magazina koji sadrže po 16 zrna u standardnoj konfiguraciji ili 12 zrna u lakšoj izvedbi koja zadovoljava uslove transporta vazduhoplovima. Magazin je odvojen od posade posebnom pregradom, ali može da se puni u vozilu i izvan vozila.

U automatskom režimu top može da ispali 6 do 8 zrna u minuti, u zavisnosti od elevacije. Elevacija iznosi do 42°, uz opciju do 55° koja omogućava gađanje ciljeva izvan vidne linije.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.



Topovski sistem CT-CV na vozilu Pirana III H

Kupola CT-CV ima strukturu varenog aluminijumskog oklopa koja u osnovnom obliku obezbeđuje balističku zaštitu, poput one na lakim oklopnim vozilima, a njena masa iznosi oko 4000 kg. Zaštita kupole može da se poveća dodatnim oklopom do Nivoa 5 (STANAG), koji je efikasan protiv pancirnih topovskih projektila 25 mm APDS (Armour Piercing Discarding Sabot), ali joj se masa u tom slučaju povećava na 5500 kg.

Top CV 105 mm može da koristi svu standardnu NATO municiju 105 mm, ali, kako je izrađen od najnovijih čelika čvrstoće 1300 Mpa, on može da izdrži pritiske u komori i do 20% veće od standardnih tenkovskih topova 105 mm. To omogućava korišćenje znatno snažnije pancirne municije i, posebno, M1060CV APFSDS zrna, koje je specijalno za ovaj top razvila firma Macar SA. To zrno sadrži penetrator velike tvrdoće od legure volframa, kojem je odnos dužina/prečnik 29:1, a početna brzina 1620 m/s.

Ovo zrno probija čelični oklop debeo više od 560 mm sa udaljenosti 2000 m, što ga čini uporedivim s topovima prve generacije kalibra 120 mm.

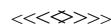
Efikasnost gasne kočnice iznosi 70%, što uz trzanje od 580 mm, znatno

smanjuje oscilacije vozila, iako mu je ukupna masa samo 17 500 kg.

U fazi demonstracije sistem CT-CV je bio ugrađen na vozilo Pirana III H. Demonstracija je uključivala statičku vatru na stabilne ciljeve udaljene preko 150 m, kao i ciljeve koji se kreću brzinom 35 km/h.

Prema rezultatima ispitivanja, sa sistemom CT-CV postiže se tehnološka pouzdanost za Nivo 7, što znači da je veoma blizu ili već u stanju za operativnu primenu.

M. K.



NOVO AUTONOMNO PRECIZNO ORUŽJE*

Na najmanje četiri nova precizna oružja, koja su uvedena, ili treba da se uvedu u upotrebu u periodu od 2004. do 2006. godine, može se konstatovati različit pristup dejstva po utvrđenim i pokretnim ciljevima.

U SAD je težište dato na dve oblasti. Jedna je dalja eksploatacija osnovne tehnologije preciznog vođenja municije JDAM (Joint Direct Attack Munition), koja kombinuje jednostavnu inercionu mernu jedinicu (IMU) sa prijemnikom sistema globalnog pozicioniranja (GPS), i novog manjeg oružja, koji omogućavaju da avion nosi više bombi uz limitirane kolateralne štete. To manje oružje je podešeno i za stelnne platforme, kakve su lovci JSF i bespilotne letelice. Druga oblast je kombinovanje JDAM tehnologije sa drugim sensorima, što omogućava uništenje i pokretnih ciljeva.

U narednim godinama vazduhoplovne snage SAD nameravaju da lansiraju razvoj sistema za konačno navode-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

nje na pokretni cilj. Istovremeno, povećava se efikasnost osnovnog oružja tipa JDAM. Bez preteranog naglašavanja razvija se i uvodi sistem koji znatno povećava preciznost po celokupnom vojištu, uz minimalni udar i na oružje i na operatora. Mnogi od tih projekata sigurno vode ka poboljšanju mogućnosti avionskih senzora da otkriju, klasifikuju i identifikuju ciljeve na velikim rastojanjima i obezbede oružje podacima potrebnim za ostvarenje veoma pouzdanog dejstva. Takođe, poboljšani, precizniji nišanski kontejneri i radari AESA (Active Elektronically Scanned Array) pokazali su da mogu generisati GPS koordinate cilja u realnom vremenu, omogućavajući lovačkim avionima da aktiviraju višestruko oružje klase JDAM u najpovoljnijoj prilici.

Međutim, izvan SAD neke zemlje razvijaju oružje koje može da ostvari preciznost, autonomiju i ekonomičnost sličnu JDAM-u i bez oslanjanja na američku GPS mrežu.

Drugi programi, kakav je britanski MBDA/Boeing Brimstone, usmereni su na pokretne ciljeve.

Bombe malog prečnika

Boingovu bombu malog prečnika GBU-39/B američko vazduhoplovstvo planira da uvede u upotrebu septembra 2006. godine. Operativna ispitivanja započeta su u novembru 2005. godine, a njihov završetak je planiran do sredine 2006. godine.

Prvi avioni koji će se naoružati ovim bombama biće F-15E. U završnim razvojnim ispitivanjima Boing je lansirao 37 bombi po fiksnim ciljevima. Od toga je 35 bilo uspešno sa prosečnim odstupa-

njem od 1,1 m od čvrste tačke cilja. Ključno ispitivanje bilo je lansiranje četiri bombe na četiri odvojena cilja sa udaljenosti od 37 km. Oružje je demonstriralo svoj domet sa letom dužine 88 km na visini od 9144 m (30 000 ft), pogodivši 85 cm od cilja. Pri ispitivanju s GPS ometanjem bomba je letela 56 km i prizemljila se na 2 m od naznačene tačke udara, koristeći svoju inercionu mernu jedinicu (IMU) i ugrađenu logiku za sprečavanje ometanja.

Tajna preciznosti bombi malog prečnika SDB (Small Diameter Bomb) jeste u infrastrukturi za podršku tačnosti ASI (Accuracy Support Infrastructure), koju je razvila i podržava firma SRI International. Zasnovana na tehnološkim programima iz devedesetih godina, ona sadrži zemaljske stanice koje otkrivaju greške u GPS i šalju signale za korekciju.

ASI stanice mogu biti locirane na udaljenosti do 2400 km, omogućavajući tako pokrivanje celokupne neutralne ili savezničke teritorije. Poboljšanje tačnosti primenjivo je za bilo koje GPS oružje sa korektnim prijemnikom.

Krajem ove dekade očekuje se da SDB bombe budu isporučivane s jedinicom za integralno vođenje i navigaciju DIGNU (Deeply Integrated Guidance and Navigation Unit) koja će imati mikroelektromehaničke sisteme (MEMS) inercionog referentnog izvora i prijemnik GPS, koji bi trebalo da bude jeftiniji i tri do četiri puta otporniji na ometanje od današnjih integralnih sistema.

Za razliku od JDAM, koji se isporučuje korisnicima kao komplet koji se objedinjava s izabranom bojnomo glavom na bojištu, SDB se isporučuje kao gotovo zrno s pojedinačnom višenamenskom

bojnom glavom, opremljenom reprogramirajućim upaljačem koji se postavlja ili za eksplozivne ili fragmentacione efekte.

Razvoj SDB bombi podeljen je u dve etape. U prvoj etapi (Increment I) sadašnjem oružju omogućava se visoka preciznost i obezbeđuje korekcija koordinata za fiksne ciljeve, a u drugoj (Increment II) predviđa se mogućnost preciznog gađanja pokretnih ciljeva. Za takav projekat, pod oznakom GBU-40/B, kompanija Lockheed Martin obezbediće tragač izrađen na bazi tehnologije za rakete opšte namene.

Trorežimski tragač sadrži: poluaktivni laser za precizni udar i ograničenu kolateralnu štetu (IIR); senzor za dejstvo tipa, „opali i zaboravi“ i za zaštitu od ometanja; radar milimetarskog talasnog opsega radi upotrebe po lošem vremenu i u uslovima zadimljenja. GBU-40/B će imati i link koji će omogućiti da raketa stalno dobija ažurne podatke o lokaciji pokretnog cilja.

Razvoj rakete Brimston

Brimston (Brimstone – „paklena vatra“) razvija se od novembra 1996. godine. Ona je često (pogrešno) smatrana modifikovanom verzijom rakete Hellfire, ali je u suštini veoma različita. Ima veći i jači trup, autonomni tragač (94 GHz) i novu tandem-protivoklopnu bojnu glavu. Projekat britanskog vazduhoplovstva omogućava da najmanje 6 raketa autonomno gađa odvojene ciljeve, bez bojazni da će nekoliko raketa gađati isti cilj. U dejstvu na kolone svaka raketa je programirana da napadne različiti cilj u koloni – prvi hitac za prvi cilj, sledeći za drugi, itd.

Za negrupisane ciljeve rakete koriste „zonsku logiku“, po kojoj je svakoj raketi dodeljena primarna i sekundarna zona za pretraživanje, u okviru ukupne zone koju pokriva plotun.

Raketom može da se gađa direktno preko displeja i opreme aviona ili koristeći informacije o cilju sa drugih avioplatformi ili osmatrača na zemlji. Može da se lansira izvan vizuelnog dometa cilja ili izvan linije nišanja. Na primer, Brimston može da se lansira na vrlo malim visinama i da zadrži fiksnu visinu iznad terena na putu do cilja.

Mada je raketa projektovana za lansiranje izvan linije nišanja, kolateralne štete su limitirane veličinom bojne glave – koja ima mnogo manji radijus eksplozije nego SDB – i činjenicom da je oružje programirano da napada samo sa definisanom zonom. Ako raketa preleti zonu bez opažanja cilja, ona neće tražiti cilj već će doći do samouništenja dolaženjem definisane daljine. Tragač je projektovan tako da razlikuje namenske raketne ciljeve, poput tenkova, oklopnih transportera i srodnih vozila, kao i komercijalnih vozila.

Kada bude operativan u martu 2006. godine, Brimston će se koristiti na engleskim avionima Harrier GR-9 i GR-4, a predviđa se i njegova integracija u avion Eurofajter, kao i nemačke borbene avione.

Bombe Spice

Izrael i Francuska uvode novo precizno ili gotovo precizno oružje, koje je u izvesnoj meri nezavisno od GPS. Trenutno operativno za izraelsko vazduhoplovstvo, komplet Spice (Smart precise impact and

cost-effective) namenjen je da popuni prazninu dometa i mogućnosti između laserski vođenih bombi i JDAM (koje Izrael kupuje) i znatno skupljih krstarećih raketa. Verzija od 900 kg, koja se sada koristi, ima domet od preko 60 km pri subsoničnom lansiranju sa visine 12 800 m (42 000 ft). Bomba Spice od 450 kg, sa sklapajućim krilima velikog raspona, ima znatno veći domet, a planirano je da bude operativna do sredine 2006. godine.

Komplet za vođenje sadrži prednji (nosni) senzor, repne stabilizatore i komplet fiksnih ili sklapajućih (za bombe od 450 kg) krila. Za vođenje s automatskom akvizicijom cilja Spice koristi elektrooptički senzor u nosnom delu.

Ključni element Spice bombe je desktop namenski sistem (MPS) koji koristi avionske ili satelitske snimke (komercijalni satelitski snimci rezolucije 1 m su idealni) i transformiše ih u referentne snimke za sistem vođenja. MPS može da koristi pet punjenja istovremeno za preko 100 zadataka, tako da svako oružje na avionu može da bude lansirano protiv brojnih različitih ciljeva s više različitih lansirnih tačaka. Pilot jednostavno na komandnoj tabli selektira namenski broj za izbor cilja i ugao napada, i simbolično, prema gornjem displeju, usmerava se na odgovarajući okvir za napad. Oružje je tipa „opali i zaboravi“ i pilot nema potrebe da locira cilj. Avion može aktivirati višestruko oružje pojedinačnom komandom, ako su ciljevi široko odvojeni, a MPS može proračunati opšte uslove po kojima će svako oružje dostići svoj cilj. Sve dok je avion u odgovarajućem okviru, koji može da bude prostor od nekoliko kvadratnih kilometara, pilot je slobodan da manevriše u relativno širokim granicama.

Nakon lansiranja sa aviona oružje koristi GPS inerciono vođenje. Oko 17 km od cilja tragač počinje da osmatra cilj. Ako cilj nije vidljiv sistem će skenirati zonu od 3 km oko prethodno viđenog ugla, korigujući greške za bilo koju lokaciju cilja u GPS inercionom sistemu.

Prema kompaniji Rafael, sistem automatske akvizicije cilja ATA (Automatic Target Acquisition) zahvata cilj za dve sekunde. Sistem je relativno neosetljiv na sezonske promene i otkriće lokaciju cilja uspešno, čak i pri 50% zatamnjenosti slike.

U stvari, ATA sistemu nije potrebna slika cilja da bi ostvario pogodak. Referentna scena može da se zasniva na starijoj slici koja ne sadrži cilj, ali daje korektno njegovu lokaciju u okviru scene, što je dovoljno da ga Spice pogodi. U svojoj krajnjoj fazi oružje može da manevriše kako bi ostvarilo optimalni ugao napada pre konačnog pikiranja na cilj pod uglom od 75°. Po parametrima tačnosti navodi se da moguća cirkularna greška iznosi 3 m, a da je realno ostvarena 2 m.

Sledeće oružje sa šablonskim sistemom vođenja je AASM (Armement Air-Sol Modulaire), primarno precizno vođeno oružje za avion Rafale. Sa masom od 340 kg, AASM kombinuje standardno telo bombe – ili Mk82 ili 250 kg tešku verziju bombe BANG (Bombe Aeronavale de Nouvelle Generation) – sa repnim kompletom koji sadrži male raketne pojačivače i rasklapajuća krila, i prednju nosnu sekciju sa upravljivim kanard-krilcima. Prednja sekcija sadrži GPS/inercioni sistem vođenja ili GPS/inercioni sistem plus IC tragač metričke tačnosti.

IC tragač može da se programira pre lansiranja sa šablonom cilja, izvedenim

iz izviđačkih snimaka, obično sa satelita. To čini AASM manje osjetljivim na GPS ometanje.

Avion Rafale nosi maksimalno 6 AASM. Sa raketnim pojačivačima ovo oružje ima maksimalni domet 50 km kada se lansira sa velikih visina i 15 km pri lansiranju sa malih visina. Naznačeni dometi su na bazi vertikalnog udara pri brzini od 260 m/s, ili oko 0,9 Maha.

Kinematika oružja omogućava istovremeno aktiviranje svih 6 oružja radi ostvarenja opšteg udara na šest različitih tačaka. Potpune mogućnosti AASM-a treba očekivati na avionu Rafale, kada bude potpuno operativan u septembru 2006. godine. Ovaj sistem je ponuđen i Indiji za avione Su-30MKI, a moguće i za MiG-29.

Budući koncepti bombi, koje bi se uvodile u upotrebu krajem ove dekade ili posle 2010. godine, u fazi su proučavanja u SAD. Među njima su i najveće i najmanje bombe.

Radi se na oružju mase 13,6 t, dužine 6 m, koje sadrži 2,7 t eksplozivnog punjenja, za koje se očekuje da će probiti 60 m ojačanog betona. Prevozilo bi se avionima B-2 ili B-52.

Takođe, u SAD se ubrzano radi na veoma maloj municiji VSM (Very Small Munition), namenjenoj, uglavnom, za blisku borbu, posebno u urbanim sredinama.

Ova sredstva se u vazduhoplovstvu definišu kao oružje od 18 do 25 kg, koja imaju mali raketni motor na čvrsto gorivo, GPS inerciono vođenje, dvosmerni datalink i poluaktivni laserski tragač. Uz raketne potiskivače ovo oružje bi moglo da postigne domete oko 20 km kada se lansira sa visine od 4572 m (15 000 ft) i da pogo-

di cilj u vazdušnom prostoru za 90 sekundi posle lansiranja. VSM oružje trebalo bi da se nosi na devetodelnom lanseru čija ukupna masa nije veća od 570 kg. Avioni velikih doleta, poput A-10, mogli bi da nose 36 do 54 ovakvih oružja, a planira se i opcija sa avionima C-130.

M. K.

<<<<>>>>

KONCEPT ZA UPRAVLJANJE VATRENOM PODRŠKOM*

Nemački Bundeswer započeo je kreiranje združenih timova za vatrenu podršku JFST (Joint Fires Support Teams) koji bi upravljali dejstvima na budućim ratištima. To bi trebalo da bude deo transformacije nemačkih oružanih snaga u skladu sa iskustvima savezničkih partnera i uvođenja novih mogućnosti u združenoj vatrenoj podršci.

Konceptualni okvir obuhvata primenu efekata korišćenja indirektno vatre, elektronske borbe, armijske avijacije, mornaričkih i vazduhoplovnih sredstava. U toj nameri Bundeswer sada ispituje kombinovanje mogućnosti isturenih artiljerijskih osmatrača, kontrolora minobacačke vatre, mornaričkog osmatrača i isturenog vazduhoplovnog kontrolora, sve na jednoj platformi, koja bi bila u stanju da koordinira i upravlja svim indirektnim efektima na bojištu.

Prema sadašnjim nabavkama sredstava za Bundeswer, početno težište je na kombinovanju efekata dejstva zemlja-zemlja i vazduh-zemlja, i to putem uspostavljanja punkta na dva specijalizovana gusenična transportera Puma. U lakim for-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

macijama, četvoročlana posada JFST trebalo bi da bude podjeljena na dva manja izviđačka vozila Fennek.



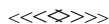
Oklopno izviđačko vozilo Fenek

Puma treba da nosi VHF sredstva veze za koordinaciju sa podržanim manevarskim jedinicama, terminal artiljerijskog komandnog informacionog sistema Adler, taktički satelitski HF, radio-uređaj za povezivanje u mrežu komande vazduhoplovnih snaga i UHF/VHF radio-uređaj za komunikacije tipa zemlja-vazduh. Vozilo bi moglo da nosi i dopunske radio-stanice za korišćenje u slučaju dejstava izvan vozila.

Vozila Fenek trebalo bi da se opreme u jednom slučaju sredstvima veze zemlja-zemlja, a u drugom dodatnim radio-sredstvima za komunikaciju tipa zemlja-vazduh i vazduhoplovne veze C2/TARN.

Opremajući ih za JFST ulogu, zamišljeno je da vozila Fenek imaju i laserski obeleživač cilja, kombinovani dnevno-noćni nišan, kao i na jarbolu montirani elektrooptički senzor sa dnevnim, IC i toplotnim mogućnostima pretraživanja, kao i laserski pokazivač i daljinomer.

M. K.



NOVI ODBRAMBENI SISTEM THOR*

Izraelska kompanija za razvoj naoružanja Rafael obelodanila je sistem Thor, novu varijantu daljinski upravljane oružne stanice 7,62/12,7 mm Mini-Samson, kojim se obezbeđuje neutralisanje udaljenih improvizovanih eksplozivnih naprava (IEN).

Sistem Thor kombinuje vazdušno-hlađeni laser visoke energije sa automatskim mitraljezom 7,62/12,7 mm.

Sistem Thor razvijan je proteklih nekoliko godina, a prvi put je prikazan na izložbi AUSA na Floridi februara 2006. godine. Sistemom se obezbeđuju i ofanzivne i defanzivne potrebe, kao i bezbedno uklanjanje udaljenih eksplozivnih prepreka laserski usmerenom energijom ili projektilima s kinetičkom energijom.

Thor neutrališe IEN i eksplozivnu municiju ili mine, pogađajući i paleći njihovo eksplozivno jezgro, prouzrokujući time slabu detonaciju ili naglo izgaranje (deflagraciju).



Sistem Thor s laserom velike energije i mitraljezom 12,7 mm na stabilizovanom daljinski upravljanoj postolju

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. februar 2006.

Ukupna masa spoljnog postolja, sa mitraljezom 12,7 mm, municijskom kutijom i usmerivačem laserskog snopa je 250 kg, dok je ukupna masa sistema Thor oko 600 kg.

Thor se napaja kompletnom baterija napona 24 V, koje se pune regularnim generatorom na vozilu, a obezbeđuju izlaznu snagu od 70 W i 700 W.

Sistem je opremljen IC bolometarskom dvojnomo kamerom i laserskim daljinomerom u kombinaciji s usmerivačem snopa. Može se podesiti na bilo koji elektrooptički, akustički ili borbeni sistem upravljanja.

Sistemi Mini-Samson imaju modularnu, automatsku („plug-and play“) konfiguraciju koja im omogućava da se prilagode različitim oružjima i kombinacijama oružja.

Njihovo glavno oružje mogu da budu mitraljezi 12,7 mm M2HB, 7,62 mm, šestocevni mitraljezi 7,62 mm GAU-17 i lanseri granata 40 mm Mk19.

Sekundarno oružje, uključujući višenamenski raketni lanser s dva projektila Spike LR i sistem Thor, montirani su desno od glavnog naoružanja.

Izraelsko ministarstvo odbrane (IDF) poručilo je 150 sistema Mini-Samson radi opremanja svojih brojnih platformi, uključujući vozila za premošćavanje, teška borbeno vozila pešadije, oklopne transportere i dr.

Mini-Samson je isproban i na tri srednja oklopna vozila Stryker 8×8 i teškom oklopnom transporteru Nemer, izrađenom na bazi šasije rekonfigurisanog tenka Merkava Mk1.

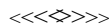
IDF je poručilo sisteme Mini-Samson i za brojne granične stacionarne oružne sta-

nice, kojima se upravlja pomoću optičkog kabla, i za osam vozila bez posade.

Kompanija Rafael zaključila je ugovore i za isporuku 100 sistema Mini-Samson mornarici SAD za potrebe specijalnih operacija, od kojih je 25 sistema već isporučeno.

U fazi ispitivanja je varijanta Samson RCWS-30, u čiji sistem je ugrađen top 30 mm.

M. K.



ARTILJERIJSKI UPALJAČI S KOREKCIJOM KURSA*

Do sada ni jedan od artiljerijskih upaljača s korekcijom kursa CCF (course-correcting fuze) nije doživeo borbeno primenu, uprkos dvadesetak godina eksperimentisanja sa njima. Ipak, uz pomoć razvoja novih sistema vođenja, upaljači CCF ponovo postaju prirodni dodatak stabilizovanim starim i novim artiljerijskim projektilima.

CCF je zamenljivo, potencijalno jednostavno i jeftino sredstvo za poboljšanje preciznosti nagomilanih konvencionalnih (jeftinih) visokoeksplozivnih granata. Savremena oruđa su u stanju da ispaljuju te granate na veća rastojanja, ali ne i bez proporcionalnog povećanja disperzije pogodaka na cilju. Takvi upaljači su isplativ dodatak za skuplju municiju sa senzorskim upaljačima, obezbeđujući da se municija izbacila na pravo mesto u vazдушnom prostoru, odakle će submunicija sa svojim tragačima biti najefikasnija.

U razmatranju su različite konfiguracije, uključujući: korekciju dometa

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, april 2006.

(1D), korekciju dometa i odstupanja (2D) i tipove jednostavnijih registracija, pri čemu svi zadržavaju poboljšanu preciznost. Pomoću njih treba da se postignu veći uništavajući efekti, smanji kolateralna šteta, smanji utrošak municije i njihove zalihe na bojištu. Naravno, ukoliko se traži veća preciznost potrebna je i veća kompleksnost, pa i cena. Procene su da je cena ulaganja po jednom hicu od 1000 do 3000 USD.

GPS tehnologija

Početni koncepti za primenu GPS (Global Positioning System) tehnologije u artiljeriji postavljeni su u SAD krajem osamdesetih godina prošlog veka, u prvom redu za izradu zrna za autoregistraciju. To je uključivalo postojanje GPS predajnika u nosu projektila potrebnog za izmenu podataka o položaju u toku leta sa odgovarajućim računarskim sistemom ili oruđem.

Trenutna putanja projektila može da bude ucrtana i upoređena sa predviđenom putanjom, omogućavajući tako da se izvrše meteo-korekcije za proračunske putanje svih kasnije ispaljivanih projektila. Ključna razlika između te i konvencionalnih registracionih tehnika sa stan-



*Francuski upaljač sa korekcijom dometa
SPACIDO*

dardnim zrnima i udarnim upaljačima bila je što zrna s autoregistracijom ne zahtevaju osmatranje radi prikupljanja meteoroloških podataka. Zbog toga se mogu koristiti jednako uspešno noću ili po lošem vremenu.

Američka armijska istraživačka laboratorija (ARL) 1990. godine je započela trogodišnji razvoj takvog autoregistracionog sistema. On je obuhvatio ugradnju u upaljač GPS predajnika, zemaljsku stanicu za vatrenu platformu i algoritme radi izdvajanja nestandardnih balističkih uslova za upoređivanje putanja zrna. Dva takva zrna ispaljenja su na rastojanje od 6,2 km (punjenje 3000 g maksimalno, brzina 227 m/s), sa signalima sa predajnika koji su uspešno primani na zemaljskoj stanici tokom cele putanje.

Komplementarni algoritmi razvijeni su za određivanje ne samo pozicije i brzine projektila u letu korišćenjem GPS podataka, već i za izdvajanje meteoroloških podataka potrebnih za upoređivanje korišćenjem konvencionalnih numeričkih tehnika i neuronskih mreža. Posle 1992. godine istraživačka laboratorija razvija razne tehnologije za autonomne GPS vođene projekte za dalekometne artiljerijske sisteme, lokacione upaljače, borbenu identifikaciju i razne instrumente za opisivanje putanja.

Pri ispitivanju se pokazalo da registracioni upaljači nude 75% mogućnosti da se obezbedi pad zrna u krugu 200 m od cilja na dometu 30 km (polovina od normalno očekivanog rastojanja za standardne projekte), u krugu radijusa 100 m kada se koristi korekcionni upaljač konfiguracije 1D, i radijus 15 do 50 m sa korekcionim upaljačem konfiguracije 2D, na istom dometu.

Autoregistracioni upaljač

Prema programu tehnologije LCCM (Low-Cost Competent Munitions), koji je vodio američki razvojni istraživački centar ARDEC, autoregistracioni upaljači sa analognim predajnikom svedeni su u standardne dimenzije upaljača. Između 1994. i 1997. godine isprobali su devet takvih upaljača, od kojih je šest bilo uspešnih. Maksimalni vatreni domet bio je 12 km (punjenje 6, brzina 465 m/s), a autoregistracione korekcije trajale su manje od 10 minuta. Kasnije su proizvedeni i predajnici s P/Y kodom za projekte M107 i M549A1 radi demonstracije automatske GPS registracije u realnom vremenu.



Tri koncepta upaljača iz američkog programa LCCM

Krajem devedesetih godina investiralo se u razvoj vođenih projektila velikog dometa XM982 (Excalibur), čija je sekcija za vođenje bila mnogo povoljnija.

U Velikoj Britaniji je 1999. godine formiran zajednički industrijski tim STAR radi razvoja tzv. artiljerijskog zrna s pametnom putanjom STAR (Smart Trajectory Artillery Round) koje je bilo, u stvari, korekcionni upaljač konfiguracije 1D.

Konačno, modul za korekciju dometa sa GPS prijemnikom i kočionim hardverom tim STAR je uklopio u projektile M549 i uspešno isprobao sa punjenjem Zona 8S (14 000 g).

Studije izvodljivosti

Na prelomu dekade Francuska je učinila dve studije izvodljivosti različitih koncepata upaljača CCF sa zajedničkom konfiguracijom kočione jedinice. Prva se odnosila na sistem 1D za korekciju dometa, zasnovanom na GPS-u i nazvana je SAMPRASS. To nije bio autonomni sistem po kojem bi GPS podatak primljen na upaljaču bio prosleđen na zemaljski procesor, na ili blizu oruđa, koji bi zatim dao signal upaljaču da razvije svoje kočnice na odgovarajućoj tački putanje projektila. Drugi projekat, poznat kao SPACIDO, nije bio s GPS rešenjem, već sa zemaljskim Doplerovim radarom kakav je RDB4 na samohodnoj haubici francuske armije AUF1 TA.

Ovaj pristup bio je ocenjen kao jeftiniji, iako manje precizan od koncepta zasnovanog na upaljačima s GPS korekcijom dometa. Ipak, u 2002. godini je odlučeno da se napusti projekat SAMPRASS u korist projekta SPACIDO, koji treba da se koristi za poboljšanje preciznosti postojećih artiljerijskih sistema 105 mm i 155 mm (vučnih i samohodnih) i do četiri puta.

U Nemačkoj se nastavlja sa radom na smanjenju rizika njihovih korekcionnih upaljača konfiguracije 1D, pod oznakom TCF (Trajectory Correction Fuze), čija je osnova blizinski upaljač Junghans DM 74/84 sa programirajućom visinom eksplozije (između 4 m i 15 m).

Za ratovanje u urbanim sredinama njegov sklop za osiguranje i armiranje zaštićen je od udara, a tajmer ima povećanu funkciju zadržavanja (15 ms), što omogućava da projektil probije betonske plafone ili podove pre eksplozije.

Cilj razvoja upaljača TCF je da se dostigne verovatnoća kružne greške manja od 50 m, iako se veruje da će postojeći algoritam omogućiti da zrno padne 25 m od cilja ili 40 m u uslovima GPS ometanja. Ugovori s nemačkom vladom omogućili su firmi Junghans da nastavi rad na smanjenju sklopa za osiguranje i armiranje, koristeći tehnologije mikroelektromehaničkog sistema (MEMS) i poboljšanjem karakteristika protivelektronske zaštite blizinskog senzora. Pun razvoj ovog sistema očekuje se u 2007. godini.

Izrael sada ima dve kompanije koje konkurišu za razvoj upaljača sa korekcijom kursa. Prva je IAI MLM Division, sa svojim sistemom CFAS (Compact Fire Adjustment System), koji je započet kao projekat autoregistracionog upaljača. On je evoluirao u upaljač konfiguracije 2D koji sadrži GPS/INS modul (inerciononavigacioni sistem) sa četiri kanard-krilca, i ima strogo zacrtani cilj da ostvari verovatnu kružnu grešku na cilju od 20 m i manje.

Međutim, CFAS se razvija etapno, tako da Spirala 1, koja je sada u fazi demonstracije, ima za cilj dostizanje kružne greške od 40 m. Spirala 2 može se očekivati nakon 18 do 30 meseci. Početne verzije treba da se testiraju na artiljerijskim oruđima 155 mm, a pojedinačna cena se procenjuje na nekoliko hiljada dolara.

Drugi izraelski predstavnik je CTAP (Corrected Trajectory Artillery Projectile). To je, u stvari, korekcionni upaljač 2D, pre nego projektil, mada je jedna od njegovih planiranih operacija da se koristi sa novim projektilom 155 mm, dometa do 40 km. Studija izvodljivosti CTAP započeta je 2004. godine i danas su u toku razvoji podсистema za vođenje, proračune, inerciono merenje i GPS prijemnik. U toku je i razvoj algoritama za upravljanje i navigaciju za CTAP-ov sistem, vođenja sa sedam stepeni slobode, koji će biti ugrađen u upaljač. Ovaj upaljač imaće mogućnosti tačkaste detonacije, kao i blizinske i tempirne funkcije. Prva vatrena ispitivanja treba očekivati za dve godine, a zacrtani cilj za verovatnoću kružnog odstupanja je manje od 30 m.

Smanjenje cene upaljača CCF

Armija SAD izašla je sa sopstvenim programom za ublažavanje rizika ulaganja u svoj komplet za precizno vođenje XM1156 PGP (Precision Guidance Kit). Smatra se da će već u 2009. godini ovaj komplet biti u mogućnosti da ostvari kružnu grešku manju od 50 m.

Ključni katalizator u razvoju CCF treba da bude pojava malih paketa GPS koji mogu da izdrže lansiranje iz artiljerijskog oruđa. Sadašnji razvoj obezbeđuje smeštaj ostale elektronike u upaljač.

Za program PGP predviđen je etapni razvoj prema kojem bi tehnička demonstracija bila 2007. godine, a početna proizvodnja za upotrebu (Increment I) u 2008. godini. Postavljeni zahtevi su da je kružno odstupanje manje od 50 m i maksimalno zalaženje u telo projektila 124,7 mm. Kada budu operativni u

2011. godini (Increment II), kružno odstupanje treba da bude manje od 30 m, a zalaženje u projektil 56,1 mm (sa bustrom). Za Increment III, čija će proizvodnja početi 2012. godine, cilj je da kružno odstupanje bude 10 m. Udarno ograničenje kod Increment I i II ustanovljeno je na 15000 g, a kod Increment III treba da bude 20 000 g.

U ponudi su i varijante upaljača s konfiguracijom 1D i 2D, ali je armija zainteresovana prvenstveno za 2D korektor kursa.

Neoficijelna procena pojedinačne proizvodne cene kreće se od 1500 do 3000 USD, zavisno od tehničkih performansi, cene GPS i količine upaljača u proizvodnji.

Interni programi

Jedan od vodećih učesnika u programu PGP je kompanija BAE Systems-North America, koja od 2001. godine razvija sopstveni projekat CCF. Osnova projekta je upaljač M782 MOFA, koji je prilagođen da prihvati tri aerodinamička korekciona mehanizma upravljanja ugrađenim GPS prijemnikom. Isto kao i 1D sistemi, CCF se ispaljuje tako da njegov nekorigovani deo putanje bude tačno iznad cilja. Početna korekcija ostvaruje se pomoću nonijusa kočnica za čeonu otpor, a korekcija dometa aktiviranjem četvero-krilne obrtne kočnice (sprečava nastavak okretanja projektila udesno). Za konačnu korekciju dometa razvijaju se glavne dvokrilne kočnice za čeonu otpor.

Prema informacijama iz kompanije BAE Systems, njihov pristup je jeftiniji od 2D rešenja, jer ne zahteva ni inercionu mernu jedinicu ni aktuator. U 2005.



Korekcionni upaljač kompanije BAE Systems

godini isprobano je 110 upaljača na oruđima NLOS-C i haubici Paladin, kako bi se verifikovale mogućnosti CCF za stabilnost u letu i aerodinamičku korekciju. Testovi su kulminirali sredinom iste godine kada je ispitano upravljanje kompletom opreme s GPS prijemnikom, upaljačkom elektronikom, prostorom za elektroniku upaljača, upravljačkim aktuatorima, obrtnim kočnicama, i sve to u specifičnoj zapremini upaljača. Tri inertna projektila M795 ispaljena su na poligonu Jyma, ostvarivši kružno odstupanje od 20 m.

M. K.



ARTILJERIJSKI RADAR FIREFINDER*

Kompanija Thales Raytheon Systems (TRS) razvija napredne tehnologije za poboljšanje svojih radara za lokaciju oružja AN/TPQ-36 i AN/TPQ-37 Firefinder (ot-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

krivač vatre), s namerom da im se poveća rok upotrebe i znatno smanji cena životnog ciklusa.

Smatra se da će se pouzdanost, merena srednjim vremenom između otkaza, poboljšati za oko 300%.

Srednji domet radara AN/TPQ-36 biće poboljšan korišćenjem najsavremenije elektronike koja se koristi na poboljšanom radaru AN/TPQ-64 Sentinel. Na poboljšanim radarima AN/TPQ-36 i AN/TPQ-37 biće 80% zajedničkih delova, što će znatno uticati na ekonomičnost u logistici korisnika.

Poboljšanja na AN/TPQ-37, uz znatno povećanje pouzdanosti, poboljšavaju i održavanje i performanse koje se izvode iz modularnog predajnika. Programom poboljšanja zamenjuju se postojeći predajnici s hlađenjem tečnošću novim sistemima sa hlađenjem vazduhom, čime se obezbeđuje jednostavnije održavanje i umerenije izobličenje slike.

Kompanija TRS isporučila je dosad više od 340 ovih radara armiji SAD, Mornaričkom korpusu ili izvezla u druge zemlje. Oba tipa koristila su se u operaciji „Pustinjska oluja“ 1991. godine i u nastavku operacija u Iraku nakon operacije „Sloboda Iraku“.

M. K.



POBOLJŠANI ČEŠKI BVP-2*

Češka armija je u procesu nabavke 100 borbenih vozila pešadije BVP-2 (domaća oznaka za ruske BMP-2) sa kom-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

pletno modernizovanom (poboljšanom) opremom za noćno osmatranje. Nišani komandira i nišandžije su rekonstruisani, a ugrađen je nov uređaj za noćno osmatranje vozača.

Prema ugovoru vrednom 10 miliona USD, isporučilac opreme Meopta-optika se obavezao da će isporuku završiti do kraja 2006. godine.

U standardnim nišanima nišandžije BPK-2-42 i komandira TKN-3P zamenjeni su aktivni IC kanali pasivnim pojačivačem slike. Razvoj i provođenje implementacije vodila je firma Meopta-optika koja je pojačivače slike uvezla od firme Photonis-Dep iz Holandije. Originalni nišani na BVP-2 zahtevali su dodatno aktivno IC ozračenje cilja-terena, koje je davalo snažan IC odraz za noćno osmatranje do 500 m. Koristeći pojačivač slike, mogućnosti pasivnog osmatranja noću se poboljšavaju i daljina osmatranja cilja veličine vozila povećava se do 5000 m i više.

Ugradnjom modifikovanih nišana smanjuje se IC odraz vozila za nekoliko puta, a uz povećani domet osmatranja za posadu, slika je boljeg kvaliteta i stvara potpuno vidno polje.

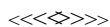
Noćni kanal modifikovanog dnevnog-noćnog uređaja za osmatranje komandira TKN-3BP ima uvećanje slike 3,75 puta, vidno polje 10,5° i efikasnu daljinu osmatranja najmanje 600 m. Povećanje 4,75 puta i vidno polje od 9° za dnevni kanal ostali su nepromenjeni. Noćni kanal kombinovanog nišana BPK-3 ima uvećanje 5,5 puta, vidno polje 6,5°, a efikasnu daljinu osmatranja najmanje 1000 m. Dnevni kanal je zadržao povećanje 6 puta i vidno polje od 10°.

Oba modifikovana nišana imaju iste spoljne dimenzije i oblik kao originalni uređaji, a njihova ugradnja ne zahteva modifikacije na vozilu.

U okviru ove modernizacije ugrađuje se novi uređaj za noćno osmatranje vozača DND-5, čiji sklop ima masu 6,5 kg. Njegov dnevni kanal ima jedinstveno povećanje sa vidnim poljem 80°x27°, dok noćni kanal ima vidno polje 45°x25° i, takođe, jedinstveno povećanje. Njegov efikasni domet pri vedroj noći (5×10^{-3} lux) iznosi oko 150 m.

Može da se koristi i kao pasivni uređaj ili, sa odgovarajućim IC uređajem, kao pomoćni uređaj za osmatranje pri ekstremno lošim uslovima, kada nema opasnosti od protivničkog osmatranja.

M. K.



MODERNIZACIJA OKLOPNIH BORBENIH VOZILA TURSKE*

Mada je Turska dugo imala najveću armiju u NATO, njene kopnene snage nikad nisu imale dovoljno sredstava za nabavku novih borbenih sistema u dovoljnoj količini. Umesto toga, one su se uvek oslanjale na modernizaciju postojećih oklopnih borbenih vozila. Nedavno su, ipak, razvijena dva nova vozila na osnovu viškova šasija M48T5 i uvedena u proizvodnju u fabrikama u Kayseri. To su oklopno vozilo za održavanje i oklopno vozilo inženjerije.

Prethodna modernizacija tenkova M48, koja je vršena uz pomoć SAD, započela je još 1983. godine, kada je više

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

od 2000 tenkova M48 dovedeno do standarda M48A5T1/M48A5T2, od kojih su svi bili naoružani topom 105 mm.

Sledeća modernizacija bazirana je na paketu koji je razvila kompanija Krauss-Maffei Wegmann i gotovo je identična konfiguraciji M48A2GA2 nemačke armije. Fabrika u Kayseri kompletirala je 165 sredstava pod oznakom M48T5. U sklopu mnogih poboljšanja ugrađen je novi top 105 mm i dizel pogonski komplet MTU MB837 Ea-500.

Oklopno vozilo za održavanje M48 ARV i inženjerijsko vozilo M48 AEV imaju niži oklop od tenka M48T5 i opremljeni su novim potpuno zavarenim oklopom. Odeljenje za posadu nalazi se u prednjem delu s leve strane, a sa desne strane je ugrađena pokretna kran-dizalica.

Vozilo za održavanje i izvlačenje M48 ARV ima borbenu masu 51 t i opremljeno je hidraulički upravljanim čekrkom kapaciteta 70 t i pomoćnim čekrkom kapaciteta 2 t. Oba čekrka smeštena su na prednjem delu vozila. Kran-dizalica može da se obrće za 270° a njen maksimalni kapacitet podizanja iznosi 20 t.

S prednje strane ugrađen je hidraulični dozer koji može da iskopa 270 m³ zemlje na sat. Uz to, dozer se može koristiti kao stabilizator pri izvlačenju teških vozila ili kada se koristi kran-dizalica.

Komplet pogonske grupe smešten je u zadnjem delu oklopnog tela, kao i specijalni alat i oprema (uključujući i komplet za zavarivanje) potrebni za izvođenje remontnih radova na bojištu.

Naoružanje vozila čini mitraljez 7,62 mm ili teški mitraljez 12,7 mm. Inženjerijsko vozilo M48 AEV veoma je slično modelu ARV i ima ista dva čekr-

ka, prednji dozer i kran-dizalicu, ali i izvlačeću konzolu koja može brzo da se opremi različitim dodacima neophodnim za izvođenje inženjerskih zadataka. Kran se obrće za 195° i kao takav može da podiže samo 7 t tereta. U dodatke spada i bagerska kašika koja može brzo da se zameni bušačem rupa u zemlji.

Model AEV opremljen je i prednjim dozerom za čišćenje prepreka i pripremu vatrenih položaja, a može da se koristi i kao stabilizator kada se upotrebljavaju čekrci ili kran-dizalica. Modifikacijama podležu i brojni oklopni transporteri M113 koje poseduju turske kopnene snage. Mnogi od njih su modernizovani u fabrici Kayseri do konfiguracije M113A2T2 s dizel motorom 202,4 kW (275 KS) i automatskom transmisijom Allison TX-100-1.

Uz osnovne modele oklopnih transportera razvijene su i brojne specijalizovane verzije M113A2T2. To su verzije za PVO: jedna opremljena kupolom M55 naoružanom sa četiri mitraljeza 12,7 mm M2, a druga raketnim sistemom PVO. Ova poslednja varijanta ima četiri raketna sistema Stinger (princip „opali i zaboravi“) koji su u poziciji spremnoj za lansiranje. Nedavno su razvijena i dva nova prototipa verzije M113A2T2 i to kao inženjersko ESAV (Engineering Squad Armoured Vehicle) i sanitetsko AAV (Armoured Ambulance Vehicle).

Oklopni transporter M113 ima klupe sa obe bočne strane i vojnici su okrenuti jedan prema drugom. Vozilo ESAV je redizajnirano i iznutra i spolja. Vojnici sada sede u sredini zadnjeg odeljenja za vojnike okrenuti prema spoljnoj strani, a prostor za stvari im je ispod sedišta. Za smeš-

taj specijalne inženjerske opreme postoje niše i boksovi u vozilu i sa spoljne strane.

Vozilo ESAV ima posadu od maksimalno 10 ljudi, uključujući komandira, vozača i odeljenje inženjera, a kupola mu je naoružana mitraljezom 12,7 mm.

Sanitetsko vozilo opremljeno je za smeštaj dva pacijenta na nosilima, sedištima za osoblje i ranjenike, kao i specijalnom sanitetskom opremom. Ovaj model je bez oružja, osim kutije sa osam električno upravljanih lansera dimnih granata, koja se nalazi na prednjem delu oklopa.

Svi modernizovani oklopni transporteri M113A2T2 su amfibijski i pokreću se na vodi pomoću gusenica. Pre ulaska u vodu električnim putem se aktiviraju pumpe za izbacivanje vode i tala-sobran.

M. K.



RAZVOJ NOVOG IZVIĐAČKOG VOZILA U KANADI*

Kanadska armija razvija novo izviđačko vozilo kojim bi se popunila praznina između vozila tipa Mercedes Benz G i lakog oklopnog vozila Coyote (LAV-Recce).

Radovi na lakom oklopnom izviđačkom vozilu LARV ili „mini kojotu“ su u toku, a planira se za operativnu upotrebu u periodu 2010–11. godina. Projekat još nije finansijski pokriven, ali, s obzirom na iskustva iz Avganistana i želje da se pojačaju mogućnosti lakih snaga, armija će mu dati visok prioritet.

Vozilo Kojot je veliko za osmatračke i izviđačke zadatke, kakvi su izviđanje

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

maršruta, vojni konvoji i sl. Vozilo ima četvoročlanu posadu, izrađeno je na bazi šasije vozila LAV-25 8x8 i opremljeno je jarbolom visine 10 m. Na jarbolu su montirani Talesov prenosni osmatrački i akvizicijski radar (MSTAR), dnevno-noćna kamera, laserski daljinomer i napred usmerena IC kamera (FLIR). Neka vozila Kojot opremljena su i senzorima koji su ugrađeni na tronošcu, a namenjeni su za izvođenje operacija izvan vozila.

Vozilo LARV će, takođe imati jarbol, ali verovatno kraći, sa elektrooptičkim senzorima i drugačijim dometom, i neće se opremiti radarom MSTAR, što će biti velika razlika, jer on omogućava veći domet.

Uz IC kameru FLIR, dnevnu kameru i laserski daljinomer, moguća je ugradnja i obeleživača cilja. Nova upravna stanica operatora na bazi personalnog računara, koja se razvija za vozilo Kojot, verovatno će biti na vozilu LARV. Vozilo će imati tročlanu posadu (maksimalno četvoročlanu) sa zajedničkom stanicom koja obezbeđuje svakom članu pristup svakom podsistemu.

Očigledno je da se ne može upravljati vozilom s mesta nišandžije ali, kako se ističe, nema razloga da vozač u vanrednim situacijama ne može da opali iz topa sa svog mesta. Upravo to je intencija u projektu vozila Kojot.

Takođe, gorivna ćelija na vozilu LARV povećaće mogućnosti bešumnog rada na položaju. Armija želi i ugradnju hibridnog električnog pogona, koji je manje bučan i povećava domet i vreme rada na položaju.

TRENAŽNI HELIKOPTER TH-1H*

Prva 24 trenažna helikoptera TH-1H za potrebe američkog vazduhoplovstva, koji su modernizovana verzija prethodnih helikoptera UH-1H „Huey“, isporučena su Vazduhoplovnom centru za obuku i trenaž na helikopterima u Fort Rucker, Ozarku u Alabami. Preostali ovakvi helikopteri namenjeni za trenaž planiraju se za narednu godinu.

Helikopter TH-1H startuje s već isprobanim helikopterom Bell UH-1H, poznatim pod nazivom „Huey“. Primarni elemenat poboljšanja bio je Belov komplet koji sadrži snažniji motor od 1343 kW (1800 KS), uz 212 komponenta dinamike leta, nos i repni deo.

Poboljšanja kokpita i namenske opreme sadrže promene, od analognog do digitalnog kokpita, sigurnosna sedišta i potpuno novu elektronsku instalaciju. Ove promene pretvoriće trofejnu letelicu u savremenu, kompatibilnu sa budućim operativnim vazduhoplovnim sredstvima.

Nosilac programa modernizacije je kompanija Lockheed Martin Integrated System (LMIS), koja je odgovorna za sisteme integracije i programsko upravljanje, a kompanija US Helicopter obavlja završne radove modifikacije i probne letove u svojim objektima u Ozarku u Alabami.

U ovu modernizaciju uključene su i službe za projektovanje i menadžment kompanije TCS, Bell Helicopter, Mc Turbina Inc., Astronautics Corp of America i Simula.

M. K.

<<<<>>>>

M. K.

<<<<>>>>

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

KULMINACIJA U RAZVOJU MiG-35*

MiG-35 je nova oznaka za lovački avion, prikazan na avio-izložbi MAKS-2005 u Moskvi. Ovaj avion ranije je bio poznat kao projekat MiG-29M za verziju sa jednim sedištem i MiG-29M2 sa dva sedišta. Rusija je započela promociju aviona u Indiji u februaru 2005. godine za tamošnje pilote, zvaničnike i novinare.

Upoređujući ga s avionima MiG-29, koji se koriste u Indiji od 1986. godine, novi MiG-35 imaće za 50% veći dolet i nosiće dvostruko veću masu oružja na osam (umesto 6) fiksnih mesta ispod krila. Opcija naoružanja za MiG-35 uključivaće raketne srednjeg dometa vazduh-vazduh RVV-AE (R-77), kao i vođeno oružje vazduh-površina, poput supersoničnih Kh-31 i subsoničnih Kh-35U raketa i vođenih bombi. Nijedno od tih oružja nije pogodno za bazne verzije MiG-29.

Zahvaljujući novim uslovima održavanja trupa, dužem vremenskom intervalu između generalnog remonta motora i opreme, operativna upotreba aviona biće jeftinija. Cena životnog ciklusa MiG-35 trebalo bi da bude upola manja od MiG-29.

Usavršena verzija MiG-29 nije nova ideja, tako da i oznaka MiG-35 nije sasvim nova. MiG-29M je prikazan 1994. godine na avio-izložbi Farnborough kao MiG-33. Međutim, tada nije pobudio veće interesovanje. U sledećim serijskim projektima (oznake MiG29M1 do M3) konstruktori su planirali mogućnost nošenja veće količine goriva, duži trup aviona i veća krila. Planiran je, takođe, i novi sistem za upravljanje vatrom, modernizovani motor i mogućnost popune gorivom u toku leta. Poslednja serija bio je projekat 35 koji je pod imenom

MiG-35 finaliziran kao lovac na kome je zadržan trup aviona MiG-29M2, sa novom avionikom i oružjem i motorima sa promenljivim vektorom potiska.

Uporedni podaci za MiG-29 i MiG-35

	MiG-29	MiG-35
Poletna masa, nominalna (kg)	15 600	17 500
Poletna masa, maksimalna (kg)	18 480	23 500
Maksimalna brzina (km/h)	2400	2100
Maksimalna brzina na nivou mora (km/h)	1500	1500
Maksimalni dolet sa svojim gorivom (km)	1430	2000
Maksimalni dolet sa dopunskim gorivom (km)	2100	3000
Potisk motora (kN)	2x81,4	2x88,3
Punjenje za naoružanje (kg)	2000	4500
Oružje vazduh-vazduh	R-27, R-73	RVV-AE, R-73 i noviji
Oružje vazduh-površina	nema	Kh-31, Kh-35, KAB-500 i noviji
Motor	RD-33 serije 2	RD-33MK
Maksimalni potisak (kN)	81,4	88,3
Specifična potrošnja goriva g/Nh	205-209	209
Maksimalni suvi potisak kN	49,4	53,0
Specifična potrošnja goriva g/Nh	79	79
Protok vazduha kg/s	77	82
Ulazna temperatura turbine °K	1680	1720
Masa praznog motora kg	1055	1145
Vreme između generalnih remonta h	350-700	1000
Projektovani rok upotrebe h	1200-1400	4000
Radari	N019	Zhuk-A
Za oružje vazduh-vazduh:		
Zona pokrivanja		
- po azimutu	+/-67°	+/-70°
- po elevaciji	+60°/-38	+90°/-50°
Dometa pretraživanja za ciljeve veličine lovca		
- čeonim km	70	200
- repnim km	35	80
Broj istovremeno praćenih ciljeva	10	30
Broj istovremeno napadnutih ciljeva	1	8
Za oružje vazduh-površina:		
Dometa pretraživanja za velike brodove km	-	300
Rezolucija/rastojanje mapiranja m/km	-	30/60
Broj istovremeno uništavanih ciljeva	-	2
Frekvencija	X-opseg	X-opseg
Srednja snaga kW	1,0	1,5
Masa kg	350	285

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, januar 2006.

I jednosedi i dvosedi MiG-35 imaju isti trup s istim dvostrukim krovom. Međutim, prostor ispod krova koristiće se različito. Kod jednosede verzije zadnje sedište će biti zamenjeno dodatnim rezervoarom za više od 600 litara goriva.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA AVIONSKIH MOTORA AL-31F*

Ruska državna kompanija Rosoboronoeksport je u novembru 2005. godine potpisala ugovor o isporuci 180 turbomlaznih motora AL-31F Kini, prema ugovoru vrednom 550 miliona USD. Ti motori biće ugrađivani u dve partije borbenih aviona Su-27K/UBK isporučenih Kini 1992. i 1996. godine, kao zamena za originalne motore AL-31F koji su imali vek upotrebe samo 900 časova rada.

Kompanija MMPP Saljut (Moskovskoye Mashinostroitelnoe Proizvodstvennoye Predpriyatiye „Solyut“) nadležna je za snabdevanje i modernizaciju ovih motora i njihovu isporuku preko agencije Rosoboronoeksport.

Motori iz prve faze modernizacije, koji nose oznaku AL-31F-M1 ili proizvod 99M1, dobili su novi četvorostepeni kompresor niskog pritiska KND-924-4, čiji je prečnik povećan sa 905 na 924 mm. Motor je dobio i novu digitalnu upravljačku jedinicu KRD-99C.

Poboljšanjem efikasnosti kompresora omogućeno je povećanje potiska motora i duži vek upotrebe. Potisak se može povećati za 9,8 kN, tako da se Su-27 sa

dva motora 99M1 ubrzava za 15% brže nego sa standardnim motorima.

Alternativno, smanjenje unutrašnje temperature i brzine rotacije kompresora daje isti potisak, ali vek upotrebe je znatno duži.

Eksperimentalni Su-27 No. 37-11, opremljeni motorima modernizovanim do standarda 99M1-009, ispitivani su od januara 2002. do sredine decembra 2005. godine, a posle državnih testova, koji treba da se završe u prvom kvartalu 2006. godine, biće spremni za serijsku proizvodnju pod oznakom AL-31F-M1.

Uparedni podaci za motore AL-31F i poboljšani AL-31F-M1

Motor	AL-31F	AL-31F-M1
Režim povećanog potiska sa dodatnim sagorevanjem:		
– potisak	–	132,4 kN
– temperatura u turbini	–	1690 K
– protok vazduha	–	119 kg/s
– specifična potrošnja goriva	–	200 g/Nh
Režim maksimalnog potiska sa dodatnim sagorevanjem:		
– potisak	122,6 kN	122,6 kN
– temperatura u turbini	1665 K	1630 K
– protok vazduha	113 kg/s	114 kg/s
– specifična potrošnja goriva	200 g/Nh	201 g/Nh
Režim povećanog potiska bez dodatnog sagorevanja:		
– potisak	–	80,9 kN
– specifična potrošnja goriva	–	78 g/Nh
Režim maksimalnog potiska bez dodatnog sagorevanja:		
– potisak	75,2 kN	75,2 kN
– specifična potrošnja goriva	79 g/Nh	78 g/Nh
– međuremontni rok	500 h	1000 h
– vek upotrebe	1500 h	4000 h
– masa motora (suvog)	1547 kg	1547 kg
– dužina	4990 mm	4990 mm
– maksimalni prečnik	1280 mm	1280 mm

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

U januaru 2006. godine započeta je druga faza modernizacije motora koji je nosio oznaku AL-31F-M2 (99M2) i kasnije preimenovan u AL-31F-SM (99SM).

Na motoru 99SM su, u odnosu na motor 99M1, uvedene dve promene: ugrađeni su novi diskovi turbine i preoblikovane lopatice kompresora. Kao rezultat, maksimalni potisak motora 99SM s promenljivim plamenikom biće 137,3 kN. Pri ugradnji u avion, motori 99M1 i 99SM su međusobno zamenjivi sadašnjim motorima 99V. Svi motori 99V mogu se modernizovati do standarda 99M1 ili 99SM putem izmene modula na redovnom remontu.

Kompanija Saljut najavila je ispitivanje motora iz treće faze AL-31F-M3 (99M3) koji koriste nove kompresore niskog pritiska KND-924-3, nove komore za sagorevanje i nove lopatice kompresora. Novi trostepeni kompresor KND-924-3 sa širokim lopaticama proizvodi se tzv. „blisk“ tehnologijom (lopatica plus disk). Potisak motora 99M3 biće 147,1 kN.



Eksperimentalni Su-27 s motorima AL-31F-M1

Uporedni pregled kompresora niskog pritiska za poboljšane motore AL-31F

	Osnovna verzija	KND-924-4	KND-924-3
Broj stepeni	4	4	3
Prečnik	905 mm	924 mm	924 mm
Stepen kompresije	3,55	3,68	4,2

Nove verzije jurišnih aviona Su-27, višenamenskih lovačkih aviona Su-34 i Su-35 zahtevaju motore s većim potiskom. Motor AL-35F sa potiskom od 132,4 kN razvija se za te avione pre nekoliko godina, ali nikad nije ušao u proizvodnju. Sada za ugradnju u te avione mogu konkurisati motori AL-31F-M1 (99M1) i motor AL-41F1 (117S) koji je razvila kompanija NPO Saturn, takođe kao poboljšanu verziju motora AL-31F.

M. K.

<<<◇>>>

SNAJPERSKA PUŠKA 12,7 mm TOR*

Poljski Mehanički zavod Tarnow (ZM Tarnow) isporučio je Ministarstvu odbrane Poljske početnu proizvodnu partiju novih pušaka 12,7 mm Tor (Thorium) radi izvršenja završnih prijemnih testova.

Posle testiranja, ako bude uspešno, završiće se razvojna faza i omogućiti da novo oružje dobiju jedinice, što će trasirati put za početak pune proizvodnje krajem ove godine.

ZM Tarnow očekuje da sa Ministarstvom odbrane u prvom kvartalu 2006. godine potpiše ugovor o isporuci do kraja godine određene količine ovih pušaka za potrebe jedinica kopnene vojske i specijalnih snaga.



Nova poljska puška 12,7 mm Tor

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

Puška Tor je varijanta puške WKW (Wielkokalibrowy Karabin Wyborowy) Wilk („vuk“) koju je razvila istraživačka i razvojna kompanija OBRSM iz Tarnowa.

Puška WKW Wilk predstavljena je maja 2002. godine, a njena proizvodnja je ustupljena ZM Tarnow.

Tor je veoma ekonomična puška klase bul-pap za municiju 12,7x99 mm (0,50 Browning). Masa puške u borbenoj konfiguraciji je 16,7 kg, uključujući i optički nišan mase 1,75 kg.

Sada se puška Tor nudi s optičkim nišanom Schmidt & Bender 4-16x50, ali mogu da se koriste i drugi proizvodi, uključujući i elektrooptičke tipove. Radi povećanja tačnosti, puška ima podešavajući dvonožac i zadnji jednodelni oslonac.

Cev, dužine 880 mm, proizvedena je savremenom tehnologijom i ima gasnu kočnicu koja smanjuje trzanje do nivoa očekivanog za municiju 7,62x51 mm. Magacin puške Tor ima kapacitet za 7 metaka.

Prema snajperistima iz elitne jedinice specijalnih snaga Grom, koji su sprovodili terenska ispitivanja, puška Tor ima izvanredne karakteristike i potpuno je kompatibilna s drugim sličnim oružjima. Grom je za sada jedina poljska jedinica naoružana puškama kalibra 12,7 mm FN Herstal Hecate II, mada u ograničenom broju.

Ministarstvo odbrane Poljske moglo bi da nabavi oko 250 do 270 pušaka Tor za potrebe svojih 10 lakih bataljona, uz dodatne zahteve za potrebe specijalnih snaga.

Zavod iz Tarnowa već je primio neke zahteve od inostranih kupaca da im se dostave informacije o mogućnostima ove puške i uslovima prodaje.

M. K.

<<<<◇>>>>

BACAČI GRANATA ASM*

Britansko ministarstvo odbrane odredilo je kompaniju Dynamit Nobel Dynamics za glavnog snabdevača britanske armije budućom razornom municijom ASM (Anti-Structures Munition).



Oružje ASM na bazi lansera Pzf 90

ASM je oružje za jednokratnu upotrebu (jednim hicem) izrađeno na bazi lansera Pzf 90, koji se koristi za singapursko protivtenkovsko oružje dvostruke namene MATADOR (Manportable Anti-Tank, Anti DoOR). Pzf 90 ima lanser prečnika 90 mm, dužinu manju od 1 m, a sa svojom ASM konfiguracijom ima masu ispod 10 kg. Kvalifikovan je za dejstva iz ograničenog prostora (minimalno 15 m³) i ima lansirnu brzinu oko 250 m/s, kojom se omogućava domet do 500 m.

Bojna glava za ASM (proizvodi kompanija Rafael) biće promenljive izrade, ali prilagođena za urbane borbe, što uključuje neki oblik povećanog efekta eksplozije.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

Ističe se da bojna glava ima mogućnosti rušenja svih struktura u urbanim sredinama, što je bio glavni cilj i provera u fazi razvoja.

ASM je predviđen za uvođenje u upotrebu u 2008. godini, a isporuke će vršiti fabrika Dynamit Nobel u Nemačkoj, zajedno sa bojnomo glavom koju će proizvoditi kompanija Rafael iz Izraela.

M. K.

<<<◇>>>

NOĆNI NIŠANI NS-685C*

Grčka armija je kompaniji Theon Sensors SA (Koropi, Grčka) dostavila zahtev za nabavku 2320 noćnih nišana NS-685C, kojima će se kompletirati isto toliko licencno proizvedenih mitraljeza 5,56 mm FN Minimi.

Nišan NS-685C koristi najnoviji pojačivač slike 18 mm Gen 3 ANVIS koji napaja par baterija 1,5 V, veličine AA. Dužina nišana je 299 mm, a uvećanje je šestostruko. Njegov nosač Elcan Gen IV obezbeđuje direktnu ugradnju na oružje MIL-STD-1913, i omogućava precizno podešavanje po elevaciji i azimutu, kao i zadržavanje položaja nišanske linije i u surovim borbenim uslovima. Specifičnost nišana je svetleća crvena balistička končanica, naneta preko okulara, koja može lako da se zameni na bojištu bez specijalnog alata.

Noćni nišan NS-685C je deo familije noćnih nišana za naoružanje koje je razvila kompanija Theon Sensors, među kojima je i model NS-467C sa četvorostrukim uvećanjem.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.



Noćni nišan NS-685C

Ovi nišani su pogodni za ugradnju na širokom asortimanu oružja i imaju visok stepen zajedničkih elemenata. Masa nišana NS-467 iznosi 1,3 kg, a nišana NS-685C 1,4 kg.

M. K.

<<<◇>>>

TAKTIČKA PUŠKA TACTICAL ELITE*

Austrijska kompanija Steyr Mannlicher jedna je od najstarijih svetski poznatih fabrika vatrenog oružja. Kompanija je sredinom devedesetih godina prošlog veka bila partner kompaniji Jeff Cooper u proizvodnji izviđačke puške Scout Rifle na osnovu koncepta univerzalne puške Cooper, koja je mogla da se koristi skoro za sve potrebe, od lova do zaštite. Prioritetno tržište za ovu pušku bile su SAD, ali i mnoge druge zemlje.

Puška je izrađena od savremenih materijala primenom tehnologije koja će biti aktuelna i narednih desetak godina. Pošto originalna verzija puške Scout Rifle nije bila predviđena da se

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

koristi kao precizna taktička puška, kompanija Steyr je posle nekoliko godina pokrenula proizvodnju prave taktičke verzije na bazi puške Scout. Tako je nastala elitna taktička puška Tactical Elite, ili jednostavno Elite.

U stvari, Tactical Elite i Scout su dve verzije iste osnovne puške. Suština puške Elite je u zatvaračkom sistemu SBS (Safe Bolt System), unikatnom dejstvu zatvarača koje olakšava bezbedno rukovanje, ukoliko se strelac pridržava uputstava. Obrtni sigurnosti prekidač smešten je na suženju kundaka, neposredno nadohvat strelčevog palca, koji omogućava tri položaja: fire (vatra), load (punjenje) i safe (osigurana). U položaju load (srednji položaj), koji je označen belom tačkom, okidač je zakočen, ali se zatvaračem može manipulirati. U položaju safe zatvarač je blokiran. Da bi se deblokirao zatvarač i udarna igla, ovaj prekidač potrebno je potisnuti nadole i obrnuti u položaj fire.

Zatvarački sistem SBS je lak za upotrebu, nenametljiv i blagih linija i, po nekima, to je sistem sa najsvestranijim mogućnostima rukovanja zatvaračem. Okidač je dvostepeni i optimalan je za preciznu taktičku vatra.

Kao i kod originalne puške Scout Rifle, kundak puške Elite izrađen je od polimera pojačane strukture koja je otporna na temperaturne promene i uslove okoline. Ali, uočljive su i neke nove osobnosti. Kao prvo, to je prilagodljivi oslonac za lice koji se podešava po visini. Obloženi kundak se, takođe, može podešavati po dužini i visini.



Puška Tactical Elite sa optičkim nišanom na integralnom dvonožcu

Ugrađeni dvonožac, koji se, kada je otvoren, može okretati oko osovini-ce, nije podesiv po visini. U sklopljenom položaju potpuno se uklapa u profil puške i teško je uočljiv bez posebnog zagledanja. Dok je kundak polimerni, uvodnik aluminijumski, sama puška može biti bilo koje boje, ali je za današnje shvatanje najprihvatljivija tamnozeleno ili bronzano boja, što zavisi od izbora kupca. Uvodnik nije naglašen i njegov cevasti deo potpuno opkoljava slobodnoplivajuću cev izuzev njenog prednjeg dela u dužini 279 mm. Cev je hladno kovana, a usta cevi dodatno zaštićena od mogućeg oštećenja. Uvodnik je, takođe, kovan i na njemu su klizači dužine 406 mm (MIL-STD-1913) koji omogućavaju ugradnju optičkih nišana ili nekih drugih uređaja.

Zatvarač i mehanizam za završavanje su, kao i mnogi drugi delovi na ovoj pušci, unikatni. Zbog originalnog podmazivanja dejstvo zatvarača je veoma lagano i njime se rukuje gotovo bez naprezanja izuzev samog podizanja ručice kojom se aktivira udarni mehanizam. Zatvarač ima četiri ispusta za završavanje i duboke žljebove po dužini koji omogućavaju

prilagođavanje za bilo koji metak koji može da izađe kroz izbacivač. I ručicom zatvarača i okidačem može se rukovati i u rukavicama. Zatvarač se vadi brzo i lako: ručica zatvarača se okrene nagore, dugme osigurača postavi u položaj *lock* i zatvarač se izvlači nazad iz uvodnika. Zatvarač se ponovo postavlja pri blokiranom položaju osigurača.

Skidajući boks-magacin razlikuje se od svih drugih. Standardni okvir predviđen je za pet metaka, ali se pomoću specijalnog adaptera može prilagoditi i za 10 metaka. Rezervni okvir smešta se u šupljinu kundaka, omogućavajući korisniku brzo punjenje ili mogućnost da menja sadržaj okvira različitom municijom.

Opšti podaci za pušku Elite:

Kalibar: 7,62x51 mm ili 5,56x45 mm;

Rukovanje: ručno, dejstvo zatvarača;

Masa prazne puške: 4,2 kg;

Masa sa nišanom i remenom: 5,6 kg;

Ukupna dužina: 1,1 m;

Dužina cevi: 569 mm;

Punjenje: skidajući okvir sa 5 ili 10 metaka.

Na pušku mogu da se postave različiti optički nišani.

M. K.



BINOKULARNI DVOGLED RECON III*

Najnoviji proizvod firme FLIR sistemi (Portland, Oregon) – termo bi-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2005.

nokularni dvogled Milcam Recon III, koji je prvi put prikazan na izložbi DSEI u Londonu septembra 2005. godine, zvanično je uveden u upotrebu za američko tržište na oktobarskoj izložbi AUSA u Vašingtonu. Njegove zapažene primene uključuju daljinsko osmatranje, akviziciju cilja i bezbednosne aplikacije.

Recon III karakterišu dve termo kamere: visoke rezolucije 640x480 srednjetalasna (3 do 5 μm) InSb senzor za daljinsku detekciju i 320x240 dugotalasna (8 do 12 μm), nehladjeni Vox mikrobolometar za situaciono osmatranje. Jedan od dva termo-senzora može da se zameni sa CCD (Charge-coupled device) TV kamerom.



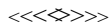
*Termo-binokularni dvogled Milcam
Recon III*

Optika dvgleda obezbeđuje tri vidna polja: 15x113° (široko vidno polje), 10x8° (srednje vidno polje) i 2,5x1,8° (usko vidno polje). Uz to, tu su x2 i x4 elektronsko zumiranje, autofokus i digitalno pojačanje detalja.

Osnovni model poznat je kao ObservIR, dok sofisticiraniji model LocateIR omogućava i prepoznavanje cilja.

Od ostalih specifičnosti značajne su digitalni magnetski kompas i GPS, kao i, po izboru kupca, modul laserskog daljinomera 1,54 μm , bezbednog za oči, koji služi za geolokaciju objekata viđenih u viziru. Oba sistema mogu da se opreme laserskim pokazivačem 830 mm Class 3B (30 ili 150 mW). Modularna konstrukcija omogućava naknadna usavršavanja.

M. K.



NOVI FINSKI RADIO-DEMONSTRATOR*

Finske odbrambene snage planiraju da krajem 2005. godine započnu vojna ispitivanja novog softverskog radio-demonstratora. Završetak ispitivanja je predviđen u martu 2006. godine, nakon čega bi usledila izrada prvog prototipa.

Nosilac realizacije programa je firma Elektrobit, uz istraživačku podršku Telekomunikacione laboratorije Univerziteta u Oulu.

Demonstrator sistema ima četiri elementa: taktički radio-komunikacioni sistem SCA (software communications architecture) Verzija 2,2; adaptivni širokopojasni mrežni sistem AWW (adaptive wideband networking waveform); nacionalni taktički sistem pozicioniranja NTPS (national tactical positioning system) i adaptivni antenski sistem razvijen na Univerzitetu u Oulu.

U fazi demonstracije program će obuhvatiti uniformni cirkularni niz (frekventni opseg 225 do 400 MHz), dva jednokanalna softverska radija, dva talasovoda (waveform) i mrežni simulator. Simulator je izrađen na bazi komercijalnih komponenata i podsistema, među kojima je i softverski rekonfigurišuća platforma za bežičnu obradu signala, koja je prihvaćena kao osnovni podsistem za digitalnu obradu signala. Analogno-digitalni interfejs zasnovan je na širokopojasnom analogno-digitalnom pretvaraču Nallatech.

Pri prezentaciji je istaknuto da uređaj nudi brojne režime rada s različitim nivoom podataka i ima mogućnosti suprotstavljanja ometanju, malu verovatnoću detekcije i malu verovatnoću presretanja. Zaštićeni govor treba da se ugradi u prototip Proto 1, a frekventni opseg može da se poveća uključivanjem HF i niže VHF frekvencije. Prototip Proto 1 planiran je i za naknadnu modifikaciju i ugradnju brojnih dodatnih uređaja, uključujući modifikovani AWW-HD, uređaj satelitske navigacije Galileo, TETRA, Tadiran VHF – borbeni mrežni radio, koji već koristi finska armija. Poslednja verzija imaće frekventni opseg proširen do područja GHz i brojne dodatne aplikacije vezane za elektronsko ratovanje, softverski radar, komunikaciju s helikopterima, uređaje za vazduhoplovne snage, GPS i Link 16.

M. K.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, avgust 2005.



PLOVILO STINGRAY BEZ POSADE*

Izraelska kompanija Elbit Sistemi, na izložbi IDEF '05 u Turskoj, prvi put je prikazala plovilo Stingray bez posade.

Izrađeno na bazi komercijalnog trupa JetSki, ovim plovilom može se upravljati daljinski sa drugog broda ili njime upravlja operator na obali.



Plovilo bez posade Stingray

Sa automatizovanim navigacionim – pozicionim mogućnostima ovo čvrsto malo plovilo ima i dva zatvorena odeljenja za koristan teret i malu dnevno-noćnu elektrooptičku kupolicu prečnika 6,7 inča, poznatu kao EMOS, sa CCD TV kamerom i FLIR uređajem 8 do 12 μm ukupne mase 150 kg.

Prema podacima kompanije Elbit, Stingray se pokreće vodenim mlazom brzinom do 40 čvorova, a izdržljivost na vodi iznosi do 8 sati. Domet zavisi od linka za vezu i komunikacijskog paketa koji koristi. Ovo plovilo trebalo bi da se primenjuje, uglavnom, u priobalnom pojasu. Performanse ga čine

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2005.

pogodnim za različite pomorske zadatke, uključujući i identifikaciju ciljeva na obali.

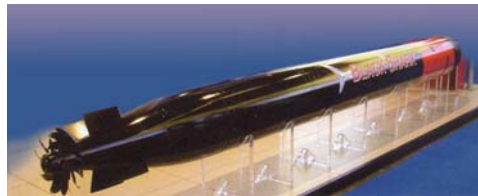
M. K.



SAVREMENI TEŠKI TORPEDI*

Uprkos očiglednom smanjenju zahteva za teškim torpedima, koji su poslednji put u ratnim sukobima korišćeni pre više od 25 godina (sukob Engleske i Argentine oko Folklandskih ostrva) i uprkos smanjenim procenama o protivpodmorničkom ratovanju, nove podmornice se još uvek traže, a postojeći brodovi modernizuju. U takvoj situaciji teški torpedi ostaju i dalje osnovno ubojno oružje za samoodbranu podmornica i za njihove ofanzivne operacije protiv površinskih brodova i drugih podmornica.

Na međunarodnom tržištu teških torpeda dominiraju dva glavna i tri nešto manje istaknuta konkurenta. Dva najzastupljenija su nemački DM2A4 (proizvođač Atlas Elektronik) i italijanski WASS Black Shark, a zatim slede švedski Torpedo 2000, američki Mk48 Mod 6/7 ADCAP (poboljšani) i Mk48 standardni model.



Torpedo Black Shark

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

Razvoj torpeda DM2A4 započeo je 1996. godine. Pokreće ga električni motor s permanentnim magnetom visoke frekvencije, snage 300 kW, koji, prema podacima proizvođača (Atlas Elektronik), ima efikasnost od 90%. Napajanje motora i ugrađene elektronike obezbeđuju modularne srebrnink baterije. Modularni torpedo može biti opremljen sa jednom, dve, tri ili četiri takve baterije. Konfiguracija najviših performansi DM2A4 ima četiri baterije i njima se obezbeđuje maksimalna brzina od preko 50 čvorova (90 km/h) i domet od preko 90 km. Torpeda DM2A4 vode se fiber-optičkim kablom debljine 300 μm koji se proizvodi u Nemačkoj. Podešavajuća antena u nosu torpeda radi sa 40 unapred oblikovanih snopova i ima vidno polje veće od $\pm 110^\circ$.

Razvoj torpeda WASS Black Shark započinje 1997. godine prema zahtevu mornarice Italije za novom generacijom teških torpeda kojima bi se opremale nove podmornice klase U212A.

Torpedo Black Shark ima novu aktivno-pasivnu akustičnu glavu za navođenje ASTRA (Advanced Sonar Transmitting and Receiving Architecture): poboljšanu sekciju za vođenje i upravljanje; link i kalem za fiber-optičko vođenje; novi električni motor i kontrarotirajući propeler. Glava za navođenje ASTRA radi na pasivnoj frekvenciji od 15 kHz i aktivnoj i pasivnoj frekvenciji od 30 kHz. Tragač može da radi istovremeno na obe frekvencije u pasivnom režimu, omogućavaju-

ći torpedu da razlikuje signale sa realnog cilja i signale od mamaca u okviru akustičnih mera zaštite. Umesto konvencionalnog vođenja uvedeno je vođenje fiber-optičkom vezom. To omogućava bolju izmenu podataka između podmornice i torpeda i 100% povećanje nominalnog dometa.

Pogon se obezbeđuje aksijalnim motorom bez četkica, koji napaja nova AlAgO baterija sa sistemom elektrolitskog upravljanja. Propulzor koristi propeler sa 13 kontrarotirajućih lopatica i 10 lopatica od ugljeničnih vlakana. Maksimalna brzina torpeda prelazi 52 čvora.



Torpedo Mk48 ADCAP

Američka mornarica kontinuirano uvodi u upotrebu teške torpede poboljšanih mogućnosti.

Mk48 ADCAP, koji su razvijeni na bazi ranijeg torpeda Mk48 Mod 4. Poboljšanja na današnjim torpedima usmerena su na sistem za pretraživanje i navođenje, stišavanje sistema propulzije, povećanje pouzdanosti, smanjenje cene i lakše uvođenje novih tehnologija. Kontinuirano istraživanje i ispitivanja usmerena su na poboljšanje performansi oružja i to principijelno u dve oblasti: ugradnjom poboljšanog procesora i poboljšanog sonarnog sistema. Sledeća modernizacija planirana za Mk48 ADCAP je zamena sadašnjeg žičnog vođenja s fiber optičkim kablom.



Torpedo 2000

Razvoj švedskog, žicom vođenog Torpeda 2000 započeo je 1988. godine. Na njemu se koristi sistem dvostrukog pogona (kombinacija 85% HIP i 15% kerozin). Ovim torpedom može da se postigne brzina od 50 čvorova i domet do 50 km. Kompanija Saab Underwater Systems, koja je razvila Torpedo 2000, razvila je i eksperimentalno besposadno podvodno plovilo AUV 62F na bazi modela Tp 62 (švedska oznaka za Torpedo 2000).

M. K.



ZAŠTIĆENI TRANSPORTNI KONTEJNER TRANSPROTEC*

Zbog porasta bombaških napada na mirovne snage u Avganistanu i Iraku, porastao je interes za nove tehnologije zaštite vozila i njihovih korisnika.

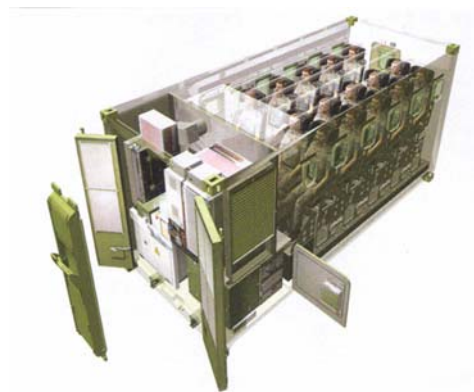
U tom kontekstu, kompanija EADS Defence Electronics (Friedrichshafen, Nemačka) ubrzala je napore da promoviše svoj koncept zaštićenog transportnog kontejnera TransPro-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, mart 2006.

tec, od kojih je nemačka vojska već zatražila četiri primerka radi početnih operativnih ispitivanja.

Glavni cilj kompanije EADS, koja je razvila TransProtec u saradnji sa kompanijom Krauss-Maffei Wegmann jeste da se do sredine 2006. godine realizuje nemački zahtev za 20 ovakvih vozila, koja bi se koristila u kriznim područjima.

Međutim, marketinški naponi usmereni su i na druge oružane snage angažovane u međunarodnim misijama.



Transportni kontejner TransProtec sa 18 sedišta

TransProtec namenjen je da obezbedi zaštitu prevoženog ljudstva izvan zona borbenih dejstava, npr. za vreme tranzita između aerodroma i naselja i sl. Potencijalne opasnosti pri tom predstavljaju ulične bombe, bombaši samoubice, snajperisti, ukopane mine i granate. Današnji oklopni transporteri nude ograničen broj sedišta, i skupi su za upotrebu i održavanje. Što je još gore, oni, uglavnom, nude samo ogra-

ničenu zaštitu od vatre iz streljačkog naoružanja, dok ukopane mine i improvizovane eksplozivne naprave (IEN) za njih često predstavljaju ozbiljan problem.

Koncept TransProtec oslanja se na šasiju kamiona MAN Multi 2FSA (mogu i drugi tipovi) i uključuje specijalno projektovani transportni kontejner (ISO standard).

EADS je projektovao unutrašnjost kontejnera, kondicioniranje vazduha, NBH zaštitu i napajanje energijom, dok je Krauss-Maffei Wegmann razvio oklopnu zaštitu. Kompanija EADS, kao nosilac sistema, odgovorna je i za logističku podršku, obuku i održavanje.

Kontejner ima 18 sedišta i prostor za opremu ljudstva i oružje. Može da se koristi u svim klimatskim područjima (od -32° do preko $+55^{\circ}$), kao i po peščanim olujama. Kao takvi, nude jeftinu i fleksibilnu alternativu konvencionalnim oklopnim transporterima, uz veći nivo komfora i zaštite.

Od četiri kontejnera TransProtec, poručena za Nemačku, dva su korišćena za testiranje van puteva i protiv razornih udarnih eksplozija. Testovi su uključivali detonacije mina i eksplozije koje su simulirale improvizovane eksplozivne naprave ili bombaše samoubice.

Prema dostupnim podacima TransProtec obezbeđuje zaštitu od:

- vatre iz snajpera 7,62x54 mm RB-32 Dragunov;
- protivtenkovskih mina do 8 kg TNT;
- parčadi standardnih granata FSP 20 (brzina 600 m/s);



Kamion sa transportnim kontejnerom TransProtec

– udara bočnih detonacija improvizovanih eksplozivnih naprava ili bombaša samoubica.

Kabina vozila treba, takođe, dodatno da se zaštiti okloпом koji štiti vozača i pratnju, a potrebno je da se obezbedi i međusobna komunikacija između ljudstva u kabini i kontejneru.

Kontejner TransProtec ima jedna glavna vrata (nazad) i dva dodatna izlaza (jedan sa strane i jedan na krovu). Na njemu postoji 13 prozora sa staklima otpornim na puščana zrna, ali se kontejner može izraditi i bez prozora.

Modifikovana verzija kontejnera TransProtec prilagođena je za transport do devet ranjenika (šest na nosilima i tri na sedištima) i pratećeg osoblja sa potrebnom opremom. Druge moguće aplikacije su za zaštićeno pokretno komandno mesto, jedinicu za upravljanje vatrom sistema oružja ili za transport osetljive i izuzetno važne opreme.

Ekonomičnost koju nudi kontejner, u odnosu na oklopne transportere, uključuje nižu nabavnu cenu po jednom sedištu, manju operativnu cenu zbog povolj-

nog odnosa putnik/vozač, kao i niže cene održavanja. Kompanija, po posebnom zahtevu, nudi i koncept sofisticiranog, efikasnog i jednostavnog za rukovanje i održavanje sistema, koji koristi savremena tehnička i logistička rešenja.

U nemačkoj vojsci ovaj koncept je poznat kao MuConPers (Multi-fähiger Container für die Personenbeförderung) ili multikamionski kontejner za prevoz ljudstva.

M. K.

<<<◇>>>

NOVI BRITANSKI SISTEMI BESPILOTNIH LETELICA*

Kompanija BAE Systems obelodanila je šest potpuno novih sistema bespilotnih letelica koje će se testirati u Velikoj Britaniji i Australiji u narednom trogodišnjem periodu. Radovi na razvojnom konceptu traju od 2001. godine, obuhvatajući savremene konfiguracije letelica sa kompaktnim trupom i krilima, obimnim informatičkim sistemima i naprednim sistemom za upravljanje letom. Projekat koji je proizašao iz tog procesa nazvan je Kestrel (vrsta sokola), da bi se na kraju usmerio na dve eksperimentalne letelice nazvane Raven i Corax.

Glavna specifičnost tih letelica bila je upotreba sistema za autonomne namenske zadatke. Sistem je ugrađivan u postojeće trupove letelica Herti-D od kompozitnih staklenih vlakana. Međutim, sasvim novi namenski sistem ugrađen je u letelicu Herti-1A, i to je bila prva bespilotna letelica koja je samostalno izvršila let u vazдушnom prostoru Velike Britanije koji se završio automatskim prizemljenjem. Poseban značaj ovog leta, izvedenog avgusta 2005, jeste što je obavljen sa komercijalnog aerodroma, a ne iz vojne baze ili zatvorenog raketnog poligona. Nadležni u civilnom vazduhoplovstvu autorizovali su probni let sa Herti-1A pod registracijom B-klase.

Letelica Herti-1A je glavno usmerenje predstojećih planova kompanije sa civilno-vojnim aplikacijama, usmerenim za potrebe osmatranja obala, granica i naftovoda. Krajem ove godine biće završeno deset letelica, od kojih će dve biti pogonjene motorima BMW, a ostale sa tišim četverocilindričnim Rotax turbo motorima.

Kompanija tvrdi da je mali trup letelice Herti praktično nevidljiv na visini oko 1500 m (5000 ft). Senzori, koje je izradila kompanija BAE Systems, treba da sadrže tri kamere integrisane u paket sistema za prikupljanje i eksploataciju snimaka u toku leta.

M. K.

<<<◇>>>

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. februar 2006.

Uputstvo saradnicima

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Republike Srbije.

Članak se dostavlja Redakciji na disketi ili CD-u (Times New Roman, srpska latinica, 12 pt, prored 1,5) i odštampan u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

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

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćénica (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. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

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

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

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

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

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor
Dobriła Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 342,00 dinara
Tiraž 700 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)