

GENERALŠTAB VOJSKE SRBIJE I CRNE GORE

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Zastupa direktora

Pukovnik
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-potpukovnik
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

General-major
PAVLE GALIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr MILIĆ STOJČIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika Odbora)

Pukovnik
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik
dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILJKO ERIC, dipl. inž.

Pukovnik
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

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

* * *

Glavni i odgovorni urednik

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

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 2641-795, vojni 22-431)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

E-mail: vtg@viz.vj.yu

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

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

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE SRBIJE I CRNE GORE

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

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



1

GODINA LIV • JANUAR–MART 2006.

Predrag Stamenković,
kapetan I klase, dipl. inž.
Sektor za materijalne resurse MO,
Odeljenje za transport,
Beograd

MODEL IZBORA MOTOCIKLA ZA POTREBE SAOBRAĆAJNE PODRŠKE VOJSKE

UDC: 623.437.2

Rezime:

Motocikli koji se koriste u jedinicama za regulisanje i kontrolu saobraćaja u Vojsci treba da imaju takve tehničko-eksploatacione karakteristike koje će u toku eksploatacionog perioda u potpunosti zadovoljiti stroge zahteve regulisanja i kontrole vojnog putnog saobraćaja i poboljšati kvalitet saobraćajne podrške u savremenim borbenim dejstvima. Pri optimalnom izboru motocikla važno je razmatrati karakteristike motocikla i zahteve koje treba da ispuni. U radu je prikazan model izbora motocikala primenom metode višekriterijumskog rangiranja Promethee.

Ključne reči: motocikl, model, karakteristike, izbor, metoda, višekriterijumsko rangiranje, Promethee.

MODEL OF MOTORCYCLE CHOICE FOR TRAFFIC SUPPORT NEEDS IN THE MILITARY OF SERBIA AND MONTENEGRO

Summary:

Motorcycles used in traffic direct and control units in the Military of Serbia and Montenegro should have such technical and operational characteristics that will completely meet strict demands for directing and controlling military traffic and that will improve the quality of traffic support in modern combat conditions. It is important to discuss characteristics of a motorcycle and demands it has to meet when choosing „optimal“ motorcycle model. This paper shows model of motorcycle choice using Promethee method of multiple ranging criteria.

Key words: motorcycle, model of choice, characteristics, method, multiple ranging criteria, Promethee method.

Uvod

Savremena borbeni dejstva, zbog svoje sveobuhvatnosti, dinamičnosti, izuzetnog naprezanja ljudstva i tehnike zahtevaju veliki broj pokreta na komunikacijama i van njih. Kako je saobraćaj integrišući faktor logističke podrške Vojske Srbije i Crne Gore, a samim tim i njen sastavni deo, i kako će od njegovog funkcionisanja u velikoj meri zavisiti uspeh u ratu, njegova uloga postaje veoma značajna. Koliko je bitno da su jedi-

nice solidno pripremljene, dobro obučene i borbeno spremne, još je bitnije da one pravovremeno stignu na odredište, u čemu se, pored ostalog, ogleda uloga saobraćajne podrške.

Polazeći od činjenice da je saobraćajna podrška sastavni deo logističke podrške i jedan od bitnih faktora od kojih će u velikoj meri zavisiti i ishod borbenih dejstava, logično je da je popunjenost jedinica saobraćajne podrške odgovarajućom opremom jedan od bitnih preduslova za konačan ishod oružane borbe.

Jedinice za regulisanje i kontrolu saobraćaja (RKSb) treba da budu popunjene motociklima takvih tehničko-eksploatacionih karakteristika koji će u toku eksploatacionog perioda u potpunosti zadovoljiti sve strože zahteve RKSb u savremenim borbenim dejstvima. Međutim, tu se javlja problem izbora odgovarajućeg tipa motocikla koji bi ispunio postavljene zahteve.

Iskustva iz borbenih dejstava izvođenih na našim prostorima govore da motocikli koji se sada nalaze u jedinicama saobraćajne podrške Vojske nisu u potpunosti upotrebljavani za ono za šta su namenjeni. Ta činjenica navodi na razmišljanje o potrebi analize sadašnjeg stanja i eventualnog izbora nekih drugih modela i tipova motocikala koje bi trebalo nabaviti za vojne potrebe u budućem periodu. Međutim, vrlo je važno da se pri optimalnom izboru motocikla u obzir uzmu sve neophodne činjenice koje mogu da utiču na izbor, kao što su karakteristike motocikla i zahtevi koje treba da ispunji. Načini na koje se može doći do rešenja mogu biti različiti, ali je jasno da se pri izboru moraju koristiti jedna ili više metoda višekriterijumskog rangiranja.

Iz analize ovog problema proistekao je ovaj rad u kome je prikazan i predložen model rešavanja problema izbora motocikla za potrebe Vojske primenom metode Promethee. Ovako postavljen model mogao bi da predstavlja inicijalnu osnovu za:

- izradu analize o ulozi motocikala, koji se trenutno nalaze u Vojsci, u miru i eventualnim vanrednim situacijama i ratu;
- izradu sveobuhvatne studije koja bi imala za cilj da se, korišćenjem jedne ili više metoda višekriterijumskog rangiranja, izvrši izbor optimalnog modela i tipa motocikla (jednog ili više) koji bi bilo potrebno nabaviti za potrebe Vojske u budućem periodu.

Osnovni problem koji se pojavljuje u radu jeste da nije bilo moguće doći do odgovarajućih podataka o motociklima. Zbog toga neki taktičko-tehnički zahtevi nisu uzeti u obzir, što uveliko utiče na konačan izbor motocikla. Osim toga, poteškoću čini i ocena relativne važnosti svakog kriterijuma i potkriterijuma, zbog čega bi trebalo sprovesti ekspertsku analizu koja iziskuje više vremena i izlazi iz okvira ovog rada. U ovom slučaju ocena relativne važnosti data je na osnovu lične vojnostručne prakse i iskustva.

U radu su definisani zahtevi za primenu motocikla u Vojsci, zatim je izvršena razrada alternativa, kriterijuma i potkriterijuma i na kraju je, korišćenjem metode Promethee, izvršeno višekriterijumsko rangiranje alternativa.

Zahtevi pri izboru motocikla za potrebe Vojske

Polazeći od osnovnih karakteristika savremenog saobraćaja (masovnost, dinamičnost, velika frekvencija, itd.), kao bitni ciljevi i zadaci regulisanja i kontrole saobraćaja, izviđanja, kurirske službe i veze, i obuke vozača ističu se [11]:

- osiguranje protočnosti saobraćajnica uz maksimalnu propusnu moć ili uz određenu propusnu moć sa željenom brzinom i gustom,ulom,
- bezbedno kretanje po svim putevima i terenima,
- preventivno delovanje i ostvarivanje što većeg stepena sigurnosti,
- sprečavanje saobraćajnih nezgoda,
- obezbeđenje optimalnih uslova za obuku,
- ostvarivanje ostalih zadataka iz delokruga rada jedinica saobraćajne podrške.

Pravilna popuna Vojske pripadajućom opremom jedna je od bitnih pretpo-

stavki njenog racionalnog i efikasnog angažovanja. Za te potrebe treba izabrati motocikl takvih karakteristika, koje će pomoći ostvarivanje navedenih ciljeva i zadataka RKSb u narednom periodu.

Opšti zahtevi za konstrukciju motocikla

Konstrukcija motocikla treba da bude usaglašena sa odgovarajućim tehničkim normama i zahtevima domaćih i međunarodnih standarda za ovu vrstu vozila u pogledu gabarita, brzina kretanja, bezbednosti vožnje i slično.

Motocikli moraju imati mogućnost pouzdanog rada u klimatskim i temperaturnim uslovima koji vladaju na našoj teritoriji. Moraju biti prilagođeni i pogodni za transportovanje vozilima, železnicom, plovnim i vazduhoplovnim sredstvima i da poseduju odgovarajuću radio-zaštitu.

Namena i uslovi korišćenja

Motocikli u Vojsci namenjeni su za RKSb, kao vozilo sa prvenstvom prolaza organa saobraćajne vojne policije; izviđanje, kurirsku službu i vezu; obuku vozača i pratnju.

Motocikl služi za prevoz jedne ili dve osobe. Ukoliko prevozi jednu osobu namenjen je za izviđanje, vezu i kurirske zadatke, a kada prevozi dve osobe namenjen je za praćenje kolona, RKSb, kao motorno vozilo sa pravom prvenstva prolaza organa saobraćajne vojne policije, sa opremom za RKSb i pružanje prve pomoći, kao i za obuku vozača. Uslovi korišćenja motocikla mogu biti različiti (tabela 1).

*Tabela 1
Korišćenje motocikla u različitim uslovima [8]*

Uslovi korišćenja	Motocikl	
	za 1 osobu	za 2 osobe
Po putevima sa savremenim kolovozom	25%	45%
Po putevima sa nesavremenim kolovozom	35%	30%
Po zemljanim putevima bez podloge i po terenu	40%	25%

Prikazani podaci proističu iz namene motocikla, jer je motocikl za prevoz jedne osobe prvenstveno terenski i za to ga treba i koristiti, dok je motocikl za prevoz dve osobe prvenstveno putni i više će se koristiti na putevima sa savremenim kolovozom.

Osnovni parametri i performanse

Taktičko-tehnički zahtevi koje treba da zadovoljavaju motocikli u Vojsci prikazani su u tabeli 2.

Predloženi parametri i performanse daju okvire za izbor pokazatelja odabranih kriterijuma pri izboru motocikla [8].

Što se tiče gabarita i geometrijskih parametara predloženi su takvi zahtevi da motocikli mogu da savlađuju većinu putnih i terenskih uslova. Zbog velikog značaja ovi pokazatelji se moraju uzeti u obzir pri izboru motocikla. Tako se u ovom radu, kao potkriterijumi, koriste dužina i širina motocikla, kao i klirens zbog značaja za prohodnost.

Masa motocikla treba svakom vozaču da omogući upravljanje, što je vrlo značajno pri obuci vozača (manevrisanje i lakše savladavanje straha pri obaranju motocikla). Zbog toga je pri izboru motocikla jedan od kriterijuma – potkriterijuma i masa motocikla, što se u ovom radu i čini.

Nosivost motocikla je takođe značajna, a predloženi zahtevi su u skladu sa njihovom namenom. Njih treba uzeti u obzir pri izboru motocikla, ali to u ovom radu nije učinjeno zbog nedostatka podataka.

Zahtevi u pogledu dinamičkih karakteristika i performansi takođe su u skladu sa namenom motocikla. Tako je predložena mala stabilna brzina koja je vrlo bitna za obuku vozača i terenske uslove vožnje. Dinamičke karakteristike imaju veliki značaj za izbor motocikla, ali pošto podaci o njima nisu bili dostupni jer ih ne daju svi proizvođači, u ovom radu se kao potkriterijum koristi maksimalna brzina, dok ostale nisu uzete u obzir.

Pri savlađivanju prepreka predlažu se zahtevi koji uzimaju u obzir sve uslove korišćenja. Ne insistira se na tome da motocikl može savladati neku veliku prepreku, a da istovremeno nije pogodan za putne uslove i obrnuto. Ne predlaže se zahtev koji favorizuje kros-motocikl. Kako proizvođači retko daju ovakve podatke u katalogima, u ovom radu nisu ni uzeti u obzir, osim klirensa koji na neki način pokazuje prohodnost.

Generalno uzevši, najvažniji parametri i performanse uzimaju se u obzir pri izboru motocikla, dok se neki zanemaruju samo zbog toga što o njima nema podataka.

Tabela 2
Taktičko-tehnički zahtevi motocikala u Vojsci [8]

Red. br.	Karakteristike	Za 1 osobu	Za 2 osobe
1.	najveća dužina (mm)	2200	2300
2.	visina sedišta (mm)	850	850
3.	klirens (mm)	280	200
4.	masa motocikla (kg)	120	200
5.	nosivost (kg)	150	180
6.	najveća brzina (km/h)	90	150
7.	prosečna brzina pri kretanju na ispresecanom terenu nagiba 6–8% (km/h)	20–25	20–25
8.	najmanja stabilna brzina (km/h)	3–5	3–5
9.	savlađivanje uspona (%)	50–60	50
10.	radijus kretanja po putevima sa savremenim kolovozom (km)	400	400
11.	savlađivanje vertikalnih prepreka (mm)	200	150
12.	savlađivanje vodenih prepreka gazom dubine do (mm)	400	300
13.	savlađivanje bočnog nagiba (%)	35	35

Zahtevi za konstrukcionu kompoziciju motocikla

Konstrukciona kompozicija motocikla treba da zadovolji postavljene taktičko-tehničke zahteve u pogledu: namene, nosivosti, prohodnosti, bezbednosti i dr. Motocikl za izviđanje je prvenstveno terensko-putni, a motocikl za regulisanje saobraćaja prvenstveno putno-terenski. Osnovni agregati, sklopovi i uređaji treba da odgovaraju sledećim zahtevima [8]:

– motor za motocikl za jednu osobu zapremine 80–250 ccm i snage od 5 do 15 kW, a za motocikl za dve osobe zapremine više od 350 ccm i minimalne snage od 25 kW. Ovakvi zahtevi predloženi su zbog prilagodljivosti motocikla različitim uslovima upotrebe i namene. U ovom radu u obzir je uzeta snaga motocikla;

– uključivanje motora električnim pokretačem i preko transmisije pomoću poluge, što je bitno za startovanje u različitim vremenskim i klimatskim uslovima. Hlađenje motora pomoću tečnosti.

Treba da je omogućen polazak motocikla sa mesta odmah nakon pokretanja motora. Ovi zahtevi su nekvantitativni, pa ih je teško kvantifikovati, a i nemaju više varijanti pri izboru, pa nisu uzeti u obzir;

- motor treba da bude ekonomičan u potrošnji goriva i ulja, što je bitno sa ekonomskog stanovišta. Ovaj zahtev, zbog svog značaja, mora imati važnu ulogu pri izboru motocikla i u radu figurira kao jedan od kriterijuma;

- ram motocikla treba da bude cevašte konstrukcije, čvrst, sa branicima koji štite od mehaničkih oštećenja pri padu, kao i vozača i suvozača od povreda;

- sistem oslanjanja treba da omogući optimalnu udobnost u vožnji, koja se ogleda u sposobnosti motocikla za dugotrajno kretanje zahtevnim eksploatacionim brzinama po putevima i terenu. Udobnost se mora prikazati preko nekih pokazatelja, a to su u ovom radu, zbog nedostatka drugih, hod prednje i zadnje viljuške;

- konstrukcija uređaja za kočenje treba da bude u skladu sa Pravilnikom o dimenzijama, ukupnim masama i osovinском opterećenju vozila. Na motocikle se ugrađuje mali broj varijanti uređaja za kočenje, a i to su nekvantitativne veličine, pa se u radu ne uzimaju u obzir;

- pneumatici treba da obezbede dobro prijanjanje po uzdužnoj i poprečnoj osi točka, pogotovo po mokroj podlozi. Motocikl ima električnu instalaciju napona 12 V, zvučni signalni uređaj, uređaj za uključivanje pokazivača pravca, propisanu svetlosnu signalizaciju, itd. Izduvni sistem treba da je zaštićen tako da se izbegne opasnost od opekotina. Nivo buke treba da bude u skladu sa važećim propisima. Osnovna boja je sivomaslinasta, a

za obuku se može koristiti i druga. Motocikl treba da ima alat, pribor i rezervne delove za osnovno održavanje. Svi ovi zahtevi su nekvantitativni i u radu se posebno ne uzimaju u obzir, ali se podrazumevaju kao neophodni;

- pri izboru motocikla mora se obratiti pažnja i na neke specijalne zahteve koje je teško kvantifikovati, a za izbor su neophodni. Tako motocikl za prevoz jedne osobe treba da ima ravnu gornju površinu rezervoara, kako bi se na nju mogla staviti karta, zatim cevasti zaštitnik za motor i upravljač i mogućnost ugradnje dopunskog sedišta;

- motocikl za prevoz dve osobe treba da bude opremljen cevastim zaštitnicima za motor, upravljač i zadnji deo motocikla, koji štite vozača i suvozača od povreda, a motocikl od oštećenja, u slučaju pada. Pored toga, treba da ima mogućnost ugradnje dodatne opreme, aerodinamični vetrobran, plave reflektore ili rotaciono svetlo, zvučni signalni uređaj sa više tonova, dve kasete za opremu RKSb, komplet za prvu pomoć, rukohvate za pridržavanje suvozača u vožnji i mogućnost ugradnje radio-uređaja.

Zahtevi u pogledu održavanja

Za održavanje motocikla u zahtevanom roku predviđeni su: osnovno održavanje, tehničko održavanje i srednji remont. Obim i tehnologija radova u predviđenim vidovima održavanja treba da budu u skladu sa mogućnostima. Motocikl treba da koristi gorivo, motorno ulje i druge tečnosti propisane za upotrebu u Vojsci, ili izuzetno one koji se mogu nabaviti u zemlji [8].

Održavanje ima veliki značaj, ali ga je teško kvantifikovati. Uz podatke o servisnim stanicama i mogućnosti nabavke rezervnih delova ne nude se nikakvi drugi pokazatelji, pa ih u ovom radu zbog toga i nema. Do pokazatelja o pogodnosti za održavanje moguće je doći ekspertskom ocenom.

Definisanje alternativa i kriterijuma za izbor motocikla za potrebe saobraćajne podrške Vojske

Razrada alternativa

Tržište nudi veliki broj motocikala različitih performansi. Koristeći metodu 0,1 za prihvatanje ili odbacivanje alternativa prethodno je eliminisan veliki broj motocikala. Osim toga, kriterijumska analiza metode Promethee odbacuje alternative koje očigledno odstupaju od ostalih. Tako se u radu razmatraju samo motocikli (alternative) koji su ispitivani u Saobraćajnom i automobilskom nastavnom centru u Kraljevu, koji su prikazani u tabeli 3, a u tabeli 4 date su osnovne karakteristike alternativa.

Tabela 3
Moguće alternative

Alternativa	Tip motocikla
A 1	JAWA 350
A 2	CAGIVA Crusler 125
A 3	CAGIVA T4 350 E
A 4	MOTO GUZZI V-35 II
A 5	MOTO GUZZI Falkone 500
A 6	BMW R 75/6

Tabela 4
Osnovne karakteristike motocikala [9,10]

Motocikli Karakteristike	JAWA 350	CAGIVA Crusler 125	CAGIVA T4 350 E	MOTO GUZZI V-35 II	MOTO GUZZI Falkone 500	BMW R 75/6
Snaga motora (kW)	19	19,9	27	25,7	27	36,8
Obrtni moment (Nm)	42	19,6	30	35	40	55
Brzina (km/h)	128	130	145	150	127	165
Dužina motocikla (mm)	2110	2110	2160	2090	2200	2180
Širina motocikla (mm)	750	850	860	700	815	740
Visina motocikla (mm)	1070	1124	1150	1150	1140	1080
Klirens (mm)	210	305	300	180	150	165
Mase motocikla (kg)	170	120	140	154	229	210
Hod prednje viljuške (mm)	150	220	240	150	120	208
Hod zadnje viljuške (mm)	50	240	240	72	92	125
Vrsta prenosa	lanac	lanac	lanac	kardan	lanac	kardan
Broj stepeni prenosa menjača	4	6	5	5	4	5
Kočnice: prednje – zadnje	dob.-dob.	disk-disk	disk-dob.	disk-disk	dob.-dob.	disk-dob.
Zapremina rezervoara (l)	18	14	12	16	18	18
Potrošnja goriva (l/100 km)	4,5	3,9	5,5	3,5	4,1	4,5
Cena motocikla (EUR)	2500	3600	4700	4500	5100	12000

Razrada kriterijuma za rangiranje alternativa

Kriterijumi za rangiranje mogu biti bitne karakteristike, mogućnosti, cena, i sl. Kriterijumske vrednosti su podaci koje da-

ju proizvođači, ekspertske ocene nekvantitativnih parametara i ostali elementi koje treba uzeti u obzir pri odlučivanju. Složeni-ji kriterijumi mogu se predstaviti potkriterijumskim funkcijama i parametrima.

Za svaki kriterijum određuje se koeficijent relativne važnosti i uticaj kriterijumskih vrednosti na odlučivanje u vidu min – max, što znači da je za donosioca odluke bolje ako je kriterijumska vrednost manja ili veća.

Svaki kriterijum treba da bude reprezentativan i da održava glavne, a ne drugorazredne ciljeve. Poželjno je da bude jedinstven. Za svaki kriterijum ustanovljava se njegova funkcionalna, odnosno matematička zavisnost u odnosu na osnovne parametre.

Najčešći kriterijumi u vojnim sistemima su [6]:

- vreme izvršenja zadatka,
- efektivnost,
- verovatnoća postizanja cilja,
- matematičko očekivanje rezultata,
- kombinacije navedenih kriterijuma.

Kriterijumi imaju značajnu ulogu, pre svega, pri određivanju karaktera i veličine delova sistema za određene zadatke, određivanje rokova izvršenja zadataka, sagledavanje vrste i karakteristika resursa, utvrđivanje troškova izvršenja pojedinih zadataka.

Kriterijumi efikasnosti značajni su kao način i mera dostizanja postavljenih ciljeva razvoja. Kriterijumi su vezani za ciljeve razvoja i moraju biti usklađeni sa sadržajem ciljeva. Osnovni kriterijumi efikasnosti treba da doprinesu ispunjenju cilja postojanja sistema, to jest zadovoljenju potrebe za RKSb, izviđanju, obuci i pratnji u miru, mobilizacijskom periodu i u ratu. Ako su kriterijumi nemerljivi ta-

da treba da se procene nekom naučnom metodom (npr. ekspertskom analizom).

Na osnovu postavljenih kriterijuma, a prema postavljenim ciljevima, određuje se skup kriterijuma i razrađuje skala ocena u odnosu na njih. Za izbor skupa kriterijuma može se koristiti ekspertska analiza. Pri ocenjivanju važnosti kriterijuma i upoređivanju alternativa, treba imati u vidu:

- propusnu moć i realizaciju planova marša;
- planove višeg sistema;
- zadatke povećanja efikasnosti;
- perspektive tehničkog razvoja, itd.

Za određivanje težine kriterijuma formira se hijerarhija osnovnih faktora ili pokazatelja. Težina kriterijuma određuje se na skali 0–1 (u ovom radu zbog zahteva metode 1–3).

Polazeći od ovakvih kriterijuma veoma je bitno da oni odražavaju osnovne taktičko-tehničke zahteve za motocikle, a pre svega:

- namenu,
- uslove upotrebe,
- osnovne parametre i performanse,
- kompoziciju motocikla i njegove aggregate, sklopove i uređaje,
- pogodnost održavanja,
- mogućnost nabavke na domaćem tržištu, itd.

Kao kriterijumi za izbor motocikla za potrebe saobraćajne podrške Vojske mogu se koristiti:

- pogodnost za RKSb;
- pogodnost za izviđanje, kurirsku službu i vezu;
- pogodnost za obuku vozača;
- akcioni radijus;
- eksploataciona potrošnja goriva;
- nabavna cena.

Pogodnost motocikla za RKSb

Jedna od najvažnijih funkcija za koju se vrši izbor motocikla je neposredno RKSb. Da bi motocikl bio što pogodniji za RKSb neophodno je da:

- ima optimalnu snagu motora;
- razvija veliku brzinu (radi što bržeg stizanja na mesto za RKSb nakon propuštanja kolona i ponovnog stizanja na čelo, brzog savlađivanja mogućeg brisanog prostora, izvršenja kurirskih zadataka i uspostavljanja veze, itd.);
- ima što veći hod viljuški (zbog udobnosti vožnje, kako bi vozač mogao što duže izdržati na motociklu pri izvršenju zadataka, i lakše savlađivao različite prepreke na putevima i terenu).

Pogodnost motocikla za izvidanje, kurirsku službu i vezu

Bitna funkcija motocikla je njegova pogodnost za izvidanje, kurirsku službu i vezu, pogotovo kad nema ostalih sistema komuniciranja. To znači da motocikl treba da se kreće po svim putnim i terenskim uslovima.

U skladu s tim, potrebno je izabrati motocikl koji će imati što manji klirens, biti uži, itd. Klirens treba da mu omogući savlađivanje ispresecanih terena i što viših prepreka. Uži motocikli imaju mogućnost kretanja između kolona, po uskim stazama i van puteva po različitim terenima.

Pogodnost motocikla za obuku vozača

Pri izboru motocikla treba imati u vidu da će se na njemu obučavati vozači.

To je aktivnost koja je veoma bitna za sistem odbrane. Radi toga važno je izabrati motocikl koji će najpre biti bezbedan za upravljanje. Pogodnost za obuku nije kvantitativna veličina, pa je treba izraziti preko nekih kvantitativnih pokazatelja, a to su, u ovom slučaju, obrtni momenat, visina i masa motocikla.

Obrtni momenat je važan zbog činjenice da veći obrtni momenat omogućava lakše manevrisanje motociklom, tj. „izvlačenje“ pri raznim manevrima.

Visina motocikla mora biti prilagođena i vojnicima malog rasta, što znači da treba birati motocikl sa što nižim sedištem.

Masa motocikla je takođe značajna, kako bi vozačima početnicima bilo olakšano upravljanje. U vezi s tim, potrebno je birati što laganiji motocikl.

Akcioni radijus motocikla

Veoma je značajno koliki put motocikl može da pređe, a da se ne vrši njegova popuna gorivom. Bitno je to i za sistem snabdevanja, jer se tako angažuje manje vozila za snabdevanje kad su motocikli na terenu. Značajno je da su motocikli sposobni za izvršenje svakog zadatka bez popune. Zato je bitno da se usvoji motocikl sa što većim akcionim radijusom.

Eksploataciona potrošnja goriva

Zbog visoke cene goriva bitno je izabrati motocikl koji će imati što manju potrošnju. Ova karakteristika je značajna i sa stanovišta snabdevanja jedinica, jer zahteva manje sredstava za snabdevanje.

Nabavna cena motocikla

Restrikcija finansiranja u sistemu odbrane diktira kako će se sredstva za nabavku materijalno-tehničkih sredstava koristiti. Veoma je važno da motocikl koji se izabere ne bude suviše skup, tako da njegova cena može da opravda upotrebnu vrednost.

Primena metode PROMETHEE za izbor motocikla

Da bi se izvršio pravilan izbor motocikla za potrebe Vojske, uz zadovoljenje više kriterijuma i ograničenja i mogućnost određivanja relativne važnosti svakog odabranog kriterijuma i parametara, koristiće se familija metoda Promethee. Metode Promethee I–IV primenjuju se kada je skup mogućih rešenja konačan, pri čemu je potrebno rangirati alternative na osnovu datih kriterijuma. Jedini uslov koji se postavlja pred alternative jeste da svaka bude vrednovana po svim kriterijumima iz datog skupa [1].

Za rešavanje problema korišćen je programski paket PROMETHEE V1.0 sa CD-a „VKO – drugo prošireno izdanje“ [3].

Metode PROMETHEE I-IV

Familija metoda pod nazivom Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations i skraćenicom PROMETHEE, razvilo je više autora briselske škole (Brans (1984), Brans i Marechal (1984), Brans i Vincke (1985), Marechal (1985)) [4] u varijantama I, II, III i IV.

Osnovna karakteristika ove familije metoda predstavlja korišćenje šest tzv. generalizovanih kriterijuma za iskazivanje preferencija donosilaca odluke o konkretnim kriterijumima rešavanog problema.

Međutim, korisnik može da uvede nove tipove generalizovanih kriterijuma za definisanje zakonitosti u konkretnom problemu i iskaže svoje preference u odnosu na odgovarajuće kriterijume.

Kao i u ostalim metodama, posebno se mogu postaviti i odgovarajuće težine za kriterijume. Varijanta I obezbeđuje delimičan poredak alternativa, varijanta II daje potpuni poredak, varijanta III vrši rangiranje u odgovarajućim intervalima, i varijanta IV razmatra neprekidan niz alternativa.

Formiranje tabele odlučivanja

Izabrani kriterijumi i potkriterijumi za vrednovanje i izbor motocikla za potrebe saobraćajne podrške Vojske su:

- kriterijum – K 1 Pogodnost za RKSb:
 - K 1 1 Snaga motora (kW)
 - K 1 2 Brzina motocikla (km/h)
 - K 1 3 Hod prednje viljuške (mm)
 - K 1 4 Hod zadnje viljuške (mm)
- kriterijum – K 2 Pogodnost za izvidanje, kurirsku službu i vezu:
 - K 2 1 Klirens (mm)
 - K 2 2 Širina motocikla, mm
- kriterijum – K 3 Pogodnost za obuku vozača:
 - K 3 1 Obrtni moment (Nm)
 - K 3 2 Visina motocikla (mm)
 - K 3 3 Masa motocikla (kg)
- kriterijum – K 4 Akcioni radijus (km/rez.)
- kriterijum – K 5 Eksploataciona potrošnja goriva (l/100 km)
- kriterijum – K 6 Nabavna cena motocikla (EUR).

Vrednosti kriterijumskih i potkriterijumskih funkcija date su u tabeli 5. Ocena relativne važnosti svakog kriterijuma i potkriterijuma data je na osnovu lične vojno-stručne prakse.

Tabela 5

Vrednosti kriterijuma i potkriterijuma, ocena relativne važnosti i uticaj na problem istraživanja

i/j	K_j^0	K 1				K 2		K 3			K 4	K 5	K 6
A_i	K_{js}^1	K 1 1	K 1 2	K 1 3	K 1 4	K 2 1	K 2 2	K 3 1	K 3 2	K 3 3			
A 1		19	128	150	50	210	750	42	1070	170	400	4,5	2,5
A 2		19,9	130	220	240	305	850	19,6	1124	120	360	3,9	3,6
A 3		27	145	240	240	300	860	30	1150	140	220	5,5	4,7
A 4		25,7	150	150	72	180	700	35	1150	154	455	3,5	4,5
A 5		27	127	120	92	150	815	40	1140	229	440	4,1	5,1
A 6		36,8	165	208	125	165	740	55	1080	210	400	4,5	12
W_{js}^1		2,5	2,5	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	1,5			
min (-) ¹ max (+)		+	+	+	+	+	-	+	-	-			
W_j^0		3,0				3,0		2,5			2,0	1,5	3,0
min (-) ⁰ max (+)		+				+		+			+	-	-

Rezultati istraživanja

Tip generalizovane kriterijumske funkcije određuje se ekspertskom procenom ili nekom od poznatih matematičkih metoda aproksimacije empirijskih podataka teorijskom funkcijom. U ovom radu izabrana je, na osnovu grafa nekriterijumske funkcije preferencije, Gausova kriterijumska funkcija za kriterijume na nultom nivou i kriterijumska funkcija sa linearnom preferentnošću za kriterijume na prvom nivou.

Na osnovu određenih alternativa, postavljenih kriterijuma i njihove važnosti, uz korišćenje programskog paketa PROMETHEE V1.0, izvršeno je istraživanje i dobijen rang ponuđenih alternativa za date kriterijume:

- 1. u rangui – motocikl JAWA 350,
- 2. u rangui – motocikl CAGIVA Crusler 125,
- 3. u rangui – motocikl MOTO GUZZI V-35 II,
- 4. u rangui – motocikl BMW R 75/6,

– 5. u rang – motocikl CAGIVA T4 350 E,

– 6. u rang – motocikl MOTO GUZZI Falkone 500.

Prema datim kriterijumima, za potrebe saobraćajne podrške Vojske najpogodniji je motocikl JAWA 350.

Međutim, to ne znači da je motocikl JAWA 350 najpogodniji i po svakom od navedenih kriterijuma pojedinačno. Ako se kriterijumi posmatraju pojedinačno i zasebno dobijaju se sledeći rezultati:

– prema kriterijumu „pogodnost za RKSb“ (kriterijum K-1) najpogodniji je motocikl BMW R 75/6,

– prema kriterijumu „pogodnost za izviđanje, kurirsku službu i vezu“ (kriterijum K-2) najpogodniji je CAGIVA Crusler 125,

– prema kriterijumu „pogodnost za obuku vozača“ (kriterijum K-3) najpogodniji je JAWA 350.

Ovakvi rezultati dobijeni su na osnovu izbora malog broja alternativa i izbora kriterijuma i njihove relativne važnosti bez korišćenja ocena eksperata.

Zaključak

U ovom radu prikazan je izbor motocikla za potrebe saobraćajne podrške Vojske. Problem višekriterijumskog rangiranja rešen je primenom metoda Promethee.

Pri primeni ove metode korišćeni su: izbor alternativa, kriterijuma i potkriterijuma i ocena relativne važnosti svakog kriterijuma.

Pri izboru motocikla uglavnom su uzeti u obzir svi taktičko-tehnički zahtevi koji imaju kvantitativne pokazatelje. Međutim, pojavljuje se veliki broj opisnih taktičko-tehničkih zahteva koji su nekvantitativne

veliĉine, a koje bi u nekom od narednih sveobuhvatnijih radova trebalo uzeti u obzir. Ove ĉinjenice ne utiĉu bitno na konaĉni izbor motocikla u ovom radu, jer rad predstavlja model kako bi trebalo pristupiti rešavanju navedenog problema.

Na osnovu rezultata dobijenih istraĉivanjem, korišćenjem metoda Promethee, ili neke druge metode višekriterijumskog rangiranja, donosilac odluke o nabavci sredstava ima mogućnost da izvrši izbor najboljih motocikala za potrebe Vojske, koji bi zadovoljili postavljene kriterijume.

Znaĉaj ovog problema je vrlo veliki, jer treba imati u vidu da od kvaliteta saobraćajne podrške veoma ĉesto moĉe da zavisi i ishod borbenih dejstava. Da bi ovo istraĉivanje imalo još veći znaĉaj potrebno je u nekom od narednih radova povećati broj alternativa, tj. motocikala za izbor, ekspertskom analizom izvršiti izbor kriterijuma i dati ocenu relativne važnosti svakog kriterijuma.

Literatura:

- [1] Nikolić, I.; Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver, CVŠ VJ, Beograd, 1996.
- [2] Nikolić, I.: Predavanja iz oblasti: Masovno opsluĉivanje, Višekriterijumska optimizacija, VTA VJ, PDS, Źarkovo, 1998.
- [3] Borović, S.; Nikolić, I.: Višekriterijumska optimizacija, multimedijalni CD ROM, drugo prošireno izdanje, Generalštab VJ – Sektor za ŠONID, Vojnoizdavaĉki zavod, Beograd, 1999.
- [4] Borović, S.; Đukić, R.: Priprema odluke o nabavci tehniĉkih sredstava primenom familije metoda Promethee, Vojnotehniĉki glasnik 4/88, Beograd, 1988.
- [5] Đukić, R.: Rangiranje protivavionskih raketnih sistema za male visine primenom proširene metode Topsis, Vojnotehniĉki pregled 6/91, Beograd, 1991.
- [6] Stojiljković, M.; Vukadinović, S.: Operaciona istraĉivanja, Vojnoizdavaĉki zavod, Beograd, 1984.
- [7] Miladinović, V.: Planiranje vojnog transporta, lekcija, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1987.
- [8] Taktiĉko-tehnološki zahtevi za motocikle, SSNO, 1988.
- [9] Tehniĉko uputstvo za motocikle MOTO GUZZI falkone 500 i V-35 II, SSNO TU, Beograd, 1984.
- [10] Katalog za motocikle CAGIVA, JAWA i BMW.
- [11] Uputstvo za regulisanje i kontrolu putnog saobraćaja, GŠ VJ SbU, Beograd, 1997.



savremeno naoružanje i vojna oprema

PERSPEKTIVA VOĐENIH ARTILJERIJSKIH PROJEKTILA*

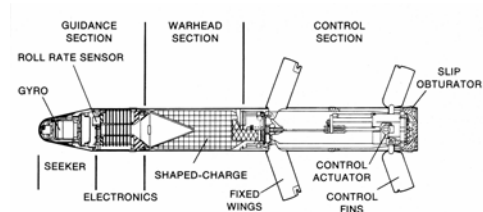
Vođena artiljerijska municija je mnogo obećavala, ali je do sada relativno malo isporučivana. Ipak, njene mogućnosti za precizno gađanje sada su vidljivije nego ikad, što je ključno u davanju značaja cevnoj artiljeriji na savremenom bojištu.

Osim povećane ubojnosti svojstvene preciznoj municiji, upotreba vođenih artiljerijskih projektila bitno smanjuje kolateralne štete, posebno u urbanim sredinama. Njihova primena znatno smanjuje i količinu potrebne municije kako bi se ostvarili određeni efekti. Kao i sa ranijim vođenim projektilima, počele su se manifestovati brojne prednosti niskog taktičkog nivoa. Tipična nepravilna putanja vođenog projektila mogla bi da se iskoristi kao pomoć u kontralokaciji, za masovnu vatru i pojednostavljenje upravljanja vatrom. U krajnjem slučaju moguće je da posada topa opali nekoliko zrna na fiksnu tačku nišanja, prepuštajući zatim da ih mehanizmi za vođenje, ugrađeni na vozilu, ili osmatrači preusmere na individualne ciljeve.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.

Nesumnjivo je da su poluaktivni laserski vođeni artiljerijski projektili, proizvedeni osamdesetih godina prošlog veka, znatno povećali troškove po parametrima obuke i složenosti koordinacije. Budući da su prevelika, ova zrna zahtevaju i specijalno čuvanje i rukovanje, kao i efikasne namenske platforme i komunikacijske kanale radi obezbeđenja dovoljno brzog reagovanja pri gađanju pokretnih ciljeva.

Posle raznih početnih problema 1983. godine autorizovana je a zatim nastavljena proizvodnja projektila Copperhead 155 mm CLGP (Cannon-Launched Guided Projectile) devedesetih godina za potrebe morskog korpusa.



Presek projektila 155 mm Copperhead HEAT CLGP

Ukupna dužina ovog projektila iznosi 1372 mm. Sa kontejnerom ima masu 93,2 kg, bez kontejnera 62,6 kg uključujući bojnu glavu od 22,5 kg u kojoj je 6,69 kg kumulativnog punjenja. Njegov

poluaktivni laserski tragač smešten je u nosu, a iza njega su sekcija bojne glave i upravljačka sekcija. Pre punjenja odvrtkom se podešavaju krilca za vođenje, laserski kod, vreme i režim vođenja. Može da se odabere balistički ili lebdeći režim, gde ovaj drugi dopušta projektilu da posle temena putanje zauzme relativno ravnu putanju leta, omogućavajući mu da prolazi kroz oblake ili da leti ispod njih.

Kada tragač otkrije lasersku energiju odbijenu od cilja Copperhead zauzima poziciju za obrušavajući napad, a dejstvo bojne glave reguliše superbrzim upaljačem M740.

Zbog osetljivosti njegovih podsistema, Copperhead ima limit lansirnog ubrzanja od 8,100 g, što smanjuje njegovu početnu brzinu na 594 m/s. Njegov maksimalni balistički domet iznosi 9600 m (sa punjenjem M4A2) ili 11 600 m (M119A1 sagoriva čaura), ali izborom lebdećeg režima ovi dometi se mogu povećati na 13 400 m ili 16 000 m respektivno.

Sledeći ekvivalent u ovoj kategoriji je ruski poluaktivni laserski vođeni projektil Krasnopol koji je uveden u upotrebu 1987. godine. Proizvodio se za kalibre 152 mm i 155 mm, od kojih je poslednji poznat pod oznakom KM-1, a imao je dužinu 1305 mm i masu 51,2 kg. Masa nje-

gove eksplozivno-fragmentacione bojne glave iznosi 20,5 kg, uključujući 6,5 kg eksploziva. Ovaj projektil namenjen je za efikasno dejstvo protiv poljskih fortifikacija i komandnih mesta, kao i protiv lakih i srednjih oklopnih vozila, a maksimalni domet je 22 km.

Dužina i masa Krasnopol/KM-1, koji je dvodelne izrade, čine ga nekompatibilnim za autopunjače na samohodnim haubicama. Zato je uveden skraćeni jednodelni Krasnopol-M, koji se radi za kalibre 152 mm i 155 mm (KM-2). Njegova dužina je 955 mm, masa projektila 44,6 kg, masa bojne glave 20 kg, od čega je masa eksplozivnog punjenja 6,2 kg. Domet ovog projektila je preko 17 km. S laserskim obeleživačem Malahit moguće je dejstvo ovog projektila protiv tenkovskih ciljeva danju na udaljenostima do 5 km i noću do 4 km.



Projektil Krasnopol-M



Projektil 152 mm Krasnopol 9K25

Analogan projekat u Ukrajini je projektil Kritnyk, čija je masa oko 48 kg (uključujući 8 kg eksplozivnog punjenja), dužina 1200 mm a domet iznosi više od 20 km.

Ruski KBP je ranije nudio za artiljerijske aplikacije ekvivalentni projekat Santimetr-M, ali se do sada nije pojavila značajnija potražnja.



Projektıl Kırtnyk

U nekim drugim zemljama težište je bilo na razvoju nove generacije dalekometnih precizno vođenih artiljerijskih projektila tipa „opali i zaboravi“ koji se ne oslanjaju samo na vođenje od strane trećih lica. U Francuskoj je kompanija Giat Industries preduzela početne koncept studije za vođene artiljerijske projekte velikog dometa (LR-60 km-plus) i veoma velikog dometa (85 km-plus) po programu Pelikan. U 2004. godini formiran je evropski Impaqt konzorcijum koji čine kompanije BAE Systems, Bofors, Giat, MBDA France, MBDA UK i QinetiQ, a koji trenutno radi po dva ugovora. Prvi je za Francusku, a odnosi se na definisanje studije za projekte Mk1, kojima bi se zadovoljili uslovi za municiju MPPA (Munition d'artillerie à Portée et Precision Accrués) za koju se traži domet od 60 km i da nosi dva projektila BONUS ili, alternativno, unitarnu bojnu glavu. Drugi, za Ministarstvo odbrane Velike Brita-

nije, predstavlja definisanje studije za podršku programa IFPA (indirect fire precision attack) kojim bi trebalo da se ostvari domet vodenog projektila do 100 km i sposobnost da nosi tri submunicije BONUS. Taj projekat je poznat kao Impaqt Mk2. Impaqt Mk1 i Mk2 treba da koriste zajednički kombinovani inercioni navigacioni sistem INS/GPS, kojim se obezbeđuje tačnost pogađanja do 10 m na svim dometima. Mk1 će postizati povećane domete korišćenjem lakših materijala u kombinaciji s efikasnom aerodinamikom, dok će Mk2 dodatno iskoristiti potisak koji mu obezbeđuju krilca koja se sklapaju unazad i četiri prednje upravljačke površine. Može se očekivati i opcija projektila s graničnim tragačem, datalinkom i raketnom asistencijom kojom bi se ostvarivao domet i do 150 km.



Projektıl Impaqt MK1

Sličan razvoj karakteriše i italijanski program artiljerijskog projektila 155 mm Vulcano. Verzija nevođenog projektila povećanog dometa Vulcano ER, dužine 950 mm, mase 29 kg u cevi, ima maksimalni domet do 50 km kada se ispaljuje iz standardne NATO haubice sa 39-kalibarskom cevi. Ako se ispaljuje iz haubice s 52-kalibarskom cevi i komorom zapremine 23 l (punjenje JBMOU, zona 5), postiže se maksimalna početna brzina od 1150 m/s i dometi do 70 km.

Verzijom vođenog projektila velikog dometa Vulcano LR postižu se dometi do 80 km sa 39-kalibarskom standardnom cevi, ili više od 100 km ako se ispaljuje iz haubice PzH2000 s 52-kalibarskom cevi. Verzija LR, kao i ER, koristi multifunkcionalni upaljač s blizinskim, visinskim, udarnim i tempirnim režimima. U njega je ugrađena i inerciona mer-na jedinica (IMU) u kombinaciji s GPS prijemnikom, s kojima bi trebalo da se ostvari cirkularna greška od 20 m i manje, čak i pri GPS ometanjima u završnoj fazi.



Prikaz vođenog projektila Vulcano LR

Ugradnjom poluaktivnog laserskog tragača (po izboru korisnika) cirkularna greška bi mogla da se smanji do 3 m. Završetak razvoja i industrijska proizvodnja ovih projektila očekuje se do 2011. godine.

Prvi GPS vođeni artiljerijski projektil koji će ući u operativnu upotrebu, biće Excalibur XM982, koji američka artiljerija treba da dobije u martu 2006. godine.

Excalibur je razvijan od januara 1998. godine, prvo samo u kompaniji Raytheon, a današnji tim uključuje i kompanije BAE System i Bofors Defence Systems kao prve ugovarače. Projektil Excalibur je projektovan tako da u početnom delu svoje trajektorije ima balističku putanju, a zatim, posle najvećeg uspona, dobija navigacione signale putem GPS prijemnika u nosu, a na preostalom delu

putanje leti koristeći GPS/INS-četroosni sistem upravljanja, sve dok ne zauzme položaj za vertikalni napad na odabrani cilj. Njegov integralni upaljač ima mogućnosti visinske eksplozije, tačkaste eksplozije i tempirne režime.

Prema švedskim zahtevima Excalibur je opremljen i vezom koja mu omogućava ažuriranje podataka o cilju u toku leta.



Projektil Excalibur XM982

Sa samohodnom haubicom 6×6, 52-kalibarskim oruđem 155 mm, očekuje se da će dometi ovih projektila biti do 60 km. Sistem punjenja na haubici biće potpuno automatizovan, a postojaće i mogućnost daljinskog upravljanja upaljačem.

Planiranje razvoja projektila Excalibur teklo je u tri iteracije: Block I sa unitarnom HE bojnom glavom; „pametna“ varijanta Block II sa senzorskim municijskim punjenjem, i Block III „prefinjena“ verzija sa dodatnim poluaktivnim laserskim tragačem kojim se smanjuje cirkularna greška do 3 m i manje.

Za sada je finansijski pokriven samo projektil iz faze Block I. Radi brzog uvođenja u upotrebu odlučeno je da se Block I izrađuje po fazama razvoja ili „spirala-

ma“. Prva varijanta (Spirala 1a-1) za sada je osposobljena za maksimalno četiri pogonska modula MACS i cirkularnu grešku do 10 m bez GPS ometanja. Na nje mu nije ugrađen gasni generator u repnom delu, pa mu je domet smanjen do 22 km.

Verzija s potpunom specifikacijom (Spirala 1a-2), čija proizvodnja treba da počne krajem 2006. godine, biće kompatibilna sa pet-modulnim punjenjem MACS (Zona 5) i imaće GPS prijemnik otporan na ometanje (SAASM).

Mada još nije sasvim definisano, planira se dalje uvođenje varijante projektila s unitarnom bojnom glavom, Spirala 1b izvedena iz Block I, koja bi trebalo da bude jeftinija za proizvodnju i sa usavršenim softverom radi poboljšanja manevarskih sposobnosti.

Izrada sistema i razvoj Spirale 1b treba da započne u septembru 2006. godine i da traje pet godina.

M. K.

<<<◇>>>

SISTEM PVO SPADA-2000*

Italijansko vazduhoplovstvo objavilo je da je 14. decembra 2005. godine uspešno izvršilo seriju vatrenih ispitivanja svog modernizovanog sistema PVO Spada, koji koristi rakete zemlja-vazduh Aspide. Serijom poboljšanja sistem je doveden do konfiguracije Spada-2000. Tehnološka poboljšanja usmerena su na hardver i softver sa sistemskim C2 okruženjem, dodavanjem značajnih funkcija, kao što su planski i trenajni zadaci. Poboljšanja su obuhvatila i regulisanje nivoa zagađenja.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.



Sistem Spada 2000

Novi servo-upravljački softver sada sadrži visokosofisticirane algoritme kojima se znatno poboljšava pokretljivost lansera. Takođe, i generatori u elektrosistemima su poboljšani, kako bi se olakšalo održavanje i udovoljilo današnjim bezbednosnim regulativama.

Vatrena ispitivanja obavljena su na vojnom poligonu PISQ (Poligone Interforze Salto di Quirra) na Sardiniji. Baterija Spada je pri ispitivanju imala dve operative jedinice, od kojih je svaka imala po dva lansera sa po šest raketa Aspide spremnih za dejstvo.

Osam raketa bilo je ispaljeno u najrazličitijim operativnim uslovima protiv niskelećih ciljeva. Ispitivanja je i simultana upotreba dva lansera i automatska uzastopna upotreba jednog lansera po istom cilju.

Da bi se demonstrirala ukupna pouzdanost modernizovane baterije Spada, kompletan tok vatrenih ispitivanja izvršen je brzo (za oko 1 sat). Optimalna operativna poboljšanja i rakete Aspide i sistema Spada potvrđena su ovim vatre-nim ispitivanjima.

Sistem Spada sada ima i konfiguraciju koja omogućava brz utovar-istovar na transportnim avionima C-130J Hercules.

M. K.

<<<◇>>>

SISTEM ZA PROGNOZU VREMENA NA BOJIŠTU TacSAS*

Započeta su preliminarne ispitivanja sistema baziranog na satelitskim informacijama, koji bi bio alternativa meteorološkim balonima koji se koriste za potrebe artiljerije na bojištu. Taktički satelitski sistem TacSAS (Tactical Satellite Acquisition System) razvila je kompanija Sea Space Corporation.

Umesto atmosferskih vertikalnih profila (koji se odnose na podatke o temperaturi, pritisku, vlazi i vetru u funkciji od visine), normalno prikupljenih senzovima pričvršćenim na balonima, sistem TacSAS obrađuje podatke poslate sa orbitalnih vremenskih satelita radi dobijanja sličnih atmosferskih profila. To se ostvaruje bez mukotrpnog ljudskog rada, odraza i karakteristika vidljivosti prisutnih kod balističkih sistema. Sposoban je da obezbeđuje profile informacija po celoj putanji projektila povećanog dometa, umesto samo sa jednog mesta na kojem je izbačen balon, što je i iz taktičkih razloga mnogo bolje.

Geosinhroni vremenski sateliti, koji nude kontinuirano osmatranje celokupne hemisfere, u operativnoj upotrebi su od 1975. godine. Međutim, priroda podataka koju oni obezbeđuju limitirana je za taktičku vojnu primenu zbog niskog kvaliteta slike koju obezbeđuju, kao i zbog toga što daju malo ili nikakve informacije o vertikalnoj distribuciji atmosferskih parametara, kao što su temperatura i gustoća. Zbog toga su na satelitima ugrađivani instrumenti koji su pomogli da se nadoknadi taj nedostatak. To su du-

binomeri koji, da bi izdvojili vertikalni profil, koriste individualne osobine gasova raspršenih u atmosferi (svi imaju različitu visinsku distribuciju, različite talasne dužine i osetljivost na IC/mikrotalasno zračenje u odnosu na pritisak i temperaturu). IC dubinomeri mogli bi da se koriste za taktičke aplikacije, kao što su artiljerijsko nišanje, ali ostaju nepogodni za operacije po svakom vremenu, jer kapljice vode i kristali leda stvaraju za njih neprovidne oblake. Ti nedostaci ne odnose se na mikrotalasne dubinomere, od kojih se neki već primenjuju na američkim satelitima.

Zemaljska jedinica TacSAS ima oblik portabl zemaljske satelitske stanice, čija je masa 30 kg i visina 80 cm. Njegova zatvorena antena ima prečnik 45 cm. Pripadajući laptop računar programiran je prema planiranim prolascima satelita i aktivira antenu da prima podatke koje šalje satelit u određeno vreme. Posle obrade, rezultati se mogu prikazati u formi vidljivog na displeju ili se formatira podatak pogodan za slanje direktno ka artiljerijskom računaru za upravljanje vatrom.

Podatak je dostupan u veoma širokoj zoni, jer je širina zone koju satelit „vidi“ od 1000 do 2000 km, i dvostruko je veća u smeru sever-jug.

Jedno od ograničenja satelitskih meteoroloških podataka je njihova cirkulacija, jer polarni-orbitalni satelit, prolazeći preko bilo koje date lokacije četiri puta na dan, stvara šestočasovni obnavljajući interval. Međutim, povećanjem broja satelita ti intervali će se smanjivati na oko dva sata, a veruje se da će armija SAD uskoro doći i do 30-minutnog intervala kada bude lansiran satelit NPOESS (National Polar-Orbiting Environmental Sa-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.

tellite System) 2007. godine. Mikrotalassni dubinomer na njemu imaće poboljšanu zemaljsku rezoluciju (20 km).



Prijemnik TacSAS s pripadajućom elektronskom jedinicom i laptopom za satelit NOAA

Prva terenska ispitivanja TacSAS izvršena su u Armijskom centru zemaljske artiljerije Fort Still, u aprilu 2004. godine, a nastavljena su 2005. godine.

Nedavna poboljšanja u obradi podataka sistema TacSAS sadrže formiranje mreže parametara okoline koji utiču na izradu vertikalnih profila. To su tip lokalne vegetacije (npr. džungla, pustinja i dr.), ugao Sunca i godišnje doba, kao i lokacija zemlje.

M. K.

<<<◇>>>

PRVI SLOVAČKI NATO-KOMPATIBILNI AVIONI MiG-29*

Slovačkom vazduhoplovstvu su decembra 2005. godine isporučena prva četiri borbena aviona MiG-29 čija su poboljšanja kompatibilna sa NATO sistemima.

Prema ugovoru sa RSK MiG iz Rusije, ukupno će se modernizovati deset MiG-29 s jednim sedištem i dva trenažna

MiG-29UB. Pored RSK MiG u modernizaciji će se angažovati i kompanije Rockwell Collins i BAE Systems, kao i Vazduhoplovni remontni zavod iz Trenica u Slovačkoj. Ukupni troškovi modernizacije iznose 69,6 miliona USD.

NATO-kompatibilnost obuhvata opremu za komunikacije, navigaciju i identifikaciju IFF (identifikacion friend-of-foe), kao i poboljšanje kokpita radi smanjenja opterećenja pilota i povećanja efikasnosti.

Jednosedi MiG-29 oprema se savremenim kombinovanim IFF sistemom AN/APX-113 koji isporučuje kompanija BAE Systems. Ugrađuje se četvorodelni niskoprofilni elektronski antenski sklop na trupu ispred kokpita i peti antenski element ispod nosa. Modernizovani avion ima i radio AN/ARC-210, prijemnik AN/ARN/1472 VOR/ILS i digitalni TACAN prijemnik AN/ARN/153. Svi su proizvedeni u kompaniji Rockwell Collins, koja oprema i zemaljske signalne stanice. Sistemi avionike povezani su putem veze za prenos podataka MIL-STD-1553B.

Revidirani kokpit ima novi kolor multifunkcionalni displej MFI-54 i novi upravljački panel PUS-29. Oba su proizvedena u Rusiji. Svi kalibrisani indikatori prevedeni su s metričkog na britanski sistem merenja.



Modernizovani MiG-29

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.

Prva tri slovačka pilota prolaze intenzivan trenaž na modernizovanim dvosjednim avionima MiG-29UB kako bi kasnije postali instruktori za dalju obuku. Preostalih osam modernizovanih aviona treba da se isporuči tokom 2006. godine. Piloti modernizovanih aviona MiG-29 će za početak leteti oko 80 časova godišnje, eventualno distižući i standardnih 110 časova leta za godinu dana.

M. K.

<<<◇>>>

STRELJAČKO NAORUŽANJE – STANJE I TRENDVI*

U toku poslednjeg kvartala prošlog veka, NATO se oslanjao na dve različite vrste municije: 7,62×51 mm i 5,56×45 mm. Međutim, u armiji SAD žele da zamene celokupnu familiju oružja 5,56 mm novom opremom, što je prilika da se još jednom analizira takav izbor. Očigledno je da pitanje efikasnosti zrna 5,56 mm i određene sugestije u vezi s tim ne treba ignorisati. Odluka SAD utiče narednih nekoliko meseci i na određivanje kalibra streljačkog naoružanja NATO-a u dalekoj budućnosti.

Novo streljačko naoružanje za 21. vek

Armija SAD koristi dve posebne familije oružja kalibra 5,56×45 mm. Jednu grupu čine puške M16 i puške izvedene u obliku karabina M4, a drugu odeljenjsko mini automatsko oružje M249. Puške M249 su licencno proizvedene modifikovane verzije veoma uspešne belgijske la-

ke automatske puške FN Herstal Minimi, koje su nabavljene osamdesetih godina, sada su istrošene i potrebna je njihova zamena. Takođe, armija SAD odlučila je da zameni i familiju pušaka M16/M4.

Stalna potraga za efikasnijim pešačkim oružjem dovela je devedesetih godina do koncepta visokoeksplozivnih fragmentacionih zrna malog kalibra, namenjenih da eksplodiraju iznad cilja, dozvoljavajući tako napad i na vojnike iza zaklona. Studije su pokazale da je na taj način došlo do naglog poboljšanja efikasnosti vatre streljačkog oružja. Radi obezbeđenja da zrno eksplodira u precizno utvrđenoj tački uvedene su i neke sofisticirane tehnologije. Uključen je laserski daljinomer u kompletu sa balističkim računarom povezanim sa nišanima, što je znatno uticalo na preciznost oružja. Računar obezbeđuje i podatke koji se elektronski šalju do vremenskog upaljača, tako da zrno detonira tek nakon prelaska određenog rastojanja.

Za korišćenje novih tehnologija inicirana su dva različita projekta oružja. Jedan je savremeno kolektivno oružje kalibra 25 mm, pod oznakom XM307. Drugo je bila selektivna jurišna puška, oznake XM29, predviđena za dejstvo s rane vojnika, s poluautomatskim lanserom granata kalibra 20 mm i ugrađenom kompletnom, lakom puškom 5,56 mm kao pomoćnim oružjem.

Projekat XM29 zapao je u teškoće kada se videlo da je nemoguće smanjiti njegovu masu ispod 8,2 kg (18 lb), a cilj je bio 6,8 kg (15 lb). Zbog toga je donesena odluka da se nastavi sa odvojenim razvojem puške i lansera granata, povećavajući pri tom i kalibar granata na 25 mm, radi poboljšanja efikasnosti protiv vojnika unutar oklopa vozila.

* Prema podacima iz Jane's Defence Review, 5. oktobar 2005.

Razvoj lansera granata nastavljen je pod oznakom XM25, dok je elemenat puške redefinisana kao XM8.

Puška XM8 konstruisana je na osnovu puške Heckler & Koch G36, uz razne modifikacije koje je zahtevala armija SAD. Ovaj projekat nosi mnogo manji rizik nego projekat lansera granata, blizu je završetka i već su planirana brojna trupna ispitivanja. XM8 je modularne konstrukcije, s cevima različite dužine i mase, koje se mogu međusobno zamenjivati u skladu s taktičkom situacijom, pa se tako dobija karabin, kompaktni karabin, snajper ili automatska puška (s dugom cevi). Ipak, odlučeno je da se u program uključi varijanta pojasnog lakog automata, umesto automatske puške, radi zamene M249. S obzirom na tu promenu, sledeći konkurs se odnosio na novu familiju oružja umesto izbora XM8.

Paralelno s tim, za potrebe američkih snaga za specijalne operacije razvijene su i usvojene puške SCAR-L i SCAR-H.

Promena municije

Nijedan od pomenutih razvoja ne sugerise promenu postojeće NATO-municije. Zvanični izveštaji iz Iraka govore da je municija 5,56 mm zadovoljavajuća, mada je bilo i suprotnih mišljenja.

Interesovanje za municiju 5,56 mm je smanjeno, jer se sve više koristi za kratkocevni karabin M4 umesto puške M16. Naime, karabin je znatno pogodniji za ograničeni prostor unutar vozila i u dejstvima u urbanim sredinama.

Problemi se javljaju zbog toga što zrno 5,56 mm gubi mnogo od svoje ubojnosti, jer se (poput svih zaoštrenih zrna) prevrće od udara i povećava kanal pro-

strelnog puta i pri prevrtanju na cilju često se rasprskava i gura fragmente kroz telo povećavajući širinu rane.

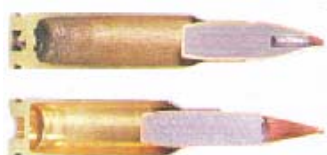
Međutim, sa standardnim NATO zrnom od 4 g SS109, do rasprskavanja dolazi samo pri velikim brzinama udara. Za cevi dužine 508 mm kod puške M16, fragmentacioni učinak je izražen na rastojanjima od 150 m do 200 m, dok kratka cev (368 mm) kod M4 smanjuje granice fragmenata na 50 m do 100 m. Zbog toga je iznenađujući bio predlog da standardna verzija od XM8 bude karabin sa cevi dužine samo 318 mm, kod koje je fragmentacija verovatna samo na bliskim rastojanjima, ukoliko je uopšte i bude.

Logičan odgovor na potrebu za kompaktnim oružjem s dugom cevi, da bi se sačuvala efikasnost, jeste prilagođavanje puške bulpap (bullpup) konfiguraciji, što neke armije uveliko rade. Kineska puška OBZ-95, izraelska Tavor TAR-21, singapurska SAR-21 i belgijska FN F2000 nedavno su objedinjene u francusku FAMAS, britansku SA80 i veoma uspešnu austrijsku pušku Steyr AUG. Armija SAD, ipak, ima suprotan stav po pitanju bulpap puške, i isključuje taj pristup za povećanje efikasnosti.

Maksimizacija ubojnosti

Grupa SOCOM promovisala je razvoj nove municije koja može da zameni municiju 5,56 mm. To je municija specijalne namene 6,8×43 mm Remington SPC (Special Purpose Cartridge), koja koristi veća i teža zrna (7,45 g), kojima je ostvarivana veća efikasnost na problemnim ispitivanjima, čak i kada su ispaljivana iz cevi karabinskih dužina. Ona je specijalno izrađena da maksimizira uboj-

nost u okviru normalnog dometa puške do 300 m, mada su trajektorija i završni efekti suparničkog zrna 7,62×51 mm M80 na preko 500 m.



Presek metka 6,8 mm Remington SPC (gore) i 6,5 mm Grendel (dole)

Drugi pristup bio je uvođenje nove municije 5,56 mm Mk262 u ograničenom broju, s težim zrnom (5 g), koja je prvenstveno bila namenjena za gađanje na velikim rastojanjima. Ona ne samo da ima bolje performanse dometa od zrna SS109/M855, već i njeni fragmenti imaju veći domet. Međutim, na 600 m preostala energija zrna 6,8 mm je preko 40% veća od one kod Mk262. Uprkos toj energiji trzanje koje proizvodi zrno 6,8 mm je mnogo manje u poređenju sa 7,62×51 mm, a municija je dovoljno kompaktna za korišćenje u adaptiranom oružju 5,56 mm. U Iraku su, navodno, s modifikovanom puškom M16 postignuti impresivni rezultati, mada je to teško dokazati.

Novi konkurent

Nedavno se kao konkurent, uz zrno 6,8 mm, pojavio i metak 6,5 mm Grendel. To je pokušaj da se odmere vrednosti i metka 6,8 mm, iako su njegove performanse dometa dovoljno dobre da mogu potpuno da zamene municiju 7,62×51 mm.

Municija 6,5 mm Grendel ima kraću (39 mm) i deblju čauru i duže zrno malog čeonog otpora, koje zadržava svoju brzinu do velikih dometa.

Pri testiranju zrna mase 9,3 g, ona su zadržavala brzinu i energiju na udaljenostima od 1000 m, čime su dokazala superiornost nad standardnim zrnima 7,62 mm M80. Međutim, optimalan izbor za metak opšte namene bilo bi zrno mase od oko 8 g, koje konkuriše putanji metka M80. Metak 6,5 mm Grendel je u nešto daljoj fazi razvoja od metka 6,8 mm Remington SPC, ali nije intenzivno ispitivan.

Jedno od ograničenja pri izradi snažnijeg zrna jeste povećanje trzanja. Međutim, trzanje od zrna 6,8 mm ili 6,5 mm slično je zrnju 7,62×39 mm kod automata AK-47 koji se uspešno koristi preko 50 godina, tako da se može smatrati sasvim odgovarajućim. Pored toga, čaura je malo šira, pa smanjuje kapacitet magacina, tako da okvir slične veličine prima standardnih 30 metaka 5,56 mm, ili 28 metaka 6,8 mm ili 25 metaka 6,5 mm. Treći nedostatak jeste što je metak u celini veći, ali su ukupni efekti veći s manjim brojem zrna.

Što se tiče razvoja u evropskim zemljama izvan NATO-a u Rusiji je, na osnovu ranije reputacije municije 5,56×45 mm, posle nekih tridesetak godina, uveden metak 5,45×39 mm za AK-74. Neki korisnici daju prednost starom metku 7,62×39 mm, koji se još nudi za nova oružja. Najnovija ruska puška 5,45×39 mm AN-94 koristi kompleksan mehanizam za ekstremno brzo dvostruko opaljenje, kako bi se ostvario efekat da se na normalnim dometima sa dva zrna pre pogodi cilj nego sa jednim.



Modularni sklopovi puške XM8



*Municija (slevo nadesno):
7,62×51 NATO; 7,62×39 ruski; 5,58×42 kineski;
5,43×39 ruski; 5,56×45 NATO;
6,8×43 Remington i 6,5×38 Grendel*

Kina je nedavno uvela metak 5,8×42 mm za svoje puške QBZ-95 namenjene elitnim jedinicama, za koje se tvrdi da imaju bolje performanse dometa i od 5,45×39 mm i od 5,56×45 mm, mada su razlike marginalne, pošto je metak 5,8 mm, uprkos većem kapacitetu čaure, punjen do manjeg pritiska.

Svaka promena u izboru vezana je za nova ulaganja u postojeće sisteme naoružanja i municije. Međutim, jedno je sigurno, ukoliko se SAD odluči za nabavku nove familije streljačkog oružja, za koju god se municiju odluče, ona će biti u upotrebi u nekoliko narednih decenija.

M. K.

<<<◇>>>

BEZBEDNI KOMUNIKACIONI SISTEM SECOQC*

Evropska Unija će u naredne četiri godine investirati 11 miliona eura u razvoj sistema za bezbedne komunikacije na bazi kvantne kriptografije SECOQC (Secure

* Prema podacima sa:
<http://www.secoqc.net/html/objectives.html> i
<http://security.itworld.com/4361/040517euechelon/pfindex.html>

Communication based on Quantum Cryptography), sa ciljem da se dode do sistema koji može da kreira i distribuiira neuhvatljive ključeve kriptovanih poruka.

Ako bude uspešan, projekat će proizvesti kriptografski apsolutno neuhvatljiv kôd i tako sprečiti pokušaje prislušivanja sistemima kakav je ECHELON, koji presreće elektronske poruke u korist obaveštajnih službi SAD, Velike Britanije, Kanade, Novog Zelanda i Australije.

Echelon je poverljiva, širom sveta rasprostranjena signalna obaveštajna i analitička mreža koja može da uhvati radio i satelitske komunikacije, telefonske pozive, faksporuke i elektronsku poštu bilo gde na svetu, kao i da vrši njihovu automatsku analizu i sortiranje. Smatra se da Echelon može svaki dan da presretne (uhvati) preko tri milijarde komunikacija.

Kvantna kriptografija koristi fizička svojstva svetlosnih čestica (fotona) za kreiranje i prenos binarnih poruka. Ugao vibracija fotona kada putuje kroz kosmički prostor, odnosno njegova polarizacija može da se iskoristi za prikaz 0 i 1 u sistemu koji su prvi osmislili naučnici Charles H. Bennett i Gilles Brassard 1984. godine. Prednost ovog sistema jeste što bilo koji pokušaj presretanja fotona mora da se sukobi sa njegovom polarizacijom i zbog toga može da bude otkriven. Presretnuti ključ trebalo bi da bude odbačen i umesto njega kreiran novi za upotrebu.

Novi sistem, u stvari, nije namenjen za izmenu podataka već za bezbedno generisanje i izmenu šifrovanih ključeva. Šifrovani podaci bi trebalo zatim da se prenose uobičajenim metodama. Šifrovane poruke mogu danas da se prenose pomoću kvantne mehanike optičkim kablovima na desetine kilometara. Namera evropskog

projekta jeste da se taj domet proširi, a u kombinaciji s drugim komponentama trebalo bi da bude i ekonomičan za primenu.

U projekat će biti uključeni eksperti za razvoj kvantne fizike, kriptografije, softvera i mreža sa univerziteta, istraživačkih instituta i privatnih kompanija iz Austrije, Belgije, Britanije, Kanade, Češke Republike, Danske, Francuske, Nemačke, Italije, Rusije, Švedske i Švajcarske.

Cilj je da se za četiri godine dođe do tehnologije za SOCOQC, ali će verovatno biti potrebno još tri do četiri godine za njegovu komercijalnu upotrebu.

Tehnološki izazov s kojim će se suočiti projekat biće i stvaranje senzora sposobnih da zapisuju dolazeće fotone velikom brzinom i fotonskih generatora koji bi proizvodili pojedinačne fotone, jer ako su dva ili tri fotona otpuštena istovremeno, oni postaju osetljivi na presretanje.

Smatra se da bi sistem trebalo da ima globalni karakter i za sve korisnike koji imaju potrebu za bezbednim komunikacijama, a ne da se ograniči samo na više državne službenike i vojsku.

M. K.

<<<◇>>>

IZVIDAČKI SISTEM GBAIT*

Ministarstvo odbrane Velike Britanije zaključilo je ugovor sa kompanijom Selex S&AS (Selex Sensors and Airborne Systems) za razvoj izviđačkog sistema GBAIT (Ground Based Active Imaging Technology), koji koristi osvetljavajuću lasersku tehnologiju za identifikaciju ciljeva na zemlji.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.



Eksperimentalna oprema aktivnog laserskog borbenog identifikacionog sistema

Sistem GBAIT koristi laserski daljinomer, bezbedan za oči, koji osvetljava udaljeni cilj sa „pokrivenim“ svetlom koje može da se vidi specijalnom kamerom za registrovanje svetla odbijenog samo od cilja.

Sposobnost sistema GBAIT da ignoriše neželjene refleksije i fokusira se na cilj osnova je novog IC detektora, nazvanog Swift, koji je razvila kompanija Selex. Taj tranzistorski detektor može da pojača veoma niski nivo signala, kao i da se aktivira za nekoliko delića sekunde. Do danas je ta tehnologija razvijana za primene na avionskim nišanskim uređajima, za koje su se zahtevali ekstremno veliki dometi identifikacije.

Smatra se da GBAIT može znatno da poboljša mogućnosti identifikacije ciljeva i za kopnene snage. O programu demonstracije i aplikacije te tehnologije na zemaljske uslove kompanije će uskoro informisati Ministarstvo odbrane Velike Britanije.

Ubuduće će jedinice koje izvođe dejstva na kopnu moći da identifikuju ciljeve na mnogo većim rastojanjima, po lošim uslovima i noću, i sve to znatno bolje nego do sada. U stvari, biće u stanju da identifikuje ciljeve na udaljenostima na kojima se samo opažaju.

M. K.

<<<◇>>>

POLJSKA SNAJPERSKA PUŠKA ALEX*

Poljska istraživačka i razvojna kompanija OBR SM obelodanila je, pod nazivom Alex, prototip nove bulpap snajperske puške 7,62×51 mm NATO (.308 Winchester).

Puška je opremljena slobodno-plovajućom teškom cevi, dužine 68 cm, i neobaveznom gasnom kočnicom na ustima cevi koja smanjuje trzanje za oko 30%. Puni se okvirom za 10 metaka sa puške SIG Sauer, mada bi standardni proizvodni model trebalo da se izrađuje sa okvirom finske puške TRG-21/22, koja se koristi u oružanim snagama Poljske.



Snajperska puška 7,62×51 mm Alex

Masa puške iznosi 6,8 kg, a sa kočnicom na ustima cevi njena dužina je 1,4 m. Ovim puškama treba konačno da se zamenе ne samo stare sovjetske puške SWD (i oko 100 primeraka SWD-M modifikovanih u Poljskoj), već i da se zaustave dalje nabavke finskih pušaka TRG-21/22 koje se danas koriste u poljskim kopnenim snagama i policiji kao i u Iraku.

Razmatra se i druga varijanta puške Alex (.338 Lapua) koja bi se mogla ponuditi specifičnim korisnicima.

M. K.

<<<◇>>>

RAZVOJ BORBENOG VOZILA MMEV*

Kanadska armija ulaže dodatnih 750 miliona dolara (636 miliona USD) u projekat razvoja i nabavke 33 borbenih vozila MMEV (Multi-Mission Effects Vehicles) koja bi se koristila za borbu protiv ciljeva na zemlji i u vazдушnom prostoru.

Pri neutralisanju ovakvih ciljeva ključnu ulogu imaće primena sistema i tehnologije ADATS (Air Defence Anti-Tank Systems). Serijska proizvodnja vozila MMEV očekuje se početkom 2010. godine.

Kanadska armija već je nabavila 36 sistema ADATS krajem osamdesetih godina prošlog veka i sada planira nabavku usavršenijih sistema. Cilj je da se poboljša mogućnost procene situacije i uništenja ciljeva na zemlji, poput oklopnih borbenih vozila i bunkera, kao i aviona, helikoptera, bespilotnih letelica i krstarećih raketa.

Kupola i sistemi ADATS biće preneti sa šasije M113A2 i integrisani na oklopno vozilo LAV III. Sistemi za komandovanje, upravljanje i vezu biće poboljšani u skladu s armijskim zahtevima za obaveštavanje, osmatranje, zahvat cilja i izviđanje (ISTAR). Namerava se da se na MMEV uvede zajednički armijski komunikacijski sistem i stvore mogućnosti da se razmenjuju informacije i sa vazduhoplovnim i mornaričkim snagama u združenim operacijama.

MMEV će biti u mogućnosti da otvara vatru precizno vođenom municijom na rastojanjima do 8 km.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 26. oktobar 2005.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 5. oktobar 2005.



Višenamensko borbeno vozilo MMEV

Biće potrebno da se MMEV transportuje avionom C-130, pa se vrše i određena prilagođavanja. Moguće je da će pre utovara u avion morati da se skinu neki moduli ili elementi, a na bojištu će se ponovo ugraditi.

Neki analitičari su zbunjeni odlukom da se tako mnogo investira u 20 godina stari sistem, koji je, po njima, uz postojeće savremene topovske i raketne sisteme suvišan i nepotreban. Drugi smatraju da je u fazi kada se armija čvrsto opredelila za podršku mirovnim operacijama, potreba zaštite jedinica od krstarećih raketa, bespilotnih letelica i protivničkih aviona neophodna, pa je i ovaj zahtev minimalan.

M. K.

<<<◇>>>

BORBENO VOZILO PEŠADIJE CM-32 YUNPAO*

Tajvan napreduje ka serijskoj proizvodnji svog oklopnog borbenog vozila pešadije 8×8 CM-32 Yunpao. Od 2007. godine trebalo bi da se proizvede 1400 ovih vozila. Novo oklopno borbena vozila pešadije CM-32 zamenice dosadašnja tri tipa oklopnih transportera: američke gusenične M113, oklopni transporter CM-21 i lako oklopno vozilo 4×4 LAV-150 S.

Do sada su proizvedena četiri prototipa. Svi, osim jednog, opremljeni su kupolom General Motors M242 Bushmaster sa topom kalibra 25 mm. Moguće su varijante oklopnog transportera, komandnog vozila, lansera raketa zemlja-vazduh, jurišnog vozila 90/105 mm, inženjerskog vozila, sanitetskog i kao minobacačke platforme.

Tajvan je u pregovorima s izraelskom firmom Soltam Systems za nabavku kompjuterizovanog autonomnog minobacačkog sistema 120 mm CARDOM (Computerised Autonomous Recoil Rapid Deployed Outrange Mortar). Sistem CARDOM obezbeđuje kružno kretanje minobacača za 360°, režim vatre od 12 do 15 zrna/min i do met od 7,2 km. U vozilo je ugrađen dizel motor snage 331 kW i nezavisno ovetšanje. Masa vozila iznosi 22 000 kg, maksimalna brzina 100 km/h, a autonomija kretanja 800 km. Dužina vozila je 7,4 m a širina 2,7 m.

Vozilo poseduje i modularni dodatni oklop s prednjim nagibom od 60° i bočnim nagibom 30°.

Vozač ima periskopske i termovizijske uređaje za osmatranje. Vozilo CM-32 može se upoređivati s kanadskim vozilom General Motors 8×8 LAV3, koje je učestvovalo u armijskom konkursu. Ranije je ORDC (Ordnance Research and Development Centre) proizvelo prototip CM-31 oklopnog borbenog vozila pešadije 6×6, ali planovi za serijsku proizvodnju su propali zbog razvojnih problema.

M. K.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 12. oktobar 2005.

<<<◇>>>

LAKOOKLOPLJENA VOZILA FIRME RAFAEL*

Izraelska firma Rafael nudi Armiji i Marinskom korpusu SAD dva projekta novih lakooklopljenih vozila opremljenih zaštitnim eksplozivnim reaktivnim oklopom ERA (explosive reactive armour). To su Cougar (puma) i International, a urađeni su prema zahtevima armije i Marinskog korpusa i na osnovu iskustava stečenih u Iraku i na Zapadnoj obali.

SAD su poručile 122 vozila 4×4 i 6×6 Cougar, koja mogu da prihvate po 12 osoba, da izdrže detonaciju improvizovanih eksplozivnih naprava ispod svog oklopa, a opremljeni su i pasivnim oklopom koji obezbeđuje zaštitu od vatre iz lakog

oružja. Oprema s oklopom ERA, koju je dodao Rafael, obezbeđuje zaštitu i od oružja većih kalibara i raketnih granata.

Ukupna masa vozila 6×6 Cougar opremljenog oklopom ERA samo je 17 t. Ističe se da se na vozilo veoma lako može montirati i daljinski upravljana oružna stanica Katlanit. Za razliku od vozila Cougar, koje je izrađeno kao monoblok, vozilo International sastoji se od šasije 4×4 iznad koje je sklopljena pasivna oklopna kapsula (kabina) u koju može da se smesti 6 do 8 osoba, a oko nje je, radi povećanja zaštite, dodata modularna obloga sa oklopom ERA.

M. K.

<<<◇>>>

SISTEM AKTIVNE ZAŠTITE CICM*

Kompanija BAE Systems uspešno je završila pokretna ispitivanja svog modularnog aktivnog sistema za zaštitu od nadolazećih raketnih granata CICM (Close-In Countermeasure). Pre toga, u septembru 2004. godine, uspešno su izvršena stacionarna ispitivanja, kada je sistem CICM bio montiran na borbenom vozilu Bradley.

Sistem CICM je razvijen za samo dve godine, koristeći unutrašnje istraživačke i razvojne mogućnosti, kao jeftino i kratkoročno rešenje za borbu protiv granata RPG u Iraku.

Sistem CICM sadrži: sistem pasivnog otkrivanja opasnosti i podsisteme aktivnog radarskog praćenja, savremeni procesor za upravljanje vatrom, jednostavni korisnički interfejs i izuzetno brzi lanser koji ispaljuje višestruki snop mu-



Vozila Cougar i International opremljena s oklopom ERA

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 19. oktobar 2005.

nicije. On koristi pasivne senzore i jeftini radar za praćenje i otkrivanje potencijalnih opasnosti na bliskim rastojanjima. Kada je nadolazeća raketa identifikovana, sistem se usmerava i u njenom pravcu lansira baraž od 55 kuglica, formirajući tako čelični štit ispred opasnosti, udaljen 10 metara od šticevog vozila.

Budući da su kuglice projektovane tako da brzo gube energiju, kolateralna šteta za obližnje vojnike ili pasivne posmatrača je minimalna a izbegnuto je i samooštećenje šticeve platforme.

Sistem se obrće za 180° i ima dve dvosmerne jedinice za potpuno polukružno pokrivanje prostora, a u svakom sektoru od 180° moguća su po dva hica.

Sistem može ručno da se popuni neposredno nakon dejstva.

Očekuje se da masa operativnog sistema bude oko 200 kg, a zbog malog trzanja mogao bi da se koristi i na lakim vozilima.

Iz ovog sistema treba da se izvede i sistem za zaštitu helikoptera, koji bi koristio obrtnu platformu za 360° i jednosmerno punjenje.

M. K.

<<<◇>>>

OPREMA ZA BRITANSKE VOJNIKE U AVGANISTANU I IRAKU*

Ministarstvo odbrane Velike Britanije objavilo je asortiman nove opreme za koju se planira da bude standardna za jedinice koje izvođe dejstva u Avganistanu i Iraku. Nastojalo se da se obezbedi komplet prilagođeniji za tamošnje uslove.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 21. septembar 2005.



Novi prsluk britanskog vojnika

Britanska armija je od španske firme Itturi nabavila kožnu i tekstilnu obuću otpornu na toplotu. Don je izrađen od kombinacije gumenog spoljašnjeg sloja i poliuretanskog srednjeg sloja kojima je omogućeno absorbovanje udara i smanjenje mase. Obuća je komfornija od ranijih modela i ima duži rok čuvanja. Oko 28 000 pari je već nabavljeno, a po 14 000 pari se poručuje svakih šest meseci.

Obelodanjen je i novi model prsluka za vojnike, posebno za vozače. Proizvođa ga britanske firme Cooneen, Watts i Stone, a prilagođen je da nosi asortiman opreme sa zamenljivim džepovima za municiju, sirete morfijuma, poljski radio i radio za lične potrebe.

Prsluk zamenjuje svu opremu koja se tradicionalno stavlja oko pojasa, ispred i iza struka. Obezbeđuje se brz izlazak vojnika iz vozila, što pogoduje ratovanju u urbanim sredinama. Ova, za borbu korisna oprema već se od avgusta izdaje vojnicima za upotrebu. To je nov spoj pamuka i poliestera i manje je topao od ranijih. Svaki vojniki dobija po tri, a do sada je već nabavljeno 48 000 komada.

U komplet ulazi i individualni sistem hidracije, koji sadrži tri litra vode i

filter koji odstranjuje brojne bakterije, virus i metale, uključujući E koli b, koleru i dečiju paralizu.

M. K.

<<<◇>>>

USPEŠNO PODVODNO LANSIRANJE RAKETE BULAVA*

Rusija je sa podmornice u Belom moru završila prvo probno podvodno lansiranje nove podmorničke strategijske rakete SS-NX-30 Bulava.

Testiranje, koje je izvršeno 27. septembra 2005 godine, bilo je pojedinačno lansiranje rakete sa podmornice Severne flote Dmitrij Donskoj (NATO oznaka „Tajfun“).

Prema dostupnim informacijama Ruske federalne mornarice, bojna glava koju je nosila raketa Bulava uspešno je pogodila cilj na opitnom poligonu Kura na Kamčatki.

Svrstana u četvrtu generaciju sistema strategijskih raketa, Bulava je predviđena za uvođenje u upotrebu do kraja 2007. godine. Raketa je izrađena na bazi zemaljskog interkontinentalnog balističkog raketnog sistema SS-27 Topol-M i njene adaptacije za lansiranje iz podmornice.

Raketu Bulava razvio je Institut za termalnu tehnologiju iz Moskve. To je raketno oružje na čvrsto gorivo, sposobno za domete od preko 8000 km koje nosi do deset višestrukih nezavisnih raketa. Raketa Bulava namenjena je za opremanje najnovije klase balističke raketne podmornice Projekat 955 Borej, od kojih se dve već grade u brodogradilištu u Severodvin-

sku. Planira se da se prva podmornica, Jurij Dolgorukij porine do kraja 2006. godine, a druga, Aleksandar Nevski, u 2007. godini. Svaka podmornica po Projektu 955 nosiće po 12 raketa Bulava.

M. K.

<<<◇>>>

KONCEPT AUTONOMNOG VOZILA AVANGARD*

Izraelska kompanija Elbit Systems obelodanila je koncept demonstratora autonomnog vozila Avangard (Avantguard) namenjenog za potrebe bezbednosti izraelske granice.

Kao patrolno, osmatračko i izviđačko vozilo, Avangard je razvijan u saradnji sa izraelskim proizvođačem terenskih vozila Tomcar radi izrade autonomne platforme prilagođene za odbrambene potrebe.



Autonomno vozilo Avangard

Avangard je izrađen na bazi šasijske terenskog vozila Tomcar TM27GL, ima pogon na zadnje točkove, pokreće ga motor Daihatsu od 662 kW, i poseduje savremenu robotiku i senzore.

Projekat je raden prema operativnim zahtevima za kontrolu granice, pa nije bi-

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 5. oktobar 2005.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 19. oktobar 2005.

lo potrebno da vozilo ima veliku pokretljivost. Kako je vozilo autonomno, izostao je i dodatni oklop za zaštitu posade, pa nije došlo do povećanja mase. Umesto toga oklopom su zaštićeni osetljivi sistemi unutar vozila.

Avangard je opremljen za različite korisne terete, komunikacijske uređaje, sisteme ometanja i oružne stanice. Drugi sistemi mogu se lako integrisati na platformu, što će zavisiti od zahteva korisnika.

Na nedavnoj izložbi AUSA 2005, održanoj u Vašingtonu, Avangard je prikazan s novom Elbitovom daljinski upravljanim oružnom stanicom 7,62 mm, mada to nije standardna oprema. Iako senzori mogu da rade autonomno, prepoznavanje cilja je kompleksno, tako da daljinski upravljana oružna stanica ne može automatski otkriti i uništiti cilj. Te funkcije rešava operator koji može da utvrdi i uporedi relevantne informacije i odluči kada treba uništiti cilj.

Vozilo je konstruisano s precizno upravljanim funkcijama brzine i okretanja, slično ljudskoj manipulaciji. Inerciona navigacija obavlja se pomoću diferencijalnog GPS sa tri kontrolna nivoa. Od druge opreme tu su čeonja i zadnja kamera i daljinski upravljano postolje s mogućnošću okretanja za 360°, koje se može koristiti za oružnu stanicu ili senzore.

Avangard je opremljen i dvosmernim sistemom veza i nezavisnim sistemom kočenja, koji se aktivira u slučaju prekida veze s komandnim mestom.

Vozilo ima paket senzora za identifikaciju i izbegavanje statičkih i dinamičkih prepreka. Zacrtna zadatke operator može da menja u toku izvršenja zadatka. Avangard je sistem s mogućnostima rada u specijalnim zonama, a predviđeno je da

se integriše s novim izraelskim komandnim sistemom C4I (Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) u sklopu programa digitalizacije armije.

Za sada se pripremaju dva prototipa koji bi bili uvedeni u upotrebu krajem 2005. i početkom 2006. godine.

M. K.

<<<◇>>>

RAZVOJ ROBOTIZOVANIH NAORUŽANIH VOZILA U AUSTRALIJI*

Odeljenje za oružne sisteme Australijske odbrambene organizacije DSTO (Defence Science and Technology Organisation) napreduje u razvoju malih robotizovanih vozila točkaša za taktičke namene na bojištu, uključujući i kao platforme za dopremanje municije do sistema ofanzivnog oružja.

Vozilo s oznakom X-MUTS (eXperimental Multirole Under-vehicle Tactical Scout) jeftino je, upravlja se radiom, robotizovano je i namenjeno da izvršava mnoštvo pomoćnih zadataka u podršci borbe na kopnu, od kojih su neki suviše opasni za sisteme sa ljudskom posadom. To su blisko osmatranje, neutralisanje vozila s artiljerijskim eksplozivnim sredstvima, elektronska borba i odbrana od fiksnih sredstava respektivne vrednosti.

Sistem X-MUTS sastoji se od samopodešavajuće pokretne platforme koju pogone baterijski napajani električni motori. Njima se pokreću nezavisno pogonjeni točkovi, na kojima su visokoprophodni gu-

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 21. septembar 2005.

meni naplatci. Omogućeno je upravljanje vozilom i pri klizanju u toku kretanja.

Raniji prototip vozila bio je konfiguracije 4×4. Međutim, izgleda da je budući razvoj usmeren na verzije 6×6, jer one imaju bolju pokretljivost i stabilnost, kao i veću površinu platforme za prenošenje korisnih tereta.

Vozilo X-MUTS 4×4 ima masu manju od 10 kg, tako da ga može prenositi ljudstvo, a namenski korisni teret može da bude i do 20 kg. Dimenzije za ovu verziju su: dužina 40 cm, širina 30 cm i visina oko 12 cm.

Mogućnosti robota vozila X-MUTS trenutno se proširuju na prenos široko rasprostranjenih dirigovanih mina Claymore. Mina Claymore, čiji je domet 60 m, ugrađena je na platformu sa kamerom i pogađa cilj koji kamera „vidi“. U takvoj konfiguraciji X-MUTS može da se koristi kao jednokratna platforma za direktnu vatrenu podršku. Druge upotrebe, u kombinaciji s minama Claymore, uključuju zasede i neutralisanje poznatih improvizovanih eksplozivnih naprava sa bezbednog rastojanja.

Radi se na razvoju potrebne inteligentne tehnologije koja bi omogućila da se X-MUTS koristi grupno, pri čemu bi jedan operator mogao da vodi i koordinira više jedinica na pojedinačni cilj ili zonu cilja. Robot je dovoljno lak i mali da može da se izbacuje kroz prozor. Kao namenski korisni teret može da se upotrebi ometač mobilnih telefona za korisnike u zgradama, zatim bombe sa suzavcem, osvetljavajuće granate ili akustični zaglušivači radi čišćenja prostorija od ljudstva.

Minijaturna širokouglavna kamera ugrađena je na sredini prednjeg dela i kori-

sti se za navođenje vozila X-MUTS. Vozilo može da se podiže i spušta, što prati i kamera svojom odgovarajućom rotacijom.

Vozilom X-MUTS može da se upravlja pravolinijski ili daljinskim načinom. Kod ovog poslednjeg koriste se snimci video kamera u realnom vremenu koji se šalju nazad do operatora putem bežičnih komunikacija. Uskoro počinje testiranje sistema na bazi optičkih vlakana. Kod daljinskog upravljanja komunikacijska arhitektura, hardver i komponente trebalo bi da ostvare efikasan domet preko 2 km. Komplet standardnih baterija obezbeđuje dejstvo oko 30 minuta, što se dodatnim baterijama može i povećati.



Robot-vozilo s daljinski upravljanom minom Claymore

Razvijen je i pokretni GCS koji se sastoji od malog, na glavi postavljenog displeja, udaljenog od oka 20 do 30 mm, koji operatoru oslobađa obe ruke. Upravljanje je kompaktno, kao kada se rukuje jednom rukom.

Upotrebom standardnih komercijalnih delova obezbeđeno je da X-MUTS bude veoma jeftin, između 3000 i 5000 australijskih dolara.

M. K.

<<<◇>>>

ROBOTIZOVANO MINIJATURNO VOZILO FOXBOT*

Firma Rheinmetall Defence Electronics (Bremen, Nemačka) prikazala je prvi prototip robotizovanog, daljinski upravljanoog vozila Foxbot, namenjenog za obaveštajne, osmatračke i izviđačke potrebe.

Foxbot je malo vozilo na šest točkova, opremljeno standardnom TV kamerom (ili nehladenim termovizijskim sistemom) i akustičnim senzorskim sistemom sa šest mikrofona, a razvijeno je prema ugovoru kompanije iz Bremena i Nemačke agencije za odbranu i nabavku BWB.



Robotizovano vozilo Foxbot

Aktivno operativno vreme Foxbota treba da bude 1,5 čas u okviru kojeg će iz zahtevane zone slati realne video snimke putem digitalnog videolinka COFDN (koji se bazira na DVBT standardu), kao i realne audio podatke sa sistema akustičnih senzora. To može da se ostvaruje na rastojanjima od pre-

ko 1000 m, što zavisi od sistema za prenošenje video zapisa. TV kamera može da se podesi tako da radi u širokom vidnom polju (za vožnju) i uskom vidnom polju (za osmatranje).

Sistem akustičnih senzora, od kojih je šest mikrofona raspoređeno kružno na gornjem delu vozila, namenjen je za registrovanje i merenje akustičnih izvora.

Foxbot treba da izdrži 20 časova u stand-baj režimu, pre nego što bude aktiviran daljinskim upravljanjem za izvršenje određenog zadatka.

Upravljačka jedinica eventualno bi imala laptop s LCD ekrenom za prikazivanje slike sa TV kamere na Foxbotu.

Interes agencije BWB je da robotizovana vozila dejstvuju u zoni operacija i da se njima daljinski upravlja sa oklopnih izviđačkih vozila Fennek. Nemačka i holandska armija poručile su više od 600 vozila ovog tipa.

Završni prototip Foxbota, uključujući i teleskopski jarbol s TV kamerom, visok 1,2 m biće predat za trupno ispitivanje početkom 2006. godine.

M. K.

<<<◇>>>

ROBOTIZOVANO VOZILO ASENDRO*

Nemačke kompanije Robowatch technologies (Berlin), i Diehl BGT (Röthenbach) nude malo modularno vozilo bez posade, koje bi služilo za potrebe izviđanja, uklanjanja eksplozivnih sredstava i odbranu od nuklearnih, bioloških i hemijskih opasnosti.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2005.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, februar 2006.



Robotizovano vozilo Ofro s opremom za detekciju

Gusenično vozilo, pod nazivom Asendro, prikazano je na izložbi vojne opreme Milipol u Parizu u novembru 2005. godine.

Vozilo ima aluminijumsku šasiju sa polimernim točkovima, a dimenzije su mu: dužina 92 cm (sa zategnutim gusenica), širina 40 cm i visina 20 cm (bez senzora na krovu).

Asendro ima autonomnu navigaciju ili daljinsko upravljanje do 2 km. Fleksibilni gusenični pogon omogućava mu da izvršava zadatke realno po svim unutrašnjim i spoljnim površinama.

Maksimalna brzina vozila je 15 km/h, a maksimalna korisna nosivost 38 kg (uključujući modul senzora i dve baterije). Biće sposobno da savlađuje uspone do 43°, a omogućavaće savlađivanje i stepenica.

Asendro je nastao razvojem ranijeg nešto većeg guseničnog vozila Ofro, takođe bez posade.

M. K.

<<<◇>>>

LAKI HEMIJSKI DETEKTOR ZA BRITANSKU ARMIJU*

Novi laki hemijski detektor za otkrivanje agenasa LCAD (Lightweight Che-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, avgust 2005.

mical Agent Detector) za potrebe pešačkih jedinica mase manje od 450 g, treba da se uvede u britansku armiju na osnovu kriterijuma: jedan detektor na četiri vojnika (borbeni tim).

Detektor LCAD obezbeđuje blagovremeno zvučno i vizuelno upozorenje od nadolazećeg agensa, omogućavajući tako da se na vreme preduzmu potrebne mere predostrožnosti i hemijskog obezbeđenja.

U poređenju sa ranijim sistemima, ovaj pokretni jonski spektrometerski detektor smanjuje potrebe za podrškom i



Vojnik s mini detektorom LCAD

omogućava veću osetljivost od ekvivalentnih sistema. On može da radi i bez korišćenja radioaktivnih jonizujućih izvora, čime je olakšano njihovo prenošenje.

Detektor LCAD je varijanta iz familije lakih hemijskih detektora (LCD), koji od 2002. godine koriste neke jedinice Marinskog korpusa, Britanije, Australije, Danske i Norveške, posebno one u Avganistanu i Iraku.

Varijante LCD ispitivane su u Nemačkoj i Velikoj Britaniji u sklopu systemske opreme za vojnika. U poslednjem slučaju LCD je opremljen slušalicama za operatora, može da se poveže sa radio-sistemom Bowman, koji omogućava alarmiranje i slanje podataka putem unutrašnje radio-veze. Oko 9000 detektora naručeno je za program ovog opremanja (FIST), ali sa modernizovanim soft-

verom i informatikom, omogućavajući veći ulaz podataka i detekciju toksičkih industrijskih hemikalija.

Kompanija Smith radi na proizvodnji nekoliko desetina LCD+3 detektora za sledeću etapu ispitivanja, koja treba da se završi septembra 2006. godine, da bi redovna proizvodnja otpočela 2007. godine. Puna proizvodnja trebalo bi da obuhvati oko 250 000 detektora, namenjenih prvenstveno vojnicima izvan vozila.

Pored LCAD svi mini detektori izrađeni su tako da mogu da se uvežu u centralnu mrežu.

Detektor otkriva agense bojnih otrova poput nervnih, krvnih, plikavaca i zagušljivaca, ali i toksične industrijske hemikalije. Podaci se prezentuju na jednostavnom zaštićenom displeju.

M. K.

<<<◇>>>

Uputstvo saradnicima

„Vojnotehnički glasnik“ je stručni i naučni časopis Ministarstva odbrane Srbije i Crne Gore, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije i Crne Gore.

Članak se dostavlja Redakciji na disketi ili CD-u (Times New Roman, srpska latinica, 12 pt, prored 1,5) i odštampan u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozima originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica A4 sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćénica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro račun banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Rukopise slati na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor
Dobрила Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 342,00 dinara
Tiraž 800 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)

Dr Milorad Savković,
dipl. inž.
mr Danilo Serdarević,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

PROIZVODNJA PIROPATRONA I RAKETNIH MOTORA PILOTSKIH SEDIŠTA

UDC: 629.7.047 : 623.45

Rezime:

Ovaj rad sadrži opis uspešnog razvoja i proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta. Opisan je proces razvoja putem kopiranja stranog rešenja i njihovih modifikacija. Dati su primeri korišćenja te metodologije, razvoj i poređenje rezultata ispitivanja stranih i domaćih rešenja. Objašnjava se i važnost proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta.

Ključne reči: piropatrone, pogonsko punjenje, raketni motor, izbacivo pilotsko sedište.

PRODUCTION OF CARTRIDGES AND EJECT SEAT ROCKET MOTORS

Summary:

Scope of this work contains description of successful development and preparation for production of cartridges, propellants and rocket motors for pilot eject seat. Process of development through copying foreign solutions and their modifications is described. There are examples of used methodology for development and comparison of results of tests of foreign and domestic solutions. This work also explains importance of production of cartridges, propellants and rocket motors for pilots eject seat.

Key words: pyro-cartridges, propellant, rocket motor, ejection seat.

Uvod

Piropatrone, pogonska punjenja i raketni motori pilotskih sedišta, kojima je istekao vek upotrebe, otežano su se nabavljali iz uvoza, tako da je devedesetih godina intenziviran razvoj i osvajanje proizvodnje tih proizvoda u našoj zemlji. Osvajanje je obavljeno kopiranjem stranog rešenja, koje je sadržavalo detaljnu identifikaciju stranog rešenja, definisanje zahteva i načina kontrole za domaće rešenje, konstruisanje domaćeg rešenja, primenu materijala i sirovina koje su dostupne, osvajanje tehnologije proizvodnje tih artikala, završno ispitivanje i usvajanje u naoružanje. U radu je dat pregled osvojenih piropatrone, pogon-

skih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta domaće proizvodnje. Dati su primeri postupka identifikacije i osvajanja proizvodnje u domaćim uslovima, kao i značaj ostvarenih aktivnosti.

Tehnički problem koji se rešavao ovim razvojem sastojao se u sledećem: kako izraditi piropatrone, pogonska punjenja i raketne motore pilotskih sedišta, korišćenjem raspoloživih znanja, opreme i sirovina, tako da masa, oblik i dimenzije, kao i fizička, mehanička, energetska i kinetička svojstva domaćih rešenja budu takva da obezbeđuju zahtevane performanse. Takođe, očekuje se da postupak proizvodnje bude bezbedan, a proizvod potrebnog kvaliteta i reproduktivnosti.

Funkcija pilotskog sedišta

Pilotsko sedišta ima namenu da u uslovima havarije na avionu, u toku leta ili na pisti, omogući pilotu spasavanje života, katapultiranjem iz pilotske kabine (slika 1), zatim otvaranje padobrana i uspešno prizemljenje. Katapultiranje pilotskog sedišta obavlja se pomoću piropatrone i raketnog motora.



Sl. 1 – Pilotsko sedišta

Ceo proces, od trenutka aktiviranja izbacivog sedišta do trenutka prizemljenja, potpuno je automatizovan [1]. U početku katapultiranja pod dejstvom piropatrone sedišta klizi duž vodice – teleskopske cevi. Nakon razdvajanja sedišta i teleskopa vrši se aktiviranje raketnog motora. Rad raketnog motora omogućava da se pilot pravovremeno nađe na bezbednosnoj udaljenosti od letelice i da ima odgovarajuću brzinu za pravilnu funkciju padobrana.

Raketni motor i piropatrone pilotskog sedišta moraju da imaju veliku pou-

zdanost. Treba sigurno da deluju i ostvaruju funkciju [2]. Potrebno je da potisak raketnog motora ima minimalno odstupanje od nominalne vrednosti po intenzitetu i pravcu.

Osnovni zahtevi u razvoju piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta sastojali su se u tome da domaće rešenje u celosti odgovara stranom rešenju. Cilj je bio da se domaćim rešenjem izvrši supstitucija stranog, kojem je istekao rok upotrebe.

Pregled osvojenih proizvoda

Početkom devedesetih godina, a posebno u periodu sankcija prema našoj zemlji i kasnije tokom ratnih sukoba, bilo je otežano snabdevanje rezervnih delova za avione i za pilotska sedišta iz uvoza. Međutim, za pravilnu funkciju pilotskih sedišta potrebno je pripadajuće pirotehničke elemente (piropatrone, pogonska punjenja i raketne motore), kojima relativno brzo ističe vek upotrebe, zamenjivati u pravilnim vremenskim razmacima. U tim okolnostima započet je razvoj piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu. Urađen je planski dokument [3], prema kome su sagledane potrebe i sačinjena tehno-ekonomska analiza, koja je pokazala da su troškovi sopstvenog razvoja i opremanja niži od uvoza originalnih pirotehničkih elemenata.

Posle odluke da se nastavi rad, do sada je osvojena proizvodnja 31 piropatrone (tabela 1), dva pogonska punjenja i četiri raketna motora pilotskih sedišta (tabela 2).

Tabela 1

Osvojene piropatrone pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu

Red. broj	Naziv piropatrone	Naziv sedišta ili namena	Izgled
1.	N° 2 MK-2	"Folland" MK-1B	
2.	N° 1 MK-1 (4 grain)		
3.	N° 1 MK-1 (3 grain)		
4.	PK-16	KM-1 Mig-21	
5.	PV-50		
6.	PK-3M-1		
7.	KV-35755-1	MkYU10LB Orao G-4	
8.	KV-35756-1		
9.	KV-62172-1		
10.	KV-61346-2		
11.	KV-3083-RU-1		
12.	KV-62486-1		
13.	KV-91428		
14.	KV-90650		
15.	KV-62122-1	MkYU10J MkYU8J	
16.	KV-61592-1		
17.	KV-67190	K-36DM Mig-29	
18.	PK-16M		
19.	PV-35		
20.	PK-21-M2	Piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu	
21.	UDP2-1		
22.	PV-1M		
23.	PP-3		
24.	PPL-T		
25.	SQUIB		
26.	PDO-1		
27.	R-4		
28.	TVU-1-3D-1		
29.	TVU-1-3D-0.5		
30.	Primarna br.1 MK.2		
31.	Sekundarna br.1 MK.2		

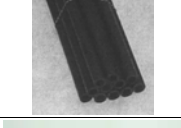
Za svaki od navedenih pirotehničkih elemenata u tabelama 1 i 2, obavljeno je:

- identifikacija karakteristika originalnog rešenja,

- definisanje taktičko-tehničkih zahteva,
- definisanje načina ispitivanja i kontrole proizvoda,
- konstruisanje i odabir materijala,
- osvajanje proizvodnje i specijalnih tehnologija,
- završno ispitivanje,
- usvajanje u naoružanje,
- serijska proizvodnja za opremanje i izvoz.

Tabela 2

Osvojena pogonska punjenja i raketni motori pilotskih sedišta

Red. broj	Naziv raketnog motora ili pogonskog punjenja	Mesto ugradnje	Izgled
1.	KM 3340RU	Prednje sedišta MkYU10LB	
2.	KM 3341RU	Zadnje sedišta MkYU10LB	
3.	KM 3138RU	Prednje sedišta MkYU10J	
4.	KM 3139RU	Zadnje sedišta MkYU10J	
5.	PZ-M	Sedišta KM-1 Miga-21	
6.	PZ-AM	Sedišta K36-DM Miga-29	

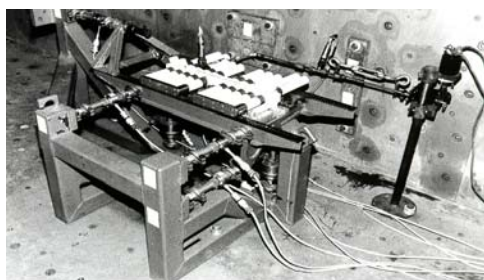
Osvajanje proizvodnje

Posle identifikacije stranog rešenja (utvrđivanje dimenzija, fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika), definisani su taktičko-tehnički zahtevi i dozvoljena odstupanja pojedinih veličina. Na osnovu zahteva izvršeno je projektovanje domaćeg rešenja, koje je, pored ostalog, moralo da odgovara, i po izgledu i boji, stranom rešenju.

U svim ovim aktivnostima su, sa učešćem TN, i angažovani stručnjaci iz VTI, Fabrike „4. novembar“ – Mojkovac, HK „Krušik“ – Valjevo i HI „MB“ – Lučani.

Identifikacija karakteristika raketnog motora pilotskog sedišta na osnovu statičkih opita

Za potrebe ispitivanja raketnog motora pilotskog sedišta korišćen je višekomponentni opitni sto [4], pomoću kojeg su utvrđeni podaci o prostornom rasporedu sila i momenata tokom rada raketnog motora [5]. Raketni motor, čije se performanse određuju, postavljen je na opitni sto čija je opšta konfiguracija prikazana na slici 2.



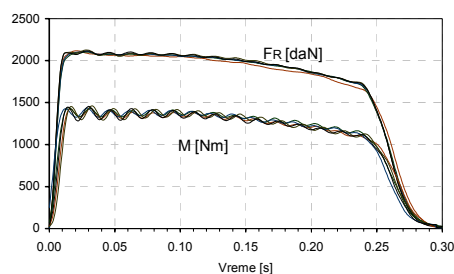
Sl. 2 – Ispitivanje raketnog motora pilotskog sedišta

Uz opitni sto pridodata je i instalacija za merenje pritiska i to, kako u komori raketnog motora, tako i u lancu pripale čija instalacija je sprovedena uz sam opitni sto (slika 2).

Određivanje vektora potiska raketnog motora izbacivog pilotskog sedišta podrazumeva određivanje intenziteta i napadne linije ovog vektora u funkciji vremena. Tokom rada raketnog motora na opitnom stolu mere se tri komponente (F_x , F_y i F_z) glavnog vektora sistema $F_R(t)$ i tri komponente (M_x , M_y i M_z) glavnog momenta sistema $M(t)$.

Radi određivanja intenziteta i pravca delovanja potiska izvršen je veći broj statičkih opita sa originalnim i domaćim raketnim motorima pilotskih sedišta [6]. Odgovarajućom obradom rezultata merenja za svaki opit određeni su totalni impuls rezultujuće sile, integral glavnog momenta i srednja vrednost ugla između glavnog vektora sila i momenta.

Tipični dijagrami rezultujuće sile i momenta raketnog motora pilotskog sedišta u funkciji vremena prikazani su na slici 3.



Sl. 3 – Rezultujuća sila i moment raketnog motora pilotskog sedišta

U eksperimentima je dobijena zadovoljavajuća reproduktivnost rezultata, utvrđeno je da je ugao između glavnog vektora sile i momenta $\delta \cong 90^\circ$. Međutim, u realnim uslovima rada motora na opitnom stolu, usled grešaka merenja komponenti i karakteristika motora, dobija se odstupanje ugla δ od nominalne vrednosti. Utvrđeno je da se odstupanje ugla δ u realizovanim opitima kretalo u granicama $\pm 1^\circ$. Moment kolinearan sa centralnom osom sistema je zanemarljiv, što omogućuje da se pilot pri katapultiranju, tokom rada raketnog motora, ne obrće oko pravca delovanja sile [7].

Razvoj domaćeg rešenja pogonskog punjenja za ugradnju u raketni motor pilotskog sedišta

Pri rešavanju problema nije vršeno slepo kopiranje sastava stranog originalnog pogonskog punjenja već je definisano domaće pogonsko punjenje koje daje iste performanse kao u eksperimentalnom raketnom motoru. Projektovanje pogonskog punjenja obavljeno je tako što su identifikovane karakteristike originalnog pogonskog punjenja (geometrijske, energetske i mehaničke), zatim su određeni potisak i pritisak na statičkim opitima u eksperimentalnom motoru, koji približno odgovara originalnom raketnom motoru, i na osnovu tih karakteristika definisani početni zahtevi za domaće rešenje pogonskog punjenja.

Domaće rešenje pogonskog punjenja razvijeno je uhodanom procedurom sa domaćim sirovinama, postupkom presovanja u alatima uz statičke opite za određivanje brzine sagorevanja, karakteri-

zaciju pogonske materije i statičke opite u eksperimentalnom motoru.

Izvršen je razvoj domaćih pogonskih punjenja PZ-M i PZ-AM raketnih motora pilotskih sedišta KM-1 aviona Mig-21, odnosno K-36DM aviona Mig-29. Izrađeni su eksperimentalni raketni motori (slika 4) čija unutrašnjost u potpunosti odgovara originalnom raketnom motoru pilotskog sedišta.

Eksperimentalni motor je konstruisan tako da najvernije odslikava originalno rešenje raketnog motora pilotskog sedišta, pri čemu je vođeno računa da se mora koristiti u većem broju opita, kao i da bude pogodan za merenje potiska i pritiska.

Analizom stranog rešenja utvrđeno je da potisak deluje pod određenim prostornim uglom u odnosu na osu motora, što je ispoštovano u rešenju za eksperimentalni raketni motor.



Sl. 4 – Eksperimentalni raketni motor ERM

Takođe, izrađeni su eksperimentalni motori koji su služili za ispitivanje brzine i zakonitosti brzine sagorevanja pogonskog punjenja.

Određivanje brzine sagorevanja pogonskih punjenja, vršeno je na temperaturama -30 , 20 i 50°C u eksperimentalnim raketnim motorima FLS-2. Eksperimenti su urađeni sa različitim vrednostima koeficijenta K_n (K_n predstavlja odnos površina protočnog preseka za produkte sagorevanja u komori raketnog motora i kritičnog preseka mlaznika).

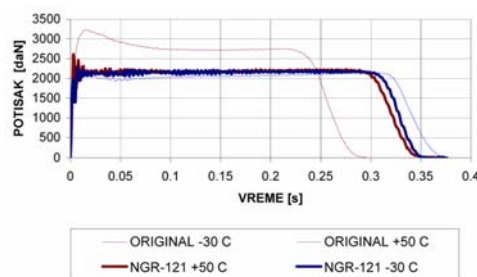
Završna operacija izrade dvobaznog goriva, od koga se izrađuju barutna zrna, obavlja se ekstrudovanjem pomoću prese sa specijalnim alatom.

Na statičkom ispitivanju pogonskog punjenja dobijene su reproduktivne vrednosti izmerenih unutrašnjebalističkih veličina, tako da su odstupanja izmerenih pojedinačnih unutrašnjebalističkih veličina za grupe opita na određenoj temperaturi, u okviru greške merenja, i iznose približno 1%.

Ujednačenost rezultata izmerenih veličina najočiglednija je na primeru izvršenih opita prototipske partije pogonskog punjenja [10] na normalnoj temperaturi ($+20^{\circ}\text{C}$), pri čemu se ne uočavaju razlike za pogonska punjenja koja nisu prethodno maltretirana u odnosu na ona koja su podvrgnuta vibriranju, veštačkom starenju i temperaturskom cikliranju. Domaće pogonsko punjenje je reproduktivno, stabilno i nije osetljivo na vibracije i očekivane eksploatacione uslove u budućoj primeni.

Domaće pogonsko punjenje je male temperaturske osetljivosti, za razliku od originalnog rešenja pogonskog punjenja kod koga je odstupanje pojedinih veličina utvrđeno merenjem na temperaturama $+50^{\circ}\text{C}$ i -30°C [9].

Dobijene vrednosti unutrašnjebalističkih veličina na statičkim opitima sa domaćim pogonskim punjenjem, kao što su vreme rada raketnog motora, maksimalni pritisak, integral pritiska i potisak su unutar granica koje definiše rezultat statičkog ispitivanja originalnog, stranog, pogonskog punjenja. To se može jasno uočiti na zajedničkom dijagramu za potisak (slika 5), na kome su dati rezultati statičkog ispitivanja tipičnih dijagrama originalnog pogonskog punjenja na temperaturi -30°C i $+50^{\circ}\text{C}$ i u isto vreme rezultati ispitivanja domaćeg pogonskog punjenja na istim temperaturama.



Sl. 5 – Uporedni prikaz izmerenog potiska na statičkim opitima domaćeg i originalnog pogonskog punjenja PZ-AM

Manji eksponent pritiska u izrazu za brzinu sagorevanja dvobaznog raketnog goriva i manja temperaturska osetljivost razvijenog domaćeg pogonskog punjenja u odnosu na strano rešenje, omogućava ujednačeniji i bezbedniji rad raketnog motora pilotskog sedišta.

Doprinosi u projektovanju i konstruisanju

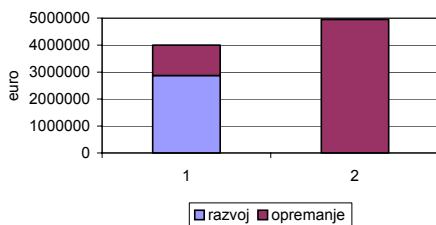
Identifikaciona ispitivanja originalnih uzoraka piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta

omogućila su definisanje početnih taktičko-tehničkih zahteva za razvoj domaćih rešenja, a analiza ugrađenih materijala i pirotehničkih elemenata originalnih delova omogućila je konstruisanje i izradu eksperimentalnih raketnih motora za realizaciju statičkih opita provere unutrašnje-balističkih karakteristika. Dobijeni rezultati sa domaćim rešenjima, ukazuju da je u našim uslovima moguće proizvoditi piropatrone, pogonsko punjenje i raketne motore pilotskih sedišta zadovoljavajućeg kvaliteta, za avione Orao, G4, Mig-21, Mig-29 i druge.

Masa, oblik i dimenzije, kao i fizička, mehanička, energetska i kinetička svojstva domaćih rešenja pirotehničkih elemenata pilotskih sedišta obezbeđuju zahtevane balističke performanse, pri čemu je postupak proizvodnje bezbedan, a proizvod potrebnog kvaliteta i reproduktivnosti.

Značaj osvajanja proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora pilotskih sedišta je velik, jer zemlju oslobađa uvozne zavisnosti.

Ekonomski značaj je u tome što su ostvarene uštede. Troškovi razvoja i opremanja sa domaćim pirotehničkim elementima pilotskih sedišta su niži od troškova uvoza originalnih komponenti (sl. 6) [3].



Sl. 6 – Upoređenje troškova:
1 – domaći razvoj i opremanje i 2 – uvoz

Zaključak

Osvajanje proizvodnje piropatrone, pogonskih punjenja i raketnih motora izbacivih pilotskih sedišta, u otežanim uslovima, uz primenu svih procedura i kriterijuma za prijem sredstava NVO, koje propisuju postupci razvoja i osvajanja u Ministarstvu odbrane, Upravi za odbrambene tehnologije, ukazuje da je moguće ostvariti sopstveni razvoj i proizvodnju i najsloženijih sredstava.

Osvajanje proizvodnje postupkom kopiranja je svrsishodan metod i opravdan u datim okolnostima. Dobijeni proizvodi NVO omogućuju zadovoljenje domaćih potreba i eventualni izvoz. Nije potrebno obezbeđenje posebnih sredstava za uvoz.

Na ovaj način domaća namenska industrija osvaja nove tehnologije i metode ispitivanja. Primena navedene metodologije osvajanja omogućuje osvajanje proizvodnje i za proizvode sa civilnog tržišta.

Literatura:

- [1] Mark Hewish, Bringing safety down to earth, Janes international, defense review, N°5, pp. 48–53, 1999.
- [2] Winn, A., Fast exit, FLIGHT Internacional, 18–24 June, pp. 56–60, 1997.
- [3] Savković, M.: Razvoj raketnih motora i piropatrone pilotskih sedišta i piropatrone opšte namene u vazduhoplovstvu, Program realizacije VTI-03-01-0321, 1994., str. 56.
- [4] Lazić, R., Petrić, A.: Primena savitljivih elemenata u ispitivanju raketnih motora, NTP, Vol XXXIV, br. 2, pp. 19–28, 1984.
- [5] Savković, M.: Određivanje potiska raketnog motora pilotskog sedišta na višekomponentnom opitnom stolu, NTP, Vol XLVII, br. 3., pp. 17–20, 1997.
- [6] Nenadović, Lj.: Rezultati ispitivanja PP raketnih motora pilotskih sedišta MB na višekomponentnom stolu, Izveštaj VTI-03-01-0386, Beograd, 1997.
- [7] Savković, M., Analiza kretanja pilotskog sedišta u početnom periodu katapultiranja, NTP, Vol XLVIII, br. 4, pp. 17–20, 1998.
- [8] Serdarević, D.: Ispitivanje prototipske partije pirotehničkog punjenja pirotežera R-4, Elaborat VTI-02-01-0838, Beograd, mart 2004.
- [9] Kapor, V.: Rezultati identifikacionog ispitivanja originalnog pogonskog punjenja PZ-AM (serije 2-89) raketnog motora pilotskog sedišta K-36DM, Elaborat VTI-04-01-0191, 2000., str. 68.
- [10] Kapor, V.: Raketni motor pilotskog sedišta K-36DM, Razvoj prototipske partije pogonskog punjenja PZ-AM (NGR-121), Elaborat VTI-04-01-0334, 2003., str. 98.

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

JEDAN PRISTUP DETEKCIJI POKRETA NA SLICI SCENE

UDC: 77.034

Rezime:

U ovom radu opisan je jedan pristup koji se primenjuje u detekciji pokreta. Naime, koristi se obrada slike razlike formirane oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma i oduzimanjem sukcesivnih frejmova. Zbog nedostataka koji se javljaju ukoliko se koriste tehnike oduzimanja slike pozadine i oduzimanja sukcesivnih frejmova, opisan je i kombinovani metod detekcije. Ovaj metod predstavlja spoj tehnika oduzimanja sukcesivnih frejmova i oduzimanja slike pozadine. Kako je za detekciju pokreta potrebna slika pozadine, opisan je jedan od postupaka izdvajanja slike pozadine.

Ključne reči: detekcija pokreta, slika pozadine, oduzimanje slike pozadine, oduzimanje sukcesivnih frejmova, kombinovani metod detekcije.

ONE APPROACH TO MOVEMENT DETECTION ON IMAGE

Summary:

In this paper the approach for movement detection is described. The approach is based on background subtraction and temporal differencing. To overcome problems with these two techniques, a hybrid algorithm for change detection is described. A hybrid algorithm is a combination background subtraction technique with a frame differencing technique. In this paper the method for background extraction is described, too.

Key words: movement detection, background model, background subtraction, temporal differencing, a hybrid algorithm for change detection.

Uvod

U nekim primenama digitalne obrade slike postoji potreba da se utvrdi da li je slika mirna ili sadrži pokret. Dve značajne oblasti primene detekcije pokreta su redukcija šuma i kompresija podataka. Potrebno je ne samo da se detektuje prisustvo pokreta na slici, već je neophodno poznavati i njegove parametre, kao što su, na primer, brzina i pravac. Poznavanje ovih parametara je značajno za kompresiju podataka radi prenosa ili memorisanja slike.

Dinamika na slici može da postoji zbog kretanja objekata na sceni, ali i zbog kretanja same kamere ili dejstva optike (zum). Ukoliko postoji istovremeno kretanje i objekta i kamere, onda je rezultatni pokret vektorski zbir ova dva pokreta [1].

Za detekciju pokreta (promena) na slikama scene može se koristiti obrada slike razlike koja se dobija oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma (background subtraction) ili oduzimanjem sukcesivnih frejmova (temporal differencing). Ova detekcija praćena je uvođe-

njem praga da bi se dobila binarna slika u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase (pozadina i pokretni piksel). Neki autori navode da je razlog uvođenja praga razdvajanje ove dve klase [2, 3, 4, 5].

Detekcija pokreta oduzimanjem sukcesivnih frejmova

Označimo sa $I^n(x, y)$ vrednost nivoa sivog piksela frejma (slike) na poziciji (x, y) u trenutku $t = t_n$. Mera sličnosti dva frejma uzeta u trenutku $t = t_n$ i $t = t_{n-1}$ može se izraziti kao [6, 7]:

$$D^n(x, y) = |I^n(x, y) - I^{n-1}(x, y)|, \quad \forall (x, y) \in [1, N] \times [1, M] \quad (1)$$

gde je $N \times M$ dimenzija frejma u pikselima. Na ovaj način (oduzimanje sukcesivnih frejmova) dobija se slika razlike D^n .

U odsustvu pokreta (promena), u idealnom slučaju iz (1), dobija se:

$$D^n(x, y) = 0, \quad \forall (x, y) \in [1, N] \times [1, M] \quad (2)$$

Ilustracije radi, na slici 1 šematski su prikazana dva ista sukcesivna frejma i slika razlike.

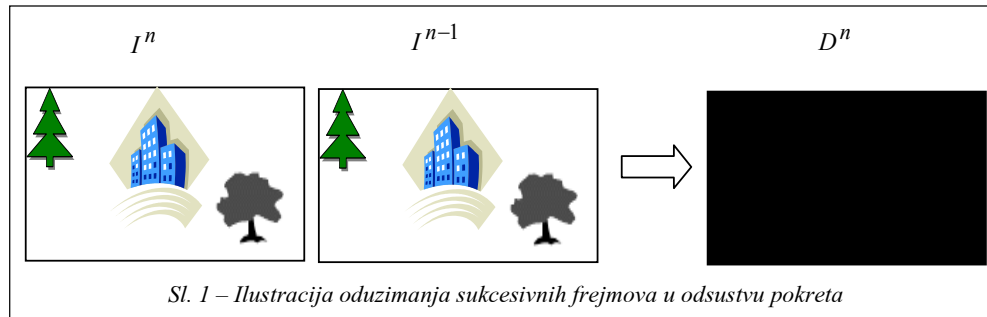
Uzmimo sada nekoliko sukcesivnih frejmova realne sekvence u kojima ne postoje pokretni objekti. Na slici 2 prikazana su tri sukcesivna frejma i dve slike razlike.

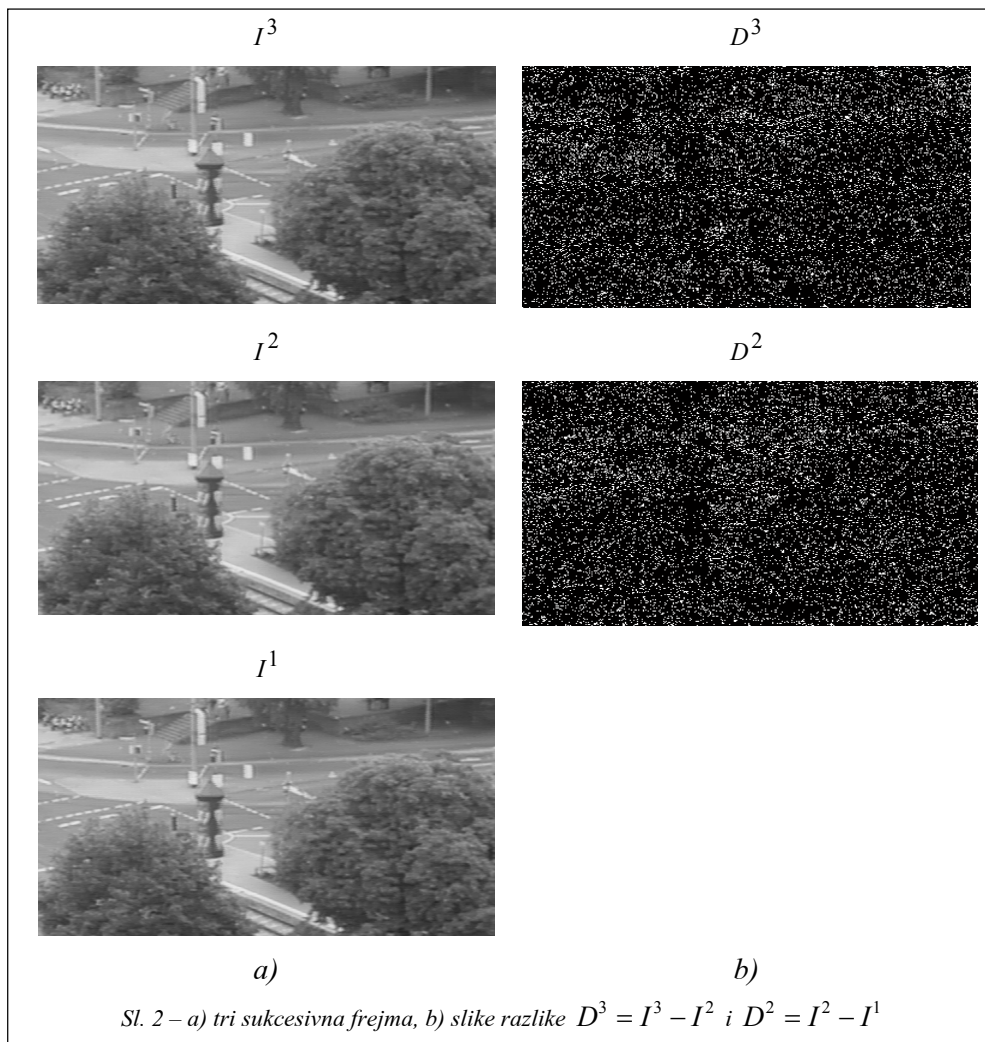
Na slikama razlike 2b, pikseli kod kojih nije došlo do promene nivoa sivog prikazani su kao beli, radi boljeg uočavanja (vizuelni efekt). Ostali pikseli kod kojih je došlo do promene nivoa sivog prikazani su nijansama nivoa sivog. Broj piksela na kojima je došlo do promene nivoa sivog je oko 87% ukupnog broja piksela slike razlike. Pri ovoj analizi nije važan intenzitet promena. Može se zaključiti da su ove promene nastale zbog šuma, pa se (1) može izraziti u formi:

$$I^n(x, y) = I^{n-1}(x, y) + I_n^n(x, y) \quad (3)$$

gde je $I_n^n(x, y)$ nivo šuma u trenutku $t = t_n$ na poziciji (x, y) . Raspodela nivoa sivog (histogram) slike razlike D^3 , sa slike 2b, prikazana je na slici 3.

Sa slike 3 vidi se da je maksimalna vrednost 30 od mogućih 256 nivoa sivog, a da se najčešće javljaju nivoi $0 \leq i \leq 10$. Vrednost 0 odgovara crnom, a vrednost 255 belom nivou.



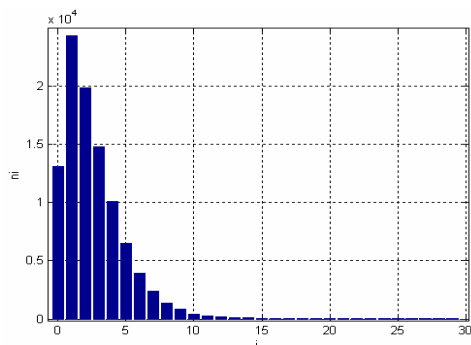


U slučaju da u sekvenci postoje pokretni objekti, iz (1) dobiće se slika razlike sa regionima u kojima je došlo do promene nivoa sivog (regioni od interesa – ROI). Šematski prikaz pokreta prikazan je na slici 4.

Sa slike 4 se vidi da za detekciju regiona u kojem je došlo do promena nije potreban nikakav prag. Oduzimanjem sukcesivnih frejmova detektovan je re-

gion u kojem je došlo do promena. Međutim, uzmimo ponovo jednu realnu sekvencu u kojoj postoje pokretni objekti i na ovakav način pokušajmo da detektujemo regione u kojima se nalaze ti objekti. Na slici 5 prikazana su dva sukcesivna frejma i slika razlike.

Iako se sa slike razlike 5v može zaključiti da su na ovaj način stvarno detektovani regioni u kojima je došlo do



Sl. 3 – Histogram slike razlike D^3 , sa slike 2b

promena, sa slike 5g vidi se da je, pored ovih regiona, detektovan veliki broj piksela koji ne pripadaju pokretnim objektima. Njihova detekcija je posledica šuma. Oni na slici 5v nisu uočljivi, jer odgovaraju malim nivoima sivog (blizu crnog nivoa). Histogram slike razlike D^2 , sa slike 5v, prikazan je na slici 6.

Zbog prisustva pokretnih objekata histogram sa slike 6 se proširio u odnosu na histogram sa slike 3. Histogram na slici 6 prikazan je samo za opseg nivoa sivog u kojem je došlo do promena (od 0 do 155 nivoa sivog).

Detekcija pokreta oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma

Označimo sa $B^n(x, y)$ intenzitet piksela slike pozadine na poziciji (x, y) , u

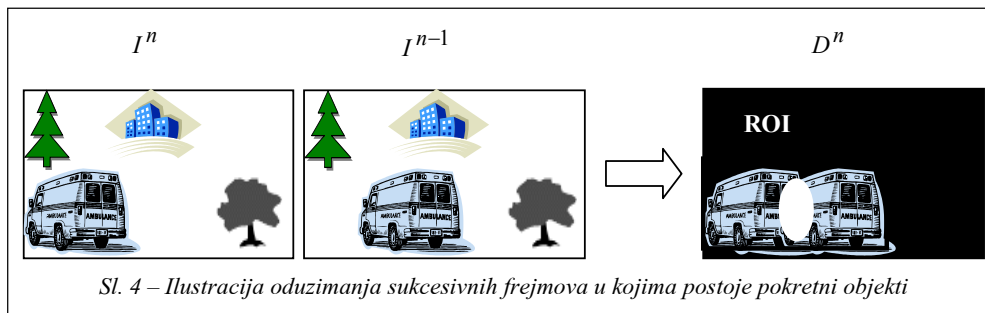
trenutku $t = t_n$. Za sada će se pretpostaviti da je slika pozadine poznata. Detekcija pokreta može se izvršiti na osnovu razlike tekućeg frejma i slike pozadine [2, 4, 5, 8, 9]:

$$D^n(x, y) = |I^n(x, y) - B^n(x, y)|, \\ \forall (x, y) \in [1, N] \times [1, M] \quad (4)$$

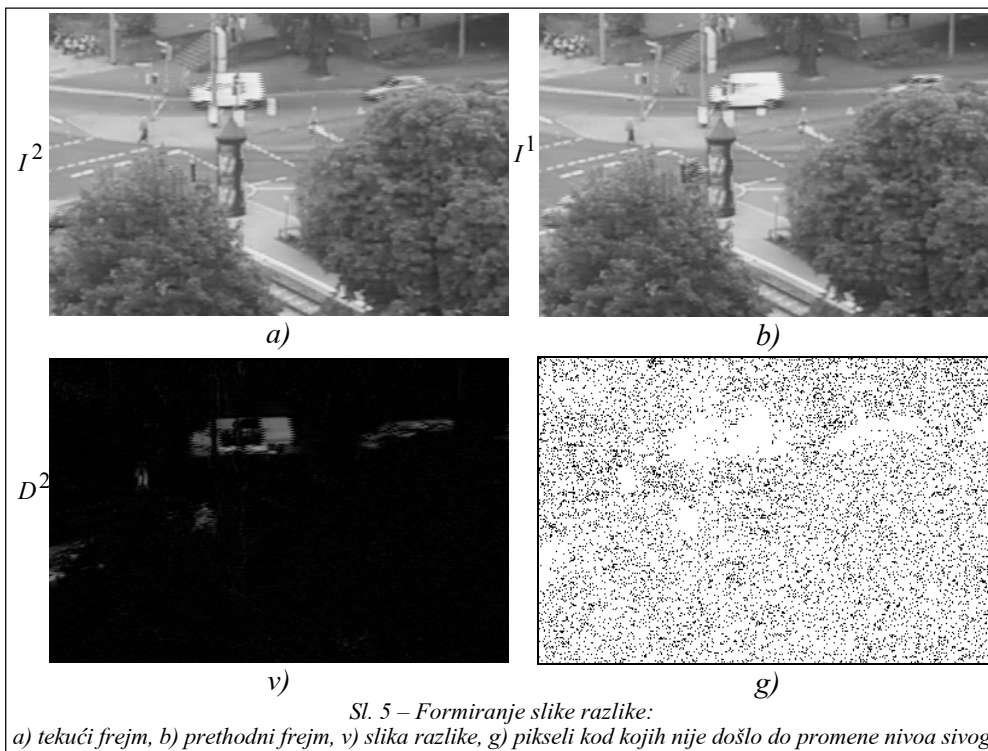
Šematski prikaz tekućeg frejma, slike pozadine i slike razlike prikazan je na slici 7.

Sa slike 7 vidi se da za detekciju pokreta nije potreban nikakav prag. Samim oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma detektovan je čitav pokretni objekat. Međutim, uzmimo ponovo jednu realnu sekvencu u kojoj postoje pokretni objekti i na ovakav način pokušajmo da detektujemo pokret. Postupak je prikazan na slici 8.

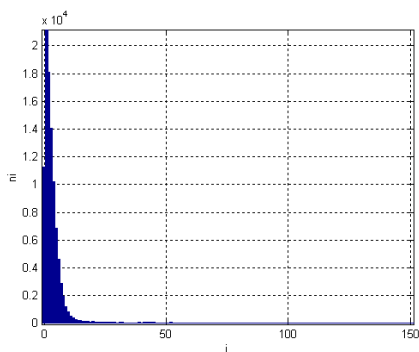
Iako se sa slike razlike 8v može zaključiti da su na ovaj način stvarno detektovani pikseli kod kojih je došlo do promene nivoa sivog zbog pokretnih objekata, sa slike 8g vidimo da je pored njih detektovan i veliki broj piksela koji ne pripadaju pokretnim objektima. Njihova detekcija je posledica šuma. Oni na slici 8v nisu uočljivi jer odgovaraju malim nivoima sivog (blizu crnog nivoa). Histogram slike razlike D^1 , sa slike 8v, prikazan je na slici 9.



Sl. 4 – Ilustracija oduzimanja sukcesivnih frejmova u kojima postoje pokretni objekti



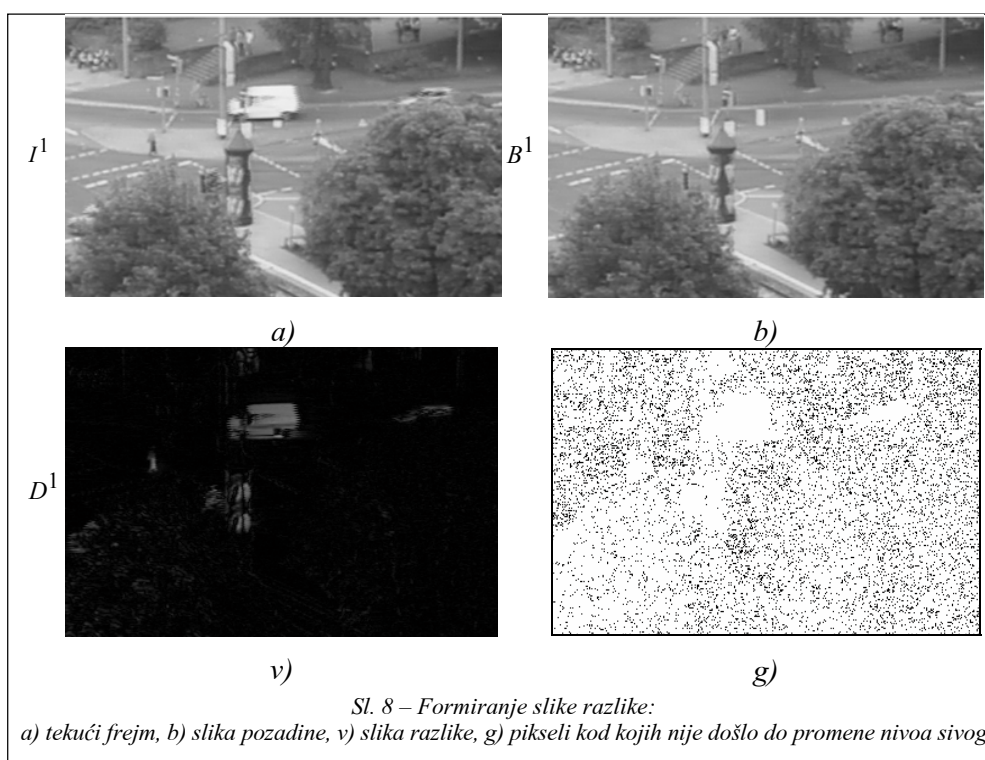
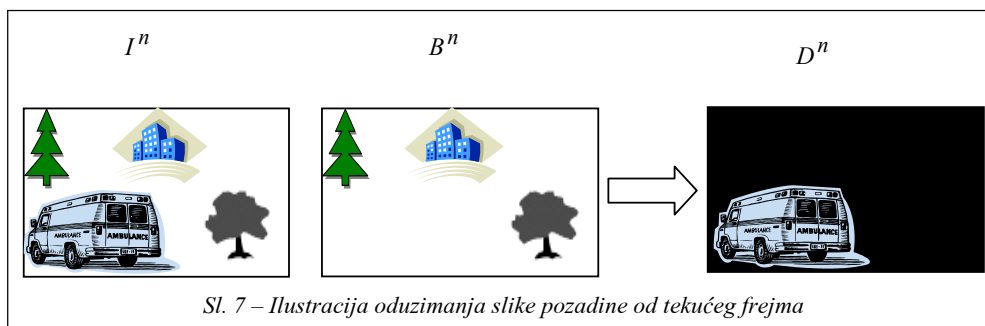
Zbog prisustva pokretnih objekata histogram na slici 9 se proširio u odnosu na histogram sa slike 3. Histogram na slici 9 prikazan je samo za opseg nivoa sivog u kojem je došlo do promena (od 0 do 140 nivoa sivog).



Sl. 6 – Histogram slike razlike D^2 , sa slike 5v

Kod oba navedena postupka za detekciju pokreta na slici scene javlja se uticaj šuma. Zbog uticaja šuma, pored detekcije promene nivoa sivog piksela, što je posledica prisustva pokretnih objekata, detektovan je i veliki broj piksela kod kojih je došlo do promene nivoa sivog zbog uticaja šuma. Da bi se eliminisao uticaj šuma i donela odluka o tome kod kojih je piksela došlo do promene nivoa sivog zbog prisustva pokretnih objekata, potrebno je na sliku razlike $D^n(x, y)$ primeniti prag T ($T \in [0, 255]$). Na taj način dobija se binarna slika $I_b^n(x, y)$ u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase (pozadina i pokretni piksel), tj:

$$I_b^n(x, y) = \begin{cases} 0, & D^n(x, y) \leq T \\ 255, & D^n(x, y) > T \end{cases} \quad (5)$$

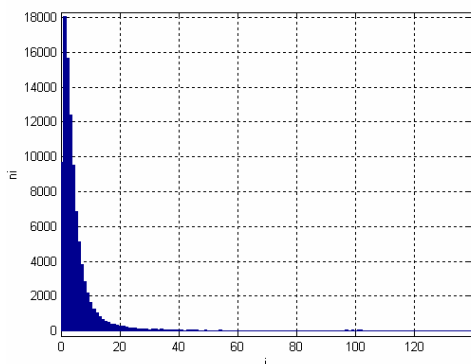


To znači da je piksel pokretan ako se njegov intenzitet nivoa sivog bitno promenio u tekućem i prethodnom frejmu ili u tekućem frejmu i slici pozadine.

Ako se na slike razlike 5v i 8v primeni, na primer, prag $T = 40$, dobiće se rezultati koji su prikazani na slici 10. Izbor metoda određivanja praga detekcije pokreta zahteva dalju analizu.

Na slikama razlike, posle primene praga detekcije pokreta (slika 10), vidljivi su regioni u kojima je detektovana promena nivoa sivog. Na slici 10 mogu se videti konture pokretnih objekata. Poređenjem slika razlike (slike 5v i 8v) sa binarnim slikama (slika 10) uočljivi su efekti praga, jasnije su izdvojeni regioni promene i dobijena je digitalna slika sa

dva nivoa sivog (binarna slika). Pored toga, na slici 10 uočljivi su i usamljeni pikseli, čija je detekcija posledica šuma na slikama razlike.



Sl. 9 – Histogram slike razlike D^1 , sa slike 8v

Kombinovani metod detekcije pokreta na slici scene

Kombinovani metod detekcije predstavlja spoj tehnika oduzimanja sukcesivnih frejmova i oduzimanja slike pozadine. Osnovna mana kod tehnike oduzimanja pozadine jeste što je osetljiva na situacije kada stacionarni objekti scene počinju da se kreću. Iako će ovi objekti biti detektovani, oni iza sebe ostavljaju „rupe“ gde se novootkrivena pozadina razlikuje od poznate slike pozadine (slika 11a). Dok se

model pozadine prilagodi ovim „rupama“, sam algoritam detekcije određeno vreme generiše lažne objekte. Razlika sukcesivnih frejmova nije osetljiva na pojavu „rupa“, ali ovaj algoritam menja oblik pokretnog objekta (slika 11b).

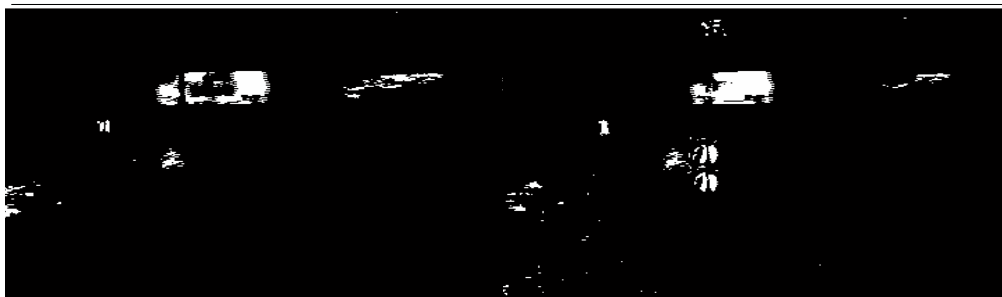
Da bi se izbegli navedeni nedostaci koristi se kombinacija ova dva metoda. Oduzimanje sukcesivnih frejmova koristi se za određivanje regiona stvarnih pokreta, a oduzimanje slike pozadine za izdvajanje pokretnih objekata. Osim razlike dva sukcesivna frejma, može se koristiti razlika tri ili više sukcesivnih frejmova [7]. Pravilo razlike tri sukcesivna frejma kaže da je piksel na poziciji (x, y) pokretan, ako je:

$$\begin{aligned} |I^n(x, y) - I^{n-1}(x, y)| &> T \quad \text{ i } \\ |I^n(x, y) - I^{n-2}(x, y)| &> T \end{aligned} \quad (6)$$

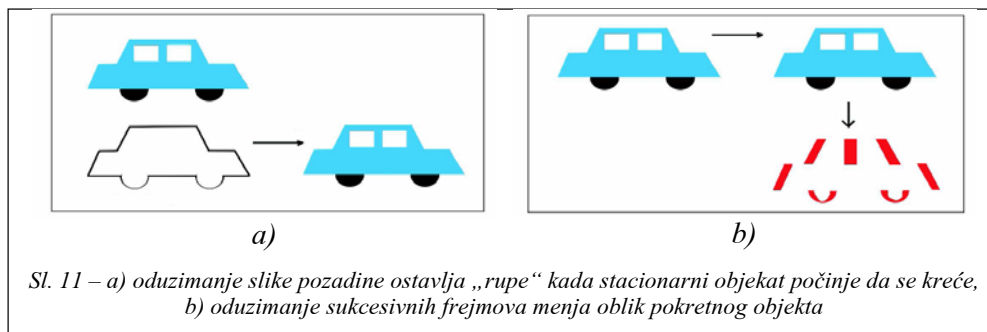
gde je T odgovarajući prag nivoa sivog.

I na ovaj način dobija se binarna slika $I_b^n(x, y)$ u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase (slika 12b).

Primenom razlike tri sukcesivna frejma eliminisani su neki pokretni pikseli koji su detektovani na osnovu razlike dva sukcesivna frejma, a čija detekcija nije posledica pokreta objekata. Ovi pikseli obuhvaćeni su pravougaonikom na slici 12v.



Sl. 10 – Primena praga na slike 5v i 8v respektivno



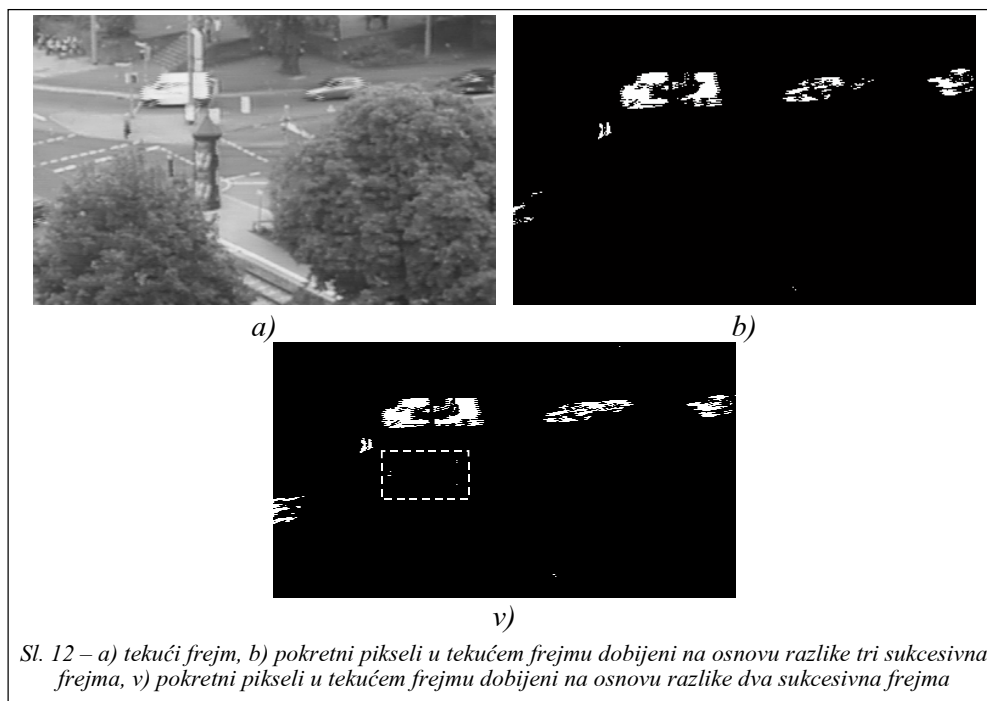
Na slici 12b vidi se i da su grupe piksela koje pripadaju jednom objektu prostorno odvojene. Da bi se ove grupe spojile mogu se primeniti morfološke operacije.

Primena morfoloških operacija u detekciji pokreta

Od morfoloških operacija u detekciji pokreta najčešće se koriste dilatacija i erozija.

Operacije dilatacije i erozije sastoje se u interakciji binarne slike i strukturnog elementa kojom se menja oblik objekta. Strukturni element čini grupa piksela koja formira određeni oblik (kvadrat, krst, krug, itd.). Najčešći oblik strukturnog elementa S je kvadrat dimenzija 3×3 piksela [10].

Dilatacijom binarne slike $I_b^n(x, y)$ strukturnim elementom S_d dobija se bi-



narna slika $I_{bd}^n(x, y)$ koja predstavlja skup takvih tačaka (x, y) da, posle translacije strukturnog elementa u tačku (x, y) , presek skupova $I_b^n(x, y)$ i Sd ne bude prazan skup [10]. Postupak dilatacije može se rekurzivno primenjivati. Sama dilatacija predstavlja operaciju širenja objekta.

Erozijom binarne slike $I_{bd}^n(x, y)$ strukturnim elementom Se dobija se binarna slika $I_{be}^n(x, y)$ koja predstavlja skup takvih tačaka (x, y) da je posle translacije strukturnog elementa u tačku (x, y) , ceo strukturni element Se uključen u $I_{bd}^n(x, y)$ [10]. Postupak erozije se, takode, može rekurzivno primenjivati. Sama erozija predstavlja operaciju sužavanja objekta.

Operacije dilatacije i erozije imaju suprotan efekat, ali nisu inverzne jedna u odnosu na drugu. Ako se nad nekom binarnom slikom prvo izvrši dilatacija strukturnim elementom Sd , ta binarna slika se više ne može rekonstruisati bilo kakvom naknadnom erozijom. Na slici 13 može se videti šta se dobija nakon primena operacija dilatacije i erozije na binarnu sliku 12b.

I nakon primena morfoloških operacija pikseli, koji se nalaze u unutrašnjosti uni-

formno osvetljenih objekata, neće biti uključeni u skup pokretnih piksela (slika 13b).

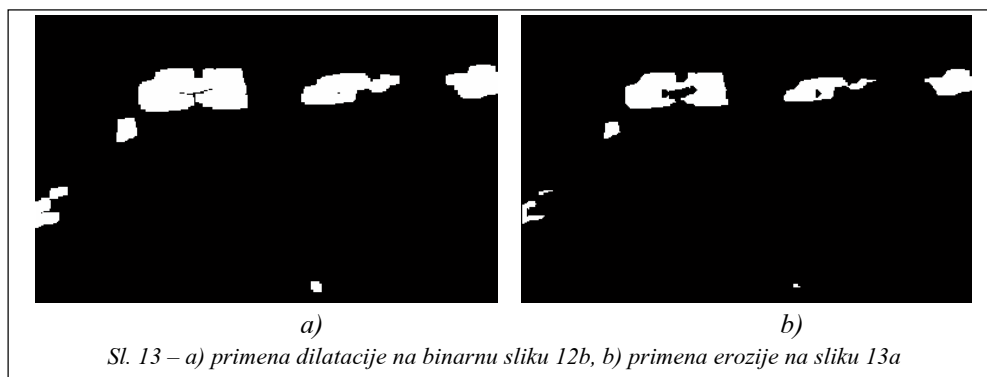
Povezanost piksela

Ako se izvrši grupisanje pokretnih piksela koji pripadaju istom objektu, pikseli iz unutrašnjosti mogu se uključiti oduzimanjem slike pozadine.

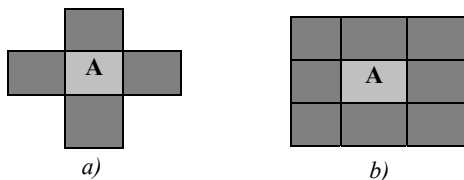
Grupisanje pokretnih piksela vrši se na osnovu povezanosti piksela, koja se može ispitivati poređenjem sa četiri susedna piksela ili ispitivanjem sa osam susednih piksela. Tako se dobijaju pojmovi 4-susedstvo i 8-susedstvo, odnosno 4-povezanost i 8-povezanost (slika 14) [10].

U slučaju kada se piksel A poredi sa četiri najbliža susedna piksela, kao na slici 14a, dovoljno je da ima ista svojstva kao jedan od njih, pa da se pridruži odgovarajućoj kategoriji. Takva povezanost se naziva 4-povezanost. U slučaju kada se poređenje vrši sa osam najbližih susednih piksela, kao na slici 14b, dobija se 8-povezanost.

Grupisanjem piksela sa slike 13b dobijaju se regioni pokretnih piksela (slika 15). Za dobijanje regiona pokretnih piksela primenjena je 8-povezanost.



Sl. 13 – a) primena dilatacije na binarnu sliku 12b, b) primena erozije na sliku 13a



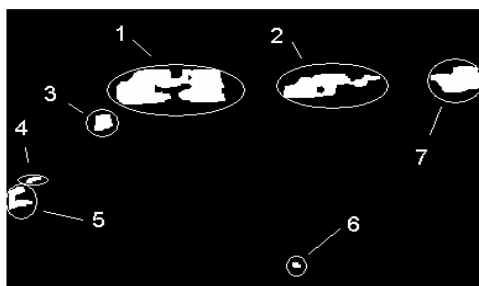
Sl. 14 – Povezanost piksela:
a) 4-susedstvo, b) 8-susedstvo

Regioni pokretnih piksela služe da bi se odredili delovi tekućeg frejma u kojima se nalaze pokretni objekti. Delovi tekućeg frejma, u kojima se nalaze pokretni objekti, određeni su na osnovu krajnjih tačaka svakog regiona pokretnih piksela, tj. tako što se svaki region pokretnih piksela obuhvati pravougaonikom minimalnog obima (minimum bounding rectangle) [4, 5]. Na slici 16 prikazani su delovi tekućeg frejma (slika 12a) u kojima se nalaze pokretni objekti.

Označimo sa R_i^n deo tekućeg frejma u kojem se nalazi pokretni objekat. Pokretni objekat b_i^n biće detektovan ako se uzmu svi pikseli iz R_i^n , čiji se intenzitet bitno razlikuje od modela pozadine, tj.:

$$b_i^n = \{(x, y) : |I^n(x, y) - B^n(x, y)| > T, (x, y) \in R_i^n\} \quad (7)$$

Ilustracije radi, na slici 17 obeleženi su regioni u kojima postoje pokretni objekti.



Sl. 15 – Regioni pokretnih piksela sa slike 13b (regioni su obeleženi brojevima 1–7)



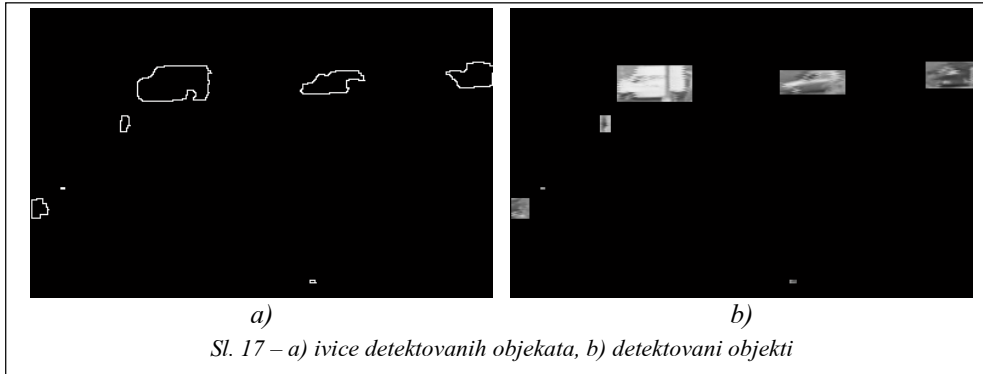
Sl. 16 – Delovi tekućeg frejma (slika 12a) u kojima se nalaze pokretni objekti

Na slici 17 mogu se videti ivice detektovanih objekata (slika 17a) i detektovani pokretni objekti (slika 17b). Detekcija ivica vršena je na osnovu binarne slike koja se dobija pomoću (7) (detekcija prelaza 0–255 i obratno). Iz navedenog primera vidi se da je ovakav način detekcije uspešno detektovao pet pokretnih objekata (četiri automobila i jednog peša-ka), ali je i detektovao dva pokretna objekta kojih u stvarnosti nema (lažni alarmi). Ovaj nedostatak se može otkloniti ako se uzmu u razmatranje samo detektovani pokretni objekti, dimenzija većih od unapred zadatih [6].

Izdvajanje pozadine

U nekim primenama detekcije pokreta na sceni nije moguće iz same sekvence izdvojiti jedan frejm i proglasiti ga pozadinom. Navedeni problem javlja se ukoliko u sekvenci uvek postoje pokretni objekti (autoput, raskrsnice,...). Zbog toga je potrebno formirati sliku pozadine $B^n(x, y)$ iz sekvence frejmova $I^i(x, y)$, koja može sadržati pokretne objekte. Kako je za detekciju pokretnih objekata potrebna slika pozadine, prvi korak u detekciji treba da bude izdvajanje pozadine.

Za izdvajanje pozadine može da se koristi srednja vrednost ili medijana određenog broja frejmova [9]:



$$B^n(x, y) = \text{mean}_t I^t(x, y), \quad (8)$$

$$B^n(x, y) = \text{med}_t I^t(x, y)$$

Jedan metod, koji se koristi, daje sliku pozadine u nekoliko iteracija [3, 8]. Metod polazi od početne slike pozadine koja je jednaka prvom frejmu $B^0(x, y) = I^0(x, y)$. Da bi se dobila slika pozadine koja odgovara tekućem frejmu, u sukcesivnim frejmovima moraju se detektovati pokretni pikseli, a zatim izdvojiti pozadina na osnovu [7, 8]:

$$B^{n+1}(x, y) = \begin{cases} \alpha B^n(x, y) + (1 - \alpha) \cdot \\ I^n(x, y), (x, y) - \text{nepokretan} \\ B^n(x, y), (x, y) - \text{pokretan} \end{cases} \quad (9)$$

Od težinskog koeficijenta α zavisi brzina promene. Iz (9) vidi se da do promene vrednosti piksela slike pozadine dolazi ako je piksel klasifikovan kao nepokretan, tj. ako je deo stacionarne pozadine. U suprotnom, pokretni pikseli „poremetili“ bi sliku pozadine. U ovom radu koristi se koeficijent $\alpha = 0,9$, koji je

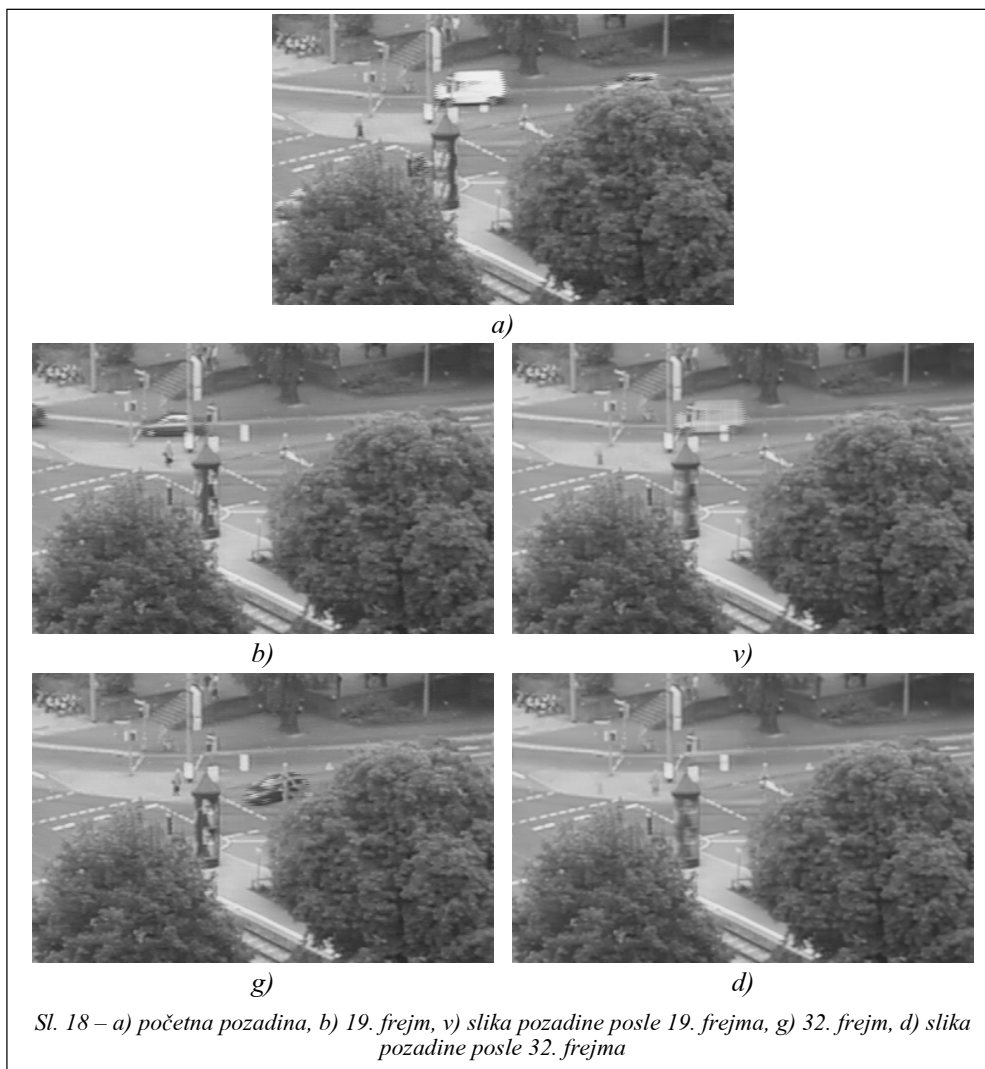
predložen u literaturi [7, 8]. Primer izdvajanja pozadine na ovakav način prikazan je na slici 18.

Slika 18a predstavlja početnu (inicijalnu) pozadinu na kojoj postoji više pokretnih objekata. Slike 18b i 18g su slike 19. i 32. frejma, a slike 18v i 18d su slike na ovakav način izdvajane pozadine nakon 19. i 32. frejma. Sa slike 18v i 18d vidi se da se pokretni objekti postepeno gube iz početne pozadine (beli kamion, pešak, automobil). Takođe, na slici 18d vidi se da se u slici pozadine postepeno pojavljuje pešak koji čeka na semaforu.

Da bi se prilagodili promenama scene (dan-noć, promene u osvetljenju, promene uslovljene senkom,...) potrebno je da se vrši ažuriranje pozadine, na osnovu izraza (9). Ažuriranje pozadine može da se vrši nakon svakog frejma, a može i u određenim vremenskim intervalima.

Zaključak

U ovom radu opisan je jedan pristup koji se može primeniti u detekciji pokreta, za koju se koristila obrada slike razlike, formirane oduzimanjem slike pozadine od tekućeg frejma i oduzimanjem suk-



cesivnih frejmova. Zbog nedostataka koji se javljaju ukoliko se koriste tehnike oduzimanja slike pozadine i oduzimanja sukcesivnih frejmova, opisan je i kombinovani metod detekcije. Kako je za detekciju pokreta potrebna slika pozadine, opisan je jedan od postupaka izdvajanja slike pozadine.

Detekcija pokreta praćena je uvođenjem praga detekcije da bi se dobila bi-

narna slika u kojoj su pikseli klasifikovani u dve klase. Izbor metoda određivanja praga detekcije pokreta zahteva dalju analizu.

Pokazano je da se primenom razlike tri sukcesivna frejma mogu eliminisati neki pokretni pikseli koji su detektovani na osnovu razlike dva sukcesivna frejma, a čija detekcija nije posledica pokreta objekata.

Ovaj pristup detekcije pokreta može se primeniti za kontrolu saobraćaja, detekciju objekata u vazdušnom prostoru, kao i za video nadzor.

Literatura:

- [1] Topalović, M.: Televizija, druga knjiga, Višedimenzionalna digitalna obrada video signala, RTS, Beograd, 1993.
- [2] Bondžulić, B.; Simić, S.; Zmić, B.: Jedan pristup detekciji i praćenju sporopokretnih objekata u video sekvenci, Proc. XLVIII ETRAN Conference, Čačak, June 6–10, 2004, Vol. 1.
- [3] Bondžulić, B.; Barbarić, Ž.: Prag detekcije pokretnih objekata u video sekvenci, XII Telekomunikacioni forum, Telfor 2004., Beograd.
- [4] Foresti, G. L.: A real time system for video surveillance of unattended outdoor environments, IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 8, pp. 697–704, Oct. 1998.
- [5] Foresti, G. L.: Object Recognition and Tracking for Remote Video Surveillance, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 9, No. 7, Oct. 1999.
- [6] Lipton, A.; Fujiyoshi, H.; Patil, R.: Moving target classification and tracking from real-time video, IEEE Workshop on Application of Computer Vision, pp. 19–21, Oct. 1998.
- [7] Collins, R.; Lipton, A.; Kanade, T.; Fujiyoshi, H.; Duggins, D.; Tsin, Y.; Tolliver, D.; Hasegawa, O.: A system for video surveillance and monitoring: VSAM final report, Robotics Inst., CMU-RI-TR-00-12, 2000.
- [8] Gupte, S.; Masoud, O.; Martin, R.; Papanikolopoulos, N.: Detection and Classification of Vehicles, IEEE Trans. on ITS, Vol. 3, No. 1, March 2002.
- [9] Rosin, P. L.; Ellis, T.: Image difference threshold strategies and shadow removal, British Machine Vision Conf. pp. 347–356, 1995.
- [10] Popović, M.: Digitalna obrada slike, Rukopis za pripremanje ispita, Beograd, 1998.

SADRŽAJ

Dr Dragoslav Ugarak, pukovnik, dipl. inž.	ODREĐIVANJE DALJINE CILJA POMOĆU VIDEO SENZO- RA I ANALIZA UTICAJA GREŠAKA I ŠUMA MERENJA	5
Dr Milorad Savković, dipl. inž. mr Danilo Serdarević, dipl. inž.	PROIZVODNJA PIROPATRONA I RAKETNIH MOTORA PILOTSKIH SEDIŠTA	15
Mr Boban Bondžulić, kapetan, dipl. inž. dr Žarko Barbarić, dipl. inž.	JEDAN PRISTUP DETEKCIJI POKRETA NA SLICI SCENE	22
Dr Slavica Ristić, dipl. inž.	PREMAZI OSETLJIVI NA PRITISAK – NOVA MOGUĆ- NOST VIZUALIZACIJE STRUJANJA	35
Mr Milovan Unković, dipl. inž.	DOPLEROVI BRODSKI NAVIGACIONI BRZINOMJERI ...	49
Profesor dr Milojko Jevtović, dipl. inž. Boban Pavlović, kapetan, dipl. inž.	ANALIZA TEHNIKA UPRAVLJANJA PRENOSOM PODA- TAKA	59
Željko Vukobrat, dipl. inž.	NAPONSKI IZLAZNI SIGNALI POZICIONO OSETLJIVOG OPTIČKOG PRIJEMNIKA	74
Dr Mirko Borisov, pukovnik, dipl. inž.	VOJNE TOPOGRAFSKE KARTE	81
Sc Goran Prodanović, kapetan	MATEMATIČKA ANALIZA MAGNETSKOG POLJA ZE- MLJE	88
Snežana Jovanović, dipl. inž. Duško Pijevčević, poručnik, dipl. inž.	POREĐENJE ODZIVA PIEZOELEKTRIČNIH I INDUK- TIVNIH DAVAČA UBRZANJA NA MEHANIČKE UDARE I POSTPROCESNO DOBIJANJE POMERANJA	97
Predrag Stamenković, kapetan I klase, dipl. inž.	MODEL IZBORA MOTOCIKLA ZA POTREBE SAOBRA- ĆAJNE PODRŠKE VOJSKE	102

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Perspektiva vođenih artiljerijskih projektila – M. K.	113
Sistem PVO SPADA-2000 – M. K.	117
Sistem za prognozu vremena na bojištu TacSAS – M. K.	118
Prvi slovački NATO kompatibilni avioni MiG-29 – M. K.	119
Streljačko naoružanje – stanje i trendovi – M. K.	120
Bezbedni komunikacioni sistem SECOQC – M. K.	123
Izviđački sistem GBAIT – M. K.	124
Poljska snajperska puška Alex – M. K.	125
Razvoj borbenog vozila MMEV – M. K.	125
Borbeno vozilo pešadije CM-32 Yunpao – M. K.	126
Lakooklopljena vozila firme Rafael – M. K.	127
Sistem aktivne zaštite CICM – M. K.	127
Oprema za britanske vojnike □ Avganistanu i Iraku – M. K.	128
Uspešno podvodno lansiranje rakete Bulava – M. K.	129
Koncept autonomnog vozila Avangard – M. K.	129
Razvoj robotizovanih naoružanih u vozila u Australiji – M. K.	130
Robotizovano minijaturno vozilo Foxbot – M. K.	132
Robotizovano vozilo Asendro – M. K.	132
Laki hemijski detektor za britansku armiju – M. K.	133

Dr Slavica Ristić,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

PREMAZI OSETLJIVI NA PRITISAK – NOVA MOGUĆNOST VIZUALIZACIJE STRUJANJA

UDC: 533.68 : 629.7.018

Rezime:

U radu je opisan novi metod vizualizacije strujanja i merenje raspodele pritisaka po površini, baziran na premazima, odnosno bojama osetljivim na pritisak – PSP. Ovi premazi nalaze široku primenu u različitim oblastima nauke i industrije. Prikazani su rezultati ispitivanja ovom metodom u svetski poznatim aerodinamičkim laboratorijama. Prelazak sa klasičnih davača pritiska na PSP tehnologiju omogućava brže i preciznije merenje pritisaka, što će omogućiti poboljšanje karakteristika aviona.

Ključne reči: premazi osetljivi na pritisak, aerotunel, vizualizacija strujanja, raspodela pritiska.

PRESSURE SENSITIVE PAINTS – NEW POSSIBILITY OF FLOW VISUALIZATION

Summary:

The description of the new method for flow visualization and surface pressure distribution measurement, based on emulsions named pressure sensitive paints – PSP, are given in this paper. These paints have large applications in different branches of science and industry. The results of this research method from the most famous world aeronautical laboratories are presented. The switch from pressure taps to pressure sensitive paints enables fast and accurate pressure testing and finally predictable and improved aircraft performance.

Key words: pressure sensitive paints, wind tunnel, flow visualization, pressure distribution.

Uvod

U okviru razmatranja mogućnosti modernizacije aviona G-4 pokazala se potreba za preciznim ispitivanjem lokalnih udarnih talasa na površini krila. U eksperimentalnoj aerodinamici postoji veliki broj metoda koje se mogu koristiti u tu svrhu [1–15]. Postoje metode ispitivanja u slobodnom letu i u aerodinamičkim tunelima. Metode mogu da se zasnivaju na merenju raspodele pritisaka po površini modela, merenju aerodinamičkih sila i momenata ili vizualizaciju stru-

janja. Prateći savremene tendencije u svetu, koje se odnose na vizualizaciju strujanja u graničnom sloju, s ciljem da se detektuje lokacija udarnog talasa, napravljena je analiza postojećih, a naročito najnovijih metoda. Rezultati te analize omogućavaju optimalan izbor metode koja, u okviru materijalnih mogućnosti, daje najbolje rezultate.

Kratke opšte napomene i podela metoda vizualizacije strujanja uvod su u detaljniji osvrt na fizičke principe, prednosti i nedostatke metode koja koristi premaze, boje osetljive na pritisak (PSP

– Pressure Sensitive Paint). Dati su primeri primene PSP tehnologije [3, 6–10, 12–14], koja predstavlja metodu izbora za ispitivanje strujanja na krilu modela aviona G4.

Mogućnosti koje pružaju PSP su od samog njihovog pojavljivanja pre desetak godina zainteresovale istraživače u oblasti aerodinamike. Raspodela pritisaka na površini modela u aerotunelima koristi se da bi se odredili optimalni aerodinamički dizajn, pojava udarnih talasa, itd. Precizna merenja u ovoj oblasti doprinose razvoju bržih, sigurnijih i efikasnijih aviona. Avioindustrija poslednjih godina ima stroge zahteve. Konstruktori moraju brzo da prihvataju standarde i da vrše neophodna poboljšanja u snazi, manevarskim sposobnostima, sigurnosti, efikasnosti i snižavanju cene aviona.

PSP tehnologija danas je našla primenu i u drugim oblastima, kao što su: automobilska industrija, nedestruktivna ispitivanja uređaja koji rade pod pritiskom, itd.

Opšte o vizualizaciji strujanja

Osnovni fluidi, koji se koriste u eksperimentalnoj aerodinamici, jesu vazduh i voda. To su bezbojni fluidi čije kretanje oko letelica, ili njihovih modela, ne može biti neposredno posmatrano i snimano. Zbog toga se koriste posredne metode koje se mogu svrstati u posebnu naučnu disciplinu u okviru eksperimentalne aerodinamike, u vizualizaciju strujanja [1].

Nove naučne ideje iz ove oblasti brzo su našle put do praktičnog ostvarenja, zbog toga što je tehnologija dosegla nivo na kojem je mogla odgovoriti nauci. Poslednjih godina ova oblast je u ekspanziji, u smislu razvoja novih metoda i njiho-

ve aplikacije u ispitivanjima složenih strujnih polja [6–15]. Nove metode vizualizacije omogućavaju „pogled u fizičke procese“ koji se ispituju u fundamentalnoj mehanici fluida, u termodinamici, toplotnim mašinama, aerodinamičkom inženjeringu, arhitekturi, medicini, testiranju proizvodnih procesa i drugim oblastima nauke i tehnike. Savremeni razvoj kompjuterske tehnike i digitalna obrada slike omogućavaju automatsku analizu efekata vizualizacije strujanja i dobijanje kvalitativne i kvantitativne vrednosti strujnih parametara, koji ne mogu da se dobiju klasičnim, konvencionalnim tehnikama merenja. Najnoviji razvoj kompjuterskih metoda dinamike fluida (CFD) često koristi rezultate vizualizacije strujanja za proveru numeričkih rezultata, kao i za komparativnu analizu eksperimenta i teorijske slike strujanja.

Posebno značajna oblast za rešavanje velikog broja tehničkih problema, jeste strujanje u graničnom sloju, koji se formira oko testiranih objekata i modela. Vizualizacija strujanja u graničnom sloju omogućava da se detaljno ispita njegova priroda, odredi debljina i područje preobražaja. U literaturi [1, 6, 11] detaljno su opisane karakteristike graničnog sloja i metode koje se najčešće koriste u njihovom ispitivanju.

Najznačajnije metode mogu se uslovno podeliti u tri grupe: klasične, optičke i specijalne. Prva grupa metoda nazvana je klasičnom zbog toga što se koristi najduže od svih. Danas ova grupa metoda uključuje najsavremenije tehnologije, tehnike osvetljavanja, snimanja i obrade. U ovu grupu metoda mogu biti svrstane metode vizualizacije strujanja s markerima, metode s premazima i meto-

de s končićima. Optičke metode obuhvataju metod senke, šliren, interferometrijske (klasične i holografske) metode, laser doppler anemometriju, brzinsku sliku čestica, itd. U grupu specijalnih metoda svrstane su sve metode koje su kombinacija elektrohemijske i fotohemijske metode, metode s infracrvenim i ultrazvučnim zračenjem, itd.

Vizualizacija premazima

U grupi metoda vizualizacije strujanja u graničnom sloju veoma je značajna metoda premaza. Premazi mogu da detektuju strujnice u neposrednoj blizini površine modela, da prikažu raspodelu pritisa ili temperature, zavisno od prirode procesa koji se aktivira u premazu [1, 2, 4, 11].

Najčešće i najduže se koristi metoda vizualizacije uljnim emulzijama [1]. Primjenjuju se u ispitivanju podzvučnih i nadzvučnih strujanja, u vazduhu ili vodi. Uljne emulzije izrađuju se na osnovu petroleuma, kerozina ili lakih transformatorskih ulja, kojima se dodaju različiti pigmenti i aditivi.

Pored uljnih emulzija, za vizualizaciju graničnog sloja koriste se i drugi premazi zasnovani na detektovanju promena temperature u neposrednoj okolini površine modela. Poznato je da se pri promeni laminarnog u turbulentno strujanje temperatura povećava, i obrnuto [1, 2]. Ako se na površinu nanese termoosetljivi premaz on će menjati boju zavisno od temperature. Opseg promena je u intervalu 100°C. Osetljiviji premazi, koji se koriste za fina, precizna ispitivanja, sadrže tečne kristale. Oni reaguju na promene temperature od oko 0,5°C. Tečni,

odnosno holesterični kristali selektivno apsorbuju i reflektuju upadnu belu svetlost, zavisno od temperature podloge, sloja i okoline.

Poslednja reč tehnologije u ovoj oblasti su boje osetljive na promenu pritisa, koje mogu da se koriste kao premazi za vizualizaciju strujanja oko modela u slobodnom letu i u aerotunelima [1–15]. Osim spomenutih premaza, treba dodati da se koriste i sublimacioni premazi, premazi sa fluorescentnim dodacima, sa različitim bojama, kao i premazi sa osobinama dvojnog prelamanja [1, 2, 4, 6].

Boje osetljive na pritisak

Boje osetljive na pritisak su premazi koji mogu da daju tačnu raspodelu pritisa na površini modela gde su nanete, a samim tim i lokaciju udarnog talasa. Ova metoda se do sada nije koristila u laboratorijama VTI, a u svetu se veoma uspešno koristi poslednjih desetak godina [3, 6–15]. U nastavku je dat kratak pregled fizičkih principa i osnovnih karakteristika ove metode.

Mogućnost da generišu preciznu, prostorno kontinuiranu raspodelu pritisa i temperature na ispitivanim aerodinamičkim površinama od bitnog je značaja za njihovu primenu pri izučavanju kompleksnih strujanja i za upoređenje sa rezultatima simulacije dobijenim metodama proračunske dinamike fluida (PDF).

Konvencionalne metode merenja pritisa koriste različite tipove elektro ili mehanički skenirane davače pritiska, koji se preko cevčica povezuju do merne tačke na površini. Ova metoda je veoma precizna, ali ima niz nedostataka; daje podatke u diskretnim tačkama, narušava

konfiguraciju površine i zahteva skupu opremu za prikupljanje i obradu signala. Metoda nije pouzdana kada se radi u zagađenim sredinama i na ekstremnim temperaturama. Tipičan model za merenje raspodele pritiska po površini aviona košta prosečno od 500 000 do milion USD, od čega na instalaciju cevčica i davača pritiska otpada oko 30%. PSP tehnologija, zbog svojih mogućnosti, nameće se kao alternativna tehnika za određivanje statičkog pritiska na površinama aviona u slobodnom letu ili modela aviona u aerotunelima.

Princip PSP tehnologije

Na slici 1 šematski je predstavljen osnovni mehanizam, odnosno princip u kojem se zasniva PSP tehnologija.

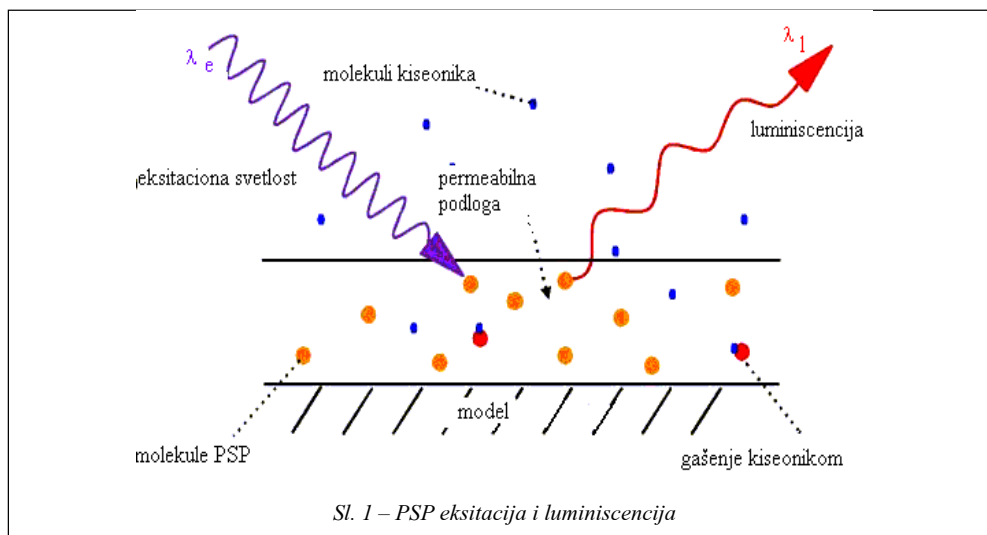
Boje osetljive na pritisak su premazi koji se sastoje od osnovnog polimera (baze) u koji su ubačene (potopljene) luminiscentne molekule. Danas se u svetu koriste različiti tipovi PSP u zavisnosti

od područja primene. Lista PSP premaza je sve duža, jer se intenzivno radi na optimizaciji starih i stvaranju novih boja. Polimerna ili druga osnova boje (primer sol-gel) diktira termalne i mehaničke karakteristike, vremenski odziv boje, a doprinosi i njenoj osetljivosti.

Luminiscentni molekuli mogu biti dobijeni kao složena jedinjenja na bazi metala kao što su: rutenium (Ru), europium (Eu), platina (Pt), itd.

Kada se premaz u kojem se nalaze luminiscentne molekule osvetli ultra ljubičastom svetlošću λ_e (300 do 345 nm) određenom energijom, one apsorbuju svetlost i dolazi do njihove eksitacije. Vraćanje u normalno stanje vrši se reemisijom apsorbovane svetlosti. Talasna dužina luminiscencije λ_l kraća je od apsorbovane i nalazi se u oblasti vidljivog spektra (slika 1).

Podloga, odnosno baza u kojoj su potopljene luminiscentne molekule je permeabilna za molekule kiseonika (O_2). Kada u boji penetriraju molekuli kiseoni-

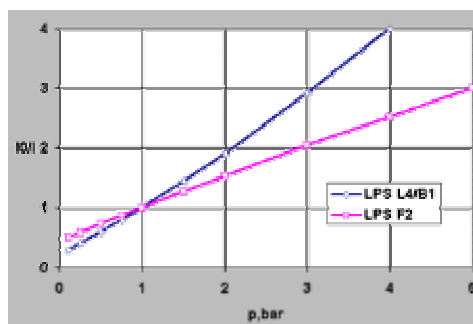


ka, dolazi do gašenja luminiscencije i smanjenja intenziteta emitovane svetlosti. Broj molekula kiseonika koji vrši gašenje direktno je proporcionalan parcijalnom pritisku vazduha, odnosno kiseonika. Intenzitet luminiscencije obrnuto je proporcionalan pritisku na ispitivanoj površini. Na ovom principu PSP mere apsolutni, lokalni pritisak. Snimanje raspodele intenziteta luminiscencije po ispitivanoj površini može da se vrši foto-aparatom, CCD ili TV kamerom. Promene u intenzitetu luminiscencije mogu biti pretvorene u promene pritiska pomoću adekvatne kalibracije [5, 7–10, 12–15].

PSP u suštini predstavljaju višeslojni premaz, a sastoje se od: bele podloge, koja daje optičku uniformnost modela i povećava intenzitet eksitacione svetlosti, adhezivnog sloja za povezivanje podloge i aktivnog sloja i aktivnog, odnosno PSP sloja osetljivog na promene pritiska vazduha. U ovom sloju često se pored osnovnog, nalazi još jedan tip luminiscentnih molekula koji služe za eliminisanje nepoželjnih uticaja temperature i intenziteta eksitacione svetlosti. Oni se pobuđuju istom talasnom dužinom, a emituju u drugom delu spektra, pa se njihovim signalima lako odvajaju [12–15].

PSP mogu biti proizvedeni u obliku spreja ili kao samolepljive trake. Njihova debljina ne prelazi 100 μm . U tabeli 1 dat je pregled karakteristika nekoliko tipova PSP koje proizvodi firma Optrod [13]. Oznake LPS B1, LPS B1T (T oznaka za traku), LPS L4 i LPS L4T namenjene su za ispitivanja u stacionarnom strujanju sa transoničnom i supersoničnom brzinom u aerotunelima ili u slobodnom letu, a LPS F2 LPS F2T za hipersonične brzine, udarne cevi i nestacionarna strujanja.

Na slici 2 prikazana je kalibraciona kriva osetljivosti PSP (odnos eksitacionog i emisionog intenziteta) u funkciji pritiska na temperaturi od 20°C [13].



Sl. 2 – Kalibraciona kriva PSP na $T=20^{\circ}\text{C}$

Prednosti i nedostaci PSP tehnologije

PSP imaju niz prednosti u odnosu na konvencionalne metode merenja raspodele pritiska na modelima. Osnovna prednost je što omogućavaju kontinuirano određivanje pritiska po celoj površini sa velikom prostornom rezolucijom. PSP su neinvazivna tehnika i, ako se pravilno nanose (debljina premaza je oko 1 μm), ne remete strujanje u graničnom sloju oko modela. Njihov vremenski odgovor je praktično trenutni, tako da mogu da se koriste i za nestacionarna strujanja [7–10, 12–14]. Proces luminiscencije je reverzibilan tako da se mogu koristiti u toku više testova.

Korišćenje PSP eliminiše potrebu da se rade modeli sa rupicama i kanalima za instalaciju cevčica i merača pritiska, pa se zbog toga skraćuje vreme izrade modela i smanjuje njihova cena. Istovremeno, povećava se čvrstina modela, što omogućava ispitivanje na većim Reynoldsovim brojevima. Ovi modeli mogu da se koriste i u ispi-

tivanjima sila i momenata, što znači da su univerzalni, a ne za samo jednu upotrebu [7, 12–15]. PSP zahtevaju relativno jeftinu dodatnu opremu za razliku od drugih metoda merenja raspodele pritiska.

U projektovanju aviona, PSP štede i vreme i novac, jer njihova primena daje veliki broj informacija o pritisku i opterećenjima pojedinih delova aviona ili projektila, što ubrzava projektovanje i izradu modela, odnosno letelica.

Nažalost, PSP imaju i svoje nedostatke [12–14]. Jedna mana PSP tehnologije je što premazi „stare“, odnosno degradiraju tokom vremena. To se događa zbog fotohemijjskih reakcija koje se odvijaju na molekulama tokom ekspozicije na eksitacionim talasnim dužinama. Ova karakteristika je bitna za velike modele.

hu koji vrše inhibiciju luminiscencije. Traži specijalnu pripremu modela, čišćenje, odmašćivanje i nanošenje adhezivne podloge. Obično se nanosi na belu podlogu kako bi se obezbedilo maksimalno iskorišćenje eksitacione svetlosti. Jedan premaz može se koristiti nekoliko sati, za više ponovljenih ispitivanja, ali se mora voditi računa o starenju premaza, jer to dovodi do promene njegovih karakteristika.

Primena PSP u aerodinamičkim ispitivanjima

Na slici 3a šematski je prikazana osnovna postavka za primenu PSP u eksperimentima, a na slici 3b izgled modela koji je premazan sa PSP [3, 5, 7–14].

Tehnički podaci PSP proizvoda firme Optrod [13]

Tabela 1

Tip PSP	P _{max} (bar)	Osetljivost ^{a)} (%/bar)	Temp. opseg (°C)	Temp. ^{b)} koeficijent. (%/°C)	Vreme ^{c)} odgovora (s)	Efikasnost ^{d)} (%)	Opseg luminiscencije (nm)
LPS B1/B1T	5	70	–20÷60	0,35	0,5	10	425÷550 odnosno: 610÷640
LPS L4/L4T	5	70	–20÷60	0,35	0,5	10	425÷550
LPS F2/F2T	10	55	0÷100	0,2	0,005	6	425÷550

Drugi nedostatak metode je što emisija PSP premaza pokazuje u isto vreme i uticaj lokalne temperature, jer ona utiče na energetska stanje luminiscentnih molekula i na permeabilnost substrata. Temperaturna zavisnost je veoma bitna pri ispitivanju sa kompresibilnim fluidima (kada su veće brzine u testu) i gde temperatura po površini modela nema uniformnu raspodelu. Ova metoda je osetljiva na kontaminaciju, na prašinu i druge agense u vazdu-

Osnovna uprošćena jednačina koja povezuje vrednosti intenziteta luminiscencije na slikama sa vrednostima pritisaka u istim tačkama na modelu je Stern-Volmerova jednačina (1) [13]. Ona zahteva poznavanje referentnih vrednosti za P i T , koji su na modelu u uslovima mirovanja. Tehnologija ispitivanja zasniva se na komparativnoj analizi slike kada je model u atmosferi uniformnog, konstantnog, poznatog pritiska i kada se nalazi u struji vazduha i izložen je razlikama pritiska.

$$\frac{I_{ref}}{I} = A + B \frac{P}{P_{ref}} = \frac{T_{ref}}{T} \quad (1)$$

gde je:

I_{ref} – intenzitet luminiscencije pri odsustvu strujanja (wind off),

I – intenzitet luminiscencije pri strujanju kada aerotunel radi (wind on),

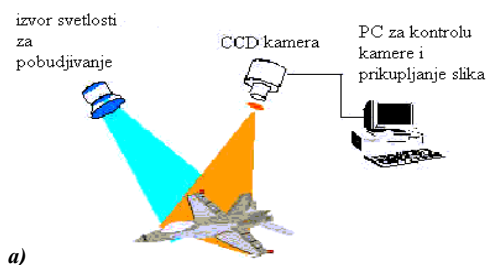
P – pritisak za uslove mirovanja (wind off),

P_{ref} – pritisak kada postoji strujanje (wind on),

T – temperatura za uslove mirovanja (wind off),

T_{ref} – temperatura za uslove strujanja (wind on),

A, B – temperaturno zavisni koeficijenti.



b)

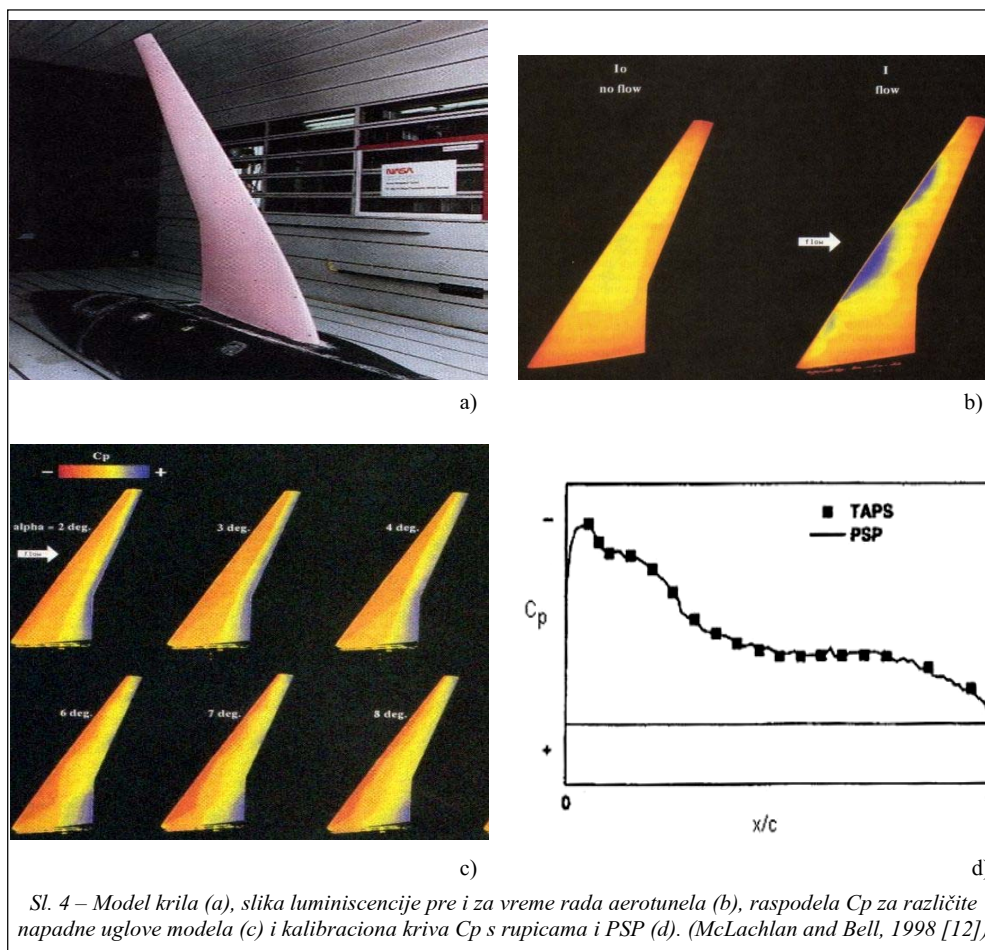
Sl. 3 – Osnovna postavka za primenu PSP premaza (a) i model sa PSP u aerotunelu (b)

Koeficijenti A i B određuju se eksperimentalno i zavise od temperature T. Oni moraju da se odrede pre konverzije intenziteta luminiscencije u raspodelu pritisaka. Postoje dva pristupa kalibraciji PSP, pre testa, u kalibracionoj komori (a priori) i u radnom delu aerotunela (in situ) [12]. U prvom postupku koristi se test-ploča na koju se nanosi premaz PSP izabrane za predstojeći test. Ploča se stavlja u komoru sa mogućnošću regulacije pritiska i temperature, koji se očitavaju u trenutku kada se uzimaju podaci o intenzitetu luminiscencije. U komori se vrše odvojena merenja za promene pritiska i za promene temperature, pa se na taj način određuju konstante A i B i diferencira njihov uticaj na rezultate merenja.

Drugi metod kalibracije vrši se na ispitivanom modelu na kojem treba da postoje kontrolne tačke sa rupicama i davačima. Izmerene vrednosti pritiska u tim tačkama uzimaju se kao kalibracione vrednosti PSP premaza. Metod podrazumeva da je površina modela izotermna. Uticaj temperature u ovom postupku može se odrediti sa premazom koji je osetljiv samo na temperaturu. Obično se jedna strana modela premaže PSP osetljivim na pritisak, a druga sa PSP osetljivim na temperaturu.

Najnovije metode koriste PSP koji su dizajnirani tako da su luminiscencije uzrokovane promenom pritiska u jednom delu spektra, a one koje su posledica temperature ili debljine sloja u drugom delu spektra, pa se mogu lako diferencirati od uticaja promena pritiska [7, 12–15].

Odnos intenziteta (I_{ref}/I) koreliran je sa izlazom iz CCD kamere, što omogućava generaciju prostorne, kontinuirane mape pritiska, omogućavajući simulta-



Sl. 4 – Model krila (a), slika luminiscencije pre i za vreme rada aerotunela (b), raspodela C_p za različite napadne uglove modela (c) i kalibraciona kriva C_p s rupicama i PSP (d). (McLachlan and Bell, 1998 [12])

no skupljanje podataka po celoj površini od interesa za ispitivanje. Pošto CCD kamere danas imaju više miliona piksela, to znači da se istovremeno meri pritisak u isto toliko tačaka.

Izlaz iz CCD kamere može vizuelno da se prikaže kao dvodimenzionalna slika u kojoj se intenzitet luminiscencije prikazuje preko nijanse sivog ili sa raznim odgovarajućim bojama.

Na slici 4a prikazan je model krila sa PSP premazom a na slici 4b su snimci kalibracije (za uslove mirovanja i struja-

nja). Na slici 4c prikazane su slike istog modela za različite napadne uglove. Koe-ficijent pritiska C_p prikazan je preko koreliranih boja [12].

Kada se prikupe podaci za analizu i obradu, sledeći problem predstavlja dvodimenzionalnost slike, dok je realni model trodimenzionalan. Povezivanje svake tačke slike sa odgovarajućom tačkom modela je kompleksna operacija ako se zna da je moglo doći do neželjenih distorzija u slici zbog sočiva kamere ili do deformacije modela tokom ispitivanja. Ovi proble-

mi rešavaju se sofisticiranim metodama razvijenim u fotogrametriji [3, 5, 7–15].

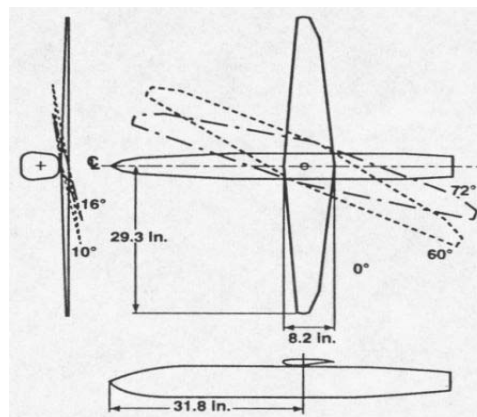
Primeri ispitivanja PSP tehnologijom

U literaturi i na Internetu može se naći veliki broj rezultata ispitivanja raspodele pritisa PSP. Deo tih rezultata prikazan je kao ilustracija mogućnosti koje pruža ova nova tehnologija. Primeri su izabrani iz različitih centara za aerodinamička ispitivanja, za različite opsege brzine i različite modele [3, 5, 7–15].

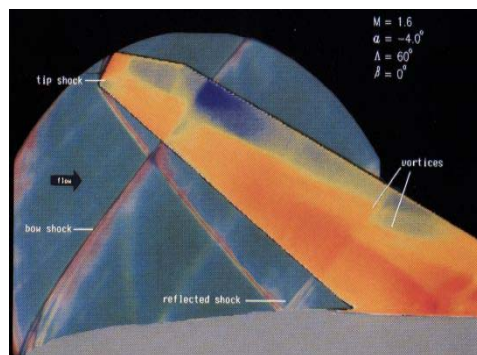
Na slici 4c prikazani su rezultati ispitivanja modela krila sa PSP. Za različite napadne uglove dobijena slika prati promene pritisa, plave zone opisuju područja sa većim intenzitetom luminescencije, što odgovara manjim pritiscima, a crvene obeležavaju zone sa manjim intenzitetom luminescencije, odnosno sa većim pritiscima (originalne fotografije su u boji). Slika 4d daje kalibracionu krivu dobijenu merenjem sa davačima pritiska i PSP. Autori su pokazali da je srednja vrednost razlike u izmerenim pritiscima 344 Pa [12].

Rezultati dobijeni u NASA 9×7 ft supersoničnom aerotunelu, gde je ispitivan model sa posebno generisanim kosim krilom sa velikim rasponom [12], prikazani su na slici 5.

Krilo modela je sa supersoničnim aeroprofilom, a njegov ugao može da se menja od 0° do 72°. Rupice za merenje pritiska postavljene su na rastojanje od jedne četvrtine tetive, a druga strana krila je premazana sa PSP (4a). Za osvetljavanje se koristi komplet od sedam živinih lampi. Slikanje je izvršeno standardnom CCD kamerom sa 8-bitnom rezolucijom



a)

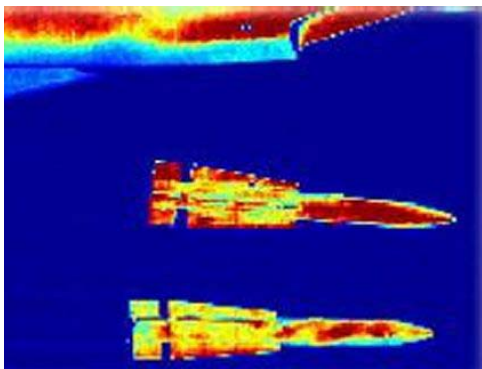


b)

Sl. 5 – Dijagram modela sa kosim krilima (a) i raspodela pritisa po površini krila i snimak šliren efekata (b), (McLachlan, 1995)

intenziteta 512×480 piksela prostornom rezolucijom. Kalibracija u ovom eksperimentu rađena je pomoću oba spomenuta metoda.

Rezultati eksperimenta prikazani su na slici 5b. Vizualizacija strujanja izvršena je oko supersoničnog krila postavljene na $M = 1,6$, napadni ugao -4° , ugao između krila i modela 60° i ugao skretanja 0° . Mapa pritisa PSP data je istovremeno sa šliren slikom strujanja oko modela i krila. Plava boja pokazuje niski pritisak, a crvena visok. Očigledna je



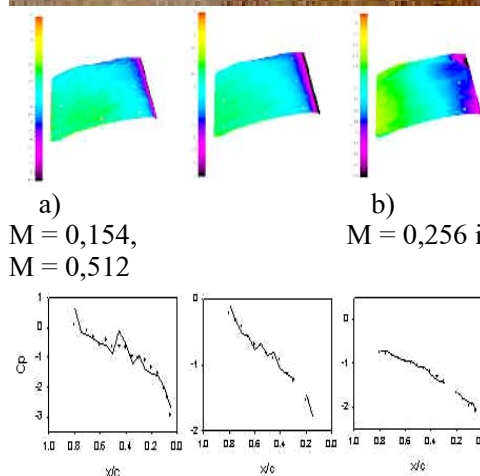
Sl. 6 – Slike raspodele pritisaka na raketama AIM-54 Phoenix, koji se odvajaju od lovca F-14

prednost korišćenja PSP za vizualizaciju strujanja. Pomoću ovih boja mogu se videti lokacije udarnih talasa na gornjoj površini krila. Šliren snimak pokazuje i lučni udarni talas na vrhu modela, kao i reflektovani talas koji potiče od kraja krila. Ova dva talasa takođe su detektovana i PSP premazom.

Jasno se vidi da postoji korespondencija između dobijenih rezultata: lučni udarni talas, koji se javlja na vrhu modela, ima uticaja na raspodelu pritisaka na krilu, ispred njega je manji pritisak, a iza njega veći, što dovodi do pojave intenzivnije plave boje na krilu. Takođe, može se videti i uticaj reflektovanog udarnog talasa na površini krila.

Na slici 6 vidi se kako PSP premazi oslikavaju raspodelu pritisaka pri složenom procesu odvajanja raketa od aviona nosača [12].

Ispitivanja raspodele pritisaka na modelu superkritičnog krila SC3 izvršeno je u NASA Langley trisoničnom, kriogenom aerotunelu, sa malim brzinama, pomoću PSP. Pritisak u devet tačaka meren je davačima, a model je premazan PSP emulzijom na bazi sol-gel, koja ima



c)

Sl. 7 – Rezultati ispitivanja krila SC3

povećanu osetljivost u odnosu na polimerne emulzije.

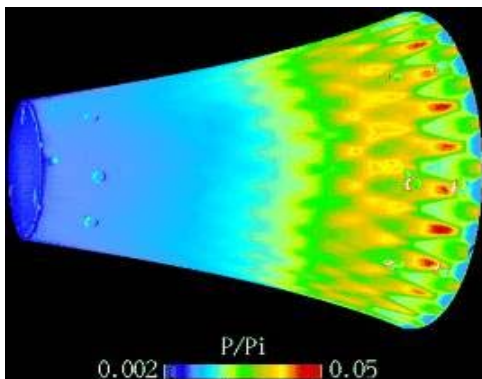
Rezultati ispitivanja dati su na slici 7; model (7a), mapa pritisaka (7b) za $M = 0,154$, $0,256$ i $0,512$ i koeficijent C_p za navedene Mahove brojeve (7c). Kontinuirana kriva je dobijena na osnovu PSP, a tačkaste vrednosti pomoću davača [12].

Na slici 8 ilustrovana je primena PSP u okviru eksperimenta ESA's ARPT, u hipersoničnom tunelu prekidnog dejstva (R2Ch u Oneri) [12]. Model je centralni mlaznik Aerospike. Oko njega se nalaze 24 kružne mlaznice, a njihova

uloga je da vrše kontrolu ekspanzije mlaza tokom faze lansiranja budućeg nosača. PSP premazi su na bazi pyrena, koji je skoro neosetljiv na promene temperature i veoma brzo reaguje. Za eksitaciju je korišćena živina lampa (334 ± 5 nm), a svetlost se preko fibera uvodi u aerotunel, kako bi se eliminisala potreba za pyrex prozorima, transparentnim za tu talasnu dužinu svetlosti. Snimanja su vršena u razmaku od 1s, a dobijeni rezultati raspodele pritiska na bazi PSP su u odličnoj saglasnosti sa klasično merenim vrednostima u diskretnim tačkama.

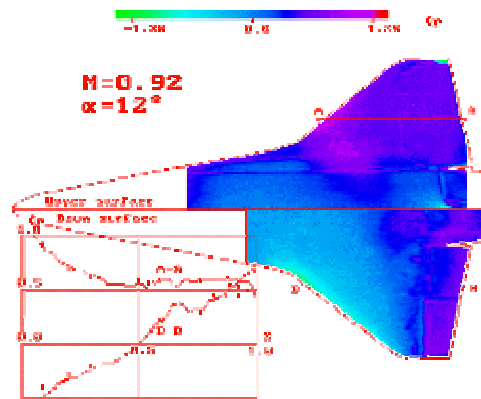


a)

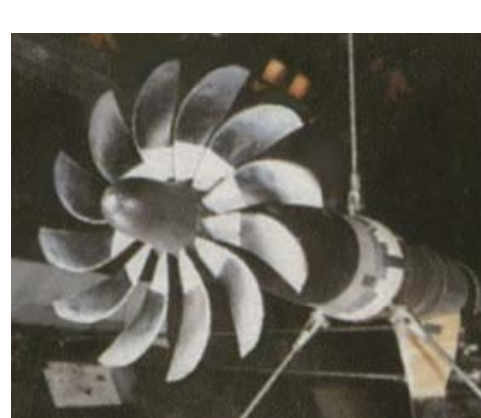
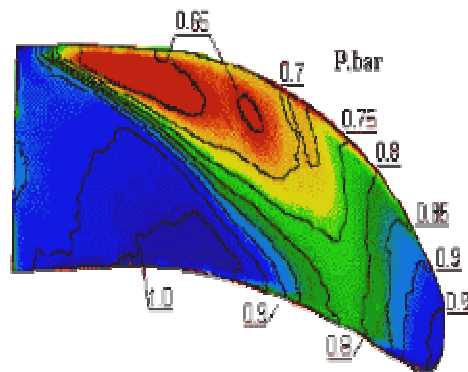


b)

Sl. 8 – Laboratorijski model Aerospike centralnog mlaznika (a) i mapa pritiska dobijena PSP tehnologijom (b)



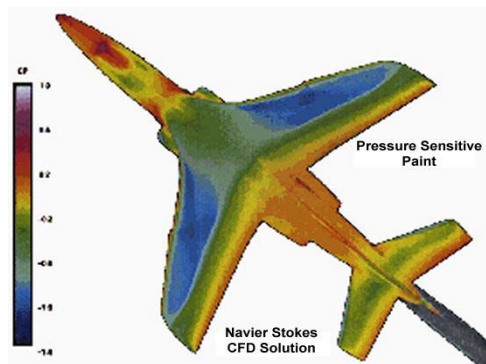
a)



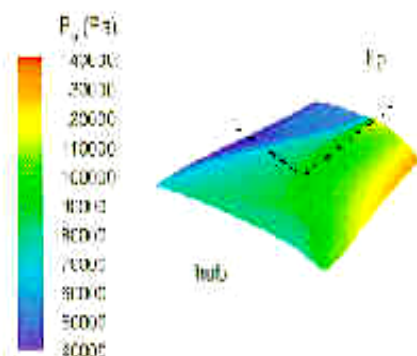
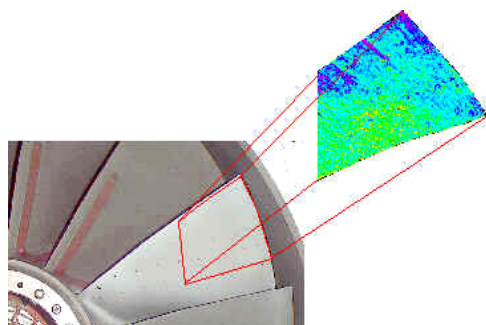
b)

Sl. 9 – Raspodela pritiska na svemirskom brodu Buran, a) i na lopatici turbine snimljene u aerotunelima u CAGI b)

U poznatom aeronautičkom centru CAGI [13] vršena su mnoga ispitivanja PSP tehnologijom, a na slici 9 dati su primeri ispitivanja nosača aviona (a) i turbine (b), realizovani u aerotunelu T-112.



a)



b)

Sl. 10 – Usporedna slika raspodela pritisaka dobijena PSP i CFD metodama: model aviona a) [12] i na lopatici turbine b) [14]

Posebno je velika primena rezultata dobijenih PSP tehnologijom u komparativnoj analizi s rezultatima različitih metoda proračunske dinamike fluida (CFD). Prednosti PSP u ovom domenu pokazane su na slici 10a i 10b. Numeričke vrednosti za raspodelu pritisaka date su na levoj strani modela aviona, a eksperimentalne vrednosti dobijene PSP tehnologijom na desnoj (10a) [12].

Primena PSP u određivanju pritiska na velikim rotacionim površinama veoma je značajna zbog toga što su druge metode veoma komplikovane.

Nove tendencije u PSP tehnologiji

Iako počeci PSP tehnologije datiraju od pre desetak godina, danas se već govori o klasičnim i novim premazima koji se razvijaju za specijalne primene. Tako, na primer, PSP koji su na bazi sol-gel osnove testirane u NASI i u Nacionalnoj aerodinamičkoj laboratoriji u Japanu namenjene su za veoma male promene pritiska, u temperaturnom opsegu od -150 do 500°C . Ove PSP mogu da se koriste u svim opsezima brzina, a i u kriogenim aerotunelima [10, 14, 15].

Razvoj novih polimera, koji se koriste kao osnova za potapanje luminiscentnih molekula, veoma je intenzivan, što dovodi do nove specifične primene PSP tehnike. Danas se koriste optički senzori na bazi platine (platinum octaethylporphyrin (PtOEP)) u različitim organskim i neorganskim polimerima ili filmovi na bazi kompleksnih metala [15].

Posebna primena koja treba da se naglasi je upotreba PSP tehnike u procesu dizajna i proizvodnje modela za aerotunelska ispitivanja [8, 14, 15]. Njihova primena u ovom procesu je opravdana

zbog veoma niske cene, visoke efikasnosti i preciznosti u merenju koeficijenta pritisaka. Primer je ispitivanje SST modela transoničnog putničkog aviona u aerotunelu u Japanu [8]. PSP su dale veoma važne podatke za raspodelu pritiska na osnovu kojih su izračunate izobare na transoničnom krilu i na mestima gde dolazi do interferencije uticaja motora i uvodnika vazduha [8].

PSP se primenjuju za ispitivanje veoma brzih kratkotrajnih fenomena u hipersoničnim aerotunelima i u udarnim cevima [9, 15]. Specifičnost ovih boja je što se u podlozi od anodiziranog aluminijuma nalaze složene molekule rutenijuma ($[\text{Ru}(\text{ph}_2\text{phen})_3]^{2+}$) koje su luminescentne. Brzina odgovora ovih PSP je oko 10 kHz. Ispitivanja su vršena u hipersoničnom tunelu pri $M = 10$.

U literaturi se mogu naći podaci da se PSP koriste i u ispitivanjima nestacionarnih strujanja [3, 7, 9, 12–15]. Pokazano je da mogu da mere fluktuacije pritiska sa frekvencijom do reda KHz, a da su ograničavajući faktor karakteristike CCD kamera kojima se snimaju slike.

PSP tehnologija može se primenjivati i u veoma razređenim gasovima, gde je mala koncentracija kiseonika, tako što se umesto standardnih osnova za luminescentne molekule koriste druge sa većom permeabilnošću, kao što su tTFPP/poly(TMSP) [15]. Danas su razvijeni novi PSP koji se mogu koristiti i u kriogenim aerotunelima [10, 14, 15]. U ovim sredinama skoro da nema kiseonika neophodnog za aktiviranje standardnih PSP. Polimer gubi permeabilnost kiseonika na temperaturama blizu tačke tečnog azota. Zbog toga su razvijeni anodizirani aluminijumski PSP (AA-PSP), bazirani na

složenim polimerima kao vezivna podloga. AA-PSP i PSP na bazi Poly (TMSP) koriste se zbog visoke osetljivosti na kiseonik i u najnepovoljnijim uslovima [15].

Zaključak

Danas u svetu ne postoji značajan centar za aerodinamička ispitivanja koji u svoje metode ne ubraja PSP tehnologiju. U ovom radu prikazan je samo mali deo rezultata koji se nalazi u dostupnoj literaturi.

Analiza postojećih i mogućnosti primene novih metoda vizualizacije strujanja, radi detekcije mesta pojave udarnog talasa, pokazuje da je najbolja metoda vizualizacije strujanja u graničnom sloju ona koja koristi premaze na osnovu PSP. Kao zaključak može se istaći da je istraživanje lokacije udarnih talasa na krilima aviona G4 problem koji se može rešiti primenom PSP.

Danas u svetu postoji više renomiranih centara koji proizvode PSP za tržište i koji mogu da ih prilagode za specifične potrebe svakog eksperimenta (Optrod iz Rusije, ili Onera-Dafe iz Francuske, Lewis Lab iz NASE, General Paints Ltd., Celbridge, Innovative Scientific Solutions, Inc. Indian, itd.). Za primenu ove metode neophodno je nabaviti komplet PSP (podloga, adhezivni premaz i boje), koji u proseku košta oko 3000 USD, za površinu od oko 2000 cm².

Laboratorija za eksperimentalnu aerodinamiku VTI raspolaže neophodnom opremom i stručnim kadrom i uz minimalna ulaganja može primeniti ovu metodu kao standardnu za određivanje mape pritisaka na ispitivanim modelima.

Literatura:

- [1] Werzkirch, W. F.: Flow Visualization. 1st ed. Academic Press, New York, 1974.
- [2] Yang, W. J. [ed.]: Flow Visualization. III proc. 3rd International Symposium, Ann Arbor MI, 1983, Hemisphere, New York, 1985.
- [3] Bykov, A. P.; Fonov, S. D.; Mosharov, V. E.; Orlov, A. A.; Radchenko, V. N.: Investigation of the Airflow around Aircraft Model at High and Intermediate Angle of Attack with Pressure Sensitive Paint, 20th ICAS Congress, Sorrento, Italy, September 1996.
- [4] Ristić, S.: Flow Visualization Technics in wind tunnels, VTI, 1996.
- [5] Kuzmin, M. G.; Nemilova, M.Yu.; Sadovskii, N. A.; Mosharov, V. E.; Orlov, A. A.; Radchenko, V. N.: Luminescent Pressure Sensor for quantitative surface flow visualization, 8th International Symposium on Flow Visualisation (1998).
- [6] Ristić, S.: Pregled metoda vizualizacije strujanja u aerodinamičkim tunelima, kum NTL, VTI, 1999.
- [7] Mosharov, V.; Radchenko, V. N.; Fonov, S.: Luminescent Pressure Sensors in Aerodynamic Experiment, Central Aerohydrodynamic Institute – CWA Intentional Corporation, 1999.
- [8] Yuichi Shimbo, Keisuke Asai, Hiroshi Kanda, Yoshimi Iijima, Nobuyoshi Komatsu, Shinya Kita, Mitsuo Ishiguro: Pressure Sensitive Paint Application to a Business Jet Model in Transonic Testing, 7th Annual Pressure Sensitive Paint Workshop, West Lafayette, Indiana, Oct 1999.
- [9] Kazuyuki Nakakita, Keisuke Asai, and Takashi Yamazaki: Improvement of PSP Measurement System in a Hypersonic Shock Tunnel, 8th Annual PSP/TSP Workshop, Hampton, Virginia, Oct. 2000.
- [10] Yasuhiro Egami, Yoshimi Iijima, and Keisuke Asai: Optimizations of Polymer-Based PSP for Cryogenic Wind Tunnels, 19th International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities (ICIASF), Cleveland, Aug. 2001.
- [11] Ristić, S.: Metode vizualizacije graničnog sloja, Tehnička dijagnostika, god. 3, br. 1, 2004, str.14–20.
- [12] www.aerospaceweb.org.
- [13] www.optrod.com.
- [14] <http://www.yahoo.com/ISSI>, Innovative Scientific Solutions Inc., 2766 Indian Ripple Road.
- [15] Keisuke Asai: Status and Prospect of Pressure-Sensitive Paint Technology, Journal of the Visualization Society of Japan, Vol. 21, No. 83, October 2001.

Mr Milovan Unković,
dipl. inž.
Tehnički opitni centar – poligon Luštica,
Tivat

DOPLEROVI BRODSKI NAVIGACIONI BRZINOMJERI

UDC: 531.767 : 52-67] : 623.82

Rezime:

Doplerovi navigacioni brodski brzinomjeri rade na principu Doplerovog efekta. Doplerov predajni projektor emituje snop ultrazvučnih vibracija u vodi, a drugi (ili isti) projektor prima odbijeni signal od dna ili od sloja vode. U ovom radu opisana je teorija Doplerovog efekta, primjena te teorije na brodskim brzinomjerima, konstrukcija i karakteristike savremenih Doplerovih brzinomjera.

Ključne reči: Doplerov efekat, brodski navigacioni uređaj, Doplerov brzinomjer.

MARITIME NAVIGATIONAL DOPPLER LOGS

Summary:

The Doppler maritime navigational logs are based on measurement of the Doppler effect. A Doppler log transmitting transducer emits beam of sound vibration in the water, and a second (or the same) transducer receives the echo from the sea bed or water layer. In this article describes theory of Doppler effect, using this theory in maritime logs, construction and performance of modern Doppler logs.

Key words: Doppler effect, maritime navigational equipments, Doppler log.

Uvod

Brzinomjeri su obavezni navigacioni uređaji na brodovima. Minimalne vrijednosti karakteristika brodskih brzinomjera date su u IMO rezoluciji A.224 (VII) i propisane standardom IEC 1023 [1]. U sklop brzinomjera obavezno je uključen i mjerač pređenog puta. Ranije su se koristili mehanički i hidrodinamički brzinomjeri, a danas se, uglavnom, koriste elektromagnetni i Doplerovi brzinomjeri. U ovom radu razmatra se princip rada, karakteristike i tehničke izvedbe Doplerovih brzinomjera.

Doplerov efekat

Iz akustike i optike poznato je da ako se izvor ili posmatrač oscilacija kre-

ću jedan u odnosu na drugog dolazi do promjene u frekvenciji signala [2].

Navedena pojava važi i za sve izvore elektromagnetnog zračenja. Godine 1842. Dopler je primjetio da zvijezde koje se relativno kreću prema posmatraču imaju različitu boju od onih koje se udaljavaju. Balot je 1943. eksperimentalno dokazao da zvuk ima veću frekvenciju kada se izvor kreće prema posmatraču (prijemniku). Da bi se lakše shvatila suština navedenog efekta, koji je nazvan Doplerov efekat [3], razmotriće se dva specijalna slučaja: slučaj kada se izvor kreće u odnosu na posmatrača koji miruje, i slučaj kada izvor miruje, a posmatrač se u odnosu na njega kreće. Iz ova dva slučaja izvodi se opšti slučaj kada se predajnik i prijemnik kreću jedan u odnosu na drugog.

Kretanje izvora u odnosu na posmatrača

Pretpostaviće se da je frekvencija signala izvora f_s , brzina kretanja talasa c , a komponenta vektora brzine kretanja izvora koja se poklapa sa pravcem koji spaja izvor sa posmatračem (prijemnikom) v_s (slika 1). Usled kretanja izvora, odnosno njegovog premještanja za dužinu d , dolazi do skraćanja talasa pri čemu je $d = \lambda - \lambda'$. Ako je T vrijeme trajanja jednog ciklusa i $T = 1/f_s$, tada je $d = v_s T = v_s/f_s$. Odavde slijedi izraz (1):

$$\lambda' = \lambda - d = \lambda - \frac{v_s}{f_s} \quad (1)$$

Frekvencija primljenog signala f_p data je izrazom (2):

$$f_p = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda - \frac{v_s}{f_s}} = \frac{c \cdot f_s}{\lambda \cdot f_s - v_s} \quad (2)$$

Pošto je: $\lambda = c/f_s$, odnosno $\lambda f_s = c$, to je:

$$f_p = \frac{c \cdot f_s}{\lambda \cdot f_s - v_s} = \frac{c \cdot f_s}{c - v_s} = f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} \quad (3)$$

Pri kretanju izvora ka prijemniku $f_p > f_s$, jer se talasi koji dolaze od izvora skraćuju. U trenutku kada izvor prolazi mimo posmatrača (prijemnika) $v_s = 0$ i $f_p = f_s$.

Kada se izvor udaljava od posmatrača svaki talas λ' će biti duži, što je prikazano izrazom (4):

$$\lambda' = \lambda + \frac{v_s}{f_s} \quad (4)$$

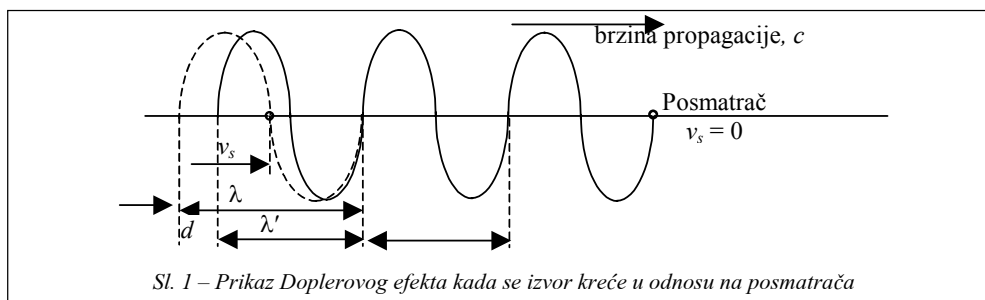
Tada je:

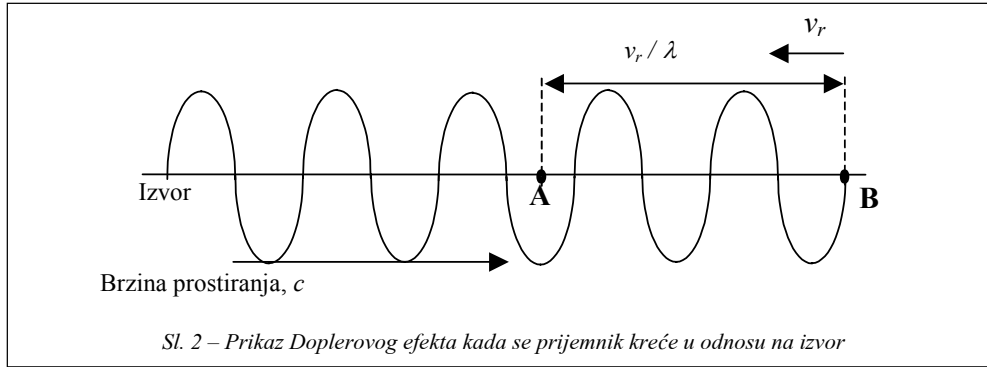
$$f_p = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda + \frac{v_s}{f_s}} = f_s \cdot \frac{c}{c + v_s} \quad (5)$$

Kretanje prijemnika u odnosu na izvor

U slučaju kada se posmatrač kreće ka izvoru, registruje se brzina v_r . Ako se prijemnik kreće u nekom drugom smjeru brzinom v , a izvoru se približava relativnom brzinom v_r , tada je $v_r = v \cos \alpha$, gdje je α ugao između vektora v i v_r .

Posmatrač koji se kreće prema izvoru signala prima broj perioda talasa proizveden od izvora (u sekundi) plus broj perioda talasa duž distance AB koju posmatrač prelazi u sekundi.





Broj talasa duž AB je v_r/λ . Prema tome, frekvencija primljenog signala f_r prikazana je izrazom (6):

$$f_r = f_s + \frac{v_r}{\lambda} \quad (6)$$

Pošto je $1/\lambda = f_s/c$, to je:

$$f_r = f_s + \frac{v_r \cdot f_s}{c} = f_s \cdot \left(1 + \frac{v_r}{c}\right) = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (7)$$

Kada prijemnik (posmatrač) prođe izvor, v_r postaje negativna, odnosno važi izraz (8):

$$f_r = f_s \cdot \frac{c - v_r}{c} \quad (8)$$

Doplerov pomjeraj (šift)

Ako se izvor i prijemnik kreću jedan u odnosu na drugi, tada se frekvencija f_s u izrazu (7) prividno mijenja u odnosu na prijemnik i iznosi f_p kao što je prikazano izrazom (9):

$$f_r = f_p \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (9)$$

Zamjenom f_p izrazom (3) dobija se da je:

$$f_r = f_s \cdot \frac{c}{c - v_s} \cdot \frac{c + v_r}{c} \quad (10)$$

Poslije skraćivanja izraza (10) dobija se ukupna promjena frekvencije signala na prijemniku, kao posljedica kretanja izvora i prijemnika, što je dato izrazom (11):

$$f_r = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c - v_s} \quad (11)$$

Doplerov frekvencijski pomjeraj (šift) jeste razlika između frekvencije primljenog signala f_r koja se može mjeriti, i frekvencije odaslanog signala f_s koja je poznata. Prema tome, Doplerov pomjeraj je: $f_r - f_s$, odnosno $f_s - f_r$.

Za ranije navedeni slučaj, kada se prijemnik i izvor kreću jedan u odnosu na drugi, imamo da je:

$$f_r - f_s = f_s \cdot \frac{c + v_r}{c - v_s} - f_s = f_s \cdot \left(\frac{c + v_r}{c - v_s} - \frac{c - v_s}{c - v_s}\right) = f_s \cdot \frac{v_r - v_s}{c - v_s} \quad (12)$$

Iako se Doplerov efekat javlja i kod elektromagnetnih talasa (svjetlosnih, radio) i ima važnu ulogu u nekim radio-navigacionim i radarskim sistemima, prethodni izrazi se ne mogu generalno primijeniti na sva kretanja talasa u prostoru, ili na talase primljene od satelita, gdje se uzimaju u obzir i drugi faktori.

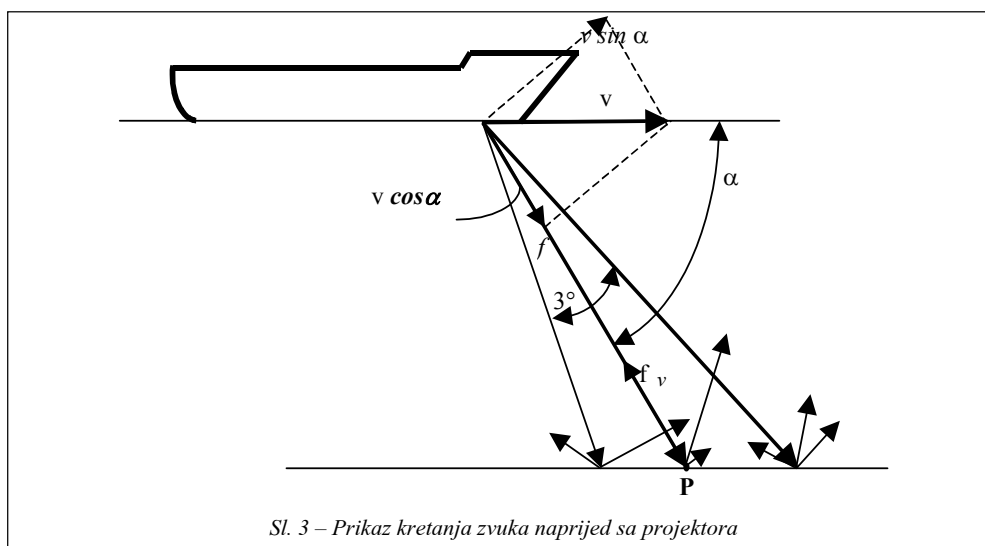
Međutim, izraz (11) može se primijeniti kod brodskih navigacionih Doplerovih brzinomjera, pri čemu su predajni i prijemni projektor (antena) smješteni na dnu broda. Vibracije u moru proizvodi predajni projektor, a njih odbijene od dna, prihvata prijemni projektor.

Primjena Doplerovog efekta kod brodskih brzinomjera (hidroakustički brzinomjer)

Doplerov efekat primijenjen je u konstrukciji brodskih brzinomjera. Suvremeni brodski navigacioni brzinomjeri drugih tipova mjere brzinu broda na osnovu razlike dinamičkog i statičkog pritiska (hidrodinamički brzinomjeri) ili

na osnovu brzine strujanja vode u magnetskom polju sonde (elektromagnetni brzinomjeri). Ovi brzinomjeri nisu dovoljno tačni, jer mjere brzinu broda u odnosu na okolnu vodu koja se, takođe, kreće uslijed strujanja. Kako su vektori brzine broda i morske struje različiti po intenzitetu i smjeru, to su greške u pokazivanju stvarne brzine i pređenog puta značajne i vremenom se sabiraju. Doplerov brzinomjer mjeri stvarnu brzinu broda u odnosu na dno ili u odnosu na granične slojeve morske vode i zato je mnogo precizniji. Osim mjerenja brzine broda, Doplerov efekat se koristi i za mjerenje bočnog zanošenja.

Predajni projektor brzinomjera montiran je na kobilici broda koji se kreće brzinom v . Predajni projektor emituje snop zvučnih vibracija u vodu pod uglom α (uobičajeno pod uglom od 60° u odnosu na kobilicu u smjeru – naprijed). Pri emitovanju signala sa broda u pokretu imamo slučaj izvora koji se kreće, pa se frekvencija zvuka mijenja po izrazu (3). Morsko



dno predstavlja reflektor od koga se signal odbija i vraća prema brodu. Brod predstavlja prijemnik koji se kreće, te opet dolazi do promjene frekvencije signala, kao što je već pokazano izrazom (11).

Zvuk se kreće ka dnu (od dna) brzinom $v \cos \alpha$, što uslovljava Doplerov efekt, kako je prikazano na slici 3. Analiza se može uprostiti pretpostavkom da su zvuk iz predajnog projektora i zvuk koji dolazi na prijemni projektor suprotnog smjera u odnosu na tačku P, a imaju istu brzinu $v \cos \alpha$. Ako u izrazu (11) umjesto f_s uvrstimo f a umjesto f_r f_v , dobija se izraz (13):

$$f_v = f \cdot \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} = f \cdot \frac{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} \quad (13)$$

Za vrijednosti $x \ll 1$, važi izraz (14):

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots \quad (14)$$

Kombinujući izraze (13) i (14), dobijamo izraz (15):

$$\begin{aligned} f_v &= f \cdot \frac{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} = f \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha\right) \cdot \\ &\frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha} = f \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha\right) \cdot \\ &\cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha + \dots\right) = \\ &= f \cdot \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} + \dots\right) \end{aligned} \quad (15)$$

Pošto su svi članovi poslije $(2v^2/c^2) \cos^2 \alpha$ zanemarivi u odnosu na 1, to je frekvencija primljenog zvuka konačno:

$$f_v = f \cdot \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha\right) \quad (16)$$

Izraz sličan izrazu (16), ali izveden na drugi način nalazi se u literaturi [4] (str. 262).

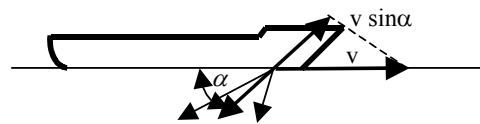
Ako su poznati f , c i α , i ako se mjeri f_v , može se odrediti brzina broda u odnosu na morsko dno. Podatak o brzini predaje se na integrator koji, množeći v i t , daje put koji je prešao brod.

Drugi predajni projektor usmjerava snop talasa unazad (slika 4) i drugi prijemni projektor prima odbijeni talas od dna. Ako drugi projektor snop talasa usmjerava unazad, vektor $v \cos \alpha$ je za taj snop negativan, jer se projektor kreće udaljavajući se od reflektovane površine umjesto da se njoj približava. Tada važi izraz (17):

$$f_a = f \cdot \left(1 - \frac{2v}{c} \cdot \cos \alpha + \frac{2v^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha\right) \quad (17)$$

gdje je f_a frekvencija odbijenog signala koji ide unazad.

Razlika $f_v - f_a$ lako se mjeri mješajući ove dvije frekvencije i detektujući proizvod mješanja.



Sl. 4 – Prikaz kretanja zvuka nazad u odnosu na brod

Tako se dobijaju izrazi (18):

$$f_v - f_a = \frac{4 \cdot f \cdot v}{c} \cdot \cos \alpha$$

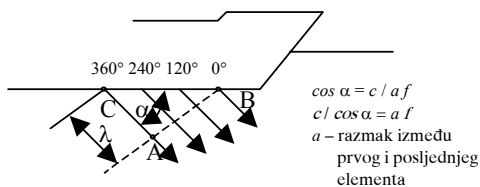
$$v = \frac{c}{4 \cdot f \cdot \cos \alpha} \cdot (f_v - f_a) \quad (18)$$

U izrazima (18) f i $\cos \alpha$ su poznate vrijednosti, a $f_v - f_a$ se mjeri. Nakon toga se računa v . S obzirom na to da brzina prostiranja zvuka kroz vodu zavisi od temperature i manje od saliniteta, često se blizu projektora ugrađuje termistor koji daje podatak o temperaturi na osnovu koje se vrši korekcija brzine c . Uočava se da se u jednačinama (18) ne javljaju ni vrijeme propagacije upadnog talasa ni vrijeme njegovog odziva, a ni dubina mora. Neki tipovi Doplerovih brzinomjera izraz $c/\cos \alpha$ drže automatski konstantnim, pa se iz (18) dobija izraz (19):

$$v = \frac{a \cdot f}{4 \cdot f} \cdot (f_v - f_a) =$$

$$= k \cdot (f_v - f_a), \quad k = \frac{a}{4} \quad (19)$$

Iz ovog izraza slijedi da je v proporcionalno $f_v - f_a$. Na slici 5 dat je prikaz konfiguracije projektora Doplerovog brzinomjera firme Krupp&Thomson CSF. Ugrađeno je 72 piezoelektrična elementa (na slici su prikazana samo četiri). Za ovaj brzinomjer važe izrazi (19).



Sl. 5 – Prikaz ugradnje projektora na brodu

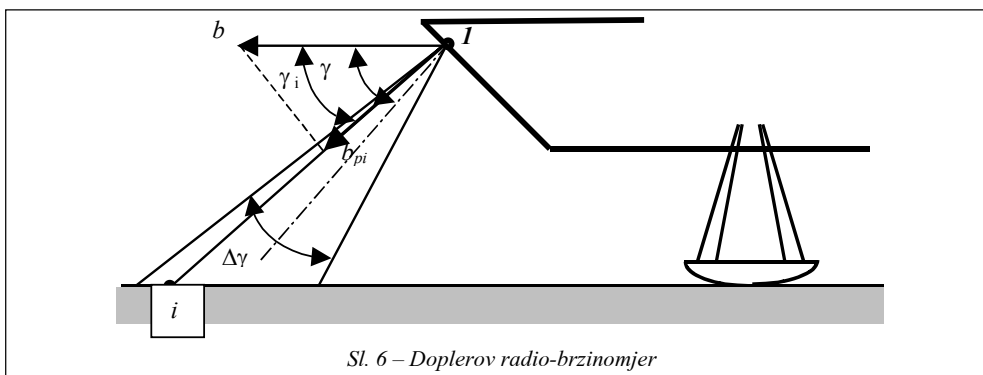
Doplerov brzinomjer koristi više frekvencije signala nego brodski navigacioni dubinomjer, tako da površina reflektora može biti manja. Kraći talasi omogućavaju uže uglove snopa, što znači da je (zbog bolje usmjerenosti) potrebna manja emitovana snaga vibracija.

I dubinomjeri i Doplerovi brzinomjeri rade na principu odbijanja zvučnih talasa od morskog dna; dubinomjeri mjere vrijeme propagacije talasa, a Doplerovi brzinomjeri razliku između frekvencija ($f_v - f_a$).

Refleksije zvuka nastaju i kad se zvučni snop kreće iz jednog sloja vode koji ima jednu strukturu i temperaturu u drugi sloj sa različitim osobinama. Doplerov efekat se javlja, takođe, kada se jedan sloj vode relativno kreće u odnosu na drugi. U tom slučaju Doplerov brzinomjer mjeri algebarsku sumu pomjeraja Doplerove frekvencije zvuka na njegovom putu do dna (ili reflektujućeg sloja vode) i povratka do prijemnika.

Ako zvučni snop nailazi na dno, ukupni frekvencijski pomjeraj je proporcionalan brzini broda u odnosu na dno. Ako zvučni signal ne dolazi do dna, već se refleksija vrši od sloja vode, mjereni Doplerov pomjeraj je proporcionalan brzini broda u odnosu na sloj vode.

Konfiguracija od dva transmitera, od kojih jedan proizvodi snop usmjeren naprijed, a drugi nazad, zove se Janusova konfiguracija. Prednost Janusove konfiguracije jeste što vertikalno kretanje broda izaziva iste promjene Doplerovog pomjeraja, pa razlika $f_v - f_a$ ostaje konstantna. Pri podizanju pramca broda frekvencija se povećava. Istovremeno, krma se spušta, a frekvencija smanjuje. Suprotno se dešava pri spuštanju pramca i izdiza-



nju krme. Sabiranjem i dijeljenjem ovih frekvencija dobija se srednja vrijednost, odnosno prava brzina broda. Prema tome, vertikalno kretanje broda ne utiče na Doplerov pomjeraj.

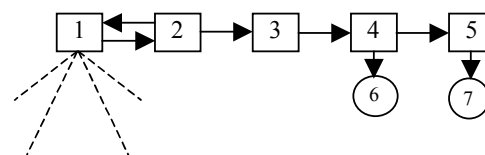
Da bi se mjerila poprečna brzina, slično Janusovoj konfiguraciji, montiraju se projektori koji usmjeravaju snop pod uglom od 90° u odnosu na uzdužne projektore. S obzirom na to da od mosta do pramca velikih tankera može biti rastojanje veće od 150 m, moraju se imati podaci o brzini pramčanog i krmenog dijela pri pristajanju.

Hidroakustični sistemi kod kojih projektori stalno proizvode zvučne signale nazivaju se sistemima sa kontinualnim talasima. Oni imaju različite predajne i prijemne projektore koji su jednake konstrukcije. Drugi tip hidroakustičnih sistema su impulsni sistemi. U takvim sistemima projektor generiše impulse i isti projektor prima odbijeni signal u periodu između generisanja impulsa. U kontinualnim sistemima prijem odziva može biti ometan emitovanim vibracijama projektor, što nije slučaj sa impulsnim sistemima. Većina Doplerovih brzinomjera koristi impulsne sisteme.

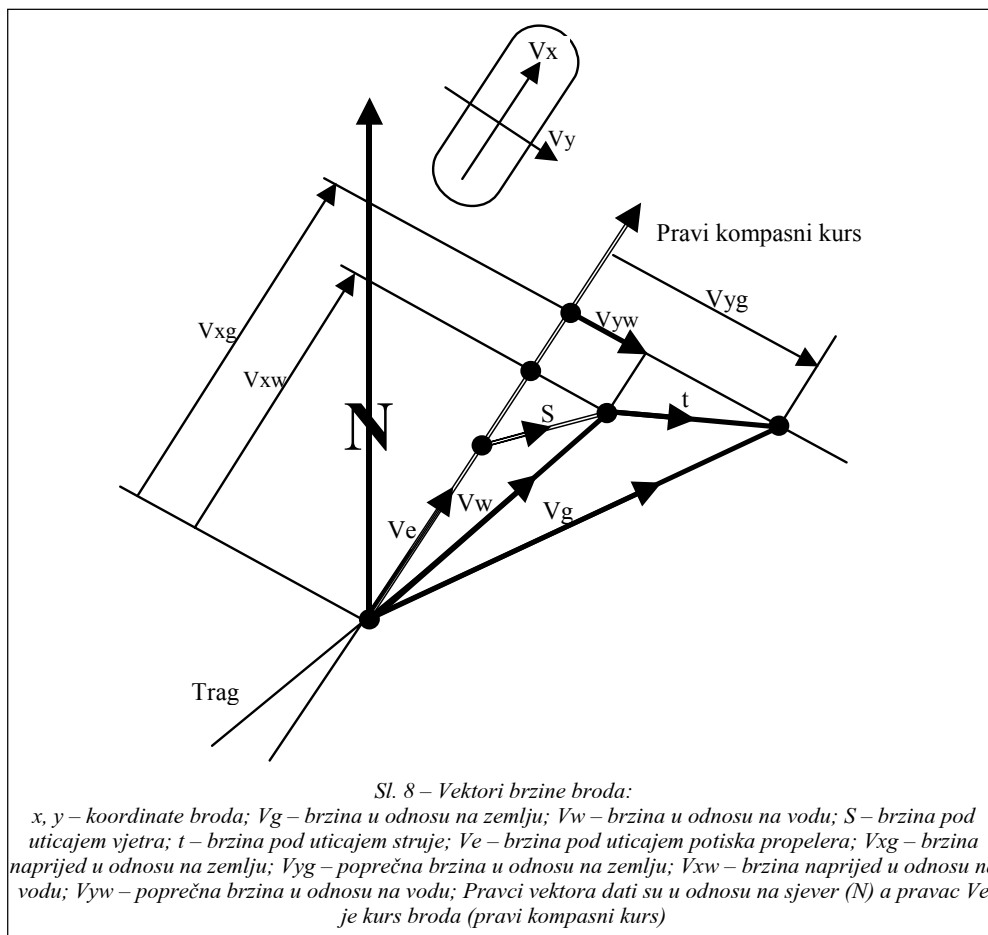
Doplerovi brzinomjeri, u principu, mogu da se koriste do 200 m dubine. Na-

ime, zvučni snop se apsorbuje u sloju vode dubine od 200 m do 400 m. Ako se zvuk reflektuje od ovog sloja, dobija se brzina broda u odnosu na taj sloj vode. Međutim, i granični sloj vode 10 m do 30 m ispod kobilice broda uslovljava refleksiju zvučnog talasa. Tada Doplerov brzinomjer mjeri brzinu broda u odnosu na ovaj granični sloj vode.

Prijemnici kod Doplerovih brzinomjera su konstruisani tako da mogu biti operativni neposredno iza impulsa predaje ili nakon nekog kratkog vremena koje slijedi iza impulsa predaje. Ako zvučni talas ima kontakt sa dnom prijemnik će se aktivirati kratko vrijeme poslije predajnog impulsa i dobiće se brzina broda u odnosu na dno. Ako je talas izgubio kontakt sa dnom, dubinomjer se automatski prebacuje na drugi režim rada, odnosno prijemnik



Sl. 7 – Blok šema Doplerovog radio-brzinomjera:
 1 – antenski sistem; 2 – primopredajnik (mješanje primljene i predajne frekvencije i pojačanje);
 3 – sklop za mjerenje Doplerovog pomjeraja;
 4 – računarski dio za proračun brzine;
 5 – integrator za računanje pređenog puta;
 6 i 7 – ponavljači



se aktivira neposredno poslije generisanja predajnog impulsa, tako da prima reflektovani signal od sloja vode koji je 10 m do 30 m ispod kobilice broda. Doplerov brzinomjer tada radi u režimu mjerenja brzine broda u odnosu na vodu.

Ugao snopa za uzdužno mjerenje brzine iznosi oko 3° , a za poprečno mjerenje oko 8° . Radna frekvencija hidroakustičkih Doplerovih brzinomjera iznosi od 100 kHz do 455 kHz. Ovi brzinomjeri mjere brzinu u vožnji naprijed i krmom, a greška brzine iznosi $\pm 0,01$ čvor za brzine ispod 2 čvora, a $\pm 0,1$ čvor za veće brzine.

Pri vožnji krmom propeler stvara veliku količinu vazdušnih mjehurića kroz koje često ne može da prođe zvučni signal brzinomjera, pa može doći do gubitka podataka o brzini ili se dobijaju pogrešni podaci.

Doplerovi radio-brzinomjeri

Ovi brzinomjeri koriste se na brodovima sa podvodnim krilima i brodovima lebdilicama. Radio-signali emitovani sa broda odbijaju se od površine mora i registruje se Doplerov pomjeraj. Formula za računanje primljene frekvencije je:

$$f_{pr} = f_0 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot v \cdot \cos \gamma_i}{c}\right) \quad (20)$$

gdje je:

f_{pr} – primljena frekvencija,

f_0 – emitovana frekvencija,

γ_i – ugao koji radio-snop obrazuje sa površinom vode u elementarnoj čestici i ,

b – brzina lebdilice,

$b_{pi} = b \cos \gamma_i$,

$\Delta\gamma$ – širina snopa radio-signala (slika 6).

Doplerov pomjeraj frekvencije prikazan je izrazom (21):

$$\Delta f = f_{pr} - f_0 = \frac{2 \cdot v}{c} \cdot f_0 \cdot \cos \gamma \quad (21)$$

a brzina broda je:

$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 \cdot f_0 \cdot \cos \gamma} \quad (22)$$

Antenski sistem emituje signale u 1 do 4 snopa frekvencije 13,3 do 15 GHz. Dijapazon mjerenja brzina je –50 čv (krmom) do +186 čv. Greška mjerenja iznosi 0,1% do 3,0%.

Karakteristike Doplerovih brzinomjera

Minimalne vrijednosti karakteristika savremenih brzinomjera propisane su IMO rezolucijom A.224 (VII) i standardom IEC 1023 [1, 5]. Definirano je da uređaji za mjerenje brzine i predenog puta moraju dati informaciju o brzini naprijed i predenom putu u odnosu na sloj vode ili površinu tla ili oboje.

Ako se kod brzinomjera koriste digitalni pokazivači, korak prikazivanja brzine ne smije biti veći od 0,1 čvor, a ako

se koristi analogni pokazivač podjela skale ne smije biti veća od 0,5 čvorova pri čemu svakih najmanje 5 čvorova mora biti označeno brojem. Za mjerenje predenog puta opseg pokazivača mora biti bar od 0 do 9999,9 nm, pri čemu korak ne smije prelaziti 0,1 nm. Dozvoljena greška pri mjerenju brzine ne smije premašiti 5% brzine broda ili 0,5 čvorova (što je veće), dok greška prikazivanja predenog puta ne smije preći 5% predenog puta za 1 sat ili 0,5 nm na svaki sat (što je veće).

Na slici 7 prikazani su vektori brzine broda koji su definisani standardom IEC 1023.

U tabeli 1 prikazane su karakteristike savremenih Doplerovih brzinomjera u skladu sa standardom IEC 1023 [6].

Tabela 1

Model Karakter.	DS-50 Furuno	SRD 500 Sperry	EM 200 Plath	SRD 331 Sperry	DS 70 Furuno	DS 30 Furuno
Uzdužna brzina (čvor)	-10,0 do 40,0	-20,0 do 50	-5 do +25 do -5 do +80	0–50,0	0–30,0	-10,0 do 40,0
Poprečna brzina (čvor)	-9,9 do 9,9	-10 do +10	/	0–50,0	0–10,0	-9,99 do 9,99
Ukupni predeni put (nm)	0 do 99999,99	/	0 do 1999,99 ili 0 do 999999,9	0 do 9999,9	0 do 99999,9	/
Dozvoljena greška brzine	±1% ili ±0,1 čvor	±0,1 čvor max.	±0,1 čvor	±0,1 čvor ili ±1%	±0,1 čvor ili ±1%	±1% ili 0,1 čvor
Dozvoljena greška predenog puta	±1% ili ±0,1 nm	0,5%	±1%	±1%	±1%	/

Na slici 9 prikazan je Doplerov brzinomjer SAL R1 švedske firme Consilium.



Sl. 9 – Sastavne jedinice Doplerovog brzinomjera
SAL R1

Radi kompletnosti izlaganja prikazane su osnovne karakteristike savremenog Doplerovog brzinomjera SRD 500, američke firme Sperry. Brzina broda u odnosu na vodu (relativna brzina) mjeri se na najmanje tri metra ispod projektora, brzina u odnosu na dno (apsolutna brzina) na dubini 1,2 m do 200 m ispod projektora, uzdužna brzina u opsegu -20 do $+50$ čvorova, poprečna brzina u opsegu ± 10 čvorova, a frekvencija ultrazvuka je 307 kHz. Greška mjerenja brzine 1σ (jedan sigma) iznosi $\pm 1\%$ ili $\pm 0,1$ čvor, greška mjerenja pređenog puta $\pm 1\%$, a greška mjerenja dubine $\pm 2\%$. Brzinomjer posjeduje sljedeće izlaze za podatke: pet relejnih izlaza, serijski format RS 232 ili 422, NMEA 0183, analogni izlaz 1mA za punu skalu ili 0,1 V/čv, sinhro izlaz 60 ili 400 Hz. Doplerov brzinomjer SRD 500 koristi se i kao dubinomjer.

Napajanje uređaja je 100/115/230 VAC ($\pm 10\%$), 100 VA, 50/60 Hz. U tabeli (2) prikazani su podaci za dimenzije i težine pojedinih jedinica dubinomjera.

Tabela 2

Jedinica	Dimenzije (mm)	Masa (kg)
Osnovni displej	365×273×216	6,8
Pomoćni displej	365×273×216	6,8
Elektronika	425×356×152	7
Projektor	Prečnik: 203	27

Zaključak

Brzinomjeri su obavezni navigacioni uređaji na ratnim i trgovačkim brodovima. U današnje vrijeme na brodovima se uglavnom koriste Doplerovi navigacioni brzinomjeri. Bez obzira na ekspanziju savremenih uređaja za navigaciju kao što su GPS prijemnici, korištenje brzinomjera (kao i žirokompasa) nezamjenljivo je. Međunarodna organizacija za pomorstvo – IMO je u svojim rezolucijama propisala karakteristike brzinomjera koje treba da zadovolje svi Doplerovi brzinomjeri koji su u upotrebi. Po potrošnji električne energije i gabaritima Doplerovim brzinomjerima mogu konkurisati samo elektromagnetni brzinomjeri. Međutim, dok elektromagnetni brzinomjeri mjere samo relativnu brzinu, odnosno brzinu u odnosu na vodu, Doplerovi brzinomjeri mogu mjeriti i apsolutnu i relativnu brzinu. Doplerovi brzinomjeri se sa proširenom kontrolnom jedinicom, a sa istim projektorima, mogu koristiti i kao dubinomjeri (primjer: SPERRY SRD 500), što je dodatna prednost u odnosu na ostale brodske navigacione brzinomjere. Doplerovi brzinomjeri, takođe, mjere brzinu zanošenja broda, što nije slučaj sa drugim brzinomjerima.

Literatura:

- [1] IEC 1023; Marine speed and distance measuring equipment, International Electrotechnical Commission, Geneva, 1990.
- [2] Skolnik, I. M.: Introduction to Radar Systems, Second edition, 4th Printing, McGraw Hill Inc., New York, 1981.
- [3] Sonnenberg, J. G.: Radar and Electronic Navigation, Sixth Edition, Butterworths, London, 1988.
- [4] Lazarević, Ž.: Tehnička hidroakustika, SSNO, RM-1710, Split, 1987.
- [5] Unković, M.: Brodski navigacioni brzinomjeri, Pomorstvo, Kotor, God. X, Br.18, Mart 2003., str. 46–48.
- [6] Prospektni podaci za brodske brzinomjere firmi FURUNO, SAGEM, SPERRY, PLATH, KRUPP-ATLAS, CONSILIUM.

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

ODREĐIVANJE DALJINE CILJA POMOĆU VIDEO SENZORA I ANALIZA UTICAJA GREŠAKA I ŠUMA MERENJA

UDC: 621.397 : 623.4.023

Rezime:

U radu je opisan matematički model određivanja daljine cilja obradom video snimaka u toku praćenja. Analizirani su doprinosi parametara koji utiču na veličinu grešaka i određene su vrednosti standardnog odstupanja.

Ključne reči: video senzori, perspektivna projekcija, određivanje daljine cilja i standardna odstupanja.

TARGET RANGE EVALUATION USING VIDEO SENSOR AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MEASUREMENT NOISE AND ERRORS

Summary:

This paper presents mathematical model of determining target range by analyzing video frame during the tracking. The contribution of effective parameters to accuracy are analyzed and values of standard deviation are determined.

Key words: pressure sensitive paints, wind tunnel, flow visualization, pressure distribution.

Uvod

Uspešno dejstvo sistema protivvazduhoplovne odbrane zasnovano je na pretpostavci tačnog poznavanja pozicije i kretanja cilja. Zato je potrebno obezbediti efikasno praćenje cilja u toku njegovog kretanja. U savremenim sistemima PVO uvedeni su uređaji za automatsko praćenje letećih ciljeva, zasnovani na radarskim i optoelektronskim sensorima za određivanje pozicije cilja. Najefikasniji su radarski sistemi, ali se oni lako otkrivaju i ometaju. Zato se često koriste pasivni optoelektronski sistemi zasnovani na televizijskim i termovizijskim kamerama. Oni se teže otkrivaju i ometaju, jeftiniji su od radarskih sistema i jednostavniji za ugradnju.

Kompatibilnost formata termovizijske slike sa standardnim televizijskim formatom omogućava primenu jedinstvenog procesa obrade slike i simultanu obradu slike sa televizijskog i termovizijskog senzora.

Upotreba elektronske kamere, televizijske i/ili termovizijske, kao senzora u sistemima praćenja ciljeva, omogućava stvaranje 2D vizije pogodne za obradu u računarima radi prepoznavanja cilja i određivanja njegovog položaja u prostoru, primenom tehnika procesiranja slike, prepoznavanja oblika i projektivne geometrije.

Procesiranje slike podrazumeva, pre svega, operacije koje imaju za cilj da poboljšaju kvalitet slike ili da naglase osobene crte i detalje važne za dalju obradu.

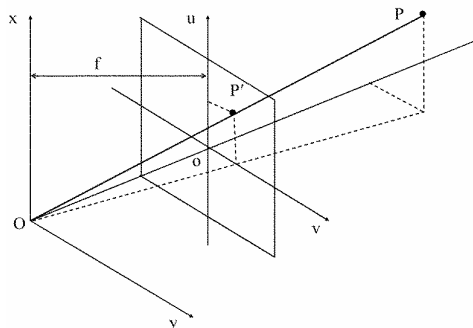
Prepoznavanje oblika povezano je sa identifikacijom ili tumačenjem slika i za cilj ima izdvajanje informacija o tome šta slikom namerava da se saopšti. Oblast projektivne geometrije zasniva se na principima perspektivnog preslikavanja geometrijskih oblika iz prostora scene 3D u prostor ravni slike 2D. Problem određivanja daljine cilja u optoelektronskim sistemima za praćenje rešavan je primenom laserskog daljinomera. Međutim, savremeni ciljevi opremljeni su uređajima za otkrivanje i ometanje laserskog zračenja, pa se ugradnjom lasera u nišanski uređaj gubi prednost pasivnih senzora. Radi stvaranja potpuno pasivnog uređaja za praćenje ciljeva u radu je razmatrano određivanje daljine cilja pomoću televizijske ili termovizijske kamere, primenom metoda projektivne geometrije.

Perspektivna projekcija tačke na ravan slike

Osnovni izvor informacija o objektima posmatranja je digitalna kamera koja formira sliku scene 2D postupkom perspektivne projekcije na fokusnu ravan kamere. Objekti posmatranja, posebno oni koje je izradio čovek, mogu imati poznate geometrijske oblike, kolinearne tačke, duži i površine. To su tipični geometrijski oblici koje treba interpretirati i razumeti kroz viziju perspektivne projekcije [1].

Osnovni zadatak perspektivne projektivne geometrije je inverzan problem, odnosno rekonstrukcija položaja i daljine objekta. Rešenje tog problema zasniva se na uspostavljenju korespondenciji između prostora 2D i 3D putem matematičkih relacija. Ti odnosi posmatraju se u koordinatnom sistemu vezanom za kameru, tako da

se centar sistema O nalazi u centru objektiva (sočiva) i naziva se tačka vizije, slika 1.



Sl. 1 – Perspektivna projekcija tačke P na ravan

Posmatrano iz tačke vizije O, z-osa se poklapa sa optičkom osom kamere, x-osa je orijentisana naviše, a y-osa je desno orijentisana. Ravan $z=f$ naziva se ravan slike, gde je f fokusno rastojanje i predstavlja konstantu kamere. Tačka scene P (x, y, z) projektuje se na ravan slike preko zraka iz tačke vizije O, kao tačka P' prodora zraka OP kroz ravan slike $z=f$. U ravni slike formira se koordinatni sistem ouv , kojem su ose u i v paralelne sa osama x i y , a koordinatni početak se nalazi u tački o ($0, 0, f$). Veza koordinata tačke P (x, y, z) i njenog lika P' (u, v), kao što se može videti sa slike 1, data je izrazima:

$$\begin{aligned} u &= f \frac{x}{z} \\ v &= f \frac{y}{z} \end{aligned} \quad (1)$$

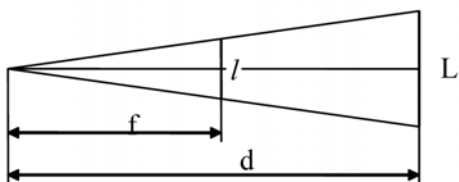
Koordinate lika P' u sistemu Oxyz su (u, v, f). Pošto se koordinatni početak nalazi u centru sočiva kamere, zrak koji prolazi kroz tačku P' (u, v, f) sadrži sve tačke sa multipliciranim koordinatama (u, v, f). Znači da sve tačke na projektiv-

nom zraku L imaju istu perspektivnu projekciju P' . Jednačinu projektivnog zraka L (2) nazivamo inverzna perspektivna projekcija tačke (u, v) :

$$L: \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} u \\ v \\ f \end{pmatrix} \quad (2)$$

Određivanje fokusne daljine snimka

Pri određivanju veličina sa snimka kamere potrebno je odrediti odnos merenih dužina na snimku i njima odgovarajućih vrednosti u vidnom polju kadra. To je verifikacija mernog sistema i može se uraditi tako da se snimi reper poznate dužine L na poznatom rastojanju d , takvom da veličina lika repera l ispuni 90% kadra (slika 2).



Sl. 2 – Odnos dužina lika L i repera R

Merenjem dužine lika u pikselima iz prostog geometrijskog odnosa dobija se fokusna daljina slike f , takođe izražena u pikselima:

$$f = d \frac{l}{L} \quad (3)$$

Na osnovu snimaka repera u horizontalnom položaju duž ose ov i u vertikalnom položaju duž ose ou mogu se zbog nesavršenosti mernog sistema dobi-

ti različite vrednosti za fokusnu dužinu f . Tada se u formulama za merenja duž v ose za f uzima vrednost utvrđena za horizontalni reper f_v , a u vertikalnom smeru vrednost utvrđena za vertikalni reper f_u . U slučaju merenja u kosom smeru, na snimku scene vrednosti za f određuju se pomoću formule:

$$f = \sqrt{(f_v \cos \varphi)^2 + (f_u \sin \varphi)^2} \quad (4)$$

$$\varphi = \arctg \frac{u}{v}$$

Ovde je φ ugao između v ose i vektora položaja merene tačke u ravni snimka.

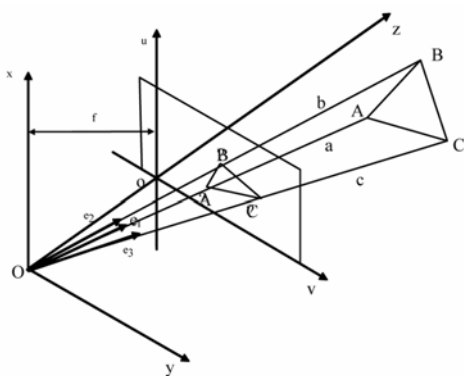
Kod video sistema za praćenje letućih ciljeva, zbog relativno brze promene daljine cilja u toku praćenja, dolazi do znatnih promena veličine lika cilja. Zato se u ovim sistemima koriste objektivni sa promenljivim uvećanjem, takozvani zum objektivni, kod kojih veličina fokusne daljine zavisi od veličine zuma. Veličina zuma registruje se u toku praćenja cilja za svaki snimljeni kadar. Pomoću opisane metode snimanjem repera za razne vrednosti zuma može se odrediti zavisnost $f=f(\text{zum})$.

Lokacija trougla poznatih stranica u prostoru 3D

Na osnovu posmatranja perspektivne projekcije trougla sa poznatim dužinama strana moguće je odrediti poziciju njegovih temena 3D. To se naziva problemom prostornog spajanja tri tačke. Problem je rešavalo niz autora, a poznata rešenja dali su Grunert, koji je to prvi rešavao (1841), zatim Fisterwalder (1887), pa Miler (1925), Merritt (1949), Fischler

(1981), Grafarend (1989) i drugi. Ovde će se razmotriti rešenje koje su dali Linainmaa, Harwood i Davis (1988) [2]. Oni su izveli formule za određivanje lokacije datog trougla u koordinatnom sistemu kamere kada su poznate koordinate lika svakog od njegovih temena.

Slika trougla ABC označena je sa A'B'C', a jedinični vektori pravaca OA', OB' i OC' označeni su sa e_1, e_2, e_3 . Poznate dužine stranica trougla označene su sa $AB=d_1, AC=d_2$ i $BC=d_3$, a njihova nepoznata rastojanja od koordinatnog početka označena su sa $OA=a, OB=b$ i $OC=c$, kao što je prikazano na slici 3.



Sl. 3 – Perspektivna projekcija trougla na ravan slike

Primenom skalarnog proizvoda vektora dobija se:

$$\begin{aligned}(ae_1 - be_2) \cdot (ae_1 - be_2) &= d_1^2 \\ (ae_1 - ce_3) \cdot (ae_1 - ce_3) &= d_2^2 \\ (be_2 - ce_3) \cdot (be_2 - ce_3) &= d_3^2\end{aligned}\quad (5)$$

Ako se uvedu oznake za skalarne proizvode jediničnih vektora:

$$\begin{aligned}p_1 &= e_1 \cdot e_2, \quad p_2 = e_1 \cdot e_3, \quad p_3 = e_2 \cdot e_3 \\ e_1 \cdot e_1 &= e_2 \cdot e_2 = e_3 \cdot e_3 = 1\end{aligned}\quad (6)$$

tada jednačine (5) dobijaju sledeći oblik:

$$\begin{aligned}a^2 - 2p_1ab + b^2 &= d_1^2 \\ a^2 - 2p_2ac + c^2 &= d_2^2 \\ b^2 - 2p_3bc + c^2 &= d_3^2\end{aligned}\quad (7)$$

To se može zapisati u vidu sledećih jednačina:

$$\begin{aligned}q_1a^2 + t^2 &= d_1^2 \\ q_2a^2 + w^2 &= d_2^2 \\ q_3a^2 - 2p_3tw + q_4 &= q_5at + q_6aw\end{aligned}\quad (8)$$

Ovde su varijable t i w određene sa:

$$\begin{aligned}t &= b - p_1a \\ w &= c - p_2a\end{aligned}\quad (9)$$

a koeficijenti q_i iznose:

$$\begin{aligned}q_1 &= 1 - p_1^2 \\ q_2 &= 1 - p_2^2 \\ q_3 &= 2(p_1^2 + p_2^2 - p_1p_2p_3 - 1) \\ q_4 &= d_1^2 + d_2^2 - d_3^2 \\ q_5 &= 2(p_2p_3 - p_1) \\ q_6 &= 2(p_1p_3 - p_2)\end{aligned}\quad (10)$$

Kvadriranjem obe strane poslednje jednačine u (8) i eliminacijom t^2 i w^2 pomoću preostale dve jednačine, dobija se:

$$r_1a^4 + r_2a^2 + r_3 = (r_4a^2 + r_5)tw\quad (11)$$

gde su koeficijenti r_i određeni relacijama:

$$\begin{aligned}
r_1 &= q_3^2 + 4q_1q_2p_3^2 + q_1q_5^2 + q_2q_6^2 \\
r_2 &= 2q_3q_4 - 4(d_1^2q_2 + d_2^2q_1)p_3^2 - d_1^2q_5^2 - d_2^2q_6^2 \\
r_3 &= 4d_1^2d_2^2p_3^2 + q_4^2 \\
r_4 &= 4p_3q_3 + 2q_5q_6 \\
r_5 &= 4p_3q_4
\end{aligned} \tag{12}$$

Ponovnim kvadriranjem i eliminacijom t^2w^2 iz (11), dobija se:

$$s_1a^8 + s_2a^6 + s_3a^4 + s_4a^2 + s_5 = 0 \tag{13}$$

gde su:

$$\begin{aligned}
s_1 &= r_1^2 - q_1q_2r_4^2 \\
s_2 &= 2r_1r_2 + (d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_4^2 - 2q_1q_2r_4r_5 \\
s_3 &= r_2^2 + 2r_1r_3 - d_1^2d_2^2r_4^2 + \\
&\quad + 2(d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_4r_5 - q_1q_2r_5^2 \\
s_4 &= 2r_2r_3 + (d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_5^2 - 2d_1^2d_2^2r_4r_5 \\
s_5 &= r_3^2 - d_1^2d_2^2r_5^2
\end{aligned} \tag{14}$$

Jednačina (13) može se smatrati jedinačinom četvrtog stepena od a^2 . Pošto su prihvatljive samo pozitivne vrednosti za a , to znači da mogu biti nađena četiri rešavanja za dužinu a . Kada je a određeno, dužine b i c mogu se lako odrediti pomoću (8) i (9). Problem određivanja daljine sveden je na određivanje parametara p_i , q_i , r_i i koeficijenata polinoma s_i , a zatim se daljina trougla određuje nalaženjem nula polinoma (13).

Merenje daljine cilja na osnovu video snimaka

Za određivanje daljine cilja na osnovu video snimaka koristimo se

metodama perspektivne projektivne geometrije, pri čemu je potrebno poznavati prirodnu veličinu cilja. Ovde će biti korišćena metoda lokacije trougla poznatih dužina strana.

Metoda lokacije trougla poznatih dužina strana može poslužiti za određivanje lokacije cilja na kojem se mogu uočiti tri tačke čija međusobna rastojanja su poznata. To su obično vrh, rep i krajevi krila letelice koja se prati i čiji tip je poznat. Rastojanja od kamere a , b i c uočenih tačaka A , B i C , cilja koji se prati i čija međusobna rastojanja su poznata (slika 3) dobijaju se rešavanjem jednačina (13), (8) i (9). Koeficijenti u ovim jednačinama q_i , r_i i s_i su funkcije rastojanja uočenih tačaka cilja d_1 , d_2 i d_3 i skalarnih proizvoda jediničnih vektora linija viziranja izabranih tačaka na cilju:

$$\begin{aligned}
p_1 &= \vec{e}_1\vec{e}_2 = e_{1x}e_{2x} + e_{1y}e_{2y} + e_{1z}e_{2z} \\
p_2 &= \vec{e}_2\vec{e}_3 = e_{2x}e_{3x} + e_{2y}e_{3y} + e_{2z}e_{3z} \\
p_3 &= \vec{e}_1\vec{e}_3 = e_{1x}e_{3x} + e_{1y}e_{3y} + e_{1z}e_{3z}
\end{aligned} \tag{15}$$

Jedinični vektori pravaca viziranja izabranih tačaka u koordinatnom sistemu kamere (ksk) određuju se na osnovu merenja pozicije lika tih tačaka u ravni snimka, tako da njihove komponente iznose:

$$\begin{aligned}
e_x &= \frac{u}{m} \\
e_y &= \frac{v}{m} \\
e_z &= \frac{f}{m}
\end{aligned} \tag{16}$$

Ovde je m rastojanje lika tačke u ravni snimka od koordinatnog početka u ksk:

$$m = \sqrt{u^2 + v^2 + f^2} \quad (17)$$

pri čemu je f fokusno rastojanje određeno prema (4).

Daljina do centra cilja, koji se obično nalazi na sredini jedne od strana posmatranih trouglova (dužina letilice ili razmah krila), iznosi:

$$s = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \quad (18)$$

gde su s_1 i s_2 daljine od senzora do krajeva duži na čijoj sredini se nalazi centar cilja.

Primer određivanja daljine cilja obradom video snimaka

Merenje putanje cilja u ovom primeru izvršeno je pomoću dva teodolita sa automatskim praćenjem cilja u toku leta. Izvršeno je praćenje putanje borbenog aviona G2, koji je u toku leta sniman televizijskom kamerom. Za potrebe obrade podataka izvršena je digitalizacija video zapisa pomoću A/D video konvertora MIRO DV500 i programom Adobe Premijer 6.5, čime je dobijen niz digitalnih poluslika pogodnih za dalju obradu. Procesiranje i poboljšavanje kvaliteta slike urađeno je programom Adobe Photoshop 7.0. Stvarna daljina (S) aviona u toku leta određena je metodom presecanja pravaca viziranja sa dva teodolita u toku praćenja.

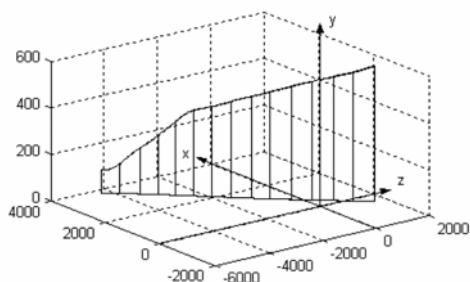
Za potrebe određivanja daljine cilja sa snimaka TV kamere izvršeno je očitavanje koordinata vrha, dna i vrhova krila aviona u ravni snimka. Očitavanje je izvršeno automatskim markiranjem i istovremenim postavljanjem četiri trekera (tragača) pomoću programa 3D Studio – 3ds max5, kao što je prikazano na slici 4. Ovaj program ima mogućnost postavljanja više trekera na ivične tačke cilja. Oni se vežu za izabranu tačku i određuju njene koordinate u ravni snimka za sve vreme praćenja.



Sl. 4 – Automatsko čitanje koordinata tačaka cilja

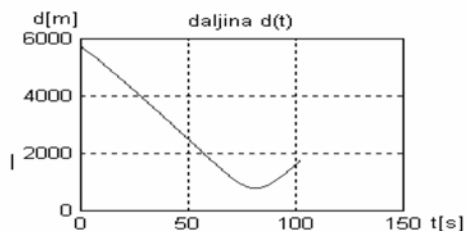
Putanja aviona predstavlja let sa manevrom propinjanja u vertikalnoj ravni (slika 5). Uređaj za praćenje cilja („sky track“ teodolit) sa čijih kamera su korišćeni snimci aviona za obradu u ovom primeru nalazi se u koordinatnom početku. Promena daljine cilja sa vremenom prikazana je na slici 6.

Određivanje daljine cilja na osnovu poznavanja veličine cilja i koordinata karakterističnih tačaka (dna, vrha i krajeva krila) izvršeno je metodom lokacije trougla poznatih dužina stranica pomoću programa urađenih u programskom jeziku Matlab. Određivanje daljine cilja meto-



Sl. 5 – Putanja aviona G2 snimljena sa dva teodolita

dom trougla izvršeno je na osnovu merenja pozicije četiri karakteristične tačke cilja, tako što su formirana četiri trougla i za svaki od njih određena je daljina.

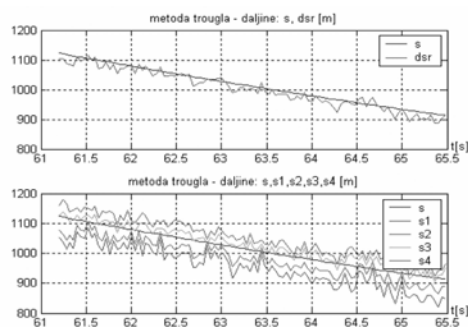


Sl. 6 – Promena daljine cilja u funkciji vremena

Dobijeni rezultati pokazuju da se za razne trouglove dobijaju različite vrednosti daljine cilja. Njihovim usrednjavanjem dobija se daljina koja najbolje aproksimira stvarnu daljinu cilja. Primer određivanja srednje daljine cilja za segment putanje prikazan je na slici 7.

Na slici je sa s označena daljina izmerena sistemom teodolita, a sa s_1 , s_2 , s_3 i s_4 označene su daljine cilja dobijene obradom pojedinih trouglova formiranih spajanjem karakterističnih tačaka cilja (dna, vrha i krajeva krila). Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da je za određivanje daljine metodom trougla potrebno

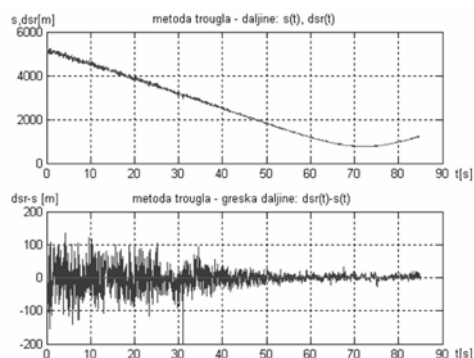
koristiti četiri tačke, dok se pri određivanju daljine cilja sa samo jednim trouglom mogu napraviti veće greške.



Sl. 7 – Daljina cilja u funkciji vremena, stvarna s i merena dsr i s_i

Primer određivanja daljine cilja u toku praćenja njegovog leta na daljinama od 5 do 1 km metodom lokacije trougla, na osnovu merenja četiri karakteristične tačke sa snimaka TV kamere, dat je na slici 8.

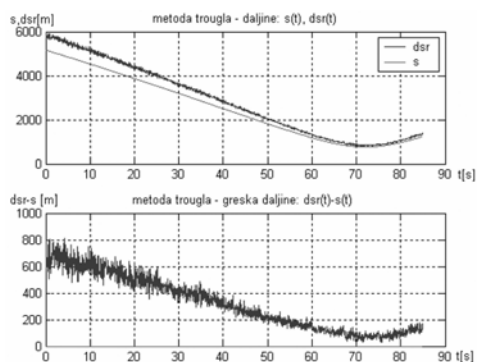
Kao što se može videti, daljina određena obradom snimaka osciluje oko njene stvarne vrednosti, što je posledica slučajnih grešaka merenja. Odstupanja daljine od njene stvarne vrednosti su veća na većim daljinama, zato što je lik cilja



Sl. 8 – Daljina cilja određena sa snimaka TV kamere

tada sitniji, a time je i relativna greška merenja veća. Srednja greška određivanja daljine na rastojanju od 5 do 2,5 km kreće se oko 50 m, a na manjim rastojanjima naglo pada do vrednosti oko 10 m, odnosno do veličine praćenog cilja.

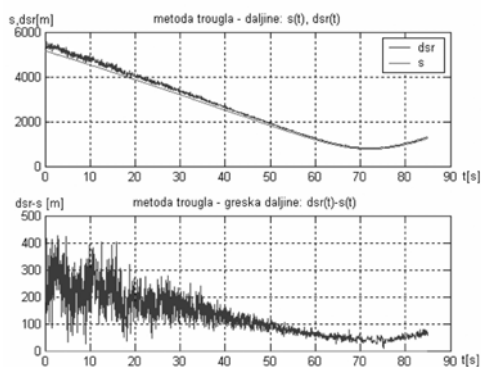
Osnovni parametri od kojih zavisi određivanje daljine cilja sa video snimaka su zum kamere, odnosno fokusna daljina i veličina cilja. Osetljivost metode na promene ovih parametara testirana je tako što su njihove vrednosti uvećane za 5% od stvarnih vrednosti. Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 9 i 10.



Sl. 9 – Daljina određena pri povećanju zuma za 5%

Vidi se da je metoda višestruko osetljivija na promenu zuma nego na promenu veličine cilja. Naime, pri uvećanju zuma za 5% daljina cilja se uvećava za 15% (slika 9), dok se pri uvećanju veličine cilja za 5%, daljina cilja uvećava tačno za 5% (slika 10).

Ova činjenica može se iskoristiti za korekciju daljine cilja određene sa video snimaka, kada dimenzije cilja nisu dobro identifikovane. Na osnovu daljine izmerene u nekom trenutku ili periodu praćenja, sa laserom ili radarom, sa istog ili nekog drugog uređaja za praćenje, odre-



Sl. 10 – Daljina određena pri povećanju veličine cilja za 5%

đuje se faktor korekcije usvojene veličine cilja kao količnik daljine izmerene nekim daljinomerom i daljine cilja određene na osnovu video snimaka. Korekcija veličine cilja vrši se množenjem prethodno usvojene veličine cilja sa izračunatim faktorom korekcije

Standardna odstupanja merenja daljine cilja

Kao što je prethodno pokazano, daljina cilja može se određivati obradom pozicije karakterističnih tačaka cilja sa video snimaka. Kvalitet podataka dobijenih obradom snimaka cilja prvenstveno zavisi od kvaliteta i rezolucije slike, odnosno od uticaja šuma u video slici i grešaka kvantizacije video signala.

Uzroci slabljenja kvaliteta video slike su višestruki, a osnovni su: neujednačenost zračenja površine cilja, slabljenje elektromagnetnog zračenja cilja na putu do senzora, termički šum senzora i mehanički šumovi izazvani vibracijama senzora u toku praćenja cilja. Uobičajena pretpostavka je da se šum u video slici smatra stacionarnim slučajnim procesom sa

normalnom raspodelom gustina verovatnoća i nultom sredinom. U literaturi se, pre svega zbog dominantnog uticaja termičkog šuma, smatra da je šum u video slici beli, aditivan i nekorelisan sa uglavnom korisnim signalom.

Pored šuma, na tačnost određivanja pozicije karakterističnih tačaka cilja u video slici utiče i prostorna i nivoska diskretizacija, odnosno kvantovanje pri formiranju digitalne video slike. Intenzitet svetla i koordinate pojedinih tačaka cilja u koordinatnom sistemu kamere su kontinualne funkcije koje se diskretizuju sa određenom greškom. Ako je broj nivoa diskretizacije veliki tada je zajednička funkcija gustine verovatnoće Gausova, pa se pokazuje da se šum kvantizacije, takode, može posmatrati kao aditivni i beli.

Određivanje daljine cilja obradom video snimaka zasniva se na poznatoj relaciji:

$$d = f \frac{L}{l} \quad (19)$$

gde je d (m) daljina cilja, f (piksel) fokusna daljina, L (m) veličina cilja, a l (piksel) veličina lika cilja. Sa promenom daljine d menja se i veličina lika l , dok su fokusna daljina f i veličina cilja L konstantne veličine.

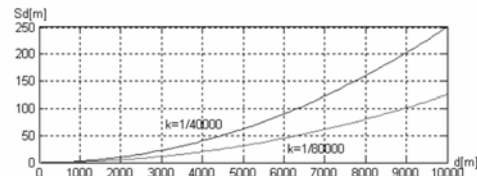
Standardno odstupanje daljine cilja može se odrediti na osnovu standardnog odstupanja veličine lika cilja iz odnosa njihovih varijansi:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial l} \right)^2 \sigma_l^2 \quad (20)$$

Iz gornje relacije dobija se uprošćena zavisnost za standardno odstupanje daljine cilja u sledećem obliku:

$$\sigma_d = \frac{d^2}{fL} \sigma_l \quad (21)$$

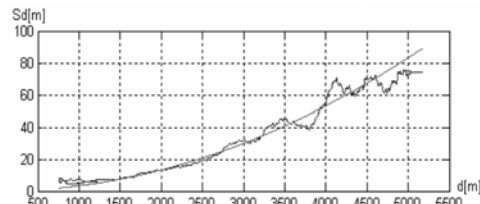
Ako se usvoji da je greška određivanja veličine lika $\sigma_l = 1$ piksel, veličina lika cilja $L = 10$ m i fokusna daljina šater kamere $f = 40\,000$ piksela, odnosno $f = 80\,000$ piksela, dobija se zavisnost standardnog odstupanja određivanja daljine cilja od daljine cilja $\sigma_d(d)$, prikazana na slici 11.



Sl. 11 – Standardno odstupanje daljine cilja

Dobijenu zavisnost potvrđuju i eksperimentalni rezultati dati na slici 12 za TV kameru. Standardno odstupanje daljine cilja određeno je u prozoru od sto tačaka, za sredinu prozora, a zatim je prozor pomeran za po jednu tačku do kraja praćenja.

Na slici 12 prikazane su eksperimentalna i teorijska kriva standardnog odstupanja daljine cilja.



Sl. 12 – Standardno odstupanje određivanja daljine cilja

Zaključak

U radu je pokazano da je moguće dovoljno tačno odrediti daljinu cilja obradom podataka merenja pozicije karakterističnih tačaka cilja u ravni video snimka, uz primenu kvalitetne optike sa preciznim očitavanjem fokusne daljine pri zumiranju i fokusiranju cilja. Utvrđeno je da procentualno izražena greška u veličini zuma trostruko uvećava procentualno odstupanje daljine cilja od tačne vrednosti, dok se procentualno izražena greška u identifikaciji veličine cilja srazmerno odražava na procentualno odstupanje daljine. Ova činjenica se može iskoristiti za uvođenje popravki daljine cilja na osnovu poređenja sa tačno određenom daljinom, korekcijom identifikovane daljine cilja ili zuma. Utvrđena je zakonitost promene standardnog odstupanja pri određivanju daljine cilja u funkciji daljine. Pokazano je da je tačnost određivanja daljine obrnuto srazmerna fokusnoj daljini video sistema. Znači da će se sa povećavanjem fokusne daljine video sistema povećati tačnost određivanja daljine udaljenih ciljeva. Dobijeni rezultati

greške određivanja daljine cilja obradom video snimaka ukazuju na potrebu filtriranja dobijenih podataka.

Primena metode za određivanje daljine cilja obradom video snimaka može imati veliki praktični značaj, jer se praćenje cilja odvija u pasivnom radu senzora koji se teško otkriva i ometa, ali ima i ograničenja zbog zahteva za apriornim poznavanjem veličine cilja, senzorima visokog kvaliteta video snimaka sa velikim uvećanjem i računarima velike brzine i kapaciteta za obradu velikog broja podataka u realnom vremenu. Ova ograničenja mogu se prevazići, pa se preporučuje primena ove metode u SUV PVO samostalno ili kao dopuna uz postojeće načine određivanja pozicije cilja pomoću aktivnih senzora, radara ili lasera.

Literatura:

- [1] Haralik, R. M.: Computer and Robot Vision, Volume I, II, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [2] Linnainmaa, S.: Pose Determination of a Three-Dimensional Object Using Triangle Pairs, IEEE Trans. PAMI, Vol 10, No 5, pp. 634-647, 1988.
- [3] Ugarak, D.: Doprinos izučavanju parametara sistema za upravljanje vatrom pri praćenju objekata u uslovima smanjene senzorske vidljivosti, Doktorski rad, Mašinski fakultet u Beogradu, 2004.

Profesor dr Milojko Jevtović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Banja Luka
Boban Pavlović,
kapetan, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

ANALIZA TEHNIKA UPRAVLJANJA PRENOSOM PODATAKA

UDC: 355.424.3 : 004.738

Rezime:

U članku su predstavljene ARQ tehnike za upravljanje prenosom i kontrolu na nivou veze: „Stani i čekaj“, „Vrati se unazad za N“ i „Selektivno odbacivanje“. Zatim je definisan važan parametar, kojim su analizirane osobine prenosa podataka na nivou veze i uprošćen prikaz karakteristika tehnika „Vrati se unazad za N“ i „Selektivno odbacivanje“. Osnovni cilj rada odnosi se na definisanje kriterijuma za izbor odgovarajućeg protokola upravljanja na nivou veze koji će zadovoljiti zahteve korisnika (gubici, kašnjenje, varijacija kašnjenja, propusna moć). Na osnovu urađene simulacije, korišćenjem programa MATLAB 7.0, izvršeno je upoređenje vrednosti parametara karakterističnih za navedene tehnike i izvedeni zaključci o prednostima i manama pojedinih tehnika.

Cljučne reči: prenos podataka, ARQ tehnike „Stani i čekaj“, „Vrati se unazad za N“, „Selektivno odbacivanje“.

ANALYSIS TECHNIQUES FOR FLOW DATA TRANSMISSION

Summary:

This article presents ARQ techniques for flow and control at the link level: Stop-and-Wait, Go-back-N, and Selective-reject. Then it is defined an important parameter, necessary for analyzing characteristics of data transmission at the link level and simplified performances of the Go-back-N, and Selective-reject techniques. Main goal of this article refers to defining criteria for choosing proper protocol link control. By this criterion it is necessary to satisfy customer requirements like losses, delays, capacity, etc. By performing simulation (using MATLAB 7.0), comparison of the values of the techniques parameters is done and conclusions about advantages and disadvantages of certain techniques are given.

Key words: Data Transmission, ARQ techniques, Stop-and-Wait, Go-back-N, Selective-reject.

Uvod

Problem upravljanja prenosom podataka javlja se u nizu sistema koji zahtevaju komunikaciju u realnom vremenu, ili sa veoma ograničenim kašnjenjem, kao što su:

- sistemi za upravljanje vatrom zemaljske artiljerije;
- sistemi za upravljanje vatrom obalske artiljerije (SUVOA);

– sistemi za vazdušno osmatranje i javljanje (VOJ) pri prenosu podataka o ciljevima u vazдушnom prostoru;

– sistemi PVO pri prenosu podataka koji se odnose na navođenje raketnih sistema i letelica na ciljeve;

– sistemi za nadzor i kontrolu kretanja pešaka u štićenom prostoru ili u objektima;

– multimedijalni informacioni sistemi, koji se koriste pri donošenju odluka u realnom vremenu, kao i u drugim sistemima.

Cilj ovog rada je da se definišu kriterijumi za izbor protokola upravljanja vezom pri realizaciji konkretnih sistema za prenos podataka. Korisnik konkretnog sistema zahteva da se podaci prenose sa unapred ograničenim kašnjenjem, varijacijom kašnjenja i gubicima informacije pri prenosu od izvora do odredišta. Zadatak protokola za upravljanje prenosom jeste da se ti zahtevi ispune, odnosno zadovolje u datoj mreži za prenos podataka.

Načini upravljanja prenosom i greškama – osnovne karakteristike

Jedan od veoma važnih zadataka u projektovanju telekomunikacionih mreža jeste da se obezbedi kvalitetan prenos podataka. Problem koji se pri tome javlja jeste – kako eliminisati greške koje se javljaju pri prenosu podataka ili multimedijalnog sadržaja.

Postoje dva osnovna načina za njihovo eliminisanje. Prvi je da se uz bitove doda dovoljno redundantnih bitova koji će omogućiti dekoderu da otkrije i koriguje greške nastale u prenosu. Detekcija i korekcija grešaka na mestu prijema obavlja se bez ponavljanja predaje, FEC (Forward-Error-Correction) [1]. Drugi je da se nakon detekcije grešaka na mestu prijema korekcija obavlja upućivanjem zahteva za ponavljanjem predaje i time osigura prenos podataka bez grešaka – detekcija grešaka na mestu prijema i automatsko ponavljanje zahteva za retransmisiju, postupak ARQ (Automatic-Repeat-reQuest).

Postupci ARQ široko se koriste u računarskim mrežama pri prenosu podataka, zbog toga što su veoma jednostavni

i omogućavaju postizanje velike tačnosti pri prenosu poruka. Nedostatak se ogleda u smanjenju efikasnosti, kada prijemnik dugo čeka na kodne reči bez grešaka, otpremajući zahteve za retransmisiju. Protokoli koji koriste postupak ARQ u korekciji grešaka su HDLC, SDLC, LAP, LAP-B, LAP-D, LAP-F, itd.

U FEC postupku korekcije grešaka nema povratnog kanala. Ukoliko je broj grešaka veći od broja grešaka koje dekodirer može da detektuje i koriguje, poruka se prima sa greškama. Protokol ATM (Asynchronous Transfer Mode) koristi FEC postupak korekcije jedno-bitskih grešaka u zaglavlju ATM. On ne štiti informaciju, PDU (Payload Data Unit), već samo zaglavlje. Zbog toga je u kvalitetnim širokopojasnim mrežama prihvaćena ATM tehnika prenosa i komutacije.

Postoji mogućnost da se koriste tzv. hibridni postupci ARQ sa primenom retransmisije i procedurom FEC. Oni pružaju bolje performanse u poređenju sa pojedinačnim mogućnostima jednog od postupaka ARQ ili FEC.

U ovom radu akcenat je na ARQ postupcima upravljanja prenosom, pri čemu se zahteva pouzdan prenos podataka (tačnost informacije), a ne rad u realnom vremenu.

U postupku retransmisije poruka, razvijena su tri osnovna tipa ARQ postupka: „Stani i čekaj“ (Stop-and-Wait), „Vrati unazad za N karaktera“ (Go-back-N) i „Selektivno odbacivanje“ (Selective-Reject). Poslednje dve tehnike su specijalni slučajevi tehnike „Pomičnog prozora“ (Sliding-Window) [2].

Tehnika „Stani i čekaj“ (Stop-and-Wait)

Najjednostavnija tehnika upravljanja greškama poznata pod nazivom „Stani i čekaj“ (slika 1) zasniva se na prenosu rama, pri čemu odredišna stanica šalje signal spremnosti za prijem sledećeg rama preko signala potvrde (ACKnowledgement), koji pokazuje da je kodna reč ispravno i uspešno primljena. Izvor mora sačekati prijem signala potvrde (ACK) pre nego što nastavi sa slanjem sledećeg rama. Negativna potvrda prijema, NAK (Negative Acknowledgement) koju vrši prijemnik pokazuje da su u prenetoj kodnoj reči otkrivene (detektovane) greške. Predajnik ponavlja predaju kodne reči i ponovo čeka potvrdu prijema. Retransmisija se nastavlja sve dok prijemnik ne pošalje potvrdu o ispravnom prijemu (ACK).

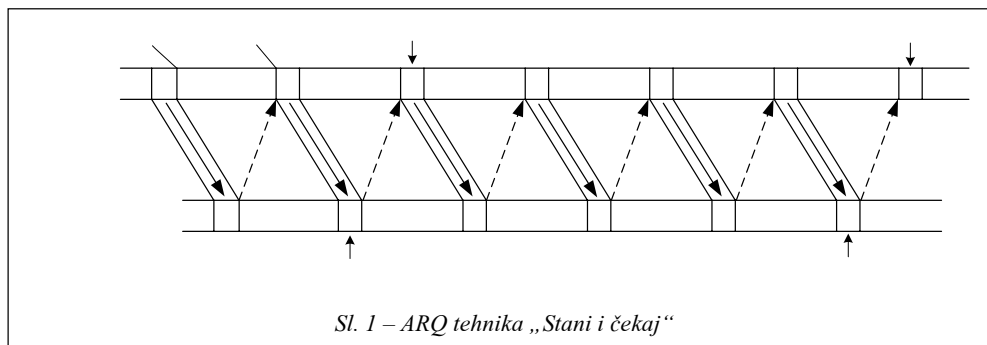
Ovaj postupak, iako krajnje jednostavan, potencijalno je neefikasan zbog gubitka vremena pri čekanju potvrde prijema svake kodne reči. Rešenje bi bilo u povećanju dužine kodne reči, ali time raste verovatnoća greške, čime se povećava učestanost ponavljanja za svaku kodnu reč. S druge strane, blokovi velikih dužina nisu praktični zbog ograničenja koja nameću formati poruka.

Neka je T_{frame} – vreme potrebno za prenos jednog rama, T_{prop} – vreme potrebno za prenos poruke od izvora A do odredišta B na prenosnom linku i T_{ack} – vreme prenosa poruke potvrde. Ako se pretpostavi da je prenos bez grešaka, izvor A može da šalje ramove brzinom $\frac{1}{T_{frame}}$. Međutim, zbog potrebe za prijemom signala potvrde ACK, maksimalna brzina je smanjena na vrednost $\frac{1}{T_{frame} + 2 \cdot T_{prop} + T_{ack}}$. Ukoliko je vreme prenosa na linku T_{prop} veliko u odnosu na T_{frame} , doći će do znatnog smanjenja brzine prenosa u sistemu.

ARQ tehnika „Stani i čekaj“ bez grešaka u prenosu

Najpre će biti posmatran slučaj kontrole protoka, pod pretpostavkom da ne dolazi do greške u prenosu. Na ovaj način može se definisati maksimalna bitska brzina prenosa ramova preko linka korišćenjem navedene tehnike pri prenosu bez grešaka. Pretpostaviće se da se poruka prenosi od stanice A do stanice B kao sekvenca uzastopnih ramova $F_1, F_2, \dots, F_n$ na sledeći način:

– A šalje ram F_1 ,



- B šalje signal potvrde (ACK),
- A šalje ram F_2 ,
- B šalje signal potvrde (ACK),
-
-
- A šalje ram F_n ,
- B šalje signal potvrde (ACK).

Ukupno vreme potrebno za prenos podataka označiće se sa nT , gde je n broj prenosa, a T predstavlja zbir vremena slanja rama, prijema signala potvrde i spremnosti za predaju sledećeg rama. Imajući sve ovo u vidu, T se može predstaviti na sledeći način:

$$T = T_{frame} + T_{prop} + T_{ack} + T_{prop} + T_{proc} \quad (1)$$

gde je:

T_{frame} – vreme potrebno za prenos jednog rama (vreme za koje predajni deo u vezi pošalje sve bite unutar rama na prenosnu liniju),

T_{prop} – vreme potrebno za prenos poruke (propagacije) od izvora A do odredišta B (ili u drugom smeru) na prenosnom linku,

T_{proc} – vreme obrade (procesiranja) u izvoru i odredištu kao odgovor na dolazni događaj (primljenu poruku),

T_{ack} – vreme prenosa poruke potvrde.

Ako se pretpostavi da je vreme obrade T_{proc} zanemarljivo malo i da je vreme potvrde prenosa T_{ack} znatno kraće u poređenju sa vremenom prenosa podataka (T_{prop}), uz fiksnu dužinu okvira (konstantno T_{frame}), tehnika upravljanja prenosom „Zaustavi i čekaj“ dopušta prenos podataka brzinom od jednog rama svakih T sekundi, gde je T dato izrazom:

$$T = T_{frame} + 2T_{prop} \quad (2)$$

Uzimajući u obzir prethodne pretpostavke, brzina prenosa se može predstaviti izrazom:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{frame} + 2T_{prop}} \left[\frac{ram}{s} \right] \quad (3)$$

Radi lakše analize, poželjno je brzinu prenosa predstaviti preko normalizovane vrednosti. Ukoliko se ram prenosi u toku vremena T_{frame} [s], tada je bitska brzina data izrazom $\frac{1}{T_{frame}} \left[\frac{ram}{s} \right]$. Na taj

način, normalizovana brzina prenosa S može se predstaviti na sledeći način:

$$S = \frac{\frac{1}{T_{frame} + 2T_{prop}}}{\frac{1}{T_{frame}}} = \frac{T_{frame}}{T_{frame} + 2T_{prop}} \quad (4)$$

Ako se pretpostavi da je bitska brzina $R \left[\frac{bit}{s} \right]$ i da je dužina rama $L[bit]$, tada je brzina prenosa:

$$L \left[\frac{bit}{ram} \right] \cdot \frac{1}{T} \left[\frac{ram}{s} \right] = \frac{L}{T_{frame} + 2T_{prop}} \left[\frac{bit}{s} \right] \quad (5)$$

Da bi se normalizovala vrednost brzine prenosa, podeliće se vrednost brzine prenosa u $\left[\frac{bit}{s} \right]$ sa bitskom brzinom, tako da se dobije:

$$S = \frac{L / (T_{frame} + 2T_{prop})}{R} \quad (6)$$

Zamenom $T_{frame} = \frac{L}{R}$ u jednačini

(4), dobija se jednačina (6).

Ovde se definiše parametar a kao odnos vremena prenosa i trajanja rama:

$$a = \frac{T_{prop}}{T_{frame}} \quad (7)$$

Ako se jednačina (7) podeli sa T_{frame} , dobiće se izraz za normalizovanu brzinu prenosa S na sledeći način:

$$S = \frac{1}{1 + 2a} \quad (8)$$

Ova vrednost predstavlja maksimalnu normalizovanu brzinu prenosa ostvarenu tehnikom prenosa „Stani i čekaj“, uz pretpostavku da nema grešaka u prenosu. Međutim, efektivna brzina prenosa je manja. Parametar a je konstantne vrednosti ukoliko su vremena T_{prop} i T_{frame} konstantna, što je uobičajen slučaj: ramovi su fiksne dužine, izuzev poslednjeg u sekvenci poruke (predstavlja ostatak pri podeli paketa na blokove fiksne dužine), a i vreme kašnjenja je u prenosu na linku fiksne vrednosti [3, 4].

ARQ tehnika „Stani i čekaj“ sa greškama u prenosu

Ukupno vreme u toku koga se uspešno prenese ram između stanica A i B iznosi:

$$T = T_{frame} + T_{prop} [s] \quad (9)$$

Ako se pretpostavi da je došlo do gubitka rama ili da je poruka potvrde (ACK) izgubljena, ukupno vreme prenosa rama dato je relacijom:

$$T = T_{frame} + T_{out} + T_{frame} + 2T_{prop} \quad (10)$$

T_{out} predstavlja vreme u toku kojeg nema prenosa (došlo je do greške). Pretpostaviće se da je ono jednako dvostrukom trajanju kašnjenja u prenosu ($2T_{prop}$). Na ovaj način može se definisati pojam retransmisije: ukoliko radna stanica (izvor ili odredište) ne dobije poruku potvrde u vremenu dvostrukog trajanja kašnjenja u prenosu (propagacije) doći će do retransmisije (ponovnog slanja) rama.

Ako N_x predstavlja srednji broj pokušaja da bi se ram uspešno preneo, tada je srednje vreme uspešnog prenosa rama dato izrazom:

$$T = N_x (T_{frame} + 2T_{prop}) \quad (11)$$

Primenom istog postupka, kao u prethodnom slučaju kada nema greške u prenosu, dolazi se do izraza za normalizovanu brzinu prenosa:

$$S = \frac{T_{frame}}{N_x (T_{frame} + 2T_{prop})} = \frac{1}{N_x (1 + 2a)} \quad (12)$$

Srednji broj pokušaja N_x može se izraziti preko verovatnoće greške u prenosu pojedinačnog rama – P . Ukoliko se pretpostavi da nikada neće doći do greške u prenosu signala potvrde (ACK), srednji broj pokušaja definisan preko matematičkog očekivanja dat je izrazom:

$$N_x = E[pokušaja] = \sum_{i=1}^{\infty} (i \cdot P_r[(i)pokušaja])$$

$$N_x = \sum_{i=1}^{\infty} (i \cdot P^{i-1} (1-P)) = \frac{1}{1-P} \quad (13)$$

Zamenom u izraz za normalizovanu brzinu prenosa, kod tehnike upravljanja prenosom i kontrole grešaka „Stani i čekaj“, dobija se:

$$S = \frac{1 - P}{1 + 2a} \quad (14)$$

Parametar a

Parametar a može se analizirati na više načina, u zavisnosti od definisanja pojedinih parametara [5]. Ako se pretpostavi da je:

d – rastojanje na linku između dve radne stanice (izvor i odredište);

V – brzina u prenosu signala na linku. Za slobodan prostor kao medijum prenosa, brzina je jednaka brzini svetlosti ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$). Za optičko vlakno brzina prenosa iznosi približno 0,67 brzine prostiranja svetlosti ($V \approx 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$);

L – dužina rama [bit], konstantne vrednosti;

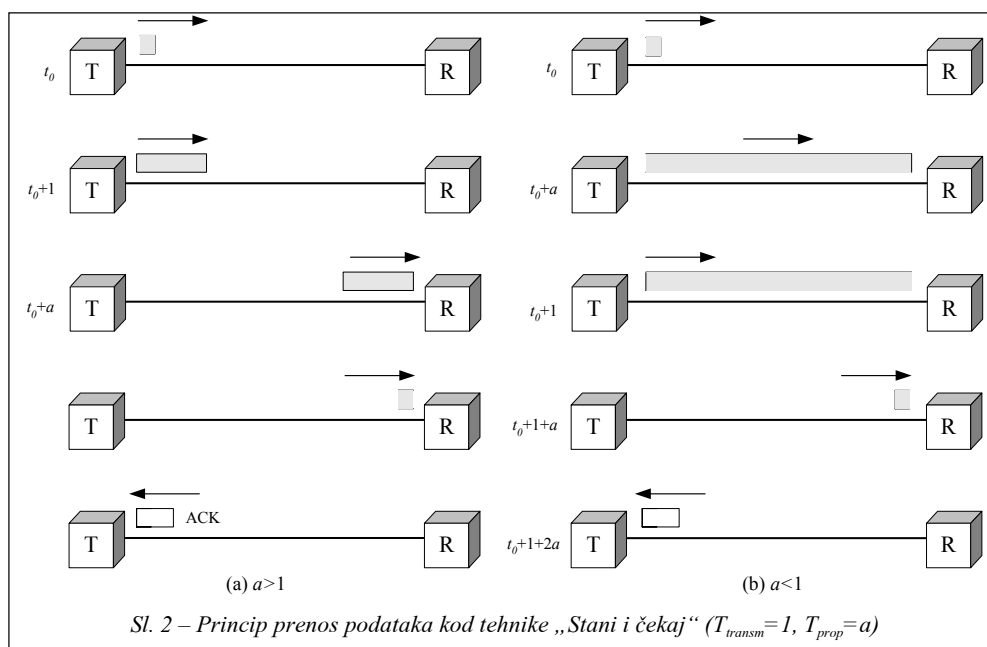
$$R - \text{bitska brzina} \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right];$$

vreme propagacije (T_{prop}) određuje se iz odnosa rastojanja d i brzine prenosa V . Vreme prenosa rama na linku (T_{transm}) predstavlja odnos dužine rama L [bit] i

bitske brzine $R \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right]$. Zamenom u izraz za a , dobijamo da je:

$$a = \frac{d/V}{L/R} = \frac{R \cdot d}{V \cdot L} \quad (15)$$

Na slici 2, T_{transm} je normalizovano na vrednost 1, tako da je vreme propagacije $T_{prop} = a$. U slučaju kada je $a > 1$, dužina linka je veća od dužine rama, što je prikazano na slici 2 (a), pri čemu se ne uzima u obzir vreme prenosa poruke ACK. Stanica A u ko-



munikaciji A–B počinje sa predajom rama u $t=0$. U $t=1$, A završava sa predajom rama. U trenutku $t=a$ (vreme propagacije), prednja ivica rama dolazi na prijemnu stanicu B. U $t=1+a$, B je primila celokupan ram i neposredno zatim šalje poruku potvrde ACK. Ova poruka stiže do A u $t=1+2a$. Ukupno utrošeno vreme za prenos iznosi $t=1+2a$. Samim tim, određena je i brzina kojom se ramovi mogu prenositi, $\frac{1}{1+2a}$. Isti rezultat

biće postignut i u slučaju kada je $a < 1$ (dužina rama je veća od rastojanja na linku).

Biće razmotreno nekoliko slučajeva primene ARQ postupka „Stani i čekaj“ (slika 3) i analiziran ARQ postupak na primeru jedne WAN (Wide Area Network) mreže sa ATM u kojoj se nalaze dve stanice međusobno udaljene hiljadama kilometara. Standardni ATM ram naziva se ćelija i sadrži 53 bajta, odnosno 423 bita (53×8), pri čemu je jedna od standardnih bitskih brzina 155,52 Mb/s. Na ovaj način definisano, ukupno vreme prenosa rama (ATM ćelije) iznosi

$$\frac{424 [\text{bit}]}{155,2 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right]} = 2,7 \cdot 10^{-6} [\text{s}].$$

Ako se pretpostavi da je prenosni medijum optički link, na udaljenosti od 2000 km ($d=2 \cdot 10^6$ m), vreme propagacije iznosi

$$T_{prop} = \frac{2 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}}{2 \cdot 10^8 \text{ m}} = 1 \cdot 10^{-2} [\text{s}] = 10 [\text{ms}].$$

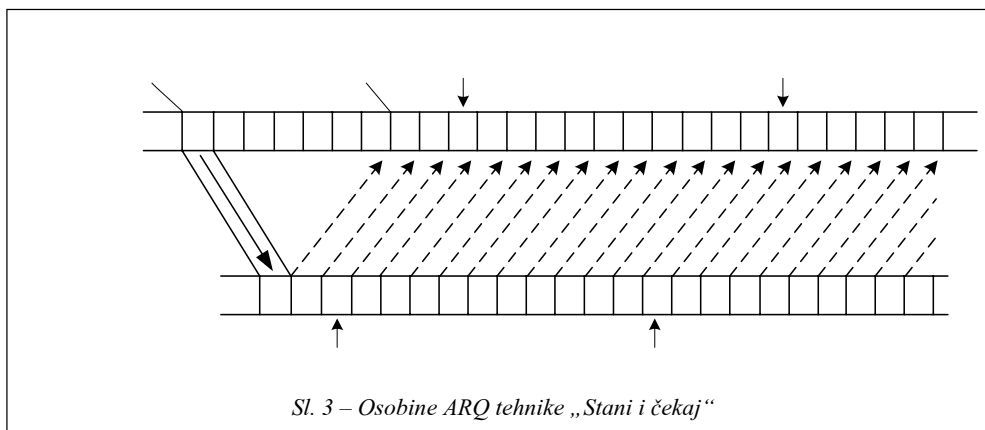
Konačno, dobija se da je vrednost para-

$$\text{metra } a = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{2,7 \cdot 10^{-6}} \cong 3703, \text{ pri čemu}$$

normalizovana brzina prenosa iznosi sve-

$$\text{ga } S = \frac{1}{1+2a} \approx \frac{1}{7407} \cong 0,000135.$$

Drugi slučaj predstavlja primer mreže LAN (Local Area Network). U ovom primeru rastojanja su u opsegu od 0,1 do 10 km, sa bitskim protocima od 10 Mb/s do 1 Gb/s, pri čemu veće brzine prenosa odgovaraju kraćim rastojanjima. Ako je $V=2 \cdot 10^8$ [m/s], dužina rama $L=1000$ [bit] i bitska brzina $R=10$ [Mb/s], za zadati opseg rastojanja d dobija se vrednost parametra a između 0,005 i 0,5. Time se dobija vrednost za normalizovanu brzinu prenosa S između 0,5 i 0,911. Za 100 Mb/s LAN-ove, uz odgovarajuća kraća rastojanja, dobiće se takođe približno iste vrednosti brzine prenosa. Može se zaključiti da su LAN mreže prilično



Sl. 3 – Osobine ARQ tehnike „Stani i čekaj“

efikasne po brzini prenosa uz primenu ARQ tehnike, dok u slučaju WAN mreža (ATM) ova tehnika ne daje rezultate, zbog čega se primenjuje FEC tehnika detekcije i korekcije u prenosu podataka.

Na kraju, biće posmatran slučaj digitalnog prenosa preko modemske linije brzinom od $R = 28,8$ kb/s. Ponovo će se pretpostaviti da je dužina rama $L = 1000$ [bit]. Dužina prenosnog linka iznosi između nekoliko desetina metara do nekoliko hiljada kilometara. Ukoliko je rastojanje od $d = 1500$ m, tada je

$$a = \frac{d/V}{L/R} = \frac{d \cdot R}{L \cdot V} = \frac{1500 \text{ m} \cdot 28\,800 \frac{\text{bit}}{\text{s}}}{1000 \text{ bit} \cdot 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} =$$

$$= 2,16 \cdot 10^{-4}, \text{ pri čemu normalizovana}$$

brzina prenosa iznosi $S = \frac{1}{1+2a} \approx 1$, tačnije 0,99978.

Čak i u slučaju velikog rastojanja, npr. $d = 6000$ km, uz zadržavanje vrednosti ostalih parametara, dolazi se do vrednosti $a = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 28\,800}{1000 \cdot 2 \cdot 10^8} = 0,864$, ta-
ko da je $S = \frac{1}{1+2a} \approx 0,4$, tačnije 0,366.

Da bi se uočio efekat parametra a na normalizovanu brzinu prenosa (propusnu moć), predstavice se zavisnost $S = \frac{1-P}{1+2a}$ od promene parametra a za zadatu verovatnoću P (verovatnoća da je preneti ram sa greškom). Posmatraće se familija krivih za vrednosti verovatnoće greške u prenosu $P = 10^{-3}$; 10^{-2} ; 10^{-1} ; 0,2; 0,3; 0,4 i 0,5. Može se zaključiti da se sa porastom verovatnoće greške u prenosu P , smanjuje vrednost normalizovane br-

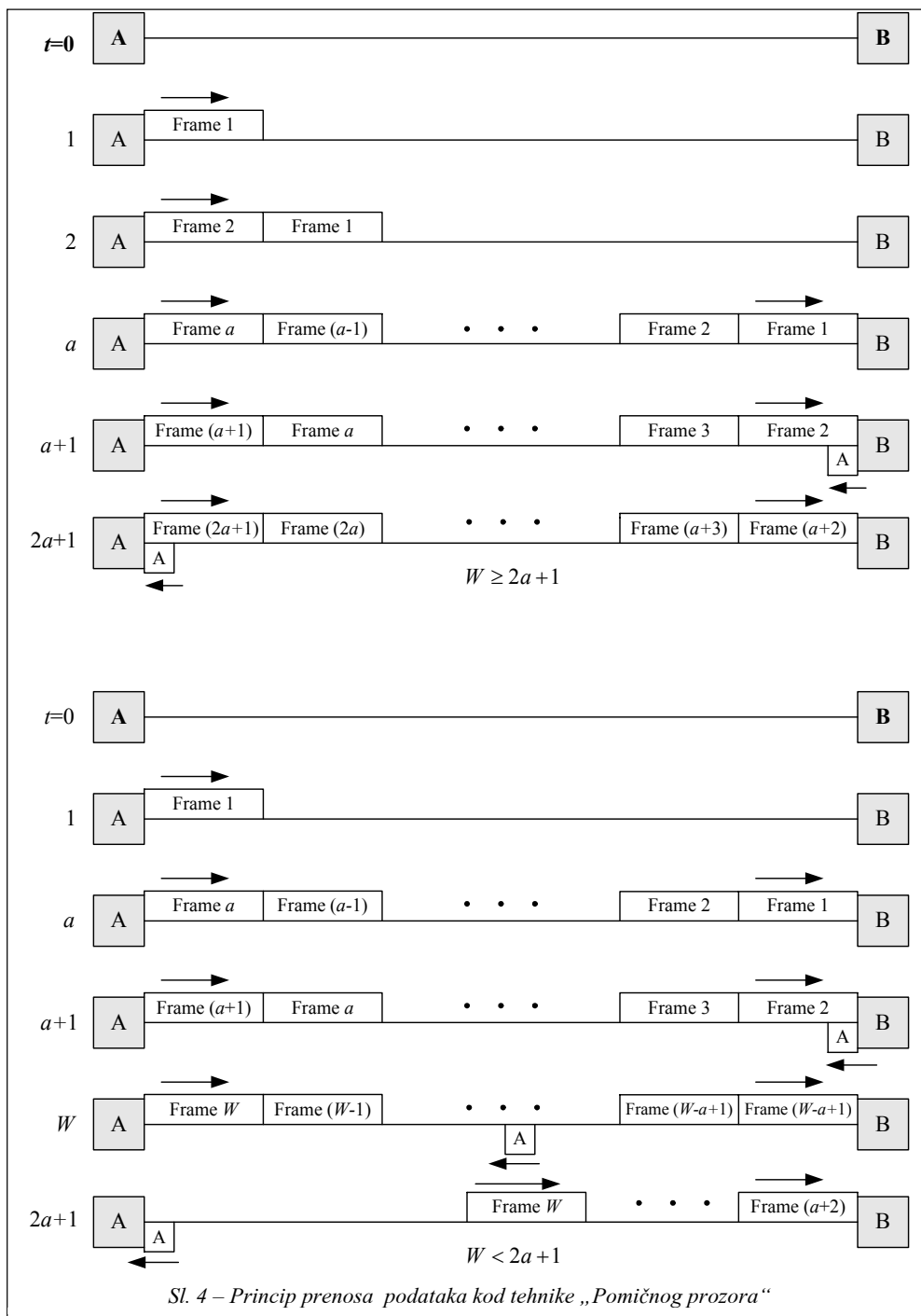
zine S , ali je ta zavisnost mala u velikom opsegu vrednosti P (za $P = 10^{-3}$ i 10^{-2} dobija se praktično ista kriva). Takođe, za vrednosti parametra a veće od 100, zavisnost verovatnoće P na vrednost S je zanemarljiva.

Neke karakteristične vrednosti parametra a

Bitska brzina (Mb/s)	Dužina rama (bit)	Rastojanje (km)	Parametar a
0,064	1000	0,1	0,00003
0,064	1000	1	0,0003
0,064	1000	35,863	7,65
0,064	10 000	0,1	0,000003
0,064	10 000	1	0,00003
0,064	10 000	35,863	0,77
1	1 000	1	0,005
1	1 000	3000	15
1	1 000	35,863	119,5
1	10 000	1	0,0005
1	10 000	3000	1,5
1	10 000	35,863	11,95
10	1 000	0,05	0,0025
10	1 000	0,5	0,025
10	10 000	0,05	0,00025
10	10 000	0,5	0,0025
100	1 000	0,1	0,05
100	10 000	0,1	0,005
1000	1 000	0,1	0,5
1000	10 000	0,1	0,05

Tehnika „Pomičnog prozora“ (Sliding-Window)

Osnovni problem prethodne tehnike jeste što se u toku određenog vremena može prenositi samo jedan ram [6]. Situa-



cija kada je vreme prenosa (predstavljeno sa T_{prop}) veće od trajanja rama (T_{frame}) dolazi do velike neefikasnosti prenosa.

Ako se pretpostavi da su dve radne stanice A i B povezane dupleksno i da se na mestu B nalazi bafer za n -ramova, stanica B može prihvatiti n -ramova, tako da stanica A može poslati n -ramova bez čekanja na pristizanje signala potvrde (ACK).

Biće razmotrene dve tehnike pomičnog prozora: ARQ tehnika „Vrati se unazad za N “ i ARQ tehnika „Selektivnog ponavljanja“. Osnovna razlika između ovih tehnika je u načinu obrade grešaka u prenosu.

Algoritam tehnike „Pomičnog prozora“ bez grešaka

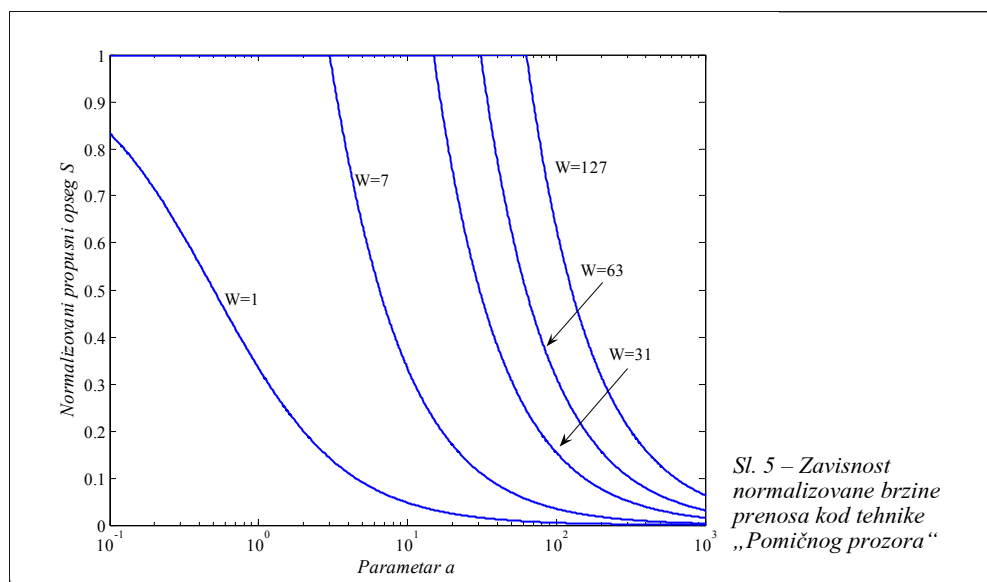
U slučaju pomičnog prozora, brzina prenosa na liniji zavisi od dva faktora – veličine prozora W i vrednosti parametra a . Radi pojednostavljenja, smatraće se da normalizovana vrednost vremena prenosa rama T_{frame} iznosi 1; tada je vreme preno-

pagacije T_{prop} jednako a . Slika 4 predstavlja primer potpune dupleksne veze. Stanica A (izvor) počinje da emituje sekвенцу ramova u trenutku $t=0$. Prednja ivica prvog rama odlazi na stanicu B (odredište) u $t=a$. Prvi ram je u potpunosti primljen u $t=a+1$. Pretpostavljajući da je vreme obrade minornog trajanja, B će trenutno primiti informaciju o potvrdi za prvi pristigli ram (ACK1). Pretpostaviće se da je dužina poruke potvrde mala, tako da je vreme njenog prenosa T_{ack} veoma kratko. Samim tim, signal ACK1 stiže u A u trenutku $t=2a+1$.

Da bi se analizirale osobine navedene tehnike, razmotriće se dva slučaja:

- $W \geq 2a+1$ – potvrda za prvi ram stiže u stanicu A pre nego što A završi sa kompletnim slanjem svog prozora širine W . Na taj način, A može slati poruke u kontinuitetu, bez prekida, tako da je normalizovana propusna moć $S=1$;

- $W < 2a+1$ – stanica A završava slanje svog prozora u $t=W$ i ne može slati dodatne ramove posle $t=2a+1$. Ovako de-



finisana, normalizovana propusna moć data je odnosom veličine prozora W i periode trajanja $2a+1$.

Imajući u vidu prethodno, dobija se:

$$S = \begin{cases} 1, & W \geq 2a+1 \\ \frac{W}{2a+1}, & W < 2a+1 \end{cases} \quad (16)$$

Ako se broj sekvenci predstavi n -bitnim poljem, tada je maksimalna veličina prozora $W = 2^n - 1$. Na slici 5 predstavljena je maksimalna brzina prenosa koja se može postići za prozore veličine $W=1, 7, 31, 63$ i 127 u funkciji parametra a . Prozor veličine $W=1$ odgovara algoritmu „Stani i čekaj“. Vrednost od $W=127$ (7 bita) pokazuje bolje osobine za veće vrednosti a i može se naći u WAN mrežama sa velikim brzinama prenosa.

ARQ tehnika „Vrati unazad za N“ (Go-back-N ARQ)

Najčešći oblik kontrole greškama baziran na tehnici pomičnog prozora predstavlja „Vrati unazad za N“ (slika 6). Radi povećanja brzine prenosa podataka, kao i za održavanje konstantnog iznosa kašnjenja kod satelitskih kanala, ARQ postupak „Stani i čekaj“ zamenjen je strategijom kontinualnog prenosa.

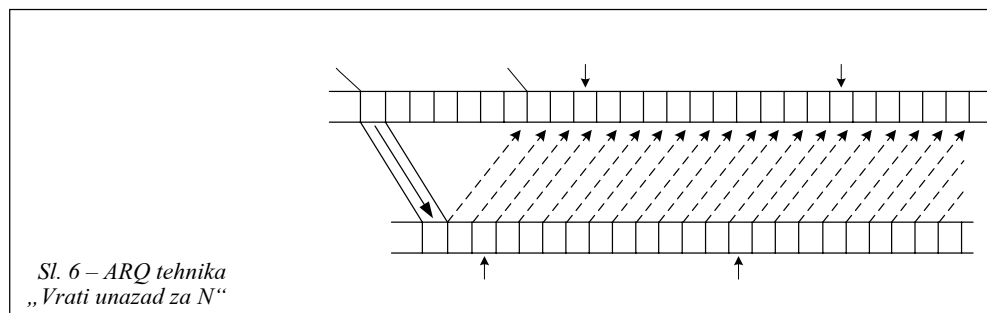
U situacijama kada se pri prenosu ne dogodi greška, određište će potvrditi dolazni ram sa signalom potvrde „Spreman na prijemu“ (RR – Receive Ready). Ukoliko određište detektuje grešku u ramu, poslaće negativnu potvrdu, signal odbacivanja (REJ – Rejective). Stanica B će odbaciti taj ram i sve buduće dolazne ramove dok se ne primi ispravan ram. Na taj način izvorna stanica A, kada primi signal REJ, mora ponovo poslati ram koji je bio sa greškom, kao i sve ramove koji su poslani u međuvremenu.

Glavni nedostatak postupka ARQ sa povratkom unazad je u tome što kada se u nekoj kodnoj reči otkrije greška, prijemnik odbacuje narednih $N-1$ primljenih reči, čak i u slučaju kada je većina njih ispravno primljena. Rezultat ovog postupka je da se za tih $N-1$ reči mora ponoviti predaja, što predstavlja gubitak vremena i kašnjenje, što u krajnjem slučaju dovodi do ozbiljne degradacije efikasnosti iskorišćenja kanala veze.

Da bi se ram uspešno preneo, srednji broj pokušaja N_x određiće se na osnovu matematičkog očekivanja:

$$N_x = E[\text{ukupan_broj_prenetih_ramova_bez_greške}] \quad (17)$$

$$N_x = \sum_{i=1}^{\infty} f(i) P^{i-1} (1-P)$$



gde $f(i)$ predstavlja ukupan broj ramova koji će biti prenet ukoliko će se originalan ram preneti i puta da bi prenos bio uspešan. Ako se sa K označi broj ramova koji mora biti ponovo prenet zbog pojave greške u prenosu, vrednost $f(i)$ može se predstaviti na sledeći način:

$$\begin{aligned} f(i) &= 1 + (i-1)K \\ f(i) &= (1-K) + Ki \end{aligned} \quad (18)$$

Imajući u vidu jednakosti

$$\sum_{i=1}^{\infty} X^{i-1} = \frac{1}{1-X} \text{ i } \sum_{i=1}^{\infty} (i \cdot X^{i-1}) = \frac{1}{(1-X)^2}$$

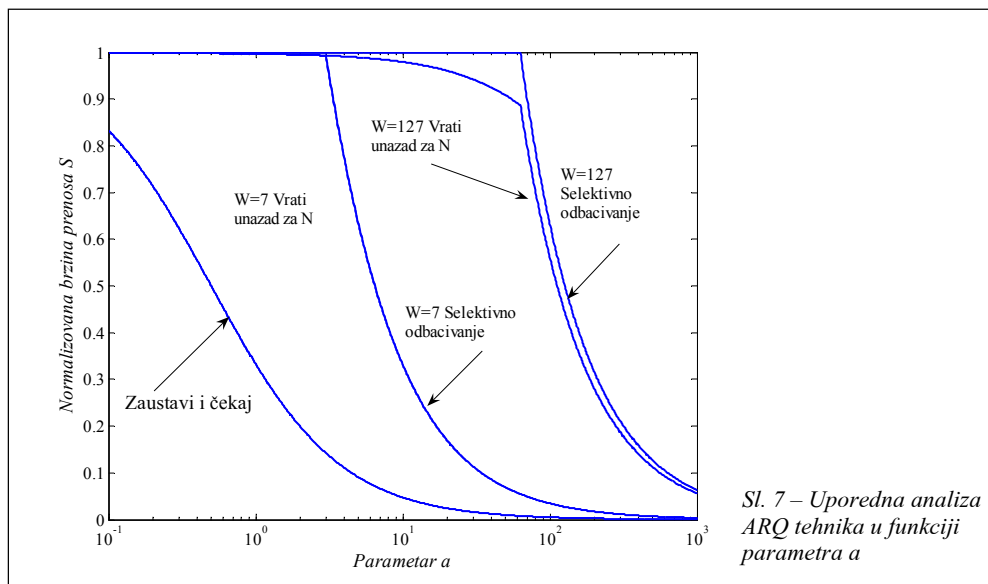
za $-1 < X < 1$, može se napisati da je:

$$\begin{aligned} N_x &= (1-K) \sum_{i=1}^{\infty} P^{i-1} (1-P) + K \sum_{i=1}^{\infty} i P^{i-1} (1-P) \\ N_x &= 1-K + \frac{K}{1-P} = \frac{1-P+KP}{1-P} \end{aligned} \quad (19)$$

Na slici 4 uočava se da je vrednost $K \cong 2a+1$ za $W \geq (2a+1)$ i $K=W$ za $W < (2a+1)$. Ovako definisano K daje:

$$S = \begin{cases} \frac{1-P}{1+2aP}; & W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)}; & W < 2a+1 \end{cases} \quad (20)$$

Za $W=1$, oba algoritma, „Selektivno odbacivanje“ i „Vrati unazad za N“, potisnuti su algoritmom „Stani i čekaj“. Na slici 7 prikazana je uporedna analiza ove tri tehnike kontrole i upravljanja greškama u prenosu kao funkcija parametra a u slučaju verovatnoće $P=10^{-3}$. Međutim, ovaj grafik i prethodne jednačine ne uzimaju u obzir greške koje se mogu pojaviti u prenosu poruke potvrde (ACK), a takode i kod tehnike „Vrati unazad za N“, zanemarene su greške koje se mogu pojaviti u retransmitovanim ramovima u odnosu na originalan ram u kome se pojavila greška.



Sl. 7 – Uporedna analiza ARQ tehnika u funkciji parametra a

Na slici 7 može se uočiti da u slučaju veličine prozora $W=7$ ($n=3$ bita), tehnike „Selektivno odbacivanje“ i „Vrati unazad za N “ pokazuju praktično istu zavisnost vrednosti S od parametra a , dok je za vrednost $W=127$ razlika evidentna. Na slici 8 pokazana je zavisnost normalizovane propusne moći S za sve tri navedene ARQ tehnike u funkciji veličine prozora W , gde se kao parametri pojavljuju vrednosti $a=10$ i $a=100$.

ARQ tehnika „Selektivnog odbacivanja“ (ARQ Selective-Reject)

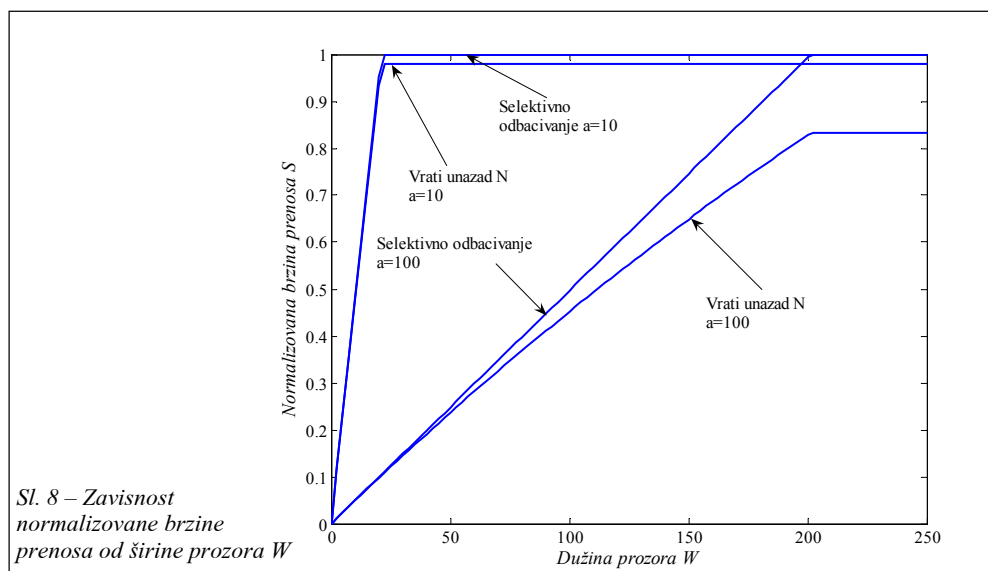
Sa ARQ tehnikom „Selektivnog odbacivanja“ (slika 9) ramovi koji se ponovo šalju imaju negativnu poruku potvrde, NAK. Ova tehnika je efikasnija od prethodne, jer minimizira potrebno retransmitovanje ramova.

I ovde se kodne reči predaju u kontinuitetu. Međutim, ponavlja se otprema samo onih kodnih reči koje su negativno

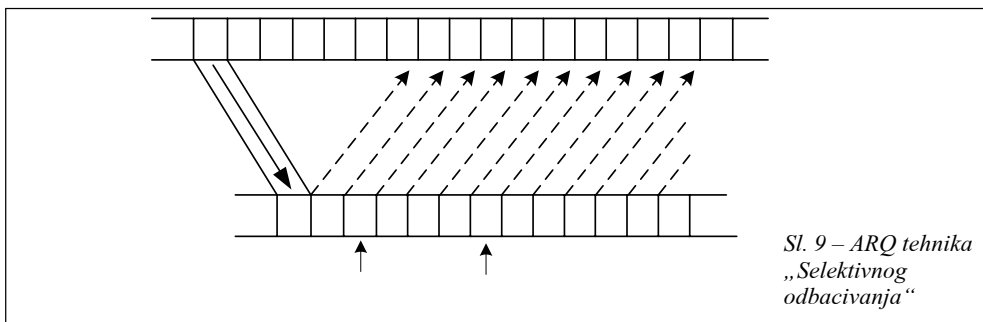
potvrđene (poruka NAK). Prijemni deo mora duže vreme komunicirati sa bafenom, sve dok ne smesti sve NAK ramove i dok se ponovo ne prenese ram koji je bio sa greškom. Takođe, mora imati složenu logiku kojom se vrši ubacivanje pogrešnog rama u odgovarajuću sekvencu. S druge strane, predajnik, takođe, mora imati kompleksniju arhitekturu da bi mogao da šalje ram izvan sekvence. Zbog ovih zahteva ARQ tehnika „Selektivnog odbacivanja“ se, i pored svoje efikasnosti, ipak mnogo manje koristi od prethodne tehnike.

U slučaju pomičnog prozora, prethodna jednačina se primenjuje kada nema grešaka u prenosu. Kod ARQ sa selektivnim odbacivanjem potrebno je jednačinu (16) podeliti sa N_x , gde N_x predstavlja srednji broj pokušaja da bi se

okvir preneo bez greške: $N_x = \frac{1}{1-p}$, tako da se dobije sledeća vrednost propusne moći S :



Sl. 8 – Zavisnost normalizovane brzine prenosa od širine prozora W



$$S = \begin{cases} \frac{1}{N_x} = 1 - P, & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{(2a + 1)N_x} = \frac{W(1 - P)}{2a + 1}, & W < 2a + 1 \end{cases} \quad (21)$$

Zaključak

U ovom radu iznete su osnovne karakteristike procedura, odnosno tehnika upravljanja prenosom. Analizirana su dva slučaja: prvi, kada se pri prenosu ne pojavi greška i, drugi, sa greškom u prenosu. Detaljno je ukazano na osnovne relacije kojima se definišu karakteristična vremena u prenosu, parametar S koji predstavlja normalizovanu brzinu prenosa na linku i parametar a koji se definiše kao odnos ukupnog vremena prenosa na linku i vremena prenosa rama.

Analiziran je prenos u WAN mrežama ATM tehnikom. Za konkretne uslove prenosa dobijena je velika vrednost parametra a , što je rezultiralo malom efikasnošću linka, odnosno normalizovanom brzinom prenosa, a samim tim nemogućnošću primene ARQ tehnika. U slučaju LAN mreža, za konkretne vrednosti, dobijene su mnogo niže vrednosti za a , odnosno mnogo bolja vrednost normalizovane brzine prenosa S .

Prikazana je zavisnost normalizovane prenosne brzine S od parametra a za različite verovatnoće greške u prenosu P kod tehnike „Stani i čekaj“. Pokazano je da za verovatnoće greške $P=10^{-3}$ i $P=10^{-2}$ praktično nema razlike, dok drastično smanjenje normalizovane vrednosti S nastupa za grešku veću od 0,4 kada maksimalna vrednost S za $a=0,1$ iznosi ispod 0,5.

Prikazana je zavisnost S od parametra a kod ARQ tehnika „Pomičnog prozora“, gde se kao parametar posmatra širina prozora W . Porast širine prozora W , uz porast parametra a , dovodi do boljih osobina po pitanju normalizovane brzine prenosa u slučaju širokopojasnih WAN mreža. Prozor širine $W=1$ odgovara tehnici „Stani i čekaj“.

Izvršeno je upoređivanje zavisnosti normalizovane veličine S u funkciji parametra a u slučaju primene tehnika „Stani i čekaj“, „Vrati unazad za N“ i „Selektivno odbacivanje“ za širinu prozora $W=7$ i $W=127$. Tehnike upravljanja „Vrati unazad za N“ i „Selektivno odbacivanje“ ponašaju se identično za sve vrednosti parametra a , što je potvrđeno preklapanjem krivih zavisnosti. Za $W=127$, za vrednosti parametra a između 10^{-3} i 10^{-2} dobija se najveća razlika između normalizovane brzine prenosa S . Pri daljem povećanju parametra a , razlika u ponašanju S izme-

1 2

đu ove dve tehnike ostaje konstantna, pri čemu tehnika „Selektivnog odbacivanja“ pokazuje bolje osobine u odnosu na tehniku „Vrati unazad za N“.

Pokazana je i zavisnost normalizovane brzine prenosa S od dužine prozora W u slučaju tehnika „Selektivnog odbacivanja“ i „Vrati unazad za N“, gde se kao parametar posmatra a . Za vrednost $a=10$ i porast širine prozora do $W=20$, dobija se linearna zavisnost $S(W)$. Pri daljem povećanju W , kod obe tehnike, dobija se konstantna velika vrednost za S koja je nešto niža kod tehnike „Vrati unazad za N“. Za $a=100$, linearna zavisnost S od širine prozora W ide do vrednosti $W=200$, pri čemu bolje karakteristike pokazuje tehnika „Selektivnog odbacivanja“. Pri daljem porastu širine prozora W iznad 200, „Selektiv-

no odbacivanje“ daje konstantnu vrednost za $S \approx 1$, dok tehnika „Vrati unazad za N“ daje lošiju vrednost, $S \approx 0,8$.

Pri analizi tehnika korišćen je programski jezik MATLAB 7.0 kojim su dobijeni svi analizirani grafički prikazi.

Literatura:

- [1] Jevtović, M.: Projektovanje računarskih mreža, seminar, Elektrotehnički fakultet Banja Luka, jun 1997.
- [2] Stallings, W.: High Speed Networks and Internets, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.
- [3] Lin, S.; Costello, D.; Miller, M.: Automatic-Repeat-Request Error-Control Schemes, IEEE Communications Magazine, December 1984.
- [4] Spragins, J.; Hammond, J.; Pawlikowski, K.: Telecommunications: Protocols and Design, Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- [5] Warland, J.: Communication Networks: A First Course. New York: Mc Graw-Hill, 1998.
- [6] Zorzi, M.; Rao, R.: On the Use of Renewal Theory in the Analysis of ARQ Protocols, IEEE Transactions on Communications, September, 1996.

Željko Vukobrat,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut,
Beograd

NAPONSKI IZLAZNI SIGNALI POZICIONOOSETLJIVOG OPTIČKOG PRIJEMNIKA

UDC: 621.383.5

Rezime:

Teorijski model za određivanje naponskih izlaznih signala pozicionoosetljivog prijemnika razvijen je i eksperimentalno verifikovan. Upotrebljen je kvadrantni detektor za konvertovanje svetlosne energije u električnu energiju. Kvadrantni detektor ima četiri nezavisne i identične fotodiode na osetljivoj površini. Korektno fokusiran simetrični laserski ili optički snop formira kružni spot na aktivnoj površini detektora nakon prolaska kroz sočivo. Fotodiode su spojene preko otpornika sa izvorom za napajanje. Fotoelektrična struja generisana u fotodiodi uzrokuje pad napona na odgovarajućem otporniku i, na taj način, obezbeđuje izlazni signal. Signal detektovan pomoću svake fotodiode kvadrantnog detektora proporcionalan je površini svetlosnog spota koji je pao na fotodiodu. Izvedeni teorijski model omogućava brzu i korektnu analizu eksperimentalnih rezultata, što je u osnovi provere zadovoljenja tehničkih zahteva postavljenih u pretprojektnoj fazi dizajniranja pozicionoosetljivog optičkog prijemnika određene namene. Eksperimentalni rezultati se potpuno slažu sa teorijom.

Ključne reči: optički prijemnik, pozicionoosetljivi prijemnik, kvadrantni detektor, silicijumska PIN fotodioda.

THE VOLTAGE OUTPUT SIGNALS OF THE OPTICAL POSITION-SENSITIVE RECEIVER

Summary:

A theoretical model for determining the voltage output signals of the position-sensitive receiver is developed and verified experimentally. A quadrant detector is used for converting light energy into electrical energy. The quadrant detector has four independent and equal photodiodes on the sensing surface. A correctly focused symmetrical laser or optical beam will form a circular spot on the detector's active surface after passing through the lens. The photodiodes are connected to a voltage source via resistors. A photoelectric current generated in the photodiode causes a voltage drop across the associated resistor and thus provides an output signal. The signal detected by each photodiode of the quadrant detector is proportional to the area of the light spot image on the photodiode. The derived theoretical model enables a quick and correct analysis of experimental results, that is the base of the checking of technical requirements of preliminary project design of the position-sensitive optical receiver for defined purpose. The experimental results show the excellent agreement with theory.

Key words: optical receiver, position-sensitive receiver, quadrant detector, silicon PIN photodiode.

Uvod

Pozicionoosetljivi optički prijemnici koriste se za beskontaktno merenje pomera, ugla, nivelisanosti, položaja, visine, usmerenosti, uniformnosti površine i rasto-

janja. Silicijumski fotodetektor su naročito pogodni za ova merenja, jer se mogu kombinovati sa raznovrsnim izvorima zračenja, kao što su: He-Ne laser, laserska dioda, svetlosno emitujuća dioda i IC emitujuća dioda. Oni detektuju zračenje iz širokog opsega

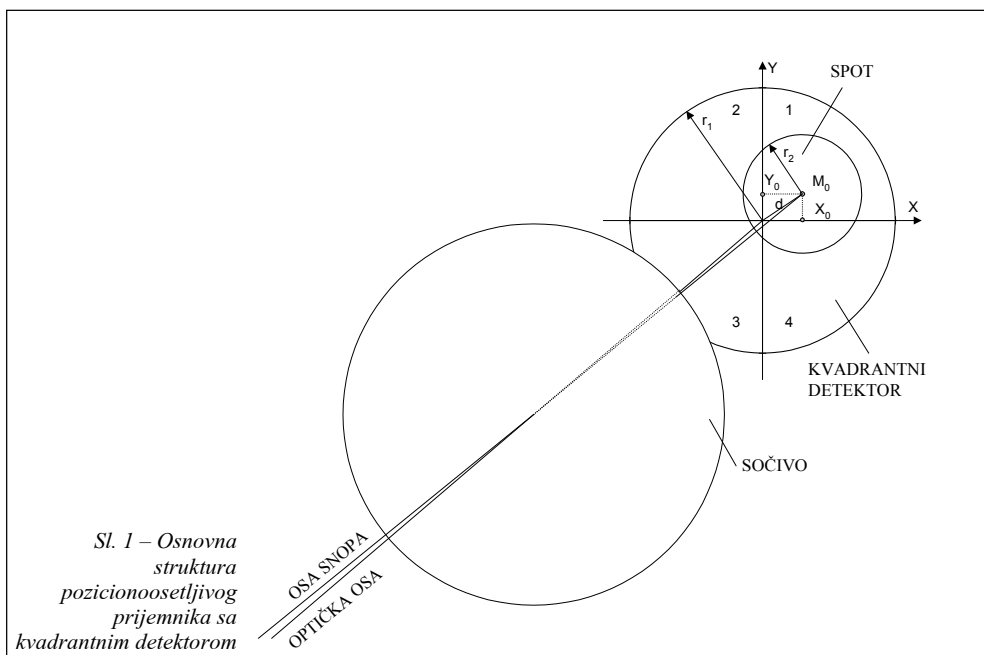
talasnih dužina, od ultravioletnog do bliskog infracrvenog dela spektra. Odlikuju se velikom brzinom odziva, niskim nivoom šuma i visokom osetljivošću. Za projektovanje poziciono-osetljivih prijemnika koriste se različiti tipovi silicijumskih fotodetektora: jednoelementne naprave, dvočelijski i kvadrantni detektori, fotodiode sa bočnim efektom i višeelementni nizovi.

U ovom radu su, kroz teorijski i eksperimentalni model, prikazani naponski izlazni signali pozicionoosetljivog prijemnika sa kvadrantnim detektorom. Kvadrantni detektor je uniformni disk, izrađen na bazi silicijuma, sa dva zazora širine od 2 do 12 μm duž fotoosetljive površine detektora, čime su obrazovane četiri nezavisne i identične PIN fotodiode. U nazivu PIN, oznake P i N se odnose na oblasti P i N tipa, a oznaka I na baznu oblast fotodiode. Položaj centra detektora precizno je određen presekom dve zazorске linije. Ispred kvadrantnog detektora, u pozicionoosetljivom optičkom prijem-

niku, nalazi se fokusirajući optički element koji deluje na snop zračenja, tako da se na aktivnoj površini detektora formira kružni spot željenog poluprečnika. Uloga kvadrantnog detektora jeste da izvrši konverziju primljenog laserskog ili optičkog zračenja u električni signal. Izlazni signal svake fotodiode, kvadrantnog detektora, proporcionalan je odgovarajućoj površini spota, koja je obuhvaćena tom aktivnom površinom. Kada se centar spota nalazi u centru kvadrantnog detektora, fotoelektrične struje, generisane u sve četiri fotodiode, izjednačene su. Malim pomerajem centra spota, u odnosu na centar kvadrantnog detektora generišu se različite struje, odnosno različiti nivoi naponskih izlaznih signala.

Teorijski model

Osnovna struktura pozicionoosetljivog optičkog prijemnika sa kvadrantnim detektorom prikazana je na slici 1.



Prijemnik se sastoji od sočiva i kvadrantnog detektora, koji se nalaze na određenom međusobnom rastojanju, tako da formirani kružni spot ima poluprečnik r_2 . Brojevima 1, 2, 3 i 4 obeležene su četiri PIN silicijumske fotodiode kvadrantnog detektora, čiji je poluprečnik r_1 . Kvadrantni detektor postavljen je u položaj u kojem se linije zazora poklapaju sa osama pravouglog Dekartovog koordinatnog sistema. Slika 1 prikazuje slučaj kada se centar spota M_0 (sa koordinatama X_0, Y_0) ne poklapa sa centrom kvadrantnog detektora, što je posledica uglovnog odstupanja ose snopa od optičke ose.

Postoje dva osnovna režima rada PIN fotodiode: fotonaponski (bez polarizacije) i fotoprovodni (sa inverznom polarizacijom). Fotodiode PIN konfiguracije prevashodno se izrađuju za detekciju brzih signala, za šta je neophodan fotoprovodni (FP) režim rada. Najjednostavnija šema veze kvadrantnog detektora u FP režimu rada ostvarena je povezivanjem fotodiode sa izvorom za napajanje preko otpornika. Na slici 2 prikazan je kvadrantni detektor sa jednostavnim elektronskim kolom za FP režim rada.

Naponski izlazni signali, koji odgovaraju i -toj fotodiodi ($i=1, 2, 3, 4$), jesu:

$$U_i = R_L \cdot I_i = k \cdot S_i \quad (1)$$

gde su:

R_L – otpornost u kolu fotodiode,

I_i – električna struja u i -toj grani,

k – konstanta proporcionalnosti i

S_i – površina spota na aktivnoj površini i -te fotodiode.

Izračunavanjem površina spota (S_i) dobijaju se matematičke relacije za naponske izlazne signale u funkciji koordinata centra spota (X_0, Y_0). Na slici 3 prikazan je kvadrantni detektor, kružni spot sa centrom u tački M_0 (X_0, Y_0), a označene su i površine čije izraze treba odrediti.

Polazeći od relacija za izračunavanje kružnog odsečka odgovarajućeg centralnog ugla [1] dobijaju se matematički izrazi za površine S_{23} i S_{34} :

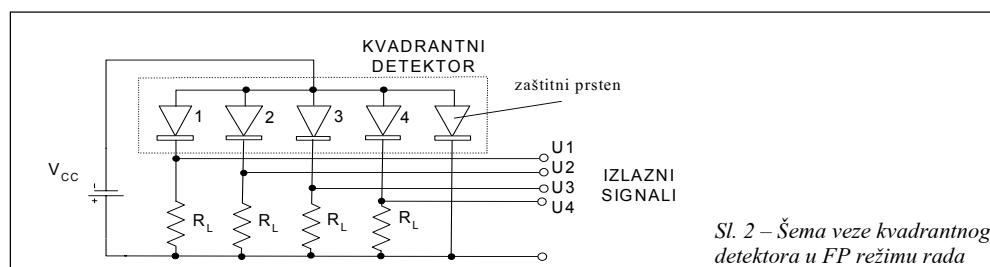
$$S_{23} = r_2^2 \cdot \frac{\pi}{2} - r_2^2 \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) - X_0 \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} \quad (2)$$

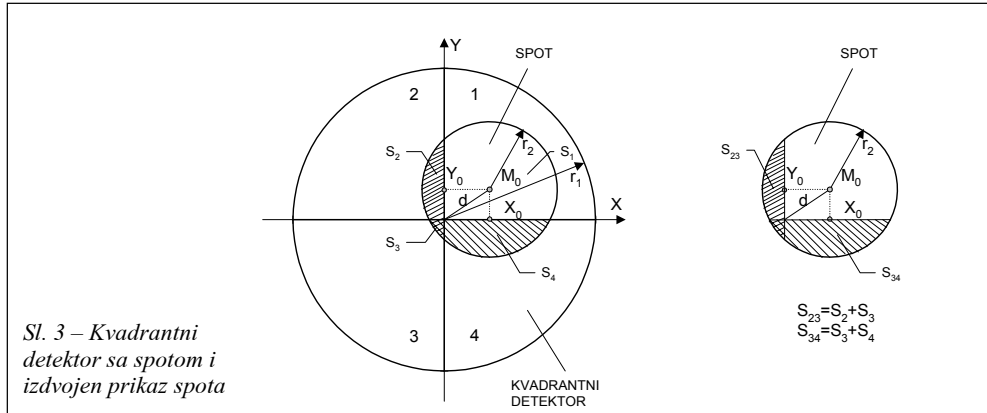
$$S_{34} = r_2^2 \cdot \frac{\pi}{2} - r_2^2 \cdot \arcsin\left(\frac{Y_0}{r_2}\right) - Y_0 \cdot \sqrt{r_2^2 - Y_0^2} \quad (3)$$

Površina dela spota koji pripada aktivnoj površini treće fotodiode S_3 dobija se rešavanjem određenog integrala funkcije:

$$y = Y_0 - \sqrt{r_2^2 - (x - X_0)^2} \quad (4)$$

na segmentu $[0, X_0 - \sqrt{r_2^2 - Y_0^2}]$.





Izraz za površinu S_3 sada se može zapisati u obliku:

$$S_3 = -\frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) - \frac{X_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} + \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{r_2^2 - X_0^2}}{r_2}\right) \quad (5)$$

$$U_2 = k \cdot \left[r_2^2 \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{X_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} - \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) + \frac{Y_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - Y_0^2} - \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{r_2^2 - X_0^2}}{2}\right) - X_0 \cdot Y_0 \right] \quad (10)$$

Na jednostavan način dolazi se i do izraza za površine S_2 , S_4 i S_1 :

$$S_2 = S_{23} - S_3 \quad (6)$$

$$S_4 = S_{34} - S_3 \quad (7)$$

$$S_1 = r_2^2 \cdot \pi - (S_2 + S_3 + S_4) \quad (8)$$

Kada se izrazi (5), (6), (7) i (8) uvrste u (1) dobijaju se konačne matematičke relacije za naponske izlazne signale u funkciji koordinata centra spota (X_0, Y_0) :

$$U_1 = k \cdot \left[\frac{X_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} + \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) + \frac{Y_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - Y_0^2} + \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{r_2^2 - X_0^2}}{2}\right) + r_2^2 \arcsin\left(\frac{Y_0}{r_2}\right) + X_0 \cdot Y_0 \right] \quad (9)$$

$$U_3 = k \cdot \left[-\frac{X_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} - \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) - \frac{Y_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - Y_0^2} + \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{r_2^2 - X_0^2}}{2}\right) + X_0 \cdot Y_0 \right] \quad (11)$$

$$U_4 = k \cdot \left[r_2^2 \cdot \frac{\pi}{2} + \frac{X_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - X_0^2} + \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{X_0}{r_2}\right) - \frac{Y_0}{2} \cdot \sqrt{r_2^2 - Y_0^2} - \frac{r_2^2}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{r_2^2 - X_0^2}}{2}\right) - r_2^2 \arcsin\left(\frac{Y_0}{r_2}\right) - X_0 \cdot Y_0 \right] \quad (12)$$

Jednačine (9), (10), (11) i (12) važe pod uslovom da su $|X_0| \leq r_2$ i $|Y_0| \leq r_2$.

Matematički izraz za zbirni signal U_z dobija se sumiranjem izlaznih signala U_1 , U_2 , U_3 i U_4 :

$$U_z = \sum_{i=1}^4 U_i = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = k \cdot r_2^2 \cdot \pi \quad (13)$$

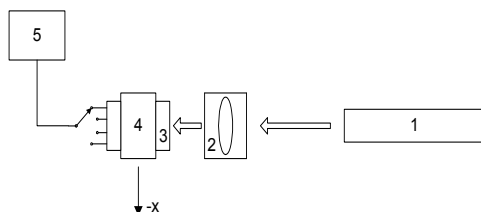
Iz prethodnog izraza dobija se koeficijent proporcionalnosti k :

$$k = \frac{U_z}{r_2^2 \cdot \pi} \quad (14)$$

Eksperimentalni model

Eksperimentalni model pozicionoo-setljivog optičkog prijemnika sa kvadrantnim detektorom prikazan je na slici 4.

Za realizaciju eksperimentalnog modela upotrebljen je: He-Ne laser (talasna dužina $\lambda=632,8$ nm, izlazna snaga $P_{izl}=2$ mW), sočivo (žižna daljina $f=38$ mm, prečnik $D=25,4$ mm), dvoosni pozicioner (preciznost 0,01 mm), kvadrantni detektor (QDY80P „IHTM MTM“, poluprečnik $r_1=5,046$ mm) sa elektronskim kolom i digitalni voltmetar.



Sl. 4 – Eksperimentalni model pozicionoo-setljivog optičkog prijemnika (1 – He-Ne laser, 2 – sočivo, 3 – kvadrantni detektor sa elektronskim kolom, 4 – pozicioner, 5 – digitalni voltmetar)

He-Ne laser kontinualno emituje snop zračenja sa Gausovom raspodelom intenziteta. Sočivo, koje je postavljeno ispred kvadrantnog detektora, fokusira snop i formira kružni spot poluprečnika $r_2=2,25$ mm na aktivnoj površini detektora. Postupak za određivanje poluprečnika formiranog kružnog spota obrađen je u internom dokumentu. Fotodiode kvadrantnog detektora konvertuju energiju fotona u električnu struju, koja se zatim konvertuje u naponski signal preko otpornika otpornosti $R_L=10$ k Ω . Izbor otpornika R_L izvršen je sa tačnošću od 2 %. Digitalni voltmetar pokazuje vrednost naponskog signala na sva četiri otpornika. Dvoosni pozicioner omogućava precizno pomeranje kvadrantnog detektora u ravni Oxy, pri čemu je osa snopa He-Ne lasera upravna na tu ravan.

Rezultati merenja

Pre početka merenja izvršeno je centriranje kvadrantnog detektora. Pod centriranjem se podrazumeva dovodenje kvadrantnog detektora u nulti položaj, odnosno položaj kada osa laserskog snopa „pogađa“ centar detektora, što se registruje digitalnim voltmetrom. Tada su sva četiri napona jednaka.

Nakon centriranja sprovedeno je merenje izlaznih naponskih signala u funkciji koordinate centra spota X_0 ($Y_0=0$). Kvadrantni detektor se, pomoću dvoosnog pozicionera, pomerao u smeru $-x$ -ose ortogonalnog Dekartovog sistema Oxy, čime se, u stvari, postiglo pomeranje centra spota u smeru x -ose. Merenje napona U_i ($i=1, 2, 3, 4$) izvršeno je u opsegu pomeraja od 0 do 2,3 mm sa korakom od po

0,1 mm. Rezultati merenja napona U_i ($i=1, 2, 3, 4$) i rezultat proračuna zbirnog napona ($U_z = U_{m1} + U_{m2} + U_{m3} + U_{m4}$) prikazani su u tabeli.

X_0 [mm]	U_{m1} [V]	U_{m2} [V]	U_{m3} [V]	U_{m4} [V]	U_z [V]
0,0	2,049	2,050	2,050	2,049	8,198
0,1	2,160	1,930	1,934	2,165	8,189
0,2	2,280	1,820	1,819	2,280	8,199
0,3	2,390	1,700	1,704	2,395	8,189
0,4	2,510	1,590	1,590	2,509	8,199
0,5	2,622	1,477	1,477	2,622	8,198
0,6	2,730	1,365	1,365	2,734	8,194
0,7	2,845	1,254	1,250	2,845	8,194
0,8	2,950	1,145	1,145	2,954	8,194
0,9	3,060	1,030	1,038	3,061	8,189
1,0	3,166	0,934	0,933	3,166	8,199
1,1	3,268	0,831	0,832	3,270	8,201
1,2	3,367	0,732	0,732	3,365	8,196
1,3	3,464	0,636	0,636	3,463	8,199
1,4	3,556	0,544	0,543	3,557	8,200
1,5	3,645	0,455	0,454	3,644	8,198
1,6	3,730	0,371	0,370	3,730	8,201
1,7	3,804	0,292	0,292	3,808	8,196
1,8	3,881	0,219	0,220	3,880	8,200
1,9	3,947	0,153	0,152	3,950	8,202
2,0	4,000	0,095	0,093	4,005	8,193
2,1	4,050	0,046	0,046	4,054	8,196
2,2	4,090	0,010	0,010	4,090	8,200
2,3	4,100	0,000	0,000	4,100	8,200

Na osnovu proračuna zbirnog napona za sve pozicije centra spota određuje se srednja vrednost zbirnog napona $\bar{U}_z$ na sledeći način:

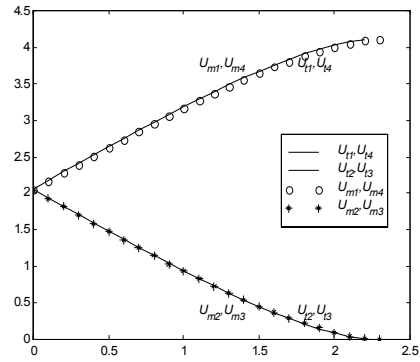
$$\bar{U}_z = \frac{\sum_{i=1}^{24} U_{zi}}{24} = 8,1968 \text{ V}$$

Vrednost koeficijenta proporcionalnosti k dobija se na osnovu relacije:

$$k = \frac{\bar{U}_z}{r_2^2 \cdot \pi} = 0,5154 \frac{\text{V}}{\text{mm}^2}$$

Ovako dobijeni koeficijent proporcionalnosti k uvodi se u teorijske relacije za izlazne naponske signale (9–12).

Na slici 5 prikazani su naponski izlazni signali pozicionoosetljivog prijemnika sa kvadrantnim detektorom u funkciji koordinate centra spota X_0 ($Y_0=0$), dobijeni teorijskim i eksperimentalnim putem.



Sl. 5 – Naponski izlazni signali pozicionoosetljivog prijemnika

Iz prikazanih rezultata merenja vidi se da nije postojala pomenost zazor kvadrantnog detektora po uglu valjanja u odnosu na x -osu po kojoj se vršilo pomeranje detektora, te su se, prema očekivanju, dobili identični grafici za napone U_1 i U_4 , odnosno U_2 i U_3 . Grafici naponskih izlaznih signala, teorijski izraženih preko relacija (9), (10), (11) i (12), prikazani su na istoj slici. Eksperimentalni rezultati pokazuju odlično slaganje sa teorijom. Prosečno odstupanje je na trećoj decimali.

Zaključak

Naponski izlazni signali pozicionoosetljivog optičkog prijemnika predstavljeni su teorijskim modelom, koji je eksperimentalno verifikovan. Teorijski

model omogućuje da se uspešno i za kratko vreme izvrši analiza rezultata, koji se sastoje od izlaznih napona dobijenih eksperimentalnim putem i time proveriti da li su ispunjeni tehnički zahtevi, koji su postavljeni pre projektovanja određenog pozicionoosetljivog optičkog prijemnika sa kvadrantnim detektorom, u skladu sa njegovom primenom.

Analizu rezultata znatno olakšava primena računarskog programa specijalno urađenog za ove potrebe.

Literatura:

- [1] Mamuzić, Z. P., Đerasimović, B. P.: Osnovi matematičke analize, (str. 277, 282 i 377) Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- [2] Naučna ustanova IHTM Centar za MTM, Beograd: Katalog proizvoda.
- [3] <http://www.udt.com>: Non-contact optical position sensing using silicon photodetectors.
- [4] <http://www.mellesgriot.com>: Position-Sensing Detector Theory.

Dr Mirko Borisov,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnografski institut,
Beograd

VOJNE TOPOGRAFSKE KARTE

UDC: 528.9 : 355.1 (497.1)

Rezime:

U radu se prikazuje stanje vojnih topografskih karata u Srbiji i Crnoj Gori, kao i pregled i razvoj topografsko-kartografskih sistema u nekoliko zemalja u svetu. Jedan od zadataka koje Partnerstvo za mir postavlja iz domena geoinformacija jeste izrada novih vojnih topografskih karata.

Ključne reči: topografska karta, novi standardi, Partnerstvo za mir.

MILITARY TOPOGRAPHIC MAPS

Summary:

The article shows the military topographic maps in Serbia and Montenegro. Also, it gives the overview and development of topographic-cartographic systems of some countries in the world. One of the goals that Partnership for Peace has set, concerning cartography, is the making of new military topographic map.

Key words: topographic map, new standards, Partnership for Peace.

Uvod

Pored toga što su sadašnje vojne topografske karte neažurne, postoji niz drugih problema, kao što su zastareli kartografski standardi, način prikaza i korišćenja podataka o prostoru. Detaljnom analizom može se ustanoviti da je uzrok tome upravo u slaboj, gotovo nikakvoj primeni novih tehnologija i međunarodnih vojnih standarda u radu sa topografskim kartama i podacima o prostoru.

Imajući u vidu da je sadašnji topografsko-kartografski sistem zastareo i da je praktično za upotrebu neodrživ, potrebna je njegova reorganizacija i prilagođavanje zapadnom severnoatlantskom vojnom odbrambenom sistemu (NATO – North Atlantic Treaty Organization). Predmet ovog rada su vojne topografske karte kod nas i u svetu

i potreba njihovog usklađivanja. Radi toga su prikazani novi standardi koji dozvoljavaju sadržajnu i vizuelnu raznolikost karata, ali matematička osnova vojnih topografskih karata mora biti ista.

Sistem vojnih topografskih karata u SCG

Vojnografski institut (VGI) izradio je više geografskih karata, čiji se osnovni sadržaj zasniva na topografsko-fotogrametrijskom premeru zemljišta, koji je izveden od 1947. do 1967. godine, te povremenim dopunama nakon tog vremena. Na osnovu toga, VGI je dobio sistem topografskih i preglednotopografskih karata razmere 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:300 000, 1:500 000 i 1:1 000 000.

Osnovne odlike pomenutih karata zasnovane su na istoj geografskoj i matematičkoj osnovi. One su urađene po sistemu izvedenih karata i date u odgovarajućoj komformnoj (Gaus-Krigerovoj ili Lambertovoj) kartografskoj projekciji, sa Griničkim meridijanom kao početnim. Na njima su primenjena ista ili slična kartografsko-redakcijska rešenja. Drugim rečima, sve karte su izrađene u jedinstvenom geodetsko-kartografskom sistemu, čime je znatno olakšano njihovo korišćenje u praksi.

Radi opšte sistematizacije premera i kartiranja, te organizovanog snalaženja u sistemu geografskih karata, deo ili cela teritorija deli se na površi odgovarajućih geometrijskih oblika. Svaka tako dobijena površ predstavlja jedan list, čija veličina zavisi od razmere karte i usvojenog oblika. Podela na listove određuje, dakle, položaj i dimenzije svakog lista karte jedne ili više razmera ili celog razmernog niza. Posle završene podele na listove, data je oznaka svakom listu, koja nedvosmisleno i jednoznačno obeležava svaki list karte, kao što je prikazano u tabeli 1.

*Tabela 1
Topografske i preglednotopografske karte u SCG*

Razmera	Lučne dimenzije		Oznaka lista	Dimenzije u cm		Broj listova za SCG ¹
	φ	λ		dužina	širina	
1:25 000	7' 30"	7' 30"	427-1-1	50	70	841
1:50 000	15'	15'	427-1	50	70	238
1:100 000	30'	30'	427	50	70	73
1:200 000	1°	1°	4419	50	70	25
1:300 000	1° 30'	1° 30'	naziv	50	70	14
1:500 000	2° 30'	5° 30'	naziv	92	64	2
1:1 000 000	6°	5°	naziv	70	70	1

Svi elementi sadržaja topografskih karata prikazani su sa jednakom važno-

šću, bez posebnog isticanja ma kog od njih. Međutim, gustina i tačnost prikaza relativno se razlikuju i uglavnom su u skladu sa definisanom razmerom karata. Sa stanovišta opšteg kvaliteta karte važno je istaći faktore: popunjenost sadržajem topografskih karata koja je u direktnoj vezi sa druga dva faktora – geografskom vernošću i geometrijskom tačnošću karte, zatim preglednost karte, spoljni izgled i kvalitet štampe. Osnovni elementi sadržaja topografskih karata su:

- kartografska mreža;
- administrativne granice;
- hidrografija;
- saobraćaj (komunikacije);
- naseljena mesta i objekti;
- reljef;
- vegetacija, i
- geografski nazivi.

Popunjenost sadržajem topografskih karata (njihova gustina), naročito za neke razmere (npr. 1:100 000), procentualno je veća od ostalih topografskih karata, čime je postignuta povećana geografska vernost, ali to utiče na geometrijsku tačnost i preglednost karata. Međutim, geometrijska tačnost i preglednost većine topografskih karata korigovane su dobrim rešenjima oblika i veličina uslovnih znakova, promenom u prikazu tačkastih i linijskih objekata, te izborom vrsta i veličina kartografskih simbola i slova za geografske nazive.

Tačnost raznovrsnih merenja na topografskim kartama zavisi ne samo od pratećih deformacija, već i od razmere. Smanjivanjem razmere smanjuju se sve veličine, pa i neki geografski, odnosno topografski objekti postaju tako mali da ih nije moguće predstaviti na karti. Pre-

¹ SCG – Srbija i Crna Gora (od 04. 02. 2003. godine)

ma mnogim autorima, veličina u prirodi kojoj odgovara 0,2 mm na topografskoj karti naziva se grafičkom tačnošću karte, odnosno njenom položajnom greškom.

Sistem vojnih topografskih karata u svetu

Kada je reč o sistemu vojnih topografskih karata u svetu jasno je da on mora rešavati kompleks zadatka taktičkog, operativnog i strategijskog karaktera. Pri izradi takvog topografsko-kartografskog sistema predlaže se izrada vojnih karata u sledećim razmerama (STANAG 2000):

- na taktičkom nivou – karta u razmeri 1:50 000 (level 2);
- na operativnom nivou – karta u razmeri 1:250 000 (level 1), i
- na strategijskom nivou – karta u razmeri 1:1 000 000 (level 0).

Navedene razmere rezultat su vojnih standarda i međusobnih sporazuma zemalja članica NATO-a i zemalja članica Partnerstva za mir. Takođe, postoji podela teritorije kartiranja na određeni format listova. U tom smislu topografske karte treba osloniti na podelu i sistem obeležavanja Universal Transverse Mercator (UTM).

Sjedinjene Američke Države

Zajednički prostorni okvir koji se kreira za američke vojne potrebe čine digitalni geografski podaci koji se organizuju po određenim klasama objekata i nivoima detaljnosti. Za potrebe taktičkog nivoa razvija se Vector Map Level 2, čiji sadržaj odgovara sadržaju topografske karte razmere 1:50 000. Za potrebe operativnog nivoa

razvija se Vector Map Level 1, čiji sadržaj odgovara sadržaju topografske karte razmere 1:250 000 i za potrebe strategijskog nivoa Vector Map Level 0, čiji sadržaj odgovara sadržaju preglednotopografske karte razmere 1:1 000 000.

Razvoj infrastrukture podataka o prostoru, zajedno sa svešću da treba napustiti tradicionalni koncept produkcije raznih vrsta kartografskih proizvoda, treba da doprinese racionalizaciji i većoj delotvornosti pri upotrebi i održavanju sistema topografskih karata. Međutim, mnogi korisnici u vojsci za prikaz i praćenje toka borbenih dejstava i za razne vrste analiza još uvek koriste klasične topografske karte. Na osnovu raspoloživih saznanja proizilazi da se bitno menja pristup u kreiranju i korišćenju podataka o prostoru, ali se još uvek ne može obezbediti računar svakom pojedincu (vojniku).

Nemačka

Na području geodetsko-kartografskih istraživanja u Nemačkoj doneta je odluka o uspostavljanju automatizovanog topografsko-kartografskog informacionog sistema (ATKIS). Pri tome, razrađen je projekat tog sistema, detaljno na oko hiljadu stranica (Frančula, 2003). Na taj način stvorena je pouzdana osnova za razvoj i kreiranje različitih civilnih i vojnih topografskih karata.

Budući da je ATKIS veliki i dugoročan projekat, bilo je važno odrediti kartografski model podataka za potrebe vojske, u skladu sa NATO standardima. Formiranje osnovne baze podataka o prostoru i njihova integracija u ATKIS, omogućava bržu izradu vojnih topografskih karata

razmere 1:50 000, razmere 1:250 000 i razmere 1:1 000 000. Izrada vojnih topografskih karata zahtevnija je od izrade civilnih, zbog detaljnijeg i specifičnog sadržaja koji se iscertava na njima.

Hrvatska

Slično razvoju ATKIS-a u Nemačkoj, u Hrvatskoj se razvija Službeni topografsko-kartografski informacijski sistem (STOKIS). Radi racionalizacije, modernizacije i postizanja interoperabilnosti, tj. zadovoljavanja standarda NATO u Hrvatskoj se prelazi na novi sistem topografskih karata, prema odluci Ministarstva odbrane. Izrada vojnih topografskih karata biće naglašena, pre svega, na kartama razmere 1:50 000, 1:250 000 i 1:1 000 000.

Ove karte se, u odnosu na nasleđeni kartografski sistem, razlikuju u matematičkoj osnovi (projekcija, elipsoid, način označavanja u pravougloj mreži, format prikaza, vanokvirni sadržaj i sistem razmere). Takođe, u geografski sadržaj unose se novi elementi i podaci, a radi čitljivosti i preglednosti izostavljaju neki drugi detalji, koji gube na važnosti. Pored integracionih razloga, na izmenu prikaza sadržaja utiču i nove tehnike i tehnologije pri izradi topografskih karata.

Potreba i ciljevi izrade novih vojnih topografskih karata

Imajući u vidu postojeći sistem topografskih i preglednotopografskih karata kod nas, može se reći da je zastareo i ne obezbeđuje poželjnu kompatibilnost sa kartografskim sistemima savremenog sveta. To se naročito odnosi na matema-

tičku osnovu topografskih karata koja predstavlja suštinsko pitanje. Takođe, sadašnji vojni topografsko-kartografski sistem je glomazan za održavanje u ažurnom stanju. Na slici 1 prikazane su kvantitativne odlike karata u postojećem i budućem stanju.

POSTOJEĆE STANJE		BUDUĆE STANJE	
RAZMERA	BROJ LISTOVA	RAZMERA	BROJ LISTOVA
1:25000	841	1:50000	238
1:50000	238		
1:100000	73		
1:200000	25	1:250000	18
1:300000	14		
UKUPNO	1191	UKUPNO	256

Sl. 1 – Promene u sistemu vojnih topografskih karata

Radi postizanja geodetsko-kartografske kompatibilnosti, odnosno prilagođavanja sadašnjeg topografsko-kartografskog sistema međunarodnim vojnim standardima i neposrednom okruženju, potrebno je primeniti nove tehničke norme. Zbog toga se, za matematičku osnovu topografskih karata, razmatraju:

- elipsoid (WGS84 – World Geodetic System 1984);
- kartografska projekcija (UTM – Universal Transverse Mercator);
- sistem razmera (1:50 000, 1:250 000, 1:1 000 000), i
- vanokvirni sadržaj (legenda).

U budućoj upotrebi i izradi topografskih karata predlaže se primena WGS84 elipsoida i UTM projekcije. Globalni elipsoid, odnosno WGS84, koji je postao međunarodno usvojen standard

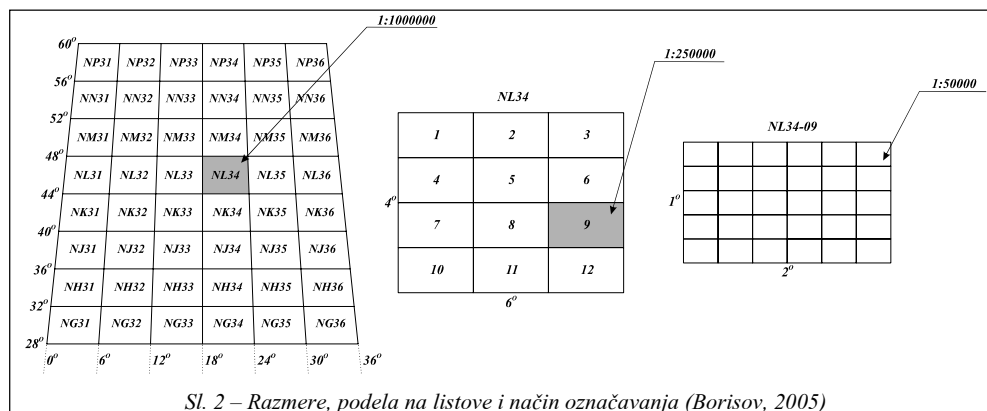
za navigaciju i uopšte pozicioniranje na Zemlji, izaziva veliku potrebu primene i kod nas. Projekcija UTM spada u kategoriju konformnih kartografskih projekcija, što znači da omogućava očuvanje sličnosti figura (jednakost uglova). Pri tom pravougli koordinatni sistemi UTM projekcije pokrivaju Zemljinu površ između 80° južne geografske širine i 84° severne geografske širine. Svaka meridijanska zona ima svoj samostalni sistem pravouglih koordinata u ravni sa početkom u preseku ekvatora i srednjim meridijanom te zone. Za prikaz područja državne teritorije SCG i delova susednih država važno je:

- apscisna osa je ekvator, a ordinatna osa srednji meridijan zone;
- širina zone iznosi 6° po geografskoj dužini, gde je 21° srednji meridijan zone (za teritoriju SCG);
- linearna razmera na srednjem meridijanu iznosi 0,9996, i
- konvergencija meridijana mora biti manja od 5° .

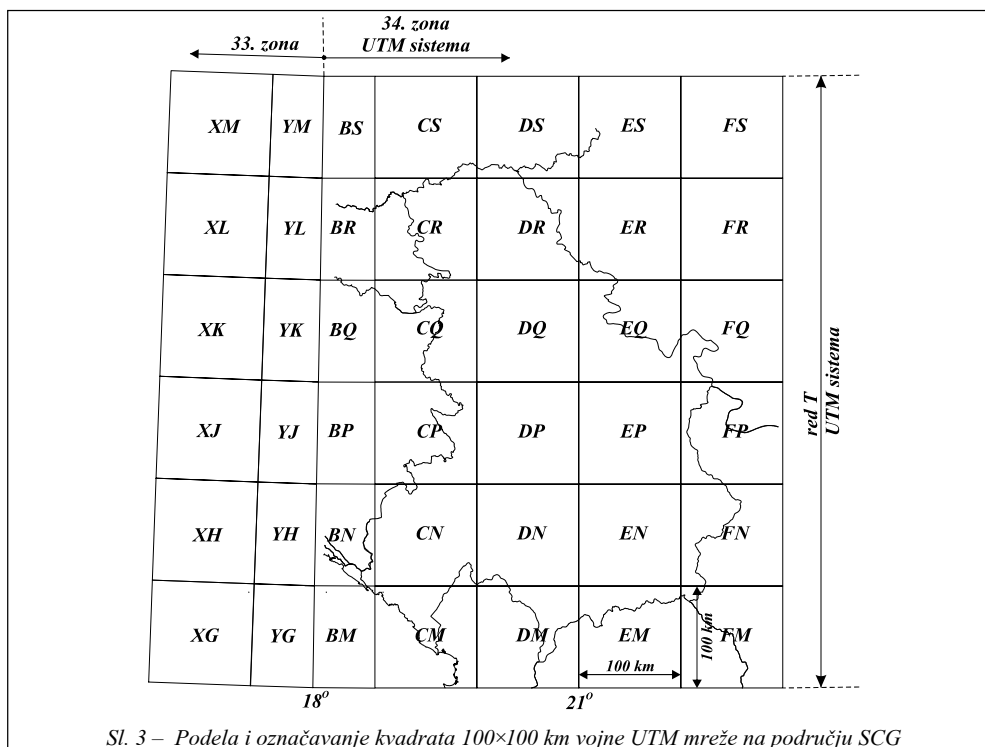
Podelom jednog lista Međunarodne karte sveta za razmeru 1:1 000 000 na tri kolone i četiri reda nastaje 12 listova u razmeri 1:250 000. Pojedini listovi ozna-

čavaju se brojevima od 1 do 12, po redovima, počevši od severozapadnog vrha u smeru istoka i juga. Označavanje listova karata 1:250 000 dopunjava se nazivom najznačajnijeg grada prikazanog na listu i nazivima država prikazanih na listu. Daljom podelom lista karte u razmeri 1:250 000 na pet redova i šest kolona nastaje 30 listova u razmeri 1:50 000. Format listova u razmeri 1:50 000 iznosi $20'$ po geografskoj dužini i $12'$ po geografskoj širini (slika 2).

Zbog jednoznačnosti identifikacije tačaka bilo gde na površi Zemlje prihvaćena je takozvana vojna pravouгла mreža UTM. Počevši od ekvatora u smeru severa i juga i od srednjeg meridijana na zapad i istok definisan je sistem kvadrata 100×100 km, čije su stranice u ravni projekcije paralelne sa projekcijom ekvatora i srednjeg meridijana pripadajuće zone. Sa sužavanjem meridijanskih zona u smeru polova zona sadrži određeni broj potpunih kvadrata (na našoj geografskoj širini samo 4), a ivični „kvadrati“ su nepotpuni. Na slici 3 prikazan je deo UTM zone koji obuhvata državnu teritoriju Srbije i Crne Gore, koju pokriva zona 34, koja se prostire između meridijana 18° i



Sl. 2 – Razmere, podela na listove i način označavanja (Borisov, 2005)



24° istočne geografske dužine, sa meridijanom 21° istočne geografske dužine, kao centralnim. Takođe, prikazani su podela i način označavanja kvadrata 100×100 km za područje naše zemlje.

Početak obeležavanja kvadrata poklapa se sa koordinatnim početkom svake UTM zone. Počevši od 180° geografske dužine, idući istočno duž ekvatora u intervalima po 18° , kolone kvadrata obeležene su slovima abecede od A do Z (slova I i O su izostavljena), a redovi se obeležavaju od juga prema severu, slovima A do Y (slova I i O su izostavljena). Svakih 200 km ponavlja se obeležavanje abecednim redom. U parno obeleženim zonama redovi počinju da se obeležavaju abecednim redom, počevši od apscisne linije sa vrednošću od 500 000 m i to od juga prema severu.

Takode, legenda na novim topografskim kartama treba da ima mnogo više sadržaja nego što je to bilo do sada. Proširuje se novim informacijama, kao i uputstvima za lakše snalaženje i očitavanje podataka. Tekst u vanokvirnom sadržaju, osim na srpskom (nacionalnom), treba da bude i na engleskom jeziku.

Zaključak

Sve države članice Partnerstva za mir, pre ulaska u NATO, prihvataju nove kartografske standarde i prema njima izrađuju vojne topografske karte koje obezbeđuju poželjnu interoperabilnost. Takav zadatak obično nastaje u prelomnim trenucima ili kada postoji određena serija vojnih karata, pa se posao može preusmeriti na nove topografske karte.

Zemlje u tranziciji nastoje da se u izradi vojnih topografskih karata približe znanjima i standardima razvijenih zemalja (SAD, Francuska, Nemačka). U Srbiji i Crnoj Gori ovaj proces nije ni započet. Za njegovu realizaciju potrebno je angažovanje većeg broja geodetsko-kartografskih potencijala, odnosno kadrovskih i materijalnih resursa. Izgradnja novog vojnog topografsko-kartografskog sistema je dugotrajan, ali neminovan proces, jer naša zemlja želi da se što pre priključi novom bezbednosnom sistemu.

Literatura:

- [1] Borisov, M.: Topografsko-kartografski sistem prema novim vojnim standardima, stručni rad, Vojnotehnički glasnik br. 3–4, 2005, Beograd.
- [2] STANAG 2211: Geodetic Datums, Projections, Grids and Grid References, North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, Edition 6, 2000.
- [3] STANAG 3600: Topographical Land Maps and Aeronautical Charts 1:250000 for Joint Operations, North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, Edition 3/1979, Amendment 9/2000.
- [4] Une Hiroshi: Toward the Next Stage of the Global Mapping Project – Successful Completion of Phase 1 with Release of Global Map Version 1.0, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. 47, Japan, pp. 13–21, 2001.
- [5] <http://www.nc3a.nato.int/symposia/accisamis/proceedings/s2gisml/giscrono.htm>
- [6] http://www.cartographic.com/topographic_maps.asp
- [7] Taylor, D. R.: The Microcomputer and Modern Cartography, Geographic Information Systems, Ottawa, Canada, 1991 pp. 1–20.

Sc Goran Prodanović,
kapetan
Vojnografski institut,
Beograd

MATEMATIČKA ANALIZA MAGNETSKOG POLJA ZEMLJE

UDC: 537.67

Rezime:

Poznavanje matematičkih transformacija kojima se može predstaviti intenzitet vektora magnetskog polja Zemlje ima veoma veliki značaj. Definisanjem koeficijenata transformacionih funkcija omogućava se predstavljanje raspodele vrednosti polja na određenom prostoru. U ovom radu govori se o magnetskom polju Zemlje, Gaussovoj metodi analize magnetskog polja Zemlje, kao i o upotrebi metode najmanjih kvadrata u rešavanju sistema jednačina normalnih vrednosti magnetskog polja Zemlje.

Ključne reči: magnetsko polje Zemlje, Gaussov metod analize magnetskog polja Zemlje, metoda najmanjih kvadrata.

MATHEMATICAL ANALYSIS OF GEOMAGNETIC FIELD

Summary:

Knowledge of mathematical transformation models that can present value of vector of geomagnetic field is very important. Defining coefficients of transformation functions provides presentation of disposition value of geomagnetic field on defined space. This article presents geomagnetic field, Gauss' method of analysis of geomagnetic field and using least square method to solve system of equations of normal values geomagnetic field.

Key words: Geomagnetic field, Gauss method of analysis of geomagnetic field, least square method.

Uvod

Radi proučavanja geomagnetskih fenomena i rešavanja brojnih zadataka iz oblasti geomagnetizma, veoma je važno naći analitički izraz koji izražava zavisnost magnetskog polja od koordinata tačaka na površini Zemlje. Radi nalaženja ovakvog izraza polazi se od pretpostavke da je Zemlja homogena namagnetisana sfera ili se, na osnovu merenih vrednosti elemenata magnetskog polja, dobijaju izrazi koji ukazuju na raspodelu magnetizacije unutar Zemlje, koja odgovara merenom polju.

Mereno polje na površini Zemlje može se predstaviti kao vektorska suma više različitih magnetskih polja [6]:

$$\vec{T} = \vec{T}_o + \vec{T}_m + \vec{T}_a + \vec{T}_{ex} + \delta\vec{T} \quad (1)$$

gde je:

T_o – polje homogeno namagnetisane Zemlje, koje se može predstaviti i kao polje dipolnog magneta čije se središte nalazi u centru Zemlje (dipolno polje),

T_m – polje izazvano nehomogenostima u dubljim delovima Zemlje (polje kontinentalna ili nedipolno polje),

T_a – polje izazvano magnetizacijama u gornjim delovima Zemljine kore (anomalijsko polje),

T_{ex} – polje koje je u uskoj vezi sa spoljnim fenomenima,

δT – polje varijacija.

Glavnim magnetskim poljem naziva se vektorska suma dipolnog i nedipolnog polja.

$$\vec{T} = \vec{T}_o + \vec{T}_m \quad (2)$$

Normalnim magnetskim poljem naziva se vektorski zbir dipolnog, nedipolnog i spoljnog polja:

$$\vec{T} = \vec{T}_o + \vec{T}_m + \vec{T}_{ex} \quad (3)$$

Kako je intenzitet spoljnog polja veoma mali u poređenju sa glavnim, ono se može zanemariti, te izraz dobija oblik:

$$\vec{T} = \vec{T}_o + \vec{T}_m \quad (4)$$

tako da se pri razmatranju glavno magnetsko polje može smatrati kao normalno i obrnuto.

Anomalijsko polje (T_a) moguće je predstaviti kao zbir polja izazvanog nehomogenostima u raspodeli magnetizacije u srednjim i dubljim delovima Zemljine kore (polje regionalnih anomalija) i polja izazvanog postojanjem magnetičkih stena rudnih ležišta i sl. koje se nalazi blizu Zemljine površine i čiji se uticaj manifestuje na relativno malim područjima (polje lokalnih anomalija).

Ako se zanemari polje varijacija, a imajući u vidu definiciju normalnog polja, merena vrednost magnetskog polja Zemlje može se prikazati kao vektorski zbir normalnog i anomalijaskog polja:

$$\vec{T} = \vec{T}_n + \vec{T}_a \quad (5)$$

Ako se, na osnovu magnetskih merenja, u određenom slučaju želi odrediti samo lokalna anomalija, onda se pod normalnim poljem mora podrazumevati vektorski zbir normalnog polja (T_n) i polja regionalne anomalije. Ako se želi odrediti nedipolno polje, onda se pod pojmom normalnog polja podrazumeva samo dipolno polje. Na osnovu navedenog, pod pojmom normalnog polja može se smatrati polje različitih struktura, u zavisnosti od toga kakav se deo anomalijaskog polja želi izdvojiti iz merenih vrednosti magnetskog polja Zemlje.

Gausov metod analize magnetskog polja Zemlje

Brojni problemi u geologiji, geodeziji, astronomiji i drugim prirodnim naukama zahtevali su razvoj različitih matematičkih modela i metoda za njihovo rešavanje. Proučavajući magnetsko polje Zemlje, Gaus je došao do izraza za normalne vrednosti magnetskog polja. Kako unutar Zemlje postoje različito raspoređene magnetizacije, nameće se potreba razvijanja složenih matematičkih metoda. Kao takva, Gausova metoda sferne harmonijske analize ima neprocenjiv značaj. U svojim proučavanjima magnetskog polja Zemlje, Gaus polazi od pretpostavke da je izvor polja unutar Zemlje i da takvo polje zadovoljava Laplasovu jednačinu [2]:

$$\vec{\nabla}^2 U = 0 \quad (6)$$

gde je U potencijal magnetskog polja.

Ako se usvoji da Zemlja ima namagnetisanje J , koje u bilo kojoj tački na Zemljinoj površini ima proizvoljnu veličinu i pravac (slika), tada se magnetski potencijal U predstavlja kao zapreminski i izražava u obliku reda:

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{1}{r^{n+1}} [a_n^m \cos m\lambda + b_n^m \sin m\lambda] p_n^m \cos \Theta \quad (7)$$

Pri $n = 0$ magnetski potencijal je $U = \frac{1}{r} \int_V dm$ i predstavlja sumu svih elementarnih magnetskih masa koja je u svakom telu jednaka nuli. Zato red (7) dobija oblik:

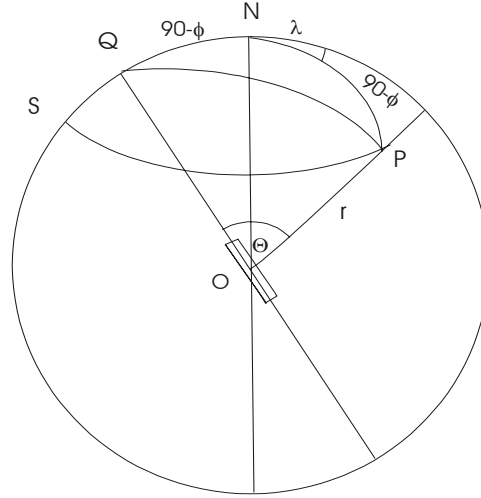
$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{r^{n+1}} \sum_{m=0}^n [a_n^m \cos m\lambda + b_n^m \sin m\lambda] p_n^m \cos \Theta \quad (8)$$

Ako se početak koordinatnog sistema (slika) prenese u centar i uvedu oznake $a_n^m = R^{n+2} g_n^m$, $b_n^m = R^{n+2} h_n^m$, gde je R radijus sfere, dobija se:

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n [g_n^m \cos(m\lambda + h_n^m \sin m\lambda)] p_n^m \cos \Theta \quad (9)$$

Za tačku koja se nalazi na površini sfere $r = R$ potencijal će biti:

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] p_n^m \cos \Theta \quad (10)$$



Gausova analiza magnetskog polja Zemlje

Magnetski potencijal koji se stvara na površini sfere, izazvan magnetskim masama koje su raspoređene unutar sfere, izražava se u obliku dvostruke sume sa beskonačnim brojem komponenti. Svaka komponenta predstavlja sfernu funkciju:

$$P_n^m (\cos \Theta)_{\sin m}^{\cos m} \text{ od } \Theta, \lambda \quad (11)$$

sa konstantnim koeficijentima g_n^m, h_n^m dok su Θ kolatituda i λ longituda uglove koordinate tačke na sferi.

Broj članova tipa g_n^m, h_n^m može biti beskonačan, uz uslov da je m manje od n i da za $m = 0$, svi članovi reda tipa h postaju jednaki 0. Tada broj članova N tipa g_n^m, h_n^m može da se izrazi relacijom:

$$N = n(n + 2) \quad (12)$$

Ako se izvrši diferenciranje izraza (9) po osama koordinatnog sistema, čija je x osa orijentisana u ravni geografskog

meridijana, z osa u pravcu vertikale, a y osa upravna na njih, dobiće se severna X, vertikalna Z i istočna Y komponenta, a preko njih i svi drugi elementi magnet-skog polja Zemlje:

$$\begin{aligned} X &= -\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \Theta} = -\sum_{n=1}^{\infty} \\ &\sum_{m=0}^n [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] \frac{d(p_n^m \cos \Theta)}{d\Theta} \\ Y &= \frac{1}{r \sin \Theta} \frac{\partial U}{\partial \lambda} = -\sum_{n=1}^{\infty} \\ &\sum_{m=0}^n [mg_n^m \cos m\lambda - mh_n^m \sin m\lambda] \\ &\frac{p_n^m \cos \Theta}{\sin \Theta} \\ Z &= \frac{\partial U}{\partial r} = -\sum_{n=1}^{\infty} \\ &\sum_{m=0}^n [(n+1)g_n^m \cos m\lambda + (n+1)h_n^m \sin m\lambda] p_n^m \cos \Theta \end{aligned} \quad (13)$$

Rešenjem sistema jednačina (13) normalno magnetsko polje jedne izabrane teritorije može se predstaviti izrazom [6]:

$$\begin{aligned} E(\Delta\varphi, \Delta\lambda) &= a_1 + a_2\Delta\varphi + a_3\Delta\lambda + a_4\Delta\varphi^2 + \\ &+ a_5\Delta\lambda^2 + a_6\Delta\varphi\Delta\lambda \end{aligned} \quad (14)$$

gde je:

$E(\Delta\varphi, \Delta\lambda)$ – vrednost normalnog magnetskog polja na tački čije su geografske koordinate,

φ_1 i λ_1 – geografska dužina i širina mesta, φ_0 i λ_0 – geografska dužina i širina tačke u odnosu na koju se svode merenja,

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$ – razlika geografskih širina,

$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0$ – razlika geografskih dužina,

a_i – koeficijenti.

Uobičajeno je da se razlike geografskih širina i dužina računaju u odnosu na koordinate geomagnetske opservatorije

koja se nalazi u sredini teritorije za koju se računaju koeficijenti a_i normalnog polja. Međutim, ukoliko se analizira lokalno područje, onda se za nultu tačku mogu uzeti koordinate jedne od središnjih tačaka na kojoj je obavljeno merenje.

Na osnovu izraza (14) za svaku tačku se obrazuje jednačina, a rešavanjem dobijenog sistema jednačina metodom najmanjih kvadrata dobijaju se normalne vrednosti magnetskog polja.

Metoda najmanjih kvadrata

Jedna od najčešće primenjivanih metoda u geologiji, geodeziji, astronomiji i drugim prirodnim naukama jeste metoda najmanjih kvadrata ili metoda najmanje sume kvadrata. Vođene su bes-krajne polemike da li je ovu metodu prvi primenio Gaus ili Ležandr.

Neka je izvršeno niz nezavisnih merenja $l_1, l_2, \dots, l_n$. Verovatnoće da će se u tim merenjima pojaviti greške $v_1, v_2, \dots, v_n$ izražavaju se izrazima [3]:

$$\begin{aligned} P(v_1) &= \frac{h_1}{\sqrt{\pi}} e^{-h_1^2 v_1^2} dv_1 \\ P(v_2) &= \frac{h_2}{\sqrt{\pi}} e^{-h_2^2 v_2^2} dv_2 \end{aligned} \quad (15)$$

$$P(v_n) = \frac{h_n}{\sqrt{\pi}} e^{-h_n^2 v_n^2} dv_n$$

gde je h veličina proporcionalna težini merenja p . Kako su ova merenja nezavisna, verovatnoća P da će se u datom nizu pojaviti baš greška $v_1, v_2, \dots, v_n$ glasi:

$$P(v_1, v_2, \dots, v_n) = P(v_1) P(v_2) \dots P(v_n) \quad (16)$$

Ako se izraz (15) uvrsti u izraz (16) dobija se:

$$P(v_1, v_2, \dots, v_n) = \frac{h_1 h_2 \dots h_n}{\sqrt{\pi}} e^{-h_1^2 v_1^2} e^{-h_2^2 v_2^2} \dots e^{-h_n^2 v_n^2} \quad (17)$$

Da bi ova verovatnoća bila maksimalna, odnosno da bi $L_1, L_2, \dots, L_n$ bile najverovatnije vrednosti, treba da bude:

$$\frac{h_1 h_2 \dots h_n}{\sqrt{\pi}} e^{-(h_1^2 v_1^2 + h_2^2 v_2^2 + \dots + h_n^2 v_n^2)} = \max \quad (18)$$

Da bi ovaj izraz bio maksimalan dovoljno je da bude:

$$h_1^2 v_1^2 + h_2^2 v_2^2 + \dots + h_n^2 v_n^2 = \min \quad (19)$$

Veličina h je karakteristika svakog merenja ponaosob i proporcionalna je težini tog merenja p , pa se može pisati:

$$p_1^2 v_1^2 + p_2^2 v_2^2 + \dots + p_n^2 v_n^2 = \sum p v^2 = \min \quad (20)$$

gde su $p_1, p_2, \dots, p_n$ težine merenja $l_1, l_2, \dots, l_n$. Ako su merenja istih težina tj. $p_1 = p_2 = \dots = p_n$, onda će maksimalnu verovatnoću imati ona vrednost L za koju odstupanja:

$$\begin{aligned} v_1 &= L_1 - l_1 \\ v_2 &= L_2 - l_2 \end{aligned} \quad (21)$$

$$v_1 = L_1 - l_1$$

zadovoljavaju uslov:

$$v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \sum v^2 = \min \quad (22)$$

Ova metoda se bez teškoća može primenjivati kada su jednačine date u linearnom obliku, a ukoliko nisu treba ih svesti na linearni oblik, što je moguće ako je poznata bar približna vrednost nepoznatih veličina.

Ako postoje merenja $l_1, l_2, \dots, l_n$, neka su $L_1, L_2, \dots, L_n$ njihove najverovatnije vrednosti, a $v_1, v_2, \dots, v_n$ odstupanja. Najverovatnije vrednosti mogu se izraziti sledećim jednačinama [3]:

$$\begin{aligned} L_1 &= F_1(x, y, \dots, u) = l_1 + v_1 \\ L_2 &= F_2(x, y, \dots, u) = l_2 + v_2 \\ \dots & \\ L_n &= F_n(x, y, \dots, u) = l_n + v_n \end{aligned} \quad (23)$$

Ako se za promenljive uzmu približne vrednosti dobijene na ma koji način, ali koje su bliske vrednostima $x_0, y_0, \dots, u_0$ biće:

$$L_i = F_i(x_0 + dx, y_0 + dy, \dots, u_0 + du) \quad (24)$$

Razvojem u red, zanemarujući stepene višeg reda od prvog, dobiće se:

$$\begin{aligned} L_i &= F_{oi}(x_0, y_0, \dots, u_0) + \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_0 dx + \\ &+ \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_0 dy + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial u} \right)_0 du \end{aligned} \quad (25)$$

Ako se prethodni izraz uvrsti u jednačinu (23) i zameni $F_{oi} - l_i = f_i$; $\left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_0 = a_i$;

$\left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_0 = b_i$; $\dots$ $\left(\frac{\partial F}{\partial u} \right)_0 = c_i$, a za $dx, dy, \dots, du$ se stavi da su jednaki $x, y, \dots, u$, dobiće se jednačine odstupanja u linearnom obliku:

$$\begin{aligned} v_1 &= a_1 x + b_1 y + \dots + c_1 u + f_1 \\ v_2 &= a_2 x + b_2 y + \dots + c_2 u + f_2 \\ \dots & \\ v_n &= a_n x + b_n y + \dots + c_n u + f_n \end{aligned} \quad (26)$$

gde su najverovatnije vrednosti odstupanja koje figurišu u uslovu $\sum v^2 = \min$.

Da bi se iz jednačina odstupanja izračunali $x, y, \dots, u$, potrebno je date jednačine svesti na sistem od n linearnih jednačina sa n nepoznatih. Uobičajeno je da se taj sistem linearnih jednačina zove normalne jednačine. Iz jednačina (26) suma kvadrata odstupanja $\sum v^2$ biće [3]:

$$\sum v^2 = (a_1x + b_1y + \dots + c_1u + f_1)^2 + (a_2x + b_2y + \dots + c_2u + f_2)^2 + \dots + (a_nx + b_ny + \dots + c_nu + f_n)^2 \quad (27)$$

Prethodna funkcija od n nepoznatih imaće minimum kada svi parcijalni izvodi po nepoznatim budu jednaki nuli, što znači da će biti onoliko jednačina koliko i nepoznatih:

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial y} = 0 \quad (28)$$

$$\dots \dots \dots \frac{\partial \sum v^2}{\partial u} = 0$$

Kako su jednačine odstupanja linearne, to će i jednačine (28) biti linearne:

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial x} = 2a_1(a_1x + b_1y + \dots + c_1u + f_1) + 2a_2(a_2x + b_2y + \dots + c_2u + f_2) + \dots + 2a_n(a_nx + b_ny + \dots + c_nu + f_n) \quad (29)$$

Parcijalnim izvođenjem po $x, y, \dots, u$, dobija se:

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial x} = 2x(a_1a_1 + a_2a_2 + \dots + a_na_n) + 2y(a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n) + \dots + 2u(a_1c_1 + a_2c_2 + \dots + a_nc_n) + 2(a_1f_1 + a_2f_2 + \dots + a_nf_n) \quad (30)$$

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial y} = 2x(b_1a_1 + b_2a_2 + \dots + b_na_n) + 2y(b_1b_1 + b_2b_2 + \dots + b_nb_n) + \dots + 2u(b_1c_1 + b_2c_2 + \dots + b_nc_n) + 2(b_1f_1 + b_2f_2 + \dots + b_nf_n) \quad (31)$$

$$\frac{\partial \sum v^2}{\partial u} = 2x(c_1a_1 + c_2a_2 + \dots + c_na_n) + 2y(c_1b_1 + c_2b_2 + \dots + c_nb_n) + \dots + 2u(c_1c_1 + c_2c_2 + \dots + c_nc_n) + 2(c_1f_1 + c_2f_2 + \dots + c_nf_n) \quad (32)$$

Prethodni izrazi pišu se u sledećem obliku:

$$\begin{aligned} a_1a_1 + a_2a_2 + \dots + a_na_n &= [aa] = \sum [aa] \\ a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n &= [ab] = \sum [ab] \\ \dots \dots \dots \\ a_1c_1 + a_2c_2 + \dots + a_nc_n &= [ac] = \sum [ac] \end{aligned} \quad (33)$$

Ako se gornji izraz zameni u jednačini (28) može se napisati:

$$\begin{aligned} [aa]x + [ab]y + \dots + [ac]u + [af] &= 0 \\ [ab]x + [bb]y + \dots + [bc]u + [bf] &= 0 \\ \dots \dots \dots \\ [ac]x + [bc]y + \dots + [cc]u + [cf] &= 0 \end{aligned} \quad (34)$$

što predstavlja izraz za normalne jednačine.

Dalji postupak svodi se na računanje nepoznatih veličina Gausovom metodom eliminacije, pomoću determinanti i dr.

Navedeni postupci računanja nepoznatih veličina su komplikovani, zahtevaju mnogo vremena, pa je danas široko rasprostranjen matrični postupak koji uprošćava proces računanja i prilagodljiv je računarskoj tehnici.

Jednačine odstupanja (26) mogu se predstaviti u matričnom obliku na sledeći način [1]:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \dots & c_1 \\ a_2 & b_2 & \dots & c_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n & b_n & \dots & c_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \vdots \\ u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (35)$$

ili kraće,

$$v = Ax + f \quad (36)$$

gde je:

A – matrica koeficijenata jednačina odstupanja,

x – vektor traženih vrednosti,

f – vektor slobodnih članova,

v – vektor popravaka.

Kako je uslov najmanjih kvadrata $\sum pvv = \min = \sum pv^2 = \min$, to će u matričnom obliku glasiti:

$$v'pv = \min \quad (37)$$

gde je p matrica težina:

$$p = \begin{bmatrix} p_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_n \end{bmatrix}$$

Diferenciranjem izraza (37) i izjednačavanjem sa nulom dobija se:

$$dv'pv + v'p dv = 0 \quad (38)$$

ili kada se transponuje prvi član:

$$v'p dv + v'p dv = 0 \quad (39)$$

odnosno:

$$v'p dv = 0 \quad (40)$$

Diferenciranjem jednačine (36) dobija se:

$$dv = A dx \quad (41)$$

i ako se ovaj izraz uvrsti u jednačinu (40) može se pisati:

$$v'pA dx = 0$$

odnosno:

$$v'pA = 0 \quad (42)$$

ili transponovano:

$$A'vp = 0 \quad (43)$$

kada se izraz (26) uvrsti u prethodni dobiće se normalna jednačina u matričnom obliku:

$$A'p(Ax + f) = 0 \quad (44)$$

odnosno:

$$A'pAx + A'pf = 0$$

ili kraće:

$$Nx + n = 0 \quad (45)$$

gde je:

$N = A'pA$ – matrica koeficijenata normalnih jednačina,

$n = A'pf$ – vektor slobodnih članova normalnih jednačina.

Iz jednačine (45) može se odrediti vektor traženih veličina po sledećoj formuli:

$$x = -N^{-1}n \quad (46)$$

Kada se izračunaju tražene veličine, može se pristupiti određivanju popravaka v po izrazu (36).

Kontrola računanja izvodi se po sledećoj formuli:

$$v'v = f'f + n'x \quad (47)$$

Numerički primer

Treba izračunati normalne vrednosti deklinacija na tačkama sa poznatim geografskim koordinatama i magnetskom deklinacijom.

Koordinate tačke u odnosu na koju se svode vrednosti deklinacija su:

$$\varphi = 44^\circ 39' 04'' \quad \lambda = 20^\circ 44' 03''$$

Tabela 1
Koordinate tačaka sa vrednostima magnetske deklinacije

Tačka	λ	φ	D
1.	20° 06' 20"	44° 57' 38"	02° 15' 30"
2.	20° 11' 43"	45° 03' 06"	02° 09' 24"
3.	20° 09' 37"	44° 55' 26"	02° 15' 12"
4.	20° 14' 55"	45° 01' 04"	02° 15' 06"
5.	20° 14' 24"	44° 57' 06"	02° 28' 18"
6.	20° 16' 47"	44° 55' 40"	02° 28' 36"
7.	20° 14' 21"	44° 52' 45"	02° 22' 18"
8.	20° 20' 03"	44° 58' 21"	02° 14' 36"
9.	20° 17' 30"	44° 51' 29"	02° 31' 06"
10.	20° 24' 11"	44° 55' 37"	02° 21' 18"

Merenja su istih težina $p_1 = p_2 = \dots = p_n = 1$.

Na osnovu podataka iz tabele jednačine popravaka imaju sledeći oblik:

$$V_1 = a_1 + 0,3094a_2 - 0,6286a_3 + 0,0958a_4 + 0,3952a_5 - 0,2477a_6 + (-2,2583)$$

$$V_2 = a_1 + 0,4006a_2 - 0,5389a_3 + 0,1604a_4 + 0,2904a_5 - 0,2159a_6 + (-2,1567)$$

$$V_3 = a_1 + 0,2723a_2 - 0,5739a_3 + 0,0744a_4 + 0,3293a_5 - 0,1563a_6 + (-2,2533)$$

$$V_4 = a_1 + 0,3667a_2 - 0,4856a_3 + 0,1344a_4 + 0,2358a_5 - 0,1781a_6 + (-2,2517)$$

$$V_5 = a_1 + 0,3006a_2 - 0,4942a_3 + 0,0903a_4 + 0,2442a_5 - 0,1486a_6 + (-2,4170)$$

$$V_6 = a_1 + 0,2767a_2 - 0,4544a_3 + 0,0765a_4 + 0,2065a_5 - 0,1257a_6 + (-2,4767)$$

$$V_7 = a_1 + 0,2281a_2 - 0,4950a_3 + 0,0520a_4 + 0,2450a_5 - 0,1129a_6 + (-2,3717)$$

$$V_8 = a_1 + 0,4214a_2 - 0,4000a_3 + 0,1033a_4 + 0,1600a_5 - 0,1286a_6 + (-2,2433)$$

$$V_9 = a_1 + 0,2069a_2 - 0,4425a_3 + 0,0428a_4 + 0,1958a_5 - 0,0916a_6 + (-2,5183)$$

$$V_{10} = a_1 + 0,2758a_2 - 0,3311a_3 + 0,0761a_4 + 0,1096a_5 - 0,0913a_6 + (-2,3550)$$

(48)

Na osnovu jednačina popravaka dobija se matrica A čiji su elementi konstante koje se nalaze ispred traženih veličina $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$. Elementi matrice traženih veličina x su:

$$x = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,3808 \\ -0,8327 \\ -6,2225 \\ -3,8074 \\ -8,2963 \\ -3,5589 \end{bmatrix} \quad (49)$$

Normalne vrednosti geomagnetske deklinacije na navedenim tačkama prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2
Normalne vrednosti geomagnetske deklinacije

Tačka	D	Tačka	D
1.	02° 16' 22"	6.	02° 25' 15"
2.	02° 08' 57"	7.	02° 26' 32"
3.	02° 15' 59"	8.	02° 20' 21"
4.	02° 15' 47"	9.	02° 30' 03"
5.	02° 21' 53"	10.	02° 20' 15"

Zaključak

Matematička analiza magnetskog polja izvodi se na osnovu postojećih rezultata merenja elemenata i komponenti magnetskog polja Zemlje. Da bi se koristio Gausov metod analize, potrebno je, pored merenih veličina, izvršiti i računanja razlika geografskih širina i dužina.

Ukoliko se želi analizirati polje regionalne anomalije, onda se razlike geografskih širina i dužina računaju u odnosu na geomagnetsku opservatoriju koja se nalazi u središtu teritorije ili ako se vrši analiza polja lokalne anomalije, razlike geografskih širina i dužina računaju se u odnosu na neku od središnjih tačaka.

Formiranjem sistema jednačina, na osnovu izraza za normalne vrednosti magnetskog polja Zemlje, dobija se polazna osnova za primenu metoda najmanjih kvadrata. Matričnom interpretacijom ovog metoda i primenom modela računanja, u geodeziji poznatog kao posredno izravnjanje, na vrlo efikasan način dolazi se do traženih vrednosti, odnosno do vrednosti normalnog ili anomalijskog dela magnetskog polja Zemlje.

Literatura:

- [1] Mihailović, K.: Geodezija 2, Građevinska knjiga, Beograd, 1974.
- [2] Mihajlović, S.: Spektralna analiza varijacija i magnetskih bura na geomagnetskoj opservatoriji Grocka, magistarski rad, Beograd, 1998.
- [3] Muminagić, A.: Račun izravnjanja, Beograd, 1965.
- [4] Prodanović, G.: Značaj magnetske deklinacije za orijentaciju ljudi i sredstava, specijalistički rad, Beograd, 1998.
- [5] Starčević, M., Đorđević, A.: Geološki atlas Srbije, Beograd, 1996.
- [6] Stefanović, D.: Geomagnetske metode istraživanja, Beograd, 1978.

Snežana Jovanović,
dipl. inž.
Duško Pijevčević,
poručnik, dipl. inž.
Tehnički opitni centar,
Beograd

POREĐENJE ODZIVA PIEZOELEKTRIČNIH I INDUKTIVNIH DAVAČA UBRZANJA NA MEHANIČKE UDARE I POSTPROCESNO DOBIJANJE POMERANJA

UDC: 531.113 : 531.353

Rezime:

U ovom radu razmatrano je merenje ubrzanja nastalih usled mehaničkih udara i postprocesno izračunavanje pomaka. Rezultati i zapažanja iz realnih opita eksperimentalno su provereni na etalonskim mašinama za vibracije i potrese. Na osnovu upoređenja zaključeno je da je za merenje ubrzanja (na konstrukciji borbenog vozila) usled mehaničkih udara bolje koristiti induktivne davače i da izračunavanje pomaka iz izrazito aperiodičnih signala ubrzanja nije relevantno.

Ključne reči: merenja, mehanički udari, ubrzanje, pomeranje.

THE COMPARISON OF THE RESPONSE OF PIEZOELECTRIC AND INDUCTIVE ACCELERATION GAUGES ON MECHANICAL IMPACTS AND THE POSTPROCESUAL OBTAINING OF DISPLACEMENT

Summary:

This paper presents measuring the acceleration of mechanical impacts and the postprocesual calculating of displacement. The results and observations of the tests have been evaluated on machines for vibrations and quakes. The following conclusions were drawn out of comparisons: it is better to use inductive transducers for the acceleration measurement of combat vehicles chassis because of mechanical impacts; the displacement calculation from high aperiodical acceleration signals is not relevant.

Key words: measurements, mechanical impacts, acceleration, displacement.

Uvod

Pri merenju mehaničkih veličina uobičajeno je da se vibracije do 1000 Hz (oscilacije) mere induktivnim davačima ubrzanja u kojima pomeranje inercijalne mase tega menja magnetnu permeabilnost. Osim merenja pojava niskih učestanosti, njihova prednost, ili mana, jeste što mere ubrzanja i pri zakretanju mernog objekta. Uopšte, za merenje vibracija u širem opsegu učestanosti piezoelektrični davači su neophodni.

Deo konstruktorskih ispitivanja prototipa jednog sredstva naoružanja odno-

sio se na proveru odgovarajućih proračuna elastičnih karakteristika konstrukcije nadgrađenog vozila. Istovremeno, vršena su merenja preko dvadeset mehaničkih veličina modularnim „inteligentnim“ mernim sistemom MGCplus (HBM) podržanim namenskim mernim softverom – CATMAN. Budući da su za konstrukcijske proračune veoma važna pomeranja teleskopskih krakova noseće konstrukcije pri ispaljenju projektila, veliki deo merenih veličina bila su ubrzanja iz kojih je postprocesno, dvostrukom integracijom, trebalo dobiti odgovarajuća pomeranja. Namenski induktivni davači pomeranja

nisu, zbog svojih dimenzija i oblika, mogli da se upotrebe, a snimanje brzim TV sistemom obuhvatalo je samo platformu. Pošto je u pitanju „skup eksperiment“ (ispaljivanje projektila) – mehanički udar velike amplitude i kratkog trajanja, radi uspešnosti merenja i upoređenja izmerenih vrednosti maksimalnih amplituda, na nekoliko istih mernih mesta ubrzanje se merilo istovremeno induktivnim (HBM B12/500, B12/200) i piezoelektričnim (B&K 4731) davačima.

Zahtevana brzina merenja, granična frekvencija, kao i način pričvršćenja za metalnu konstrukciju bili su identični za sve davače.

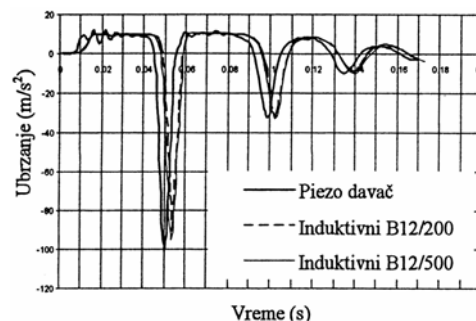
Istovremeno merenje ubrzanja induktivnim i piezoelektričnim davačima

U toku realnih opita, pod istovetnim uslovima merenja u realnom vremenu i sa pravilno urađenom kalibracijom, maksimalne amplitude ubrzanja mehaničkih udara izmerene piezoelektričnim davačima bile su veće od istih izmerenih induktivnim davačima.

Razlika maksimalnih amplituda aperioidičnih signala snimljenih induktivnim i piezoelektričnim davačima, zahtevala je (pre odluke o validnom rezultatu) da se merenja ubrzanja sa istom kombinacijom davača iz realnih opita urade u laboratorijskim uslovima.

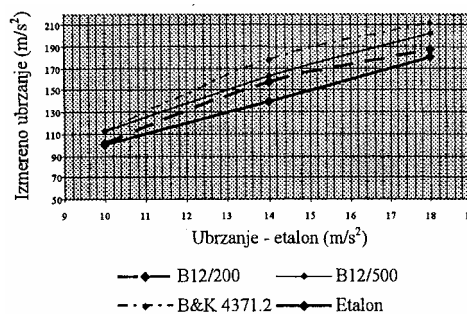
Ubrzanja su, istovremeno, merena sa induktivnim HBM B12/200 (čija je radna frekvencija do 100 Hz, a maksimalno ubrzanje do 200 m/s^2) i B12/500 (čija je r. f. do 200 Hz, a maks. ubrzanje do 1000 m/s^2) davačima i piezoelektrič-

nim davačem B&K 4731 (čija je r. f. do 60 kHz, a maks. ubrzanje do 1000 km/s^2). Prvi deo laboratorijskih merenja odnosio se na merenje ubrzanja mehaničkih udara generisanih na mašini za mehaničke udare i potrese. Uporedni odzivi na „veštački“ mehanički udar amplitude od 100 m/s^2 prikazani su na slici 1.



Sl. 1 – Odzivi davača ubrzanja na etalonski mehanički udar od 100 m/s^2

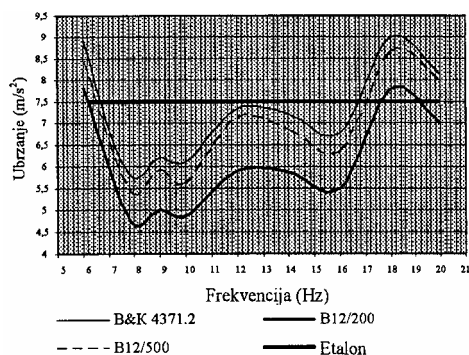
Razlika izmerenih maksimalnih vrednosti ubrzanja za zadate amplitude mehaničkih udara od 100, 140 i 180 m/s^2 prikazana je na slici 2.



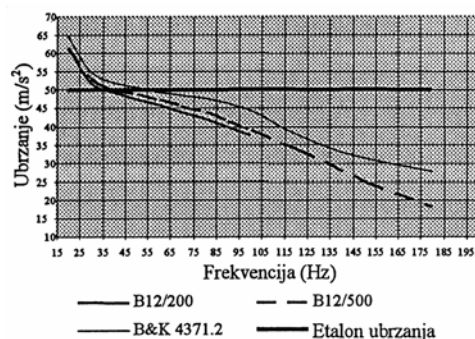
Sl. 2 – Razlika izmerenih maksimalnih amplituda za zadate mehaničke udare

Za mehaničke udare zadatih vrednosti piezo-električni davači registruju velike pikove i prvi reaguju, ali najpribližniju vrednost zadatoj amplitudi daje najinertniji davač B12/200.

Drugi deo laboratorijskih merenja odnosio se na merenje konstantnih vertikalnih ubrzanja, npr. $7,5 \text{ m/s}^2$ za (5 do 20) Hz i 50 m/s^2 za (20 do 100 do 180) Hz generisanih vibracionim uređajem. Uporedne karakteristike davača prikazane su na slikama 3 i 4.



Sl. 3 – Uporedne karakteristike davača za konstantno vertikalno ubrzanje od $7,5 \text{ m/s}^2$



Sl. 4 – Uporedne karakteristike davača za konstantno vertikalno ubrzanje od 50 m/s^2

Sa slika 3 i 4 vidi se da piezoelektrični davač najbolje prati zadato konstantno ubrzanje, a posle njega B12/500, iako se radi o minimumu mernog opsega za razliku od davača B12/200 kome je to normalni radni opseg.

Ovo zapažanje je kontradiktorno onom iz prvog merenja, što upućuje na to

da za merenje konstantnih ubrzanja više odgovaraju piezoelektrični, a za merenje ubrzanja mehaničkih udara induktivni davači.

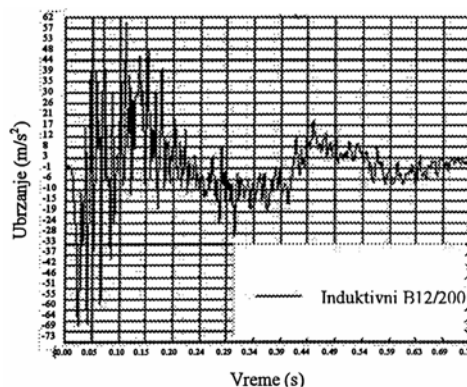
Postprocesno izračunavanje pomaka iz izmerenih ubrzanja

Nakon snimljenih aperiodičnih signala ubrzanja konstrukcijskih delova (teleskopskih krakova i platforme), kao na slici 5, u postprocesnoj analizi CATMAN-a, prvim integraljenjem signala ubrzanja dobijena je vremenski pomerena brzina, koja približno zadržava oblik ubrzanja.

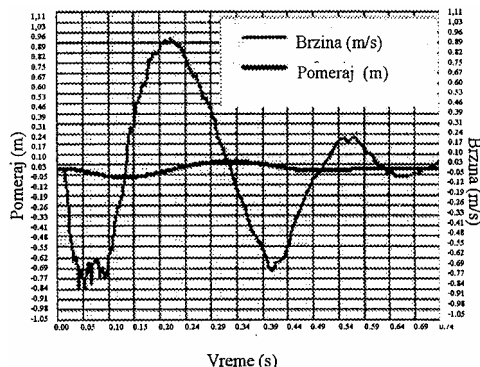
Integraljenjem signala brzine dobijen je signal pomeranja (slika 6), koji je vremenski pomen u odnosu na signal ubrzanja.

Kod većine snimljenih aperiodičnih signala ubrzanja, pri realnim opitima, matematički dobijen signal pomeranja nema očekivani oblik i ne završava se u nuli nakon prestanka pojave.

Signal ubrzanja sa slike 5, u odnosu na druge snimljene signale ubrzanja iz realnih opita, ima duže trajanje i manju amplitudu, zbog čega matematički dobijeno pomeranje ima očekivane vrednosti.



Sl. 5 – Signal ubrzanja dobijen pri realnom opitu



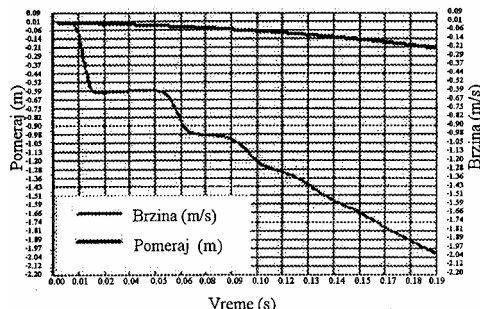
Sl. 6 – Brzina i pomeraj matematički dobijeni iz ubrzanja pri realnom opitu

Radi provere rezultata pomeranja, dobijenih iz realnih opita, urađeno je pomeranje iz ubrzanja „veštačkih“ mehaničkih udara zadatih amplituda (100 m/s^2 , 140 m/s^2 i 180 m/s^2).

Na slici 7 prikazani su brzina i pomeranje, dobijeni postprocesnim integraljenjem signala sa slike 1.

Dobijen je diskutabilan pomak, kao i za većinu realnih opita, iako je uvek prethodno na svim signalima ubrzanja isfiltrirana jednosmerna komponenta (koja utiče na nagib krive brzine i pomaka).

Analizom snimljenih signala ubrzanja i postprocesnom obradom dobijenih signala brzine i pomeranja može se zaključiti da se za izrazito aperiodične signale ubrzanja malog trajanja i velike am-



Sl. 7 – Brzina i pomeraj iz ubrzanja „veštačkog“ mehaničkog udara amplitude 100 m/s^2 (sa slike 1)

plitude ne može uvek dobiti realan pomak. Postoji granična vrednost odnosa amplituda – trajanje kod koje dobijeni rezultati pomeranja u vremenu imaju smisla. Za mehaničke udare amplituda većih od 100 m/s^2 , a trajanja manjih od 500 ms , nepouzđano je postprocesno matematičko određivanje krive pomeranja.

Tako, na primer, za „veštački“ udar od 100 m/s^2 , trajanja 170 ms (slika 1), izračunate vrednosti brzine i pomeranja nemaju smisla (slika 7), dok se pri udaru, čije ubrzanje dostiže maksimalnu amplitudu 70 m/s^2 i trajanje do 700 ms (slika 5), dobijaju očekivani rezultati pomeranja dela konstrukcije vozila (slika 6).

Zaključak

Rezultati merenja maksimalne amplitude ubrzanja mehaničkih udara pri ispaljenju projektila, dobijeni merenjem induktivnim davačima na delovima konstrukcije, više odgovaraju realnim očekivanjima izdržljivosti same konstrukcije.

Dijagrami pomeranja, dobijeni matematički, postprocesnom obradom izrazito aperiodičnih signala ubrzanja mehaničkih udara pri opaljenju ne odgovaraju realnim vrednostima i obliku.

Induktivni davači su inertniji od piezoelektričnih, ne prate veoma brze pojave velikih amplituda, registruju bočna ubrzanja, tj. nisu strogo zahtevni za merenje u pravcu pojave, a izvršiocu daju veću sigurnost u tačnost rezultata merenja, jer se gravitaciona kalibracija od 0 m/s^2 do 20 m/s^2 unosi neposredno pre početka merenja.

Piezoelektrični davači registruju veoma brze pojave, ali samo ako je davač pravilno postavljen u pravcu pojave, či-

me je njihova upotreba ograničena, naročito kod višeosnih vibracija koje nastaju kod vozila pri kretanju. Za ovakva merenja potrebno je koristiti troosne piezoelektrične davače ubrzanja.

Literatura:

- [1] Harris, C. M.: Shock and vibration handbook, McGraw Hill, New York 1976.
- [2] Brüel & Kjaer: Mechanical vibration and shock measurements, october 1980.
- [3] HBM, Operating manual – B12.
- [4] Popović, M.: Senzori i merenja, VETŠ Beograd, 1994.