

SADRŽAJ

Dr Danilo Ćuk, naučni savetnik	IZBOR FAKTORA ROTACIJE VEKTORA POTISKA ZA BALISTIČKU RAKETU SA LAMBERTOVIM VOĐENJEM	133
Dr Milorad Savković, dipl. inž.	ISPITIVANJE PIROPATRONA I RAKETNOG MOTORA PILOTSKOG SEDIŠTA	147
Đuro Jovanić, kapetan, dipl. ekon.	STANDARD NIJ 0115.00 ZA TESTIRANJE OTPORNO- STI ZAŠTITNIH PRSLUKA NA UBODE NOŽEM I PREDMETIMA SA OŠTRIM VRHOM	156
Mr Dejan Ivković, major, dipl. inž.	REZULTATI OBRADE SIGNALA U PROJEKTOVA- NIM BLOKOVIMA PRIJEMNIKA SOFTVERSKOG RA- DARA	167
Mr Boban Bondžulić, kapetan, dipl. inž. dr Vladimir Petrović, dipl. inž.	OBJEKTIVNE MERE PROCENE REZULTATA SJEDI- NJAVANJA SLIKA	181
Marinko Smiljanić student stariji vodnik, mr Boban Pavlović, kapetan, dipl. inž.	VIRTUELNE PRIVATNE MREŽE – MOGUĆE REŠE- NJE POUZDANIH KOMUNIKACIJA	194
Mr Nada Čitaković, dipl. fizičar	PRIMENA RAČUNARA U NASTAVI FIZIKE	209
Mr Zoran Novaković, major, dipl. inž., Zoran Milojević, poručnik, dipl. inž.	PROGRAMSKI PAKET ZA REALIZACIJU PROCENE PROFESIONALNOG RIZIKA NA RADNOM MESTU	217
Dr Vojislav Batinić, dipl. inž.	ODREĐIVANJE KRUTOSTI PLANETARNOG PRENO- SNIKA	227
Dragan Pamučar, poručnik, dipl. inž.	PRIMENA SWOT ANALIZE NA SISTEM INTEGRAL- NOG TRANSPORTA VOJSKE SRBIJE	237

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Razvoj i mogućnosti sredstava PVO kratkog dometa – M. K. ..	248
Taktička bespilotna letelica Watchkeeper – M. K.	253

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-
-INFORMACIONU DELATNOST

Direktor

Pukovnik
MILAN CRNOGLAVAC

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Potpukovnik
mr ALEKSANDAR BUKVIĆ, dipl. inž.

Glavni urednik redakcije vojnih časopisa

Potpukovnik
DRAGAN HAJDUKOVIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

Brigadni general
dr DANKO JOVANOVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major
LJUBOMIR SAMARDŽIĆ, dipl. inž.

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

dr BRANKO KOVAČEVIĆ, dipl. inž.

dr SLOBODAN JARAMAZ, dipl. inž.

dr LAZAR PETROVIĆ, dipl. inž.

dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr BRANISLAV JAKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr JUGOSLAV RADULOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr ZORAN FILIPOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

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

* * *

Odgovorni urednik

Potpukovnik
mr Nebojša Gačeša, dipl. inž.
(tel. 3006-023, 23-493)

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 3201-497, vojni 23-497)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

www.mod.gov.yu/04publikacije/04-glasnik.htm

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

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

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

**STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
MINISTARSTVA ODBRANE
REPUBLIKE SRBIJE**

VOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

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



2

GODINA LVI • APRIL–JUN 2008.

Dr Danilo Ćuk,
naučni savetnik

IZBOR FAKTORA ROTACIJE VEKTORA POTISKA ZA BALISTIČKU RAKETU SA LAMBERTOVIM VOĐENJEM

UDC: 531.55
623.54

Rezime:

Predmet rada jeste primena Lambertovog vođenja na balističku raketu. Koristeći fundamentalnu jednačinu za upravljački vektor brzine razvijena je formula za određivanje ugla orijentacije vektora potiska u zavisnosti od faktora rotacije njegovog pravca. Izvedena formula zahteva Q -matricu koja povezuje diferencijalnu promenu vektora položaja rakete sa odgovarajućom diferencijalnom promenom korelisane brzine za fiksnu poziciju cilja i konstantno vreme slobodnog leta rakete. Izborom parametra rotacije vektora potiska dobijaju se različiti profili ugaonog položaja rakete i ugla njene brzine u zavisnosti od vremena. Podešavanjem parametra rotacije vektora potiska moguće je ostvariti prekid rada raketnog motora pri nultom napadnom uglu i, na taj način, smanjiti početne poremećaje slobodnog leta rakete.

Ključne reči: balistička raketa, trajektorija, vođenje, Lambertovo vođenje, Q -vođenje.

CHOICE OF THE ROTATIONAL FACTOR OF THE THRUST VECTOR FOR THE BALLISTIC MISSILE WITH LAMBERT GUIDANCE

Summary:

This paper deals with the application of the Lambert guidance to the ballistic missile. By using the fundamental equation for the velocity-to-be-gained, the demanded command for the thrust angle is developed in terms of the rotational factor of its direction. The developed formula requires the Q -matrix which links a differential change in the missile position vector to the corresponding differential change in the correlated velocity for the fixed target position and the constant time of free flight. The choice of the rotational parameter provides different profiles of the missile attitude and flight path angle with time. By adjusting the rotational parameter for the thrust vector, the cut-off of the rocket engine can occur at zero angle of attack and the initial perturbations during free flight may be thus reduced.

Key words: planning, function of planning, process of planning, principles of planning, types of planning, characteristics of planning, management by planning, planning logistics.

Uvod

Balističke rakete se karakterišu trajektorijom koja se sastoji od tri osnovna dela: aktivnog dela koji traje od trenutka lansiranja do prekida rada raketnog motora, slobodnog leta koji predstavlja najduži segment i realizuje se u vrlo razređenoj atmosferi, i faze povratka u atmosferu čiji početak nije precizno definisan, ali se karakteriše znatnim porastom sile

otpora i drugih aerodinamičkih sila i momenata. Poslednja faza leta traje do udara u zemlju i može biti sa ili bez navođenja rakete na cilj. Korekcija putanje obično se vrši u početnoj fazi leta dok radi raketni motor, pri čemu se vektor potiska usmerava u zavisnosti od željenog manevra. Informacije o kretanju rakete dobijaju se od inercione merne jedinice (IMJ) sa tri brzinska žiroskopa i tri akcelerometra koji su čvrsto vezani za telo rakete.

Takav sistem inercione navigacije poznat je kao besplatformni inercioni navigacioni sistem (BINS) ili „Strapdown INS“.

Uobičajeno je da balističke rakete imaju dve faze vođenja i upravljanja, koje se realizuju promenom pravca vektora potiska. Dok se raketa nalazi u gušćim slojevima atmosfere koristi se vođenje po programskoj putanji (otvoreni sistem vođenja) koje treba da obezbedi let rakete sa minimalnim aerodinamičkim opterećenjem. Kada je raketa izvan gustih slojeva atmosfere bira se takav zakon vođenja koji omogućava slobodnije manevrisanje rakete radi poništavanja izmerene ili procenjene greške vođenja. Vođenje rakete u ovoj fazi leta zahteva sračunavanje tzv. korelisane brzine koja obezbeđuje let rakete do željene tačke u prostoru samo pod uticajem sile gravitacije. Prema tome, u trenutku kada stvarna brzina rakete, koja je određena numeričkim algoritmom BINS-a, dostigne pravac i intenzitet korelisane brzine, prekida se rad raketnog motora i raketa leti samo pod uticajem sile gravitacije. Signal vođenja, ili greška vođenja, jeste vektor koji predstavlja razliku između korelisane brzine i izmerene brzine rakete. Ova metoda vođenja naziva se Lambertovo vođenje po nemačkom matematičaru Johanu Heinrichu Lambertu, koji je 1761. formulisao teoremu koja predstavlja teorijsku osnovu za proračun korelisane ili zahtevane brzine rakete [1], [2].

Teorijske osnove rešavanja Lambertovog problema date su u [1], dok je inženjerski pristup rešavanja Lambertovog vođenja efikasno objašnjen u [2]. Najveći broj radova koji se bave metodama numeričkog rešavanja Lambertovog problema odnosi se na letelice velikog dometa,

pre svega kosmičke letelice [3], [4]. U radu [5] izučava se optimalno vođenje kosmičke letelice kroz atmosferu pri različitim ograničenjima u toku leta i trenutku prekida rada raketnog motora.

Predmet ovoga rada jeste primena Lambertovog vođenja na balističke rakete malog dometa, a izučava se i uticaj faktora rotacije vektora potiska na generisanje različitih profila promene uglova propinjanja i brzine rakete. Radi simplifikacije matematičkog modela rakete zamenjeno je njeno aerodinamičko opterećenje, što ne utiče na osnovne zaključke o mogućnostima primene Lambertovog vođenja.

Korelisana brzina

U teoriji leta tela u polju centralne gravitacione sile određuju se intenzitet i ugao brzine tela u trenutku prekida rada raketnog motora, koji omogućuju pogodañanje cilja u određenoj tački u prostoru. Vektor ove brzine naziva se korelisana ili zahtevana brzina letelice. Ako poznajemo početni položaj letelice r i krajnji položaj cilja r_T određuje se centralni ugao (ugao između ova dva vektora sa početkom u centru Zemlje):

$$\phi = \arccos \frac{(r \cdot r_T)}{|r||r_T|} \quad (1)$$

Polazeći od centralnog ugla ϕ , vektora položaja letelice r , vektora položaja cilja r_T i datog ugla brzine γ_c , određuje se intenzitet korelisane brzine V_c na osnovu formule iz [2], str. 256:

$$V_c = f(r, r_T, \phi, \gamma_c) \quad (2)$$

Intenzitet korelisane brzine V_c koristi se za određivanje vremena leta na osnovu egzaktna formule koja je izvedena u [2], str. 258:

$$t_{Tf} = f(V_c, \phi, \gamma_c) \quad (3)$$

Lambertov problem može se postaviti na sledeći način: za date vrednosti r , r_T i t_{Tf} treba naći intenzitet V_c i ugao γ_c korelisane brzine. Rešenje za vektor korelisane brzine podrazumeva jedan iteracioni postupak u kojem se menja ugao γ_c sve dok se određeni parametar, npr. ukupno vreme leta t_{Tf} objekta između dve tačke u prostoru, ne postigne sa propisanom tačnošću. Ovakav numerički algoritam prikazan je u [2] i ima za cilj shvatanje i rešavanje Lambertovog problema. U objavljenoj literaturi postoje metode za efikasno numeričko rešavanje Lambertovog problema i njihovu primenu u realnom vremenu [3], [4].

Ukoliko je stvarna brzina rakete jednaka korelisanoj brzini u određenoj tački, njena misija se nastavlja prekidom rada raketnog motora i balističkim letom od tog trenutka. U teoriji Lambertovog vođenja korisno je definisati upravljački vektor brzine:

$$V_g = V_c - V_m \quad (4)$$

Vektor V_g predstavlja brzinu koju treba dodati tekućem vektoru brzine rakete V_m da bi se izvršio prekid rada raketnog motora u tom trenutku. Uslov pri kojem treba izvršiti prekid rada motora određen je jednačinom:

$$V_g = 0 \quad (5)$$

Opšti koncept Lambertovog vođenja predstavljen je na slici 1 na kojoj je definisan upravljački vektor brzine. Tačka M predstavlja položaj rakete u trenutku t . Puna linija kroz tačku M je aktivni deo trajektorije, a prekid rada motora u tački CO obezbeđuje let do cilja T. Druga putanja (linija crta-crta) jeste tangentna na korelisanu brzinu u tački M, koja omogućuje pogađanje istog cilja. Vektor V_c mora da leži u ravni koju čine vektori položaja rakete i cilja, r i r_T , respektivno.

Polazeći od jednačine kretanja rakete:

$$\frac{dV_m}{dt} = f_T + g \quad (6)$$

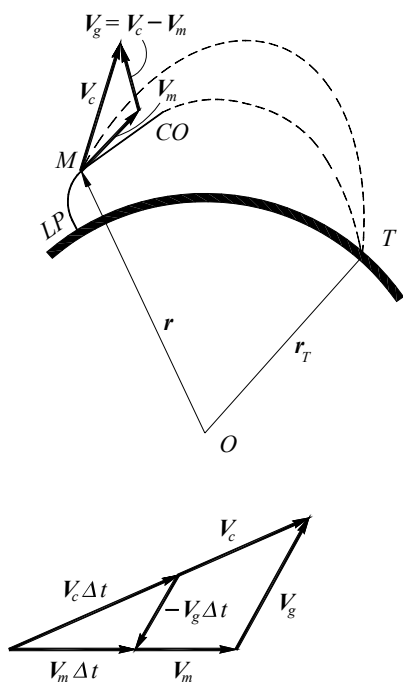
gde je g vektor gravitacionog ubrzanja, a f_T ubrzanje (specifična sila) vektora potiska, izvodi se diferencijalna jednačina upravljačkog vektora brzine:

$$\begin{aligned} \frac{dV_g}{dt} &= \frac{dV_c}{dt} - \frac{dV_m}{dt} = \\ &= \left(\frac{dV_c}{dt} \right) - f_T - g = b - f_T \end{aligned} \quad (7)$$

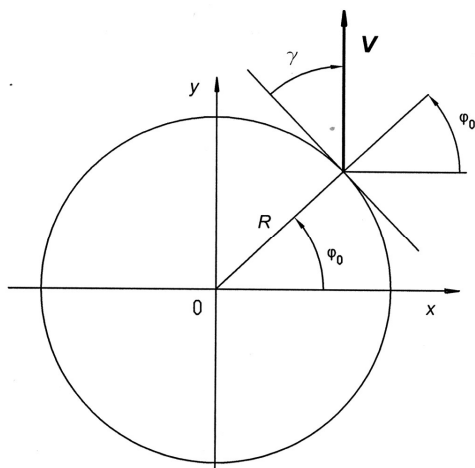
gde je:

$$b = \left(\frac{dV_c}{dt} \right) - g \quad (8)$$

U trenutku prekida rada raketnog motora tekuća brzina dostiže vektor korelisane brzine, pri čemu $b = 0$, jer se od tog trenutka let odvija samo pod uticajem sile gravitacije.



Sl. 1 – Koncept Lambertovog vođenja
LP – tačka lansiranja; T – cilj,
CO – prekid rada motora, [1]



Sl. 2 – Inercioni koordinatni sistem

Princip Lambertovog vođenja svodi se na podešavanje pravca vektora potiska tako da upravljački vektor brzine teži ka

nuli. Dakle, pravac vektora potiska u funkciji od upravljačkog vektora brzine određuje se matričnom jednačinom:

$$f_T \times V_g = c b \times V_g \quad (9)$$

Smenom $f_T = b - \frac{dV_g}{dt}$ iz jednačine (7) u (9) dobija se:

$$\begin{aligned} (cb - f_T) \times V_g &= \left(cb + \frac{dV_g}{dt} - b \right) \times V_g = \\ &= \left[(c-1)b + \frac{dV_g}{dt} \right] \times V_g = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Parametar c predstavlja meru rotacionog efekta na upravljački vektor brzine V_g , odnosno pravac vektora potiska (f_T). Ako je $c = 0$, biće:

$$f_T \times V_g = 0 \quad (11)$$

što znači da je pravac vektora potiska usmeren duž upravljačkog vektora brzine V_g . U slučaju vrednosti $c = 1$, jednačina (9) svodi se na:

$$\left(\frac{dV_g}{dt} \right) \times V_g = 0 \quad (12)$$

pa je upravljački vektor brzine paralelan svom izvodu. Rotacioni efekat na upravljački vektor brzine jednak je nuli, pa je:

$$\frac{V_g}{|V_g|} = \text{const} \quad (13)$$

Izbor vrednosti parametra c predstavlja jedan od zadataka ovog rada.

Fundamentalna jednačina upravljačkog vektora brzine

Vreme slobodnog leta biće definisano kao vreme koje je preostalo raketi do pogađanja cilja:

$$t_{ff} = t_{Tf} - t \quad (14)$$

gde su: t – tekuće vreme; t_{Tf} – ukupno vreme leta rakete (vreme od trenutka lansiranja do udara u cilj).

Vektor korelisane brzine zavisi od tekućeg vektora položaja rakete r i tekućeg vremena leta t :

$$V_c = V_c(r, t) \quad (15)$$

pri čemu se podrazumeva implicitna zavisnost od početnog položaja rakete (lansirnog mesta), položaja cilja i ukupnog vremena leta t_{Tf} .

U teoriji Lambertovog vođenja posebnu ulogu ima Q-matrica, po kojoj se ova metoda vođenja često naziva Q-vođenje. Usvojimo geocentrični inercioni koordinatni sistem (Oxyz na slici 2) sa jediničnim vektorima i, j, k duž njegovih osa x, y, z , respektivno. Ako se vektori položaja rakete i korelisane brzine izraze projekcijama duž osa geocentričnog inercionog koordinatnog sistema:

$$r = xi + yj + zk \quad (16)$$

$$V_c = u_c i + v_c j + w_c k \quad (17)$$

Q-matrica se definiše na sledeći način:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{zx} & Q_{zy} & Q_{zz} \end{bmatrix} = \left\| \frac{\partial V_c}{\partial r} \right\| \quad (18)$$

gde su elementi matrice:

$$\begin{aligned} Q_{xx} &= \frac{\partial u_c}{\partial x}, & Q_{xy} &= \frac{\partial u_c}{\partial y}, & Q_{xz} &= \frac{\partial u_c}{\partial z} \\ Q_{yx} &= \frac{\partial v_c}{\partial x}, & Q_{yy} &= \frac{\partial v_c}{\partial y}, & Q_{yz} &= \frac{\partial v_c}{\partial z} \\ Q_{zx} &= \frac{\partial w_c}{\partial x}, & Q_{zy} &= \frac{\partial w_c}{\partial y}, & Q_{zz} &= \frac{\partial w_c}{\partial z} \end{aligned} \quad (19)$$

Korišćenjem definicije Q-matrice može se napisati:

$$dV_c = Q dr \quad (20)$$

Prema tome, Q-matrica pokazuje uticaj diferencijalne promene vektora položaja rakete na diferencijalnu promenu korelisane brzine pri konstantnom položaju cilja i nepromenjenom vremenu slobodnog leta rakete, t_{Tf} .

Koristeći oznake na slici 1 pretpostavimo da imamo dve rakete: hipotetičku (korelisanu) raketu sa brzinom V_c i stvarnu raketu sa brzinom V_m . Da bi se korelisana raketa poklopila sa stvarnom raketom za interval Δt , diferencijalna promena njenog vektora položaja biće:

$$-V_g \Delta t = V_m \Delta t - V_c \Delta t = dr \quad (21)$$

Odgovarajuća promena brzine stvarne rakete za vreme Δt dobija se iz (6), imajući u vidu da je izložena dejstvu gravitacionog ubrzanja g i specifične sile f_T :

$$\Delta V_m = f_T \Delta t + g \Delta t \quad (22)$$

Promena korelisane brzine u intervalu Δt iznosi:

$$\Delta V_c = g \Delta t + Q dr \quad (23)$$

Prvi član obuhvata uticaj gravitacionog ubrzanja, jer se korelisana raketa kreće pod uticajem gravitacionog ubrzanja, a drugi član je posledica promene korelisane brzine zbog pomeranja korelisane rakete do poklapanja sa stvarnom raketom. Smenom (21) u (23) dobija se promena korelisane brzine za vreme Δt :

$$\Delta V_c = g \Delta t + Q(-V_g \Delta t) \quad (24)$$

Promena upravljačkog vektora brzine je:

$$\dot{V}_g \Delta t = \Delta V_c - \Delta V_m \quad (25)$$

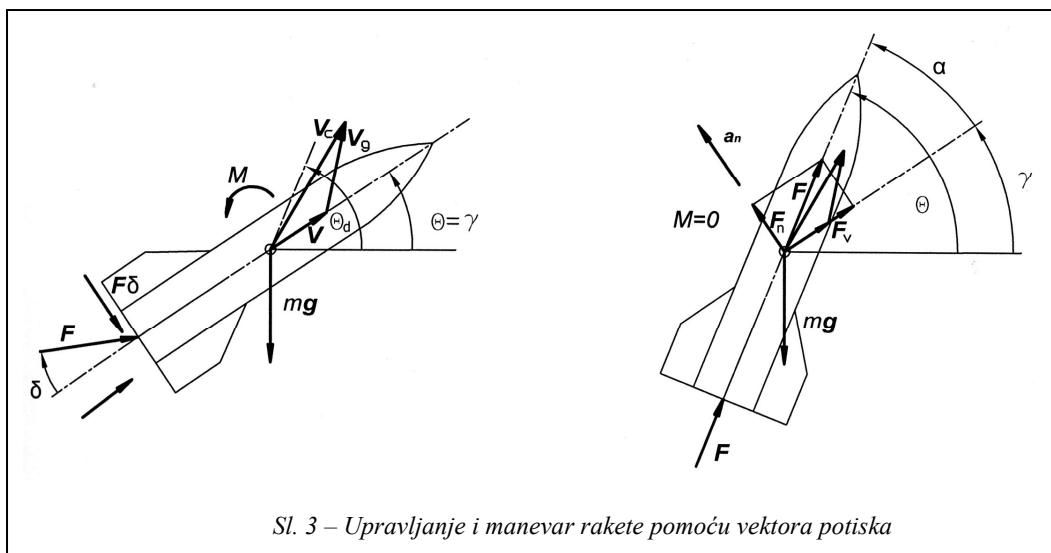
pa se smenom (24) i (22) u (25) i deljenjem sa Δt definitivno dobija fundamentalna jednačina upravljačkog vektora brzine:

$$\frac{dV_g}{dt} = -f_T - QV_g \quad (26)$$

Upravljanje i manevar rakete pomoću vektora potiska

U procesu Lambertovog vođenja vektor potiska ima dvostruku namenu (slika 3):

1. Na osnovu razlike između zahtevanog ugla orijentacije rakete θ_d i stvarnog ugla θ vrši se otklon upravljačkih organa, tako da se generiše upravljačka komponenta sile potiska i njen moment oko težišta. Pomoću sistema za upravljanje vrši se stabilizacija ugaonog položaja rakete oko zahtevanog ugla θ_d , pri čemu prelazni proces traje veoma kratko u odnosu na ukupno vreme vođenja, ukoliko su parametri sistema upravljanja korektno podešeni. Signal upravljanja, odnosno otklon upravljačkih organa, formira se na osnovu informacija o zahtevanom uglu θ_d , stvarnom uglu i ugaonoj brzini rakete q . Prva veličina dobija se iz algoritma Lambertovog vođenja polazeći od upravljačkog vektora brzine V_g kao ulazne informacije, a druge dve veličine mere se pomoću BINS-a.



2. Pošto je telo rakete dostiglo zahtevani ugao orijentacije θ_d , komponenta sile potiska u pravcu normale na vektor brzine proizvodi manevar zaokretanjem tangente na putanju sve dok se stvarna brzina ne poklopi sa korelisanom brzinom. Istovremeno, tangenta komponenta vektora potiska proizvodi tangentno ubrzanje, pri čemu se intenzitet stvarne brzine V_m približava intenzitetu korelisane brzine V_c . Rotacijom vektora stvarne brzine i izjednačavanjem njenog intenziteta sa korelisanom brzinom, upravljački vektor brzine V_g svodi se na nulti vektor, čime se stvaraju uslovi za prekid rada raketnog motora.

Podaci o korelisanoj brzini, uglovima i ugaonim brzinama tela rakete dobijaju se sa određenim učestanostima odabiranja, tako da se procesi koji su opisani u tačkama 1 i 2 ovog odeljka neprekidno ponavljaju sve do gašenja raketnog motora.

Sistem upravljanja ugaonim položajem rakete sa povratnim vezama po uglu i ugaonoj brzini propinjanja opisuje se elementom drugog reda [6], čija je funkcija prenosa:

$$\frac{\theta(s)}{\theta_d(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\mu\omega_n s + \omega_n^2} \quad (27)$$

Učestanost je reda 3–4 rad/s i zavisi od inercionih karakteristika rakete, vektora potiska i faktora pojačanja po uglu i ugaonoj brzini propinjanja rakete. Faktor relativnog prigušenja podešava se na vrednost $\mu = 0,5 - 0,7$.

Po završetku prelaznog procesa i dostizanja zahtevane vrednosti ugla orijentacije rakete θ_d , normalno ubrzanje proizvodi ugaonu brzinu tangente na putanju:

$$\dot{\gamma} = \frac{a_n}{V} = \frac{F \sin \alpha}{mV} \quad (28)$$

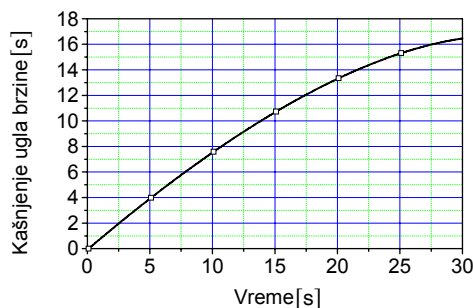
Za male vrednosti napadnog ugla dobija se približni izraz:

$$\frac{\dot{\gamma}}{\alpha} = \frac{1}{T_\alpha} \quad (29)$$

gde je:

$$T_\alpha = \frac{mV}{F} \quad (30)$$

Vremenska konstanta T karakteriše kašnjenje ugla brzine u odnosu na napadni ugao rakete ili u odnosu na ugao propinjanja ($T = T_q$). Tipična zavisnost „vremenske konstante“ T u fazi ubrzanja od vremena prikazana je na slici 4.



Sl. 4 – Kašnjenje ugla brzine

Željena vrednost ugla orijentacije vektora potiska, odnosno uzdužne ose rakete zavisi od upravljačkog vektora brzine V_g i izabranog algoritma Lambertovog vođenja. U ovom radu izabrana je jedna varijanta Q-vođenja koja se svodi na proračun ugla vektora potiska pomoću faktora rotacije upravljačkog vektora brzine c . Izjednačavanjem (7) i (26) dobija se:

$$b = -QV_g \quad (31) \quad \text{iz jednačine (34) sledi:}$$

pa smenom (9) sledi:

$$f_T \times V_g = cV_g \times QV_g \quad (32)$$

Uvođenjem nove vektorske veličine:

$$p = cV_g \times (QV_g) \quad (33)$$

dobija se:

$$f_T \times V_g = p \quad (34)$$

Množenjem matrice jednačine (34) s leva, sa upravljačkim vektorom brzine V_g , dobija se:

$$V_g \times (f_T \times V_g) = V_g \times p \quad (35)$$

Primenom pravila za dvostruko vektorsko množenje tri vektora a , b , c ([7], str. 134):

$$a \times (b \times c) = (a \cdot c)b - (a \cdot b)c \quad (36)$$

jednačina (35) transformiše se u sledeći oblik:

$$(V_g \cdot V_g)f_T - (V_g \cdot f_T)V_g = V_g \times p \quad (37)$$

ili

$$f_T = (V_g + V_g \times p) / (V_g \cdot V_g) \quad (38)$$

gde je:

$$= (V_g \cdot f_T) = (f_T \cdot V_g) \quad (39)$$

Polazeći od formule za intenzitet vektorskog proizvoda dva vektora b i c ([7], str. 133):

$$|b \times c|^2 = |b \cdot b| \cdot |c \cdot c| - (b \cdot c)^2 \quad (40)$$

$$|p|^2 = (f_T \cdot f_T) \cdot (V_g \cdot V_g) - (f_T \cdot V_g)^2 \quad (41)$$

Imajući u vidu definiciju parametra γ , (39), iz (41) proizilazi:

$$= (f_T \cdot V_g) = [(f_T \cdot f_T) (V_g \cdot V_g) - (p \cdot p)]^{1/2} \quad (42)$$

Prema tome, željeni pravac vektora potiska (ugao orijentacije uzdužne ose rakete) određuje se pomoću jednačine (38), pri čemu se vektorska veličina p i parametar γ sračunavaju na osnovu (33) i (42), respektivno. Izvedena formula za parametar γ zahteva poznavanje intenziteta specifične sile $f_T = (f_T \cdot f_T)^{0.5} = a$ koji se dobija iz BINS-a.

Matematički model kretanja rakete sa Lambertovim vođenjem

Sile koje deluju na raketu pri njenom ravanskom kretanju u gravitacionom polju Zemlje jesu, pored ostalih, sila privlačenja Zemlje i sila potiska kojom se raketa upravlja do postizanja korelisane brzine. Jednačine kretanja napisane su u inercionom koordinatnom sistemu sa početkom u centru Zemlje (slika 2). Zanimarena je rotacija Zemlje. Koordinate rakete u cilindričnom koordinatnom sistemu (lučno rastojanje na površini Zemlje i visina leta) sračunavaju se posle svakog koraka integracije diferencijalnih jednačina kretanja na osnovu koordinata položaja rakete u inercionom koordinatnom sistemu.

Polazeći od Njutnovog zakona gravitacije i sumiranjem svih potrebnih jednačina iz prethodnog odeljka dobija se matematički model ravanskog kretanja balističke rakete sa Lambertovim vođenjem.

Jednačine kretanja rakete

$$\begin{aligned}\dot{V}_x &= -\frac{GM_x}{(x^2 + y^2)^{1.5}} + a_x \\ \dot{V}_y &= -\frac{GM_y}{(x^2 + y^2)^{1.5}} + a_y \\ \dot{x} &= V_x, \dot{y} = V_y\end{aligned}\quad (43)$$

$$\begin{aligned}m &= m_0 + \dot{m}t, \dot{m} = -\frac{F}{I_{sp}g} \\ a &= \frac{F}{m}, a_x = a \cos \theta, a_y = a \sin \theta\end{aligned}$$

Sistem upravljanja ugaonim položajem rakete

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= q \\ \dot{q} &= \omega_n^2 (\theta_d - \theta) - 2\mu\omega_n q\end{aligned}\quad (44)$$

Korelisana brzina

Proračun korelisane brzine obavlja se iterativnim postupkom, variranjem ugla γ_c između procenjene minimalne i maksimalne vrednosti, dok se ne postigne zadato vreme slobodnog leta rakete.

$$\begin{aligned}\phi &= \arccos \frac{(r \cdot r_T)}{|r||r_T|} \\ V_c &= f(r, r_T, \phi, \gamma_c) \\ t_{ff} &= t_{Tf} - t = f(V_c, \phi, \gamma_c) \\ r &= [x \ y]^T, r_T = [x_T \ y_T]^T\end{aligned}\quad (45)$$

Proračun matrice Q

$$\begin{aligned}r_1 &= [x + \Delta x \ y]^T \\ \phi_1 &= \arccos \frac{(r_1 \cdot r_T)}{|r_1||r_T|} \\ V_{c1} &= f(r_1, r_T, \phi_1, \gamma_{c1}) \\ t_{ff} &= t_{Tf} - t = f(V_{c1}, r_T, \phi_1, \gamma_{c1}) \\ u_{c1} &= V_{c1} \cos \gamma_{c1}, v_{c1} = V_{c1} \sin \gamma_{c1} \\ Q_{xx} &= \frac{u_{c1} - u_c}{\Delta x}, Q_{yx} = \frac{v_{c1} - v_c}{\Delta x} \\ Q_{zx} &= 0\end{aligned}\quad (46)$$

Ostali elementi Q-matrice dobijaju se istom procedurom, s tim što koordinata y varira za Δy , a koordinata x zadržava istu vrednost. S obzirom na to da modeliramo ravansko kretanje rakete, biće:

$$Q_{xz} = Q_{yz} = Q_{zz} = 0.$$

Lambertovo vođenje

$$\begin{aligned}u_c &= V_c \cos \gamma_c, v_c = V_c \sin \gamma_c \\ V_c &= [u_c \ v_c \ 0]^T, V_m = [V_x \ V_y \ 0]^T \\ V_g &= V_c - V_m, p = cV_g \times QV_g \\ \beta &= [(f_T \cdot f_T)(V_g \cdot V_g) - (p \cdot p)] \\ f_T &= \frac{\beta V_g + V_g \times p}{(V_g \cdot V_g)} = [f_{Tx} \ f_{Ty} \ 0]^T \\ |f_T| &= (f_T \cdot f_T)^{0.5} = a, \theta_d = \arctg \frac{f_{Ty}}{f_{Tx}}\end{aligned}\quad (47)$$

Početni uslovi

$$\begin{aligned}x_0 &= (R + h_0) \cos \varphi_0, y_0 = (R + h_0) \sin \varphi_0 \\ V_{x0} &= V_0 \cos(\pi/2 - \gamma_0 + \varphi_0) \\ V_{y0} &= V_0 \sin(\pi/2 - \gamma_0 + \varphi_0) \\ \gamma_0 &= \gamma_{c0} + \Delta \gamma, \theta_0 = \gamma_{c0} + \Delta \gamma, q_0 = 0\end{aligned}\quad (48)$$

Položaj cilja (granični uslov)

$$\begin{aligned}\phi_T &= X_T / R \\ x(t_{TF}) &= x_T = (R + h_T) \cos(\phi_0 + \phi_T) \\ y(t_{TF}) &= y_T = (R + h_T) \sin(\phi_0 + \phi_T)\end{aligned}\quad (49)$$

Položaj rakete u cilindričnom koordinatnom sistemu

$$\begin{aligned}r_0 &= [x_0 \ y_0]^T, \quad r = [x \ y]^T \\ \phi &= \arccos \frac{(r_0 \cdot r)}{|r_0| \cdot |r|} \\ X &= R\phi, \quad h = (x^2 + y^2)^{0.5} - R\end{aligned}\quad (50)$$

Ulazni podaci za numeričku simulaciju Lambertovog vođenja balističke rakete obuhvataju sledeće parametre: silu potiska (F), specifični impuls raketnog goriva (I_{sp}), ukupno vreme rada raketnog motora (t_b), početne parametre kretanja rakete i položaj cilja. Promena parametara kretanja rakete u toku Lambertovog vođenja zavisi od faktora rotacije upravljačkog vektora brzine (c).

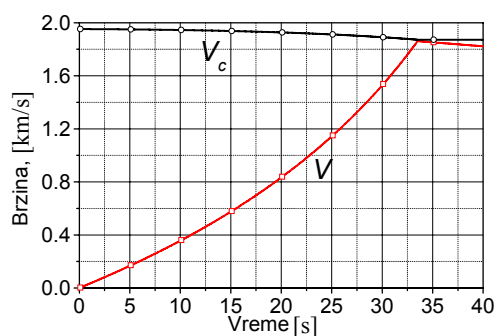
Rezultati numeričke simulacije

Na osnovu matematičkog modela kretanja rakete sa Lambertovim vođenjem, koji je prikazan u prethodnom poglavlju, izvršena je modifikacija programa Fortran iz [2], str. 267. U pomenutoj literaturi izučava se Lambertovo vođenje samo u varijanti kada se vektor potiska usmerava duž upravljačkog vektora brzine, što odgovara parametru rotacije $c = 0$. Pri tome, sistem upravljanja ugaonim položajem rakete posmatran je kao bezinercioni element, što znači da vektor potiska trenutno zauzima pravac upravljačkog vektora brzine.

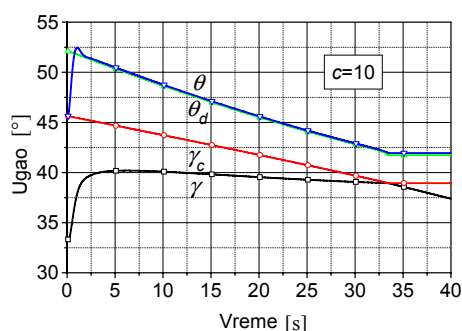
Modifikacija programa za Lambertovo vođenje rakete [8] obuhvata proširenje postojećeg programa kompletnim algoritmom Q-vođenja, koji sračunava Q-matricu i zahtevani ugao propinjanja rakete (vektora potiska) prema postupku koji je prikazan u ovom radu. Sistem upravljanja i stabilizacije ugaonog položaja rakete modeliran je elementom drugog reda. Integracija diferencijalnih jednačina izvršena je metodom Runge-Kutta drugog reda.

Numerički primer u ovom radu odnosi se na balističku raketu dometa $X = 400$ km. Pasivna masa (struktura + korisni teret) iznosi 2000 kg. Polazeći od zahteva da raketni motor treba da ostvari brzinu od 2200 m/s sa gorivom specifičnog impulsa 200 Ns/N, dobijaju se sledeći osnovni raketodinamički podaci: sila potiska $F = 240$ kN, maksimalno vreme aktivne faze leta rakete $t_b = 34,5$ s, početna masa rakete $m_0 = 6250$ kg i masa goriva $m_g = 4250$ kg. Na lansirnom mestu korelisana brzina iznosi $V_c = 1952$ m/s i njen ugao elevacije $\epsilon = 45,642^\circ$ za zahtevani domet od $X = 400$ km i ukupno vreme leta $t_{TF} = 300$ s.

Dijagrami promene kinematičkih parametara balističke rakete i ulaznih veličina za upravljanje (θ_d) i Lambertovo vođenje (V_c, ϵ) prikazani su na slikama 5 i 6, za faktor rotacije $c = 10$.



Sl. 5 – Brzina balističke rakete

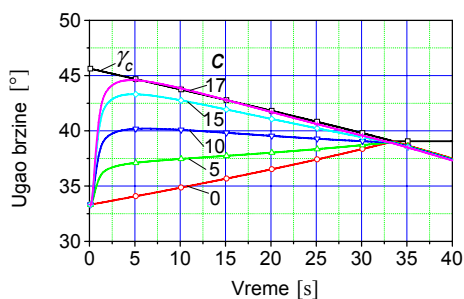


Sl. 6 – Parametri Lambertovog vođenja

Brzina rakete (slika 5) monotonno raste do trenutka $t_{co} = 33,5$ s kada dostiže vrednost korelisane brzine, pa se u tom trenutku prekida rad raketnog motora. Intenzitet korelisane brzine u istom periodu neznatno opada. Ugao korelisane brzine (γ_c) linearno opada sa vremenom leta, pri čemu zahtevani ugao vektora potiska najpre dostiže maksimalnu vrednost, da bi do prekida rada raketnog motora monotonno opadao do vrednosti koja je za $2-3^\circ$ veća od ugla korelisane brzine. U početnom delu putanje prisutna je intenzivna rotacija vektora brzine, a zatim ugao vektora brzine sa malim gradijentom opadanja teži ka vrednosti ugla korelisane brzine u trenutku prekida rada raketnog motora. Dinamika sistema upravljanja u potpunosti odgovara periodu Lambertovog vođenja, pošto ugao propinjanja θ već posle $2-3$ s dostiže zahtevani ugao vektora potiska θ_d .

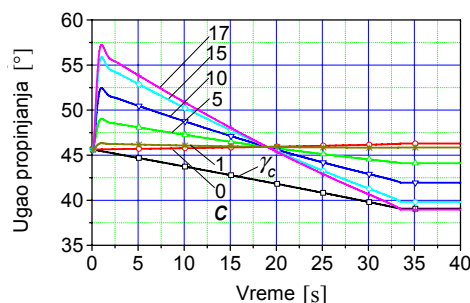
Uticaj faktora rotacije upravljačkog vektora brzine (c) na oblik dijagrama ugla propinjanja i ugla nagiba putanje prikazan je na slikama 7 i 8, respektivno. Ako je $c = 0$, ugao propinjanja rakete blago raste do prekida rada motora. Dijagram ugla brzine $\gamma(t)$ za $c = 0$ nalazi se malo ispod krive $\gamma(t)$ za $c = 1$, koja nije

prikazana na slici 7 zbog veoma male razlike u odnosu na krivu sa parametrom $c = 0$. Prema tome, ako je $c = 0$, vektor potiska se postavlja u pravcu upravljačkog vektora brzine V_g , a ugao najsporije raste ka uglu korelisane brzine γ_c . Ako je $c = 1$, ugao vektora potiska dostiže veoma brzo maksimalnu vrednost, a zatim blago opada do prekida rada raketnog motora. Gradijenti krivih $\gamma(t)$ i $\gamma_c(t)$ suprotnog su znaka, tako da je efekat rotacije na upravljački vektor brzine jednak nuli. Analitički je pokazano da upravljački vektor brzine V_g i njegov izvod $\dot{V}_g$ imaju isti pravac za $c = 1$. Sa porastom veličine c raste rotacioni efekat vektora potiska, tako da se ugao brzine više približava uglu korelisane brzine, a pri najvećim vrednostima c krive $\gamma(t)$ i $\gamma_c(t)$ se poklapaju.

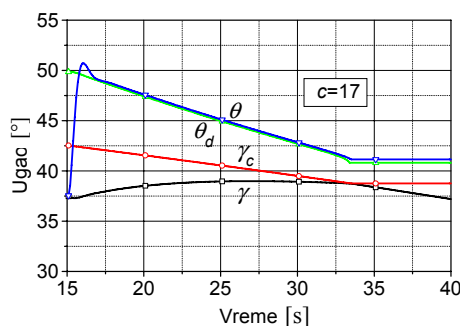


Sl. 7 – Uticaj faktora rotacije na ugao brzine rakete

Pri određenim vrednostima faktora rotacije ($c = 17$ na slikama 7 i 8) ugao brzine γ i ugao propinjanja θ teže ka istoj vrednosti, koja je jednaka uglu korelisane brzine γ_c , što znači da se prekid rada raketnog motora odvija pri nultom napadnom uglu ($\gamma_{co} = 0$). Ovakav režim leta povoljan je za balističke rakete, jer faza nevođenog ili slobodnog leta počinje minimalnim poremećajima.



Sl. 8 – Uticaj faktora rotacije na ugao propinjanja



Sl. 9 – Parametri leta rakete pri vođenju od $t = 15$ s

Kod balističkih raketa faza vođenja rakete obično ne počinje odmah po njenom lansiranju. Radi smanjenja aerodinamičkog opterećenja bira se program koji obezbeđuje manevar rakete u dozvučnoj oblasti. Po izlasku iz gustih slojeva atmosfere raketa prelazi na fazu Lambertovog vođenja sa mogućnošću izvođenja većih manevara. Na slici 9 prikazani su karakteristični parametri leta rakete, ako se Lambertovo vođenje uključi u $t = 15$ s. Preostalo vreme od oko 18 s dovoljno je da se početna greška – odstupanje ugla brzine od ugla korelisane brzine – $c = 5^\circ$ u potpunosti kompenzira i do-

stignu parametri koji obezbeđuju pogodañanje cilja na zadatom dometu u vremenu $t_{Tf} = 300$ s.

Zaključak

U radu je analiziran uticaj faktora rotacije na upravljački vektor brzine koja predstavlja ulaznu veličinu za Lambertovo vođenje balističke rakete. Radi potpunosti izloženog materijala, neki delovi, koji se odnose na korelisanu brzinu i upravljački vektor brzine, preuzeti su iz dostupne literature. Posle izvođenja fundamentalne diferencijalne jednačine upravljačkog vektora brzine, razvijena je formula za proračun zahtevane vrednosti ugla orijentacije vektora potiska u funkciji od parametra rotacije. Takav pristup zahteva poznavanje Q-matrice koja predstavlja vezu između diferencijalnih promena vektora položaja rakete i korelisane brzine.

U zavisnosti od stepena rotacije upravljačkog vektora brzine mogu se dobiti različiti profili promene uglova brzine i vektora potiska i izabrati vrednost koja odgovara postavljenoj misiji rakete. Podešavanjem faktora rotacije bira se prekid rada raketnog motora pri nultom napadnom uglu, čime se smanjuju neželjeni poremećaji rakete na početku faze balističkog leta.

Dalja istraživanja primene Lambertovog vođenja na balističke rakete, treba da obuhvate pojave vezane za atmosferski let kada se ne mogu zanemariti aerodinamičke sile i momenti. Razvoj efikasnih numeričkih algoritama za proračun korelisane brzine i Q-matrice predstavlja prioritet u realizaciji ove metode vođenja tokom cele faze ubrzavanja rakete.

Spisak oznaka:

a	=	ubrzanje potiska, m/s^2	V, V_m	=	vektor brzine rakete
a_n	=	normalno ubrzanje, m/s^2	V	=	intenzitet brzine rakete, m/s
a_x, a_y	=	projekcije ubrzanja	V_x, V_y	=	projekcije brzine rakete
b	=	vektor def. u (8)	V_c	=	vektor korelisane brzine
c	=	faktor rotacije vektora potiska	V_c	=	intenzitet korelisane brzine, m/s
F	=	vektor potiska	u_c, v_c, w_c	=	projekcije korelisane brzine
F	=	intenzitet sile potiska, kN	V_g	=	upravljački vektor brzine
f_T	=	vektor specifične sile	X_T	=	lučno rastojanje cilja
f_{Tx}, f_{Ty}	=	projekcije specifične sile, m/s^2		=	od lansirnog mesta, m
GM	=	gravitacioni parametar, $GM = 3,986 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$	α	=	napadni ugao rakete, $\text{rad}, ^\circ$
g	=	vektor gravitacionog ubrzanja	α_0	=	napadni ugao pri gašenju motora
m	=	masa rakete, kg		=	parametar def. u (39) i (42)
m_g	=	masa goriva, kg		=	ugao brzine rakete, $\text{rad}, ^\circ$
$\dot{m}$	=	sekundna potrošnja goriva, kg/s	α_c	=	ugao korelisane brzine, $\text{rad}, ^\circ$
h	=	visina leta rakete, m		=	ugao propinjanja rakete, $\text{rad}, ^\circ$
h_T	=	visina položaja cilja, m	d	=	zahtevani ugao propinjanja
I_{sp}	=	specifični impuls goriva, Ns/N		=	geografska širina, $\text{rad}, ^\circ$
p	=	vektor def. u (33)		=	centralni ugao rakete, $\text{rad}, ^\circ$
q	=	ugaona brzina propinjanja, rad/s	T	=	centralni ugao cilja, $\text{rad}, ^\circ$
Q	=	matrica 3×3 def. u (18) i (19)		=	odstupnje ugla brzine od ugla korelisane brzine, $\text{rad}, ^\circ$
r	=	vektor položaja rakete	n	=	sopstvena učestanost sistema upravljanja raketom, $1/\text{s}$
r_T	=	vektor položaja cilja		=	faktor relativnog prigušenja sistema upravljanja raketom
R	=	poluprečnik Zemlje, m		=	intenzitet vektora
s	=	Laplasov parametar	T	=	transponovanje matrice
t	=	tekuće vreme leta rakete, s	$(V \times)$	=	vektorski proizvod
t_b	=	vreme rada raketnog motora, s		=	$(V \times) = \begin{bmatrix} 0 & -V_z & V_y \\ V_z & 0 & -V_x \\ -V_y & V_x & 0 \end{bmatrix}$
t_{Tf}	=	ukupno vreme leta rakete, s		=	
T	=	konstanta kašnjenja ugla brzine	$(\cdot)$	=	skalarni proizvod dva vektora
t_{ff}	=	vreme slobodnog leta			

O_{xyz}	=	inercioni koordinatni sistem
IMJ	=	inerciona merna jedinica
BINS	=	besplatformni inercioni navigacioni sistem
0	=	početni uslov

Literatura:

- [1] Sioruris, M. G.: Missile Guidance and Control Systems, Spring-Verlag, New York, 2004.
- [2] Zarchan, P.: Tactical and Strategic Missile Guidance, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington, 1999.
- [3] Battin, R. H.: Lambert's Problem Revisited, AIAA Journal, Vol. 15, No. 5, May 1977, pp. 707–713.
- [4] Battin, R. H., Vaughan, R. M.: An Elegant Lambert Algorithm, J. Guidance, Vol. 7, No. 6, Nov.-Dec. 1984, pp. 662–670.
- [5] Calise, A. J., Melamed, N., and Lee, S.: Design and Evaluation of a Three-Dimensional Optimal Ascent Guidance Algorithm, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 21, No. 6, November-December 1998, pp. 867–875.
- [6] Pitman, R. G.: Inertial Guidance, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1962.
- [7] Mamuzić, Z. P.: Determinante, Matrice, Vektori, Analitička geometrija, Građevinska knjiga, Beograd, 1981.
- [8] Čuk, D.: Modifikacija programa za Lambertovo vođenje balističke rakete (Program u FORTRAN jeziku), Beograd, 2006.

Dr Milorad Savković,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

ISPITIVANJE PIROPATRONA I RAKETNOG MOTORA PILOTSKOG SEDIŠTA

UDC: 621.453 : 629.7.047.2

Rezime:

Raketni motor pilotskog sedišta ima složen geometrijski oblik, tako da njegov potisak deluje pod određenim uglom u odnosu na ravan simetrije pilotskog sedišta. Radi određivanja intenziteta i napadne linije potiska izvršen je veći broj eksperimenata. Meren je potisak raketnog motora na višekomponentnom opitnom stolu. Letno ispitivanje pilotskog sedišta obavljeno je pomoću lutke koja simulira masu pilota. Takođe, analizirano je letno ispitivanje pilotskog sedišta u početnom periodu katapultiranja za vreme rada raketnog motora. Obrađeni su i rezultati merenja ubrzanja, koji su korišćeni za određivanje karakteristika leta pilotskog sedišta. U radu je prikazan teorijski model kretanja sedišta.

Ključne reči: pilotsko sedište, katapultiranje pilotskog sedišta, raketni motor, ubrzanje.

TESTING PYROCARTRIGES AND THE ROCKET MOTOR OF THE EJECTION SEAT

Summary:

Due to a complex geometrical shape of the rocket motor of the ejection seat, the rocket motor thrust occurs under certain angle in relation to the plane of symmetry of the ejection seat. A number of tests were carried out in order to determine thrust intensity and angle of attack. The rocket motor thrust was measured on the multicomponent test stand. The ejection seat with a dummy simulating a mass of a pilot was tested during ejection. The paper presents an analysis of the ejection seat flight in the initial phase of ejection, during the rocket motor running. The results of the acceleration read-outs were processed and then used for the determination of the characteristics of the ejection seat flight. A theoretical model of the ejection seat flight is given in the paper.

Key words: ejection seat, ejection seat egression, rocket motor, acceleration.

Uvod

U sistemu spasavanja pilota iz aviona izbacivo sedište obezbeđuje više različitih funkcija od kojih je najznačajnije prinudno napuštanje aviona (katapultiranje). Cilj katapultiranja jeste da se pilot zajedno sa sedištem odbaci od aviona na bezbednu udaljenost i da se ostvare uslovi za otvaranje padobrana.

Ceo proces, od trenutka aktiviranja izbacivog sedišta do trenutka prizemljenja,

potpuno je automatizovan 1, 2, 3 i ostvaruje se aktiviranjem pojedinih pirotehničkih elemenata po određenom redosledu. Pirotehnički elementi su piropatrone i raketni motor. Na početku katapultiranja, pod dejstvom piropatrone, sedište klizi duž vodice teleskopske cevi. Nakon razdvajanja sedišta i teleskopa aktivira se raketni motor. Rad raketnog motora omogućava da se pilot pravovremeno nađe na bezbednoj udaljenosti od letelice i da ima odgovarajuću brzinu za pravilnu funkciju padobrana.

Savremena pilotska sedišta sa raketnim motorom omogućavaju spasavanje pilota i pri nultoj visini i nultoj brzini aviona. Brzina sedišta u trenutku aktiviranja padobrana mora biti veća od kritične brzine za otvaranje padobrana, bez obzira na prethodnu brzinu aviona. Tokom prizemljenja na određenoj visini dolazi do razdvajanja pilota i sedišta.

Piropatrone i raketni motor pilotskog sedišta moraju biti vrlo pouzdani 14. Piropatrone treba da ostvare pritisak gasovitih produkata sagorevanja, a raketni motor potisak, sa minimalnim odstupanjem od nominalne vrednosti. Mlaznice raketnog motora su zakošene u dve ravni, tako da potisak ne leži u ravni simetrije motora, čime je postignuto da se putanje aviona i pilotskog sedišta razilaze. Zbog toga je, tokom razvoja i provere kvaliteta piropatrone i raketnih motora, veoma važno da se izvrši korektno ispitivanje pritiska kod piropatrone, odnosno potiska raketnog motora.

Rezultujući potisak i moment raketnog motora pilotskog sedišta

Određivanje vektora potiska raketnog motora izbacivog pilotskog sedišta podrazumeva određivanje intenziteta i

napadne linije ovog vektora na osnovu izmerenih veličina na višekomponentnom opitnom stolu 5, 6, 7 na kojem se obavlja ispitivanje (sl. 1).

Tokom rada raketnog motora na opitnom stolu mere se komponente (F_x , F_y i F_z) glavnog vektora sistema $F_R(t)$ i komponente (M_x , M_y i M_z) glavnog momenta sistema $M(t)$. Ovi vektori svedeni su na redukcionu tačku O, a komponente vektora date su za koordinatne ose x, y i z, prema slici 2.

Obradom rezultata merenja dobijaju se srednje vrednosti F_R i M , čiji intenziteti pomnoženi sa efektivnim vremenom t_{ef} rada motora daju integrale intenziteta tih veličina.

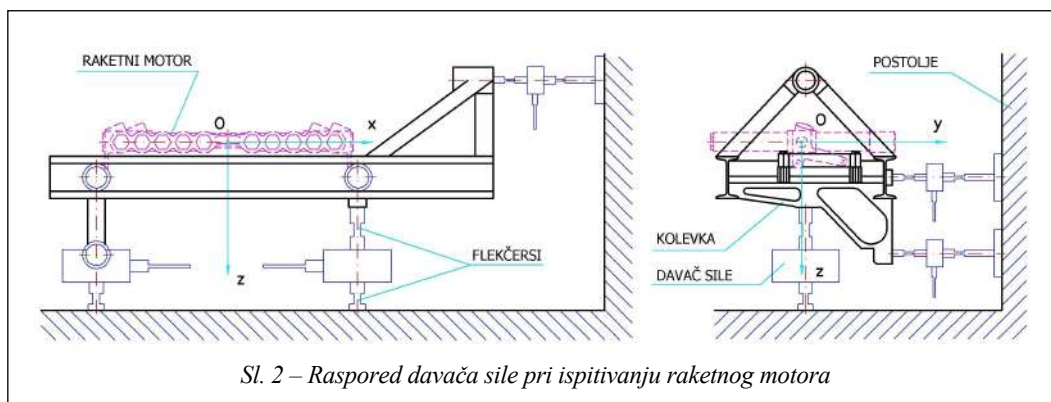
Srednje vrednosti glavnih vektora sile i momenta određuju se iz relacija:

$$\begin{aligned}\overline{F_R} &= \frac{1}{t_{ef}} \cdot \int_0^{t_u} \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \cdot dt \\ \overline{M} &= \frac{1}{t_{ef}} \cdot \int_0^{t_u} \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \cdot dt\end{aligned}\quad (1)$$

Rezultujuća sila je po intenzitetu jednaka glavnom vektoru sile i leži na centralnoj osi sistema. Rezultujuća sila i

Sl. 1 – Ispitivanje raketnog motora na višekomponentnom opitnom stolu





moment nalaze se pod određenim prostornim uglom koji se određuje iz relacije 4, 7 :

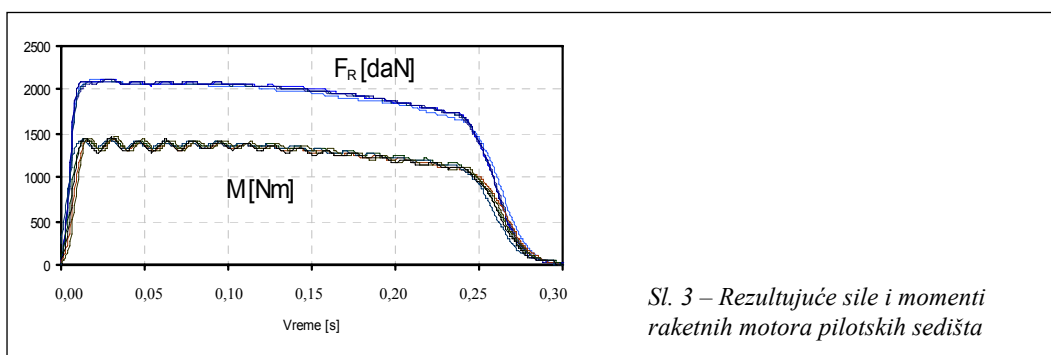
$$= \arccos \frac{F_x \cdot M_x + F_y \cdot M_y + F_z \cdot M_z}{\sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}} \quad (2)$$

Izmerene vrednosti rezultujuće sile i momenta

Radi određivanja intenziteta i pravca delovanja potiska izvršen je veći broj statičkih opita sa originalnim i domaćim raketnim motorima pilotskih sedišta [9, 10, 11]. U funkciji vremena merene su tri

komponente vektora potiska i momenti oko tri ose sistema. Odgovarajućom obradom rezultata merenja [4, 5, 6, 7], za svaki opit određeni su totalni impuls rezultujuće sile, integral glavnog momenta i srednja vrednost ugla između glavnog vektora sile i momenta.

U eksperimentima je dobijena zadovoljavajuća reproduktivnost rezultata izmerenih veličina sile i momenata sa odstupanjima od nekoliko procenata. Ugao između glavnog vektora sile i momenta je 90° . Utvrđeno je da se odstupanje ugla u realizovanim opitima kretalo u granicama 1° . Tipični dijagrami rezultujuće sile i momenta raketnog motora pilotskog sedišta u funkciji vremena prikazani su na slici 3.



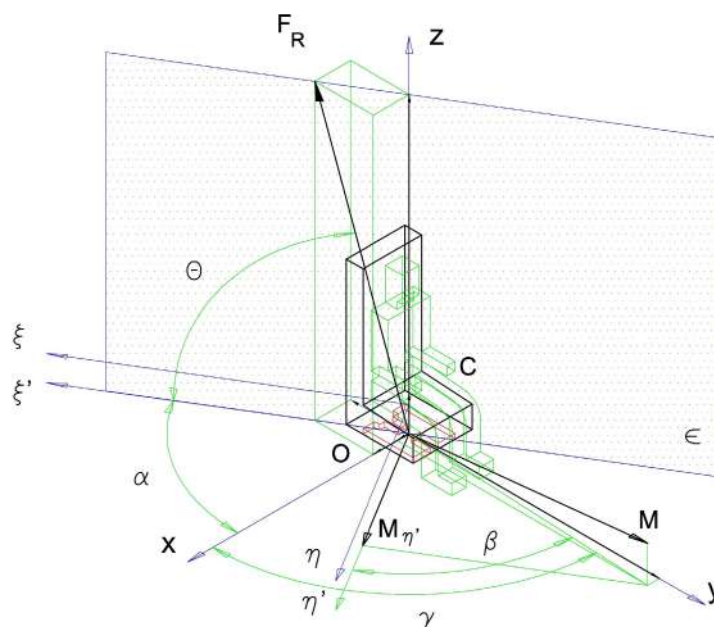
Kretanje pilotskog sedišta u početnom periodu katapultiranja

Raketni motor aktivira se neposredno posle dejstva piropatrone koje su zadužene za ostvarenje početne visine i brzine sedišta. U vreme dejstva piropatrone sedišta je vezano za avion i kreće se po balističkom katapultu. Balistički katapult sadrži teleskopske cevi koje se izvlače i služe kao vođice. Međutim, u trenutku kada se aktivira raketni motor sedišta je slobodno. Ako je avion bio u pokretu u trenutku započinjanja katapultiranja, sedišta je i pod dejstvom intenzivne vazdušne struje. Sile koje deluju na sedišta usmeravaju njegovo kretanje. Najintenzivnija sila je potisak raketnog motora. Otpor vazduha i težina sedišta, iako su manje sile, znatno utiču na trajektoriju sedišta.

Teorijska putanja

Potisak raketnog motora deluje na sistem sedišta–pilot sa rezultujućom silom i momentom, koji se nalaze pod određenim prostornim uglom u odnosu na silu težine i otpor vazduha.

Za teorijsku analizu kretanja usvaja se, prema slici 4, pravougli koordinatni sistem (C, x, y, z) sa koordinatnim početkom na avionu, gde se nalazio centar mase sedišta zajedno sa pilotom u početnom trenutku. Uvode se određena uprošćenja, kao što je pretpostavka o kretanju sedišta kao materijalne tačke u vertikalnoj ravni ϵ u kojoj deluje rezultujuća sila i nalazi se koordinatni početak, tačka C . Model pretpostavlja da se težište (tačka C) sistema sedišta, zajedno sa pilotom i opremom, nalazi u ravni dejstva rezultujuće sile. Ove pretpostavke mogu da važe samo u prvom približenju, a prihvatljivi-



Sl. 4 – Šematski prikaz pilotskog sedišta u početnom trenutku aktiviranja raketnog motora u procesu katapultiranja

ve su, jer se analizira jedan kratak deo trajektorije sedišta u periodu rada raketnog motora, koji traje oko 0,3 s.

Rezultujuća sila i moment raketnog motora, prema radu [7], određeni su statičkim ispitivanjem na višekomponentnom opitnom stolu za koordinatni sistem raketnog motora (O, x, y, z).

Vertikalna ravan ϵ , u kojoj leži rezultujuća sila, preseca ravan xOz (sl. 4), pod uglom:

$$\alpha = \arctg \frac{F_y}{F_x} \quad (3)$$

Pretpostavlja se da se tačka C , koja predstavlja težište sistema sedišta-pilot, nalazi u ravni ϵ . Početni ugao dejstva rezultujuće sile u ravni ϵ u odnosu na osu $O'x'$ je:

$$\alpha_0 = \arctg \frac{F_z}{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}} \quad (4)$$

Projekcija rezultujućeg momenta M na osu $O'x'$, koja je upravna na ravan ϵ je:

$$M_{\eta'} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \cdot \cos \beta$$

gde su:

$$\beta = \gamma - \alpha - \frac{\pi}{2} \text{ i } \gamma = \arctg \frac{M_y}{M_x} \quad (5)$$

Posle zamene i translacije momenta na paralelnu osu C dobija se ukupni moment koji deluje u težišnoj tački sistema sedišta-pilot i upravan je na ravan ϵ . Taj moment iznosi:

$$M_{\eta} = \frac{M_y \cdot F_x - M_x \cdot F_y}{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}} - e \cdot \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (6)$$

gde je e – udaljenost rezultujuće sile od težišta sistema.

U usvojenom modelu sistem sedišta-pilot predstavljen je masom m promenljivog intenziteta, konstantnim momentom inercije I i poprečnim presekom A_s . Moment inercije određen je pomoću programa na PC računaru, korišćenjem solid modeliranja sedišta, raketnog motora i pilota (sl. 5). Za osu C određen je moment inercije svakog od tih sklopova.



Sl. 5 – Lutka – model pilota

Diferencijalne jednačine kretanja sedišta

U koordinatnom sistemu (C, x, z), koji je vezan za avion, tačka C predstavlja težište sistema pilot-sedište u početnom trenutku neposredno pre početka kaptapultiranja.

Diferencijalne jednačine kretanja sedišta pod dejstvom raketnog motora, u ravni Cz , su:

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} &= \frac{F_R}{m} \cdot \cos \varphi - \frac{1}{2 \cdot m} \cdot \\ &\cdot A_S \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_D(M_a) - g \cdot \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{F_R}{m} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1}{V} - g \cdot \cos \theta \cdot \frac{1}{V}, \\ \frac{d\xi}{dt} &= V \cdot \cos \theta, \quad \frac{dz}{dt} = V \cdot \sin \theta, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{M_\eta}{I_\eta}, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad \frac{dm}{dt} = -\frac{F_R}{I_{SP}}\end{aligned}\quad (7)$$

Veličine koje se modelom određuju u ravni ϵ su: brzina sedišta V , ugao θ koji tangenta na trajektoriju putanje zaklapa sa osom C , koordinate ξ i z položaja sedišta, pređeni put s , ugao φ i ugaona brzina sedišta ω , kao i promena mase sedišta m . Rešenje diferencijalnih jednačina omogućava teorijsku analizu promene ubrzanja, brzine i pređenog puta sedišta.

U rešavanju sistema diferencijalnih jednačina polazi se od toga da su poznati uslovi kretanja kroz vazduh, koeficijent otpora $C_D(M_a)$ u funkciji Mahovog broja M_a , gustina vazduha ρ i gravitaciona konstanta g . Ispitivanjem na opitnom stolu utvrđeni su: specifični impuls I_{sp} raketnog motora, rezultujući potisak $F_R(t)$ i projekcija glavnog momenta $M(t)$.

Usvajaju se sledeći početni uslovi:

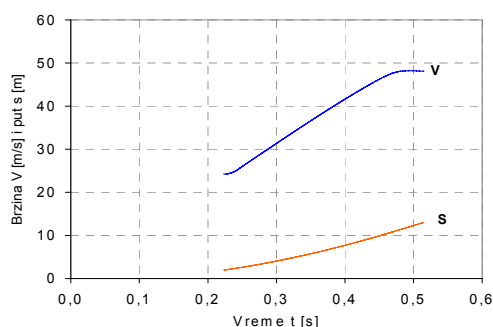
- θ_0 i z_0 , početni položaj sedišta u ravni ϵ u trenutku početka rada motora, odnosno na kraju rada piropatrona po napuštanju teleskopske cevi balističkog katapultula,
- ω_0 , početni ugao rezultujuće sile raketnog motora u odnosu na osu C , koji približno odgovara uglu brzine sedišta na kraju rada piropatrona,
- V_0 , početna brzina sedišta pod dejstvom piropatrona,

– $\theta_0 = 0$ i $\omega_0 = 0$, početni ugao i ugaona brzina,

– $m = m_0$, početna masa koja odgovara ukupnoj masi sedišta i pilota sa opremom. Pod masom sedišta podrazumeva se masa letnog dela sedišta i raketnog motora sa pogonskim punjenjem.

Rezultat rešenja diferencijalnih jednačina

Sistem diferencijalnih jednačina rešavan je metodom Runge-Kutta [12]. Na dijagramima (slika 6) prikazani su rezultati izračunatog vremenskog toka brzine V i puta s u slučaju katapultiranja sedišta pri nultoj visini i nultoj brzini aviona.



Sl. 6 – Karakteristike leta sedišta iz rešenja diferencijalnih jednačina

Kretanje pilotskog sedišta je složeno, ali se uz određena uprošćenja može prihvatiti model kretanja u jednoj ravni, kako je prikazano u radu. Prosečna vrednost ubrzanja je oko 105 m/s^2 , a zaokretanje oko ose θ iznosi $-8,3^\circ$.

Letno ispitivanje pilotskog sedišta

Poligonsko ispitivanje (sl. 7) vršeno je lansiranjem pilotskog sedišta u statičkim uslovima, slično uslovima katapultiranja pilota pri nultoj visini i brzini aviona.



Sl. 7 – Katapultiranje pilotskog sedišta

Za te potrebe izrađena je lansirna rampa u krutom spoju sa podlogom. Na lansirnu rampu montiran je balistički katapult sa sedištem i drvenom lutkom koja ima masu, položaj težišta i momente inercije slične pilotu (sl. 5). Lutka je za sedišta vezana standardnim pilotskim vezama. Pri ispitivanju vršeno je merenje ubrzanja i praćenje leta sedišta sa više ultrabrzih kamera [13].

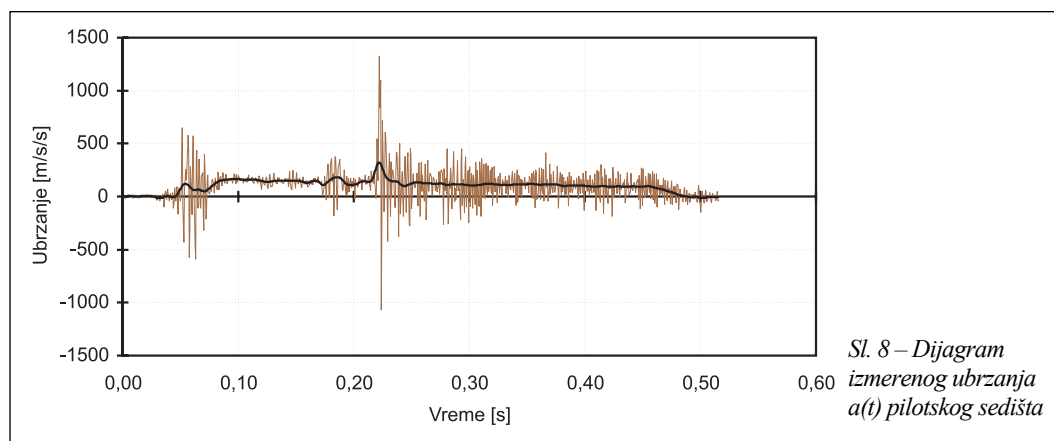
Merenje ubrzanja

Ubrzanje je mereno na jednom mernom mestu i to na vrhu naslona sedišta sa desne strane pilota. Pretvarač ubrzanja i

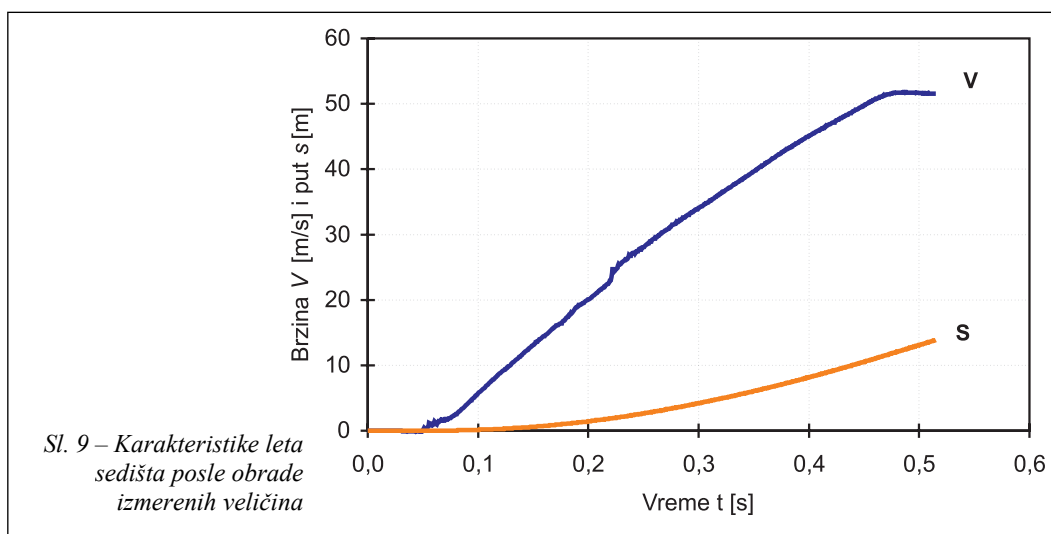
sedište bili su u čvrstoj vezi. Merni lanac sastojao se od: pretvarača ubrzanja na principu merne trake, pojačivača na principu mernog mosta, mernog magnetofona i kablova za povezivanje pojedinih elemenata mernog lanca.

Vremenski tok ubrzanja, reprodukovani sa trake mernog magnetofona, digitalizovan je pomoću digitalnog osciloskopa i obrađen je pomoću posebnog programa. Merni zapis ubrzanja prikazan je na slici 8. Vremenski tok izmerenog ubrzanja, pored jednosmerne komponente, sadrži i više harmonika (naizmjeničnih komponenti) visokog intenziteta oscilovanja koji su generisani usled impulsne pobude sistema pilot–sedište i znatno zavise od načina ispitivanja (karakter veze elemenata u sistemu i uticaj položaja mernog mesta).

Jednosmerna komponenta ubrzanja dolazi od kretanja sistema pilot–sedište, dok su naizmjenične komponente lokalnog karaktera i nastaju od oscilovanja tačaka sistema oko svog ravnotežnog položaja. Naizmjenično ubrzanje viših učestanosti, kao u ovom slučaju, nije opasno po ljude pri jednokratnom izlaganju.



Sl. 8 – Dijagram izmerenog ubrzanja $a(t)$ pilotskog sedišta



Obavljena je obrada vremenskog toka ubrzanja, koja pokazuje da je zanemarljiv uticaj naizmeničnih komponenti ubrzanja na brzinu i put sistema pilot–sedište. Obrada, u osnovi, sadrži dvostruku integraciju izmerenog ubrzanja, pri čemu prva integracija daje brzinu, a druga integracija put sistema pilot–sedište (sl. 9).

Iz dijagrama sa slike 9 vidi se da je brzina sedišta tokom većeg dela puta bila veoma stabilna, sem u trenutku odvajanja sedišta od katapulta i da je imala naglašeno linearan karakter i to sa jednim koeficijentom pravca od dejstva piropatrona i sa drugim koeficijentom pravca od dejstva raketnog motora.

Vrednosti ovih koeficijenata pravca predstavljaju prosečnu vrednost ubrzanja koje deluje na pilota u toku katapultiranja.

Upoređenje teorijskih i eksperimentalnih rezultata

Uspešnost katapultiranja pilotskog sedišta zavisi od mnogih faktora, a jedan od presudnih u početnom delu ka-

tapultiranja je odgovarajuća brzina sedišta sa pilotom na kraju rada piropatrona i raketnog motora. Pri tome je važno da ubrzanje koje deluje na pilota bude u određenim granicama. Prosečna vrednost ubrzanja kojem je pilot izložen određuje se na osnovu ubrzanja dobijenog iz toka brzine, odnosno koeficijenta pravca krive (sl. 9), koja je dobijena obradom, odnosno integraljenjem izmerenog ubrzanja.

Rešenje diferencijalnih jednačina veoma dobro ilustruje tok kretanja sedišta pod dejstvom raketnog motora. Teorijski određena maksimalna brzina sedišta (sl. 6) na kraju rada raketnog motora razlikuje se od brzine određene obradom rezultata (sl. 9) letnih ispitivanja za oko 7%, a pređeni put za oko 6%. Ovo odstupanje je prihvatljivo i očekivano, jer brzina dobijena obradom eksperimentalnih rezultata predstavlja intenzitet apsolutne brzine sedišta u prostoru, dok je brzina dobijena rešavanjem diferencijalnih jednačina – brzina u jednoj vertikalnoj ravni, izračunata uz određene pretpostavke i uprošćenja.

Zaključak

Pri statičkom ispitivanju raketnog motora na višekomponentnom opitnom stolu merene su tri komponente sile i tri komponente momenta. Rezultati merenja pokazali su da su glavni vektori sile i momenta upravni.

Na osnovu izmerenih vrednosti potiska i momenta koje ostvaruje raketni motor, kao i podataka o sedištu i pilotu, izrađen je teorijski model kretanja sedišta u jednoj ravni pri katapultiranju.

Eksperimentalna metoda koristi rezultate merenja ubrzanja sedišta u toku katapultiranja pilotskog sedišta, što je obavljeno pomoću lutke koja je simulirala pilota. Rezultati merenja ubrzanja se obrađuju i, na osnovu toga, dobijaju karakteristike leta sedišta.

Predložene metode, teorijske i eksperimentalne, daju rezultate koji imaju prihvatljivo slaganje.

Literatura:

- 1 Ganes, M.: Eject, eject, eject, FLIGHT Internacional, 9 Maj, pp. 1304–1310, 1981.
- 2 Winn, A.: Fast exit, FLIGHT Internacional, 18–24 June, pp. 56–60, 1997.
- 3 Hewish, M.: Bringing safety down to earth, Janes international, defense review, N 5, pp. 48–53, 1999.
- 4 Rusov, L.: Mehanika I – Statika, Privredni pregled, Beograd, 1973.
- 5 Lazić, R.: Primena savitljivih elemenata u ispitivanju raketnih motora, Naučnotehnički pregled, Vol XXXIV, br. 2, pp. 19–28, 1984.
- 6 Kobilarev, M.: Metode obrade podataka osnovnih mernih parametara raketnih motora na čvrsto gorivo, Naučnotehnički pregled, Vol XXXII, br. 10, pp. 57–66, 1982.
- 7 Savković, M.: Određivanje potiska raketnog motora pilotskog sedišta na višekomponentnom opitnom stolu, Naučnotehnički pregled, Vol XLVII, br. 3, pp. 17–20, 1997.
- 8 Savković, M.: Analiza kretanja pilotskog sedišta u početnom periodu katapultiranja, Naučnotehnički pregled, Vol XLVIII, br. 4, pp. 26–29, 1998.
- 9 Nenadović, Lj.: Rezultati ispitivanja PP raketnih motora pilotskih sedišta „MB“ na višekomponentnom stolu, VTI-03-01-0386, VTI Beograd, 1997.
- 10 Savković, M.: Ispitivanje originalnih uzoraka raketnih motora pilotskih sedišta, VTI-03-01-0350, VTI Beograd, 1994.
- 11 Savković, M.: Izveštaj o drugom kontrolnom ispitivanju originalnih raketnih motora pilotskih sedišta, VTI-03-01-0396, VTI Beograd, 1995.
- 12 Zarchsn, P.: Tactical and strategic missile guidance, Wachtinton, 1989.
- 13 Savković, M.: Potisak raketnog motora pilotskog sedišta određen na osnovu ispitivanja lansiranjem sa zemlje, Naučnotehnički pregled, Vol LI, br. 6, pp. 95–97, 2001.
- 14 Savković, M.: Proizvodnja piropatrone i raketnih motora pilotskih sedišta, Vojnotehnički glasnik, br. 1, Beograd, 2006.

Đuro Jovanić,
kapetan, dipl. ekon.
VP 1403,
Beograd

STANDARD NIJ 0115.00 ZA TESTIRANJE OTPORNOSTI ZAŠTITNIH PRSLUKA NA UBODE NOŽEM I PREDMETIMA SA OŠTRIM VRHOM

UDC: 614.082.2 : 646.43] : 623.444.6

Rezime:

Standard NIJ 0115.00 (prema Nacionalnom institutu pravde SAD), namenjen je za utvrđivanje minimuma tehničkih zahteva i metoda ispitivanja otpornosti zaštitnih prsluka, koji treba da zaštite gornji deo tela od uboda nožem i predmetima sa oštrim vrhom. Područje primene ovog standarda ograničeno je samo na pretnje ubodima, a ne na balističke pretnje, poput onih koje su obuhvaćene standardom NIJ 0101.04 za testiranje balističke otpornosti zaštitnih prsluka.

Ključne reči: energija, upadni ugao, penetracija, ispravan pogodak, nož, sečivo, šilo, deformacija, zaštitni prsluk, uzorak.

NIJ 0115.00 STANDARD FOR TESTING STAB RESISTANCE OF BODY ARMOR

Summary:

In this work made presentation of NIJ 0115.04. (National Institute of Justice) standard, witch purpose is to establish minimum performance requirements and methods of testing for the stab resistance of body armor intended to protect the torso against slash and stab threats. The scope of the standard is limited to stab resistance only; the standard does not address ballistic threats, as those are covered by NIJ Standard 0101.04. Ballistic Resistance of Personal Body Armor.

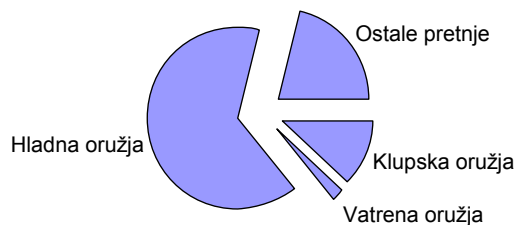
Key words: energy, angle of incidence, penetration, fair hit, knife, blade, spike, deformation, body armor, sample.

Uvod

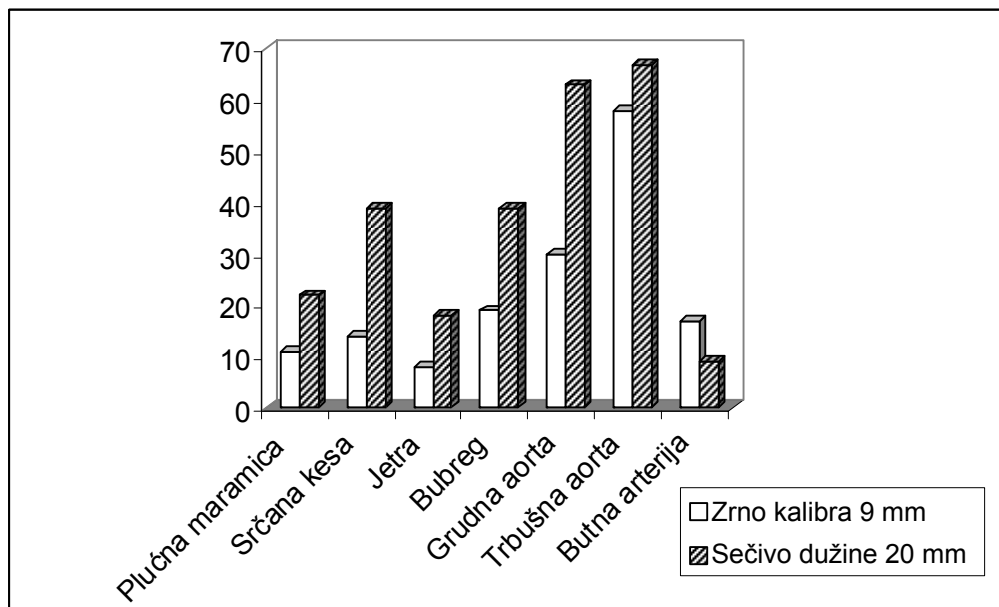
Pod uticajem povećanja sofisticiranosti vatrenog oružja proizvođači zaštitnih prsluka su svoja istraživanja usmerili na segment zaštite integriteta lica izloženih balističkim pretnjama, što je, uglavnom, rezultiralo zapostavljanjem oblasti zaštite od pretnji tradicionalnim – hladnim oružjem.

S druge strane, statistička ispitivanja u poslednjoj deceniji XX veka pokazala su da na pripadnike vojske i policije, pri obavljanju redovnih poslova bezbednosti, pre-

ko 65% napada biva izvršeno nožem ili predmetom sa oštrim vrhom, 12% klupskim oružjem (palice, šipke, lanci, bokseri i sl.), dok se napadi vatrenim oružjem izvrše samo u 2% slučajeva (slika 1).



Sl. 1 – Napadi u zavisnosti od vrste oružja



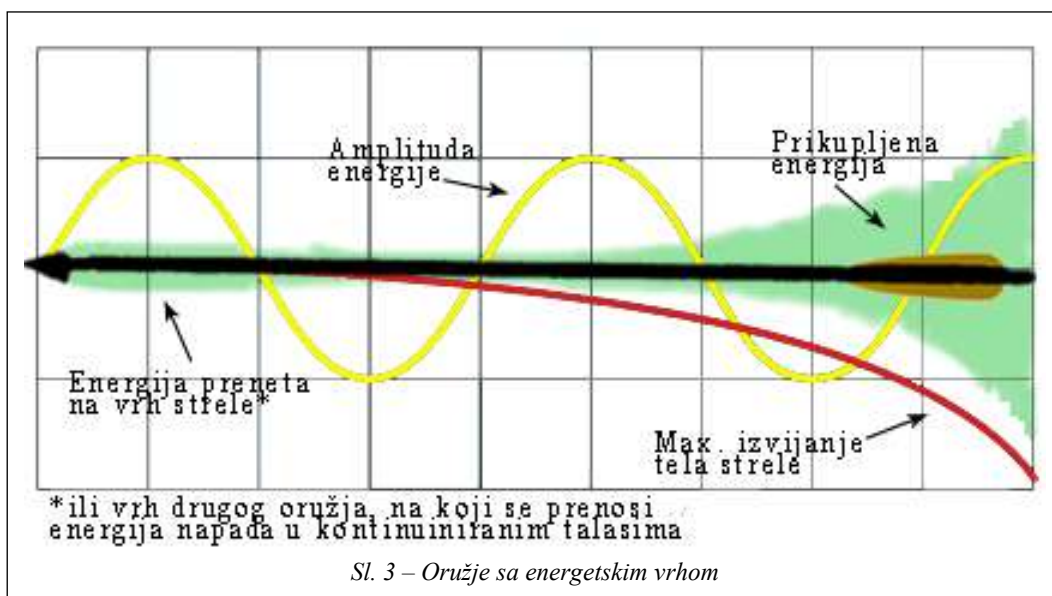
Sl. 2 – Uporedni pregled povreda nanesenih „sečivom“ dužine 20 mm i zrnima kalibra 9 mm

Statistički gledano, od 5 slučajeva povreda izazvanih nožem ili predmetom sa oštrim vrhom, čak tri imaju smrtonosan ishod. Šta više, penetracija sečivom dubine od 20 mm u predelu vitalnih organa, u većini slučajeva rezultuje fatalnijim ishodom nego iste povrede nanese pojednim zrnima kalibra 9 mm (slika 2).

Analizirajući navedene, kao i mnoge druge rezultate ispitivanja vezane za napade hladnim oružjem, otpočelo se sa formulisanjem standarda pomoću kojeg bi se utvrdili minimumi tehničkih zahteva i propisale metode ispitivanja otpornosti zaštitnih prsluka, koji treba da zaštite gornji deo tela (torzo) od dejstva uboda nožem i predmeta sa oštrim vrhom. Ovom projektu pristupili su UKPSDB (United Kingdom Police Scientific Development Branch) i USNIST

(United States National Institute of Standards and technology), što je rezultiralo standardom NIJ 0115.00, kao zajedničkom tehničkom dokumentu, koji preciznije definiše zahteve o obeležavanju, kriterijume za prijem i postupke merenja otiska u materijalu iza zaštitnog prsluka, odnoseći se u svojoj primeni isključivo na zaštitu od uboda nožem i predmeta sa oštrim vrhom. Zahvaljujući tome što u svojoj primeni standard NIJ 0115.00 isključuje sve druge vidove pretnji vezane za testiranje zaštitnih prsluka, poput balističkih (nastalih dejstvom vatrenog oružja), pretnji od povreda tupim ili energetskim¹ vrhom (slika 3), ovaj standard se smatra zasebnim u oblastima ispitivanja zaštitnih prsluka.

¹ U okviru NIJ standarda pod pojmom „oružje sa energetskim vrhom“ podrazumevaju se sva hladna oružja čiji vrh prenosi energiju napada na kontaktnu površinu u kontinuiranim talasima (vrhovi strela, kopalja i sl.).



Klasifikacija zaštitnih prsluka

Svi zaštitni prsluci obuhvaćeni standardom NIJ 0115.00, u zavisnosti od vrste pretnji (nož ili šilo), klasifikuju se na dva tačno određena tipa zaštite:

- tip I, namenjen za zaštitu od uboda komercijalnih – mašinski izrađenih i naoštrenih sečiva – vrhova noža. Za ovaj tip zaštitnih prsluka koristi se komercijalna oznaka „EB“ (Edged Blade).

- tip II, namenjen za zaštitu od dejstva noža i predmeta sa oštrim vrhom, izrađenim od materijala lošijeg kvaliteta, improvizovane – ručne izrade i finiširanja (oštrjenja). Ovaj tip zaštitnog prsluka nosi komercijalnu oznaku „S“ (Spike).

Pored samih tipova pretnji, prsluci namenjeni za zaštitu od uboda nožem i drugih predmeta sa oštrim vrhom klasifikuju se na tri različita nivoa zaštite, za čije određivanje se uzima nivo energije uboda u trenutku udara u zaštitni prsluk. Energije uboda

koje se koriste za određivanje nivoa zaštite, dobijene su testiranjem muškog dela populacije u periodu od 1997. do 1999. godine, koje je izvršila organizacija PSDB. Naime, uzimanjem aritmetičke sredine proizvedenih energija uboda, na osnovu tri najčešće tehnike uboda nožem ili predmetom sa oštrim vrhom (od gore, od dole, sa strane), došlo se do rezultata da: energiju najnižeg nivoa proizvodi 85% dela testirane populacije; energiju srednjeg nivoa – 90% dela populacije, a energiju najvišeg nivoa – 96% dela testirane populacije.

Radi dobijanja što pouzdanijeg rezultata testiranja, bez obzira na to o kom nivou zaštite se radi, u standardu NIJ 0115.00 izričito se zahteva da svaki uzorak zaštitnog prsluka bude testiran sa dva različita nivoa energija uboda, uzimajući tako najnižu zadovoljenu vrednost energije uboda za određivanje nivoa zaštite prsluka (tabela 1).

Tabela 1

NIJ 0115.00 – Nivoi zaštite u odnosu na energiju uboda nožem ili predmetom sa oštrim vrhom

Nivo zaštite	„E1“ osnovna energija uboda		„E2“ krajnja energija uboda		Način i vreme nošenja
	J	ft·lbf	J	ft·lbf	
1	24 ± 0,50	17,7 ± 0,36	36 ± 0,60	26,6 ± 0,44	C + ExW
2	33 ± 0,60	24,3 ± 0,44	50 ± 0,70	36,9 ± 0,51	C/O + ExW
3	43 ± 0,60	31,7 ± 0,44	65 ± 0,80	47,9 ± 0,59	O + SW

Legenda:
C (Covert) – skriveni način nošenja zaštitnog prsluka – ispod gornje odeće; O (Overt) – otkriveni način nošenja zaštitnog prsluka – iznad gornjeg ili kao gornji deo odeće, namenjeni za nošenje u situacijama sa većim stepenom rizika; C/O (Covert/Overt) kombinacija nošenja u zavisnosti od konkretne situacije i stepena rizika; ExW (Extended Wear) – zaštitni prsluci namenjeni za neprekidno-produženo nošenje; SW (Short Wear) – zaštitni prsluci specijalne namene, koji se upotrebljavaju u situacijama sa izuzetno visokim stepenom rizika, velike težine i malog komfora pri nošenju.

Definisani nivo zaštite pruža mogućnost lakog određivanja načina i dužine nošenja zaštitnog prsluka. Tako se za određene tipove zaštite, u zavisnosti od proizvođača ili na zahtev krajnjeg korisnika, prsluci namenjeni za zaštitu od uboda nožem ili predmetima sa oštrim vrhom, izrađuju kao gotovi odevni predmeti: jakne, sakoi, kaputi ili prsluci sa zaštitnim umecima (panelima).

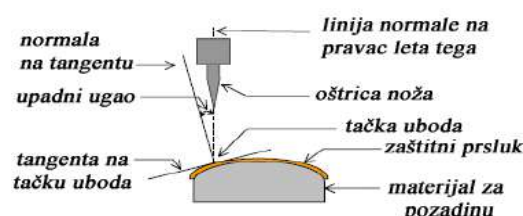
Karakteristike zaštitnih prsluka

Uzorkovanje zaštitnih prsluka obavlja se metodom slučajnog uzorka, tj. izdvajanjem najmanje tri kompletna i ispravna prsluka, po mogućnosti što većih konfekcijskih veličina, radi povećanja verovatnoće da će se testiranje završiti na manjem broju kompleta prsluka. Najčešće se uzimaju uzorci prsluka koji odgovaraju za obime grudi od 117 cm (46,1 in) do 122 cm (48,0 in), kada su u pitanju

muškarci, ili od 107 cm (42,1 in) do 112 cm (44,0 in), kada se radi o zaštitnim prslucima namenjenim ženama.

Potvrda (sertifikat) o ispravnosti predstavlja dokument u kojem proizvođač izjavljuje da proizvodna jedinica zaštitnog prsluka ispunjava ili premašuje sve zahteve ovog standarda za navedeni nivo zaštite.

Upadni ugao predstavlja ugao između linije udara noža ili predmeta sa oštrim vrhom i normale na tangentnu ravan do tačke udara (slika 4).

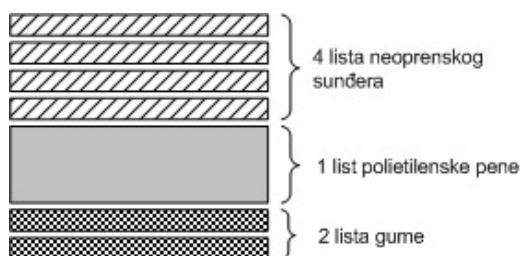


Sl. 4 – Upadni ugao

Materijal za pozadinu predstavlja izmodelirani blok, postavljen tako da bude u kontaktu sa zadnjom stranom ispitivanog uzorka prsluka za sve vreme ispitivanja. Minimalne dimenzije materijala za pozadinu treba da iznose 381 mm (15,0 in) u dužinu i 305 mm (12,0 in) u širinu, koje se smatraju dovoljnim za kompletno naslanjanje ispitivanog dela prsluka.

Materijal za pozadinu sastavljen je od sledećih komponenti (slika 5):

- četiri spojena lista neoprenskog sundera, ukupne debljine 5,8 mm (0,23 in);
- jedan list polietilenske pene, ukupne debljine 31 mm (0,23 in) i gustine od 33 kg/m³ (2,06 lb/ft³);
- dva lista prirodne gume, ukupne debljine 6,4 mm (0,25 in).



Sl. 5 – Materijal za pozadinu

Pre početka testiranja materijal za pozadinu treba da se kondicionira najmanje 12 h, na temperaturi od $21^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ($70^{\circ}\text{F} \pm 10^{\circ}\text{F}$) i relativnoj vlažnosti od $50\% \pm 20\%$. Uslovi kondicioniranja se mere pre i posle testa, kao i svaka 4 h za vreme trajanja testiranja, a njihove vrednosti se obavezno dokumentuju. Testiranje se obavlja tako što se čelična kugla, mase $1,042\text{ kg}$ ($2,297\text{ lb}$) i prečnika $45,5 \pm 0,5\text{ mm}$ ($1,75 \pm 0,02\text{ in}$), pušta da slobodno pada sa visine od $1500\text{ mm} \pm 15\text{ mm}$ ($59\text{ in} \pm 0,59\text{ in}$) na udarnu stranu materijala za pozadinu, sa ciljem da se odbije na visinu od $450\text{ mm} \pm 102\text{ mm}$ ($17,7\text{ in} \pm 4,0\text{ in}$).

Svako mesto udara mora se jasno obeležiti, tako da se pri narednom testu izbegne izlaganje iste površine materijala za pozadinu udaru čelične kugle, za čije se ispuštanje mogu koristiti cevi za navođenje ili slična sredstva, kako bi se osigurao potpun – ispravan kontakt udarnog kraja kugle sa udarnom površinom materijala za pozadinu.

Mokri diskovi prečnika $50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ($1,97\text{ in} \pm 0,04\text{ in}$) izrađuju se od iste vrste polietilenske pene korišćene u srednjem sloju materijala za pozadinu i postavljaju se radi popunjavanja dobijenih otisaka, nakon postizanja zadovoljavajućih rezultata testa materijala za pozadinu.

Ispravni pogoci ili ubodi zadovoljavaju sledeće uslove:

a) da se energija udara nalazi između vrednosti E1 i E2 (tabela 1);

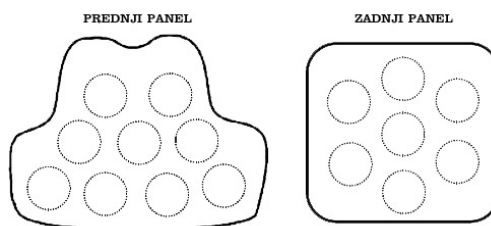
b) da se ubod ne nalazi bliže od 51 mm (2,0 in) u odnosu na ivicu zaštitnog prsluka;

c) da se ubod ne nalazi bliže od 51 mm (2,0 in) u odnosu na ivicu materijala za pozadinu;

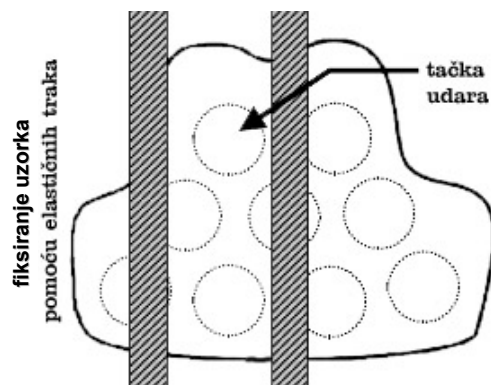
d) da se ubod ne nalazi bliže od 51 mm (2,0 in) u odnosu na prethodni ubod;

e) da odstupanje uboda u momentu pogađanja prsluka ne prelazi $\pm 5^{\circ}$ od planiranog upadnog ugla.

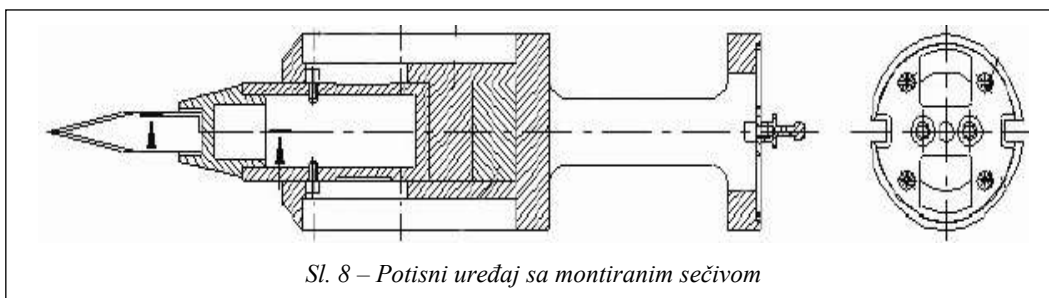
Označavanje mesta za ubod vrši se iscrtavanjem krugova pomoću šablona ili mernog uređaja, prema šemi prikazanoj na slici 6, u zavisnosti od vrste testa i uzorka. Sva označena mesta se ne moraju izložiti ubodu, već to zavisi od broja potrebnih pokušaja za dobijanje ispravnog pogotka.



Sl. 6 – Označavanje mesta za ubod



Sl. 7 – Učvršćivanje uzorka



Sl. 8 – Potisni uređaj sa montiranim sečivom

Učvršćivanje uzorka na materijalu za pozadinu obavlja se pomoću elastičnih traka širine 51 mm (2,0 in), kao što je prikazano na slici 7. Tako učvršćeni uzorak zaštitnog prsluka na materijalu za pozadinu nalazi se u horizontalnom položaju u odnosu na inženjerski projektovani nož ili šilo, koji su pripremljeni za testiranje. Elastične trake treba da spreče sva eventualna pomeranja uzorka, koja mogu nastati u trenutku udara oružja, kao i da obezbede njegovo potpuno naleganje na materijalu za pozadinu. U slučaju da elastične trake na bilo koji način otežavaju ostvarivanje ispravnog pogotka, pomeraju se na drugo mesto, ali tako da se ne naruši naleganje uzorka na materijalu za pozadinu.

Potisni uređaj (slika 8) predstavlja čelični teg valjkastog oblika, koji na udarnoj strani ima konusni završetak sa aluminijumskom glavom u koji se postavlja inženjerski projektovan nož ili šilo (slika 9), čija izlazno-radna dužina iznosi $83 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($3,27 \text{ in} \pm 0,08 \text{ in}$).

Rastojanje konusne glave između donje – uže i gornje – šire tačke iznosi 30 mm (1,18 in), radi nesmetanog testiranja panela zaštitnih prsluka pod uglom od 45° . Sa zadnje strane potisnog tega nalazi se najlonski konopac, koji obezbeđuje normalu pravca leta ovog uređaja. Tako-

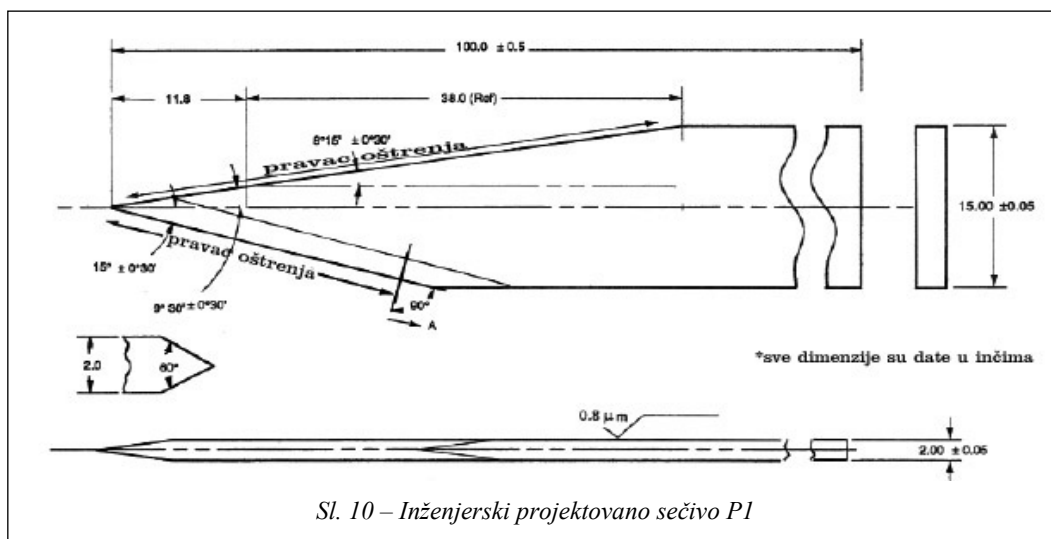
đe, sa zadnje strane potisnog tega montiraju se opruge, koje mogu uspešno da simuliraju pokrete ljudske ruke pri napadu i rasprostiranju energije uboda. Masa potisnog tega sa instaliranim oružjem iznosi $650 \text{ g} \pm 7 \text{ g}$ ($1,43 \text{ lb} \pm 0,02 \text{ lb}$).



Sl. 9 – Montiranje sečiva u konusnu glavu potisnog uređaja

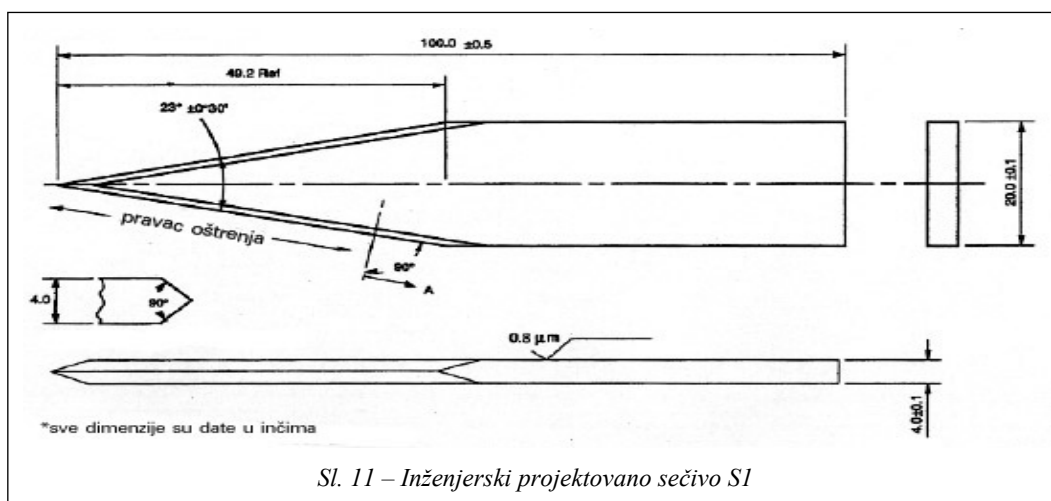
Inženjerski projektovani noževi predstavljaju dva posebno dizajnirana i izrađena tipa sečiva, koji se koriste u standardu NIJ 0115.00 za simulacije napada uboda nožem.

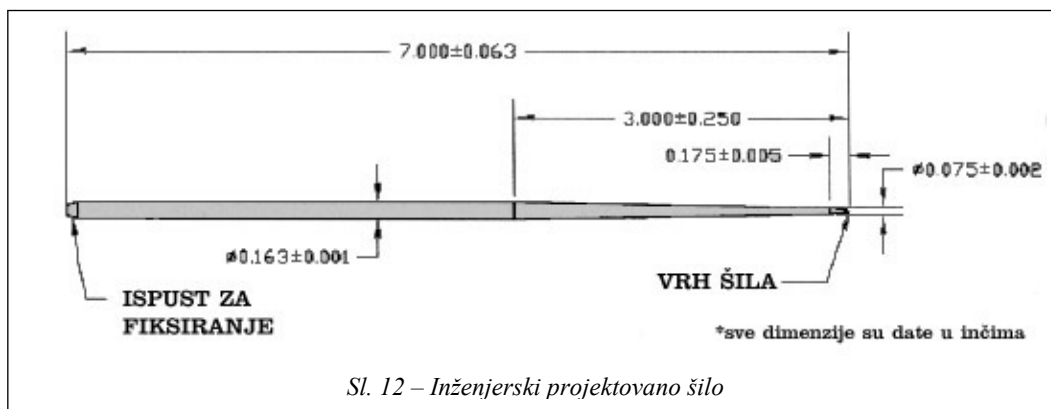
Prvo sečivo noža nosi oznaku „P1“ (slika 10) i služi za simulaciju napada od tipičnog malog noža, jednostrano naoštrenog i tankog tela, koji se može nositi u svakoj prilici, skriven u džepu ili za pojasom.



Drugo sečivo noža nosi oznaku „S1“ (slika 11) i služi za simulaciju napada sa većim sečivom, „commando“ oblika ili većeg kuhinjskog noža, koji ima obostrano naoštreno, debelo i robustno telo. Obe vrste inženjerski projektovanih sečiva imaju karakteristično izražen i definisan vrh, koji je utemeljen u čvrstoj konstrukciji sečiva, tako da ne može doći do njegovog loma ili pucanja pri udaru od uzorka zaštitnog prsluka.

Inženjerski projektovano šilo predstavlja posebno dizajnirano i izrađeno oružje, koje po svojoj konstrukciji i izgledu podseća na šilo za led i u standardu NIJ 0115.00 koristi se za simulacije napada od oružja sa oštrim vrhom. Za potrebe testiranja u ovom segmentu standarda koristi se samo jedna vrsta šila, koje je izrađeno po uzoru na Kalifornijsko šilo za led „Californian Ice Pick“ (slika 12).





Stepen naoštrenosti utvrđuje se na mašini RHT (Rockwell Hardness Testing), vršeći pritisak inženjerski projektovanim nožem ili šilom, u rasponu od 3 kg (6,61 lb) do 5 kg (11,0 lb), na aluminijumski blok čistoće od 99,997% i debljine od 5 mm (0,197 in), radi ostavljanja otisaka određene dubine, prema Rockwellovoj C skali (tabela 2).

Tabela 2

Određivanje stepena naoštrenosti inženjerski projektovanih sečiva prema Rockwellovoj C skali

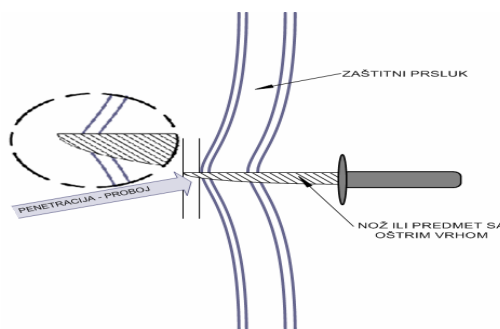
HRC	Dubi- na (mm)	HRC	Dubi- na (mm)	HRC	Dubi- na (mm)	HRC	Dubi- na (mm)	HRC	Dubi- na (mm)
-160	0,52	-130	0,46	-100	0,40	-70	0,34	-40	0,28
-150	0,50	-120	0,44	-90	0,38	-60	0,32	-30	0,26
-140	0,48	-110	0,42	-80	0,36	-50	0,30	-20	0,24

Tačka udara predstavlja mesto na zaštitnom prsluku koje je predviđeno da bude izloženo udaru vrha noža ili šila.

Proboj (penetracija) iščitava se iza perforacija na uzorku zaštitnog prsluka, nastalih usled dejstva noža ili predmeta sa oštrim vrhom, te prisustvom oštećenja u vidu posekotina, rupa i sl.; u prvom sloju materijala za pozadinu ili rupama, zasekotinama, poderotinama i cepanjem papira Polyart™.²

² Papir za merenje otisaka u materijalu za pozadinu, čija osnovna masa iznosi 140 g/m² (0,46 oz/ft²), a debljina 0,178 mm (7 mil).

Pod dubinom proboja podrazumeva se dužina vrha noža ili predmeta sa oštrim vrhom, koja izlazi iz zadnje strane prsluka (slika 13).



Sl. 13 – Penetracija zaštitnog prsluka

Polyart™ predstavlja vrstu papira koja se postavlja preko mokrih diskova i materijala za pozadinu, radi identifikacije (merenja) otisaka nastalih ubodom noža ili predmeta sa oštrim vrhom. Navedeni papir može se zameniti i nekom drugom vrstom papira, pod uslovom da pripada grupi sintetičkih papira izrađenih od polietilenskog filma visoke gustine, čija je osnovna odlika velika izdržljivost na cepanje.

Udarana (prednja) strana predstavlja površinu zaštitnog prsluka, koju je proizvođač zamislio kao površinu u koju treba da udari nož ili predmet sa oštrim vrhom i označava se natpisom.

Zadnja strana je površina zaštitnog prsluka koja, po zamisli proizvođača, treba da se nosi prema telu korisnika.

Energija udara predstavlja proračunatu kinetičku energiju, koju poseduje vrh noža ili šila, u poziciji neposredno pre kontakta sa zaštitnim prslukom.

Zona za merenje brzine potisnog uređaja nalazi se iznad same tačke udara i njena dužina iznosi manje od 51 mm (2,0 in). U trenutku kada potisni teg dospe u najnižu tačku zone za merenje sopstvene brzine, vrh noža ili šila treba da se nalazi od 0 mm (0,0 in) do 25 mm (1,0 in) iznad same tačke udara.

Testiranje otpornosti zaštitnih prsluka na ubode nožem („EB“ test)

Celokupno „EB“ testiranje zaštitnih prsluka završava se nakon dobijanja 24 ispravna pogodaka na dva kompletna prsluka (slika 14). Radi lakšeg praćenja redosleda sekvenci testiranja, prednji i zadnji paneli svakog zaštitnog prsluka označavaju se brojevima od 1 do 4. U zavisnosti od ugla uboda, testiranje otpornosti zaštitnih prsluka na ubode nožem vrši se na načine prikazane u tabelama 3 i 4.



Sl. 14 – Testiranje zaštitnog prsluka

Tabela 3
Testiranje na ubode nožem pod uglom od 0°

Ubod broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Energija	E1				E2				E1				E2			
Tip sečiva	P1								S1							
Panel broj	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Celokupno „S“ testiranje zaštitnih prsluka završava se nakon dobijanja 12 ispravnih pogodaka na dva kompletna prsluka. Takođe, radi lakšeg praćenja redosleda sekvenci testiranja, kao i kod „EB“ testa, prednji i zadnji paneli svakog zaštitnog prsluka označavaju se brojevima od 1 do 4.

Tabela 4
Testiranje na ubode nožem pod uglom od 45°

Ubod broj	17	18	19	20	21	22	23	24
Energija	E1				E1			
Tip sečiva	P1				S1			
Panel broj	1	2	3	4	1	2	3	4

Testiranje otpornosti zaštitnih prsluka na ubode predmetima sa oštrim vrhom („S“ test)

U zavisnosti od ugla uboda, testiranje otpornosti zaštitnih prsluka na ubode oružjem sa oštrim vrhom obavlja se na način prikazan u tabeli 5.

Tabela 5
Testiranje na ubode predmetima sa oštrim vrhom

Ugao uboda	0°								45°			
Ubod broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Energija	E1				E2				E1			
Tip sečiva	Spike											
Panel broj	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Tehnički zahtevi

Kriterijumi za prijem ispunjeni su u slučajevima kada svi uzorkovani zaštitni prsluci zadovoljavaju zahteve u pogledu izrade, označavanja i kada svaki ispitani deo prsluka ispunjava zahteve u pogledu penetracije i deformacija definisanih standardom NIJ 0115.00.

Označavanje etiketom (etiketiranje) podrazumeva da se svaki set prsluka namenjenih za zaštitu od uboda nožem ili predmetima sa oštrim vrhom, jasno i trajno označi „jednom“ etiketom sa jasno čitljivim slovima, u skladu sa nivoom zaštite i namenom zaštitnog prsluka.

U zavisnosti od toga da li se radi o označavanju zaštitnog panela, nosača paketa za neizmenljive panele ili spoljnim plaštovima sa izmenljivim panelima, na etiketama se nalaze različiti podaci:

Zaštitni panel treba da ima jednu etiketu, koja će se upotrebiti za označavanje spoljašnje površine panela, sa sledećim informacijama:

a) naziv, logotip ili druga oznaka za identifikaciju proizvođača, uključujući i njegovu adresu, telefon ili neki drugi način za kontakt;

b) oznaka za procenjeni nivo zaštite;

c) veličina (ako kupcu odgovara može da sadrži i ime pojedinca za koga je izrađen);

d) broj partije (lota);

e) datum proizvodnje;

f) datum isporuke;

g) model ili oblik koji jedinstveno identifikuje panel radi nabavke (paneli označeni da odgovaraju ženskom torzu treba da imaju posebno vidljiv natpis „ZA ŽENE“);

h) udarna strana ili zadnja strana – površina panela, koja treba da bude izložena ili da se nosi uz telo mora da bude jasno obeležena („UDARNA STRANA“ ili „OVA STRANA IDE DO TELA“);

i) serijski broj;

j) uputstvo za održavanje balističkog materijala u skladu sa 16CFR 423³;

k) za zaštitne panele koji bi se, po proceni proizvođača, mogli izložiti dejstvu vatrenog oružja, (iako za to nisu namenjeni) štampa se upozorenje čija su slova najmanje dva puta veća od ostalih slova na etiketi (izuzev potrebnih informacija datih u tački „a“), kojim se upozorava da prsluk nije namenjen za zaštitu od pušanih i pištoljskih zrna (promena boje slova je prihvatljiva, ali se ne može menjati njihov tip i veličina);

l) potvrda o saglasnosti sa standardom NIJ 0115.00.

³ CFR – Close Focus Research-Standard definiše posebne prateće parametre u oblastima istraživanja i testiranja u okviru Standarda malih oružja (Small Arms Standards).

Za nosače paketa sa neizmenljivim zaštitnim panelima, pored etikete na zaštitnom panelu, treba da postoji etiketa na spoljnom ogrtaču, koja je u skladu sa zahtevima za zaštitne panele. U slučajevima kada je zaštitni prsluk konstruisan tako da etiketa na zaštitnom panelu nije pokri-vena spoljnim ogrtačem, ona nije ni po-trebna.

Spoljni ogrtač sa izmenljivim zaš-titnim panelima treba da ima etiketu (e) na bilo kojoj spoljašnjoj strani. U slu-čajevima da je izrađen od jednog ko-mada (npr. svi delovi su zajedno proši-veni u jednom komadu odeće) dovoljna je jedna etiketa, a ako se prednja i zad-nja strana mogu razdvojiti, onda se eti-ketom označava i jedna i druga strana. Etiketa treba da sadrži sledeće informa-cije:

a) naziv, logotip ili drugu oznaku za identifikaciju proizvođača, uključujući adresu i telefon;

b) izjavu kojom se korisniku sa-opštava da pregleda zaštitne panele, kako bi se utvrdio nivo zaštite;

c) veličinu;

d) datum isporuke (ovu rubriku is-punjava kupac);

e) model ili oblik koji jedinstveno identifikuje panel radi nabavke (paneli označeni da odgovaraju ženskom torzu treba da imaju posebno vidljiv natpis „za žene“);

f) delovi i šavovi spoljnog ogrtača koji nisu ispunjeni zaštitnim panelima, treba da budu obeleženi natpisom „u ovom delu nema zaštite“, koji se prišiva sa obe strane;

g) uputstvo za održavanje ogrtača pr-sluka u skladu je sa propisom 16 CFR 423.

Zaključak

Očigledno je da rutinska upotreba odgovarajućeg zaštitnog prsluka znatno smanjuje verovatnoću fatalnog povređi-vanja, ali da je 100%-tna zaštita u svim situacijama nemoguća. Izbor zaštitnog prsluka u izvesnom stepenu predstavlja kompromis između zaštite i komfora pri nošenju, odnosno masa i komfornost zaš-titnog prsluka obrnuto su proporcionalni nivou zaštite koji se i obezbeđuje. Zna-čajno je da onaj ko vrši nabavku zaštitnih prsluka, kao i svaki krajnji korisnik, tre-ba da zna i razume zaštitu koju prsluk pruža, kao i sva njegova ograničenja.

Pre nabavke zaštitnog prsluka, na-menjenog za zaštitu od uboda nožem ili predmetima sa oštrim vrhom, neophodno je proučiti Vodič NIJ 100-98 „Selection and Application Guide to Police Body Ar-mor“, koji detaljno opisuje problematiku izbora prsluka za ovakav specifičan vid pretnji. Standard NIJ 0115.00 predstavlja „otvoren“ dokument i podleže stalnim dopunama, radi pružanja što detaljnijih i pouzdanijih metoda testiranja, omoguću-jući krajnjim korisnicima koji imaju spe-cijalne (više ili niže) zahteve u pogledu zaštite – mogućnost pouzdanog testiranja i drugačijih vidova pretnji u oblasti napa-da hladnim oružjem od opisanih u ovom standardu.

Literatura:

- [1] National Institute of Justice. NIJ Standard-0101.04, Balli-stic Resistance of Police Body Armor (2000).
- [2] National Institute of Justice. NIJ Standard-0101.03, Balli-stic Resistance of Police Body Armor (1987).
- [3] American National Standards Institute. „SAAMI Z299.3–1993: Voluntary Industry Standards for Pressure and Ve-locity of Center fire 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 Met-hod Standard, V50 Ballistic Test for Armor. (1997)

Mr Dejan Ivković,
major, dipl. inž.
Generalštab Vojske Srbije –
Uprava J-2,
Beograd

REZULTATI OBRADJE SIGNALA U PROJEKTOVANIM BLOKOVIMA PRIJEMNIKA SOFTVERSKOG RADARA

UDC: 621.396.96

Rezime:

U radu su prikazani rezultati obrade signala u ranije projektovanim softverskim modulima radarskog prijemnika. Prvo su navedeni rezultati merenja realnog klatera bez prisustva ciljeva u vazdušnom prostoru, zatim rezultati detekcije simuliranih ciljeva u prisustvu realnog klatera i, na kraju, rezultati detekcije tri realna cilja u vazduhu. Svi parametri pri merenju klatera i detekcije simuliranih i realnih ciljeva prikazani su tabelarno, a rezultati grafički. Na osnovu analize prikazanih rezultata može se zaključiti da projektovani softverski moduli radarskog prijemnika dobro emuliraju rad postojećih hardverskih blokova realnog radara.

Ključne reči: softverski radar, realni klater, simulirani cilj, realni cilj.

RESULTS OF THE SIGNAL PROCESSING IN DESIGNED RECEIVER BLOCKS OF SOFTWARE RADAR

Summary:

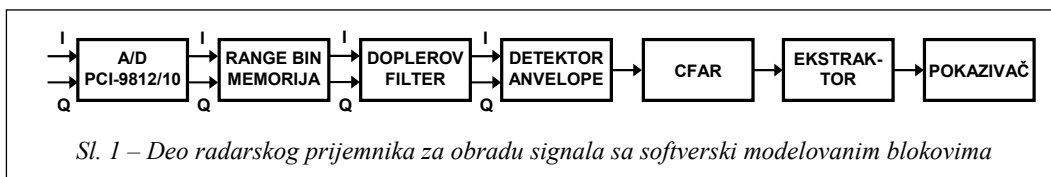
This paper presents the results of signal processing in previously designed software modules of radar receivers. The measurement procedure is described briefly. The results of measuring real clutter without aerial targets are followed by the results of detecting simulated targets in the presence of real clutter. Finally, the results of the detection of three real targets in the air are presented. All parameters of the clutter measurement and the detection of targets, both simulated and real, are given in tables while the results are showed graphically. On the basis of the analysis of the obtained results, it can be concluded that the designed software modules of the radar receiver successfully emulate the operation of existing hardware blocks of real radars.

Key words: software radar, real clutter, simulated target, real target.

Uvod

Da bi se verifikovala predložena rešenja funkcionalnih blokova softverskog radarskog prijemnika u [1] i [2], bilo je neophodno izmeriti radarske signale, a zatim uporediti rezultate obrade signala u projektovanim blokovima sa rezultatima obrade u realnom radaru. Merenje je izvršeno na radaru ŽIRAFa, pre svega zbog toga što spada u grupu tipičnih konvencionalnih radara s digitalnom ob-

radom signala. To znači da će sva rešenja softverskih modula ovog radara biti primenjiva i kod ostalih vojnih ili civilnih konvencionalnih radara, uz eventualne manje modifikacije i prilagođavanja konkretnom radarskom sistemu. Pored toga, radar ŽIRAFa bio je dostupan i van operative upotrebe u dužem periodu. Tokom priprema za merenje radarskih signala i njihovu obradu u projektovanim blokovima radarskog prijemnika postojale su dve polazne pretpostavke.



Postojeća hardverska platforma (kartica PCI-9812/10) omogućava akviziciju radarskog signala u realnom vremenu. Takođe, postojeća računarska platforma i softversko okruženje omogućavaju akviziciju i smeštaj podataka u realnom vremenu, ali ne i obradu memorisanih podataka. Obrada podataka mora biti izvedena u tzv. offline režimu, jer je celokupna implementacija softverskih modula urađena u programskom paketu MATLAB, na jednom personalnom računaru.

Softverski moduli radarskog prijemnika, definisani i opisani u [1] i [2], a prikazani na slici 1, omogućiće takvu obradu radarskih signala čiji rezultati potpuno odgovaraju rezultatima realnog radarskog sistema (ŽIRAFA).

Praktična provera rada svih projektovanih softverskih modula radara izvršena je pomoću dva osnovna scenarija.

Prvi scenario podrazumeva detekciju simuliranih pojedinačnih ciljeva u realnom klateru. Pretpostavka je da će karakteristike cilja koji se simulira, u skladu sa prethodno opisanim matematičkim modelom, u velikoj meri odgovarati karakteristikama realnog cilja. Rezultati koji se u ovom scenariju očekuju od projektovanog softverskog radarskog prijemnika su:

- uspešna detekcija pojedinačnih simuliranih ciljeva u realnom klateru, i
- poboljšanje detekcije simuliranih ciljeva.

Drugi scenario je značajniji za proveru rada projektovanih softverskih modula. On podrazumeva detekciju realnih pojedinačnih ciljeva. Pretpostavka je da će realni cilj biti mlazni putnički avion koji leti na redovnoj liniji, tako da nisu poznati parametri njegovog leta. U ovom scenariju rezultati koji se očekuju od projektovanih softverskih modula radarskog prijemnika su:

- uspešna detekcija pojedinačnih realnih ciljeva, i
- poboljšanje detekcije realnih ciljeva.

Pretpostavka je da se pri detekciji koristi radarski prijemnik koji u svom sastavu ima fleksibilni CFAR procesor po pitanju algoritma detekcije i veličine prozora detekcije.

Način rada

Tokom rada na radaru ŽIRAFA (slika 2) izvršeno je više merenja sa opremom koja je prikazana na slici 3a. Pored opisane akvizicione kartice PCI-9812/10 korišćen je personalni računar sa sledećim karakteristikama:

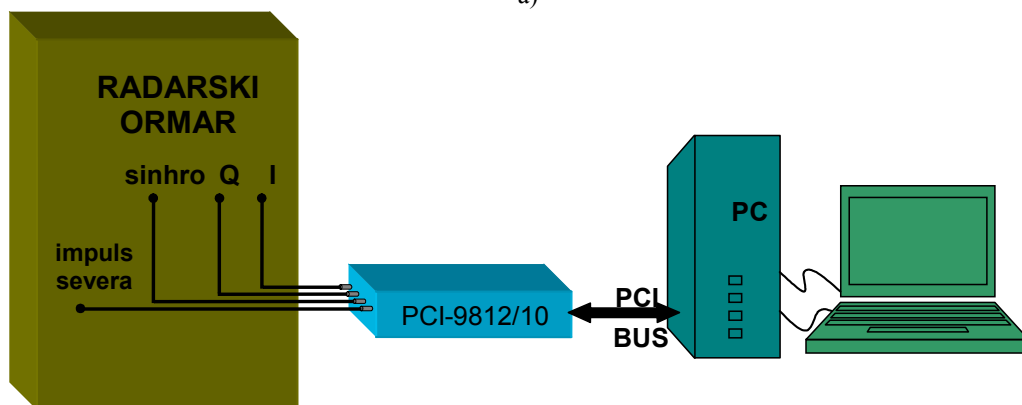
- procesor AMD Athlon – 1.53 GHz,
- matična ploča ASUS AGP8X,
- RAM 512 MB,
- operativni sistem – Microsoft Windows XP Professional.



Sl. 2 – Radar ŽIRAFa



a)



b)

Sl. 3 – Blok-šema merenja

Na blok-šemi merenja (slika 3b) prikazan je, pored računara i akvizicione kartice, radarski ormar u kojem se nalaze izvori za napajanje, predajnik i prijemnik radara ŽIRAFa. Na radarskom ormaru postoje izvodi na kojima se nalaze i izlazni signali I i Q grane IQ-demodulatora i izlazni signal generatora impulsne frekvencije („sinhro“). Impuls severa dobijen je preko kartice sa oznakom ROE 124 2105/01, koja se nalazi u sastavu radarskog ormara, a bitan je zbog pravilnog formiranja paketa radarskih podataka u RANGE BIN memoriji.

Pri svakom merenju u realnom vremenu obavljena je akvizicija podataka i njihovo memorisanje, a obrada signala je, usled obrade na personalnom računaru, izvođena u „offline“ režimu.

U vreme osmatranja vazdušnog prostora i izvođenja svih merenja nije bilo klatera koji su poticali od kiše i oblaka, a nije bilo ni aktivnog ometanja. Postojao je samo klater od reljefa, šume i okolnih zgrada.

Prvo je meren realni klater u odsustvu realnih ciljeva i analizirani su rezultati obrade, a zatim su realnom klateru superponirani signali simuliranih ciljeva po matematičkom modelu predstavljenom u [2], kako bi se verifikovao rad svih projektovanih softverskih modula prijemnika konvencionalnog radara. Na kraju je izvršen eksperiment sa realnim ciljevima, što je predstavljalo pravu proveru ispravnosti rada projektovanog softverskog modela. Realni ciljevi bili su avioni iz civilnog avio-saobraćaja koji su leteli na svojim redovnim linijama.

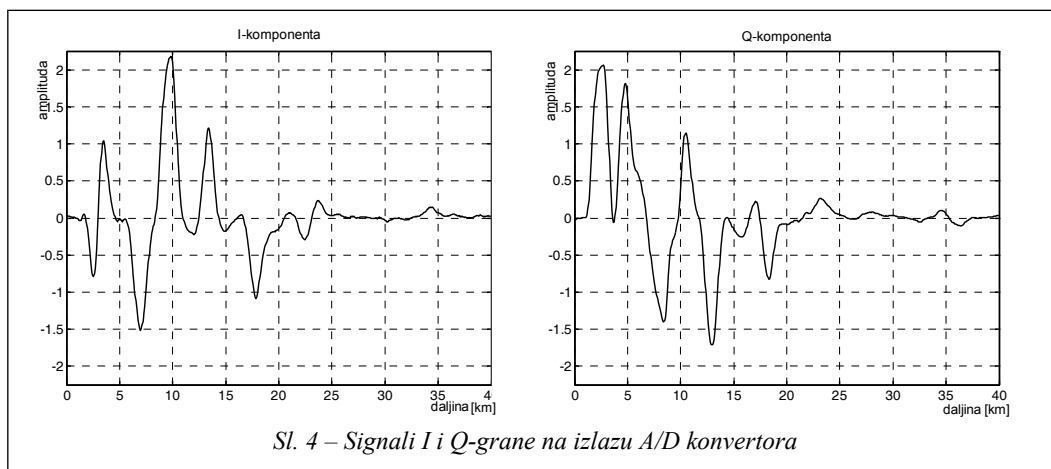
Merenje realnog klatera

Radi verifikacije pravilnosti rada projektovanih funkcionalnih blokova radarskog prijemnika obavljena su merenja

na radaru ŽIRAFa, koja su podrazumevala akviziciju realnog klatera. Frekvencija odabiranja A/D konvertora bila je 2 MHz, jer su sinhronizacioni impulsi iz generatora impulsne frekvencije veoma uski, pa na nižim frekvencijama dolazi do preskakanja pojedinih sinhro-impulsa, što remeti pravilno formiranje podataka u RANGE BIN memoriji. Pošto je frekvencija odabiranja signala na izlazu IQ-demodulatora oko osam puta veća od stvarne frekvencije odabiranja A/D konvertora u radaru ŽIRAFa, a da bi rezultati bili relevantni, CFAR procesor projektovan je tako da je osam puta većeg reda nego original. To znači da se ispituju 64 susedna bina daljine oko test bina [2]. Za verovatnoću lažnog alarma uzeta je standardna vrednost od 10^{-6} , pa je faktor skaliranja, T_h , imao vrednost od 4,623 [2]. Akvizicija klatera urađena je za 5900 predajnih impulsa pri promenljivoj frekvenciji ponavljanja impulsa, a širina predajnog impulsa bila je 6 s, što znači da je domet radara bio 40 km. Frekvencija visokofrekventnog nosioca predajnog signala bila je 5,4 GHz. U tabeli 1. dat je pregled svih parametara akvizicije podataka.

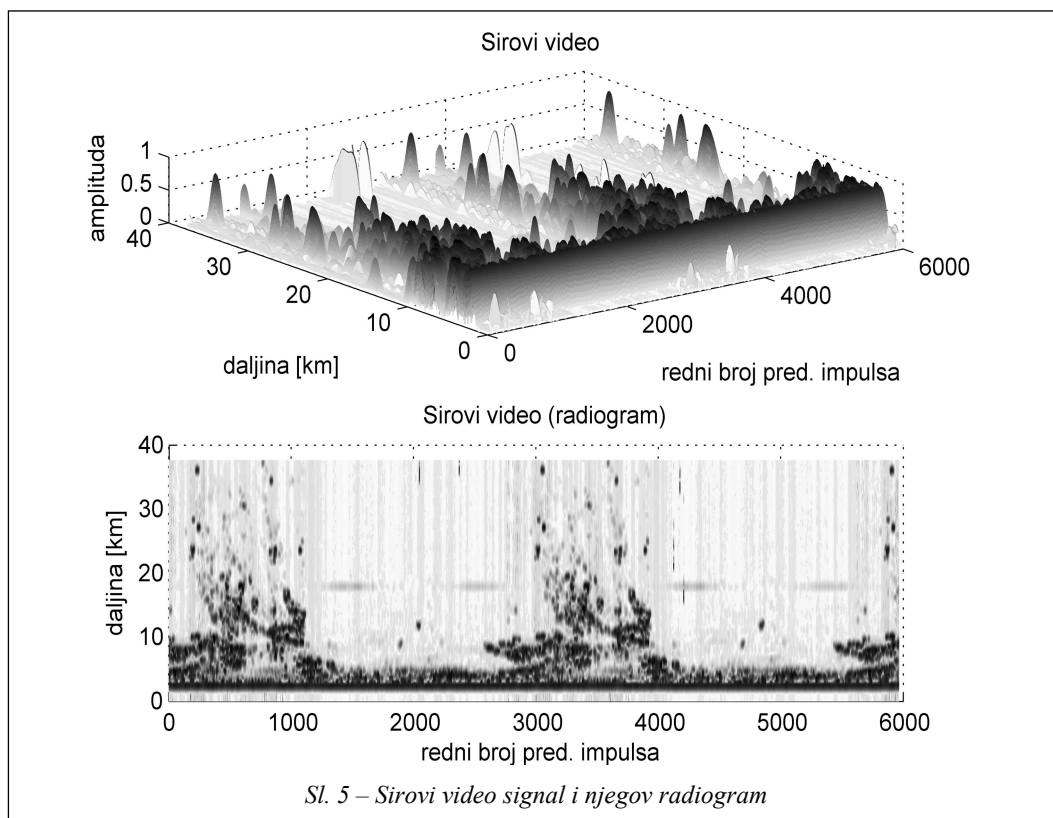
Tabela 1
Parametri akvizicije realnog klatera

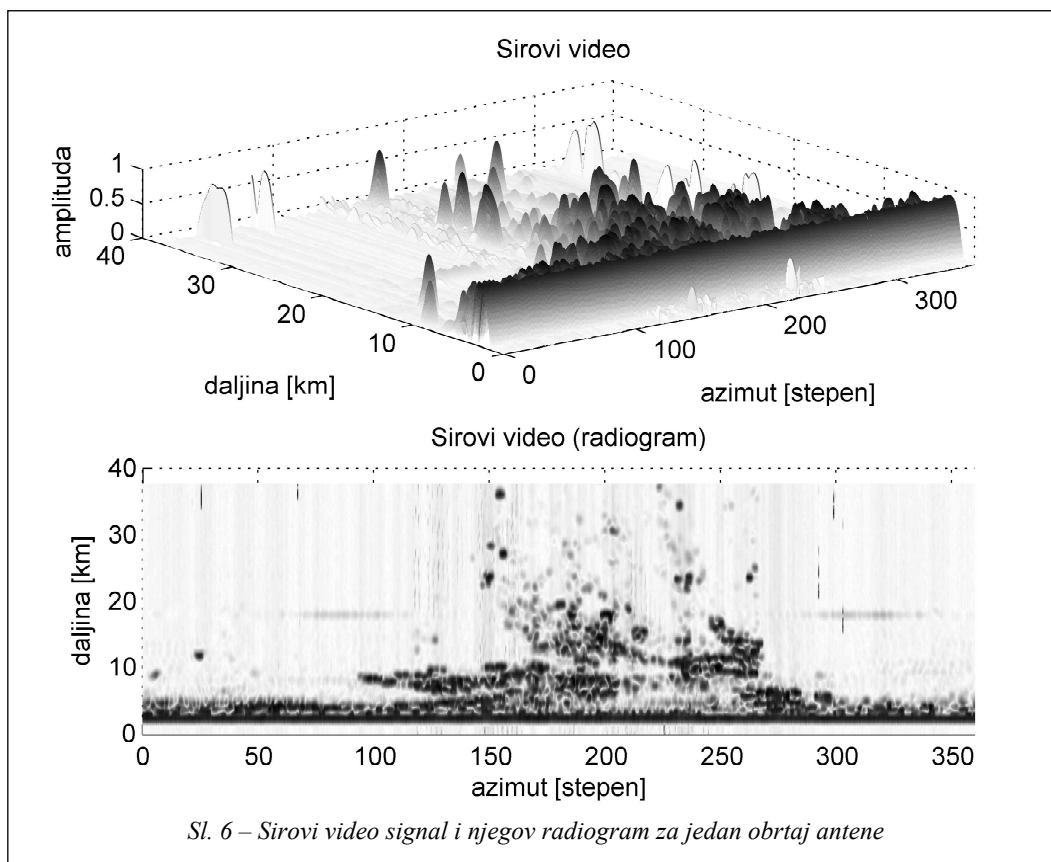
Parametar	Vrednost
Frekvencija odabiranja	$f_{sm} = 2 \text{ MHz}$
Broj ćelija CFAR procesora	$2n = 64$
Verovatnoća lažnog alarma	$P_{fa} = 10^{-6}$
Faktor skaliranja	$T_h = 4,623$
Broj predajnih impulsa	$N = 5900$
Širina predajnog impulsa	$= 6 \text{ s}$
Frekvencija nosioca predajnog impulsa	$f_t = 5,4 \text{ GHz}$
Frekvencija ponavljanja impulsa	promenljiva



Na slici 4 prikazan je oblik signala I i Q-grane na izlazu A/D konvertora PCI-9812/10 za jedan predajni impuls radara, a na slici 5 prikazan je kompletan digitalno neobrađeni prijemni signal, tzv. sirovi

video signal za opseg daljina od 0 do 40 km. U gornjem delu slike 5 nalazi se prikaz u tri dimenzije, a u donjem delu slike prikazan je radiogram sirovog video signala.





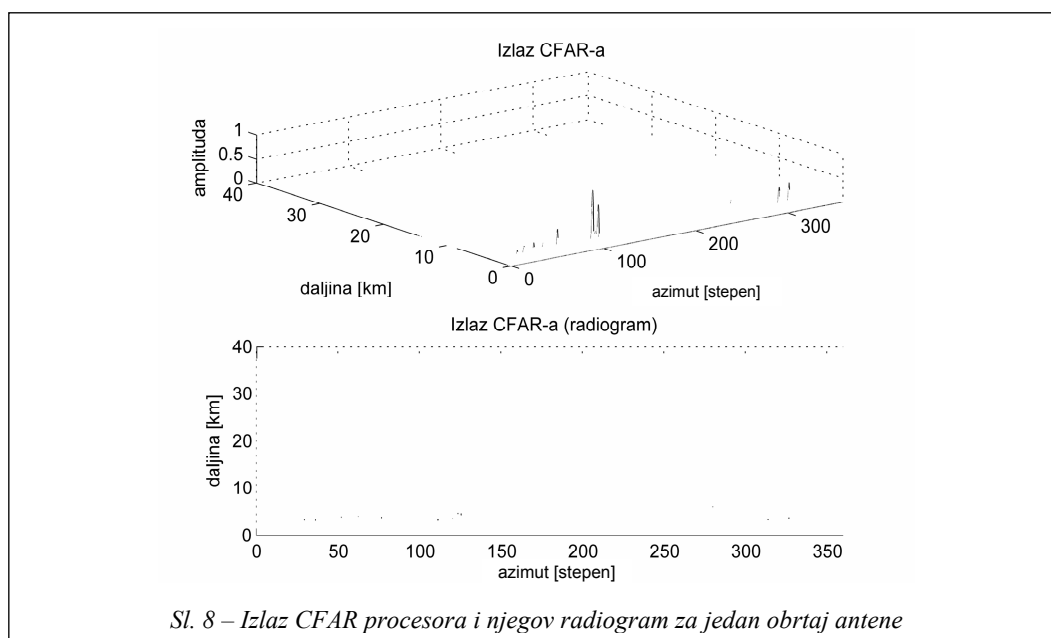
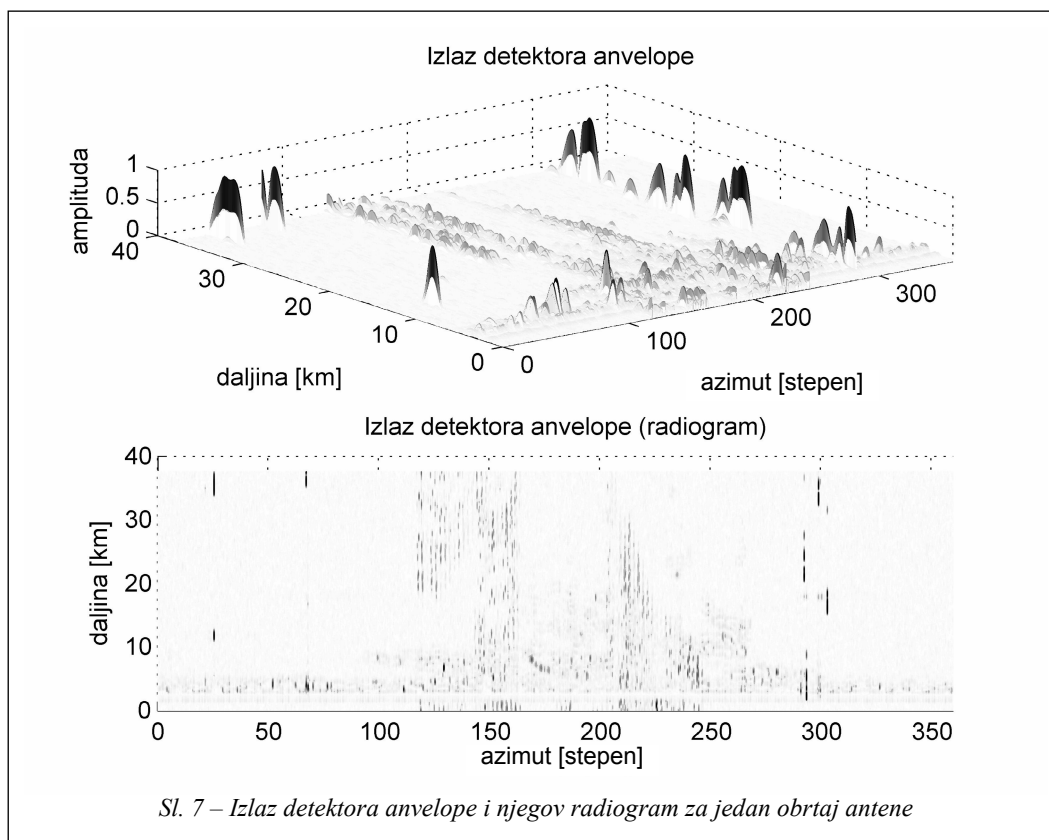
Uočava se da se posle određenog broja predajnih impulsa slika sirovog videa ponavlja, što znači da je antena pri merenju načinila više od jednog obrtaja.

Između 1. i 1000. predajnog impulsa uočava se zona veoma jakog klatera, sa velikim brojem stalnih odraza, koja se ponavlja od 3000. do 4000. predajnog impulsa.

Na slici 6 prikazan je sirovi video signal za jedan obrtaj antene, a na x-osi je predstavljen azimut u stepenima. U ovom obrtaju antene nije bilo pokretnih ciljeva u osmatranoj zoni, što će i potvrditi obrada signala u projektovanim funkcionalnim blokovima.

Posle filtriranja u Doplerovom filteru [2] signal se prosleđuje na detektor anvelope, a signal na njegovom izlazu prikazan je na slici 7. Uočava se da su stalni odrazi uglavnom dobro potisnuti, osim nekih komponenta signala oko azimuta od 25° , 65° i 300° .

Signal sa detektora anvelope dolazi na ulaz CFAR procesora, koji pomoću opisanog algoritma u [2] detektuje da li u ispitivanom binu daljine postoji ili ne postoji cilj. Signal na njegovom izlazu prikazan je na slici 8. Uočava se samo manji broj lažnih detekcija od kojih nijedna ne predstavlja pokretni cilj, što znači da je CFAR procesor pravilno obradio ulazni signal.



Detekcija simuliranih ciljeva u realnom klateru

Simulirano je postojanje tri cilja u realnom klateru. Matematički model simuliranih ciljeva odgovara modelu koji je prikazan u [2], a osnovni parametri ciljeva dati su u tabeli 2.

Tabela 2

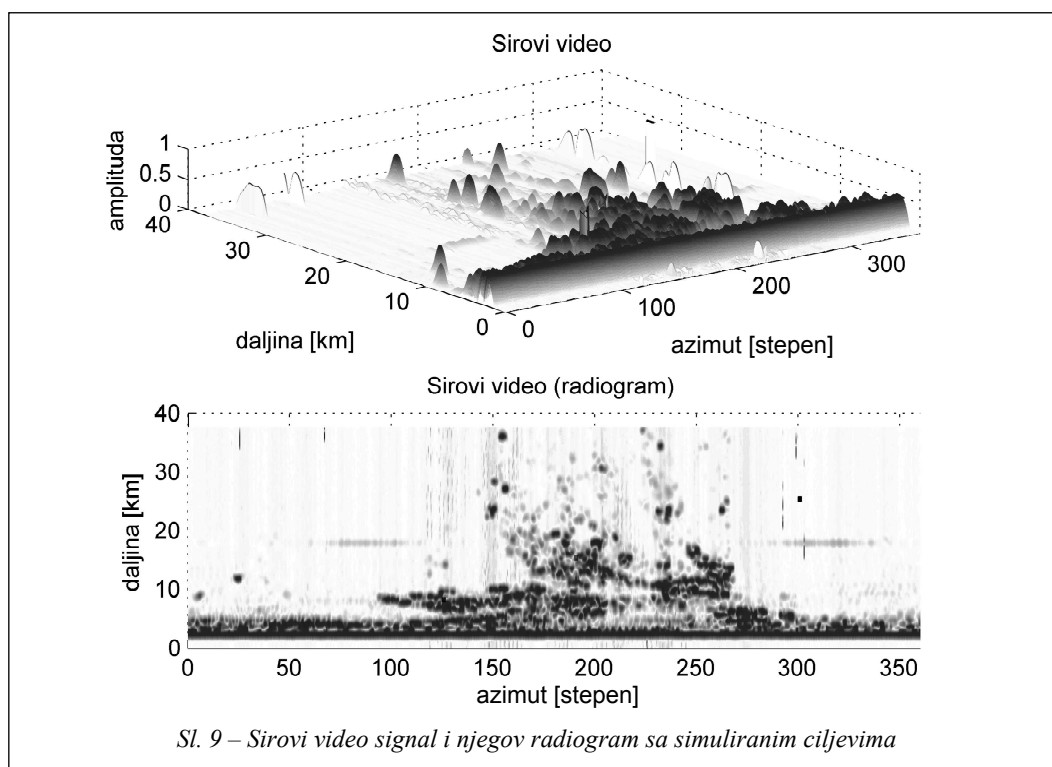
Parametri ciljeva

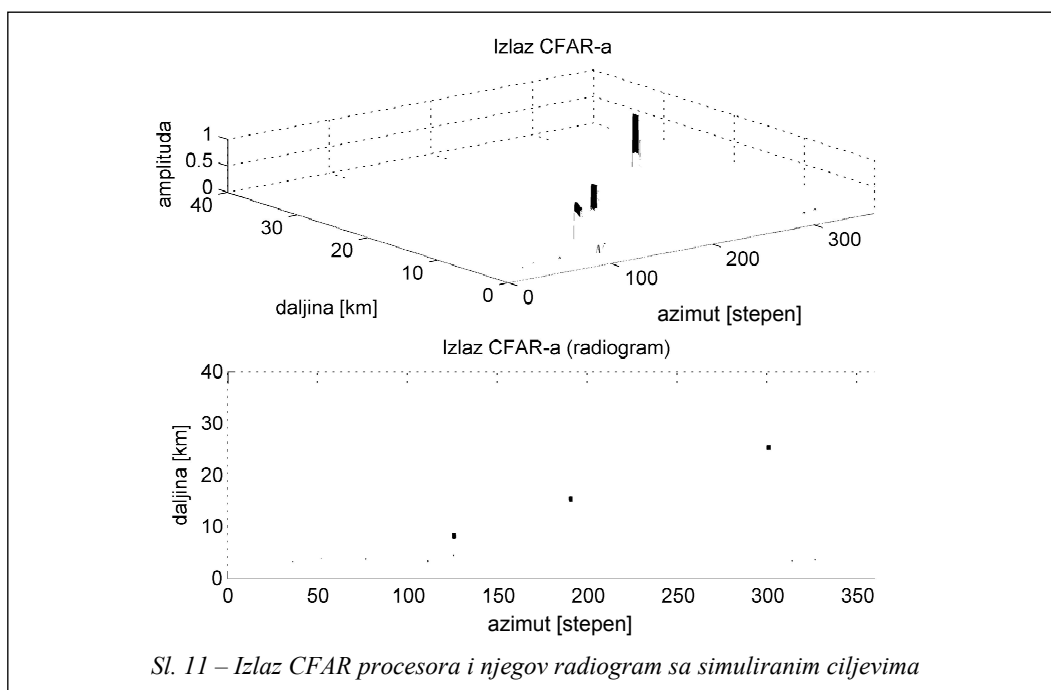
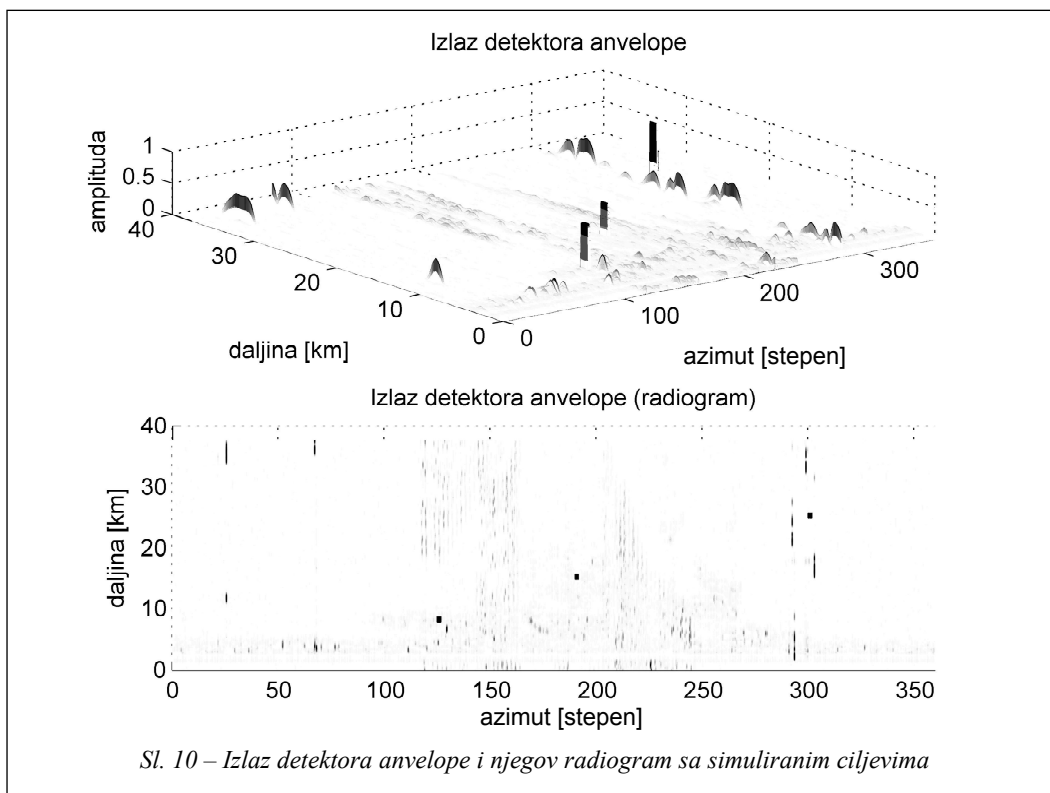
Parametar	Cilj 1	Cilj 2	Cilj 3
Amplituda U_s	2	1,5	4
Doplerova frekvencija f_d	1500 Hz	6000 Hz	3000 Hz
Daljina R	8 km	15 km	25 km
Azimut	125°	190°	300°

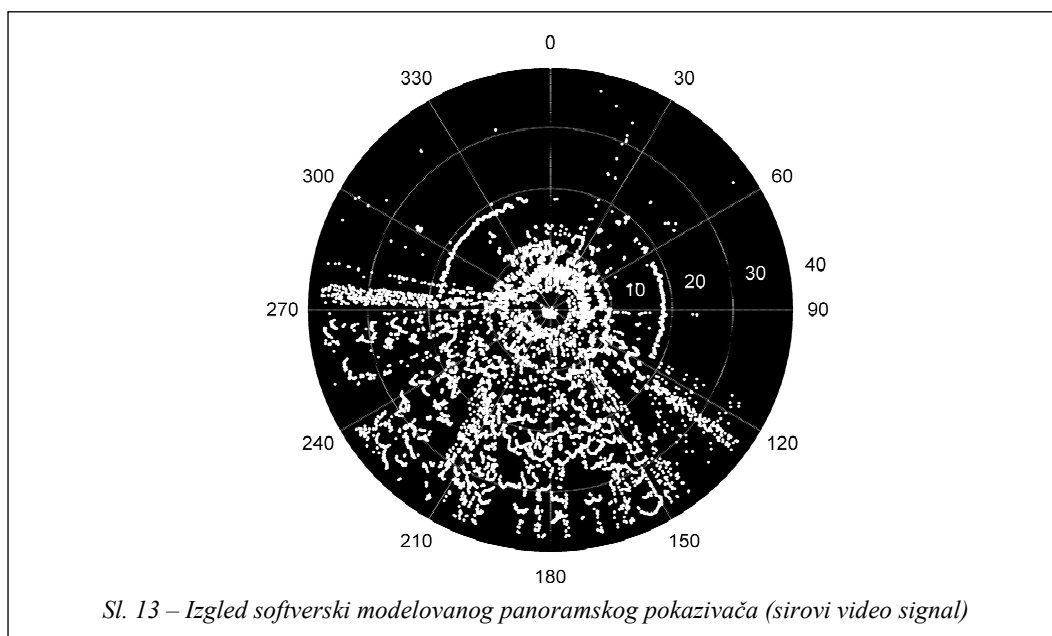
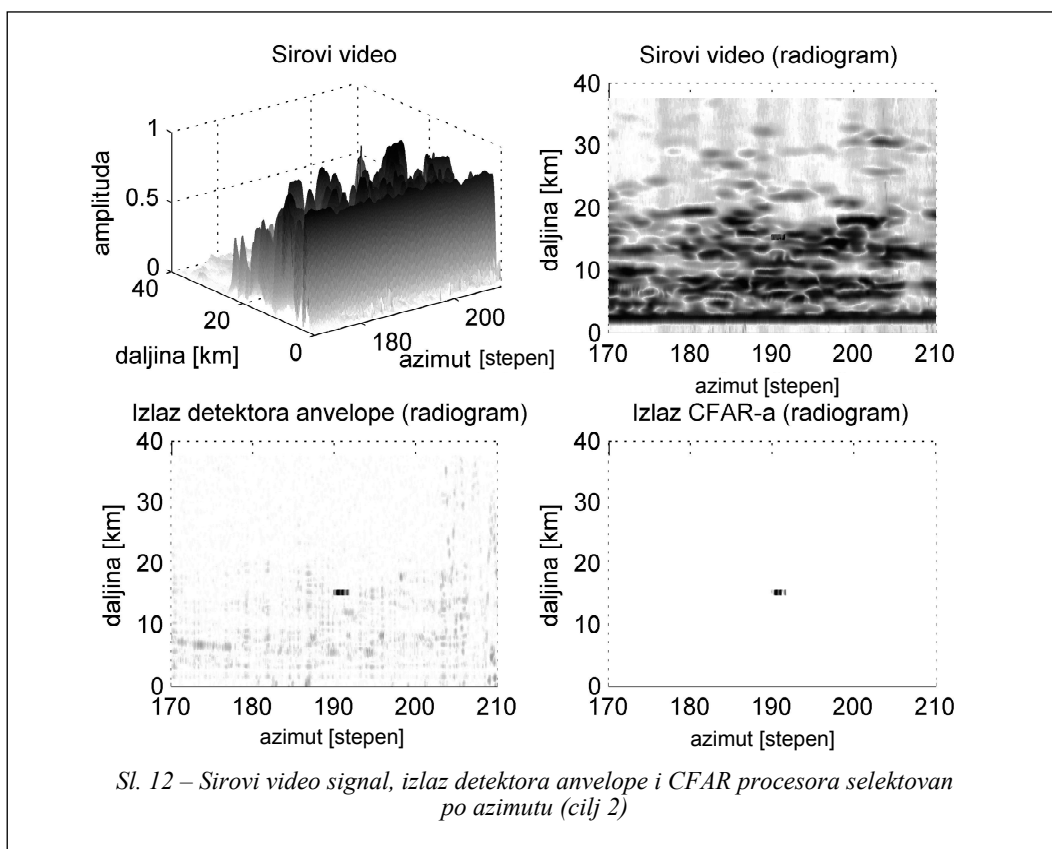
Sirovi video signal sa simuliranim ciljevima prikazan je na slici 9. Od tri pokretna cilja jedino se cilj 3 može primetiti u sirovom video signalu, dok su cilj 1 i cilj 2 potpuno maskirani, jer se

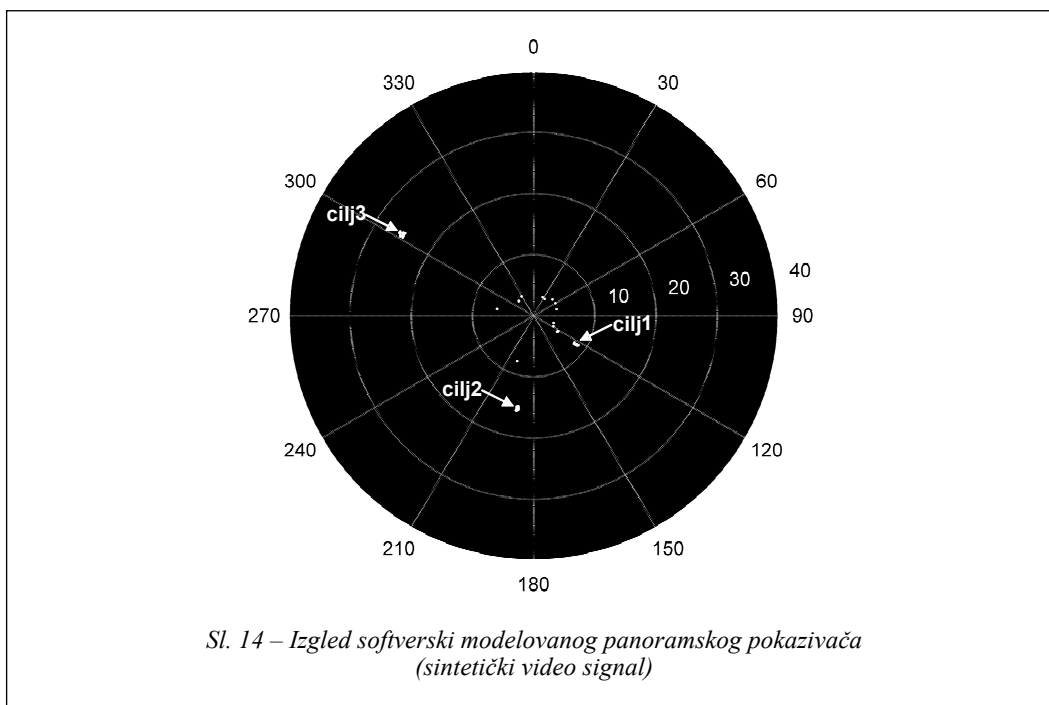
nalaze u oblastima jakog klatera, a po amplitudi su čak i nešto malo ispod njegovog nivoa. Posle filtriranja u Doplerovom filteru situacija se menja. Na slici 10 jasno se uočavaju simulirani ciljevi, ali pored njih postoje i neki drugi odrazi. Posle obrade signala u CFAR procesoru ostaju samo pokretni ciljevi. Izlaz iz CFAR procesora za pun obrtaj antene prikazan je na slici 11.

Efekat obrade signala u projektovanim blokovima softverskog radarskog prijemnika može se bolje uočiti na slici 12, gde je osa azimuta selektovana u opsegu od 170° do 210°. U tom sektoru klater je veoma jak, pa se cilj 2 veoma teško uočava u sirovom video signalu. Tek na izlazu iz CFAR procesora potpuno jasno se uočava cilj 2 na azimutu 190° i daljini od 15 km.









Signali sa izlaza CFAR procesora dolaze na ulaz ekstraktora [2] koji određuje koordinatu svakog detektovanog cilja, što znači da se određuju azimut i daljina svakog cilja. Koordinate ciljeva prosleđuju se softverski modelovanom panoramskom pokazivaču. Na slici 13 prikazan je izgled panoramskog pokazivača kada se prikazuje sirovi video signal, a na slici 14 je panoramski pokazivač na kojem je prikazan digitalno obrađeni signal (sintetički video signal). Kao i na slici 9, i na slici 13 uočava se samo cilj 3 na azimutu 300° i daljini 25 km, dok se ostali ciljevi ne mogu razlikovati od klatera. Na slici 14 lako se uočavaju svi ciljevi iz tabele 2. Na pokazivaču bi se slika menjala posle svakog obrtaja antene.

Na osnovu prikazanih kvalitativnih rezultata zaključujemo da softverski mo-

delovani funkcionalni blokovi radarskog prijemnika dobro emuliraju rad realnog prijemnika radara ŽIRAFA.

Detekcija realnih ciljeva

Pravu verifikaciju ispravnosti rada projektovanih funkcionalnih blokova softverskog radarskog prijemnika predstavlja detekcija realnih ciljeva u realnom klateru. Zbog toga je dodatno meren radarski signal pri postojanju realnih ciljeva.

Obavljena su dva merenja realnog radarskog signala prema opisanoj šemi merenja (slika 3b). Frekvencija ponavljanja predajnih impulsa bila je 2350 Hz, a frekvencija nosioca u impulsu predajnog signala trajanja $\tau = 6 \mu s - 5,4 \text{ GHz}$. U tabeli 3 prikazani su svi parametri akvizicije realnih ciljeva.

Tabela 3
Parametri akvizicije realnih ciljeva

Parametar	Vrednost
Frekvencija odabiranja	$f_{sm} = 2 \text{ MHz}$
Broj ćelija CFAR procesora	$2n = 64$
Verovatnoća lažnog alarma	$P_{fa} = 10^{-6}$
Faktor skaliranja	$T_h = 4,623$
Broj predajnih impulsa	$N = 5900$
Širina predajnog impulsa	$= 6 \text{ s}$
Frekvencija nosioca predajnog impulsa	$f_t = 5,4 \text{ GHz}$
Frekvencija ponavljanja impulsa	$f_r = 2350 \text{ Hz}$

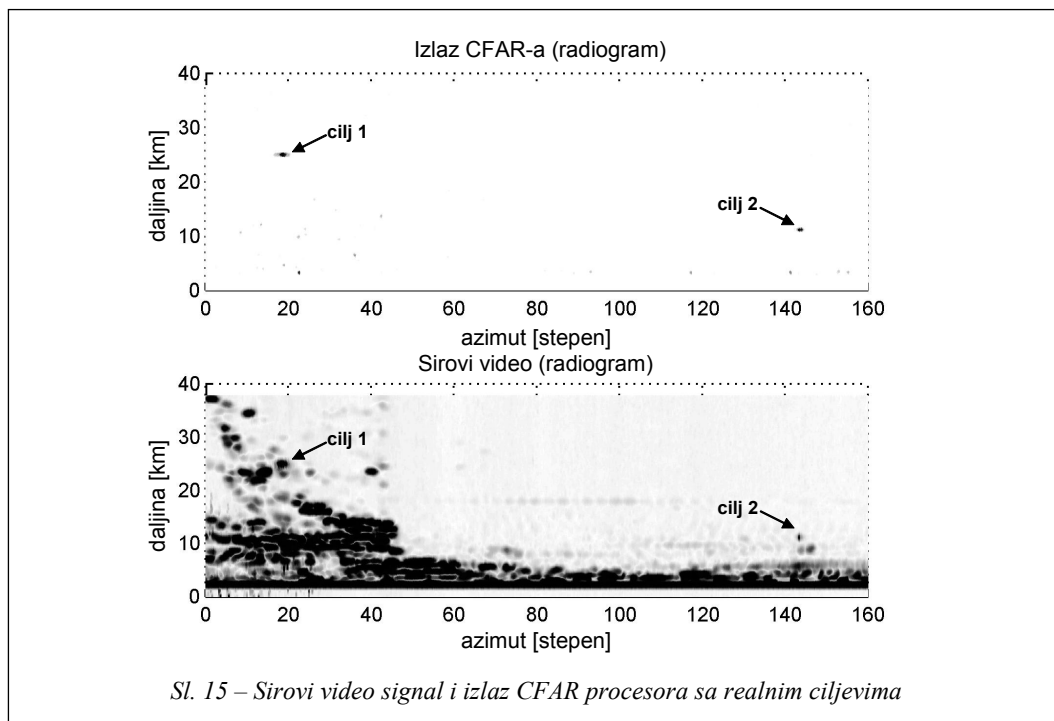
Pri prvom merenju postojala su dva realna cilja. Oba cilja bila su putnički mlazni avioni koji su leteli na redovnim linija-

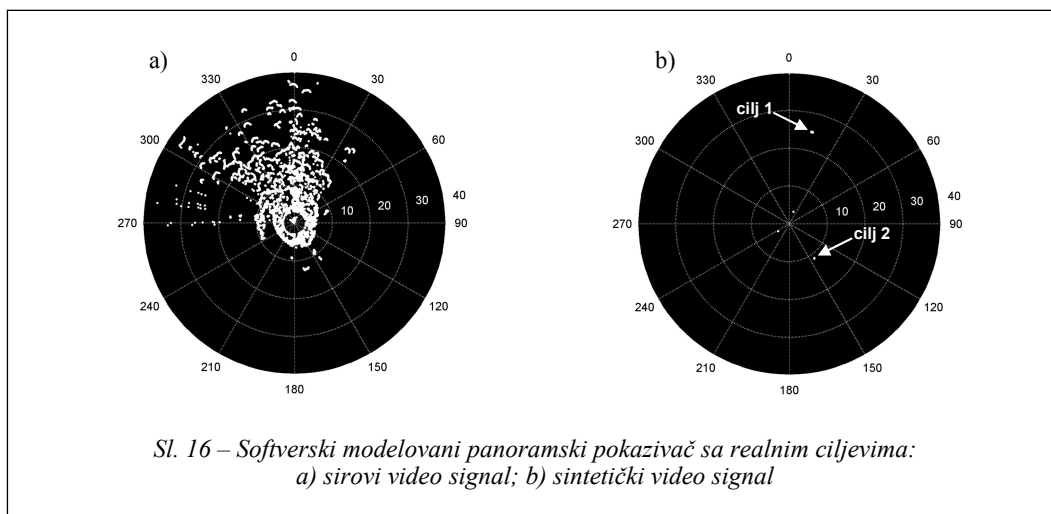
ma. Podaci o brzini i visini leta nisu bili poznati. Prvi cilj nalazio se u oblasti jakog klatera, dok je drugi bio izvan te oblasti.

Pri drugom merenju postojao je samo jedan realni cilj. Bio je to putnički mlazni avion, koji je leteo na relativno malom rastojanju (oko 10 km) od radara ŽIRAFa, ali se nalazio u oblasti veoma snažnog klatera, tako da se bez primene digitalne obrade signala nije mogao uočiti na radarskom pokazivaču. Podaci o brzini i visini leta, takođe, nisu bili poznati.

Sirovi video signal i signal na izlazu CFAR procesora, za prvo merenje, prikazani su na slici 15.

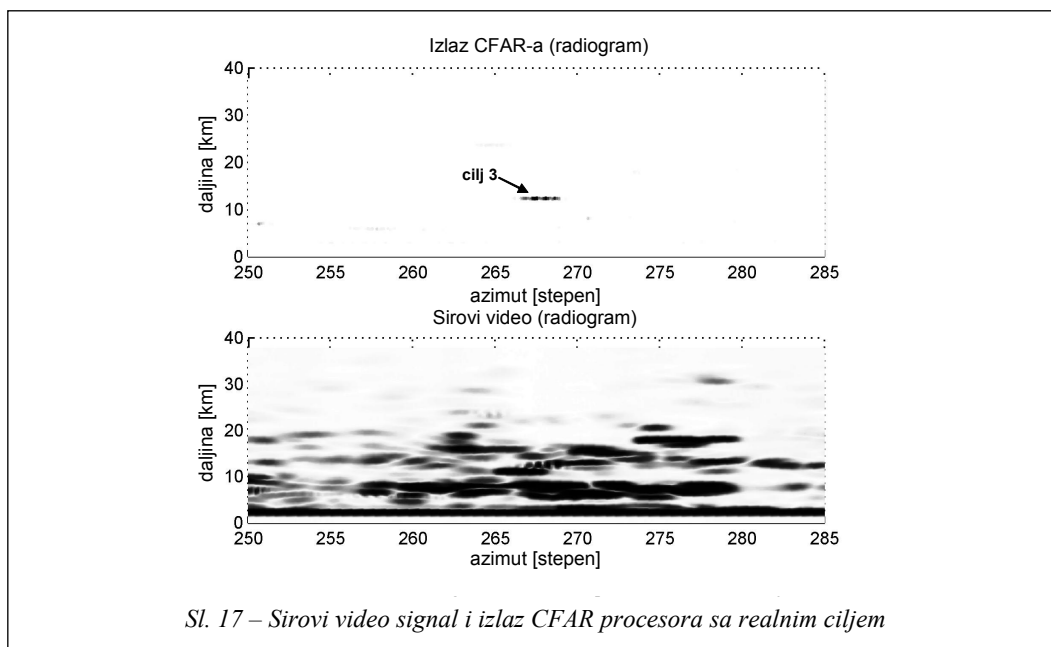
Na radiogramu sirovog video signala nemoguće je razlikovati postojeće realne ciljeve od stalnih odraza. Međutim, nakon digitalne obrade signala u projektovanim softverskim modulima potiskuju se signali stalnih odraza, tako da su dva realna cilja jasno

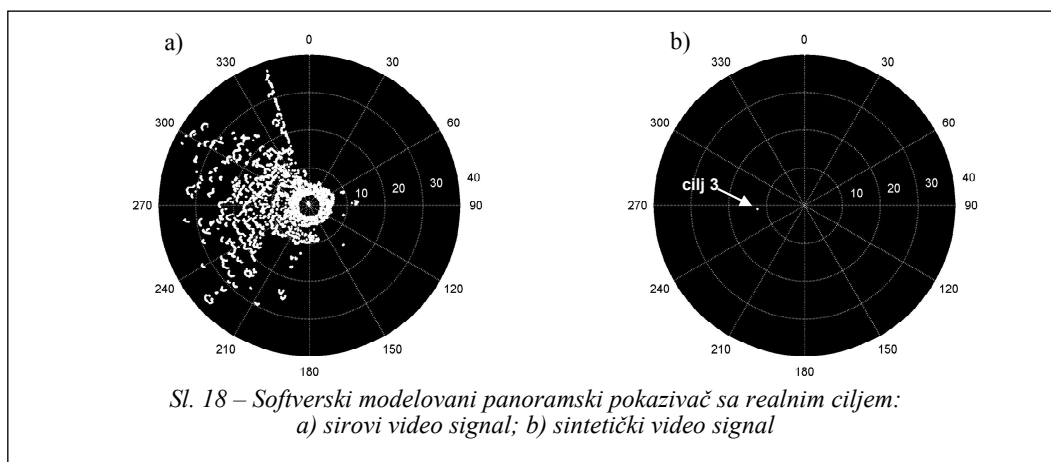




vidljiva na izlazu CFAR procesora, i to cilj 1 na azimutu 19° i daljini 25 km i cilj 2 na azimutu 144° i daljini 11 km. Slični zaključci mogu se izvesti kada se uporede slike na panoramskom pokazivaču. Na slici 16b, pored dva detektovana realna cilja može se primetiti nekoliko lažnih ciljeva koji su posljedica jakog signala klatera u blizini radara.

Pod istim uslovima obavljeno je i drugo merenje realnog radarskog signala, kada je izvršena akvizicija jednog realnog cilja. Sirovi video signal i izlazni signal CFAR procesora prikazani su na slici 17. Osa azimuta selektovana je u opsegu od 250° do 285° , da bi se bolje uočio efekat digitalne obrade realnog ra-





darskog signala. Realni cilj se lako uočava na azimutu 268° i daljini 12,5 km.

Na panoramskom pokazivaču (slika 18a) pri prikazivanju sirovog video signala nemoguće je primetiti cilj. Kada se na pokazivaču prikaže sintetički video signal, realni cilj se jasno uočava na istim koordinatama kao na slici 18b. Za razliku od prethodne situacije, kada su detektovana dva cilja, pri akviziciji ovog realnog cilja nije bilo lažnih ciljeva.

Svi realni ciljevi detektovani su sa zahtovom verovatnoćom lažnog alarma, a njihove proračunate koordinate odgovaraju koordinatama koje je odredio realni radar.

Zaključak

Na osnovu prikazanih kvalitativnih rezultata može se zaključiti da realizovani blokovi softverskog radarskog prijemnika dobro emuliraju rad realnog prijemnika radara, što je bio jedan od osnovnih ciljeva ovog rada.

Modelovanjem konvencionalnih radara putem primene koncepta softverskog radara mogu se poboljšati njihove performanse. Realizacijom ove ideje

stvara se pogodna platforma za unapređivanje karakteristika postojećih konvencionalnih radara primenom modernih tehnika obrade radarskog signala. Na osnovu ove realizacije moguće je unaprediti karakteristike postojećeg radara koje se odnose na precizne estimacije brzine detektovanih pokretnih ciljeva. Primenom koncepta softverskog radara može se povećati fleksibilnost konvencionalnih radara, kao i implementirati potpuno nove funkcije koje znatno unapređuju njegove performanse.

Literatura:

- [1] Ivković, D.: Koncept softverskog radara, VTG br. 1, MO RS Vojnoizdavački zavod, 2007.
- [2] Ivković, D.: Modifikacija konvencionalnih radara na bazi koncepta softverskog radara, VTG br. 2, MO RS Vojnoizdavački zavod, 2007.
- [3] Reed, J. H.: Software Radio, Communications Engineering and Emerging Technologies, Prentice-Hall PTR, 2002.
- [4] Grydeland, T.: Interferometric and high time-resolution observations of Naturally Enhanced Ion-Acoustic Echoes at the EISAT Svalbard Radar: Software radar and Incoherent Scattering, Doctor Scientiarum Dissertation, Faculty of Science Department of Physics, University of Tromsø, 2003.
- [5] Chung-Yi, C.: Modeling and simulation of a search radar receiver, Naval Postgraduate School Monterey California, septembar 1996.
- [6] Grydeland, T.: Software radar signal processing, Annales Geophysicae, 2004.
- [7] Popović, M.: Digitalna obrada signala, Nauka, Beograd, 1996.
- [8] Schleher, D. C.: MTI and Pulsed Doppler Radar, Artech House, USA Norwood, 1991.

Mr Boban Bondžulić,
kapetan, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

dr Vladimir Petrović,
dipl. inž.
Imaging Science,
University of Manchester

OBJEKTIVNE MERE PROCENE REZULTATA SJEDINJAVANJA SLIKA

UDC: 621.397.331

Rezime:

U radu je opisano nekoliko objektivnih mera za procenu rezultata multisenzorskog sjedinjavanja slika, koje se koriste ukoliko postoji idealna sjedinjena slika i mere koje se koriste kada se ona ručno ili automatski ne može dobiti. Analizom sjedinjenih slika, dobijenih na pet različitih načina, izvršeno je poređenje opisanih mera.

Ključne reči: multisenzorsko sjedinjavanje slika, subjektivne i objektivne mere procene rezultata sjedinjavanja, ivice slike, zajednička informacija, univerzalni indeks kvaliteta slike.

OBJECTIVE IMAGE FUSION PERFORMANCE MEASURES

Summary:

In this paper some objective image fusion performance measures are described. The measures which can be used if ground truth or the ideal fused image is known are described as well as the measures which can be used if the ideal fused image cannot be obtained manually or via a reliable procedure. The objective image fusion performance measures are compared by analyzing the results of five different image fusion methods.

Key words: multisensor image fusion, subjective and objective image fusion performance measures, image edges, mutual information, universal image quality index.

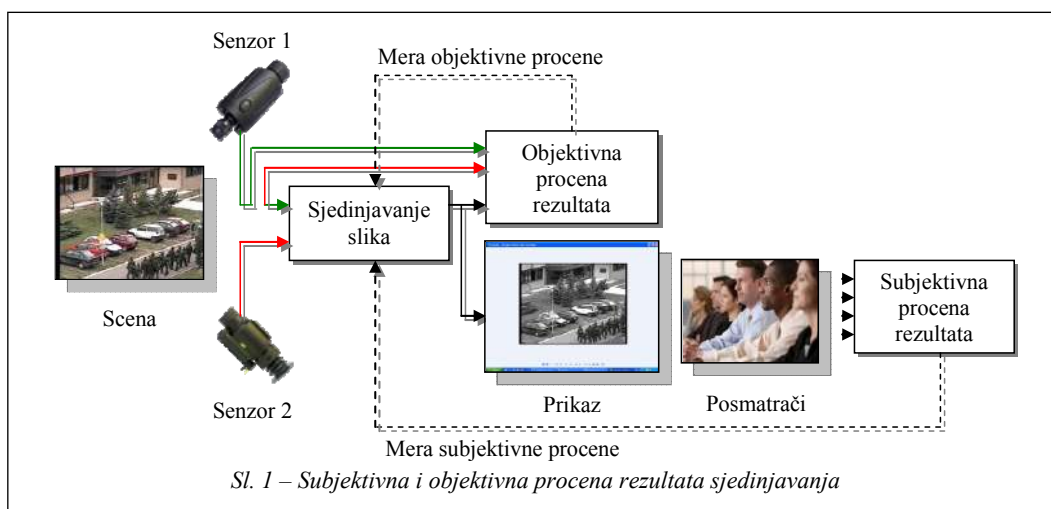
Uvod

Jedna metoda neće biti dobra za sve primene. Takođe, različite metode sjedinjavanja slika nisu podjednako korisne za konkretnu primenu, pa je procena rezultata sjedinjavanja značajna, kako za izbor odgovarajuće metode, tako i za optimalan izbor parametara koji su potrebni za pojedine metode sjedinjavanja.

Uobičajena praksa za procenu rezultata sjedinjavanja zasnovana je na proceni rezultata koju obavlja određeni broj posmatrača (subjektivna procena). Da bi se dobili statistički relevantni rezultati

potreban je znatan broj posmatrača (reprezentativan uzorak) i kontrolisani uslovi sprovođenja eksperimenta. Pored toga, potrebno je sprovesti dodatnu obradu odgovora posmatrača, što subjektivnu procenu čini vremenski dugom i veoma skupom (sl. 1).

Da bi se izbegla subjektivna procena, potrebna je procedura za automatsku procenu rezultata sjedinjavanja, koja se naziva objektivna procena. Pri ovoj proceni obavlja se sjedinjavanje test-slika koje su relevantne za konkretnu primenu. Algoritam koji daje najbolje rezultate zatim se koristi u konkretnoj aplikaciji.



Ovakve metode često se nazivaju i metode neslaganja, jer se rezultati sjedinjavanja porede sa referentnim sjedinjavanjem. Referentno ili idealno sjedinjavanje može se dobiti ručno ili pomoću pouzdane procedure. Procena se dobija poređenjem rezultata ispitivane metode i rezultata idealnog sjedinjavanja.

Objektivne mere procene imaju značajnu ulogu u različitim primenama obrade slike. Najčešće se koriste u kompresiji slike, kada je potrebno kvantitativno proceniti razliku između komprimovane i referentne slike. Njihova primena je moguća kada postoji referentna slika za poređenje sa rezultatom obrade.

Za procenu odstupanja najčešće se koristi srednja kvadratna greška (mean squared error – MSE), koja se definiše kao:

$$\sigma_{ms}^2 = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (A(m, n) - F(m, n))^2 \quad (1)$$

gde je sa A označena referentna slika, a sa F slika koja je rezultat obrade referentne slike. Obe slike su dimenzija $M \times N$ piksela.

Najčešće se srednja kvadratna greška izražava pomoću odnosa signal/šum (u dB) kao:

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{\sigma^2}{\sigma_{ms}^2} \quad (2)$$

gde je σ^2 varijansa referentne slike.

Opisane mere ne daju uvek pravu meru kvaliteta slike, jer ne uzimaju u obzir osobine vizuelnog sistema čoveka [1]. Međutim, one se i dalje koriste, jer su jednostavne za izračunavanje i nisu računarski zahtevne. Takođe, nezavisne su od uslova pod kojima se procena sprovodi.

Pri proceni rezultata sjedinjavanja izvornih slika, osim u veoma specifičnim aplikacijama kao što je sjedinjavanje slika sa različitim fokusima, idealna sjedinjena slika se ručno ili automatski ne može dobiti. Zbog toga će biti opisane objektivne mere procene rezultata sjedinjavanja, a koje ne koriste idealnu sjedinjenu sliku. Opisane mere mogu se razvrstati u tri grupe. To su: ivična objektivna procena, objektivna procena zasnovana na zajedničkim informacijama i objektivna procena zasnovana na univerzalnom indeksu kvaliteta slike.

Ivična objektivna procena rezultata sjedinjavanja

Teoretski cilj sjedinjavanja slika jeste predstavljati informaciju izvornih slika u jednoj kompozitnoj slici, bez distorzije ili gubitka informacija. Kako je u praksi predstavljanje svih informacija izvornih slika preko sjedinjene slike retko moguće, praktični cilj sjedinjavanja je verna reprezentacija najbitnijih informacija izvornih slika u sjedinjenoj slici [2].

Objektivna procena rezultata sjedinjavanja, predložena u [2], povezuje informacije sa ivicama. Prvo se vrši izdvajanje parametara izvornih ivica i sjedinjene slike. Zatim se određuju mere održanja ivica, koje prikazuju koliko su verno preslikane izvorne ivice u sjedinjenoj slici. Određivanjem subjektivnog značaja piksela izvornih slika dobijaju se numeričke vrednosti kojima se modulišu mere održanja ivica i rezultat integriše po svim pikselima. Kao rezultat dobija se numerička vrednost koja pokazuje uspešnost sjedinjavanja.

Izdvajanje parametara ivica može se ostvariti pomoću Sobel operatora, pri čemu se dobijaju x i y komponente ivica (S^x i S^y) izvornih slika A i B i sjedinjene slike F . Parametri ivica su amplituda (moduo gradijenta) g i orijentacije α , a dobijaju se od komponenti S^x i S^y kao:

$$g_I = \sqrt{S_I^{x^2} + S_I^{y^2}} \\ \alpha_I = \arctan\left(\frac{S_I^y}{S_I^x}\right), I = A, B, F \quad (3)$$

Ivica izvorne slike je sasvim preslikana u sjedinjenu sliku ako su amplitude i orijentacije ostale nepromenjene. Prome-

na jednog ili oba parametra jeste pokazatelj gubitka informacija. Ukoliko postoji gubitak informacija od izvorne slike A do sjedinjene slike F , promena amplitude, g^{AF} , definiše se sledećom relacijom:

$$\Delta_g^{AF}(m, n) = \begin{cases} \frac{g_F(m, n)}{g_A(m, n)}, & g_A(m, n) > g_F(m, n) \\ \frac{g_A(m, n)}{g_F(m, n)}, & g_F(m, n) \geq g_A(m, n) \end{cases} \quad (4)$$

Promena orijentacije ivica slike F u odnosu na sliku A , α^{AF} definiše se kao normalizovana razlika orijentacija α_A i α_F :

$$\Delta_\alpha^{AF} = \frac{|\alpha_A(m, n) - \alpha_F(m, n)| - \pi/2}{\pi/2} \quad (5)$$

Da bi se modelovao gubitak informacija uzeta je u obzir i nelinearna priroda vizuelnog sistema čoveka. Gubitak amplituda i orijentacija ivica modulisan je nelinearnim sigmoidnim funkcijama, tako da se dobijaju mere održanja amplituda i orijentacija, Q_g^{AF} i Q_α^{AF} :

$$Q_i^{AF}(m, n) = \frac{\Gamma_i}{1 + \exp\left\{k_i \left[\Delta_i^{AF}(m, n) - \sigma_i\right]\right\}} \quad i = g, \alpha \quad (6)$$

U radu su korišćene vrednosti parametara $[k_g, k_\alpha, \sigma] = [-11, 0.7, -24, 0.8]$, preuzete iz literature [2]. Konstante σ_i dobijaju se tako da je $Q_i^{AF} = 1$ kada je $\Delta_i^{AF} = 1$.

Mere održanja amplituda i orijentacija Q_g^{AF} i Q_α^{AF} kombinuju se u meru održanja ivica Q^{AF} , koja predstavlja meru vernosti kojom slika F predstavlja sliku A :

$$Q^{AF}(m, n) = [Q_g^{AF}(m, n) \cdot Q_\alpha^{AF}(m, n)]^{1/2} \quad (7)$$

Vrednosti Q^{AF} nalaze se u opsegu [0 1], gde $Q^{AF} = 0$ ukazuje na kompletan gubitak informacija izvorne slike, dok $Q^{AF} = 1$ ukazuje na potpuni transfer informacija.

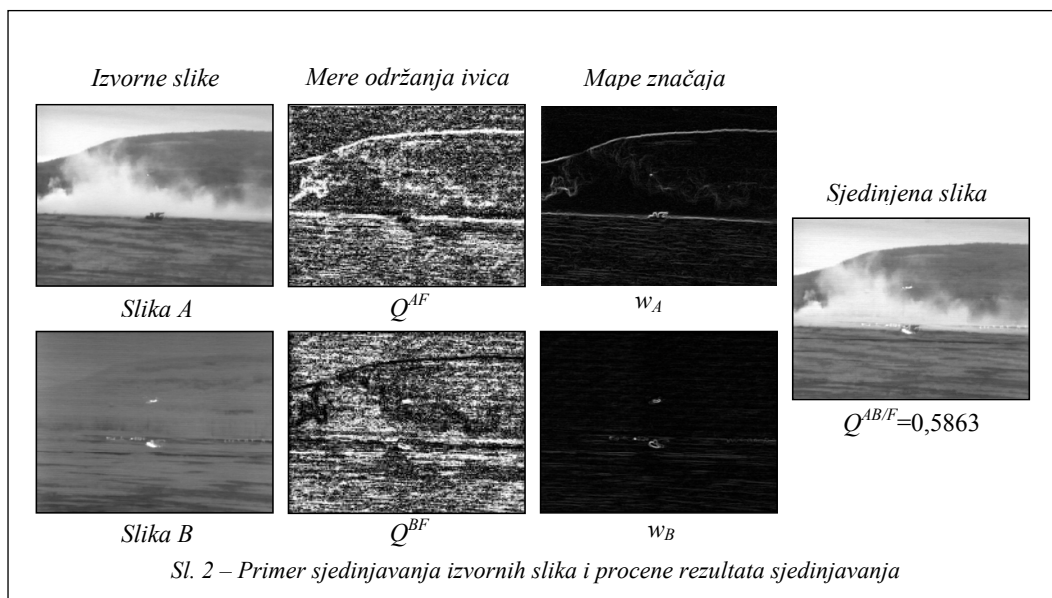
Značaj piksela izvornih slika predstavljen je preko numeričkih koeficijenata $w_i(m, n)$, $i \in \{A, B\}$. Subjektivni značaj određen je na osnovu amplituda ivica, tako da je $w_i(m, n) = g_i(m, n)$.

Krajnja mera rezultata sjedinjavanja slika A i B, $Q^{AB/F}$, dobija se kao normalizovana suma mera održanja ivičnih parametara piksela izvornih slika, Q^{AF} i Q^{BF} , moduliranih mapama subjektivnog značaja w_A i w_B :

Vrednosti mere $Q^{AB/F}$ nalaze se u opsegu [0 1], gde vrednost nula ukazuje na to da je došlo do potpunog gubitka informacija izvornih slika, dok vrednost jedan ukazuje da se radi o idealnom sjedinjavanju, pri kojem su informacije izvornih slika u potpunosti preslikane u sjedinjenu sliku. Za metodu sjedinjavanja koja daje veću vrednost $Q^{AB/F}$ kaže se da je bolja za izvorne slike A i B.

Primer sjedinjavanja izvornih slika i procene rezultata sjedinjavanja prikazan je na sl. 2. Na ovoj slici su prikazane izvorne slike A i B, mere održanja ivica Q^{AF} i Q^{BF} , mape značaja w_A i w_B (crni pikseli 0, beli pikseli 1) i sjedinjena slika. Izvorne slike dobijene su sa televizijske i termovizijske kamere.

$$Q^{AB/F} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (Q^{AF}(m, n)w_A(m, n) + Q^{BF}(m, n)w_B(m, n))}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (w_A(i, j) + w_B(i, j))} \quad (8)$$



Sjedinjena slika sadrži informacije obe izvorne slike, sa bitnim obeležjima koja su preneti iz izvornih slika: bele linije i strukture na Q^{AF} i Q^{BF} . Krajnji rezultat objektivne procene rezultata sjedinjavanja iznosi $Q^{AB/F}=0,5863$.

Zajednička informacija kao objektivna mera procene rezultata sjedinjavanja

U [3] se za određivanje kvaliteta sjedinjavanja koristi zajednička informacija izvornih slika i sjedinjene slike.

Zajednička informacija slika A i B definiše se kao:

$$I(A, B) = \sum_a \sum_b p(a, b) \cdot \log \frac{p(a, b)}{p(a)p(b)} \quad (9)$$

gde su $p(a)$ i $p(b)$ marginalne raspodele nivoa sivog, a $p(a, b)$ združena raspodela nivoa sivog slika A i B .

Ako imamo dve izvorne slike A i B i sjedinjenu sliku F , količina prenesenih informacija od izvornih slika u

sjedinjenu sliku dobija se sledećim relacijama:

$$I(A, F) = \sum_{a,f} p(a, f) \log \frac{p(a, f)}{p(a)p(f)} \text{ i}$$

$$I(B, F) = \sum_{b,f} p(b, f) \log \frac{p(b, f)}{p(b)p(f)} \quad (10)$$

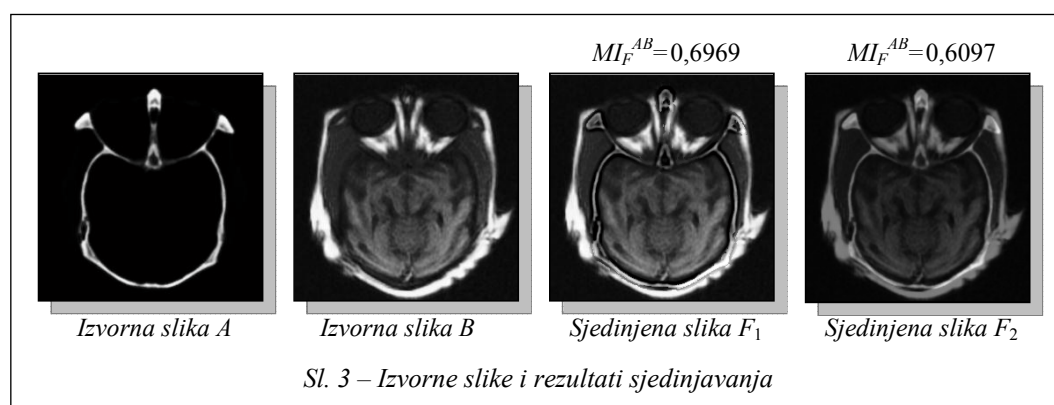
Performanse sjedinjavanja izvornih slika određuju se kao:

$$MI_F^{AB} = \frac{I(A, F) + I(B, F)}{H(A) + H(B)} \quad (11)$$

gde su $H(A)$ i $H(B)$ entropije nivoa sivog izvornih slika, a dinamički opseg mere MI je $[0 \ 1]$.

Na sl. 3 prikazane su dve izvorne slike i rezultati sjedinjavanja na dva različita načina. Izvorne slike dobijene su računarskom tomografijom i magnetskom rezonancom.

Sa sl. 3 vidi se da sjedinjena slika F_1 sadrži više informacija izvornih slika nego sjedinjena slika F_2 , što se potvrdilo i analizom količine prenesenih informacija ($MI_{F_1}^{AB} > MI_{F_2}^{AB}$).



Objektivne mere procene rezultata sjedinjavanja zasnovane na univerzalnom indeksu kvaliteta slike

Neka su date slike A i B dimenzija MxN piksela. Označimo sa $\bar{A}$ i $\bar{B}$ srednje vrednosti nivoa sivog slika, sa σ_A^2 i σ_B^2 varijanse nivoa sivog slika i sa σ_{AB} kovarijansu slika A i B.

Mera Q se definiše:

$$Q = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \sigma_B} \cdot \frac{2 \bar{A} \bar{B}}{\bar{A}^2 + \bar{B}^2} \cdot \frac{2 \sigma_A \sigma_B}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (12)$$

Wang i Bovik [4] su koeficijent Q nazvali univerzalni indeks kvaliteta slike (a universal image quality index – UIQI) i koristili ga za kvantitativno predstavljanje strukturne distorzije između slika A i B.

Dinamički opseg mere Q je $[-1 \ 1]$. Indeks kvaliteta modeluje distorziju kao kombinaciju tri različita faktora: distorziju korelacije, distorziju osvetljenosti i distorziju kontrasta. Prvi član u izrazu je koeficijent korelacije koji pokazuje stepen linearne korelacije između slika A i B. Dinamički opseg koeficijenta korelacije je $[-1 \ 1]$. Drugi član, sa dinamičkim opsegom $[0 \ 1]$, pokazuje koliko su blizu srednje vrednosti nivoa sivog slika A i B. Devijacije σ_A i σ_B mogu se posmatrati kao estimacije kontrasta slika, tako da treći član u izrazu pokazuje koliko su blizu kontrasti slika. Dinamički opseg trećeg člana je $[0 \ 1]$.

Mera kvaliteta izračunava se u lokalnim regionima slike, uz korišćenje pokretnog prozora. Polazeći od gornjeg levog dela slike, pokretni prozor w, dimenzija LxL piksela, pomera se horizontalno

i vertikalno, sve do donjeg desnog dela slike. Indeks kvaliteta određuje se u svakom prozoru. Krajnji indeks kvaliteta dobija se kao:

$$Q(A, B) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Q(A, B / w) \quad (13)$$

Piella [5] je koristio indeks kvaliteta da definiše meru $Q(A, B, F)$ za procenu rezultata sjedinjavanja izvornih slika, gde su A i B izvorne slike, a F sjedinjena slika.

Mera koja će reprezentovati lokalni značaj prozora w na slici A označena je sa $s(A/w)$. Ova mera može zavisiti od kontrasta, varijanse ili entropije unutar prozora. Ako se poznaju mere $s(A/w)$ i $s(B/w)$ slika A i B, može se izračunati lokalni značaj $\lambda_A(w)$ prozora slike A u odnosu na prozor slike B. Odgovarajući izbor za $\lambda_A(w)$ je [5]:

$$\lambda_A(w) = \frac{s(A/w)}{s(A/w) + s(B/w)} \quad (14)$$

Na isti način se računa $\lambda_B(w)$. Mera kvaliteta sjedinjavanja $Q_0(A, B, F)$ data je sa:

$$Q_0(A, B, F) = \frac{1}{|W|} \sum_{w \in W} (\lambda_A(w) Q(A, F/w) + \lambda_B(w) Q(B, F/w)) \quad (15)$$

gde je W skup svih prozora, a |W| njihov ukupan broj.

Sada treba definisati drugu varijantu mere kvaliteta sjedinjavanja, koja će dati veći značaj prozorima izvornih slika koji imaju veći lokalni značaj. Značaj prozora definiše se kao $C(w) = \max (s(A/w),$

s(B/w)). Težinska mera kvaliteta sjedinjavanja definiše se kao:

$$Q_w(A, B, F) = \sum_{w \in W} c(w) \left(\lambda_A(w) Q(A, F/w) + \lambda_B(w) Q(B, F/w) \right) \quad (16)$$

gde je:

$$c(w) = C(w) / \left(\sum_{w \in W} C(w) \right) \quad (17)$$

U [5] je predložena i krajnja modifikacija mere kvaliteta sjedinjavanja koja uzima u obzir ivice izvornih slika i sjedinjene slike. Koristeći modul gradijenta umesto nivoa sivog, može se izračunati mera Q_w . Modul gradijenta slike A ozna-

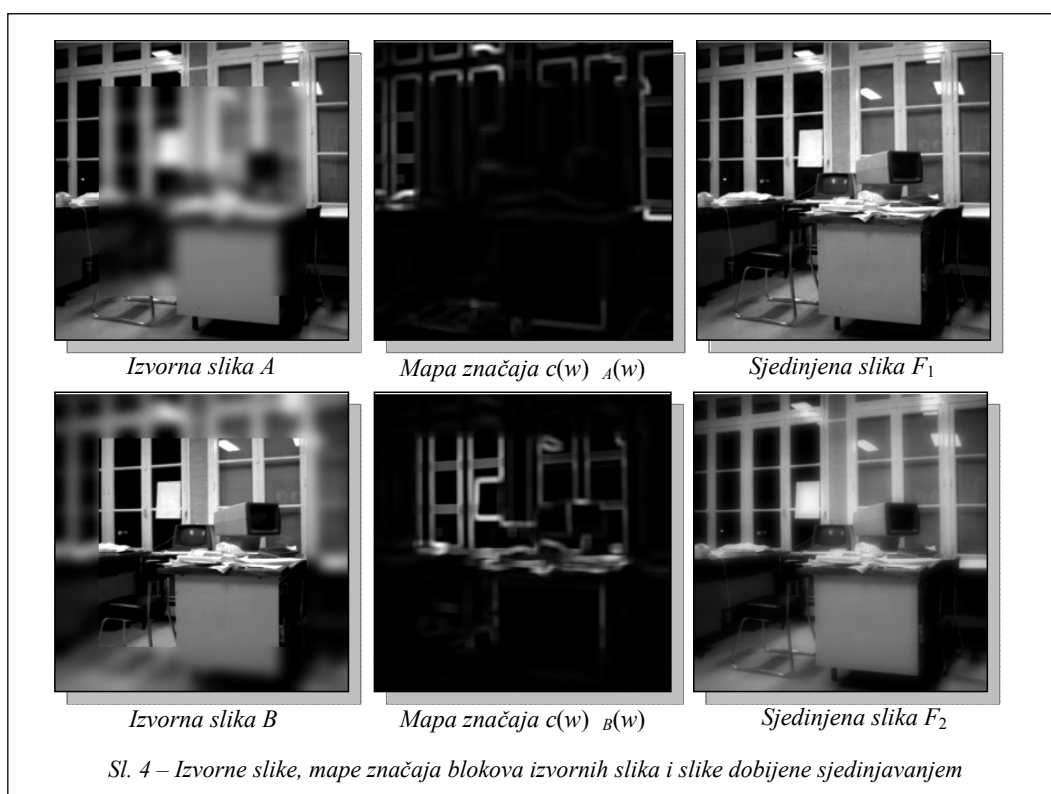
čen je sa A' . Ako se vrednosti $Q_w(A, B, F)$ i $Q_w(A', B', F')$ kombinuju u ivično zavisnu meru kvaliteta sjedinjavanja, dobija se:

$$Q_e = Q_w(A, B, F)^{1-\alpha} \cdot Q_w(A', B', F')^\alpha \quad (18)$$

gde parametar $\alpha \in [0, 1]$ izražava doprinos modula gradijenta u odnosu na doprinos nivoa sivog izvornih slika.

Sve tri predložene mere imaju dinamički opseg $[-1, 1]$. Što su mere bliže jedinici, to je više informacija izvornih slika preneto u sjedinjenu sliku.

Na sl. 4 prikazane su dve izvorne slike, mape značaja blokova izvornih slika i rezultati sjedinjavanja na dva različita načina.



Slika 4 pokazuje da veći značaj imaju blokovi koji se nalaze u nefiltriranim delovima izvornih slika, odnosno u delovima izvornih slika u kojima postoje izražene ivice. Po proceni posmatrača, sjedinjena slika F_1 sadrži više informacija izvornih slika od slike F_2 .

Za izvorne i sjedinjene slike, prikazane na sl. 4, vrednosti mera predloženih u [5] prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1
Vrednosti mera za procenu rezultata sjedinjavanja izvornih slika

Mera	Sjedinjena slika F_1	Sjedinjena slika F_2
$Q_0(A, B, F)$	0,7684	0,7919
$Q_w(A, B, F)$	0,9215	0,8473
$Q_e(A, B, F)$	0,8186	0,6932

Iz tabele 1 vidi se da se vrednosti objektivnih mera procene rezultata sjedinjavanja Q_w i Q_e slažu sa procenom posmatrača, za razliku od mere Q_0 .

Pri proračunu lokalnog značaja prozora $A(w)$, odnosno $B(w)$, korišćena je varijansa bloka izvorne slike (srednja vrednost za slike modula gradijenta) dimenzija 8×8 piksela, što nije mera sličnosti prozora izvorne slike sa prozorom sjedinjene slike. Dimenzija bloka ima značajan uticaj na predložene mere sjedinjavanja, jer se količnik varijansi prozora izvornih slika znatno menja sa promenom dimenzija prozora. Pored toga, kada se računa vrednost mere Q_e potrebno je odrediti module gradijenata izvornih slika, modul gradijenta sjedinjene slike i vrednost $Q_w(A', B', F')$, što utiče na računarsku zahtevnost mere. Zbog toga je u [6] predložena mera zasnovana na univerzalnom indeksu kvaliteta slike, a koja

uzima u obzir sličnost blokova izvornih slika i sjedinjene slike. Ova mera definiše se kao:

$$Q_b(A, B, F) = \sum_{w \in W} \left(\frac{\text{sim}(A, B, F/w) \cdot Q(A, F/w) + (1 - \text{sim}(A, B, F/w)) \cdot Q(B, F/w)}{2} \right) \quad (19)$$

gde je:

$$\text{sim}(A, B, F/w) = \begin{cases} 0, & \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} < 0 \\ \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}}, & 0 \leq \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} \leq 1 \\ 1, & \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} > 1 \end{cases} \quad (20)$$

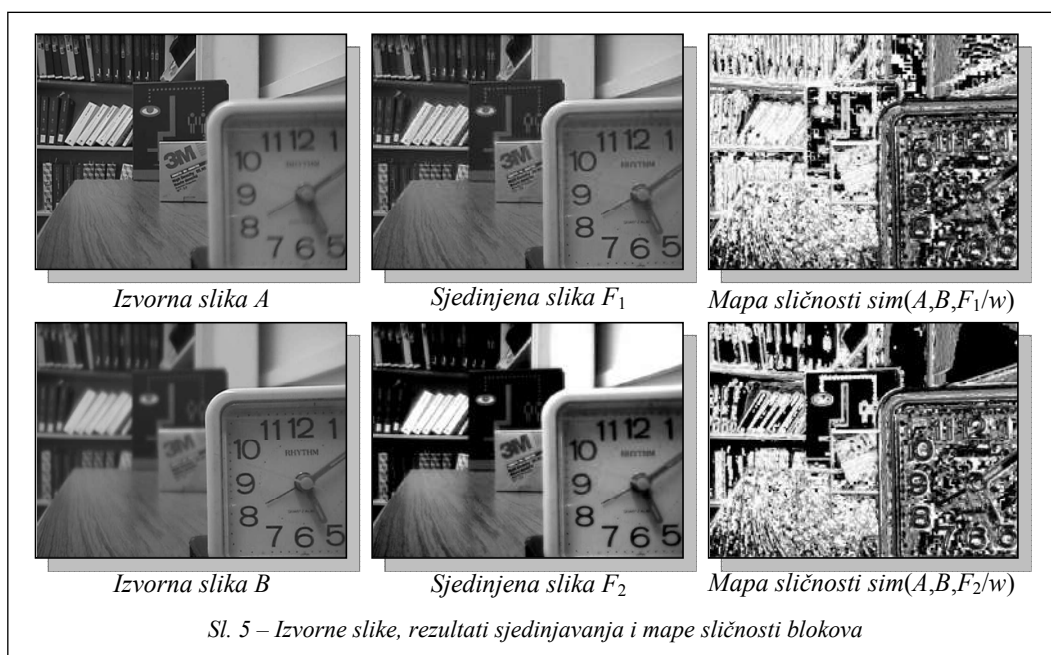
i

$$\sigma_{IF} = \frac{1}{MN-1} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I(m, n) - \bar{I}) \cdot (F(m, n) - \bar{F}) \quad (21)$$

Analizirani prozor ima težinu $\text{sim}(A, B, F/w)$ koja zavisi od sličnosti prozora izvornih i sjedinjene slike.

Na sl. 5 prikazane su dve izvorne slike, rezultati sjedinjavanja na dva načina i mape sličnosti blokova.

Ova slika pokazuje da sjedinjena slika F_1 sadrži više informacija izvornih slika nego slika F_2 . Kada se posmatraju sličnosti blokova izvorne slike A i blokova sjedinjenih slika uočava se da je sličnost blokova veća u regionu izvorne slike koji je u fokusu (crni pikseli 0, beli pikseli 1). Takođe, uočava se da je veći broj sličnih blokova izvorne slike A i sjedinjene slike F_1 nego broj sličnih blokova izvorne slike A i sjedinjene slike F_2 .



U tabeli 2 date su vrednosti mere Q_b za izvorne i sjedinjene slike sa sl. 5.

Tabela 2
Vrednosti mere Q_b za izvorne i sjedinjene slike
sa sl. 5

Mera	Dimenzije bloka	Sjedinjena slika F_1	Sjedinjena slika F_2
$Q_b(A,B,F)$	4x4 piksela	0,8060	0,5673
	8x8 piksela	0,8362	0,6040
	16x16 piksela	0,8627	0,6293

Vrednosti predložene mere iz tabele slažu se sa subjektivnom procenom, tj. $Q_b(A, B, F_1) > Q_b(A, B, F_2)$, za sve tri dimenzije blokova. Takođe, može se primetiti da se sa promenom dimenzija blokova ne menjaju znatno vrednosti mere Q_b , što je u skladu sa zapažanjima u [6].

Da bi se optimizovale performanse sjedinjavanja, dalja istraživanja mogu se usmeriti ka izboru obeležja blokova

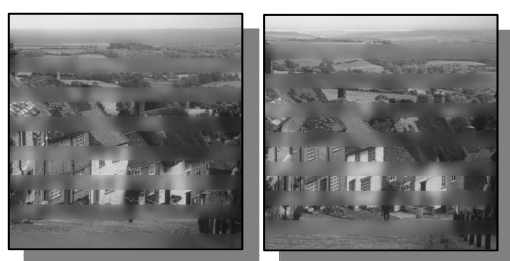
(entropija, standardna devijacija, varijansa, ...). Umesto blokovske podele slika moguće je izvršiti segmentaciju izvornih slika i mere definisati za regione izvornih slika. Osobine vizuelnog sistema čoveka mogu se uključiti u objektivne procene na različite načine. Jedan od mehanizama funkcioniše kroz multirezolucionu analizu, jer prostorna rezolucija slike ima veliki uticaj na subjektivni kvalitet slike. U radu su razmatrane monohromatske slike a dalji rad može biti usmeren na primenu ovih mera u sjedinjavanju slika u boji.

Poređenje objektivnih mera procene rezultata sjedinjavanja

Poređenje objektivnih mera procene rezultata sjedinjavanja izvršeno je putem analize sjedinjenih slika dobijenih na različite načine. Analizirano je pet načina

sjedinjavanja: sjedinjavanje DOLP piramida izvornih slika – DOLP [7], sjedinjavanje ROLP piramida izvornih slika – ROLP [7], računarski efikasno sjedinjavanje – RES [8], aritmetičko sjedinjavanje – AS [8] i sjedinjavanje vejevlet transformacija izvornih slika – WAVE [9].

Na sl. 6 prikazane su dve izvorne slike dobijene niskofrekventnim filtriranjem komplementarnih delova slike „Goldhill“.



(a) Izvorna slika A

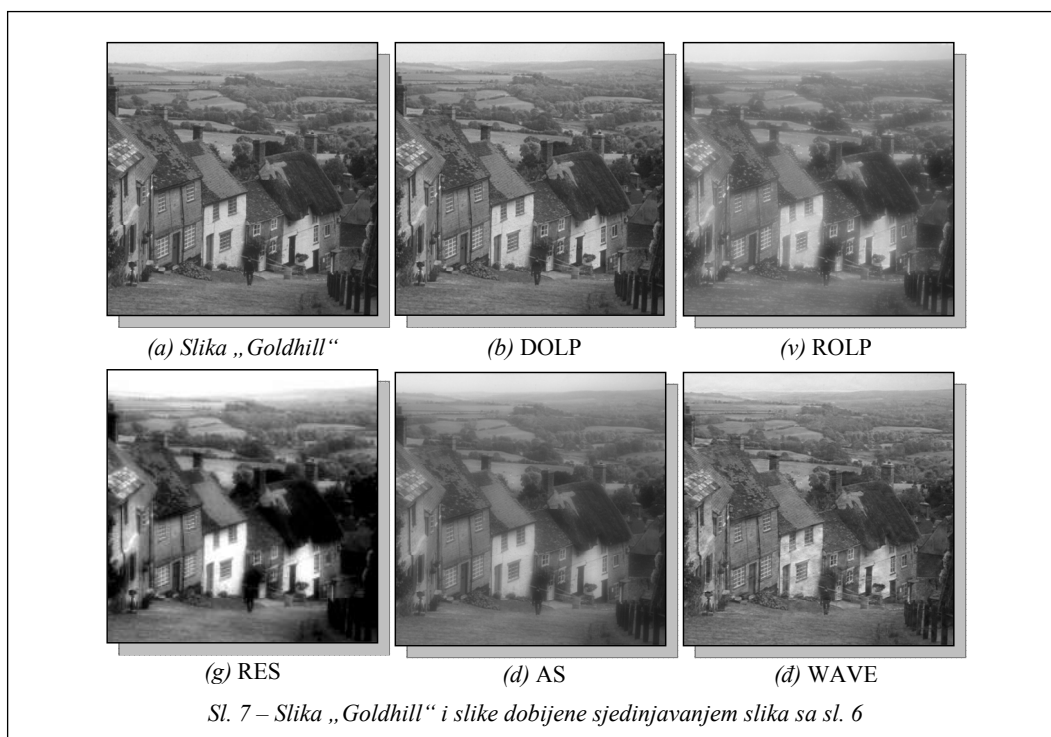
(b) Izvorna slika B

Sl. 6 – Izvorne slike

Na sl. 7a prikazana je slika od koje su nastale izvorne slike prikazane na sl. 6. Na sl. 7b do 7d prikazane su sjedinjene slike.

Originalnoj slici „Goldhill“ vizuelno je najbližnja slika dobijena sjedinjavanjem DOLP piramida izvornih slika. Na drugom mestu po sličnosti originalnoj slici bila bi slika dobijena sjedinjavanjem vejevlet transformacija izvornih slika (procena autora).

U tabeli 3 prikazane su vrednosti opisanih mera objektivne procene rezultata sjedinjavanja izvornih slika prikazanih na sl. 6. Metode koje po analiziranim merama daju najbolje i najlošije rezultate sjedinjavanja obeležene su u tabeli crnom i sivom bojom, respektivno.



Sl. 7 – Slika „Goldhill“ i slike dobijene sjedinjavanjem slika sa sl. 6

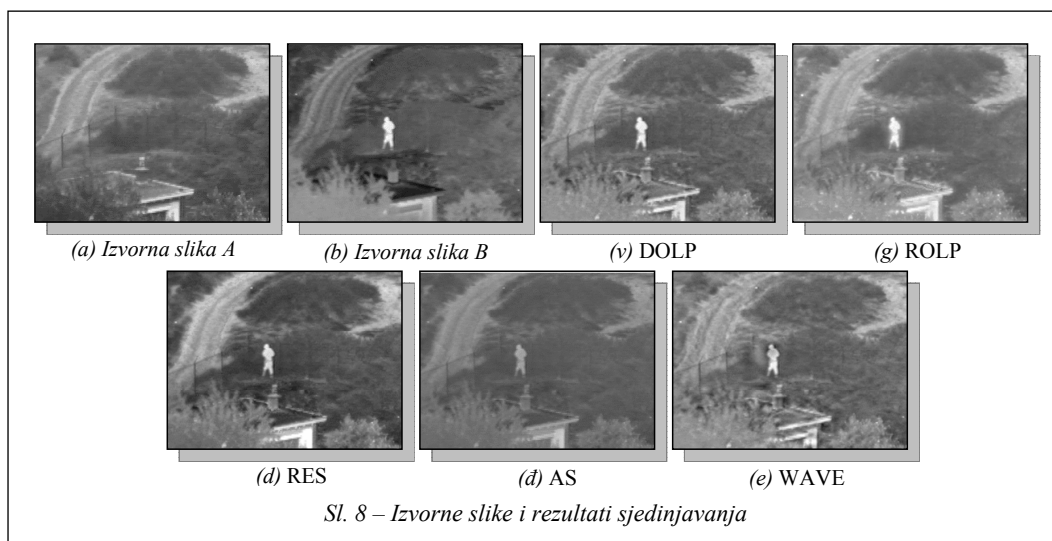


Tabela 3
Vrednosti objektivnih mera procene rezultata
sjedinjavanja

	DOLP	ROLP	RES	AS	WAVE
MSE	0,0003	0,0041	0,0139	0,0015	0,0009
$Q^{AB/F}$	0,7883	0,4083	0,6917	0,3349	0,6760
MI_F^{AB}	0,3495	0,3421	0,2827	0,3173	0,2806
Q_0	0,8768	0,7300	0,6904	0,7713	0,8218
Q_w	0,9219	0,7729	0,8400	0,7912	0,8898
Q_e	0,8566	0,6557	0,7856	0,6549	0,8123
$Q_b(4 \times 4)$	0,9180	0,7148	0,6917	0,7606	0,8549
$Q_b(8 \times 8)$	0,8857	0,7295	0,6746	0,7633	0,8357
$Q_b(16 \times 16)$	0,8539	0,7574	0,6629	0,7910	0,8180

Po objektivnim procenama najbolji rezultati sjedinjavanja dobijeni su sjedinjavanjem DOLP piramida izvornih slika, što je u skladu sa subjektivnom procenom.

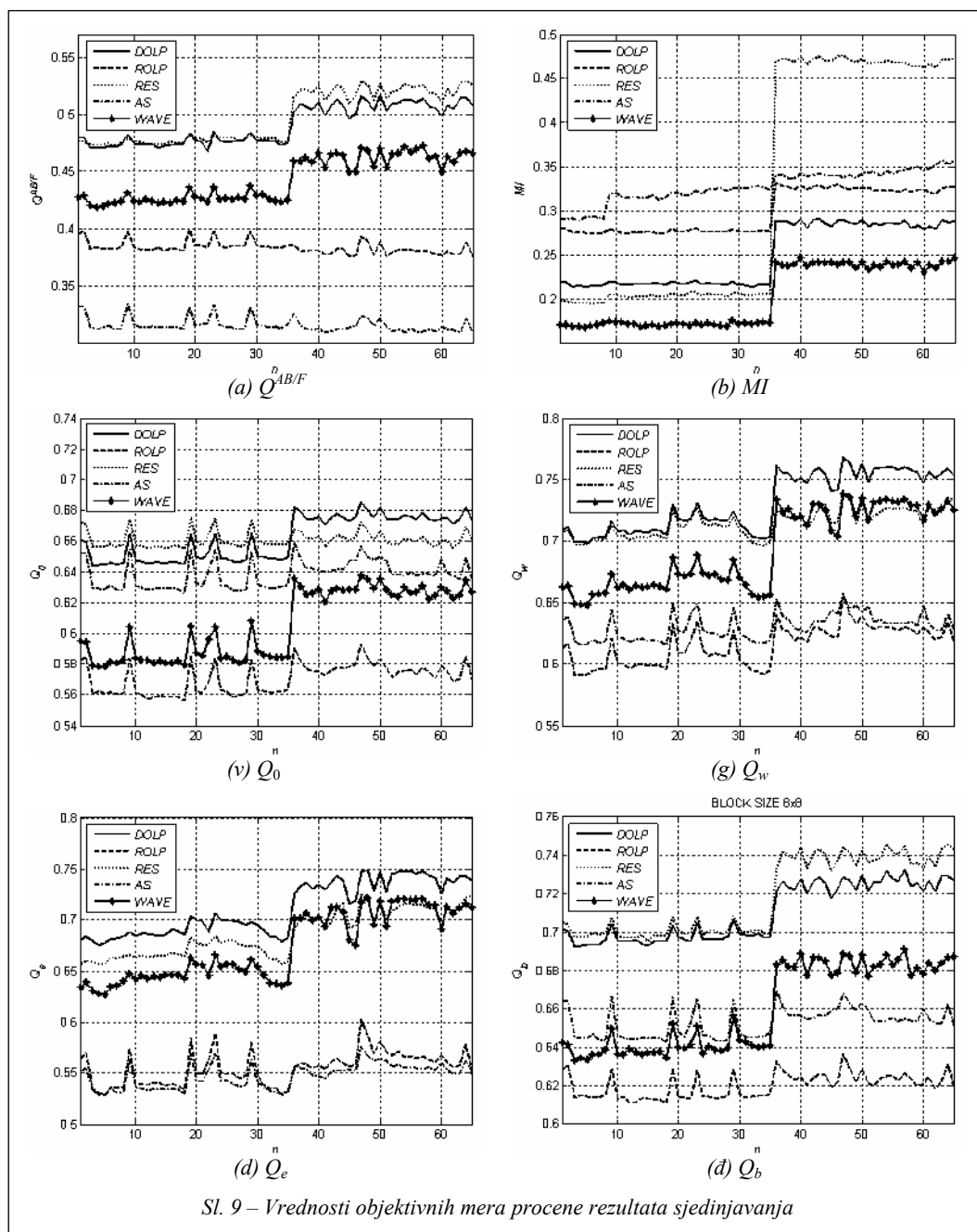
Analiza rezultata sjedinjavanja i objektivnih mera procene rezultata sprovedena je za televizijske i termovizijske slike sekvenci UNCAMP. Analizirano je 65 frejmova.

Na sl. 8 prikazane su dve izvorne slike televizijskih i termovizijskih sekvenci UNCAMP i rezultati sjedinjavanja po pet metoda.

Sjedinjene slike sadrže informacije obe izvorne slike. Veoma je teško izdvojiti metodu koja daje najbolje rezultate sjedinjavanja. Po proceni autora rada sjedinjavanjem DOLP piramida izvornih slika, računarski efikasnim sjedinjavanjem i sjedinjavanjem vejevlet transformacija izvornih slika dobijeni su bolji rezultati sjedinjavanja nego sjedinjavanjem ROLP piramida izvornih slika i aritmetičkim sjedinjavanjem.

Na sl. 9 prikazane su vrednosti analiziranih objektivnih mera procene rezultata sjedinjavanja, za svih pet metoda.

Sa sl. 9 vidi se da od 36. frejma počinju da rastu vrednosti analiziranih mera. Porast vrednosti nastao je zbog smanjenja amplitudske rezolucije izvornih slika. Vrednosti analiziranih mera imaju lokalne maksimume. Dodatnom analizom izvornih sekvenci ustanovljeno je da postoje podrhtavanja televizijske kamere u toku snimanja, što je uslovalo pojavu lokalnih maksimuma. Promena amplitudske rezolucije (osim kod mere MI) nije uslovila znatnu promenu redosleda metoda po kvalitetu sjedinjavanja.



U tabeli 4 prikazane su srednje vrednosti objektivnih mera procene rezultata sjedinjavanja za 65 analiziranih frejmova i za svih pet metoda sjedinja-

vanja. Metodi koji po analiziranim merama daju najbolje i najlošije rezultate obeleženi su crnom i sivom bojom, respektivno.

Tabela 4

Srednje vrednosti objektivnih mera procene
rezultata sjedinjavanja

	DOLP	ROLP	RES	AS	WAVE
$Q^{AB/F}$	0,4908	0,3837	0,4974	0,3159	0,4429
MI_F^{AB}	0,2488	0,2992	0,3259	0,3280	0,2030
Q_0	0,6620	0,5706	0,6610	0,6382	0,6056
Q_w	0,7312	0,6155	0,7146	0,6306	0,6932
Q_e	0,7114	0,5549	0,6863	0,5471	0,6740
$Q_b(4 \times 4)$	0,7263	0,6384	0,7287	0,6690	0,6840
$Q_b(8 \times 8)$	0,7102	0,6201	0,7184	0,6528	0,6601
$Q_b(16 \times 16)$	0,7103	0,6265	0,7299	0,6430	0,6540

Za objektivne mere procene $Q^{AB/F}$ i Q_b najbolji rezultati sjedinjavanja dobijeni su računarski efikasnim sjedinjavanjem, a za mere Q_0 , Q_w i Q_e najbolji rezultati sjedinjavanja dobijeni su sjedinjavanjem DOLP piramida izvornih slika. Ako se uporede vrednosti ovih pet mera za računarski efikasno sjedinjavanje i sjedinjavanje DOLP piramida izvornih slika, može se zaključiti da su srednje vrednosti mera veoma bliske. Izuzetak od ovih mera je mera MI, po kojoj su najbolji rezultati sjedinjavanja do 35. frejma dobijeni aritmetičkim sjedinjavanjem, a od 36. frejma računarski efikasnim sjedinjavanjem.

Detaljna analiza objektivnih mera procene morala bi da obuhvati subjektivnu procenu rezultata sjedinjavanja i poređenje sa rezultatima objektivne procene.

Slike i sekvence korišćene u radu preuzete su iz baza slika i sekvenci dostupnih u [10].

Zaključak

U radu su opisane objektivne mere procene rezultata multisenzorskog sjedinjavanja slika. Mogu se svrstati u dve grupe: objektivne mere procene ukoliko je poznata idealna sjedinjena slika i objektivne mere procene koje se koriste kada idealna sjedinjena slika nije poznata. Idealna sjedinjena

slika, osim u veoma specifičnim aplikacijama, ne može se dobiti, pa je u radu najveća pažnja posvećena merama koje ne koriste idealnu sjedinjenu sliku. Opisane su mere koje polaze sa tri različita stanovišta: transfera ivica od izvornih u sjedinjenu sliku, zajedničkih izvornih informacija i sjedinjene slike i distorzije blokova izvornih slika. Neke od opisanih mera uzimaju u obzir vizuelni sistem čoveka.

Analizom sjedinjenih slika, dobijenih na pet različitih načina, izvršeno je poređenje opisanih mera. Utvrđeno je da mera MI, zasnovana na zajedničkim informacijama, nekada daje rezultate koji nisu u skladu sa subjektivnom procenom.

Kako bi se optimizovale performanse sjedinjavanja, u radu su predloženi mogući pravci daljih istraživanja. Predstoji sprovođenje detaljne analize koja će obuhvatiti subjektivne testove i poređenje rezultata subjektivne i objektivne procene.

Zahvalnica: Istraživanja u ovom radu su delimično finansirana od strane Ministarstva odbrane Republike Srbije.

Literatura:

- [1] Popović, M.: Digitalna obrada slike, Akademski misao, Beograd, 2006.
- [2] Xydeas, C. S.; Petrović, V.: Objective Image Fusion Performance Measure, Electronics Letters, Volume 36, Issue 4, pp. 308–309, 17 Feb 2000.
- [3] Qu, G.; Zhang, D.; Yan, P.: Information measure for performance of image fusion, Electronics Letters, Vol. 38, No. 7, March 2002.
- [4] Wang, Z.; Bovik, A. C.: A Universal Image Quality Index, IEEE Signal Processing Letters, Vol. 9, No. 3, pp. 81–84, March 2002.
- [5] Piella, G.: New quality measures for image fusion, Proceedings of the Seventh International Conference on Information Fusion, pp. 542–546, June 2004.
- [6] Cvejic, N.; Loza, A.; Bull, D.; Canagarajah, N.: A Similarity Metric for Assessment of Image Fusion Algorithms, International Journal of Signal Processing, Vol. 2, No. 3, pp. 178–182, 2005.
- [7] Toet, A.: Image fusion by a ratio of low-pass pyramid, Pattern Recognition Letters 9, pp. 245–253, 1989.
- [8] Petrović, V.: Multisensor pixel-level Image Fusion, PhD Thesis, Manchester University, UK, 2001.
- [9] Li, H.; Manjunath, B. S.; Mitra, S. K.: Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform, Graphical Models and Image Processing Vol. 57, No. 3, 235–245, 1995.
- [10] The Online Resource for Research in Image Fusion, <http://www.imagefusion.org>, 06. 07. 2007.

Marinko Smiljanić,
student stariji vodnik,
Vojna akademija,
Beograd
mr Boban Pavlović,
kapetan, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

VIRTUELNE PRIVATNE MREŽE – MOGUĆE REŠENJE POUZDANIH KOMUNIKACIJA

UDC: 004.728
004.738.5.057.4

Rezime:

U radu su prikazane osnovne karakteristike virtuelnih privatnih mreža (VPN – Virtual Private Networks). Analizirane su VPN mreže na drugom i trećem sloju sistema otvorenog za povezivanje (OSI – Open System Interconnection). Objašnjena je realizacija internet protokola (IP – Internet Protocol) VPN mreže i VPN mreže u okruženju višestruke komutacije labela (MPLS – Multi-Protocol Label Switching). Posebna pažnja posvećena je sigurnosti MPLS VPN mreža, naročito sa stanovišta upotrebe u funkcionalnim sistemima veza, kao što je sistem veza Vojske.

Ključne reči: VPN, VPN na drugom sloju, VPN na trećem sloju, IP, MPLS, zaštita.

VIRTUAL PRIVATE NETWORKS – POSSIBLE SOLUTION OF RELIABLE COMMUNICATIONS

Summary:

In this paper the basic characteristics of the VPN networks are presented. The VPN networks on the second and the third level of the OSI reference model are analyzed. The realization of the IP VPN and VPN networks within MPLS environment is presented as well. Security in MPLS networks is one of the most important characteristics, especially in military communication systems, which is shown in the second part of this paper.

Key words: IP, Virtual Private Networks, 2L VPN, 3L VPN, protection, MPLS.

Uvod

Da bi se jedna organizaciona celina vojske povezala sa komandom, u jedinstvenu širokopojasnu mrežu (WAN – Wide Area Network), do pre deset godina bilo je potrebno popisati adrese svih lokacija i iznajmiti telefonske linije od svake lokacije ponaosob do komandne zgrade. Pri tome je mreža mogla da bude realizovana na dva načina. Prvi način podrazumeva da se svaka jedinica poveže sa komandom posebnom linijom, što je efikasno ako je udaljenost između jedinica velika. Drugi, efikasniji i jeftiniji način podrazumeva hijerarhijsku struktu-

ru, u kojoj se jedinice grupišu u lokalna mrežna čvorišta, koja se povezuju na centralno čvorište. I jedno i drugo rešenje zahteva zakup linija – cena tog zakupa u lokalnoj mreži nije mnogo velika, ali je korišćenje međumskih, a pogotovo međunarodnih linija veoma skupo.

Internet je danas prisutan u svakom mestu, a lokalna mreža povezana sa internetom biće „vidljiva“ sa svih drugih lokacija na globalnoj mreži, pa i sa lokalne mreže u drugoj organizacionoj jedinici, koja je, takođe, povezana sa internetom. Na primer, ako se želi povezati komanda jedinice u Beogradu sa organizacionim celinama u Valjevu i Smederevu,

dovoljno je da se na sve tri lokacije zaku-
pi linija do najbližeg internet provajdera.
Na taj način formira se sopstvena mreža.

Na ovaj način samo prividno je us-
postavljena izolovana mreža – virtuelna
privatna mreža. Mnogi proizvođači su, u
potrazi za kratkim i upečatljivim ime-
nom, konceptu dodelili ime „ekstranet“,
dakle pojam suprotan pojmu „intraneta“,
mreže koja može da bude fizički potpuno
nezavisna od interneta.

VPN – osnovni pojmovi

Virtuelna privatna mreža omogućava
povezivanje dve ili više udaljenih lokacija
u jedinstvenu lokalnu računarsku mrežu
[1]. Za realizaciju ove veze koriste se po-
sebni protokoli koji omogućavaju šifrova-
nje (enkripciju) podataka, čime se obezbe-
đuje bezbedna razmena podataka između
korisnika unutar VPN sistema. Ovakve
mreže su privatne, jer resurse ovih konek-
cija mogu koristiti samo organizacije koje
su njihov vlasnik. Privatne su i sa aspekta
rutiranja i adresnog plana, odnosno algo-
ritmi rutiranja i adresni plan su potpuno
nezavisni od drugih mreža. Mreža je vir-
tuelna, jer se konekcije formiraju korišće-
njem samo jednog dela instaliranih resur-
sa javne mreže za prenos podataka. Isto-
rijski gledano, X.25 je prvi WAN proto-
kol koji je omogućio izgradnju VPN mre-
ža na javnim mrežama za prenos podata-
ka. Prevashodna uloga ovako izgrađenih
mreža je smanjenje telekomunikacionih
troškova efikasnijim korišćenjem infra-
strukture uz istovremeno očuvanje sigur-
nosti i integriteta podataka.

Tendencija je da se sve privatne po-
slovne WAN mreže u budućnosti zamene

VPN baziranim WAN poslovnim mreža-
ma. Osnovni razlozi za to su:

- znatno manja cena izgradnje mre-
že, u odnosu na tradicionalne privatne
mreže;

- omogućavanje elektronskog po-
slovanja i internet ekonomije. VPN je
znatno fleksibilnija i skalabilnija arhitek-
tura mreže u odnosu na klasične privatne
WAN mreže. Skalabilnost predstavlja
mogućnost jednostavnih izmena u mreži,
kako bi se omogućio rad sa novijim teh-
nologijama i platformama. Kada je mre-
ža skalabilna znači da odgovara zahtevi-
ma koji mogu biti promenljivi i koji se
mogu menjati s obzirom na konkretnu
namenu mreže. One omogućavaju vrlo
brzo i jeftino povećanje broja udaljenih
internacionalnih lokacija, mobilnih kori-
snika u romingu i slično. Bez dodatnih
ulaganja koriste sve raspoložive ulaze
davaoca internet usluga (ISP – Internet
Service Provider);

- znatno manji troškovi i naponi u
održavanju vlastite mreže, jer se veći deo
poslova održavanja odvija u okviru mre-
že provajdera koji nudi ovu uslugu;

- jednostavnija mrežna topologija.
Upotrebom IP jezgra (backbone) elimi-
nišu se permanentna kola (PVC – Per-
manent Virtual Channel) koja su se
ostvarivala putem mreža zasnovanih na
prenosu okvira (Frame Relay) ili asin-
hronom prenosnom modu (ATM –
Asynchronous Transfer Mode) i time
uzrokovali punu mrežnu strukturu pri-
vatne WAN mreže, što je, pored kom-
pleksnosti, znatno povećavalo i cenu re-
alizacije ovakve mreže;

- mreža može da bude potpuno ili de-
limično izolovana od interneta. Postoje dva

tipa praktične realizacije mreže preko koje mogu da se ostvare VPN. To su nadređeni i ravnopravni model VPN mreže.

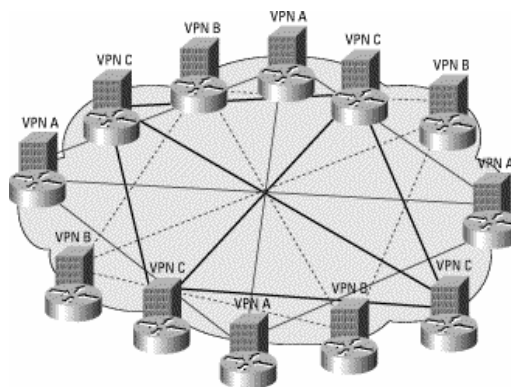
Nadređeni (Overlay) model VPN mreže i danas je prisutan i predrazumeva da se na svakoj lokaciji korisnika nalazi jedan ili više ruter, koji su sa ruterima na drugim udaljenim lokacijama povezani vezama tačka-tačka, iznajmljenim linijama, ATM ili Frame Relay vezama (sl. 1). Ovaj model efikasno funkcioniše, ali postoji značajan problem skalabilnosti i zahteva koji se postavljaju korisnicima da sami upravljaju ruterima koji održavaju vezu između udaljenih lokacija, kao i problemi promene konfiguracije pri svakom dodavanju novih elemenata.

Ravnopravni (Peer) model VPN mreže treba da omogući isporučivanjem servisa opsluživanje veoma velikog broja korisnika i ujedno preuzimanje funkcije administriranja njihovih mreža, tako da oni mogu da se posvete samo svom primarnom poslovanju, ne upuštajući se u pravila IP rutiranja (sl. 2). Model se sastoji od četiri komponente:

- 1) ograničene distribucije informacije o rutama,
- 2) upotreba višestrukih tabela rutiranja,
- 3) korišćenje novog tipa adresa (VPN – IP adrese), i
- 4) upotreba protokola zasnovanog na komutaciji korišćenjem labela – MPLS.

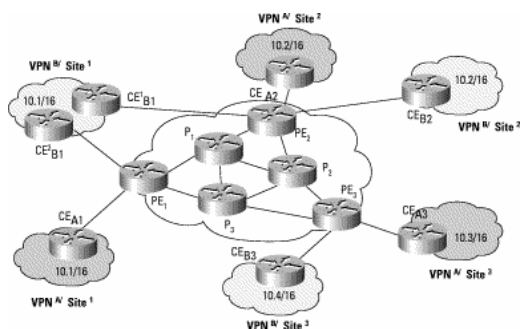
Ravnopravni model će najverovatnije u budućnosti potisnuti nadređeni model. Iako su VPN rešenja zasnovana na ovom drugom modelu prisutna, ovi tipovi rešenja imaju nekoliko velikih problema koji ograničavaju dalji razvoj VPN servisa. Overlay model se zasniva na kreiranju veza, a ne mreža. Svako mesto (čvor) poseduje ruter

koji je povezan linkovima tačka-tačka do ruter na drugim mestima unutar VPN. To komplikuje, odnosno povećava broj potrebnih izmena u konfiguraciji pri dodavanju novog čvora u postojeću mrežu. Kod VPN, gde se zahteva potpuna povezanost čvorova u mreži, to uključuje promene u konfiguraciji na svim postojećim čvorovima, zbog toga što je svakom od njih potrebna dodatna veza tačka-tačka do tog novog mesta. Kod VPN izgrađenih na konektivnim mrežama – mrežama sa prenosom okvira ili ATM, bez potpuno izvedenih konekcija između korisnika, skaliranje jednostavno ne daje dobre rezultate.



Sl. 1 – VPN „nadređeni“ model

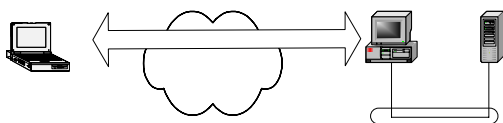
Zbog toga VPN koriste ravnopravni model i nekonektivnu arhitekturu na sloju 3. Ravnopravni model zahteva da korisnički čvor „gleda“ na samo jedan ivični ruter (PE – Provider Edge), nasuprot svim drugim korisničkim ruterima (CPE – Customer Premises Equipment) ili krajnjim korisničkim ruterima u istoj VPN. Nekonektivna arhitektura dozvoljava kreiranje VPN na sloju 3, eliminišući potrebu za tunelima, kao što je prikazano na slici 2.



Sl. 2 – VPN „ravnopravni“ model

U VPN vezi može da se pojavi sledeći niz događaja, kako je prikazano na slici 3:

1. Dva krajnja korisnika najpre se međusobno autorizuju.
2. VPN server može da odredi kojim uslugama radna stanica ima dozvolu da pristupi i može u saglasnosti sa tim da upravlja saobraćajem koji sledi. Ovaj korak se zove autorizacija.
3. Jednom kada je tunel stvoren, njegove krajnje tačke dodaju posebna zaglavlja paketima koji su adresirani za suprotnu stranu tunela, šifruju originalni paket i zaglavlje i prepakuju sve te informacije u nove IP pakete. Interna zaglavlja obezbeđuju informacije o autorizaciji na nivou paketa i obezbeđuju da se otkrije svako falsifikovanje podataka.



Sl. 3 – Siguran tunel virtualne privatne mreže

Tunelovanje je najvažnija komponenta tehnologije virtualnih privatnih mreža i predstavlja prenos paketa podataka namenjenih privatnoj mreži preko javne mreže. Ruteri jedne javne mreže nisu svesni da

prenose pakete koji pripadaju privatnoj mreži i VPN pakete kao normalan sadržaj.

Tunelovanje i prepakivanje je metod pri kojem se koristi infrastruktura jednog protokola za prenos paketa drugog protokola. Umesto da se šalju originalni paketi, oni su prepakovani dodatnim zaglavljem. Dodatno zaglavlje sadrži informacije potrebne za rutiranje, odnosno usmeravanje paketa kroz mrežu, tako da novodobijeni paket može slobodno putovati transportnom mrežom.

Tunel predstavlja logičku putanju paketa kojom se on rutira preko mreže. Prepakovani podaci su rutirani transportnom mrežom sa jednog kraja tunela na drugi. Pojam tunel se uvodi jer su podaci koji putuju tunelom razumljivi samo onima koji se nalaze na njegovom izvoru i odredištu. Ovi paketi se na mreži rutiraju kao svi ostali paketi.

Početak i kraj tunela nalaze se u VPN mrežama. Kada prepakovani paket stigne na odredište vrši se raspakivanje i prosleđivanje na konačno odredište. Ceo proces prepakivanja, transporta i raspakivanja paketa naziva se tunelovanje.

Opcije veze

Kada se koristi prenosni računar postoji nekoliko načina za korišćenje prednosti VPN tehnologije da bi se ostvarila veza sa mrežom u svojoj jedinici:

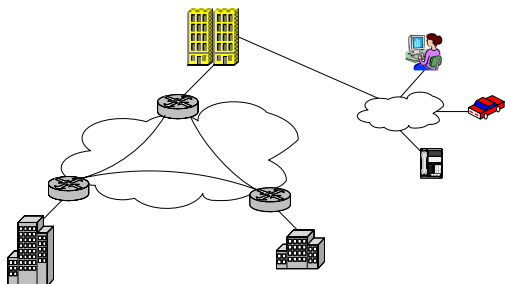
- modemska veza sa lokalnim posrednikom internet usluga. Upotreba PC modemske kartice radi ostvarivanja veze postojećim zemaljskim linijama do lokalnog posrednika internet usluga, uspostavljanje dogovora po sistemu od tačke do tačke (PPP – Point-to-Point Protocol) i uspostavljanje VPN veze preko interneta;

– celularna komutirana veza sa lokalnim posrednikom internet usluga. Ovaj pristup je gotovo isti kao kada se koristi veza preko zemaljskih linija, izuzev što je ostvarena preko analogne veze ili veze na bazi komutacije kola;

– celularna komutirana veza direktno na internet. Povezivanje na internet preko direktne digitalne veze, a ne preko modemskog pristupa. Ovakve usluge tek predstoje.

Mreže VPN na drugom sloju (Frame Relay, ATM)

Mreže VPN na drugom sloju (u daljem tekstu 2L VPN) obuhvataju mreže realizovane korišćenjem resursa Frame Relay i ATM mreža, što se može videti na slici 4.



Sl. 4 –VPN mreže na drugom sloju

Javne mreže, kao što su FR ili ATM, mogu prenositi multimedijalne poruke uključujući glas, video i podatke. Ovaj tip VPN koristi usluge javne komutirane mreže za prenos podataka, PVC ili obilaženje virtuelnih prekidača (SVC – Switched Virtual Circuit) za razdvajanje saobraćaja različitih korisnika. Paketi podataka ne moraju biti IP, niti moraju biti šifrovani. Opciono se mogu koristiti autentifikacija i šifrovanje, pri čemu identitet korisnika i integritet podataka

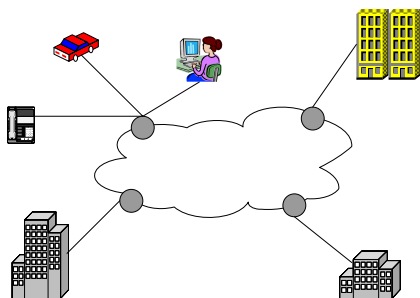
ostaje zagarantovan. VPN bazirani na javnim komutiranim mrežama za prenos podataka pružaju potpunu kontrolu usluga. U većini slučajeva su raspoložive i dodatne usluge, kao što je opcija kvaliteta servisa (QoS – Quality of Service). Ovaj tip VPN naročito je popularan u Evropi, gde su javne komutirane mreže za prenos podataka široko dostupne, a poslovno korišćenje interneta je manje razvijeno.

Frame Relay je protokol od kraja-do-kraja koji može raditi preko različitih pristupnih tehnologija, kao što je digitalni servis integrisanih mreža (ISDN – Integrated Services Digital Network), linija sa digitalnom pretplatničkom vezom (DSL – Digital Subscriber Line) ili običan stari telefonski servis sa povećanim brojem linija (POTS – Plain Old Telephone Service) dial-up linije. Nove pristupne metode, kao što su SVC ili ISDN pristup, govore da je FR sada pouzdanije i isplativije rešenje za globalne VPN usluge.

Mreže VPN na trećem sloju (IP VPN mreže)

Nagli globalni razvoj interneta otvorio je mogućnost izgradnje VPN mreža realizovanih direktno na bazi IP protokola sa trećeg sloja OSI modela (u daljem tekstu 3L VPN). Osnovna prednost ovakvih VPN mreža nad 2L VPN mrežama je posledica globalnog karaktera interneta (internet je prisutan svuda za razliku od Frame Relay i ATM mreža), a donosi i dodatnu redukciju troškova. Mreže se grade šifrovanim tunelima koji imaju istu funkciju koju su imali i virtuelna kola u 2L VPN mrežama.

Mreže 3L VPN dele se na: internet VPN i IP VPN mreže.



Sl. 5 – IP/Internet VPN mreže

Prve su realizovane korišćenjem infrastrukture dva ili više davalaca usluge, a druge korišćenjem resursa samo jednog (bilo da je reč o javnoj ili privatnoj IP mreži). I jedne i druge su kombinacija tunelovanja, šifrovanja, potvrđivanja i autorizacije. Na ovakvim 3L mrežama VPN se implementira kroz tri kategorije: unutrašnje, spoljašnje i bezbedan pristup sa daljine (Secure remote access).

Intranet podrazumeva povezivanje distribuiranih lokacija (LAN) jedne organizacije, dok je extranet rezultat potrebe za povezivanjem različitih međusobno zavisnih organizacija radi razmene specifične vrste informacija (sigurne monetarne transakcije između finansijskih institucija, veza organizacije sa svojom internet prezentacijom „website“ koji je zakupljen kod ISP i sl.). Udaljeni pristup je treća kategorija namenjena prvenstveno za mobilne korisnike. Ova kategorija će, dugoročno gledano, zameniti široko rasprostranjene servise za daljinski pristup (RAS – Remote Access Service), prvenstveno zbog znatnog smanjenja troškova telefonskih poziva s obzirom na to da su svi pozivi lokalni, odnosno pozivi do najbliže tačke pristupa davanja usluge (PoP

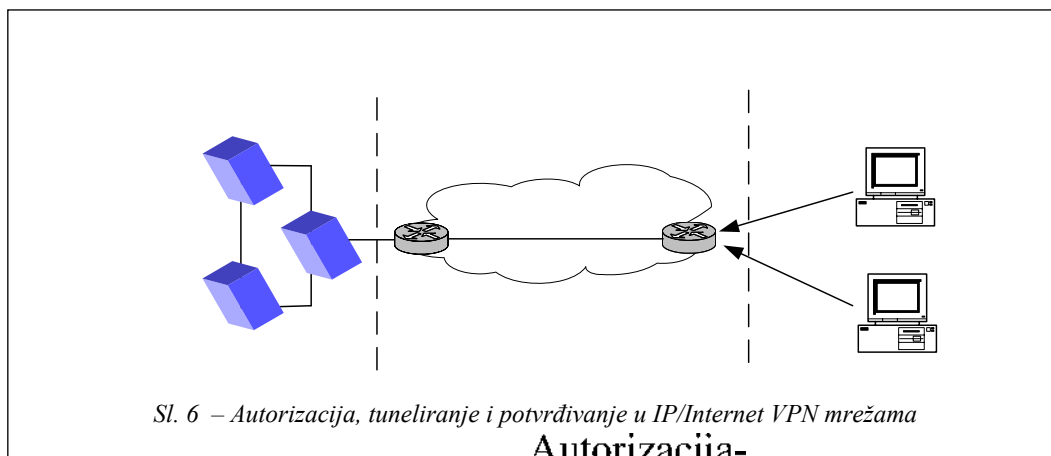
– Point of Presence), održavanje servera je prepušteno davalcu usluge (sl. 5).

Prema konkretnoj realizaciji 3L VPN se dele na: hardverski bazirane, softverski bazirane i bazirane na principu otvoreno – zatvoreno (Firewall) i VPN aplikacione pakete.

Većina hardverski baziranih sistema realizovana je pomoću rutera koji kriptuju podatke. Oni su sigurni i laki za implementaciju i obezbeđuju najveći mrežni transfer podataka od svih VPN sistema. „Firewall“ bazirani sistemi koriste prednosti ovog mehanizma, kao što su: restrikcije pristupa u intranet, translacije adresa i onemogućavanje „opasnih“ ili nepotrebnih servisa, obezbeđujući tako dodatnu sigurnost VPN serveru. Zaštita operativnog sistema je, ujedno i najveća prednost ovakvih VPN sistema. Softverski bazirani sistemi su pogodni za VPN u kojim bezbedne organizacije kontrolišu različite lokacije kada su u okviru jedne organizacije korišćeni različiti „firewall“ i ruteri. Većina ovakvih VPN pruža mogućnost tuneliranja saobraćaja na osnovu IP adrese ili vrste protokola, za razliku od hardverski baziranih sistema koji tuneliraju sav saobraćaj nezavisno od protokola. Nedostatak softverski baziranih VPN sistema jeste što je njihovo održavanje kompleksnije u odnosu na hardverski bazirane sisteme, zbog toga što zahtevaju poznavanje operativnog sistema računara na kojem je instaliran, same aplikacije i mehanizma zaštite podataka.

Realizacija IP VPN mreža

Mreže IP VPN mogu se posmatrati kao skup tuneliranja, šifrovanja, potvrđivanja i autorizacije, kao što je prikazano na slici 6.

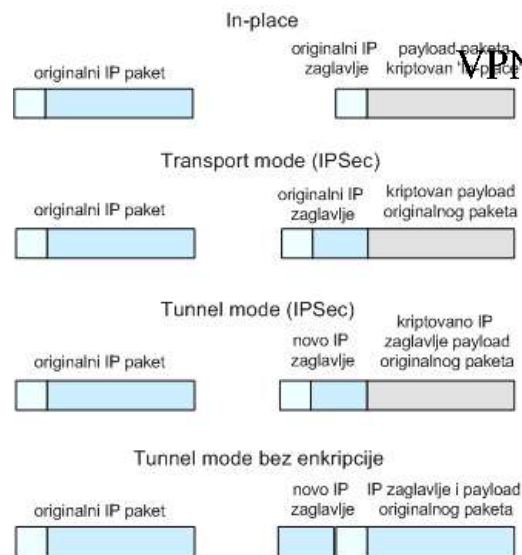


Autorizacija-

Integritet 3L VPN mreža obezbeđuje se definisanjem pristupa servisima i aplikacijama i mrežnim resursima. To je rešenje koje daje najbolju zaštitu korisničkih podataka, otvoreni tunel mod – ništa se ne kriptuje, ali se dodaje novo IP zaglavlje.

Za razliku od prva tri protokola koji uspostavljaju konekciju na drugom nivou i od kojih ni jedan ne uključuje šifrovanje korisničkih podataka, IPSec je skup protokola i procedura za uspostavu, održavanje i završavanje zaštićenih komunikacionih kanala kroz javnu IP mrežu uz potvrđivanje i servise za šifrovanje na IP mrežnom nivou, tako da kroz IP tunele prolaze kriptovani podaci [2]. Definisana su četiri različita načina transmisije podataka kroz IP/Internet mreže (slika 7):

- bez promene – rešenje koje je specifično za različite proizvođače, a kriptuju se samo podaci i nema promene veličine paketa,
- prenosni mod – kriptuju se samo podaci, ali se povećava veličina paketa,
- šifrovani tunel mod – IP zaglavlje se kriptuje zajedno sa podacima, a paketu se dodaje novo IP zaglavlje koje kao od-



Sl. 7 – Obrada originalnog IP paketa u 3L VPN mrežama

Transmisioni –

Kriptovani
nekriptovani

VPN uređaj

IP/Internet

Transmisija nekriptovanog teksta kroz internet može biti veoma opasna. Podaci mogu biti pročitani pomoću neke od „sniffing“ tehnologija. Razvijeni su alati kao što su „protokol analyzer“ ili mrežni dijagnostički alati ugrađeni u današnje operativne sisteme koji lako mogu pročitati nekriptovane podatke. Proces šifrovanja, dešifrovanja i učesnici u njemu (pošiljalac i primalac) čine kriptosistem. Postoje dva tipa kriptosistema: privatni sa simetričnim ključem (private (symmetric) key) i javni sa asimetričnim ključem (public (asymmetric) key).

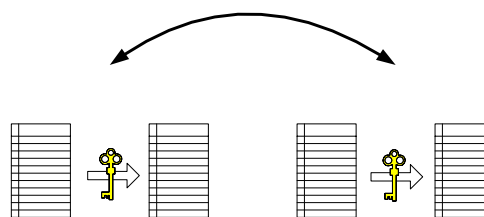
Simetrični algoritmi su najčešći u kriptografiji. Koriste složene algoritme i isti ključ za šifrovanje i dešifrovanje. Operišu nad blokovima kodiranog otvorenog teksta određene dužine. Svoju sigurnost uglavnom baziraju na kvalitetu i dovoljnoj dužini ključa. Šifruju sve digitalne podatke, uključujući i e-mail, telnet konekcije, zvuk i sliku.

Neki od tih algoritama poznati su javnosti u celini ili delimično, i time su izloženi sveobuhvatnom i dugotrajnom ispitivanju. Drugi se čuvaju u tajnosti i tako izbegavaju javnu ocenu svoje sigurnosti. Danas postoji mnogo simetričnih algoritama različitih po brzini, veličini bloka, dužini ključa, patentnim i licenčnim pravima. Neki od poznatijih su DES (Data Encryption Standard), podvrsta Triple DES (3DES), RC4-40, CAST-40, DES-40 i drugi.

Kao i kod svih konvencionalnih sistema i kod simetričnih algoritama ključ za šifrovanje i ključ za dešifrovanje su isti i njime blagovremeno, sigurnim kanalom iz jednog izvora, moraju biti snabdeveni i pošiljalac i primalac. Na putu

prenosa informacije, protivničkom kriptanalitičaru – prisluškivaču – dostupna je samo zaštićena poruka, a njena sigurnost kod ovakvih sistema gotovo isključivo zavisi od ključa.

Na slici 8 prikazan je jednostavan primer putanje podatka u simetričnom algoritmu kriptosistema. U ovom primeru, pošiljalac šifruje poruku „abc“ koristeći tajni ključ, i pretvara ovu poruku u „!&#“. Svako ko ima isti tajni ključ može dešifrovati poruku „!&#“ nazad u originalnu poruku „abc“.



Sl. 8 – Primer simetričnog algoritma

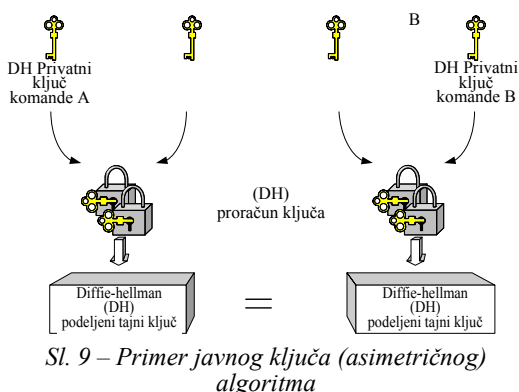
Najveći problemi ovih kriptosistema su u distribuciji ključeva šifrovanja, koji su osnova konvencionalnih sistema, i u utvrđivanju verodostojnosti poruke. Kriptosistemi javnih ključeva rešavaju upravo ove probleme.

Asimetrični algoritmi, tj. algoritmi sa javnim ključevima, za šifrovanje i dešifrovanje koriste različite ključeve, vezane izvesnim transformacijama, ali tako da se jedan iz drugog ne mogu dobiti bez poznavanja specijalne informacije. Kod ovih sistema i pošiljalac i primalac, svaki za sebe, generišu po par odgovarajućih ključeva, ključ za šifrovanje (javni) i ključ za dešifrovanje (tajni, lični). Prima-

lac sada šalje svoj ključ za šifrovanje pošiljaocu, slobodno, nezaštićenim kanalom, a ovaj mu njime šifrira poruku. Niko sem primaoca nema ključ za dešifrovanje i jedino on može da je dešifrira. Javni ključ je dostupan svima, ali je računski neostvarivo da se iz njega dobije tajni ključ.

Ipak, postoji mogućnost da se neko lažno predstavi i pošalje poruku umesto nekog drugog. Takođe je moguće da neko presretne javni ključ i umesto njega podmetne svoj, pa će na taj način moći da pročita poruku. I za takve slučajeve kriptosistem javnih ključeva ima rešenje. Ako osoba koja komunicira ovim sistemom želi i verifikaciju, tj. proveru autentičnosti poruke, ona može od drugog korisnika da zahteva da svoju poruku, koju je šifrovao javnim ključem primaoca, šifrira i svojim tajnim ključem. Pri prijemu, on proverava autentičnost dešifrući poruku javnim ključem drugog korisnika, a onda je otvara dešifrući svojim tajnim ključem.

Dva javna ključa kriptosistema koja se obično koriste sa virtuelnim privatnim mrežama danas su Diffie-Hellman (DH) i Rivest Shamir Adlemen (RSA). Na slici 9 prikazan je jedan ovakav sistem.



Takođe je važno da se obezbedi da su korisnici baš oni za koje se predstavljaju. Internet Protocol Security (IPSec) okosnica je otvorenog standarda, koji je razvio IETF (Internet Engineering Task Force) da osigura privatnost podataka, potvrđivanje podataka i korisnika na javnoj mreži.

Razvijena su dva vida potvrđivanja: potvrđivanje korisnika i podataka. Potvrđivanje podataka je ređe prisutno u primenjenim sistemima i podrazumeva identifikaciju VPN uređaja koji šalje podatke kao i potvrdu da oni nisu menjani pri prenosu. Potvrđivanje korisnika koji koristi VPN mrežu je češće korišćen metod. Najčešće se koriste sistemi koji podržavaju RADIUS, TACACS/TACACS+ ili LDAP autentifikacioni servis.

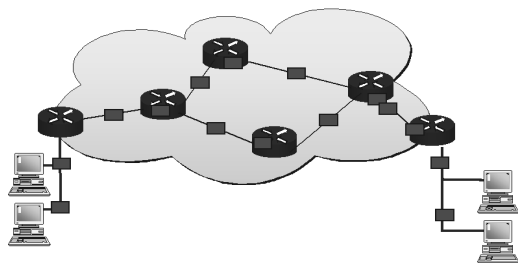
Nakon potvrđivanja identiteta osobe koja koristi VPN, njegov ranije definisan profil određuje servise i aplikacije koje može koristiti, tako da mu se omogućava korišćenje samo onih resursa VPN za koje je autorizovan. Autorizacija koja se radi u odnosu na servis podržava: internet servise (Web browser, mail, FTP (File Transfer Protocol), Telnet i sl.), kompletnu TCP (Transmission Control Protocol) familiju, zatim RPC (Remote Procedure Call) ili UDP (User Datagram Protocol) bazirane aplikacije.

Ono što svaki korisnik očekuje od vlastite mreže je određeni nivo kvaliteta, sigurnost i raspoloživost. Ukoliko je kvalitet i raspoloživost internet konekcija i bio diskutabilan poslednjih godina, stanje se značajno menja iz dana u dan, stalnim proširivanjem internet jezgra i novim servisima, kao što su diferencijalni servis (DiffServ – Differentiated Service) koji kvalitativno menjaju celu sliku. Sa ova-

kvim alatima IP davaoci usluge sada su u mogućnosti da garantuju određeni nivo kvaliteta definisan kroz ugovoreni nivo usluga, SLA (Service Level Agreement), što je do skoro bila osnovna prednost 2L mreža. I uz sve alate koji treba da obezbede sigurnost podataka u IP/Internet VPN mrežama, to i dalje ostaje osnovni problem ovako realizovanih mreža, što je posledica arhitekture samog interneta koji je osmišljen kao mreža u kojoj podaci treba da budu dostupni svima.

Mreže VPN u MPLS

Komutacija polja podataka (labela) višestrukim protokolom, MPLS, predstavlja arhitekturu u okviru IETF standarda koja omogućava upravljanje saobraćajem i QoS podršku koji postoje kod ATM mreža, čijom primenom se ubrzava prosleđivanje paketa. Prosleđivanje paketa vrši se na osnovu polja podataka (etiketa) kratke dužine koje se smeštaju između zaglavlja sloja linka podataka i sloja mreže. Rezultat je formiranje mreže prosleđivanja bazirane na internet protokolu, sa kraćim vremenom konekcije, s obzirom na to da se rutiranje vrši duž označenih („etiketiranih“) putanja. Na slici 10 prikazana je jedna tipična IP mreža sa saobraćajem bez specificiranih ruta.



Sl. 10 – Izgled klasične IP mreže

MPLS predstavlja način za suočavanje sa problemima upravljanja kapacitetom i zahtevima servisa sledeće generacije mreža internet jezgra baziranih na IP, problem TE (Traffic engineering). Primena MPLS povezana je sa sposobnošću nivelisanja podataka (scalability), odnosno mogućnošću jednostavnih izmena u mreži, kako bi se omogućio rad sa novijim tehnologijama i platformama, i rutiranjem (zasnovane na QoS i metrici kvaliteta servisa) i može egzistirati preko postojećih ATM i FR. Pored toga, MPLS smanjuje potrebno procesiranje po paketu koje je potrebno kod svakog rutera u mreži sa IP, povećavajući još više performanse rutera. Još značajnije, MPLS omogućava nov kvalitet u četiri oblasti koje obezbeđuju njegovu popularnost: QoS podrška, upravljanje saobraćajem, mogućnost realizacije VPN i multiprotokolska podrška. Univerzalna priroda MPLS najviše odgovara korisnicima koji poseduju kombinovane mrežne tehnologije, traže način za optimiziranjem resursa i mogućnosti proširenja QoS podrške. To je moguće ako se poznaje činjenica da se MPLS može primeniti na mnogobrojnim mrežnim tehnologijama, kao i da MPLS osposobljeni ruteri mogu da „komuniciraju“ sa običnim IP ruterima, a isto važi i za komutatore koji se mogu prekonfigurisati radi podrške datog protokola.

MPLS obavlja sledeće funkcije:

- definiše mehanizme upravljanja saobraćajnim tokovima različite prirode, kao što su tokovi između različitog hardvera ili između različitih aplikacija;
- ostaje nezavisan od protokola na slojevima 2 i 3;

– omogućava mapiranje IP adresa u jednostavne labele fiksne dužine koje se koriste od strane različitih tehnologija prosleđivanja i komutacije paketa;

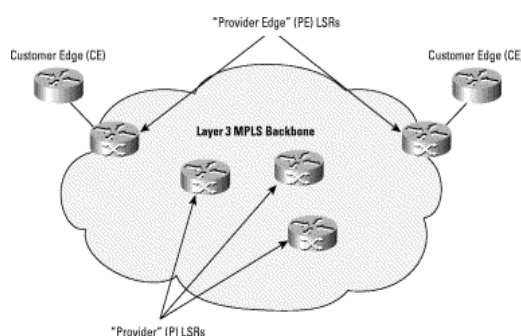
– podržava IP, ATM, i protokole za prenos okvira na sloju 2.

MPLS obezbeđuje efikasan mehanizam za podržavanje VPN. Sa VPN saobraćaj određene grupe korisnika prolazi transparentno kroz mrežu na način koji ga uspešno razvrstava od ostalih paketa u mreži, pružajući garancije u pogledu performansi i sigurnosti.

Ove mreže moraju da budu skalabilne, ekonomične i sposobne da izađu u susret širokom opsegu zahteva korisnika, gde spadaju pouzdanost i sigurnost, kvalitet servisa i mogućnost povezivanja svakog sa svakim. One moraju da ponude kompletno pružanje multimedijalnih servisa kako bi privukle nove korisnike. MPLS se javlja kao ključna tehnologija za mreže nove generacije, posebno u optičkim mrežama. VPN bazirane na MPLS obezbeđuju fleksibilnu povezanost i skalabilnost, što su odlike mreža sa IP, kao i tajnost i QoS kao odlike ATM i mreža sa štafetnim prenosom okvira (FR).

S obzirom na to da MPLS bazirane VPN umanjuju kompleksnost i cenu mreže, one dozvoljavaju davaocima servisa da svoje usluge pružaju mnogo raznovrsnijoj bazi malih i srednjih organizacija i ustanova. Za realizaciju MPLS VPN mreža dovoljna je samo jedna konekcija od njihovog rutera do krajnjeg rutera provajdera. Krajnji ruter stavlja labele na pakete i prenosi ih kroz MPLS jezgro sve do krajnjeg rutera najbližeg odredištu. Sa ovom tehnologijom, davaoci servisa sada

moгу ponuditi korisnicima VPN sa QoS, omogućenim internetom, intranetom i ekstranetom, i paketskom telefonijom bez kompleksnosti koje su ove aplikacije prethodno zahtevale kako bi proširile servisne ponude i stvorile dodatne prihode.



Sl. 11 – VPN mreža bazirana na MPLS

Komponente koje sačinjavaju MPLS VPN mrežu prikazane su na slici 11. Na krajevima mreže nalaze se ruteri ka opremi korisnika (CE – Customer Edge). Ovi ruteri su deo korisničke mreže i nemaju saznanja o VPN. Ivični (PE – Provider Edge) ruteri dobijaju putanje od rutera korisnika i prenose ih do drugih PE rutera preko MPLS okosnice servisnog provajdera. U sredini mreže nalaze se ruteri provajdera (u daljem tekstu P ruteri), ili ruteri za komutaciju labele (LSR – Label Switched Routers), koji implementiraju MPLS transportni servis na trećem sloju. Važno je napomenuti da ruteri provajdera na okosnici „nemaju saznanja“ o VPN i zbog toga pružaju mnogo veću skalabilnost. Informacije u vezi sa VPN potrebne su samo za PE rutere, i mogu biti raspodeljene između PE rutera. PE ruteri moraju da znaju informacije vezane za VPN prosleđivanje samo za one VPN u kojima su direktne veze.

Između korisničkih tačaka u VPN ne mora nužno postojati veza jedan ka jednom. Dato korisničko mesto može biti član višestrukih VPN. Međutim, to mesto može biti u vezi samo sa jednim zahtevom za rutiranje/prosleđivanje (VRF – VPN routing/forwarding instances). Na nekom korisničkom mestu VRF sadrži sve putanje dostupne tom mestu u VPN čiji je član.

Sigurnost MPLS VPN mreža

Današnji poslovni korisnici zadovoljni su stepenom sigurnosti koje pružaju Frame Relay i ATM kao VPN tehnologije sa drugog sloja. Međutim, u poslednje vreme sve više se javlja interesovanje u vezi sa stepenom sigurnosti koje pružaju MPLS bazirane VPN [3], [4].

Poređenjem MPLS VPN baziranih rešenja sa tradicionalnim VPN rešenjima sa drugog sloja, kao što su Frame Relay i ATM postavlja se nekoliko ključnih sigurnosnih zahteva:

- neophodno je posedovati odvojeno adresiranje i usmeravanje,
- interna struktura jezgra mreže mora biti skrivena od spoljnog sveta kao što je u slučaju Frame Relay i ATM mrežnog jezgra i
- mreža mora biti otporna na napade tipa otkaza (DoS – Denial of Service) i napade tipa upada.

1) Adresni prostor i odvojeno usmeravanje

Odvojeno adresiranje implicira da dve nezavisne VPN mreže poseduju potpuno odvojene adresne prostore. Sa

aspekta usmeravanja to znači da svaki krajnji sistem u VPN mreži ima jedinstvenu adresu, tako da se u istom VPN ne mogu pojaviti dve strane koje dele isti adresni prostor. ATM i Frame Relay nemaju problem sa implementacijom ovih svojstava s obzirom na to da nikad ne vrše proveru informacija na trećem sloju već se odluka o prosleđivanju donosi na osnovu kriterijuma sa drugog sloja, kao što su identifikatori konekcije linka podataka (DLCI – Data Link Connection Identifiers) i identifikatori virtuelne putanje/identifikatori virtuelnog kanala (VPI/VCI – Virtual Path Identifiers/Virtual Channel Identifiers).

MPLS uzima u obzir 3L deo paketa, ali istovremeno omogućava da nekoliko VPN koristi isti adresni prostor. MPLS VPN omogućava korišćenje javnog ili privatnog adresiranja. To je moguće ostvariti dodavanjem 64-bitnog identifikatora putanje, RD (Route Distinguisher) za svaku IPv4 putanju. Ova nova putanja, tzv. VPN IPv4 adresa, osigurava jedinstvenost VPN adrese i u MPLS jezgru. Jedini izuzetak predstavlja IP adresiranje PE ili CE linkova koji moraju biti jedinstveni ako se koriste protokoli za dinamičko usmeravanje.

MPLS obezbeđuje odvajanje putanja tako da svaki PE ruter održava posebnu tabelu usmeravanja za svaki povezani VPN. Ova tabela usmeravanja, tzv. VRF (Virtual Routing and Forwarding) instanca, sadrži putanje s jedne VPN koje su definisane statistički ili kroz dinamički protokol usmeravanja. Dodavanjem jedinstvenih VPN identifikatora kao što je RD, multiprotokolni BGP (Bridge Gateway Protocol) obezbedio je mogućnost

jedinstvenog identificiranja VPN putanja kroz jezgro mreže. PE ruteri međusobno razmenjuju informaciju i zatim je smeštaju u poseban VRF unutar VPN. Korišćenjem ovih svojstava moguće je ostvariti odvojeno usmeravanje kroz MPLS mrežu za svaki VPN.

2) Sakrivanje jezgrenog dela mreže davaoca usluga

Za davaoce usluga i korisnike nije poželjno da interna topologija mreže bude vidljiva iz spoljnog sveta. Bez poznavanja mrežne topologije napadač može jedino pretpostaviti IP adresu koju napada, što čini mrežu komplikovanijom za napad. U ovom trenutku pomenuto svojstvo poseduju 2L VPN mreže, kao što su Frame Relay i ATM. Između mreže davaoca usluga i korisničke mreže jedino se razmenjuje informacija o korisničkim virtuelnim kanalima, VC. To korisniku ograničava uvid u topologiju mreže davaoca usluga. Korisnik poznaje jezgri deo mreže jedino na osnovu informacije koju prima na temelju VC.

Ista zamisao se prenosi i na korisničke mreže, kao i na MPLS jezgro. MPLS ne otkriva dodatne nepotrebne informacije čak ni korisničkim VPN. Kako je interfejs prema VPN BGP, nema potrebe odavati bilo kakvu informaciju o jezgrenom delu mreže. Jedina informacija neophodna u slučaju ruting protokola između PE i CE je adresa PE rutera. Ako to nije poželjno, može se konfigurisati statičko usmeravanje između PE i CE. Na taj način se MPLS jezgro može u potpunosti sakriti i adresirati korišćenjem javne ili čak privatne adrese.

3) Otpornost na napade

Bilo da je u pitanju 2L VPN ili MPLS VPN, mreža davaoca usluge treba da bude otporna na napade. Napadi unutar VPN trebalo bi da budu obuhvaćeni unutar istog VPN, bez uticaja na rad drugih VPN. Napadač ne bi trebalo da bude u mogućnosti da pristupi ostalim VPN ili mreži davaoca usluge. Otpornost na napade obuhvata napade tipa otkaza, pri čemu resursi postaju neraspoloživi ovlašćenim korisnicima, kao i napade tipa upada ili neovlašćenog pristupa. Kako je većina DoS napada bazirana na 3L svojstvima, Frame Relay i ATM nisu praktično osetljivi na ovaj tip napada. Ako bi se napad ipak počinio, to bi bila interna stvar VPN mreže, jer bi mreža jednostavno prosledila napadnute pakete bez provere DLCI ili VPI/VCI para.

Međutim, MPLS tehnologija dozvoljava tu vrstu napada, kao i napad na MPLS jezgro, pri čemu postoje dva osnovna načina napada MPLS jezgra mreže: direktni pokušaj napada PE rutera i pokušaj napada MPLS signalizacionim mehanizmima.

Direktni napad PE rutera

Da bi mogao da se izvrši direktni napad PE rutera neophodno je poznavati njegovu adresu. Moguće je sakriti adresu strukturu MPLS jezgra mreže od spoljnog sveta, osim kada se koristi dinamički protokol usmeravanja.

Ako napadač ne poznaje IP adresu bilo kojeg rutera u jezgru, mora je pogoditi kako bi poslao pakete. Zbog odvojenog adresiranja, svaki ulazni paket tretira se kao da pripada korisničkom adresnom

prostoru. Zbog toga je vrlo teško pristupiti internom ruteru, čak i pri pogađanju IP adresa.

Ako napadač poznaje IP adresu rutera koji želi napasti, postoji veliki broj načina da se poremete servisi datog rutera. U praksi se pristup PE ruteru preko CE-PE interfejs može ograničiti na odgovarajući protokol rutiranja korišćenjem kontrolnih lista pristupa. To ograničava tačku napada na jedan protokol usmeravanja, na primer RIP (Routing Information Protocol) ili BGP. Potencijalni napad bi mogao biti poslat na veliki broj putanja ili se prosleđivati PE ruteru pri svakom ažuriranju putanja. I u jednom i u drugom slučaju to dovodi do DoS napada, ali ne i do napada tipa neovlašćenog pristupa. Da bi se ograničio ovaj pristup, neophodno je konfigurisati protokol usmeravanja na PE ruteru na što sigurniji način.

Generalno, nije moguće pristupiti iz jednog VPN drugom VPN. Teoretski je moguće iskoristiti rutinng protokol za izvođenje DoS napada na PE ruterima koji mogu imati negativan uticaj na druge VPN. Međutim, ako PE ruteri vrše pravilno filtriranje, ne postoji mogućnost pretnji ove vrste. PE ruteri moraju biti posebno sigurni, naročito na interfejsima prema CE ruterima. Kontrolne pristupne liste bi trebalo da budu konfigurisane da ograniče pristup samo ka portovima rutinng protokola i pristup sa CE rutera.

Ometanje MPLS labela

U jezgru MPLS mreže paketi se ne prosleđuju na bazi IP odredišne adrese, nego na temelju labela koje se dodeljuju na PE ruterima. Kao i kod IP spoofing

napada u kojima napadač zamenjuje izvorišnu ili odredišnu IP adresu paketa, teoretski je moguće zameniti i labelu MPLS paketa.

U Frame Relay i ATM mrežama to bi bilo ekvivalentno umetanju DLCI ili VPI/VCI para. Međutim, ako ovi DLCI ili VPI/VCI parovi nisu konfigurisani na specifičnom portu dolazi do odbacivanja saobraćaja.

U MPLS interfejs između CE rutera i njegovog partnerskog PE rutera je IP interfejs, odnosno interfejs bez labela. CE ruter nije svestan MPLS jezgra i ponaša se kao da šalje IP pakete ka običnom ruteru. „Inteligencija“ je prisutna u PE uređaju gde se na temelju konfiguracije odabira i dodaje labela paketu. To je uobičajeno za sve PE rutere. Svi interfejsi ka MPLS okruženju zahtevaju samo IP pakete, bez labela. Iz sigurnosnih razloga PE ruter ne sme nikada da prihvati paket sa labelom od CE rutera. Implementacija „Cisco“ rutera je takva da se odbacuju labelirani paketi koji pristižu na bilo koji interfejs koji onemogućava komutaciju labela [5]. Na taj način nije moguće umetnuti „lažne“ labele, jer ni jedna labela neće biti prihvaćena.

Ostaje mogućnost zamene IP adrese paketa koji se šalje prema MPLS jezgru. Međutim, pošto postoji strogo odvajanje adresiranja unutar PE rutera i svaki VPN ima vlastiti VRF, jedino se može oštetiti VPN iz kojeg dolazi paket. Drugim rečima, VPN korisnik može napasti sam sebe. MPLS ne dodaje bilo kakav sigurnosni rizik, pošto mreža davaoca usluge nije ugrožena, tako da se neće uticati na uslugu prema ostalim VPN. Odgovornost ispravne zaštite CE rutera isključivo pripada korisniku.

Kako je nemoguće umetnuti „spoofed“ labelu u MPLS mrežu i tako pristupiti drugom VPN ili MPLS jezgru, MPLS bazirani VPN obezbeđuje isti nivo sigurnosti kao i Frame Relay ili ATM bazirani VPN.

Zaključak

Sa aspekta vojne primene treba naglasiti da savremeni načini ratovanja zahvataju brz prenos informacija u realnom vremenu s obzirom na uslov da je podatak koristan samo ako je pravovremen i pouzdan. Razvojem informatičke podrške prenos govora je postao trivijalan, dok se u prvi plan stavljaju podaci i multimedija, što postojeći sistem veza Vojske ne može da zadovolji. Opremanje Vojske novim sredstvima postaje sve teže, a veliki broj tehnoloških koraka već je preskočen, što u velikoj meri otežava moguću kupovinu novih sistema.

Mreže zasnovane na IP tehnologiji sa uvođenjem komutacije predstavljaju budućnost modernih telekomunikacija i mogu u velikoj meri zadovoljiti potrebe prenosa različitih vrsta informacija u Vojsci. Stvaranje komutacione platforme u komandnim i informacionim sistemima otvara velike mogućnosti stvaranja pou-

zdane virtuelne privatne mreže za vojne potrebe (slika, podaci, multimedija, video konferencija, itd.). Posebnu pažnju u ovakvim sistemima treba posvetiti odgovarajućoj zaštiti, kako softverskoj, tako i hardverskoj, s obzirom na značaj podataka koji se ovim putem prenose. U mogućoj realizaciji jednog ovakvog komunikacionog sistema, a s obzirom na postojeće stanje u Vojsci, odgovarajuća podrška trebalo bi da se potraži među ostalim imaoima telekomunikacionih sredstava na našoj teritoriji. Činjenica je da su u ovom trenutku, u segmentima vezanim za ovu problematiku, mnogi od njih opremljeniji od Vojske, iako bi situacija trebalo da bude obrnuta. Na taj način sigurno bi se uštedela i velika materijalna sredstva, a mogao bi se dobiti jedan dobar i pouzdan komunikacioni sistem koji bi mogao da zadovolji sve veće potrebe savremene vojske.

Literatura:

- [1] International Technical Support Organization, A Comprehensive Guide to Virtual Private Networks, Volume III: Cross-Platform Key and Policy Management, November 1999.
- [2] Stallings, W.: Cryptography and Network Security, Prentice Hall, 1998.
- [3] Rosen, E., Rekhter, Y.: BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs), RFC 4364, February 2006.
- [4] <http://www.netcraftsmen.net/>
- [5] <http://www.cisco.com/>

Mr Nada Čitaković,
dipl. fizičak
Vojna akademija,
Beograd

PRIMENA RAČUNARA U NASTAVI FIZIKE

UDC: 37.016 : 53] : 004.4

Rezime:

U radu je dat kratak osvrt na istraživanje nastave fizike, kao i na upotrebu novih tehnologija, tj. računara u nastavi fizike. Pri korišćenju računara neophodno je primeniti metodičke zahteve koji bi trebalo da budu ispoštovani pri izradi softvera. Predloženo je i šta bi se u toj oblasti moglo uraditi kako bi se primenom računara unapredila nastava.

Ključne reči: metodika, nove tehnologije, pravljenje softvera, unapređenje nastave primenom računara, obrazovanje u fizici.

COMPUTERS IN TEACHING PHYSICS

Summary:

This paper presents a short review of the state in physics education at the beginning of the 21st century. Short reviews of investigations into physics teaching and application of new technologies, i.e. computers, in physics teaching are given as well. Different ways of computer applications are presented. Teaching method requirements are suggested in order to improve teaching by using PCs.

Key words: teaching methods, new technologies, software design, teaching improvement by PC usage, physics education.

Istraživanje nastave fizike

Grupa fizičara iz različitih zemalja sveta sprovedla je tokom poslednje dve decenije istraživanje nastave fizike, čiji su rezultati značajan deo korpusa znanja o tome kako učenici uče fiziku, što je dobilo visok stepen konsenzusa [2]. Glavni zaključak je da su nastavni planovi „milju široki i inč duboki“. Oni pokrivaju tako mnogo tema samo površno, sa intencijom da obezbede osnovu za kasnije studije. Ovi rezultati sada vode ka važnim nastojanjima da se projektuju novi nastavni planovi i programi, i koriste računari u nastavi fizike.

Upotreba računara u nastavi fizike

Završni ispiti učenika u zapadnim zemljama Evrope pokazali su najniži prosečni nivo znanja iz fizike i matematike. Statistički rezultati prikupljeni tokom godina neprekidno pokazuju negativne rezultate. Naime, učenici ne uče pojmove potrebne i neophodne za dobro razumevanje fizičkog sveta. Štaviše, završavaju razrede sa nekim fundamentalnim razumevanjem fizičkog sveta suštinski netaknutog. Njihovo učenje naučnih činjenica ostaje u učionici i kasnije nema uticaja na njihovo razmišljanje. Svako ko se interesuje za ovaj problem imao bi posla sa dva tipa pitanja: kako učenici uče fiziku i kako koristiti računare da se poboljša učenje.

Alfred Bork (fizičar) i Sejmur Pejpert (matematičar) bili su pioniri u ovom tipu prilaza problemu. Bork je 1978. godine na adresu Američkog udruženja nastavnika fizike pod naslovom „Interaktivno učenje“ ustvrdio da smo na početku značajnije revolucije u obrazovanju, gde će računar biti instrument ove revolucije. Važan put učenja na svim nivoima, i u skoro svim oblastima, biće kroz interaktivno korišćenje računara. Mogućnosti za izradu softvera za nastavu fizike danas su mnogo veće nego što je to bilo ranije, jer su znatno poboljšani PC programi koji danas nastavnicima fizike daju mogućnost da i sami kreiraju nastavu uz pomoć računara (primena Power Point, Excel, 3Dmax i drugi). Tu je naravno i internet, koji daje mogućnost brzog nalaženja podataka i praćenja savremenih dostignuća u nauci. Postoje već napravljeni programi za nastavu fizike, koje treba koristiti, pre svega, kao nastavno sredstvo, kako bi se povećala motivacija učenika za nastavu fizike raznovrsnošću metodologija i tipa časa. Računar ne sme da bude jedino sredstvo pri učenju fizike.

Računar kao nastavno sredstvo

Kao nastavno sredstvo računar služi za praktične vežbe, podučavanje, modeliranje fizičkih pojava i procesa, testiranje učenika, rešavanje zadataka. Metode koje se koriste su:

– *monološka metoda* – najniži nivo nastave. Svodi se na iznošenje gradiva. Student nema mogućnost da pita i da sam učestvuje u stvaranju nastavne situacije. Smanjena je mogućnost njegovog kreativnog razvoja, a aktivnost se ograničava na pažljivo praćenje izlaganja novih sa-

držaja putem monitora i rešavanje zadataka koji su vezani za određenu nastavnu jedinicu. Nažalost, ovaj način učenja pomoću računara je najrasprostranjeniji;

– *dijaloška metoda* – viši nivo učenikove aktivnosti u procesu učenja. Centralno mesto kao oblik podučavanja ima dijalog, a u kojem student daje odgovore od kojih zavisi dalji tok komunikacija;

– *problemski tip časa* – još viši oblik učenja pomoću računara, koji podrazumeva rešavanje problema. Student unosi u računar informacije o metodi rešavanja zadataka koje je odabrao, a odgovor računara je podatak o posledici do koje dovodi odabrani postupak;

– *metoda podučavanja*. Za ovaj oblik učenja karakterističan je odnos između studenta i računara u kojoj računar ima ulogu strpljivog tutora. Osnovna odlika ovakvog učenja je model tipa pitanje – odgovor. Pripremljene informacije mogu biti izložene i prilagođene bilo kom sistemu učenja. To je program koji najviše vodi ka individualizaciji nastave.

Računar – zamena za nastavnika

Gotovi programi pružaju mogućnost učenja kod kuće bez prisustva nastavnika. Ovakvi programi moraju biti sa što manje grešaka i, ukoliko je to moguće, interaktivnog karaktera. Potreba za ovim je jasna, student ne sme da nauči pogrešno interpretirane sadržaje i kada mu je potrebna pomoć za razumevanje određene materije računar „mora biti spreman“ da pruži traženu pomoć. Ovakav vid nastave gde računar ima ulogu nastavnika zastupljen je u svetu, a trebalo bi ga koristiti samo ukoliko prisustvo nastavnika nije moguće.

Neke prednosti korišćenja računara u nastavi

Prednosti su sledeće:

a) Interaktivnost

Računar omogućava svakom studentu da ima aktivnu ulogu u procesu učenja, za razliku od pasivne uloge knjige. Student više nije posmatrač već aktivni učesnik u procesu učenja.

b) Individualna pažnja

Nastavnici znaju da su studenti različiti, tj. nemaju svi isto predznanje i ne uče na isti način. Međutim, mnogi od naših konvencionalnih prilaza obrazovanju koriste rigidne procedure iste za sve studente i ne dozvoljavaju uzimanje u obzir ovih razlika. Prednost računara je u tome da se dobrim softverom može individualizovati podučavanje. Štaviše, pošto svi studenti ne uče istom brzinom, tj. potrebno im je različito vreme da prođu kroz gradivo, računar im to takođe omogućava. Sledeći važan faktor u napredovanju upotrebe kompjutera u obrazovanju je povećanje snage kompjutera, i prikladnosti za implementiranje novih načina učenja.

Različiti načini korišćenja računara

Danas postoje različiti načini korišćenja računara za predavanje i učenje fizike, a to su: simulacija, multimedija, telematika, virtuelna realnost i računarske laboratorije [1].

Simulacija kao način učenja

Pod simulacijom se podrazumeva predstavljanje fizičkih pojava i procesa brojevima, simbolima ili živim slikama. Mogu se simulirati realna ili nerealna

stanja. U nastavi fizike su važne sledeće simulacije: simulacija fizičkog eksperimenta, simulacija procesa u oblastima atomske, nuklearne fizike i fizike elementarnih čestica. Ove simulacije su veoma korisne kod onih procesa u kojima se ne mogu pri laboratorijskoj vežbi zapaziti suštinska dešavanja u materiji (alfa, beta raspad, određivanje energije alfa čestica pomoću tragova, nuklearna fisija, fuzija, Komptonov i fotoefekat, sudari elementarnih čestica i drugo). Međutim, u nekim slučajevima je korisnije izvršiti eksperiment nego simulirati proces na računaru (gasni zakoni, Omov zakon, itd. – tu računar može da služi za prikupljanje i obradu rezultata merenja). Znači, simulacije ne bi trebalo nikada potpuno da zamenе realnost, ali su ekstremno upotrebljive kada se proučavaju eksperimenti koje je nemoguće uraditi praktično (zato što su veoma skupi, veoma opasni, vrlo brzi, vrlo spori, itd.).

Multimedija

Ovaj modalitet je baziran na konceptu hiperteksta, odnosno hipermedija. Reč multimedija znači da moduli uključuju razne elemente kao što su: tekstovi, animacije slika, kombinacija zvuka, grafike i videoklipova. Izreka „slika je hiljadu reči vredna“ ovde dolazi do potpunog izražaja, što znači da informacija treba da bude što je moguće vizuelnija. Modul hiperteksta ima nekoliko internih linkova i čitalac nema potrebu da sledi linearni ili sekvencijalni put kroz modul, već može lako da izabere one delove modula koji su mu od interesa u tom trenutku. Ključne karakteristike multimedija su interaktivnost i fleksibilnost, tj. mogućnost uno-

šenja komandi i sposobnost da se izabere put unutar pribavljenih informacija. Prednosti multimedija su široko preporučene, pošto su i u skladu sa nekim pedagoškim teorijama, jer su ovi faktori potrebni za dobro učenje. Multimedija može biti on-line ili off-line, zavisno od načina na koji je informacija ponuđena.

Telematika

Telematika je sprega telekomunikacija i automatske obrade informacija. Internet, mreža svih mreža, neiscrpni je izvor znanja, koji daje mogućnost brzog i efikasnog prikupljanja najsvežijih informacija iz svih oblasti nauke. Traganje po internetu omogućava nastavniku da prati sva nova zbivanja i otkrića u nauci, čime se i njegovo znanje proširuje, a ne završava sticanjem diplome. Nastavnik bi trebalo da pomogne studentu na različite načine. Na primer, u pretraživanju i selekciji informacija relevantnih za zadati cilj, usred ogromnog i nesređenog informacionog „okeana“. Pod ovim okolnostima njegova uloga neće biti centralna, (jedan govornik i mnogo slušalaca), već će postati periferna (mnogo govornika i mnogo slušalaca). Nastavnik neće biti više jedini posednik i dobavljač informacija, već će postati ekspert i konsultant za razmatranje materije i rešavanje problema. Internet postaje najveća i najživlja od svih biblioteka, a zidovi učionica srušeni su direktnom komunikacionom vezom sa tim izvorom. U isto vreme, internet predstavlja veliki korak ka većoj demokratizaciji obrazovanja sa podjednako datim prilikama za svakog učenika, nezavisno od toga gde se nalazi. Mnogi kursevi egzistiraju na Web-u. Dobar primer

upotrebe interneta za predavanje fizike je Kurs opšte fizike baziran na JAVA jeziku, koji ima Davidsson college, North Caroline, USA [5].

Virtuelna realnost

Virtuelna realnost je snažan vizuelni alat koji pomaže učenicima da stvore svoje predstave o svetu koji ih okružuje. Projekat „Science Space“ je dobar primer primene virtuelne realnosti u učenju. Sa stoji se od niza virtuelnih svetova, projektovanih da pomognu učenicima u savladavanju izazovnih pojmova u fizici. Projekat je zajednički istraživački poduhvat George Mason University, University of Houston i NASA Jonson Space Centar, USA [6]. „Science Space“ se sastoji od tri virtuelna okruženja:

- *Njutnov svet* (pruža okruženje za istraživanje kinematike i dinamike jednodimenzionog kretanja),
- *Maksvelov svet* (podržava istraživanja elektrostatičke) i
- *Paulingov svet* (omogućava proučavanje molekulskih struktura preko različitih prezentacija).

Računarske laboratorije

Fizika je eksperimentalna nauka i računar je već našao mesto u fizičkoj laboratoriji. Računar je nastavno sredstvo u kabinetima fizike, gde prikuplja merne podatke i obrađuje ih (grafičko predstavljanje i dr.). Međutim, bogatstvo računarskih laboratorija i odgovarajućih pripadajućih alata za modeliranje moglo bi imati važniji uticaj na predavanja i učenje fizike. Korišćenjem ovih alata fizika se

može učiniti mnogo manje zastrašujućom za učenike sa manjim matematičkim sposobnostima. Mogu se koristiti za povećanje sposobnosti za rešavanje kompleksnih problema. Možda je najvažnija mogućnost kreirana ovom tehnologijom omogućavanje učenicima da preduzmu svoja sopstvena originalna istraživanja. Mnogo je toga što je pogrešno u nastavi fizike. Jedno je to što studenti samo uče, ali ne učestvuju u nastavi na zadovoljavajući način. Trebalo bi da imaju priliku da rade realne fizičke eksperimente i da potpuno učestvuju u učenju novih činjenica o svetu prirode. To omogućava ne samo jaku motivaciju, već predstavlja jedini način da dobro (tačno, precizno) razumeju fiziku, bez obzira na to da li će ih njihova karijera voditi u prirodne nauke ili neće.

Kratak pregled nekoliko gotovih softvera za nastavu fizike

Na našem tržištu se pre par godina pojavio program „Super Tutor – Physics 1 i 2“ [7], koji je Stafford Studyware izradio 1996. godine. Sam naziv govori o metodi koju ovaj program koristi. Međutim, iako je to tutorski tip softvera, postoje i dobre strane ovog programa. Ubačene su video sekvence koje unose izvesnu dinamiku i drže na taj način pažnju studentima. U okviru programa postoje i animacioni delovi u kojima se traži da se sam učenik angažuje u rešavanju nekih zadataka. Na ovaj način proces učenja postaje interaktivan. Autori ovog programa su dali i mogućnost provere znanja. Naime, ponuđeni su računski zadaci koje student treba da reši i koje može da proveriti. Veliki nedostatak ovog programa je što je potpuno zatvoren, tj. ne dozvoljava

korekciju nastavnika koji ga koriste i ne pruža mogućnost „osvežavanja“ sadržaja. Samim tim i učenik ponekad dobija zastarelu informaciju i neku pogrešnu, s obzirom na to da su se u programu potkrale i neke materijalne greške, koje bi inače mogle da se isprave.

Drugi CD koji se takođe mogao kupiti kod nas je Exploring Physics [8], koji je izašao 1996. godine i predstavlja malo konzervativniji pristup nastavi. Podeljen je na sledeće delove: fizički fenomeni, merenja, fizički zakoni, kinematika i dinamika, fenomeni ravnoteže, energija i transformacija, elektricitet i atomska fizika. Slično prethodnom programu i ovde se iz menija ulazi u određenu oblast. Svaki deo sadrži tekst sa odgovarajućom teorijom, a u posebnom odeljku može se animirati neka pojava kroz kratak video spot, ili odgovarajuću sliku. Postoji mogućnost provere stečenog znanja, na taj način što kroz ubacivanje brojnih vrednosti u već ponuđene tabele učenik proverava razumevanje određenog zakona. Upravo je tu mana ovog programa, što se matematizuje fizička pojava i što učenik ne stiče sposobnost merenja fizičkih veličina i na kraju ne upoznaje se ni sa aparaturom sa kojom vrši merenje odgovarajuće fizičke veličine. Osim ovih mana u poređenju sa prethodnim može se zaključiti i da su slike i animacije znatno lošije. Metodički gledano ima i tu dosta nedostataka, kao na primer pretrpanost strane informacijama, na istom mestu se nalaze i tekst, animacije, meni i eksperiment, a i računski zadatak. Ovaj program bi bio koristan isključivo pri proveru znanja naučenog sadržaja, a nikako u procesu učenja. Dakle, koristan je samo za kućnu upotrebu učenika.

Razvijeniji pristup primene računara u nastavi dat je u programskom paketu ADV Physics [9], u kojem je računar i nastavno sredstvo i nastavni objekat. U ovom programu otišlo se najdalje ka individualizaciji nastave. Kurs je atraktivan i pristupačan za učenike sa različitim nivoima interesovanja. Napravljen je tako da se vidi veza fizičkih zakona sa svakodnevnim životom. Prezentirane su sledeće aktivnosti u ovom kursu: demonstracija vežbi koje izvodi nastavnik (date kroz kratke filmove), izlaganje studenata, eksperiment za studente i kućni eksperiment, a realizovane su uz pomoć postera, slika, filmova i sl. Specifičnost kursa je što postoji deo predviđen i za aktivnost nastavnika. Dato je detaljno uputstvo nastavnicima za korišćenje ovog programa, interaktivni Web-site, a od nastavnika se očekuje da pruži maksimalnu pomoć studentima.

Za astronomiju, koja je sada u okviru fizike za četvrti razred srednje škole, dat je niz sjajno urađenih softvera, npr: Red Shift [10] i Deep space explorer [11]. Ovi programi, sem što su dobro organizovani, poseduju ogroman broj snimaka nebeskih tela koji su napravljeni sa mnogih svemirskih ekspedicija i sa velikih zemaljskih satelita. Snimci su još umetnički doradjeni i pružaju izuzetno zadovoljstvo posmatraču. Sem fotografija nebeskih tela tu se mogu videti animacije kretanja tih tela (obrtanja tela oko svoje ose, gde se vidi trodimenzionalnost i celovitost objekta), zatim poprečni preseki tela, sa detaljnim oznakama svih bitnih podataka. Pored toga, data je i karta neba gde se može videti raspored nebeskih tela i odrediti njihov položaj u sfernim nebeskim koordinativnim sistemima. Najlepši deo ovog programa predstavlja

kratki animacioni filmovi o naučnim pretpostavkama o nastanku svemira, Sunčevog sistema i drugi. Jednom rečju, to je jedan od najbogatijih edukativnih programa koji su se do sada pojavili.

Prijatno iznenađenje predstavljala je i pojava naših CD-ova sa programima iz fizike, to su Fizika 1 i Fizika 2, koje je izdala Kvarak medija [12], 1999. godine. Programi su izrađeni prema programima za gimnaziju i obuhvaćeni su svi vidovi nastave: fenomenološki pristup fizičkim pojavama kroz animacione slike, potom teorijski pristup, eksperimentalne vežbe i na kraju računski zadaci. Prednost ovih programa u odnosu na do sada pomenute je što su na veoma atraktivan i savremen način predložene oblasti iz fizike kroz interaktivan vid nastave, što su inače savremeni standardi (zahtevi) metodike nastave. Najinteresantniji deo ovih programa su eksperimentalne vežbe. U nedostatku materijalnih sredstava i nemogućnosti nabavke skupih učila (kojih inače nema na našem tržištu) gimnazije bi mogle ovim CD-ovima taj problem da reše na zadovoljavajući način. Prednost ovakvih „eksperimentalnih vežbi“ je i u tome što se vežbe mogu raditi individualno, a ne u grupama; što postoji mogućnost većeg broja ponavljanja iste vežbe dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati i što studenti lakše mogu da uoče napravljene greške pri merenju.

Drugi vidovi primene računara u nastavi

Do sada su pomenuti već izrađeni programi za nastavu za koje je dovoljno da nastavnik ili student znaju da rukuju računarom i da puste program. Međutim,

pored toga, računari se mogu koristiti i na drugi kreativniji način. Zahvaljujući razvoju mikroračunarskog sistema i velikog broja naprednih programa, kao što su Power Point, Flash, Excel (programi za kreiranje sadržaja u vidu slajdova i tabela), a takođe programi za obradu slika Adobe Photoshop i Point, ACD See-program za vizualizaciju većeg broja slika u vidu dokumenata, nastavniku je data mogućnost da sam napravi program koji će sadržati sve potrebne metodički najefikasnije elemente edukativnog procesa. Ovakav vid nastave, gde računar postaje nastavno sredstvo, otklanja sve nedostatke već gotovih korisničkih programa: greške se mogu uvek ispraviti, sadržaji se mogu dopuniti novim i svežim informacijama, a prisustvo nastavnika daje mogućnost dodavanja informacija i tumačenja nejasnoća u obrazovnom procesu. Naravno, neiscrpni izvor znanja je svakako internet.

Mogućnosti i karakteristike Power Point-a

Program Power Point (PP) omogućava crtanje linija i animaciju, što može da olakša nastavnicima, a i studentima obradu veoma suvoparnih, ali bitnih nastavnih jedinica. Prednosti rada sa PP su sledeće: jasnoća vizuelne prezentacije, preciznost grafičke predstave, bogatstvo boja, postepenost u prikazu detalja na slici (naknadno ubacivanje detalja), zvučni efekti za podršku animacije, naracija, interaktivan rad sa studentima, ušteda vremena za crtanje (u toku koga drastično pada pažnja slušaocima) i laka dopuna i priprema slajdova po uočavanju grešaka ili „slabih“ mesta.

Nedostaci su: vreme potrebno za pripremu nije zanemarljivo, zatamnjena prostorija i neophodnost tehničke opremljenosti, smanjen vizuelni kontakt sa studentima, vreme potrebno za pripremu „tehnike“.

O efikasnosti same nastave se ne može još ništa reći, jer je za to potrebno daleko obimnije metodičko istraživanje. Ono što je pouzdano zapaženo je mnogo veća motivisanost i angažovanost studenata na časovima. Mogućnosti korišćenja PP su velike i mogu nastavniku da pomognu u održavanju kvaliteta nastave. Ipak, ne treba prihvatiti ovakav vid nastave kao alternativu klasičnom, PP treba uvesti u nastavu kao vizuelni nastavni program koji može da, uz žive slike, ilustruje priču nastavnika. Pri pravljenju PP prezentacije, za ovaj vid nastave treba voditi računa o sledećem:

- slajd ne sme da bude pretrpan informacijama; treba da sadrži najbitnije delove nastavne jedinice – ono što bi trebalo da učenik zapamti na času;
- izbor pozadine slajda mora biti neupadljiv;
- slajd treba da čini jednu logičku celinu, blisku misaonim procesima učenika i da svojim audio i vizuelnim sadržajem pomogne u lakšem i bržem razumevanju i memorisanju fizičkih pojava;
- slajd ne sme da ima nedorečenosti, jer u slučaju pasivnog učešća nastavnika mogu da se dese propusti koji mogu da imaju za posledicu i pogrešno izvođenje zaključaka.

Zaključak

U svetu postoje organizacije i projekti na izradi softvera za nastavu fizike. Najdalje se otišlo na izradi programa koji

su u učenju fizike služili za praktične vežbe, testiranja i rukovanje kursevima, za automatska merenja. Kod nas ne postoji strategija na nivou zemlje koja bi okupila timove stručnjaka koji bi se bavili primenom računara u nastavi. Prepušta se pojedincima entuzijastima ili manjim grupama da sami prave softvere, a pri tome nema koordinacije između njih.

Na osnovu analize pomenutih programa u svetu i kod nas može se izvesti zaključak da u našoj zemlji postoje izuzetno kreativni i sposobni programeri koji su počeli sa ogromnim entuzijazmom i kreativnošću da izrađuju softvere za nastavu, ali je očigledno da nema podrške za to, jer su takvi projekti zaustavljeni. Pohvalno je i to da je Prirodno-matematički fakultet (Odsek za matematiku i informatiku) u Novom Sadu organizovao seminare o upotrebi računara u nastavi i pruža mogućnost obrazovanja nastavnika na poslediplomskim studijama. S tim u vezi, trebalo bi što pre izraditi iscrpnu

studiju o mogućnostima primene računara u nastavi na nivou države.

Može se zaključiti da je za nastavu fizike najvažnija raznovrsnost primene nastavnih metoda i vidova nastave, nastavnih učila i sredstava, kako bi se održavala motivisanost studenata za ovaj predmet.

Literatura:

- [1] Fiolhais C., Trindade J. A.: Use of Computers in Physics Education, Proceedings of the „Euroconference '98 – New Technologies for Higher Education”, Aveiro, 1998.
- [2] Esquembre F.: Computers in physics education, Computer Physics Communications 147 (2002) 13–18.
- [3] <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/cip.html>.
- [4] <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/cip/modeling2.html>.
- [5] <http://www.davidson.edu/>
- [6] <http://www.jsc.nasa.gov/cssb/vr/ScienceSpace/>
- [7] Stafford Studyware, Tutorial physics, e-mail: tutored@stanfordsw.com
- [8] FINSON S.R.L., Exploring: Physics, via Montepulciano 15, 20124, Milan, Italy.
- [9] Institut of Physics Publishing, Advancing Physics, Bristol.
- [10] Maris Multimedia, Red Shift 1, 2, 3 i 4.
- [11] SPACE, com Canada inc., Deep Space Explorer, support@starynight.com
- [12] Kvar media, Fizika 1 i Fizika 2, Beograd, Bulevar mira 70, e-mail: kvar@EUnet.yu

Mr Zoran Novaković,
major, dipl. inž.
Zoran Milojević,
poručnik, dipl. inž.
COLO,
Kruševac

PROGRAMSKI PAKET ZA REALIZACIJU PROCENE PROFESIONALNOG RIZIKA NA RADNOM MESTU

UDC: 331.103.15 : 004.4

Rezime:

Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu donosi niz novih obaveza poslodavaca, među kojima se, po značaju i složenosti, izdvajaju aktivnosti vezane za izradu Akta o proceni rizika na svim radnim mestima. Inicijalizacija projekta izrade softverskog paketa za procenu rizika na radnom mestu i u radnoj okolini izvršena je na osnovu iskazane potrebe, proistekle iz značajnih zakonodavnih promena koje su donete u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu. To predstavlja osnovu za dalju nadgradnju u smislu integralnog informatičkog rešenja za vođenje poslova bezbednosti i zdravlja na radu.

Ključne reči: profesionalni rizik, procena rizika, faktori rizika, softverski paket.

SOFTWARE PACKAGE FOR RISK ASSESSMENT IN THE WORKPLACE

Summary:

A new national Occupational and Safety Law brings many new obligations for employers and among them activities related to risk assessment procedures. A project of developing a software package for conducting a risk assessment procedure in the workplace and in the work environment was initiated, based on needs generated by significant legislation changes in the domain of occupational safety and health. All of previous should be a basis for further upgrading to the level of an integrated software solution in the domain of occupational safety and health.

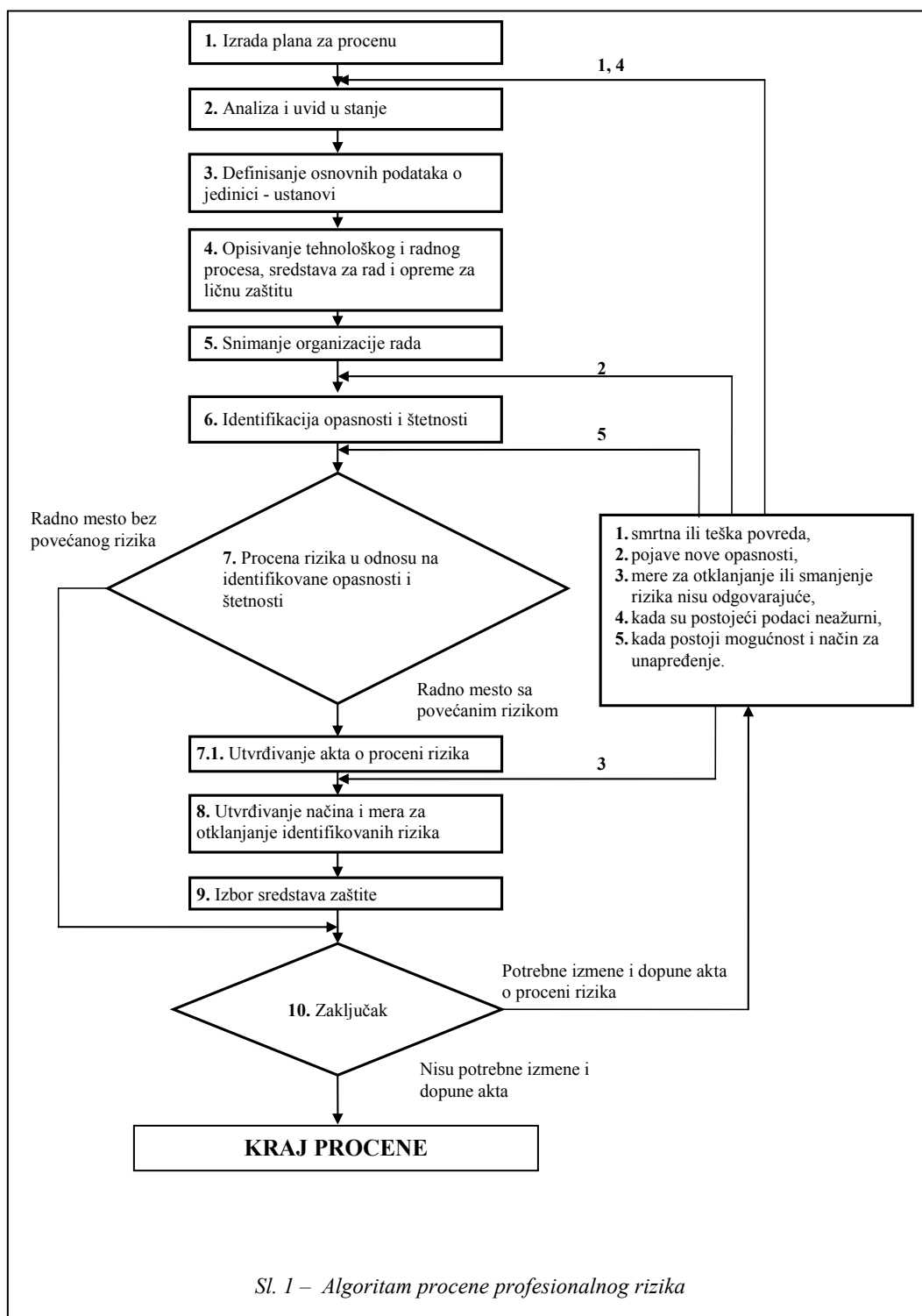
Key words: professional risk, risk assessment, risk factors, software package.

Uvod

Primena informacione tehnologije u upravljanju, odnosno komandovanju, veoma je aktuelna i značajna. Obrada podataka i njihovo analiziranje jeste oblast u kojoj informaciona tehnologija nalazi primenu radi skraćanja vremena rada, automatizacije analize, mogućnosti lakog i brzog pretraživanja i pronalaženja potrebnih podataka, čuvanja velikog broja podataka na malom prostoru, mogućnosti brze razmene i slanja podataka, bržeg do-

bijanja kvalitetnijih informacija za odlučivanje.

Upotrebom informacione tehnologije u realizaciji procene profesionalnog rizika obezbeđuje se racionalnije korišćenje postojećih resursa, ravnomernija opterećenost ljudstva u okviru jedinice i skraćanje vremena za izradu analiza i odlučivanje. Od komercijalnih programskih paketa koji se nalaze u upotrebi najprimereniji za korišćenje je Microsoft Access koji je efikasno poslužio za izradu i formiranje baze podataka.



Cilj realizacije programskog paketa

Cilj utvrđivanja procene profesionalnog rizika je preventivno delovanje u funkciji bezbednosti i zaštite zdravlja zaposlenih, tj. preduzimanje opštih i posebnih mera zaštite na radu radi eliminisanja opasnosti ili štetnosti, ili smanjivanja vremena ekspozicije zaposlenog određenim faktorima rizika u sredinama gde je ustanovljena njihova prisutnost.

Osnovni cilj realizacije programskog paketa bio je da se, na osnovu pozitivnih iskustava i analize sličnih programskih paketa, a imajući u vidu specifične zahteve i potrebe potencijalnih korisnika, izvrši projektovanje i razrada programa koji će služiti kao pomoćni alat i vodič za formiranje odgovarajućih baza podataka iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu i sprovođenje zakonom predviđene procedure procene rizika [1].

Program se zasniva na primeni ekspertske procene profesionalnog rizika uz dodatak određenih specifičnosti koje su karakteristične za rad na konkretnim borbenim sredstvima. Bez obzira na to, program se može upotrebiti za specifičnosti rada i na drugim borbenim ili tehničkim sredstvima, uz prethodno realizovanu ekspertsku ocenu. Program omogućava automatsku obradu procenjenih faktora rizika na pojedinim radnim mestima i njegovu kategorizaciju, odnosno izdvajanje radnih mesta sa povećanim rizikom.

Pomoću programa može se postići bolji učinak referenata zaštite resursa, što se direktno odražava na borbenu gotovost jedinice.

Procedura procene profesionalnog rizika

Proces donošenja procene profesionalnog rizika zasniva se na algoritmu prikazanom na slici 1, koji je izrađen na osnovu Pravilnika [2].

Baza podataka

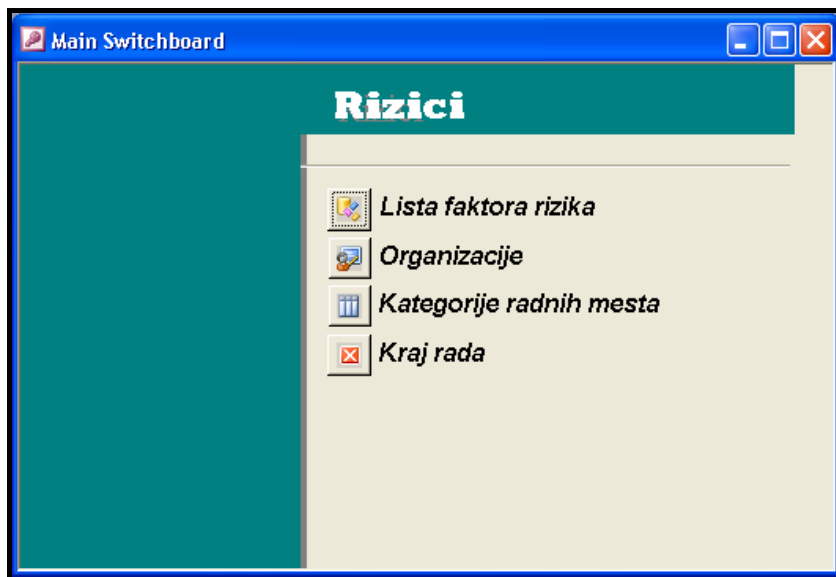
Baza podataka zasnovana je na unosu i obradi podataka vezanih za realizaciju procene profesionalnog rizika. Projektovana je na način da se zadovolje zahtevi i procedura definisani Pravilnikom [2].

Zbog sveobuhvatnosti realizacije procene profesionalnog rizika bilo je potrebno: uraditi bazu podataka za sva radna mesta; kategorisati radna mesta; utvrditi radna mesta sa povećanim rizikom. Krajnji cilj jeste snimanje stanja na svakom radnom mestu, radi bezbednosti i zdravlja na radu i povećanja borbene gotovosti jedinice.

Postupak procene rizika korišćenjem programskog paketa

Posle izvršenog projektovanja strukture podataka formiran je glavni (početni) meni (slika 2), koji daje mogućnosti ulaska u podmenije: lista faktora rizika, organizacije, kategorija radnih mesta i kraj rada.

Podmeniji (tabele) međusobno se povezuju da bi podaci iz jednog bili dostupni u drugoj. Veze ili relacije između tabela uspostavljene su tako da više tabela deli istu vrednost.

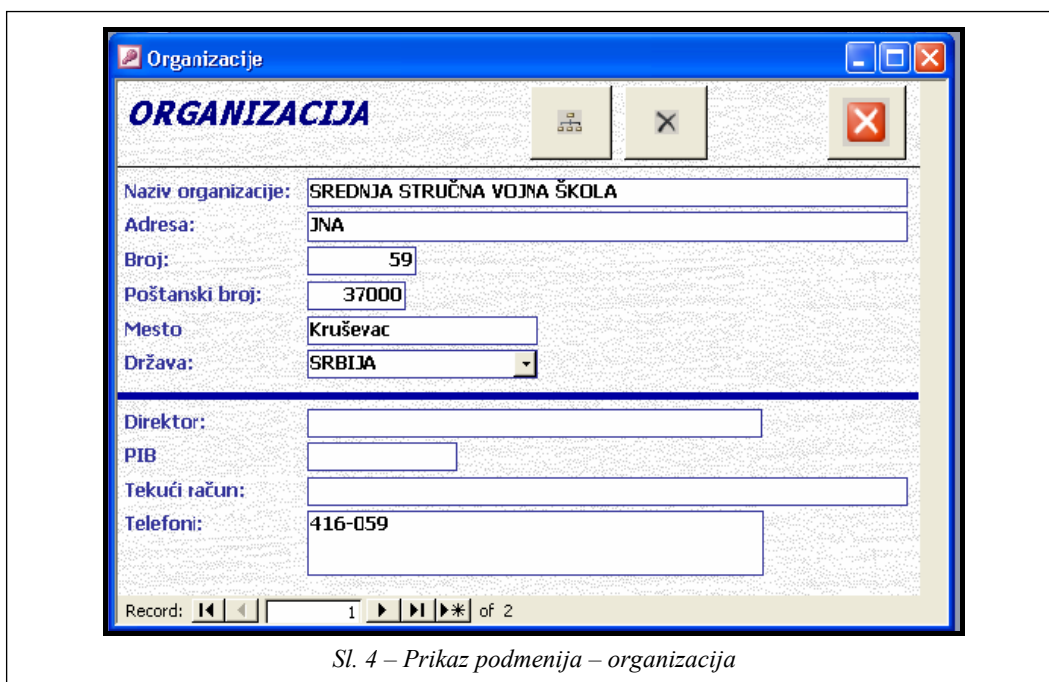


Sl. 2 – Prikaz osnovnog menija

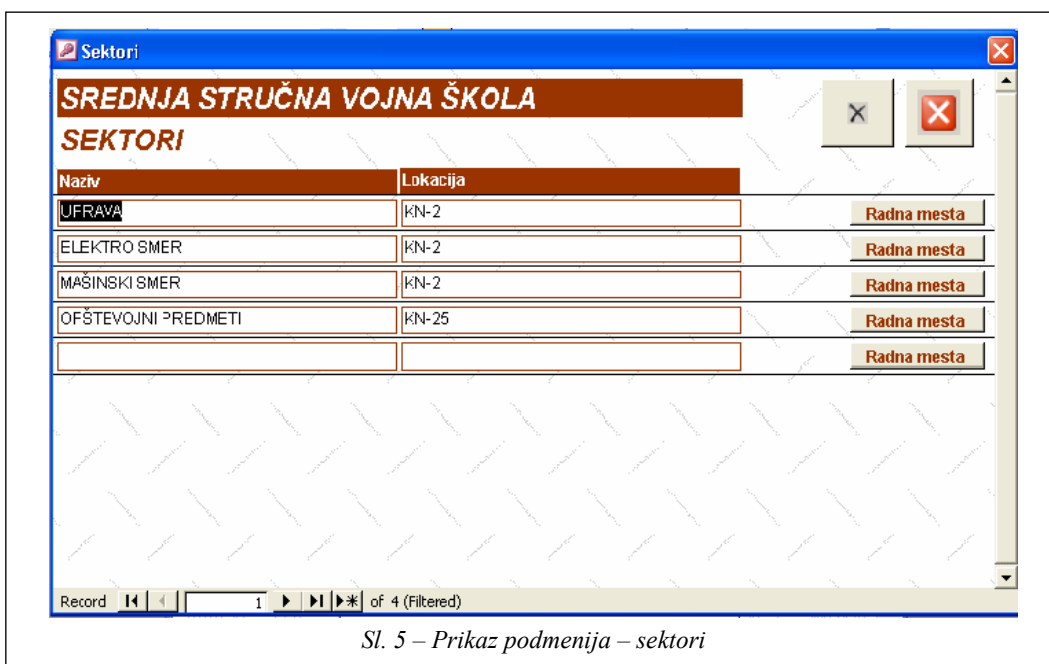
Kriterijumi				
Naziv	Težina ocene			
	1	2	3	4
Mehanički	26	52	78	105
Buka	13	26	40	53
Vibracije	8	16	24	32
Ultravioletno zračenje	2	5	8	10
Infracrveno zračenje	4	8	16	17
Dinamička i stacionarna energija magnetnog polja	5	10	15	20
Mikrotalasno zračenje (radarsko)	8	16	24	31
Lasersko zračenje	9	18	27	38
Osvetljenje	16	32	48	63
Mikroklima	8	16	24	32
Stanje radnog mesta	14	28	42	56
Primena elektro uređaja	5	10	15	20
Zapaljivost i eksplozivnost	10	21	32	42
Zaprašenosť	4	9	13	18
Toksičnost i agresivnost	7	14	21	28

Record: 14 of 24

Sl. 3 – Prikaz podmenija – liste faktora rizika



Sl. 4 – Prikaz podmenija – organizacija



Sl. 5 – Prikaz podmenija – sektori

Ulaskom u podmeni (tabelu) Lista faktora rizika počinje aktivan rad. Pojavljuje se tabela za unos podataka u bazu

(slika 3), koja se sastoji od jednog lista (u ovom slučaju 24 faktora rizika). Na osnovu ove tabele ocenjivanju se pridru-

Radna mesta

SREDNJA STRUČNA VOJNA ŠKOLA

ELEKTROSMER

▶ Nastavnik - raketna tehnika	
Instruktor praktične nastave - raketna tehnika	
Nastavnik - opšti predmeti	
Instruktor - opšti predmeti	
Instruktor praktične nastave - elektroenergetika	
Instruktor praktične nastave - telekomunikacije	
Nastavnik - elektroenergetika	
Nastavnik - telekomunikacije	
*	

Record: 1 of 8 (Filtered)

Sl. 6 – Prikaz jedne organizacione celine

Ocene za radno mesto po kriterijumima

SREDNJA STRUČNA VOJNA ŠKOLA

ELEKTROSMER

Instruktor praktične nastave - elektroenergetika

Mehanički	3
Buka	2
Vibracije	1
Ultravijolentno zračenje	2
Infracrveno zračenje	2
Dinamička i stacionarna energija magnetnog polja	2
Mikrotalasno zračenje (radarsko)	1
Lasersko zračenje	2
Osvetljenje	2
Mikroklima	0
Stanje radnog mesta	1
Primena elektro uređaja	2

C - kategorija **UKUPNO BODOVA: 369**

Komentar:

Record: 1 of 24 (Filtered)

Sl. 7 – Prikaz tabele za realizaciju ocenjivanja profesionalnog rizika na radnom mestu

Ocene za radno mesto po kriterijumima

SREDNJA STRUČNA VOJNA ŠKOLA

ELEKTROSMER

Instruktor praktične nastave - elektroenergetika

Vibracije	1
Ultravioletno zračenje	2
Infracrveno zračenje	2
Dinamička i stacionarna energija magnetnog polja	2
Mikrotalasno zračenje (radarsko)	1
Lasersko zračenje	4
Osvetljenje	0
Mikroklima	1
Stanje radnog mesta	3
Primena elektro uređaja	2
Zapaljivost i eksplozivnost	1
Zaprašnost	2

A - kategorija **UKUPNO BODOVA: 389**

Komentar:

Record: 8 of 24 (Filtered)

Sl. 8 – Prikaz realizacije ocenjivanja faktora rizika

žuje procena faktora rizika sa određenim brojem bodova. Broj bodova je dobijen primenom ekspertske procene profesionalnog rizika za rad na konkretnim radnim mestima vezanim za primenjene oblike nastave i obuke na borbenim sredstvima, karakteristične za posmatranu organizaciju (opširnije u [3] i [4]).

Ulaskom u drugi podmeni Organizacije (slika 4), na ekranu se pojavljuje maska za unos podataka vezanih za osnovne podatke organizacije (jedinice). Mogu se unositi podaci za više organiza-

cionih celina, s tim što se mora voditi računa o prethodnoj tabeli koja je karakteristična za jednu celinu.

U okviru prozora Organizacije data je mogućnost unosa strukture organizacije (formacije jedinica). Pritiskom na dugme desno od natpisa *organizacija*, ulazi se u sledeći podmeni sektor, u koji se unosi naziv organizacionih celina posmatrane organizacije.

U okviru posmatrane celine – sektora mogu se uneti radna mesta za koja će se vršiti procena rizika i to pritiskom na dug-

Pregled ocena za radno mesto

SREDNJA STRUČNA VOJNA ŠKOLA

SEKTOR: **ELEKTROSMER**

Radno mesto: Instruktor praktične nastave - elektroenergetika

	Faktor rizika	Ocena	Bodovi
1. Mesto radu	3	3	9
2. Oprema	3	3	9
3. Vrednosti	1	1	3
4. Uticaj vanjskih faktora	2	2	6
5. Inicijativnost radnika	2	2	6
6. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6
7. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
8. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	4	4	16
9. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6
10. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	0	0	0
11. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
12. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6
13. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
14. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6
15. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
16. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
17. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
18. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6
19. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
20. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
21. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
22. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
23. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	1	1	3
24. Osnovne i dodatne veštine i znanja radnika	2	2	6

Kategorija: **A**
Ukupno: 88

Radno mesto: Opa ukupna ocena profesionalnog i unika prebun 150 bodova, u koju bi se ubrajala najviša i najniža i radno mesto po bodovima i dobiveni rangovi.

Dodati komentar:

Sl. 9 – Prikaz – izveštaj

me desno od naziva i lokacije posmatrane celine – sektora. U datom slučaju (slika 6) posmatraju se radna mesta u okviru Srednje stručne vojne škole, smeru TS1.

Pritiskom na dugme koje se nalazi desno od naziva radnog mesta program otvara sledeću tabelu (slika 7). Na slici su prikazani, u padajućem nizu, faktori rizika sa ponuđenim procenama od 0 do 4. Na osnovu iskustva ocenjivač vrši ocenjivanje svakog pojedinačnog faktora

rizika. Program automatski pridružuje ocenu sa određenim brojem bodova koji su prethodno uneti, (tabela na slici 3), vrši sabiranje i automatski obavlja kategorizaciju posmatranog radnog mesta prema kategorijama prikazanim na slici 10.

U slučaju da na radnom mestu, po proceni procenjivača, deluje faktor rizika ocenjen ocenom 4, automatski se, bez obzira na ukupan iznos bodova, radno mesto kategoriše kao A.

Kategorije	
Oznaka A Interval bodova 751 1000	Opis kategorije Radna mesta čija ukupna ocena profesionalnog rizika prelazi 750 bodova, u koju bi se svrstala najugroženija i najrizičnija radna mesta po bezbednost i zdravlje zaposlenog.
Oznaka B Interval bodova 501 750	Opis kategorije Radna mesta čija ukupna ocena profesionalnog rizika između 500 i 750 bodova.
Oznaka C Interval bodova 251 500	Opis kategorije Radna mesta čija ukupna ocena profesionalnog rizika između 250 i 500 bodova.
Oznaka D Interval bodova 0 250	Opis kategorije Radna mesta čija je ocena profesionalnog rizika u intervalu do 250 bodova. U ovu grupu bila bi uvrštena radna mesta za koja se dokaže postojanje određenog faktora rizika u intezitetu koji može narušiti bezbednost i zdravlje radnika samo pri dugotrajnom izlaganju

Sl. 10 – Prikaz podmenija – kategorije

U okviru procene radnog mesta program nudi upis, u vidu komentara, specifičnosti za posmatrano radno mesto, kao na primer: potreba za primenom sredstava lične zaštite, primena posebnih mera zaštite, itd.

Na kraju ocenjivanja za svako radno mesto može se odštampati izveštaj sa upisanim komentarom za posmatrano radno mesto i komentarom koji je karakterističan za radna mesta kategorije u koju je svrstano radno mesto. Izveštaj je prikazan na slici 9.

Ulaskom u podmeni kategorije (slika 10) na ekranu se otvara prozor koji nudi mogućnost unosa definisanja kate-

gorija po kojima će program da vrši kategorizaciju i svrstavanje radnih mesta. U ovom slučaju data je četvorostepena skala za realizaciju kategorizacije radnih mesta na osnovu predloženog i sprovedenog ekspertskog ocenjivanja.

Zaključak

Programski paket obezbeđuje obradu dela podataka i dobijanje izveštaja radi olakšavanja završne analize i donošenja procene rizika za posmatrano radno mesto. Dobijanje izveštaja za sva radna mesta u posmatranoj organizacionoj celini predstavlja bitno unapređenje u radu.

Jednu od najvažnijih karakteristika softverskog paketa predstavlja funkcija koja omogućava veoma brzo i automatsko generisanje dokumenta o sprovedenoj proceni rizika u kompletnoj ili skraćenoj formi. Time se ispunjava zakonska obaveza vezana za izradu akta o proceni rizika u pisanoj formi [1]. Dodatna prednost korišćenja softverskog paketa za izradu procene rizika u odnosu na konvencionalne metode predstavlja znatno olakšan rad u fazi revizije i dopune prethodno sprovedenog postupka. Sve unete promene se automatski pohranjuju u bazama podataka, a štampanje izmenjenog oblika dokumenta je brzo i jednostavno.

Treba naglasiti da je program rađen namenski za jedinicu, da predstavlja prvu verziju i da je samo deo procesa procene profesionalnog rizika. Takođe, mogao bi se poboljšati za potrebe posmatrane jedi-

nice u kojoj je razvijen i uopštiti, kako bi mogle da ga koriste i druge organizacione celine.

Literatura:

- [1] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu, Službeni glasnik RS, broj 101/05.
- [2] Pravilnik o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini, Službeni glasnik RS, broj 72/06.
- [3] Novaković, Z.: Modeli za ocenu profesionalnog rizika borbenih sistema, Magistarska teza, Fakultet zaštite na radu, Niš, 2007.
- [4] Novaković, Z.: Primena metoda ekspertskog ocenjivanja pri oceni profesionalnog rizika, Vojnotehnički glasnik, broj 3/07, MO RS, Beograd, 2007.
- [5] Andelković, B., Živković, N.: Primena metoda ekspertnog ocenjivanja uticaja tehnoloških sistema na životnu sredinu, Zbornik radova Međunarodne konferencije, Preventivni inženjering i životna sredina, Fakultet zaštite na radu, Niš, 1995.
- [6] Janković, Ž.: Elementi za procenu rizika u sistemu Čovek – sredstvo rada, Zbornik radova, Fakultet ZNR, Niš, 2004.
- [7] Job Safety or Hazard Analysis JSA / JNA:
<http://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/jobhaz.html>,
http://www.acusafe.com/Hazard_Analysis/OS-HA_JSA_3071.pdf
- [8] Workplace Risk Assessment and Control (WRAC):
<http://www.sverdrup.com/safety/pha.pdf>

Dr Vojislav Batinić,
dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

ODREĐIVANJE KRUTOSTI PLANETARNOG PRENOSNIKA

UDC: 62-233.3

Rezime:

Kontaktna krutost zubaca jedan je od glavnih generatora unutrašnjih dinamičkih sila u spregama zupčanika planetarnih prenosnika. Neophodan je pri opisivanju dinamičkog ponašanja planetarnih prenosnika, tj. pri postavljanju jednačina dinamičke ravnoteže. U radu je prikazan metodološki pristup analitičkom i eksperimentalnom određivanju krutosti posmatranog planetarnog prenosnika.

Ključne reči: planetarni prenosnik, vibracije, kontaktna krutost, unutrašnje dinamičke sile.

DETERMINATION OF GEAR MESH STIFFNESS IN PLANETARY GEARING

Summary:

Gear mesh stiffness in planetary gearing is one of the main generators of internal dynamic forces. It is necessary in describing dynamic behaviour of planetary trains, i.e. in defining their equations of dynamic balance. This paper presents a methodological approach to experimental and analytical calculation of stiffness in planetary gearing.

Key words: planetary gear train, vibrations, gear mesh stiffness, internal dynamic forces.

Uvod

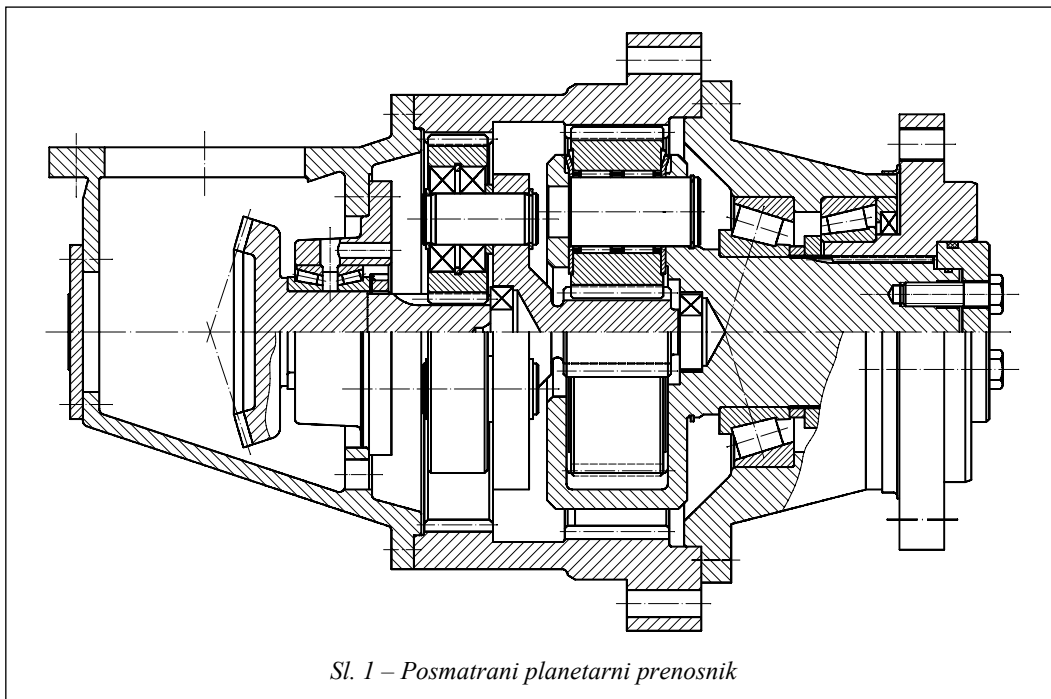
Unutrašnje dinamičke sile i momenti u planetarnim prenosnicima mogu dovesti do progresivnog i ubrzanog razaranja zupčanika, ležaja, nosača satelita i kućišta. Složenost uslova rada i procesa nastajanja unutrašnjih dinamičkih sila zahteva analizu više uzroka koji dovode do pojave tih sila. Jedan od glavnih generatora unutrašnjih dinamičkih sila je promena kontaktne krutosti zubaca, kao posledica elastičnih deformacija, razlike koraka, habanja zubaca i sl.

Za složene dinamičke konstrukcije koje sadrže veliki broj elemenata, kao što su zupčanci, vratila, ležaji, spojnice i sl. definisanje sistema jednačina kretanja je

izuzetno teško i često nemoguće sa aspekta praktične primene. Problem matematičkog modeliranja takvih sistema može se, donekle, prevazići primenom dinamički ekvivalentnih sistema umesto stvarnih. Za postavljanje jednačina dinamičke ravnoteže ekvivalentnog sistema neophodno je poznavanje krutosti čitavog prenosnog mehanizma. Određivanje krutosti planetarnog prenosnika predmet je istraživanja ovog rada.

Krutost zubaca spregnutih zupčanika planetarnog prenosnika

Za analizu je korišćen planetarni prenosnik sa dva planetarna reda (stepena prenosa), proizveden u fabrici „14.



Sl. 1 – Posmatrani planetarni prenosnik

oktobar“ Kruševac (slika 1), ugrađen na pogonskom mostu bagera. Sastoji se od dva reda po tri satelita u sprezi sa centralnim zupčanikom, venačnog zupčanika epicikla, nosača satelita i izlazne pri rubnice.

Krutost čelika koji se koriste za izradu zupčanika prenosnika je u granicama od 15 do 20 N/mm². Za analizu će se usvojiti prosečna krutost zubaca zupčanika $c' = 15 \text{ N/mm}^2$.

Krutost zubaca u vezama prvog stepena prenosa:

$$\begin{aligned} c'_{z_1 z_2} &= c' b_1 \cdot 10^6 = 600 \cdot 10^6 \text{ N/m} \\ c'_{z_2 z_3} &= c'_{z_1 z_2} = 600 \cdot 10^6 \text{ N/m} \end{aligned} \quad (1)$$

pri čemu je:

$b = 40 \text{ mm}$ širina zupčanika z_1 , z_2 i z_3 .

Kako se vidi, ova krutost je linijska, tj. odnosi se na 1 mm širine zupčanika i 1

m dužine deformacije. Međutim, za rešavanje problema potrebna je radijalna krutost koja će se dobiti pogodnom transformacijom osnovnog izraza za krutost, tako da je:

$$c' = \frac{F}{w} = \frac{\frac{T}{3r_1}}{\frac{r_1 \psi_1}{\cos \alpha}} = \frac{T}{3\psi_1} \frac{\cos \alpha_w}{r_1^2} \quad (2)$$

pri čemu su:

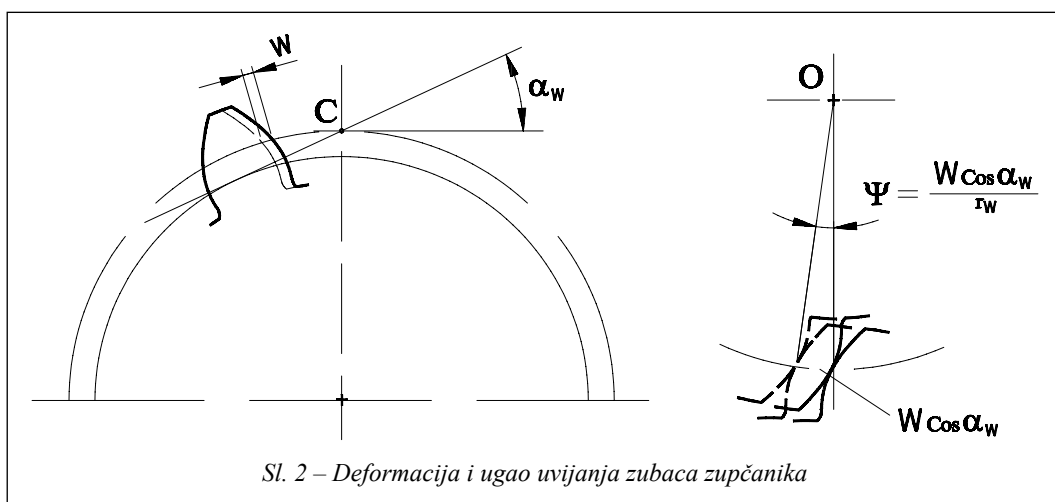
$T/3$ obrtni moment na jednom od tri satelita,

r podeoni poluprečnik centralnog zupčanika,

ψ_w ugao dodirnice, koji za $x_1 + x_2 = 0$ iznosi $\psi_w = 20^\circ$,

ugao uvijanja zupčanika z_1 .

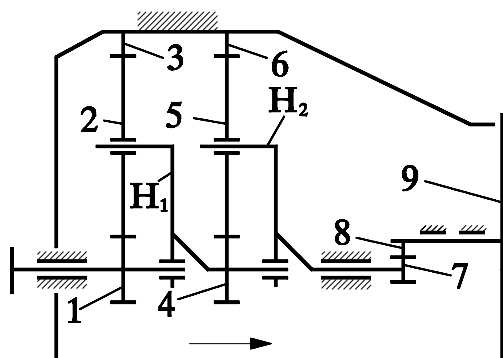
Deformacije zubaca zupčanika i ugao uvijanja prikazani su na slici 2.



Prema (2) torziona krutost je:

$$c = \frac{T}{3\psi_1} = \frac{c \cdot r_1^2}{\cos \alpha} \quad (3)$$

$$c' = \frac{3 \frac{2T}{3r_1} r_{H1}}{\frac{r_4 \psi_4}{\cos \alpha}} = \frac{2Tr_{H1} \cos \alpha}{\psi_4 r_1 r_4^2} \quad (4)$$



Sl. 3 – Šema planetarnog prenosnika

Na osnovu (3) torziona krutost zuba-
ca prvog i drugog zupčanika (sl. 3) iznosi:

$$c_{z_{1-2}} = c_{z_{2-3}} = \frac{600 \cdot 10^6 \cdot 0,022^2}{0,939} = 0,3093 \cdot 10^6 \text{ N/rad.}$$

Krutost zuba-
ca zupčanika nosača sa-
telita, prvog stepena prenosa, i zupčanika
z₅ može se dobiti iz sledećeg odnosa:

pri čemu je:

$$M_{H_1} = \frac{2Tr_{H_1}}{r_1} \quad \text{moment uvijanja zupča-}$$

nika z₄.

Na osnovu prethodne jednačine tor-
ziona krutost zuba-
ca zupčanika u sprezi
z₄ i z₅ je:

$$c_{H_1-z_5} = c_{z_{4-5}} = \frac{c' \cdot b_4 \cdot 10^6 r_4^2}{\cos \alpha} = \frac{15 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 0,026^2}{0,939} = 0,6479 \cdot 10^6 \text{ Nm/rad.}$$

Krutost zuba-
ca zupčanika z₅ i z₆ u
sprezi jednaka je prethodnoj krutosti, tj.:

$$c_{z_{5-6}} = c_{z_{4-5}} = 0,6479 \cdot 10^6 \text{ Nm/rad.}$$

Krutost zuba-
ca zupčanika nosača
satelita u drugom stepenu prenosa može
se dobiti iz odnosa:

$$c = \frac{F_{H_2} \gamma}{w} \frac{2 \frac{2Tr_{H_1}}{r_1 r_4} r_{H_2}}{\frac{r_7}{r_7} \gamma} \cos \frac{4Tr_{H_1} r_{H_2}}{r_1 r_4} \frac{1}{\gamma} \frac{\cos}{r_7^2} c_{z_7 8} \frac{\cos}{r_7^2} \quad (5)$$

odakle je torziona krutost:

$$c_{z_7 8} = c_{H_2 8} \frac{c r_7^2}{\cos} \frac{15 \ 65 \ 10^6 \ 0,047^2}{0,939} = 2,2937 \ 10^6 \text{ Nm/rad.}$$

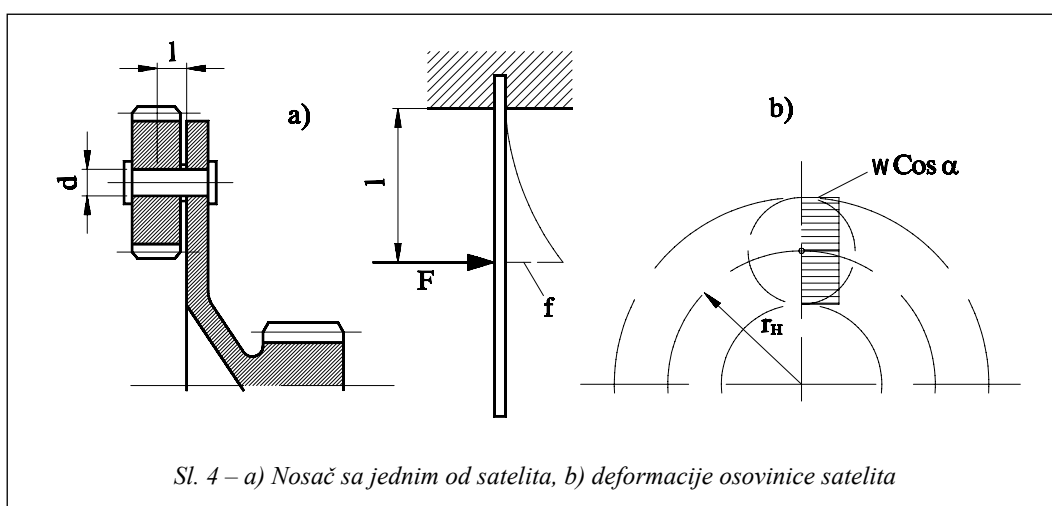
Krutost nosača satelita

Nosač satelita, kao jedan od najodgovornijih elemenata planetarnog prenosa, po svojoj konstrukciji uslovljen je tipom prenosa, veličinom snage, načinom izrade, vrstom materijala i dr. Prema načinu izrade nosači satelita mogu biti liveni, kovani i rezani. Osim toga, mogu biti prekidne strukture, odnosno izrađeni zavarivanjem, sa zavrtnjima, presovanjem i dr.

Po načinu ostvarivanja veza sa centralnim vratilima, nosači satelita mogu biti iz jednog dela sa vratilom ili vezani nekim od načina spajanja, čvrstom razdvojitom vezom za izlazno ili ulazno vrtilo. Česti su slučajevi da se nosač satelita spaja radi uravnoteženja sila i dobijanja tzv. plivajućih centralnih vrtila, specijalnim ožlebljenim spojevima.

Prema načinu postavljanja satelita na osovine mogu biti konzolni (nosači satelita sa jednom čeonom pločom, bez pregrada), ili da se sateliti smestaju između čeonih kružnih ploča (kod nosača satelita sa dve kružne ploče spojene pregradama, različitog poprečnog preseka).

Razmatrani planetarni prenosnik u prvom stepenu prenosa ima nosač satelita neprekidne strukture sa tri satelita koji su postavljeni konzolno. U drugom stepenu prenosa, nosač satelita je neprekidne strukture sa dve kružne ploče spojene pregradama i tri satelita koji su postavljeni na osovinice između pregrada. Nosač satelita u drugom stepenu prenosa je iz jednog dela sa izlaznim vratilom koje je zupčastim parom povezano sa izlaznom priрубnicom.



Kako su sateliti prvog stepena prenosa postavljeni konzolno (sl. 4) na osovinice kružnog poprečnog preseka, može se uzeti da je ugić na polovini dužine konzole određen izrazom:

$$f = \frac{Fl^3}{3EI} \quad (6)$$

Krutost se može izraziti kao odnos sile i deformacije:

$$\frac{F}{f} = \frac{3EI}{l^3} \text{ N/m}$$

Međutim, kako je za proračun potrebna torziona krutost, tj. krutost izražena u Nm/rad, prethodna jednakost će se pogodno transformisati zamenom sile i ugiba odgovarajućim izrazima, pa će biti:

$$\frac{2 \frac{T}{3r_1}}{r_{H_1} \psi} = \frac{3EI}{l^3}, \text{ odnosno } \frac{2T}{\psi r_{H_1} r_{H_1}} = \frac{3EI}{l^3}$$

odakle se može izraziti torziona krutost kao:

$$c_{ns} = \frac{M_{H_1}}{\psi} = \frac{3EI r_{H_1}^2}{l^3} \quad (7)$$

pri čemu su:

$$M_{H_1} = \frac{2T}{3r_1} r_{H_1} \quad \text{moment uvijanja nosača}$$

satelita konzole,

l – rastojanje na kojem deluje rezultantna obodnih sila,

$$I = \frac{d^4 \pi}{64} \quad \text{moment inercije preseka oso-$$

vinice satelita prvog stepena prenosa.

Torziona krutost nosača satelita, odnosno osovinice nosača satelita prvog stepena prenosa konkretnog planetarnog prenosnika je (7):

$$c_{ns} = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,36 \cdot 10^8 \cdot 0,075^2}{0,022^3} = 2,4494 \cdot 10^7 \text{ Nm/rad.}$$

Krutost veza prenosnika po segmentima

Krutost veza zupčanika z_1 i z_3 sa nosačem satelita kojim se ostvaruje ova veza može se izraziti kao zbir recipročnih vrednosti $c_{z_{1-2}}$ i krutosti nosača satelita c_{ns} i iznosi:

$$\frac{1}{c_{z_{1-3}}} = \frac{1}{c_{z_{1-2}}} + \frac{1}{c_{z_{2-3}}} + \frac{1}{c_{ns}} \quad (8)$$

Ako se u gornji izraz ubace podaci za konkretan primer prenosnika dobiće se:

$$\frac{1}{c_{z_{1-3}}} = \frac{1}{0,3093 \cdot 10^6} + \frac{1}{0,3093 \cdot 10^6} + \frac{1}{2,4494 \cdot 10^7}$$

odakle proizilazi da je krutost $c_{z_{1-3}} = 0,1537 \cdot 10^6 \text{ Nm/rad.}$

U prvom stepenu prenosa postoje tri ovakve krutosti koje su u rednoj vezi, pa je ukupna krutost prvog stepena prenosa:

$$\frac{1}{c_{z_{1-3}}} = \frac{1}{c_I} = \frac{1}{c_{z_{1-3}}} + \frac{1}{c_{z_{1-3}}} + \frac{1}{c_{z_{1-3}}} \quad (9)$$

odakle je $c_I = c_{z_{1-3}} = 5,1221 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad.}$

Analogno vezama krutosti prvog stepena prenosa mogu se izraziti krutosti veza zupčanika z_4 do z_6 , s tom razlikom što u drugom stepenu prenosa sateliti nisu konzolno postavljeni na nosaču satelita, pa krutost nosača satelita pripada ukupnoj krutosti vratila drugog stepena prenosa. Dakle, važe relacije:

$$\frac{1}{c'_{z_{4-6}}} = \frac{1}{c_{z_{4-5}}} + \frac{1}{c_{z_{5-6}}};$$

$$\frac{1}{c_{z_{4-6}}} = \frac{1}{c'_{z_{4-6}}} + \frac{1}{c'_{z_{4-6}}} + \frac{1}{c'_{z_{4-6}}} \quad (10)$$

Uvrštavanjem konkretnih podataka posmatranog prenosnika dobiće se krutost:

$$c_{z_{4-6}} = 1,0799 \cdot 10^5 \text{ Nm/rad}$$

Krutost vratila sa nosačem satelita drugog stepena prenosa je:

$$c_V = \frac{GI_{0V}}{l_V} \quad (11)$$

pri čemu su:

G moduli klizanja materijala vratila, $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$,

I_{0V} polarni otporni moment poprečnog preseka vratila, $I_{0V} = 7,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$,

l_V dužina vratila sa nosačem satelita, $l_V = 0,272 \text{ m}$.

Ukupna krutost veza zupčanika z_4 i z_5 sa vratilom i zupčanicima z_7 i z_8 , tj. krutost drugog stepena prenosa je:

$$\frac{1}{c_{z_{4-8}}} = \frac{1}{c_{II}} = \frac{1}{c_{z_{4-6}}} + \frac{1}{c_V} + \frac{1}{c_{z_{7-8}}} \quad (12)$$

odakle je za konkretan prenosnik $c_{II} = c_{z_{4-8}} = 9,8617 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad}$.

Krutost veza prenosnika u oba stepena prenosa je:

$$\frac{1}{c_2} = \frac{1}{c_I} + \frac{1}{c_{II}} \quad (13)$$

što za posmatrani prenosnik iznosi:

$$c_2 = 3,3711 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad}$$

Eksperimentalno određivanje krutosti planetarnog prenosnika

Eksperimentalno ispitivanje konstrukcija, kao dopunska mogućnost dolaženja do pouzdanih podataka o nekom od stanja sistema ili delova sistema, otvara prostor i za određivanje krutosti konstrukcije planetarnog prenosnika.

Eksperimentalna analiza obavlja se pomoću ekstenzometrijske metode čija je primena omogućena pogodnim postavljanjem planetarnog prenosnika i delova opreme koji omogućavaju merenje na probnom stolu. Jedna grupa ekstenzometrijskih metoda odnosi se na elektrooptične merne trake kojima se mere dilatacije u nekoj tački za neki odabrani pravac. Metoda se zasniva na korišćenju analogije sa električnim otporom. Deformacija merne trake izaziva promenu električnog otpora u njoj, što se može registrovati mernim instrumentom. Merne trake se, najčešće, koriste za merenje napona i deformacija, ali i za pretvaranje određenih mehaničkih veličina u električni signal, konstruisanjem odgovarajućih pretvarača. Ovi se pretvarači zatim ugrađuju u razne merne uređaje, kao što su dinamometri, dinamometrijski prste-

novi za merenje sile i sl. S obzirom na to da merne trake omogućuju merenje dilatacije materijala, navedeni princip realizuje se tako što se pojedine veličine (sila, moment, pritisak, pomeranje i sl.) transformišu u deformaciju posebno oblikovanog mernog tela (slika 6).

Osnovna karakteristika svakog mernog tela, kao elastične strukture, sastoji se u tome da deo strukture na kojem se lepe merne trake mora imati linearnu karakteristiku, a merne trake se postavljaju u pravcu glavnih napona. Najkritičniji element pretvarača sa mehaničkog aspekta je opružni element telo pretvarača, koje služi za pretvaranje opterećenja (sile) u uniformno naponsko polje gde se lepi traka. Oblik tela pretvarača može biti koncipiran tako da opterećenje koje se meri izaziva naprezanje na savijanje, smicanje ili normalno naprezanje.

Merni most

Merenjem relativne promene otpora merne trake $\frac{\Delta R}{R}$, može se doći do podataka o veličini dilatacije u nekoj tački korišćenjem relacije:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon \quad (14)$$

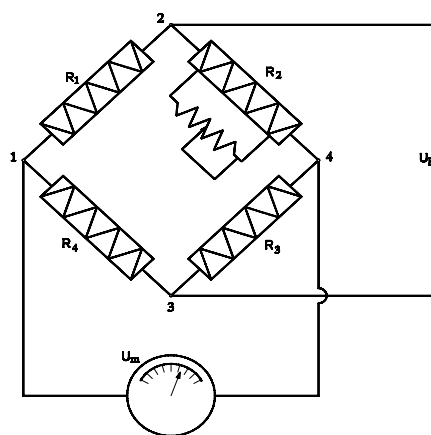
pri čemu su:

$\frac{\Delta R}{R}$ specifična promena otpora,

K faktor proporcionalnosti – karakteristika svake merne trake, i

dilatacija D.

Kako su dilatacije reda veličine 10^{-3} D, to je promena električnog otpora reda $K = 2 \cdot 10^{-3}$. Ovako male veličine mogu se uspešno meriti pomoću pojačivača sa instrumentom koji se naziva „merni most“. Merenje otpora na ovaj način zasniiva se na dva Kirchoffova pravila grananja struje. Osnovno kolo ovog mosta prikazano je na slici 5.



Sl. 5 – Šema mernog mosta

Za most kod koga je $I_G = 0$ kaže se da je u ravnoteži. U tom slučaju mora biti zadovoljen uslov da je:

$$R_2 R_4 - R_1 R_3 = 0, \text{ odnosno:}$$

$$R_1 = R_4 \frac{R_2}{R_3} \quad (15)$$

Ova relacija kazuje da se bilo kakva promena otpora na jednoj strani mosta može uravnotežiti podešavanjem vrednosti otpora na drugoj strani mosta. Svako izbacivanje mosta iz ravnoteže biće registrovano na mernom instrumentu.

Izlazni napon otvorenog kola izračunava se na osnovu izraza:

$$U_m = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \frac{R_1}{R_1 + R_4} U_E \quad (16)$$

Iz jednačine 15 vidi se da napon dijagonala mosta zavisi od otpora u granama mosta, tj. u zavisnosti od toga koliko je mernih traka aktivno. Konfiguracije mosta mogu biti četvrtmost, polumost i puni most.

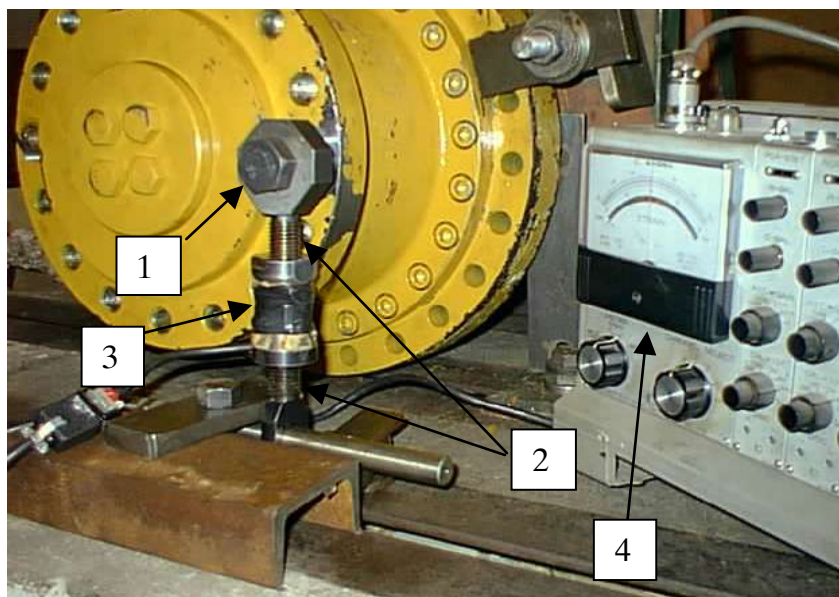
Određivanje krutosti prenosnika

Krutost planetarnog prenosnika određuje se, posredno, na osnovu izmerene veličine sile kojom se opterećuje prenosnik. Opterećivanje prenosnika, kao i merenje sile, omogućeno je dodavanjem sklopa pogodno ukomponovanih elemenata za opterećivanje silom, kao i njeno merenje, što je prikazano na slici 6. Dodati sklop sastoji se od: zavrtnja 1, zavr-

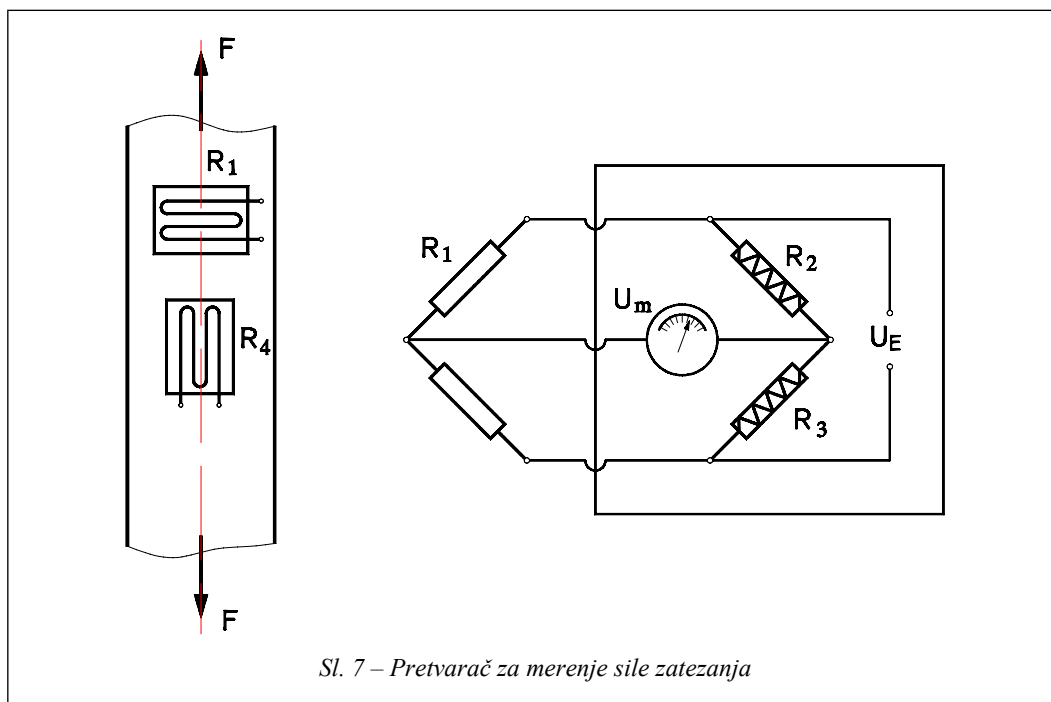
tanja 2, navrtke sa mernim mostom 3 i galvanometra 4. Zavrtnj 1 spojen je sa izlaznom prirubnicom prenosnika preko jednog od otvora, sa unutrašnjim navojem, na obodu prirubnice.

Zavrtnji 2 imaju posebno oblikovane glave, pojedinačno pričvršćene za postolje i zavrtnj na prirubnici 1 i različite navoje, tj. jedan zavrtnj levi, a drugi desni. Okretanjem navrtke 3 sklop će delovati kao zatezač pošto je postavljen tangencijalno na prečnik prirubnice na kojem se nalaze otvori. Sila se meri dinamometrom sa polumostnom konfiguracijom mernog mosta, tj. u most su uključene dve aktivne trake, kao što je prikazano na slici 7.

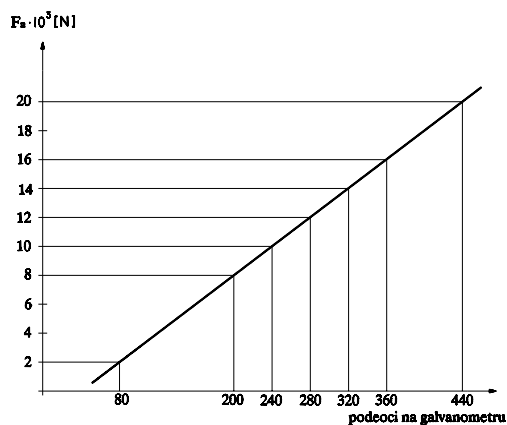
Kućiste prenosnika, kao i njegovo ulazno vratilo, pre merenja se dobro učvrste. Okretanjem navrtke 3 zatezača ostvaruje se određena sila istezanja koja se pomoću skale na galvanometru i ka-



Sl. 6 – Planetarni prenosnik sa dodacima za opterećivanje i merenje sile



rakteristike dinamometra prevodi u silu izraženu u jedinicama sile. Karakteristika dinamometra prikazana je na slici 8.



Jedan pun obrtaj navrtke 3 zatezača odgovara pomeraju od dva koraka, tj. 2P. Za zavrtanj M20 korak je: P = 2 mm.

Okretanjem navrtke 3 zatezača lučni pomeraj prirubnice po prečniku na kojem se nalaze otvori približno je jednak pomeraju po tangenti na taj krug. Za četvrtinu obrtaja lučni pomeraj i sila su:

$$\frac{2P}{4} \quad 1,0 \text{ mm}; \quad F = 2000 \text{ N} \quad (\text{odgovara } 80 \text{ podeoka skale}). \quad (17)$$

Ugao i moment uvijanja su:

$$\frac{\varphi}{r} \quad 0,00806 \text{ rad}; \quad T = F \cdot r = 248 \text{ Nm} \quad (18)$$

Odnos momenta uvijanja T i ugla uvijanja φ predstavlja krutost prenosnika i ona iznosi:

$$c_2 = \frac{T}{\varphi} = 3,077 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad} \quad (19)$$

Zaključak

Na osnovu analitički i eksperimentalno dobijenih rezultata može se zaključiti:

– u kontaktnu krutost su, pri analitičkom određivanju, uključeni momenti inercije koji se za složene oblike (delovi planetarnog prenosnika) određuju sa priličnom aproksimacijom;

– učvršćivanje prenosnika i zatezača na probnom stolu izvedeno je sa više delova nego što bi bilo optimalno, tako da su sve krutosti spojeva, koje su u rednoj vezi, uticale na smanjenje ukupne krutosti;

– rezultati dobijeni eksperimentom ($c_2 = 3,077 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad}$) razlikuju se od onih dobijenih analitičkim postupkom

($c_2 = 3,3711 \cdot 10^4 \text{ Nm/rad}$), ali, s obzirom na navedene uticaje, razlika u rezultatu je takva da se ove vrednosti mogu koristiti kao orijentacione krutosti planetarnog prenosnika u dinamičkim jednačinama ravnoteže.

Literatura:

- [1] Brčić, V., Čukić, R.: Eksperimentalne metode u projektovanju konstrukcija, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [2] Colbourne, J. R.: The geometric design of internal gear pairs, AGMA Technical Paper, 87 FTM2, 1987.
- [3] Kahraman, A.: Planetary gear train dynamics, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of Mechanical Design, Vol. 116, pp. 713–720, 1994.
- [4] Kasuba, R., and August, R.: Gear Mesh Stiffness and Load Sharing in Planetary Gearing, Fourth ASME International Power Transmission Conference, ASME Paper 84-DET-229, Cambridge, MA, Oct. 10-12, 1984.
- [5] Muller H. W.: Epicyclic Drive Trains, Wayne State University Press, Detroit, 1982.

Dragan Pamučar,
poručnik, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

PRIMENA SWOT ANALIZE NA SISTEM INTEGRALNOG TRANSPORTA VOJSKE SRBIJE

UDC: 355.415.2/.3 (497.11)

Rezime:

U radu je prikazana primena SWOT analize na sistem integralnog transporta Vojske Srbije. Kao rezultat analize predstavljeni su ciljevi daljeg usavršavanja integralnog transporta, kao i mogući problemi generisani strateškim upravljanjem.

Ključne reči: integralni transport, SWOT analiza.

SWOT ANALYSIS OF THE INTERMODAL TRANSPORTATION SYSTEM IN THE ARMY OF SERBIA

Summary:

This work presents the SWOT analysis application to the intermodal transportation system in the Army of Serbia. The analysis resulted in defining goals for the future development of intermodal transportation, as well as possible problems generated by strategic management.

Key words: intermodal transportation, SWOT analysis.

Uvod

Savremeni tržišni uslovi brzo uništavaju one koji nisu spremni ni sposobni da inoviraju ili, u najmanju ruku, da se adaptiraju. Otuda su se, u drugoj polovini XX veka, u menadžmentu preduzeća pojavili i vojni termini, kao što su strategija i taktika vođenja operacija preduzeća. U tu svrhu razvijene su savremene metode i tehnike strateškog menadžmenta, kao što su [1]: portfolio koncept, benčmarking, SWOT (TOWS) matrica, kriva iskustva, PIMS, metod scenarija, analiza jaza (gepa), matrica analize šansi i opasnosti i drugo. Sve one nalaze svoju primenu u raznim oblastima i organizacijama, pa i u vojnim. Međutim, u Vojski Srbije ni jedna od navedenih tehnika do sada nije dovoljno eksploatisana.

U skladu sa aktivnostima koje su usmerene na reformu sistema odbrane, u VS, a posebno u oblasti transporta, stvorene su mogućnosti i za primenu metoda iz oblasti strateškog menadžmenta.

Metoda strateškog menadžmenta koja je u dosadašnjoj primeni postigla najveći efekat je SWOT analiza. Naziv SWOT (TOWS) nastao je od početnih slova engleskih reči *Threats* (pretnje), *Opportunities* (šanse), *Weaknesses* (slabosti) i *Strenghts* (jačina). SWOT analiza je metoda koja u okviru preduzetih reformskih aktivnosti može da posluži kao pogodan alat za procenu onoga što u organizaciji treba eliminisati, delimično zadržati ili zadržati u potpunosti. Ova metoda je jednostavna i izuzetno primamljiva za istraživače.

Osnovna ideja SWOT analize jeste utvrđivanje internih snaga i slabosti, kao i eksternih pretnji i mogućnosti. Na taj način ostvaruje se kontinuiran napredak i razvoj, a samim tim i konkurentska prednost.

Osnovni cilj ovoga rada jeste da se postave smernice upotrebe SWOT analize u transportu VS, odnosno u njegovom delu integralnog transporta.

Pojam strateškog menadžmenta

Strateški menadžment (po nekim autorima: upravljanje) jeste proces pomoću kojeg menadžeri formulišu i primenjuju strategije, kojima će se omogućiti dostizanje strateških ciljeva na optimalan način u datim uslovima okruženja i samog preduzeća. U najširem smislu može se definisati kao svesno usmeravanje poslovnog sistema u skladu sa njegovim relevantnim okruženjem. To znači da je osnovni smisao strateškog menadžmenta obezbeđenje uspešnog funkcionisanja svakog preduzeća u promenljivim uslovima poslovanja. Naime, dinamičnost promena u okruženju prouzrokuje potrebu za adekvatnim prilagođavanjem preduzeća koja se bave transportom. Zato se potreba strateškog menadžmenta postavlja kao imperativ, imajući u vidu da se preduzeća koja se bave transportom uspešno prilagođavaju promenama u složenom dinamičkom okruženju, odnosno da se saobraćajni sistem u celini efikasno inkorporira u evropski i svetski saobraćajni sistem. S druge strane, izbor strategije razvoja predstavlja jedno od najznačajnijih i najsloženijih pitanja u poslovanju svakog preduzeća, za čije projektovanje je potrebno ne samo dobro poznavanje relevantnog okruženja, već i samog preduzeća.

Strateški menadžment može da se definiše kao [1]: proces usmeravanja aktivnosti preduzeća kojim se, na bazi anticipacije šansi i opasnosti, na jednoj strani, i jakih i slabih strana preduzeća, na drugoj, identifikuju kritični faktori poslovnog uspeha, te, shodno prethodno utvrđenoj strateškoj viziji, opredeljuje misija, razvojni ciljevi, kao i pravci, metodi i instrumenti njihove optimalne realizacije u dinamičkoj poslovnoj sredini.

Razvoj strateškog menadžmenta

Strateški menadžment nastao je kao rezultat spajanja najboljih ideja dva odvojena, paralelna, često međusobno isprepletana područja razmišljanja. Jedno su ideje i pogledi koji su razvijeni u okviru predmeta poslovne politike koja se izučava u poslovnim školama, a drugo je koncept dugoročnog poslovnog planiranja. Naime, dok poslovna politika uključuje principe i kriterijume za harmonično upravljanje resursima, funkcionalnim područjima i organizacionim delovima, dotle dugoročno planiranje obuhvata utvrđivanje ciljeva i strategija, odnosno odgovor na pitanja kao što su: gde je preduzeće sada, gde treba da bude i kako stići tamo? [1].

Strateški menadžment je stekao punu afirmaciju u poslovnoj praksi i literaturi i široko je prihvaćen kao nezaobilazan predmet u većini institucija koje se bave obrazovanjem savremenih menadžera.

Razvoj strateškog menadžmenta može se sagledati i kroz razvoj sistema poslovnog planiranja, s tim da se obično navode četiri sledeće faze [1]:

– *Prva faza* je bazično finansijsko planiranje koje je karakteristično za mala i novoformirana preduzeća. Težište je na

pripremi i ostvarenju godišnjeg budžeta, pa planiranje služi kao osnova operativne kontrole poslovanja. Otuda se radi o kratkoročnom (tekućem i operativnom) planiranju i fokusu na funkcionalnim područjima gde, obično, nije zastupljeno predviđanje već se koriste analize i standardi iz proteklog perioda.

– *Drugu fazu* karakteriše ozbiljnije uvažavanje predviđanja kao pretpostavke planiranju. Naime, rast i razvoj preduzeća zahtevaju širi prostorni i duži vremenski horizont za osmišljavanje njegovog poslovanja, te se poseže za analizama okruženja i dugoročnijim prognozama. Međutim, ovde se još uvek radi o pasivnom odnosu prema sredini, u smislu da se u okviru prognoziranog toka događaja u sredini vrši statička alokacija resursa bez pretenzija da se tok događaja preusmeri.

– *Treća faza* je eksterno orijentisano planiranje, koje je karakteristično za zrelija i, po širini programa, složenija preduzeća koja su spoznala prirodu tržišnog ambijenta, te uvažavaju marketing koncept u orijentaciji i realizaciji svoga poslovanja. Dinamičnost marketing sredine i umnožavanje alternativa za reagovanje preduzeća afirmišu strateško razmišljanje, pa se za identifikovanje i izbor strategije ponašanja preduzeća zahteva temeljnija analiza i predviđanje domaćeg i međunarodnog tržišta, uključujući i analizu konkurencije. U ovoj fazi karakteristična je dinamička alokacija resursa.

Konačno, poslednju *četvrtu fazu* obeležava dominacija strateškog menadžmenta i pretenzija da se kroz razvijeni sistem predviđanja i, na njemu zasnovan sistem strateškog planiranja, utiče na događaje u sredini.

Opšti model strateškog menadžmenta

Cilj strateškog menadžmenta jeste traženje odgovora preduzeća na promene do kojih dolazi u okruženju u kojem ono posluje. S druge strane, strateški menadžment treba da ukaže na konkurentске prednosti i nedostatke preduzeća i njegove delatnosti. To znači da treba da identifikuje postojeće i buduće probleme preduzeća i predvidi odgovarajuće načine i akcije za njihovo rešavanje pomoću raspoloživih resursa (kadrovskih, materijalnih, finansijskih i informacionih) u postojećim i očekivanim uslovima poslovanja [1].

U literaturi je, uglavnom, prihvaćen opšti model strateškog menadžmenta koji se sa određenim modifikacijama može primeniti na saobraćajna preduzeća, kao i na saobraćaj kao sistem u celini. Ovaj model sadrži sledeće elemente [1]:

- snimak i analizu okruženja,
- formulisanje strategije,
- sprovođenje strategije,
- kontrolu sprovođenja strategije.

Da bi definisali strateške ciljeve i odgovarajuće strategije za njihovu realizaciju neophodno je izvršiti analizu okruženja u kome preduzeće posluje. Ova analiza obuhvata snimak i analizu najznačajnijih faktora koji izazivaju promene i značajno utiču na poslovanje i razvoj preduzeća i potencijala kojima preduzeće raspolaže.

Eksternu sredinu preduzeća čine svi elementi (pojedinci, organizacije, institucije) i faktori (ekonomski, politički, pravni, tehnološki, sociokulturni, ekološki i sl.) koji imaju stvarni ili potencijalni uticaj na rezultate poslovanja preduzeća.

Analiza eksterne sredine ima za rezultat identifikovanje mogućnosti i opasnosti. Opstanak preduzeća (po modelu prirodne selekcije) zavisi od usklađenosti strukturnih karakteristika preduzeća i karakteristika sredine. Sredina omogućava opstanak samo onim preduzećima koja se uspešno prilagođavaju promenama.

Potreba da se ostvari profit može biti u konfliktu sa željom društva za odgovornim ponašanjem. Zbog toga država, radeći u interesu društva kao celine, donosi i sprovodi zakone koji regulišu ponašanje preduzeća (štite se potrošači, konkurencija, životna sredina, itd.). Pored ekonomske odgovornosti (biti rentabilan), pravne odgovornosti (uvažavati zakon) i etičke odgovornosti (obaveza da se radi ono što je opravdano i fer, izbegavati štetu) od preduzeća se očekuje i filantropska odgovornost (da preduzeće bude dobar građanin, da svojim sredstvima doprinosi poboljšanju kvaliteta života).

Projektovanje strategije razvoja preduzeća predstavlja izuzetno složen i kompleksan zadatak. Strategija obuhvata projektovanje dugoročnih planova preduzeća za efikasno upravljanje poslovanjem i razvojem. Strategiju čine sledeće faze [2]:

- definisanje misije,
- definisanje ciljeva,
- projektovanje strategije,
- postavljanje smernica za politiku.

Misija predstavlja svrhu poslovanja i filozofiju preduzeća. To znači da se misijom određuje identitet preduzeća definisanjem njegove svrhe i filozofije, pri čemu se razlikuje od drugih, odnosno definiše se sadašnja i buduća delatnost preduzeća. U tom smislu ona treba da bude tako definisana da omogućava opti-

malno projektovanje ciljeva koje preduzeće treba da postigne.

Kao kriterijum za formulisanje misije mogu se koristiti:

- osnovna definicija transportne usluge;
- definisanje korisnika transportnih usluga, kao transportnog tržišta;
- filozofija transportnih preduzeća;
- odgovornost prema društvu;
- javni imidž preduzeća i dr.

Pri definisanju misije moraju se uzeti u obzir istorija preduzeća, njegove jake i slabe strane, šanse i ograničenja, kao i raspolaganje materijalnim, finansijskim i informacionim resursima. Misija saobraćajnog preduzeća može da bude: „da korisnicima obezbedi transportne usluge visokog kvaliteta sa konkurentnom cenom na domaćem i međunarodnom tržištu“ [3].

U poslednje vreme, kako u literaturi tako i u poslovnoj praksi, sve više se govori o viziji kao osnovnoj pretpostavci strateškog menadžmenta. Ona predstavlja dalekosežan pogled u budućnost i izraz nameravanih pravaca razvoja preduzeća. Osobine dobre vizije su [3]:

- zamisliva: prenosi sliku o tome kako će izgledati budućnost;
- privlačna: pogodna u odnosu na dugoročne interese zaposlenih čiji su interesi prisutni u preduzeću;
- moguća: sadrži realne, ostvarljive ciljeve;
- fokusirana: dovoljno jasna da usmeri donošenje odluka;
- fleksibilna: dovoljno opšta da dozvoli individualnu inicijativu i alternativne oblike reagovanja s obzirom na promenljive uslove;

– pogodna za komunikaciju: lako se prenosi drugima, može uspešno da se objasni u roku od 5 minuta.

Moguće vizije saobraćajnog preduzeća su [4]:

- da bude lider na tržištu transportnih usluga;
- da ostvaruje najveći kvalitet usluga u svojoj oblasti,
- da ostvaruje najbolje finansijske rezultate u svojoj oblasti;
- da bude najatraktivnije preduzeće za kadrove u svojoj oblasti;
- da sarađuje sa najboljim partnerima u realizaciji usluga.

Na osnovu definisanja misije potrebno je utvrditi dugoročne ciljeve preduzeća, definisanjem njihovog prioriteta. Strategija predstavlja osnovni plan kojim se definiše način na koji će preduzeće realizovati svoju misiju i ciljeve, odnosno na koji način će preduzeće angažovati materijalne, finansijske, kadrovske i informacione resurse.

Sprovođenje strategije predstavlja proces realizacije izabrane alternativne strategije koji se često naziva operativnom strategijom.

U praksi se strategija sprovodi pomoću ljudi koji se nalaze na različitim nivoima organizacije. Sprovođenje strategije organizacije i strategija poslovnih jedinica vezano je za operativni menadžment, odnosno za operativne strategije koje se odnose na pojedine poslovne funkcije (marketing strategija, proizvodna strategija, strategija kadrova, finansijska strategija). Posebno je značajno da se uspešno integrišu sve pojedine operativne strategije. Od posebnog je značaja privrženost, angažovanje i zainteresovanost

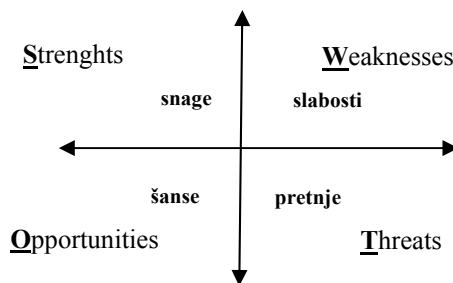
svih zaposlenih kao i sistem nagrađivanja. Kontrola sprovođenja strategije ima za cilj otklanjanje određenih nedostataka i usavršavanje primenjenog modela strategije [1].

Menadžeri zato treba da imaju posebne veštine da sagledaju i prevaziđu prepreke i da obezbede efikasno obavljanje zadataka. Oni stalno procenjuju kako se strategija sprovodi i da li se ostvaruju ciljevi organizacije.

Kontrola ciljeva može biti kvantitativna i kvalitativna. Dok kontrola ciljeva predstavlja indirektnu kontrolu strategije, u direktnoj kontroli strategije najviše se zagovaraju kvalitativni pristupi, koji se zasnivaju na vrednosnom prosuđivanju menadžmenta.

Teorijske postavke SWOT metode

Metoda SWOT treba da omogući sistematsku analizu pretnji i šansi, kao i njihovo usaglašavanje sa jakim i slabim stranama preduzeća, dok SWOT analiza predstavlja „alat“ za planiranje strategije kojim se sučeljavaju interne snage i slabosti organizacije sa eksternim šansama i pretnjama. Preduzeće bi trebalo da aktivira snage, prevaziđe slabosti, iskoristi šanse i odbrani se od pretnji (slika).



Dijagram SWOT analize 3]

Na strani eksternih faktora razlikuju se šanse i opasnosti, a u okviru internih mogućnosti utvrđuju se slabe i jake strane preduzeća. Primena SWOT metode u literaturi često se naziva i SWOT analiza, pa će takav pristup biti korišćen i u ovom radu.

Da bi se kompletirala SWOT analiza neophodno je zatražiti od nezavisne grupe individualaca da popune identičnu anketu, kako bi se videlo kako ostali gledaju na celokupno poslovanje preduzeća. Pri tome je veoma važno da se kategorije sortiraju po važnosti.

Poželjno je da SWOT analizu izvrše menadžeri organizacije koji je dobro poznaju, ali u saradnji sa spoljnim konsultantima (koji imaju specijalne analitičke veštine i nezavisno gledanje) zbog objektivnosti. Tipična SWOT analiza izrađuje se kao kvadrat od četiri polja u kojima se definiše svaki od ova četiri faktora. Time što se okruženje analizira kroz detaljan spisak povoljnih (šanse) i nepovoljnih (pretnje) faktora stimulira se istraživački napor i obezbeđuje realnost u definisanju strategija. Prema tome, sučeljavanjem eksternih (šanse i pretnje) i internih (slabosti i sposobnosti) faktora može se identifikovati nekoliko tipova mogućih strategija ponašanja preduzeća (tabela 1):

– *mini-mini strategija (WT)*, koja uključuje minimiziranje slabosti i pretnje. Primenjivaće je preduzeće kada se nađe u situaciji da mu je okruženje nepovoljno, a preduzeće ima niz internih slabosti. U takvoj situaciji ono je pred dilemom da li da se bori za spas ili da ide u likvidaciju. Moguće je, međutim, ići i na rešenje da se integriše sa drugim preduzećima ili da drastično smanji obim poslovanja, sa idejom da na taj način prebrodi slabosti i nadom da će se u skoroj

budućnosti smanjiti pretnje iz eksternog okruženja;

– *mini-maksi strategija (WO)*, koja podrazumeva minimiziranje slabosti i maksimiziranje šansi. Ova strategijska situacija nastaje kada preduzeće sa stanovišta stanja eksternih faktora ima dobre šanse, ali je opterećeno internim slabostima, pa nije u stanju da iskoristi povoljne izazove okruženja. Preduzeće može, putem razvoja kooperativnih odnosa sa drugim preduzećima koja imaju tehnološki know-how i sl., da minimizira slabosti;

– *maksi-mini strategija (ST)*, koja se odnosi na situaciju kada je preduzeće jako, ali je eksterno okruženje takvo da predstavlja pretnju obimu i vrsti dosadašnje delatnosti. Preduzeće traži načine da iskoristi svoje jake strane i minimizira pretnje. Ono mora biti oprezno da svoje jake strane ne usmeri na pogrešno područje. Moraju se ponekad činiti i određeni kompromisi i prilagođavanje okruženju, ne isključujući ni mogućnost preorijentacije delatnosti ili delovanja na okruženje u pravcu zaustavljanja procesa pogoršanja eksternih okruženja;

– *maksi-maksi strategija (SO)*, koja se odnosi na situaciju kada je preduzeće jako, ali je eksterno okruženje takvo da predstavlja pretnju obimu i vrsti dosadašnje delatnosti. Preduzeće traži načine da iskoristi svoje jake strane i minimizira pretnje. Preduzeće mora biti oprezno da svoje jake strane ne usmeri na pogrešno područje. Moraju se ponekad činiti i određeni kompromisi i prilagođavanje okruženju, ne isključujući ni mogućnost preorijentacije delatnosti ili delovanja na okruženje u pravcu zaustavljanja procesa pogoršanja eksternih okruženja [5].

Tabela 1
Utvrđivanje strategija SWOT analizom [3]

SPOLJAŠNJI FAKTORI	UNUTRAŠNJI FAKTORI	LISTA UNUTRAŠNJIH SNAGA 1. S 2. itd	LISTA UNUTRAŠNJIH SLABOSTI 1. W 2. itd
LISTA SPOLJAŠNJIH MOGUĆNOSTI 1. O 2. itd		Maxi-Maxi SO	Mini-Maxi WO
LISTA SPOLJAŠNJIH PRETNJI 1. T 2. itd		Maxi-Mini ST	Mini-Mini WT

Najveća opasnost posle vršenja SWOT analize jeste nepreduzimanje koraka koji bi promenili zatečene karakteristike i osobine. Mnogi izvrše analizu svog preduzeća, ali kasnije nisu u mogućnosti, ili nemaju sredstava, da bilo šta promene u svom poslovanju i poziciji na tržištu. Može se zaključiti da se SWOT analiza može definisati kao sveobuhvatan opis karakteristika i može da bude deo analitičkog odlučivanja.

Primena SWOT analize u sistemu integralnog transporta Vojske Srbije

Vojska Srbije, kao organizacija koja se finansira isključivo iz budžeta i kojoj je primarni cilj sprovođenje njenih misija, svrstava se u neprofitne organizacije. S obzirom na odsustvo tržišnog načina poslovanja, Vojsci i njenoj transportnoj podršci SWOT analiza i ostale savremene metode i tehnike strateškog menadžmenta gotovo su nepoznate, odnosno do sada nisu dovoljno primenjivane.

Savremeni svetski bezbednosni trendovi nameću potrebu za reformama vojnih organizacija, kao odgovor na globalne političke i ekonomske promene. Shodno tome, i Vojska mora prepoznati područja u kojima su radikalne promene

neophodne, ali i područja u kojima nisu potrebne ili su potrebne u neznatnoj meri. Spoznaja tih područja zahteva duži period konstantnog praćenja aktivnosti usmerenih ka unapređenju ljudskog potencijala i materijalno-tehničkih sredstava, radi stvaranja takve organizacije koja će u potpunosti i sa uspehom moći da odgovori na buduće izazove.

U skladu sa reformama koje se sprovode u okviru sistema odbrane stvorile su se mogućnosti za širu primenu savremenijih metoda iz raznih oblasti strateškog menadžmenta.

SWOT analiza samo je jedna od metoda koja u okviru preduzetih reformskih aktivnosti može da posluži kao pogodan instrument za procenu onoga što treba eliminisati, delimično zadržati ili zadržati u potpunosti. Brzi razvoj nauke, tehnike i tehnologije neminovno utiče na razvoj svih vidova transporta, promenu i usavršavanje strukture saobraćajnog sistema. Razna transportna sredstva i uređaji, zahvaljujući razvoju tehnike, danas mogu da služe različitim potrebama, ali se međusobno dopunjuju i delimično zamenjuju. Time se stvara njegova integralnost, odnosno jedinstveni proces transporta tereta, uvođenjem novih transportnih tehnika i tehnologija. Razna tehnološka rešenja integralnog transporta predstavljaju pravu revoluciju u ovoj oblasti.

Pod pojmom integralni transport podrazumeva se prevoz kompletnih tovarnih jedinica transportnim sredstvima različitih vidova transporta (transportnim sredstvima najmanje dva vida transporta) od pošiljaoca do primaoca tereta. Moderna tehnika i borbena sredstva velikih moguć-

nosti, koja su masovno zastupljena u opremi i naoružanju savremenih armija, unela su značajne promene u uslove ratovanja i metode vođenja borbenih dejstava.

Radi definisanja pravaca daljeg razvoja sistema integralnog transporta sprovedena je SWOT analiza uticaja, tj. šansi i pretnji okruženja na sistem integralnog transporta u Vojsci.

Pri određivanju slabih strana integralnog transporta neophodno je da se odgovori na sledeća pitanja:

Šta je potrebno poboljšati u sistemu integralnog transporta VS?

Šta je potrebno promeniti?

Šta treba da se uradi da bi se poboljšale performanse integralnog transporta?

Da bi se u potpunosti iskoristile šanse veoma je bitno da se poznaju trendovi u sektoru integralnog transporta.

Opasnosti okruženja za integralni transport predstavljaju ključ protiv kojeg treba da se usmere naponi održanja i daljeg razvoja integralnog transporta. Opasnosti okruženja mogu se ogledati u odlivu kvalitetnog kadra, nepostojanju strategije razvoja – nacionalne i regionalne, zakonske regulative, inflacije, nedostatku finansijskih sredstava ili visokoj ceni, itd.

Jake strane integralnog transporta u Vojsci mogu se naglasiti ako se odgovori na neka od sledećih pitanja:

Kako iskoristiti jake strane integralnog transporta za korišćenje šansi okruženja?

Kako iskoristiti jake strane integralnog transporta za odbranu od opasnosti okruženja?

Kako slabosti integralnog transporta mogu uticati na korišćenje šansi okruženja?

Kako slabosti integralnog transporta mogu da utiču na odbranu od opasnosti okruženja?

Šanse u okruženju mogu se kvalitetno sagledati odgovorom na neka od sledećih pitanja:

Gde su dobre prilike?

Na koje interesantne trendove treba obratiti pažnju?

Za pravilnu izradu SWOT analize veoma je bitno da menadžer bude realan. U nekim slučajevima je dobro da se stavi u poziciju kupca, ili trećeg lica, i odgovori na pitanje „Koje jače strane vašeg preduzeća vide vaši korisnici?“

Nakon analiziranja internih i eksternih faktora pristupa se formulaciji strategije razvoja integralnog transporta VS. Formulirane su dve strategije razvoja integralnog transporta:

– „maksi-maksi“, koja predstavlja najpovoljniji tip strategijske situacije. U takvim uslovima sistem integralnog transporta maksimalno koristi svoje prednosti i raspoložive šanse radi daljeg razvoja;

– „mini-mini“, koja uključuje minimiziranje slabosti i pretnji. Ova strategija je izabrana zbog nepovoljnih uslova okruženja za razvoj integralnog transporta (slaba ekonomska moć države, zastarela sredstva...), a i sam sistem integralnog transporta u VS obiluje nizom internih slabosti. U takvoj situaciji sistem integralnog transporta u VS može drastično da smanji obim svojih aktivnosti, sa idejom da na taj način prebrodi slabosti i nadom da će se u skoroj budućnosti smanjiti pretnje iz eksternog okruženja.

Tabela 2
Faktori „maksi-maksi“ strategije

Snaga (Strengths)	Šanse (Opportunities)
– mogućnost brze predisllokacije jedinica, – racionalizacija celokupnog sistema distribucije robe, – povećanje bezbednosti rada radnika pri manipulaciji teretima, – zaštita tovarnih jedinica od atmosferskih uticaja, – informativnost u pogledu količine i vrste robe u skladišnim objektima, – uspešan i brz manevar logističkih jedinica, – povećanje proizvodnosti rada transportnih sredstava, – povećanje broja obrta transportnih sredstava, – brzo manipulisanje i transport materijalno-tehničkih sredstava, – smanjenje vremena zadržavanja transportnih sredstava na utovarnim, istovarnim i pretovarnim radnim mestima.	– formiranje i rad centra za upravljanje transportom i integralnim transportom u Vojsci, – povećanje saradnje Vojske sa ministarstvom nadležnim za poslove u oblasti integralnog transporta, – modernizacija postojećih i uvođenje racionalnih integralnih sistema (sistem paleta i kontejnera), – kompatibilnost transportnog sistema Vojske Srbije sa transportnim sistemom u društvu, – standardizacija informacionih tehnologija u oblasti transporta, – izgradnja i adaptacija skladišta za primenu integralnog transporta, – povezanost skladišnih kompleksa sa ostalim vidovima transporta, – uvođenje i rukovođenje podsistema paletizacije u svim službama VS, – poboljšanje saradnje sa stranim armijama (NATO) po pitanju iskustava u integralnom transportu, – unapređenje sistema obuke rukovaoca sredstvima integralnog transporta, – operativna evidencija i uvođenje automatizovanog praćenja sredstava integralnog transporta (IT), – izrada tehničke dokumentacije za svako sredstvo IT-a (opis, rukovanje, održavanje...), – definisanje normativa za opremanje IT-a svim elementima kontejnerskog sistema, na osnovu tokova materijalnih sredstava, – obrazovanje stručnih kadrova i izučavanje savremenih transportnih tehnologija.

Tabela 3
Faktori „mini-mini“ strategije

Slabosti (Weaknesses)	Pretnje (Threats)
– nepostojanje strategije razvoja integralnog transporta na nivou Vojske, – nije definisano finansiranje sistema integralnog transporta, tj. finansiranje pojedinih segmenata planira se na različitim mestima, – nepravovremeno rešavanje organizacijsko-formacijskog pitanja (obuka rukovalaca sredstvima, lična i materijalna formacija), – nepostojanje akumulatorskih stanica u skladištima, neophodnih za popunu akumulatora sredstava za manipulaciju na električni pogon, – 15% skladišnih objekata je prilagođeno za rad sredstava IT-a – 85% skladišta u Vojsci ne zadovoljava uslove neophodne za rad sredstava za manipulaciju (maks. uspon i pad 3–7%), – neprilagođenost transportnih sredstava zahtevima IT-a produžava radnu operaciju, – nepovoljan stepen iskorišćenja tovarne i zapreminske nosivosti transportnih sredstava, – nepostojanje razmene iskustava – dobre prakse sa stranim armijama, – neprilagođenost prilaznih saobraćajnica terminalima za sredstva IT-a, – neusklađenost tehničko-konstruktivnih karakteristika transportnih sredstava različitih vidova saobraćaja za potrebe IT-a, – nepostojanje standardizacije u oblasti integralnog transporta Vojske, – zastarelost skladišnih objekata i infrastrukture (izgrađeni pre 30 godina), – neusklađenost skladišnih objekata i infrastrukture zahtevima savremenih tehnologija transporta.	– parcijalna rešenja, bez prethodnih istraživanja i usvajanja mogu da budu krupan tehnički i materijalni promašaj, – nedostatak investicionih ulaganja u dalji razvoj sistema IT-a, – veći zahtevi za zaštitu životne sredine, – smanjenje nivoa koordinacije po pitanju integralnog transporta između državnih organa, stručnih organizacija i institucija i Vojske, – smanjenje motivacije angažovanih stručnih lica usled višegodišnjeg napora a malih pomaka, – odlazak stručnog kadra iz oblasti integralnog transporta iz vojne organizacije.

Na osnovu sprovedene SWOT analize izvedeni su sledeći ciljevi, koje je neophodno sprovesti radi poboljšanja sistema integralnog transporta u Vojsci Srbije:

- standardizacija tovarnih jedinica i transportnih i pretovarnih sredstava i informatike u oblasti transporta;

- obezbeđenje kvalifikovanih rukovalaca sredstvima integralnog transporta u jedinicama i ustanovama. Stoga je potrebno da se u saradnji sa taktičkim i tehničkim nosiocima obezbede uslovi i mogućnost izvođenja obuke, ne samo rukovalaca skladišnom mehanizacijom već i upravnih organa;

- sredstva manipulacije i pakovanja u VS ne smeju se usvojiti bez saglasnosti saobraćajne službe zbog potrebe usaglašavanja. Izrazit problem predstavljaju sredstva pakovanja (osnovna i transportna) koja treba da odgovore zahtevima tehnologija integralnog transporta, a većina taktičkih nosilaca ih ne poznaje i stalno stvara terete, koji ne odgovaraju paletizaciji i kontejnerizaciji;

- propisivanje svih vrsta tipova i sredstava skladišne mehanizacije, određivanje perspektivnosti, definisanje sredstava i opreme koji treba da se vode po operativnoj evidenciji i uvođenje u automatizovano praćenje;

- regulisanje postupka sa sredstvima skladišne mehanizacije koja nisu na listi perspektivnih i odrediti kada im završava životni ciklus;

- izrada tehničke dokumentacije za svako sredstvo posebno (samo za perspektivna sredstva);

- sve tehničke radionice i tehničke remontne zavode osposobiti za izvršavanje radova lakog, srednjeg i generalnog

remonta na sredstvima integralnog transporta putem: obuke stručne radne snage kod proizvođača i servisera sredstava integralnog transporta, opremanja radionica alatima, opremom i uređajima za dijagnosticiranje, servisno održavanje i remont, kao i opremanja tehničkih radionica rezervnim delovima;

- izgradnju novih i adaptaciju postojećih skladišta obavljati po savremenoj metodologiji i taktičko-tehničkim zahtevima;

- pri uvođenju kontejnerskog sistema transporta neophodna su prethodna sistemska i druga programirana istraživanja i opitovanje, jer parcijalna rešenja mogu doneti velike tehničke i materijalne promašaje;

- neophodno je da se odredi mesto kontejnerskog podsistema u sistemu integralnog transporta, pouzdanost i razgraničenost sa podsistemom paleta i ostalim sistemima transporta, i da se, na osnovu toga i tokova materijalnih sredstava, definišu normativi za opremanje elementima kontejnerskog sistema;

- potrebno je da se predloži optimalno organizacijsko rešenje funkcionisanja kontejnerskog sistema u logističkoj podršci VS i zemlje u celini u jedinstvenom transportnom sistemu, sa alternativama vezanim za materijalna ulaganja i efekte.

Zaključak

Savremene organizacije su, prateći trendove razvoja, odavno inkorporirale metode i tehnike strateškog menadžmenta u svoje funkcionisanje. Metode i tehnike strateškog menadžmenta u VS gotovo su nepoznate, odnosno do sada nisu ili su retko primenjivane u njenoj organizaciji.

Aktuelni proces reforme sistema odbrane mora doneti promene i na tom planu. SWOT analiza i ostale metode strateškog menadžmenta u okviru tog procesa moraju da zauzmu mesto koje im pripada. Pri tome treba istaći da u primeni SWOT analize uopšte, pa samim tim i u saobraćajnoj podršci VS, treba biti obazriv, jer ova analiza je dijagnostičko sredstvo koje treba shvatiti kao pomoć (alat) menadžmentu. To nije uputstvo već okvir za postavljanje određenih pitanja strateškog karaktera pri sprovođenju situacione analize ili formulisanja strategije.

Saobraćajna služba VS ima potreban kadrovski potencijal, koji će vremenom, zahvaljujući iskustvu, znati kako da maksimalno iskoristi sve prednosti SWOT analize.

Putem interne SWOT analize sticalo bi se iskustvo i menjala svest zaposlenih. Neke od takvih analiza upravo su SWOT analiza u oblasti integralnog transporta VS. Takve i slične studije veoma su značajne za oporavak i transformaciju kompletnog odbrambenog sistema države.

Shodno tome, osnovni pravci delovanja u funkciji unapređenja poslovne prakse Vojske Srbije bili bi:

- široka i sveobuhvatna primena metoda strateškog menadžmenta u Vojsci, posebno u njenoj logističkoj podršci,

- stalno unapređenje znanja svih zaposlenih, posebno menadžera na nižim hijerarhijskim nivoima,

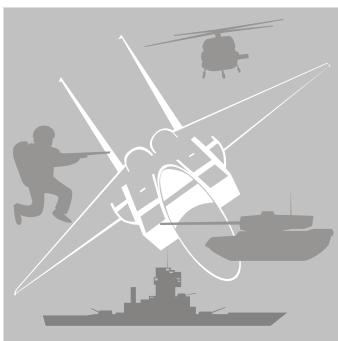
- promena načina ponašanja, primenom savremenih menadžment tehnika,

- prihvatanje tržišne logike poslovanja, u meri u kojoj je to moguće i opravdano...

Ne treba zanemariti činjenicu da implementacija bilo kakvih promena zavisi od spremnosti organizacije i zaposlenih za promene i prilagođavanje novom načinu rada, kao i to da samo zadovoljni radnici mogu ispuniti očekivanja korisnika i time doprineti unapređenju saobraćajne usluge. Upravo zbog toga SWOT analizu i treba shvatiti samo kao pomoć (alat) menadžmentu. Najvažnija stvar koju menadžment može učiniti jeste da kod radnika probudi svest da su u stanju da urade stvari koje nisu ni znali da mogu da urade, odnosno da ih pokrenu na rad punim kapacitetom.

Literatura:

- 1] Milisavljević, M.: Osnovi strateškog menadžmenta, drugo izdanje, Poslovna škola Megatrend, Beograd, 1999.
- 2] Milićević, V.: Stratejsko poslovno planiranje – menadžment pristup, FON, Beograd, 1998.
- 3] Vešović, V.: Menadžment u saobraćaju, peto dopunjeno izdanje, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2003.
- 4] www.cimisys.com.
- 5] Jovanović, P.: Menadžment – teorija i praksa, drugo izdanje, Grafoslog, Beograd, 1996.



savremeno naoružanje i vojna oprema

RAZVOJ I MOGUĆNOSTI SREDSTAVA PVO KRATKOG DOMETA*

Nedavna borbeno iskustva u Iraku i Avganistanu opet su pokazala da su vazduhoplovi ranjivi i na relativno nesofisticiranu vatra sa zemlje. Činjenica je da su u proteklih pet godina rušene letelice svih vrsta – avioni, helikopteri, transportni i jurišni avioni, bespilotne letelice, i to vođenim, i nevođenim sredstvima PVO kratkog dometa. Iako su neka od tih sredstava korišćena i pre 40 godina, spektar tih sredstava, relativno jeftinih, a povelikih mogućnosti, i dalje se masovno koristi i razvija i prava su pretnja za vazduhoplove.

Ogromna količina sredstava PVO kratkog dometa nalazi se na upotrebi širom sveta i konstantno se razvijaju, uvažavajući sadašnje i buduće opasnosti. Ona obuhvataju asortiman od raketa koje se lansiraju s ramena, preko sistema sa postoljem ili ugrađenih na vozilo, do vučenih ili avioprenosnih samohodnih PA topova, te kombinacije topovskih i raketnih sistema.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2007.



Kineski sistem PVO kratkog dometa Yitan na šasiji vozila WZ-551

Prenosni sistemi

Od svih prenosnih sistema PVO, na tržištu se najčešće nalaze i koriste ruske vođene rakete. U prvu generaciju spadaju varijante IC vođenih raketa Strela-2/Strela-2M (NATO oznaka SA-7 „Grail“), koje se u najvećem broju nalaze u Aziji i Srednjem istoku. U početku su gađani samo odlazeći ciljevi, ali je kasnije njihovo navođenje poboljšano za sve mogućnosti. Relativno jednostavna konstrukcija i laka upotreba rakete obezbedili su da se ove rakete proizvode po licenci ili kopiraju u

mnogim zemljama. Zatim je usledio razvoj rakete Strela-3 (SA-14 „Gremlin“), Igla (SA-18 „Grouse“) i Igla-1 (SA-16, „Gimlet“), koje su sve proizvedene u velikim količinama, mada se ruski izvoz uglavnom koncentriše na varijantu „Igla“.



Samohodni sistem PVO Gepard s dvostrukim topom kalibra 35 mm

Raketa Igla se sada može integrisati u komandni sistem C2 i na lansere sa dva projektila na postolju, sa mogućnošću gađanja plotunom koji povećava verovatnoću pogađanja za 1,5 puta.

Kina ima dugo nasleđe proizvodnje ruskih raketa, a i sama je proizvela niz sopstvenih prenosnih raketnih sistema. Prvi takav kineski sistem bio je iz serije Hong Nu-5, koji je, u suštini, poboljšana verzija Strele-2. Izvezena je u mnoge zemlje, mada je sada proizvodnja završena. Noviji kineski sistemi su FN-6, Qian Wei-1 (Vanguard), Qian Wei-11 i Qian Wei-18, koji se nude sa opcijom noćnog nišana i sistemom za identifikaciju svojih i neprijateljevih ciljeva.

Poljska, međutim, proizvodi i uvodi od 1992. godine svoju familiju prenosnih raketa Grom sa najnovijom verzijom Grom 2. Ona ima veću, mnogo ubojitiju

bojnu glavu, raketu s manjom sekcijom za gorivo i ugrađen sistem za identifikaciju cilja. Osim čisto prenosne varijante, ove rakete se ugrađuju i na ruski dvocevni PA top 23 mm ZU-23-2, na lansere sa četiri sistema Grom, pa i na mornaričke varijante.

Rumunija je proizvela po licenci razne ruske rakete, uključujući CA-94M na bazi ruske Strele-2M, koju su i izvozili.

Jedna od zemalja koje odskora proizvode ova sredstva je Iran. Njihov sistem Misagh-1 veoma je sličan kineskim sistemima, posebno QW-1 i, naravno, izvozi se i „koristi“ na Srednjem istoku.



Poljski samohodni sistem PVO Loara-G s dvostrukim topom 35 mm na bazi tenka T-72

Slično kao ruska Igla, standardna prenosna raketa PVO u SAD i Evropi je Stinger, koja je u operativnoj upotrebi još od 1981. godine. Pod oznakom Stinger RMP (Reprogrammable MicroProcessor) proizvodi se po licenci za potrebe Nemačke, Grčke, Holandije i Turske. Najnoviji standard „opali i zaboravi“ FIM-92B/C, ima poboljšani IC/UV tragač i efikasan domet preko 5000 m, dok Stinger RMP Blok 1 ima bolju proporcional-

nu navigaciju. Stinger je moguć i u verziji s lanserom za dva projektila, u brojnim verzijama za ugradnju na vozila, uključujući i ona s kupolama za četiri rakete, kao i u verzijama prilagođenim za helikoptere za dejstvo vazduh-vazduh.



Ruski hibridni sistem PVO 2S6M Tunguska

Japanska kompanija Tošiba razvila je sopstveni prenosni sistem PVO Tip 91, kao nastavak u razvoju Stingera, koji se, takođe, može ugraditi na vozila. Raketa ima dvokanalnu (IC i dnevna svetlost) fokalnu ravan koja koristi sliku visoke rezolucije za zahvat cilja pre lansiranja i posle pravi razliku između cilja i bilo kojih drugih mamaca, što je čini veoma otpornom na kontraometanje.

Švedska kompanija Saab Bofors Dynamics, radi nadvlađivanja mogućeg protivdejstva, razvijala je sisteme RBS-70 koji su vođeni laserskim snopom. Uz to, današnji sistemi RBS-70 imaju i termonišanski sistem i novu raketu Bolid sa mnogo većim mogućnostima. Ona ima trorežimski blizinski upaljač za uništenje raznih ciljeva, što pruža veće mogućnosti protiv malih, brzih ciljeva kao što su krstareće rakete, detonacije u blizini aviona i helikoptera, ili direktan udar u cilj. Sistem poseduje i digitalni sistem za identifikaciju cilja. Originalni

i poboljšani sistem može da se koristi samostalno ili sa novim radarskim sistemom Saab Giraffe.

Britanska armija je posle sistema PVO Startburst/Javelin uvela novi Thalesov raketni sistem velike brzine, poznat pod komercijalnim nazivom Starstreak. Za razliku od njihovih prethodnika, svaki sistem Starstreak ima neuobičajenu konfiguraciju koja sadrži tri laserski vođene podmunicije tipa strele, koje mogu uništiti različite ciljeve na maksimalnoj udaljenosti od 7 km, krećući se brzinom od 3,5 Maha. I za RBS-70 i Starstreak operator mora držati nišan usmeren na cilj radi navođenja rakete na njega, bez obzira na mamce. Zbog toga, ako se sistem želi koristiti po svakom vremenu i noću, u njega mora da se ugradi i termonišan.

Francuska armija je ključni korisnik sistema Mistral koji se, poput Igle i Stingera, neprestano usavršava. Osnovna varijanta koristi se i kao prenosni i kao stacionarni sistem. Današnja standardna verzija poznata je kao Mistral Mk2 u koju može da se ugradi termonišan. Prema podacima proizvođača (kompanija MBDA), sistem ima impresivnu uspešnost pogađanja od 93% za više od 2700 lansiranja.

Brojne su mobilne verzije sistema mistral, uključujući automatsku pokretnu vartrenu jedinicu Thales Aspic na šasiji terenskog vozila 4×4. Ona ima četiri rakete Mistral spremne za upotrebu i dodatne rakete za ručno punjenje na lanser. Lanserom upravlja operator iz kabine, ali moguće je i daljinsko upravljanje, ako to taktička situacija zahteva. Višestruki lanseri Mistral mogu da se koordiniraju stanicom za koordinaciju koja je ugrađena na posebnom vozilu.

Mobilni sistemi

Pored odbrane prenosnim sistemima mnoge zemlje imaju potrebu za savršenijim i moćnijim sistemima koji mogu brzo da se razviju i pridruže mobilnim snagama, bilo da su ugrađena na vozilima ili se koriste iz helikoptera.

Baš kao i sa prenosnim sredstvima, i u ovom sektoru se najčešće nalaze ruska sredstva, kao što je, na primer, 9K33 Osa (Sa-8 „Grecko“), koja je doživela mnoga poboljšanja, posebno u oblasti upravljanja vatrom i elektrooptici. Jedan od naj-savremenijih ruskih sistema PVO je radio-komandama upravljani sistem Tor (SA-15 „Gauntlet“), koji je razvijen iz mornaričke rakete. Bazirana je na šasiji slično samohodnom oruđu 2S6M, koje je opremljeno sa 8 vertikalno lansirajućih raketa u dva četvrtasta boksa. Prikolična verzija nedavno je razvijena radi stacionarne primene poboljšane varijante rakete 9M331, koja je brža od prethodne 9M330 i ima veći domet.

Pre mnogo godina američka vojska uvela je sistem Chaparral na bazi guseničnog transportera M548, čija kupola ima četiri spremnika za lansiranje raketa, vazduh-vazduh AIM9 SideWinder. Iako se više ne upotrebljavaju u američkoj armiji, i dalje se nalaze u oružanim snagama nekoliko zemalja.

I u Izraelu je razvijen i testiran sistem PVO Spyder, koji može da lansira rakete Python ili rakete većeg dometa Derby.

U Kanadi je na upotrebi sistem dvostrukie namene, poznat kao sistem PVO i protivtenkovski sistem ADATS (Air Defence Anti-Tank System), koji je ugrađen na modifikovanu šasiju transportera

M113A2 sa daljinski upravljanom kupolom naoružanom sa 8 raketa, koje su sposobne za napad na ciljeve u vazduhu udaljene preko 10 km, a sekundarnu mogućnost predstavlja uništenje zemaljskih ciljeva. Ugradnjom na vozila omogućeno je da se sistem opremi osmatračkim radarom sposobnim za praćenje i skeniranje 20 ciljeva udaljenih preko 25 km.

Dnevno-noćni nišanski sistem ugrađen je između dva nosača sa po četiri rakete koje su spremne za gađanje. Poboljšani sistem ADATS bio je ugrađen i na šasiju vozila 8×8 LAV III kao višenamenski sistem.

Kompanija Thales Crotale razvila je mnoge mobilne sisteme PVO. Njihov sistem Crotale NG (New Generation), takođe i pod oznakom Mk3, imao je nedostatak, jer se sastojao od dve jedinice – osmatračkog radara i lansera sa pratećim radarom. Novo oružje je integrisani sistem koji objedinjava prateći i osmatrački radar i 8 spremnika za upotrebu PA raketa VTI. Te rakete imaju merenje IC otklona i radarsko vođenje sa Ku-bend frekventnim monoimpulsnim radarom, preko datalinka. To omogućava da se podaci sa oba senzora konstantno upoređuju i upućuju na druge podatke radi izdvajanja cilja od protivdejstva.

Kina je razvila više mobilnih sistema PVO, uključujući nedavno uvedeni sistem Jitan, koji je ugrađen na šasiju modifikovanog oklopnog transportera 6×6 WZ551. Daljinski upravljana kupola ugrađena je na krovu vozila, a poseduje osmatrački radar, usavršeni senzorski paket u centru i dve kutije sa po četiri rakete TY90. Domet raketa je oko 6 km, a po visini 3962 m (13 000 ft).

Opstanak samohodnih PA topovskih sistema

Iako su rakete zamenile mnoge samohodne i vučene PA topove širom sveta, oni se redovno susreću, posebno ruski modeli, u nekoliko aktuelnih konfliktnih zona, gde se koriste i u borbama protiv zemaljskih ciljeva. Ipak, u poslednje vreme nema značajnijih razvojnih projekata u toj oblasti.

Najbrojniji samohodni PA topovski sistem je ruski radarski upravljani, četvorocetni, 23 mm top ZSU-23-4. Iako je prvi put uveden pre 40 godina ovaj top je veoma efikasno oružje, a naročito kada se koristi združen sa drugim sredstvima PVO.

Brojni vojni dobavljači sada nude poboljšanja za ZSU-23-4, od kojih se neka odnose na podsisteme i radar, a druga na pridodavanje topu PA raketa tipa „opali i zaboravi“.



Samohodni PA top 35 mm Skyranger ugrađen na šasiju vozila Piranha III

Nemačka armija dugo je koristila samohodni dvocevni PA top 35 mm Gepard, kompanije Krauss-Maffei Wegmann, ali ti sistemi sada se postepeno ukidaju u armijama Belgije i Holandije. Ista kompanija razvila je studiju za poboljšanje vatrene moći Geparda koja je pokazala da je moguće dodati dvostruki lanser za rakete Stinger sa svake strane kupole, ali do sada to nije realizovano.

Južna Koreja razvila je sopstveni samohodni PA top 30 mm Doosan Flying Tiger, čija je šasija opremljena osmatračkim radarom i koji se obično koristi združen sa samohodnim raketnim sistemom PVO Doosan Chun Ma (Pegasus) ugrađenim na sličnu šasiju. Mobilni raketni sistem Pegasus ima daljinski upravljanu kupolu koja se popunjava sa 8 raketa (po četiri sa svake strane), kao i nišanski i osmatrački radar u potpuno zatvorenom senzorskom paketu.

Poljska je razvila radarski vođeni samohodni PA top na bazi šasije tenka T-72, a čitav sistem je poznat pod nazivom Loara-G. Po konceptu je veoma sličan nemačkom Gepardu, a naoružan je dvocevnom topom 35 mm i nišanskim osmatračkim radarom.

Švedska armija uvodi PA vozilo CV9040 koje zadržava top Bofors 40 mm L/70, ali je opremljeno i pretraživačkim radarom Thales Gerfaut TRS2620 ugrađenim na zadnjem delu kupole.

Oslanjajući se na iskustvo stečeno u razvoju vučenih sistema PVO 35 mm, kompanija Oerlikon Contraves razvila je mobilniji sistem samohodnog PA topa Skyranger. Prvi primerak, prikazan pre tri godine, bio je izrađen na bazi šasije vozila 8×8 Mowag Piranha III sa daljinski upravljanom kupolom sa ugrađenim topom 35/1000 i usavršenim nišanskim sistemom. Ovaj top uvezan je sa drugim sredstvima PVO, uključujući i raketa.

Hibridni sistemi PVO

Balansirajući između raketnih sistema i trenda daljeg razvoja samohodnih sistema PA topova, prešlo se na razvoj i

uvođenje hibridnih sistema PVO naoružanih i topovima i raketama.

Jedan od novijih sistema je ruski 96K6 Pancir-S1, koji se proizvodi i za izvoz. Prva verzija prikazana je na terenskom vozilu 8×8, ali može da se ugradi i na šasijske oklopnih vozila. Pancir-S1 ima 8 ili 12 raketa PVO, plus dva PA topa 30 mm koji se navode na cilj osmatračkim i nišanskim radarom i optičkim dnevno-noćnim nišanom.

U ruskoj Armiji je stari samohodni top ZSU-23-4 zamenjen mnogo moćnijim hibridnim sistemom 2S6M Tunguska na bazi šasijske potpuno guseničnog oklopnog vozila. Sistem ima 8 raketa spremnih za lansiranje i dvostruki top 30 mm, hlađen vodom, namenjen za uništenje bliskih ciljeva.



Raketni sistem PVO Rapier FSC s raketama Rapier Mk2

Za potrebe američkog morskog korpusa razvijeno je oruđe na bazi šasijske vozila 8×8, sa kupolom za dva člana posade koja je naoružana topom 25 mm GAU-12/U Gatling i kontejnerom sa četiri PA rakete Stinger (princip „opali i zaboravi“) sa svake strane kupole.

Zbog brojnih nasleđenih samohodnih PA topova koji se koriste širom sveta, nekoliko vojnih dobavljača razvilo je dodatni paket raketa PVO tipa „opali i

zaboravi“ radi povećanja mogućnosti PVO. Dobar primer predstavlja paket izraelske avio industrije Machlet koji je kombinacija topa 20 mm Gatling sa kontejnerom od četiri PA rakete Stinger.

U Velikoj Britaniji zastarele prikolice ne sisteme PVO kratkog dometa Rapier zamenjuju sistemima Rapier FSC (Field Standard C) koji je u izvozu poznat pod nazivom Jernas i koji nudi znatno veće mogućnosti. Svi elementi su integrisani u novu zajedničku prikolicu koju vuče kamion od 4 t (4×4). Pripadajući elementi su novi osmatrački radar Dagger, novi radar za praćenje Blindfire i lanser sa 8 spremnih za lansiranje PA raketa Rapier Mk2.

Zadovoljavajući potrebe sve zastupljenijih snaga za brz razvoj, mnoge zemlje nastoje da i njih pokriju sistemima PVO kratkog dometa. Među njima je sistem nemačke kompanije Rheinmetall ASRAD (ATLAS Short Range Air Defence) sa raketama Stinger (moguće je da se koriste i druge rakete), koji može da se ugradi na šasijske raznih vozila.

M. K.

<<<◇>>>

TAKTIČKA BESPILOTNA LETELICA WATCHKEEPER*

Britanska kompanija Thales obelodanila je završnu konfiguraciju svojih taktičkih bespilotnih letelica Watchkeeper (Vočkiper) i najavila ulazak u fazu proizvodnje s mogućom upotrebom u Kraljevskoj artiljeriji Velike Britanije od 2010. godine.

Letelica Vočkiper (oficir – stražar), kao treća generacija bespilotnih letelica,

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, jun 2007.

biće sposobna da izvodi operacije danju i noću izvan regularnih baza, s velikim mogućnostima i visokim stepenom pouzdanosti.

Baziran na Elbitovoj bespilotnoj letelici Hermes 450, trup letelice Vočkiper projektovan je za taktički razvoj u Velikoj Britaniji, uključujući polupripremljene piste za prizemljenje, koje će biti opremljene sistemom za odmrzavanje, što će omogućiti upotrebu širokih razmera. Testiranje Vočkipera u raznim vremenskim uslovima počće krajem 2007. godine. Unikatan koristan teret na Vočkiperu sadržiće sintetizovani radar SAR (synthetic-aperture radar) sa indikatorom za identifikaciju kretanja zemaljskih ciljeva (napred) i elektro-optičkim/IC kretanjima (nazad), uključujući i lasersko obeležavanje cilja.



Taktička bespilotna letelica Watchkeeper

Prednje i zadnje antene podržavaće VHF/UHF softverski radio i širokopojasne i uskopojasne data-linkove za upravljanje, prenos slike i komunikacije. Letelica će biti opremljena i kompletnom opremom za identifikaciju svojih i protivnikovih sredstava. Data-linkovi obezbediće jednosmernu informaciju do udaljenih osmatračkih terminala na zemlji koji rade za potrebe taktičkih jedinica. Najnovija konfiguracija imaće novi Thales MAGIC automatski sistem za uzletanje i sletanje, koji je ispitan za Vočkiper i druge bespilotne letelice.

S maksimalnom izdržljivošću od 16 časova u vazdušnom prostoru i mogućnošću brzog uzletanja i sletanja, kao i upotrebom samo dve letelice s jednom kontrolnom stanicom na zemlji, moći će da se obezbede celodnevne mogućnosti sistema ISTAR (intelligence, surveillance, target acquisition and reconnaissance) za potrebe brzog reagovanja na bojištu i podrške taktičkim grupama i brigadnim ili divizijskim štabovima.

U logističkom lancu Vočkiper je taktička bespilotna letelica, ali po svojim ukupnim mogućnostima nudi 24-časovne dnevno-noćne mogućnosti obaveštavanja, osmatranja, akvizicije cilja i izviđanja (ISTAR), što predstavlja izuzetno moćan sistem u veoma malom pakovanju, kako kažu zvaničnici kompanije Thales.

M. K.

<<<◇>>>

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, veličina slova 11,5 pt, prored single) i odštampan u dva primerka.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu, zaključak i literaturu. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom single). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu, širine jednog ili dva stupca originalnog formata časopisa. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane. 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.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i podaci za autora.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu poslodavca (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honoriraju prema važećim propisima.

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

UREDNIK

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor
Dobriła Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 432,00 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)