

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

ISSN: 0042-8469

UDC: 623 + 355/359

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Pukovnik
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

UREĐIVAČKI ODBOR

Pukovnik
dr DANKO JOVANOVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

Profesor
dr BRANKO KOVAČEVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr SLOBODAN JARAMAZ, dipl. inž.

Profesor
dr LAZAR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
profesor dr VASILJE MIŠKOVIĆ, dipl. inž.

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

Pukovnik
vanredni profesor dr LJUBIŠA TANČIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
LJUBOMIR SAMARDŽIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr BRANISLAV JAKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr JUGOSLAV RADULOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr ZORAN FILIPOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGOSLAV UGARAK, dipl. inž.

Pukovnik
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.

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

* * *

Odgovorni urednik

Potpukovnik
mr Nebojša Gačeša, dipl. inž.
(tel. 2681-565, 23-504)

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 3201-493, vojni 23-493)

Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53

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

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

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

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K



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

2

SADRŽAJ

Docent dr Ljubiša Vasov, dipl. inž.	OCENA BEZOTKAZNOG RADA VAZDUHOPLOVA	133
Mr Vladimir Šepec, mr Saša Devetak, major	PARAMETRI KOJI UTIČU NA PROCENU EFIKASNOSTI RADIO-GONIOMETRIJSKIH SISTEMA U BORBI	141
Miloš Vesić, potporučnik, dipl. inž. mr Slavko Muždeka, kapetan I klase, dipl. inž.	ANALIZA UTICAJA KINEMATSKE ŠEME SISTEMA ZA ZAOKRET BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA NA BI- LANS SNAGE U ZAOKRETU	149
Mr Nebojša Gaćeša, potpukovnik, dipl. inž.	SIMULACIONI MODEL SISTEMA ZA UPRAVLJANJE LE- TOM PROTIVBRODSKE RAKETE	161
Mr Dejan Ivković, kapetan I klase, dipl. inž.	MODIFIKACIJA KONVENCIONALNIH RADARA NA BA- ZI KONCEPTA SOFTVERSKOG RADARA	178
Milovan Kostadinović-Dišović, potporučnik, dipl. inž. Dragan Ilić, potporučnik, dipl. inž.	SIMULACIJA RADA OPTIČKE MREŽE POMOĆU SIMU- LATORA NS-2	192
Profesor dr Miloško Jevtović, dipl. inž.	PARALELNO UMREŽAVANJE RAČUNARA	198
Profesor dr Miroslav Demić, dipl. inž.	RAZVOJ MODELA VOZAČA ZA UPRAVLJANJE VOZI- LOM TOKOM PRAVOLINIJSKOG KRETANJA	206
Dr Radomir S. Gordić, dipl. inž.	MODELIRANJE KRETANJA AUTOMOBILSKIH JEDINI- CA REALNIM VOJNIM SAOBRAĆAJNIM TOKOM U KO- LONI	214
Dr Vlado Đurković, dipl. inž.	IRMES 2006 – ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA – prikaz naučno-stručnog skupa – ...	231

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Poboljšani karabin HK 417 – M. K.	234
Laki automatski lanseri granata L134A1 – M. K.	234
Bacač granata M100 GREM – M. K.	235
Automatski minobacački sistem za upravljanje vatrom	
Scorpion – M. K.	236
Laki PA raketni lanseri MST – M. K.	237
Novi kineski prenosni PA raketni sistemi – M. K.	237
Troslojni protivraketni odbrambeni sistem – M. K.	238
Brodski PA raketni sistem Štilj-1 – M. K.	239
Izvozni helikopteri kompanije Kamov – M. K.	240
Bespilotna letelica za lociranje radarskih signala – M. K.	241
Nove varijante bespilotnih letelica Predator – M. K.	242
Oklopni transporter BTR-80UP za iračku armiju – M. K.	244
Poboljšana varijanta oklopnog transportera Iguana – M. K.	244
Novi inženjerski tenkovski sistem Velike Britanije – M. K.	245
Inženjersko borbeno vozilo Terrier – M. K.	247
Kamioni i tegljači KAMAZ – M. K.	248
Osmatračka vozila Fenek za holandsku armiju – M. K.	250
Dansko sanitetsko vozilo DURO III P 6×6 – M. K.	251
Podvodne mine M2004 – M. K.	251
Radio-uređaj jurišne pešadije Eagle – M. K.	252
Uređaj za noćno osmatranje Pathfinder – M. K.	252
Sredstva za zaštitu vazduhoplova i zemaljskih borbenih sistema – M. K.	253
Provera sintetičkih goriva na bombarderu B-52 H – M. K.	254

Docent dr Ljubiša Vasov,
dipl. inž.
Saobraćajni fakultet,
Beograd

OCENA BEZOTKAZNOG RADA VAZDUHOPLOVA

UDC: 629.7.017

Rezime:

Pouzdanost kao kompleksni pokazatelj kvaliteta funkcionisanja sistema, zavisno od njegove osnovne namene i uslova procesa eksploatacije, obuhvata različite karakteristike sistema. Uzimajući u obzir specifične funkcionalne zahteve vazduhoplova, koji se odnose, pre svega, na bezbednost leta, jedno od primarnih svojstava njihove pouzdanosti jeste bezotkaznost. U ovom radu, razmatranjem karakteristika stacionarnog procesa obnavljanja, ocenjena je verovatnoća bezotkaznog rada vazduhoplova tokom datog vremena trajanja leta i analizom funkcije pouzdanosti utvrđene su donja i gornja granica verovatnoće bezotkaznog rada. Time je pokazana mogućnost praktične primene eksponencijalne raspodele pri razmatranju bezotkaznosti i prikazan je način definisanja indikatora pouzdanosti vazduhoplova.

Ključne reči: vazduhoplov, pouzdanost, bezotkaznost, indikatori pouzdanosti.

ESTIMATION OF AIRCRAFT FAILURE-FREE PERFORMANCE

Summary:

Reliability as complex indicator of system operation quality, in dependence on system basic purpose and conditions of exploitation process, involves different system characteristics. Regarding to the specific operational requirements of aircraft, mainly related to the flight safety, one of primary attributes of their reliability is failure-free performance. In this paper, by considering the stationary conditions characteristics of renewal process, estimation of probability for failure-free operation during a given flight time is done, and by analysis of reliability function, lower and upper limits of probability for failure-free operation are established. Thereby, possibility for practical application of exponential distribution for failure-free performance consideration is shown, and method of aircraft reliability indicators determination is represented.

Key words: aircraft, reliability, failure-free performance, reliability indicators.

Uvod

Savremena vazduhoplovna transportna sredstva, sa konstruktivnog i strukturalnog aspekta, predstavljaju veoma složene tehničke sisteme specifične funkcionalne namene, od kojih se zahteva veoma visok nivo pouzdanosti izvršenja zadatka. Posmatrano sa aspekta ocene pouzdanosti, osnovne karakteri-

stike procesa eksploatacije vazduhoplova mogu se formulisati na sledeći način:

- pri razmatranju problematike pouzdanosti vazduhoplov se može posmatrati kao obnovljiv sistem kratkovremenog dejstva, odnosno sa kratkim intervalom vremena ispunjavanja zadatka u odnosu na kalendarsko vreme eksploatacije;
- jedno od osnovnih svojstava pouzdanosti vazduhoplova jeste njego-

bezotkaznost, koja se kvantitativno ocenjuje verovatnoćom bezotkaznog rada vazduhoplova tokom intervala korišćenja, odnosno trajanja leta;

- posmatrano kroz vremensku sliku procesa eksploatacije, vreme obnavljanja vazduhoplova je kratko u poređenju sa vremenom njegovog bezotkaznog rada, čime koeficijent gotovosti ne utiče bitno na nivo efektivnosti sistema. Efektivnost takvog sistema, u osnovi, zavisi od broja otkaza tokom datog perioda eksploatacije, odnosno od bezotkaznosti koja je izražena srednjim vremenom rada do otkaza.

Preuslovi za ostvarivanje prethodno navedenih karakteristika jesu izrazito visok nivo pogodnosti održavanja i preventivni karakter procesa održavanja vazduhoplova, kojim se obezbeđuje potpuno obnavljanje radne sposobnosti komponenti i sistema. Pri tome, izbor i analiza kriterijuma efektivnosti određene komponente ili sistema vazduhoplova obično se vrši na osnovu uticaja otkaza date komponente na bezbednost leta, i ukupnih posledica događaja koji su izazvani njenom nepouzdanošću.

Ocena verovatnoće bezotkaznog rada vazduhoplova

Vazduhoplov se može posmatrati kao obnovljiv sistem, čija se bezotkaznost ocenjuje verovatnoćom bezotka-

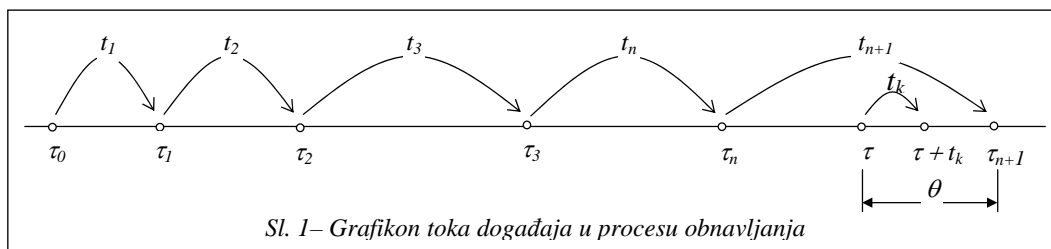
znog rada tokom vremena ispunjavanja letnog zadatka (t_k) od trenutka (τ), odnosno u intervalu vremena korišćenja sistema ($\tau, \tau + t_k$). Matematički model kojim se opisuje proces obnavljanja vazduhoplova pri oceni bezotkaznosti uključuje sledeće pretpostavke [1]:

- vreme potrebno za obnavljanje radne sposobnosti vazduhoplova može se izuzeti iz dalje analize, u kojoj se vremenski faktor ne razmatra preko kalendarskog vremena već preko naleta aviona, čime se posmatrani proces svodi na obnavljanje sa trenutnim vremenom obnavljanja. Ovakav slučaj je često zastupljen u praksi, jer kod najvećeg broja tehničkih sistema jedinica vremena rada sistema i jedinica vremena obnavljanja su različite [2];

- intervali naleta vazduhoplova između otkaza predstavljaju međusobno nezavisne slučajne veličine;

- posle obnavljanja vazduhoplov poseduje ista svojstva kao i pre otkaza, odnosno zakon raspodele verovatnoće naleta do otkaza ne zavisi od broja otkaza.

Momenti obnavljanja ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$) formiraju takav niz događaja koji nastaju jedan za drugim (sl. 1) u momentima vremena slučajno raspoređenim u posmatranom periodu, odnosno obrazuju slučajan tok događaja koji se naziva procesom obnavljanja [1].



Od početnog trenutka (τ_0) posle naleta (t_1) vazduhoplova u trenutku (τ_1) dešava se prvi otkaz, pri čemu, prema prethodno usvojenim pretpostavkama, u istom momentu dolazi do obnavljanja radne sposobnosti vazduhoplova. Posle naleta (t_2) ponovo dolazi do otkaza u trenutku (τ_2) i istovremeno do njegovog obnavljanja, itd. Skup momenata obnavljanja obrazuje proces obnavljanja sistema, pri čemu se u posmatranom slučaju potoci pojave otkaza i obnavljanja međusobno podudaraju.

Bezotkaznost vazduhoplova u datom procesu određena je verovatnoćom da tokom vremena (t_k) korišćenja (leta) od trenutka (τ) u intervalu ($\tau, \tau + t_k$), neće doći do pojave otkaza. Prema usvojenim oznakama (sl. 1), tražena verovatnoća bezotkaznog rada $R(\tau, \tau + t_k)$ može se izraziti u sledećem obliku, koji uključuje sve moguće ishode [1]:

$$R(\tau, \tau + t_k) = P(t_k < \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} P(\tau_n < \tau; \tau_n + t_{n+1} > \tau + t_k) \quad (1)$$

Ukoliko do momenta (τ) nije bilo otkaza ($n = 0$), tada se gornji uslovi bezotkaznog rada mogu izraziti nejednačinom: $\tau_1 > \tau + t_k$. Uvođenjem promenljive (x) umesto (τ_n), dobija se: $x + t_{n+1} \geq \tau + t_k \Rightarrow t_{n+1} \geq \tau + t_k - x$, čime se jednačina (1) verovatnoće bezotkaznog rada u datom intervalu ($\tau, \tau + t_k$), za nestacionarni potok obnavljanja može prikazati u obliku [3]:

$$R(\tau, \tau + t_k) = R(\tau + t_k) + \int_0^{\tau} R(\tau + t_k - x) \cdot h(x) dx \quad (2)$$

gde je:

$h(x)$ – gustina obnavljanja.

Posle velikog broja događaja, opisani proces obnavljanja postaje približno stacionaran, pri čemu je opravdano koristiti relacije asimptotskog procesa u kojem zakon raspodele vremena bezotkaznog rada vazduhoplova ne zavisi od naleta već samo od trajanja leta [3]:

$$R(t_k) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} R(\tau, \tau + t_k) = \frac{1}{T} \int_{t_k}^{\infty} R(x) dx = -\frac{1}{T} \int_{\infty}^{t_k} [1 - F(x)] dx \quad (3)$$

gde je:

T – srednje vreme bezotkaznog rada.

Ispitivanje oblika funkcije $R(t_k)$ moguće je izvršiti određivanjem prvog i drugog izvoda na osnovu prethodne relacije (3), za koje se dobijaju sledeći izrazi:

$$\frac{dR(t_k)}{dt_k} = -\frac{1 - F(t_k)}{T}, \quad \frac{d^2R(t_k)}{dt_k^2} = \frac{f(t_k)}{T} \geq 0 \quad (4)$$

Vrednost drugog izvoda ukazuje na to da funkcija $R(t_k)$ ima konveksan oblik u odnosu na pravac vremenske (t) ose, odnosno funkcija $R(t_k)$ nalazi se iznad tangente u tački (t_k) i samim tim iznad tangente u tački ($t_k = 0$). Koeficijent pravca tangente na krivu funkcije $R(t_k)$ u tački ($t_k = 0$), prema (4), jednak je: $R'(t_k = 0) = -1/T$, čime je jednačina ove tangente data u obliku: $R(t_k) = 1 - t_k/T$.

Dobijena jednačina tangente ukazuje na veoma važnu ocenu donje granice vrednosti verovatnoće bezotkaznog rada $R(t_k)$:

$$R(t_k) \geq 1 - \frac{t_k}{T} \quad (5)$$

Gornja granica vrednosti pomenute funkcije $R(t_k)$ određena je na osnovu opšte relacije funkcije pouzdanosti, za početak intervala $(\tau, \tau + t_k)$, gde je $\lambda(t_k)$ intenzitet otkaza na intervalu (θ) :

$$R(t_k) = e^{-\int_0^{t_k} \lambda(t_k) dt_k} \leq e^{-\lambda(0)} \quad (6)$$

Primenom relacije za intenzitet otkaza i prema jednačinama (3) i (4), može se napisati:

$$\lambda(t_k) = -\frac{1}{R(t_k)} \cdot \frac{dR(t_k)}{dt_k} = \frac{1 - F(t_k)}{\int_{t_k}^{\infty} [1 - F(x)] dx}$$

pri čemu se na početku intervala $(\tau, \tau + t_k)$ za $(t_k = 0)$, prema prethodnoj relaciji, dobija:

$$\lambda(0) = \frac{1}{\int_0^{\infty} [1 - F(x)] dx} = \frac{1}{T} \quad (7)$$

Za većinu modela promene intenziteta otkaza može se zaključiti da funkcija intenziteta otkaza obično ne zavisi od vremena ili ima monotono rastući karakter sa malim gradijentom, čime je potvrđena nejednačina (6). Time je, prema jednačini (7), određena gornja granica vrednosti verovatnoće bezotkaznog rada $R(t_k)$:

$$R(t_k) \leq e^{-\frac{t_k}{T}} \quad (8)$$

Prethodno datim nejednačinama (5) i (8) dobijena je dvostrana ocena verovatnoće bezotkaznog rada vazduhoplova, čija se vrednost nalazi između tangente u tački $(t_k = 0)$ i eksponencijalne funkcije:

$$1 - \frac{t_k}{T} \leq R(t_k) \leq e^{-\frac{t_k}{T}} \quad (9)$$

Približna vrednost verovatnoće bezotkaznog rada

Na osnovu malog broja pojava otkaza, kao retkih događaja koji se mogu javiti tokom određenog intervala eksploatacije vazduhoplova i dovesti do gubitka njegove radne sposobnosti, moguća je samo približna ocena parametara pouzdanosti. Određivanje zakonitosti raspodele verovatnoće bezotkaznog vremena rada u razmatranom slučaju je praktično veoma teško, čime dvostrana ocena tražene verovatnoće u inženjerskim proračunima i procenama dobija veliki značaj. Razvijanjem eksponencijalne funkcije u red, nejednačina (9) može se napisati u obliku:

$$1 - \frac{t_k}{T} \leq R(t_k) \leq 1 - \frac{1}{1!} \left(\frac{t_k}{T} \right) + \frac{1}{2!} \left(\frac{t_k}{T} \right)^2 - \frac{1}{3!} \left(\frac{t_k}{T} \right)^3 + \dots \quad (10)$$

Time je dobijena približna relacija za verovatnoću bezotkaznog rada u obliku:

$$R(t_k) \approx 1 - \frac{t_k}{T} \quad (11)$$

čijom primenom se pravi greška (δ) , koja ne prelazi vrednost: $\delta < t_k^2 / 2T^2$.

Odnos vrednosti vremena korišćenja (trajanja leta) vazduhoplova (t_k) sa srednjim vremenom između otkaza (T), koja su karakteristična za savremena vazduhoplovna prevozna sredstva, ukazuje na to da donja i gornja granica (9) ocene tražene funkcije verovatnoće bezotkaznog rada obrazuju vrlo usku oblast mogućih vrednosti. Drugim rečima, kada je eksponent u funkciji (8) približan ili manji od vrednosti (0,01) donja i gornja granica se praktično poklapaju [4], i može se koristiti aproksimacija preko srednjeg vremena između otkaza (MTBF – Mean Time Between Failure):

$$R(t_k) = e^{-\frac{t_k}{MTBF}} \approx 1 - \frac{t_k}{MTBF} \Rightarrow$$

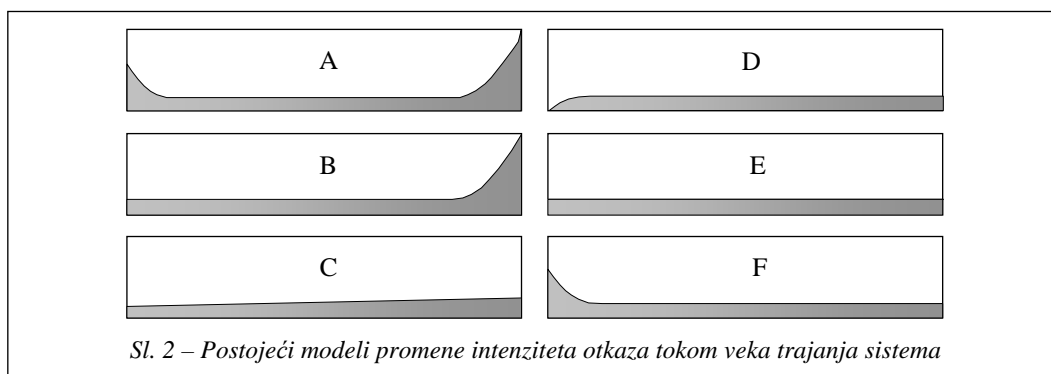
$$\Rightarrow F(t_k) \approx \frac{t_k}{MTBF} \quad (12)$$

Pri analizi bezotkaznosti i bezbednosti vazduhoplova uglavnom se radi sa veoma malim intenzitetima otkaza i relativno kratkim intervalima korišćenja, čime je primena date metode određivanja $R(t_k)$ i $F(t_k)$ opravdana. Prikazana ocena verovatnoće bezotkaznog rada vazduhoplova praktično je svedena na primenu eksponencijalne raspodele, koja se zbog

svojstva odsustva posledica teorijski tačno ostvaruje za sisteme u kojima nema procesa trošenja tokom vremena.

Međutim, eksponencijalnu raspodelu je opravdano koristiti kod svih složenih sistema koji se sastoje od velikog broja visoko pouzdanih elemenata [5], u kojima procesi trošenja i starenja protiču sporo i mogu se zanemariti u relativno kratkim intervalima korišćenja [1], posebno ukoliko je izražen uticaj profilaktičkog karaktera održavanja, kao što je to slučaj sa vazduhoplovima. Treba naglasiti da se prema dosadašnjim iskustvima, stečenim na održavanju različitih mehaničkih i elektronskih sistema, u praksi može javiti ukupno šest različitih modela [6] promene intenziteta otkaza tokom veka trajanja sistema (sl. 2).

Model (A) jeste klasičan model, poznat pod nazivom kriva kade, koji sadrži skoro sva karakteristična područja promene intenziteta otkaza tokom veka trajanja sistema, prisutna u većini ostalih modela. Model (B) karakteriše se skoro konstantnim ili polako rastućim intenzitetom otkaza na početku eksploatacije, a zatim završava povećanim intenzitetom usled istrošenosti i starenja, slično kao u modelu (A). Prema modelu (C) celokupni vek trajanja sistema je praćen laganim



i postepenim povećanjem intenziteta otkaza, koje nema posebno izražene intervale nagle promene gradijenta. Model (D) prikazuje nizak nivo intenziteta otkaza sistema na početku eksploatacije, kada je sistem nov ili malo korišćen, koji postepeno raste do neke približno konstantne vrednosti. Model (E) ima približno konstantan nivo intenziteta otkaza tokom veka trajanja, što je tipična osobina slučajnih otkaza. Model (F) počinje povećanim intenzitetom otkaza sistema, slično modelu (A), koji se postepeno smanjuje do nekog približno konstantnog ili blago rastućeg nivoa.

Primeru radi, istraživanja sprovedena na civilnim vazduhoplovima ukazuju da se prema modelu (A) ponaša 4% komponenti, prema modelu (B) do 2%, modelu (C) oko 5%, prema modelu (D) do 7% komponenti, modelu (E) približno 14% i modelu (F) ne više od 68%. Ovakva raspodela pojedinih oblika ponašanja sistema tokom veka trajanja nije ista za druge vidove tehničkih sistema. Međutim, može se uočiti opšta tendencija da sa povećanjem složenosti sistema sve veći doprinos pripada modelima (E) i (F). Time se, na osnovu modela promene intenziteta otkaza (sl. 2), može uočiti da tokom eksploatacije najveći deo vremena pripada periodu sa približno konstantnim ili blago rastućim intenzitetom otkaza, odnosno za dati interval može se usvojiti: $\lambda(t) \approx \text{const}$.

Koeficijenti pouzdanosti vazduhoplova

Pri određivanju pokazatelja pouzdanosti komponenti i sistema vazduhoplova početni ulazni podaci jesu ukupno radno

opterećenje razmatranog skupa komponenti i ukupan broj događaja (otkaza) koji su vezani za dati skup i interesantni za pouzdanost, u posmatranom kalendarskom periodu eksploatacije. Jedan od osnovnih statističkih pokazatelja pouzdanosti jeste srednje vreme rada (T_j) po j-tom događaju:

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N_j} \quad (13)$$

gde je:

n – ukupan broj komponenti u razmatranom skupu (floti aviona),

t_i – vreme rada i-te komponente u datom kalendarskom periodu, i

N_j – broj j-tih događaja interesantnih za pouzdanost, u posmatranom periodu.

Značenje srednjeg vremena (T_j) prema izrazu (13) približava se matematičkom očekivanju vremena rada do pojave datog događaja, koje karakteriše dati skup, samo pri analizi velike grupe istih komponenti. Prethodna činjenica ukazuje na to da vreme (T_j) predstavlja srednju karakteristiku pouzdanosti komponenti i sistema, sa različitim stepenima odradnog resursa. Međutim, u mnogim praktičnim zadacima veličina (T_j) u potpunosti određuje potok događaja interesantnih za pouzdanost, koji su vezani za dati tip komponenti i mogu se tretirati kao oblik otkaza posmatrane komponente.

Pomenuti način kvantifikacije pouzdanosti, za određeni kalendarski period, često se u praksi realizuje preko odgovarajućih koeficijenata pouzdanosti (K_j), koji prikazuju broj j-tih događaja koji, u stvari, predstavljaju ispoljavanje nepouzdanosti komponente tokom procesa eks-

ploatacije, na 1000 odgovarajućih jedinica rada date komponente:

$$K_j = \frac{1000}{T_j} \quad (14)$$

Smanjenje koeficijenta razmatranih događaja, datog prema prethodnoj relaciji (14), karakteriše povećanje pouzdanosti komponente ili sistema, i obično se koristi promena (K_j) i (T_j) tokom kalendarskog vremena eksploatacije, pri analizi dinamike promene pouzdanosti komponente. Prikazani jednostavni statistički pokazatelji omogućavaju rešavanje različitih zadataka povezanih sa problematikom određivanja verovatnoće ispunjavanja funkcije cilja i ocene efektivnosti sistema vazduhoplova. Treba napomenuti da se kvantifikacija pouzdanosti u sličnom obliku, preko srednjeg ili godišnjeg intenziteta otkaza (Average or Annual Failure Rate – AFR), primenjuje i kod drugih tipova tehničkih sistema [7] [8].

Zaključak

Visok nivo pouzdanosti današnjih vazduhoplovnih prevoznih sredstava i činjenica da otkazi koji dovode do gubitka radne sposobnosti vazduhoplova predstavljaju retke događaje, ukazuju na to da određivanje zakona raspodele vremena leta aviona do otkaza predstavlja veoma težak zadatak. Time dvostrana ocena funkcije verovatnoće bezotkaznog rada može imati veliki značaj. Prikazanom analizom funkcije pouzdanosti i utvrđivanjem donje i gornje granice verovatnoće bezotkaznog rada pokazana je moguć-

nost praktične primene eksponencijalne raspodele pri razmatranju bezotkaznosti. Pored toga, dato je praktično značenje statističkih pokazatelja, koji se odnose na karakteristične događaje vezane za pouzdanost i prate tokom eksploatacije vazduhoplova.

Uobičajena praksa praćenja pouzdanosti flote, kod većine vazduhoplovnih kompanija, sastoji se u sistematskom registrovanju podataka bitnih za pouzdanost, koji se obično prikazuju u obliku mesečnih, polugodišnjih i godišnjih izveštaja. Sadržaj pomenutih podataka obuhvata događaje, kao što su: primedbe pilota i mehaničara, tehnički incidenti i kašnjenja, prevremena skidanja komponenti sa aviona, potvrđeni kvarovi, gašenje motora u letu, itd. Na osnovu broja registrovanih događaja u posmatranom kalendarskom periodu i ukupnog naleta flote aviona datog tipa u istom periodu, vrši se izračunavanje i praćenje konkretnih indikatora (koeficijenata) pouzdanosti.

Jedan od zadataka praćenja indikatora pouzdanosti jeste analiza trendova promene i registrovanje odstupanja stopa dešavanja događaja interesantnih za ocenu pouzdanosti flote, od normiranih vrednosti. Dobijeni izvorni podaci, kao komponente vremenske serije koja obično obuhvata mali broj događaja, u retkim slučajevima omogućavaju neposredan grafički prikaz pogodan za dalju analizu trendova promene. Veoma često, empirijski podaci imaju visok stepen rasturanja vrednosti, kombinovan sa određenim periodičnim modelom promene, koji, uglavnom, zavisi od sezonske promene dinamike korišćenja flote. Radi smanjenja stepena rasturanja i ublažavanja na-

gih slučajnih promena vrednosti indikatora pouzdanosti, pri izračunavanju datih indikatora obično se u praksi koristi metoda pokretnih sredina.

Literatura:

- [1] Анцелиович, Л. Л.: Надежность, безопасность и живучесть самолёта, Машиностроение, Москва, 1985.
- [2] Knežević, J.: Osnove teorije obnavljanja, Održavanje Mašina i Opreme – ОМО XXIV, Novinsko-izdavačka radna organizacija ОМО, Beograd, broj 6–7, 1995, pp 310–323.
- [3] Половко, А. М., Маликов, И. М., Жигарев, В. И., Зарудный, В. И.: Сборник задач по теории надежности, Советское радио, Москва, 1972.
- [4] Training Program for Reliability Probability and Safety Analysis, Volume I-II-III-IV, Prepared for the Federal Aviation Administration Under Contract No. DOT FA75AC-5123, Douglas Aircraft Company, August, 1981.
- [5] Смирнов, Н. Н., Андронов, А. М., Владиморов, А. М., Лемин Ю. И.: Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолётов, Транспорт, Москва, 1974.
- [6] Mourbay, J.: Reliability – Centered Maintenance, Butterworth – Heinemann, Oxford, Second edition, 1997.
- [7] Allmen, C. R., Lu M. W.: Sample size for Failure Detection and Reliability Demonstration, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE Reliability Society, Atlanta, Georgia USA, January 26–28, 1993, pp 386–394.
- [8] Elerath, J. G.: AFR: Problems of Definition, Calculation and Measurement in a Commercial Environment, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE Reliability Society, Los Angeles, California USA, January 24–27, 2000, pp 71–76.

Mr Vladimir Šepec,
mr Saša Devetak,
major
Vojna akademija,
Beograd

PARAMETRI KOJI UTIČU NA PROCENU EFIKASNOSTI RADIO-GONIOMETRIJSKIH SISTEMA U BORBI

UDC: 621.396.75

Rezime:

U radu su prikazani dominantni parametri koji utiču na procenu efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u uslovima borbenih dejstava. Primenjena je teorija masovnog opsluživanja, linearne transcendentne jednačine i teorija verovatnoće u analizi efikasnosti radio-goniometrijskog sistema.

Ključne reči: teorija masovnog opsluživanja, efikasnost, radio-goniometrijski sistem.

PARAMETERS OF INFLUENCE FOR ESTIMATION OF EFFICIENCY OF RADIO-LOCATION SYSTEM IN COMBAT

Summary:

Important parameters for estimation efficiency of Radio-Location System in combat conditions has been presented in this article. The theory of mass servicing, linear transcendental equations and theory of probability are used in the efficiency analysis of Radio-Location System.

Key words: the theory of mass servicing, efficiency, radio-location system.

Uvod

Uloga radio-goniometrisanja u borbenim dejstvima je značajna, jer je određivanje lokacija elemenata borbenog rasporeda protivnika prioritetan zadatak. I pored najsavremenijih (optičkih i elektronskih) sistema izviđanja (u kosmosu, vazдушnom prostoru, na zemlji, moru i u vodi), radio-goniometrisanje daje veliki doprinos, posebno kada se objekat može otkriti samo u radio-spektru, a ne i u radarskom, toplotnom i vizuelnom.

Često se u proceni efikasnosti nekog sistema polazi od njegovih zvaničnih taktičko-tehničkih mogućnosti. Tako su se i radio-goniometrijski sistemi vrednovali prema broju radio-stanica koje mogu goniometrisati za jedan čas. Prema ovom kriterijumu, nekada su radio-goniometrijski sistemi mogli da goniometrišu oko 60 radio-stanica na čas, danas

oko 200, a u budućnosti i znatno više. Međutim, postavlja se pitanje – da li je to zaista osnovni kriterijum za ocenu efikasnosti radio-goniometrijskih sistema ili postoje i drugi parametri koji daju svoj doprinos proceni efikasnosti.

Treba pomenuti da su uz prethodni kriterijum, a radi što verodostojnije procene efikasnosti, isticani još i sledeći podaci: potpuna automatizacija i digitalizacija sistema, kompjuterska analiza i obrada svih podataka, veliki frekventni opseg rada, velika pokretljivost sistema (jer se sredstva montiraju na terenska vozila, transportere i vazduhoplove), mali broj poslužilaca i veoma kratko vreme spremnosti za rad, odnosno za pokret, i drugi podaci (vreme potrebno za goniometrisanje jedne radio-stanice, tačnost goniometrisanja i brzina prenosa podataka od goniometara do upravljačke stanice i obrnuto).

Ipak, sve to ne daje realnu sliku efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u borbenim dejstvima. Zato ovaj tekst treba da ponudi drugačiji pristup proceni efikasnosti radio-goniometrijskih sistema, koji se sastoji u analizi dominantnih parametara koji utiču na efikasnost ovih sistema u borbi.

Analitički model za procenu efikasnosti radio-goniometrijskog sistema

Pretpostaviće se da se radio-izviđački sistem sastoji od prislušne kabine sa grupom VF i VVF prijemnika, upravljačke kabine, koja takođe raspolaze sa nekoliko VF i VVF prijemnika, ali i radio-uređajem za vezu sa tri radio-goniometra, te potrebnom računarskom i drugom neophodnom opremom. Sistem je potpuno automatizovan i montiran je na 5 terenskih motornih vozila.¹ Na slici 1 prikazana je šema radio-izviđačkog sistema, od koga se polazi pri analizi.

Efikasnost ovakvog radio-izviđačkog sistema, odnosno njegove goniometrijske mogućnosti procenjivaće se prema sledećim parametrima: daljini (dubini) goniometrisanja, verovatnoći goniometrisanja, srednjem broju radio-stanica koje će biti goniometrisane i tačnosti goniometrisanja.

Daljina goniometrisanja (D_g) može se poistovetiti sa daljinom izviđanja (D_i), tj. $D_g \approx D_i$. Međutim, zavisno od korišćenog antenskog sistema za goniometrisanje i niza drugih faktora nekada je daljina goniometrisanja manja od daljine izviđanja ($D_g < D_i$). Određivanje daljine izviđanja je poznato, te se ovde neće obrazlagati [1, 2, 3, 4].

¹ Kada se neki sistem naziva radio-izviđački, automatski se podrazumeva da on sadrži i goniometrijsku komponentu, za razliku od radio-prislušnog sistema koji ne sadrži ovu komponentu.

Verovatnoća goniometrisanja (p_g) od izuzetnog je značaja, jer na nju utiče protivnik, tj. od protivnika zavisi koliko će njegove radio-veze biti u eteru. Zato se verovatnoća goniometrisanja može, pre svega, poistovetiti sa verovatnoćom izviđanja (p_i). Ova verovatnoća može se proračunati na više načina, a ovde će se ilustrovati dva načina [3].

Prvi način je određivanje verovatnoće izviđanja p_i na osnovu empirijske formule, koja glasi [3]:

$$p_i = 1 - \left(\frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_s} \right)^{nk} \cdot e^{-nk \frac{\lambda}{\tau_p}} \quad (1)$$

gde je:

τ_s – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja veze (srednje vreme prisustva signala),

τ_p – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja pauze u radu (vreme odsustva signala),

n – broj izviđačkih prijemnika,

k – broj pretraživanja frekventnog opsega.

Promenljiva λ je složena promenljiva koja zavisi od frekventnih karakteristika radio-signala i osobina izviđačkog prijemnika, a određena je izrazom:

$$\lambda = \frac{\Delta F_s + \Delta F_{pr}}{\frac{\Delta F}{T_p}} \quad (2)$$

gde je:

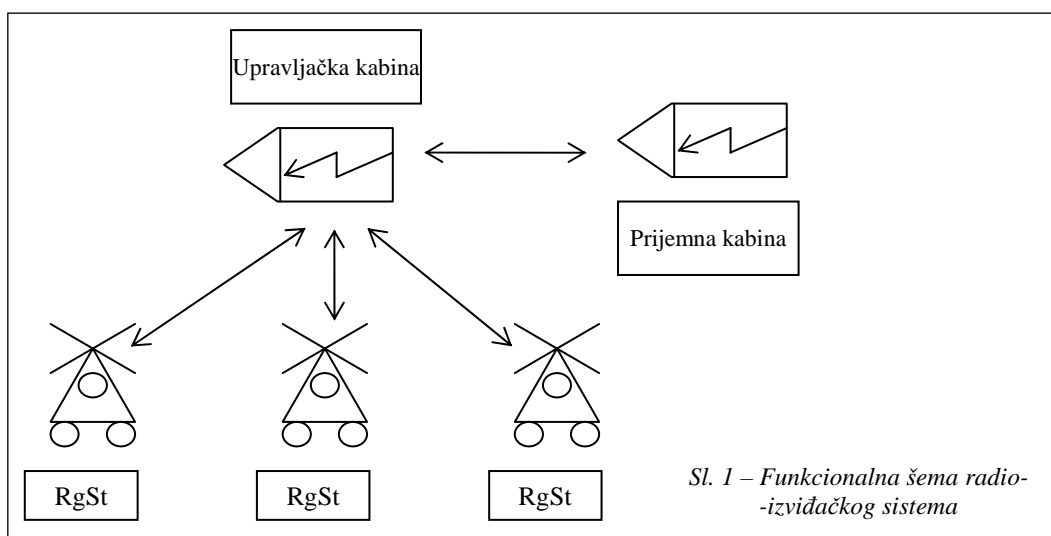
ΔF_s – širina spektra korisnog signala,

ΔF_{pr} – propusni opseg prijemnika,

ΔF – širina opsega pretraživanja,

T_p – vreme pretraživanja,

$\Delta F/T_p$ – brzina pretraživanja.



Na osnovu datog obrasca očigledno je da dominantan uticaj na verovatnoću izviđanja ima prisutnost signala u eteru, odnosno odnos između τ_p i τ_s (intenzitet saobraćaja veze), koji će se označiti promenljivom ρ ($\rho = \tau_p / \tau_s$).

Kod frekventno agilnih predajnika promenljiva λ može se definisati i kao:²

$$\lambda = \frac{k_z}{k_{pd} \cdot k_{pm} \cdot T_d} \quad (3)$$

gde je:

k_z – broj kanala koji su zajednički opsegu skakanja i pretraživanja,

k_{pd} – broj kanala sa frekventnim skakanjem,

k_{pm} – broj kanala pretraživanja,

T_d – vreme detekcije signala.

Mogućnosti otkrivanja i goniometri-sanja frekventno agilnih predajnika prikazane su dijagramom na slici 2.

² Na osnovu dela formule za izračunavanje verovatnoće goniometrisanja frekventno agilnih predajnika [4].

Verovatnoća izviđanja izračunava se na drugi način primenom teorije masovnog opsluživanja, kada se verovatnoća stanja sistema određuje prema formuli Erlanga, pa je [3]:

$$P_i = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \quad (4)$$

$$\sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!}$$

gde je:

p_n – verovatnoća da veza neće biti otkrivena,

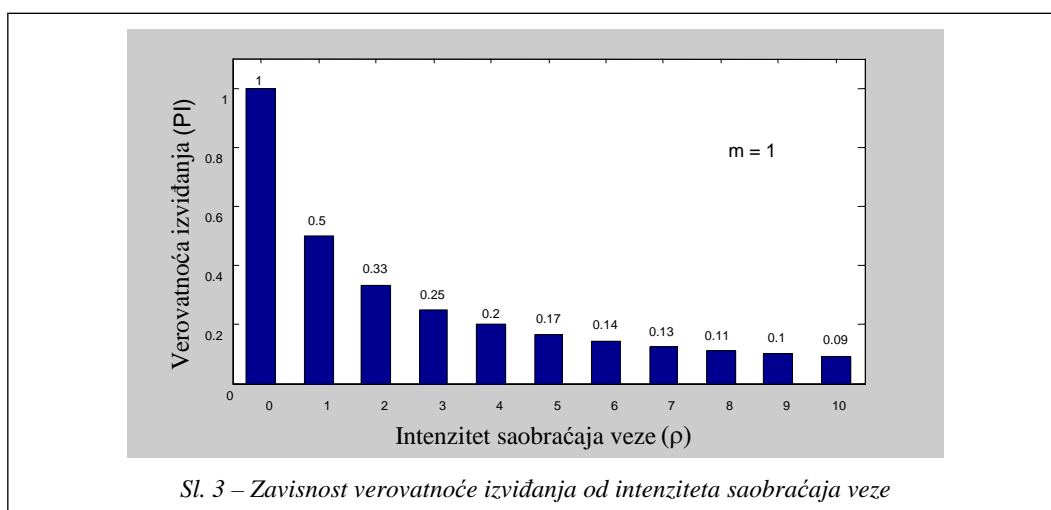
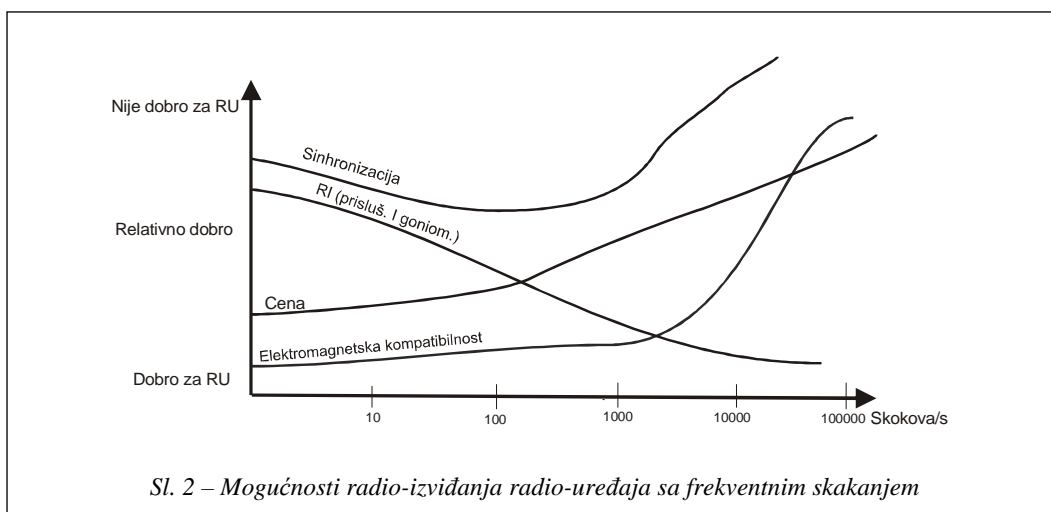
n – ukupan broj kanala opsluživanja, odnosno broj izviđačkih prijemnika,

m – broj aktivnih kanala opsluživanja,

ρ – intenzitet saobraćaja veze ($\rho = \tau_p / \tau_s$),

τ_p – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja pauze u radu (vreme odsustva signala),

τ_s – srednja vrednost ili matematičko očekivanje dužine trajanja veze (srednje vreme prisustva signala).



Na slici 3 prikazana je zavisnost verovatnoće izviđanja u funkciji intenziteta saobraćaja veze, odnosno prisutnosti signala u eteru, kada je broj izviđačkih prijemnika $m = 1$.

Za simulaciju zavisnosti verovatnoće izviđanja od intenziteta saobraćaja veze urađen je program u programskom paketu Matlab 6.5 R13.

Na kraju elaboracije ovog parametra može se postaviti pitanje – da li je uvek verovatnoća izviđanja jednaka verovatno-

ći goniometrisanja. Najčešće se verovatnoća goniometrisanja može aproksimirati sledećim empirijskim izrazom [3]:³

$$p_g = p_i^g \quad (5)$$

gde je g korekcionni faktor za goniometrijsku mrežu, jer neće uvek uspeti da se goniometrišu sve stanice u radio-vezi (mreži). Ovaj faktor zavisi od frekventnog op-

³ Obrazac je proistekao iz ličnog empirijskog iskustva, kao i veličina korekcionog faktora g i obrazac za broj radio-stanica koje će biti goniometrisane N_g .

sega i vrste rada emisije, organizacije radio-veze koja se goniometriše, od načina goniometrisanja (manuelno ili automatsko), borbenih i zemljišnih uslova i drugo. Do veličine ovog korekcionog faktora može se doći statističkim putem. Orijentirno se pri proceni za goniometrijsku mrežu VF opsega može koristiti da je $g = 1,5$, a za mrežu VVF opsega $g = 2$.

U daljem postupku analitički model zahteva i procenu srednjeg broja radio-stanica koje će biti goniometrisane (N_g), a može se izračunati putem izraza [3]:

$$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g \quad (6)$$

gde je:

N_i – srednji broj radio-veza koje će biti izviđane,

N_s – srednji broj radio-stanica u radio-mrežama,

p_g – verovatnoća goniometrisanja.

Pošto je u prethodnom izrazu ostalo nepoznato kako se izračunava srednji broj izviđanih radio-veza, nužno je i to objasniti. Srednji broj radio-veza koje će biti izviđane N_i može se izračunati prema sledećem obrascu [3]:

$$N_i = N \left[1 - \left(1 - p_t \cdot p_i \cdot e^{-\frac{m_i}{m}} \right)^{\frac{m}{N+L}} \right] \quad (7)$$

gde je:

N – ukupan broj radio-veza koje treba izviđati,

p_t – pouzdanost izviđačkih prijemnika,

p_i – verovatnoća izviđanja,

m – broj izviđačkih prijemnika kojima se istovremeno vrši izviđanje,

m_i – broj izviđačkih prijemnika koji neće moći vršiti izviđanje, iz bilo kojih razloga (uništeno, premešta se, itd.),

L – broj ostalih radio-veza (lažne, drugih imalaca sistema veze).

Za analitički model procene efikasnosti goniometrisanja treba istaći najznačajniji parametar – tačnost goniometrisanja. U velikom broju slučajeva ovaj podatak (lokacija radio-stanice) biće osnovni obaveštajni podatak, posebno u uslovima kada su informacije kriptološki zaštićene; odnosno, od tačnosti lokacije moći će se po tim elementima sistema veza dejstvovati različitim ubojnim sredstvima. Međutim, precizna procena tačnosti goniometrisanja izuzetno je složena i zavisi od: daljine goniometrisanja, tačnosti goniometra, talasne dužine i uslova prostiranja, uticaja okoline goniometra i primenjene metode, tačnosti očitavanja pravca, obučenosti posluge, razmere karte i slično. Sistematične greške su poznate i mogu se dodati, odnosno oduzeti od izmerene vrednosti i time njihov uticaj smanjiti. Slučajne greške su posledica različitih uticaja i deluju sa različitim predznakom na izmerenu vrednost. Njihov uticaj se smanjuje ako se pravac dobije iz srednje vrednosti više uzastopnih merenja pravca. Najveću grešku u određivanju pravca, a time i lokacije izvora elektromagnetskog zračenja, prouzrokuje širina antenskog snopa goniometra (ili njegova tačnost) i raspored goniometara na zemljištu u odnosu na izvor zračenja. U većini slučajeva u borbenim uslovima konfiguracija zemljišta, raspored jedinica i raspoloživo vreme neće dozvoljavati da se goniometri postave na optimalan način (kako tehnički, tako i taktički).

Određivanje tačnosti goniometrisanja, u zavisnosti od njegove daljine, može se predstaviti izrazom [5]:

$$\Delta L = 0,0175 \cdot D_g \cdot \Delta\theta \quad (8)$$

gde je:

ΔL – linijska greška [km],

D_g – rastojanje između goniometra i predajnika radio-stanice [km],

$\Delta\theta$ – srednja ugaona greška [°].

Primenom prezentovanog izraza dobijaju se odstupanja prema tabeli:

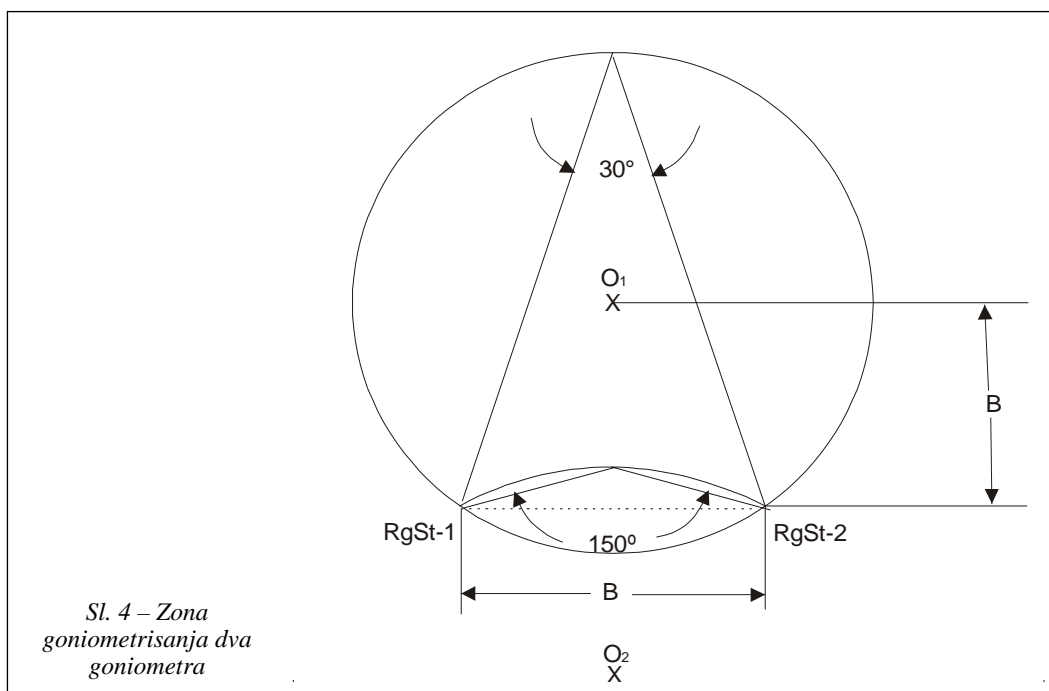
$D_g \backslash \Delta\theta$	$\pm 1^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 3^\circ$
1 km	17,5 m	35 m	52,5 m
10 km	175 m	350 m	525 m
30 km	525 m	1150 m	1575 m
50 km	875 m	1750 m	2625 m
100 km	1750 m	3500 m	5250 m
300 km	5250 m	11 500 m	15 750 m
500 km	8750 m	17 500 m	26 250 m

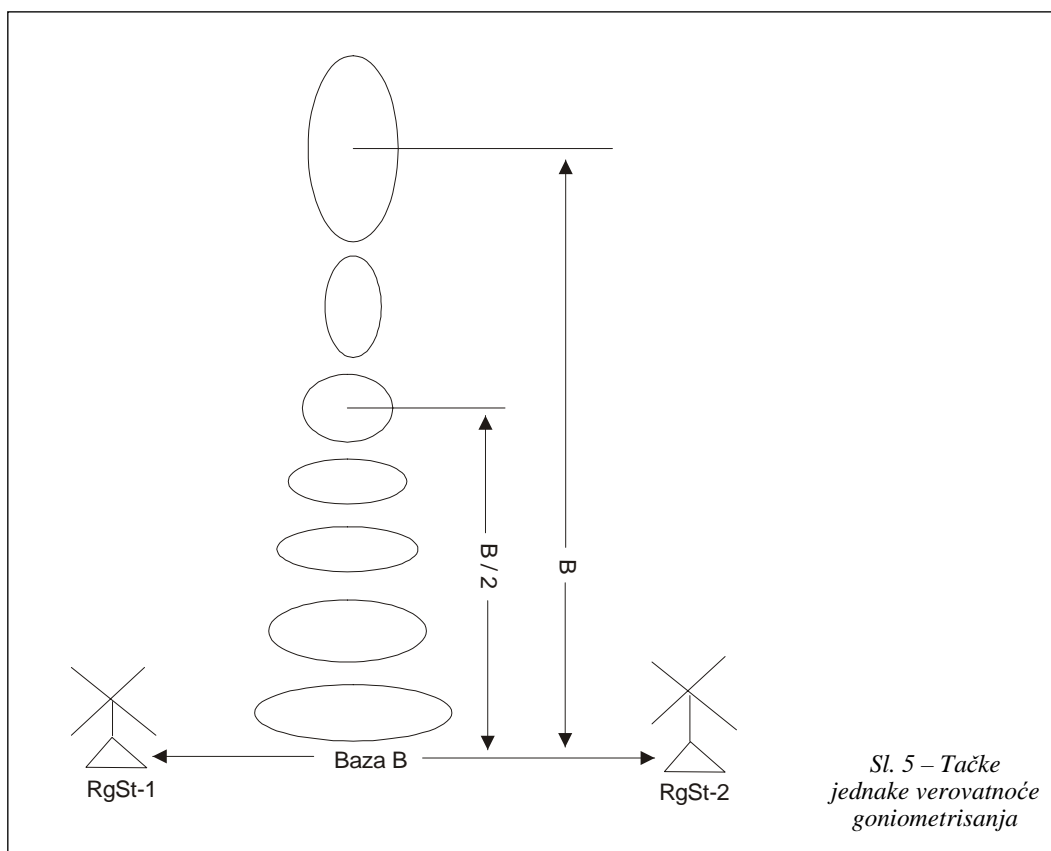
Ovakva tačnost može da zadovolji samo potrebe određivanja lokacije obje-

kata pri proceni borbene situacije, ali ne može da zadovolji potrebe kada se želi uništenje objekata. U slučajevima kada potrebe goniometrisanja treba da zadovolje dva goniometra (u praksi čest slučaj), konstruisaćemo (grafički) zonu goniometrisanja u kojoj se pravci seku pod uglom od 30° do 150° , a to je područje zadovoljavajuće tačnosti. Zona goniometrisanja prikazana je na slici 4, gde je B goniometrijska osnovica (rastojanje između radio-goniometrijskih stanica), a O_1 i O_2 centri opisanih kružnica.

U prikazanom slučaju, greška određivanja lokacije na pojedinim tačkama, prikazana je elipsama greške, koje obuhvataju sve tačke jednake verovatnoće (slika 5) [1, 2, 4, 5].

Slike 4 i 5 pokazuju da se najveća tačnost goniometrisanja postiže kada su uglovi presecanja oko 90° , tj. ova tačnost se postiže na daljinama $B/2$, gde je B ra-





stojanje između goniometara, odnosno ovo rastojanje nazivamo bazom ili osnovicom goniometrisanja. Navedeni primeri procene tačnosti goniometrisanja samo delimično ukazuju na složenost ove problematike. Ipak, može se zaključiti da savremeni radio-goniometrijski sistemi mogu u najvećem delu i goniometrisati otkrivene radio-stanice, na kopnu sa tačnošću od 1° – 3° , zavisno od dela zone goniometrisanja u kojem se nalaze.

Ilustrativni primer

Pretpostaviće se da je zona radio-izviđanja, odnosno goniometrisanja, teritorija 20×40 km (manevarsko zemljište) u kojoj se nalazi 20 VF i 60 VVF radio-ve-

za (mreža). Daljina goniometrisanja D_g za VF radio-veze je celokupna zona, dok bi za VVF radio-veze iznosila oko polovine zone. Radio-izviđanjem je otkriveno 12 VF i 34 VVF radio-veze ($N = 20$, a $N_i = 12$ za VF i $N = 60$, a $N_i = 34$ za VVF radio-veze). U VF radio-vezama nalazi se prosečno 4 učesnika ($N_s = 4$), a u VVF 6 ($N_s = 6$). To znači da treba goniometrisati u VF opsegu 48, a u VVF opsegu 204 radio-stanice. Pretpostavimo da radio-veze VF opsega rade kratko, tj. pauze su im tri puta duže od vremena rada ($3t_p = t_s$, pa je $\rho = 3$), dok radio-veze VVF opsega rade dva puta duže od pauza ($t_p = 2t_s$, pa je $\rho = 0,5$). Tada je $p_i = 0,25$ za VF radio-veze, odnosno za VVF $p_i = 0,667$ (vidi sliku 3).

Može se zaključiti da je broj goniometrisanih radio-stanica u VF opsegu, kada je korekcionni faktor $g = 1,5$:

$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g = 12 \cdot 4 \cdot 0,12 = 6$ stanica dok bi broj goniometrisanih stanica u VVF opsegu sa korekcionnim faktorom $g = 2$, iznosio:

$N_g = N_i \cdot N_s \cdot p_g = 34 \cdot 6 \cdot 0,44 \approx 90$ stanica.

Za razliku od nominalnih mogućnosti, kakva su ranije bila prikazana, korišćenjem ovog matematičkog modela dolazi se do realnih mogućnosti, tj. do procene efikasnosti radio-goniometrijskog sistema u borbenim uslovima. S obzirom na širinu i dubinu zone goniometrisanja može se očekivati tačnost goniometrisanja od $\pm 1^\circ$ u centralnom delu zone.

Na osnovu iskustvenih činjenica istaknimo još neke podatke značajne za procenu efikasnosti goniometrijskih sistema. Ako sa „č“ označimo početak borbenih dejstava, može se očekivati da će u „č+10s“ radio-veza biti detektovana i da će biti preneti komanda (telekomanda) da se radio-stanice u vezi (pravcu ili mreži) goniometrišu. U „č+25s“ radio-stanice u vezi biće goniometrisane i njihova lokacija obrađena i ustanovljena. Do „č+60s“ podaci su razmenjeni i upoređeni sa prikupljenim podacima drugim načinima izviđanja i predlaže se odluka o daljem postupku. U periodu od „č+60s“ do „č+90s“ uslediće naredba za ometanje (osim kada

su poznate frekvencije rada pojedinih radio-veza, pa se unapred izvrši programiranje ometača za njihovo ometanje) ili vatreno dejstvo po otkrivenim lokacijama radio-stanica. Nakon „č+90“ treba očekivati vatrena dejstva po goniometrisanim ciljevima. Može se očekivati da se u budućnosti ova vremena (orijentirno procenjena) još više skraćuju.

Zaključak

U radu je prikazan poseban pristup u proceni parametara koji utiču na efikasnost radio-goniometrijskog sistema. Za razliku od zvaničnih taktičko-tehničkih mogućnosti radio-goniometrijskih sistema predstavljeni parametri daju realniju procenu efikasnosti sistema u borbenim uslovima, jer uzimaju u obzir i protivnika, odnosno rad njegovih radio-veza kao osnovnog preduslova za realizaciju goniometrisanja stanica veze. Analitički model može se primeniti u proceni situacije i odlučivanju o upotrebi snaga u borbenim dejstvima.

Literatura:

- [1] Palij, I. A.: Radio-elektronska borba (prevod sa ruskog), VIZ, Split, 1982.
- [2] Razingar, A.: Protivelektronska dejstva (drugo prošireno izdanje), VIZ, Beograd, 1982.
- [3] Šepec, V. V.: Procena efikasnosti sistema veza u borbi (privatno izdanje), Beograd, 2004.
- [4] Šunjevarić, M. M.: Radio-goniometrija, VINC, Beograd, 1991.
- [5] Osnovi elektronike, fizički principi radio-lokacije i radio-goniometrije (prevod sa ruskog), DSNO, Beograd, 1971.

Miloš Vesić,
potporučnik, dipl. inž.
VP 8080-18,
Beograd
mr Slavko Muždeka,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

ANALIZA UTICAJA KINEMATSKE ŠEME SISTEMA ZA ZAOKRET BRZOHODNIH GUSENIČNIH VOZILA NA BILANS SNAGE U ZAOKRETU

UDC: 623.437.425
623.438.3

Rezime:

U radu je izvršena analiza bilansa snage u zaokretu za tipične predstavnike simetričnih i nesimetričnih sistema za zaokret sa dva toka snage. Na osnovu analize aktivnih sila i brzina premotavanja gusenica u funkciji od poluprečnika zaokreta, dobijene su potrebne snage na gusenicama za realizaciju zaokreta u zadatim uslovima. Za svaki sistem za zaokret definisana su funkcionalna stanja i tokovi snage u svakom od njih. Izvršena je uporedna analiza bilansa snage u zaokretu za simetrični i nesimetrični sistem sa istim performansama pravolinijskog kretanja radi sagledavanja uticaja kinematske šeme na vučne performanse. Pokazano je da kinematska šema sistema za zaokret znatno utiče na vučne performanse zaokreta i da kod simetričnih sistema postoje veći gubici snage i veća potreba za snagom motora.

Ključne reči: gusenično vozilo, sistem za zaokret, kinematska šema, bilans snage.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF TURNING SYSTEM KINEMATIC SCHEME ON TURNING POWER BALANCE FOR HIGH SPEED TRACKED VEHICLES

Summary:

The analysis of turning power balance for symmetric and nonsymmetrical turning systems of tracked vehicles has been considered in the paper. The necessary power of tracks for required radius of turn has been determined on the base of analysis of active forces and track velocity accordance to radius of turn. Functional conditions and power flow have been defined for each turning system. The comparative analysis of turning power balance for symmetric and nonsymmetrical turning system with equal tracked performances has been fulfilled and the influence of kinematic scheme on turning tracked performances has been explained. The analysis has showed influence of kinematic scheme on turning tracked performances. The symmetric turning systems worked with higher power losses hence the higher power of vehicle engine is required.

Key words: tracked vehicle, turning system, kinematic scheme, power balance.

Uvod

Kod brzohodnih guseničnih vozila, pored vučnih performansi pravolinijskog kretanja, interesantne su i vučne performanse zaokreta pošto se zaokret izvodi obezbeđivanjem različitih brzina premotavanja gusenica. Kinematska šema sistema za zaokret ima značajan uticaj na

ostvarivanje željenih vučnih performansi zaokreta. Kod starijih realizacija sistema za zaokret brzohodnih guseničnih vozila u primeni su bili sistemi sa jednim tokom snage koji su obezbeđivali skromne vučne performanse, uz znatno klizanje frikcionih elemenata. Uvođenjem sistema za zaokret sa dva toka snage dolazi do znatnog poboljšanja vučnih performansi zao-

kreta, a omogućava se i racionalno uvođenje hidrostatičkih komponenata. U radu će se analizirati uticaj kinematske šeme sistema za zaokret na bilans snage u zaokretu za najčešće realizacije sistema sa dva toka snage. Analiza će se vršiti za čitav dijapazon poluprečnika zaokreta, od zaokreta oko gusenice do pravolinijskog kretanja.

Kinematske konfiguracije sistema za zaokret sa dva toka snage

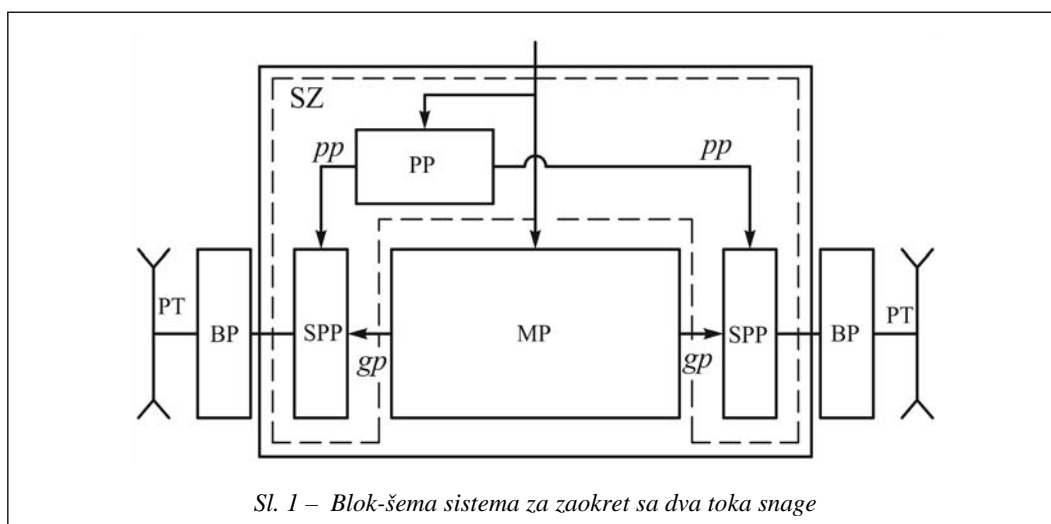
Na slici 1 prikazana je blok-šema sistema za prenos snage koji ima sistem za zaokret sa dva toka snage. Osnovne komponente sistema za prenos snage su menjački prenosnik (MP), sistem za zaokret (SZ) koji se sastoji od pomoćnog pogona (PP) i sumirajućeg planetarnog prenosnika (SPP) i bočni prenosnik (BP). Snaga se prenosi na pogonski točak (PT) guseničnog kretača. U opštem slučaju, kod pravolinijskog kretanja snaga se može prenositi istovremeno glavnim pogonom (gp) i pomoćnim pogonom (pp), ali je to

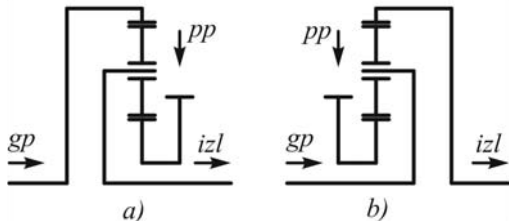
retko, zbog problema vezanih za cirkulaciju snage u zatvorenom kolu PP-MP-SPP.

Najčešći slučaj je da se pri pravolinijskom kretanju snaga prenosi samo glavnim pogonom. Pomoćni pogon uključuje se isključivo pri zaokretu. Pristup dva toka snage u zaokretu – glavnog i pomoćnog obezbeđuje različite brzine premotavanja gusenica.

Kinematska konfiguracija sumirajućeg planetarnog prenosnika bitno utiče na performanse vozila. Kod savremenih BGV najčešće su u pitanju dve kinematske konfiguracije, kao na slici 2.

Kinematska konfiguracija, prikazana na slici 2a, češće se primenjuje zbog toga što pri pravolinijskom kretanju obezbeđuje redukciju, čime se obezbeđuje da menjački prenosnik bude dimenzionisan prema manjem momentu. Konfiguracija prikazana na slici 2b obezbeđuje kompaktnu konstrukciju sistema za prenos snage, tako da je našla primenu kod uspešnih realizacija sistema za prenos snage BGV [1].





Sl. 2 – Najčešće kinematske konfiguracije sumirajućeg planetarnog prenosnika

Kinematska konfiguracija pomoćnog pogona može da obezbedi tzv. „simetričan“ ili „nesimetričan“ zaokret. Kod simetričnog zaokreta brzina kretanja težišta vozila prilikom ulaska u zaokret se ne menja, dok kod nesimetričnog zaokreta dolazi do njene promene – najčešće brzina spoljašnje gusenice ostaje nepro-

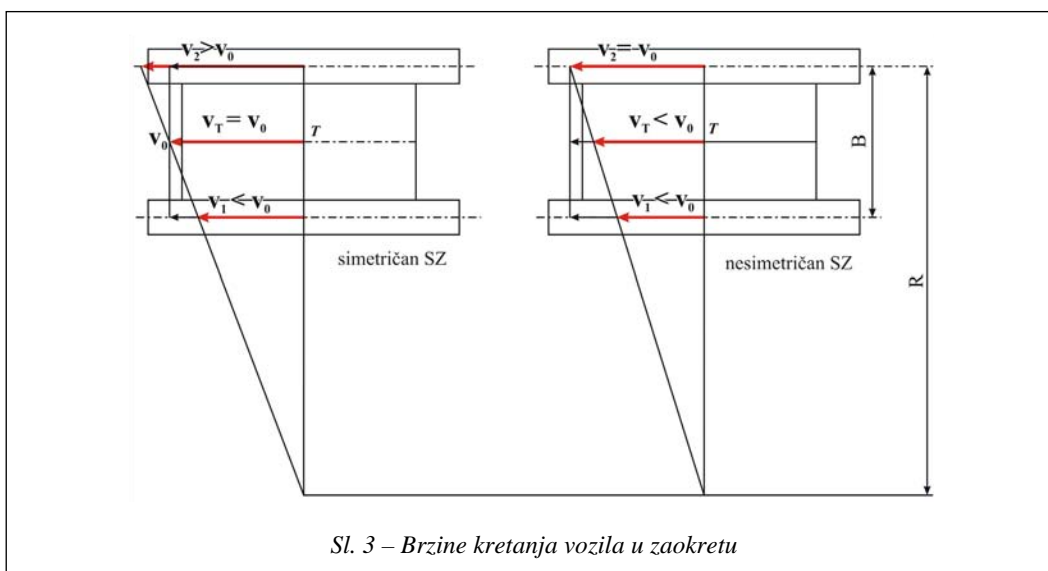
menjena, tako da u zaokretu dolazi do smanjenja brzine kretanja vozila. Na slici 3 prikazane su brzine gusenica pri pravolinijskom kretanju i zaokretu za simetričan i za nesimetričan sistem. Analitički izrazi za brzine premotavanja gusenica u funkciji brzine pre ulaska u zaokret v_0 prikazani su u tabeli 1.

Kod nesimetričnih sistema pomoćni pogon najčešće je realizovan u vidu jednostepenog prenosnika sa dva frikciona elementa za svaku gusenicu, dok je kod simetričnih sistema pomoćni pogon najčešće realizovan u vidu tzv. „nultog“ vratila sa jednostepenim prenosnikom u pomoćnom pogonu i po jednim frikcionim elementom za zaokret u svaku stranu.

Tabela 1

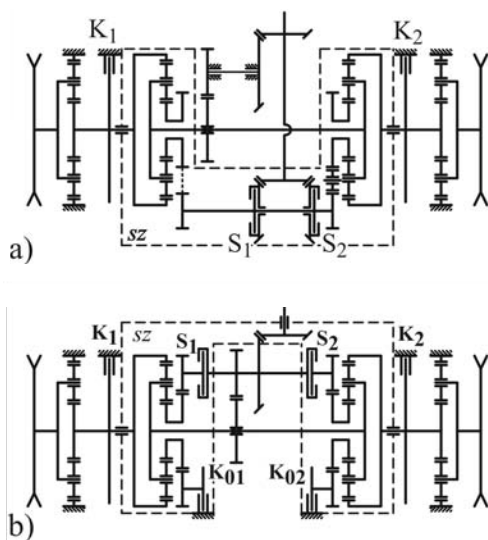
Brzine premotavanja gusenica

Vrsta sistema	Nesimetričan	Simetričan
Brzina premotavanja unutrašnje gusenice	$v_1 = \frac{R - B}{R} \cdot v_0$	$v_1 = v_0 \cdot \frac{2 \cdot (R - B)}{2 \cdot R - B}$
Brzina premotavanja spoljašnje gusenice	$v_2 = v_0$	$v_2 = v_0 \cdot \frac{2 \cdot R}{2 \cdot R - B}$



Sl. 3 – Brzine kretanja vozila u zaokretu

U radu će se razmatrati dve ekvivalentne konfiguracije sistema za prenos snage koje se razlikuju samo u primenjenom sistemu za zaokret. Kao primer nesimetričnog sistema uzet je sistem za prenos snage brzohodnog guseničnog vozila BVP M80A [2]. Kinematska konfiguracija simetričnog sistema dobijena je tako što je razmatranom nesimetričnom sistemu pomoćni pogon zamenjen nultim vratilom. Na slici 4 prikazane su kinematske šeme razmatranih sistema.



Sl. 4 – Kinematske konfiguracije razmatranih sistema za zaokret
a) simetričan sistem; b) nesimetričan sistem

Bilans snage u zaokretu

Bilans snage guseničnog vozila u zaokretu pokazuje odnos snage potrebne za savladavanje spoljašnjih otpora, snage motora potrebne za izvođenje zaokreta i raspoložive snage u funkciji poluprečnika zaokreta. Proračunski uslovi za određivanje bilansa snage su [3, 4]:

– zaokret vozila je ravnomeran, bez ubrzavanja i usporavanja i izvodi se na horizontalnoj podlozi;

– raspored specifičnih pritisaka duž kontaktne površine gusenice na ravnoj podlozi je pravougaoni;

– razmatraju se teorijske brzine i poluprečnici zaokreta bez uzimanja u obzir klizanja i proklizavanja gusenica;

– koeficijent prijanjanja i koeficijent otpora kotrljanja su konstantni, i

– otpor vazduha se zanemaruje zbog relativno male brzine kretanja i veličine ostalih otpora.

Pored navedenih pretpostavki potrebno je naglasiti da brzina vozila pre ulaska u zaokret odgovara maksimalnoj brzini kretanja u datom stepenu prenosa.

Da bi se odredio bilans snage u zaokretu, pored brzina premotavanja gusenica, potrebno je poznavati i sile koje deluju na gusenično vozilo pri zaokretu. Šema sila koje deluju na gusenično vozilo u zaokretu za navedene uslove prikazana je na slici 5.

Na slici 5 prikazane su sledeće sile i momenti: potrebne sile na gusenicama za savladavanje otpora (F_1 , F_2), otpori pravolinijskog kretanja (R_1 , R_2), bočne sile otpora gusenica u zaokretu (S_1 , S_2) i moment otpora zaokretu (M_c) koji je posledica bočnih sila.

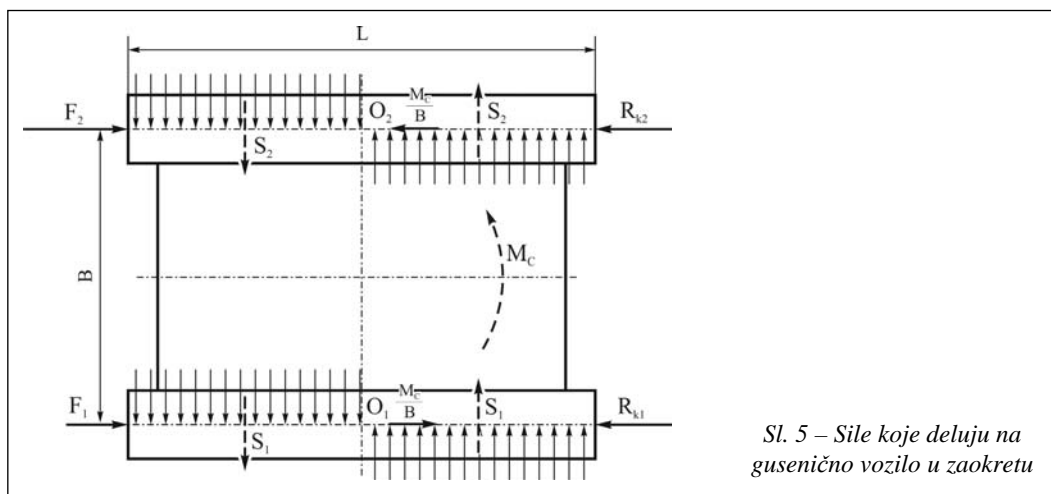
Snaga motora potrebna za izvođenje zaokreta P_{mz} definiše se sledećim izrazom:

$$P_{mz} = P_o + P_{tr} + P_{kl} \quad (1)$$

gde je:

– P_o – snaga potrebna za savladavanje spoljašnjih otpora,

– P_{tr} – snaga potrebna za savladavanje unutrašnjih otpora u elementima sistema za prenos snage i guseničnom kretaču,



Sl. 5 – Sile koje deluju na gusenično vozilo u zaokretu

– P_{kl} – snaga koja se troši na klizanje i proklizavanje u frikcionim elementima (snaga klizanja).

Snaga potrebna za savladavanje spoljašnjih otpora izračunava se prema izrazu [4].

$$P_0 = F_2 v_2 + F_1 v_1 \quad (2)$$

Potrebne sile na gusenicama za ostvarivanje zaokreta u zadatim uslovima izračunavaju se prema sledećim izrazima:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= R_{k1} - \frac{M_C}{B} = f \cdot \frac{G}{2} - \mu \cdot \frac{G \cdot L}{4 \cdot B} \\ F_2 &= R_{k2} + \frac{M_C}{B} = f \cdot \frac{G}{2} + \mu \cdot \frac{G \cdot L}{4 \cdot B} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

gde je:

f – koeficijent otpora kotrljanja,

G – težina vozila,

μ – koeficijent otpora zaokretu,

L – dužina kontaktne površine gusenice,

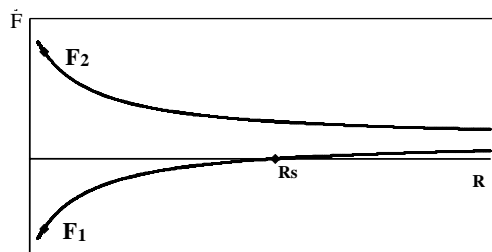
B – širina traga vozila.

Koeficijent otpora zaokretu nije konstantan i izračunava se prema izrazu

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{a(1-a)} \frac{R}{B}, \text{ gde je } a \text{ opitni koeficijent.}$$

Zbog toga i potrebne sile na gusenicama zavise od poluprečnika zaokreta (slika 6).

Na osnovu izraza za brzine premoćavanja gusenica i izraza (3) za potrebne sile na gusenicama za izvođenje zaokreta dobijaju se konačni izrazi za snagu P_0



Sl. 6 – Potrebne sile na gusenicama pri izvođenju zaokreta

a) za simetričan sistem

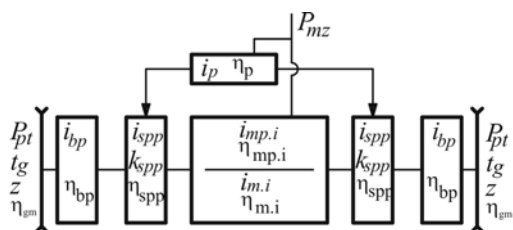
$$P_0 = \frac{2 \cdot R \cdot (F_2 + F_1) - 2 \cdot B \cdot F_1}{2 \cdot R - B} \cdot v_0 \quad (4)$$

b) za nesimetričan sistem

$$P_0 = \frac{(F_2 + F_1) \cdot R - F_1 \cdot B}{R} \cdot v_0 \quad (5)$$

Gubici snage u sistemu za prenos snage i guseničnom kretaču opisuju se stepe-

nom korisnog dejstva po tokovima snage u određenom funkcionalnom stanju. Pošto su tokovi snage za različita funkcionalna stanja različiti, stepen korisnosti određuje se na osnovu parcijalnih stepena korisnosti pojedinih agregata koji su prikazani na slici 7. Pored stepena korisnosti na slici su prikazani i prenosni odnosi (i), karakteristike sumirajućih planetarnih prenosnika (k), kao i parametri pogonskog točka guseničnog kretača – broj zuba z i korak t_g , potrebni za analizu zaokreta.



Sl. 7 – Parametri sistema za prenos snage

Stepen korisnosti guseničnog kretača je veličina koja ima znatan uticaj na bilans snage. Postoje različiti izrazi za njegovo izračunavanje, a u ovom radu koristiće se empirijski izraz [5]

$$\eta_{gm} = 0,95 - 0,005v \quad (6)$$

gde je:

v – brzina premotavanja gusenice u km/h.

Snaga klizanja se u opštem slučaju određuje prema izrazu:

$$P_{kl} = M \cdot \Delta\omega \quad (7)$$

gde je:

M – moment koji prenosi (apsorbuje) frikcionni sklop,

$\Delta\omega$ – razlika ugaonih brzina pogonskih i gonjenih elemenata frikcionnih sklopova.

Da bi se odredila snaga P_{kl} potrebno je poznavati opterećenja i ugaone brzine na frikcionim elementima koji obezbeđuju izvođenje zaokreta u svim funkcionalnim stanjima sistema za zaokret. Zbog toga je po-

trebno analizirati sisteme za zaokret i odrediti funkcionalna stanja i njihove domene u funkciji poluprečnika zaokreta. Funkcionalno stanje sistema za zaokret određeno je dijapazonom poluprečnika zaokreta u kome je aktiviran određeni frikcionni element (od delimičnog do potpunog aktiviranja). Za određivanje tokova snage unutar sistema za zaokret važno je i kakva je priroda aktivnih sila potrebnih za izvođenje zaokreta (slika 6). Sila na spoljašnjoj gusenici uvek je pozitivna i realizuje se kao vučna, dok sila na unutrašnjoj gusenici može biti, zavisno od poluprečnika zaokreta, vučna, jednaka nuli ili kočna. U tabeli 2 prikazana su funkcionalna stanja razmatranih sistema za zaokret i predznak aktivne sile na unutrašnjoj gusenici.

Tabela 2
Funkcionalna stanja sistema za zaokret

	F_1	Simetričan		Nesimetričan		
		S_1	K_1	K_{01}	S_1	K_1
$R = \infty$	+	-	-	+	-	-
$R_0 < R < \infty$	+	-	-	±	-	-
$R = R_0$	0	±	-	-	-	-
$R_{p11} < R < R_s$	-	-	-	-	±	-
$R = R_{p11}$	-	+	-	-	+	-
$(R_{p1} = B) < R < R_{p11}$	-	-	±	-	-	±
$R = R_{p1} = B$	-	-	+	-	-	+

+ – frikcionni sklop uključen
- – frikcionni sklop isključen
± – frikcionni sklop proklizava

Na osnovu tabele 2 zaključuje se da simetrični sistem za zaokret ima dva funkcionalna stanja koja su određena aktiviranjem spojnice S_1 i kočnice K_1 na unutrašnjoj gusenici. Kod nesimetričnog sistema ostvaruju se tri funkcionalna stanja – prvo isključivanjem kočnice K_{01} , drugo uključivanjem spojnice S_1 , a treće uključivanjem kočnice K_1 .

Za određivanje tokova snage potrebno je poznavati i granične poluprečnike funkcionalnih stanja kod kojih su frikcionni elementi potpuno aktivirani. Ti poluprečnici nazivaju se proračunskim i određuju najpovoljnije uslove rada frikcionih elemenata. Oba razmatrana sistema obezbeđuju u svakom stepenu prenosa po jedan proračunski poluprečnik koji je jed-

Tabela 3

Proračunski poluprečnici zaokreta

Vrsta sistema	Nesimetričan	Simetričan
Proračunski poluprečnik zaokreta	$R_{PII} = \frac{(1+k_{spp}) \cdot i_p}{i_m} \cdot B$	$R_{PII} = \frac{(1+k_{spp}) \cdot i_p + i_m}{2 \cdot i_m} \cdot B$

nak širini traga $R_{pl} = B$ i po jedan proračunski poluprečnik koji zavisi od veličine prenosnog odnosa u menjačkom prenosniku i unutrašnjeg prenosnog odnosa sumirajućeg planetarnog prenosnika. U tabeli 3 dati su izrazi za određivanje tog proračunskog poluprečnika zaokreta za razmatrane sisteme.

Na osnovu potrebnih aktivnih sila na gusenicama i parametara guseničnog kretača i sistema za prenos snage određuje se moment na frikcionim elementima, a na osnovu brzina premotavanja gusenica i ugaone brzine na ulazu u sistem za prenos snage – ugaone brzine elemenata frikcionih prenosnika. Konačni izrazi za snagu klizanja dati su sledećim izrazima:

a) za simetričan sistem

$$P_{kl} = \begin{cases} \frac{1}{i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{bp}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} - \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) \cdot \left(\frac{i_m}{1+k_{spp}} - i_p \cdot \frac{B}{2 \cdot R - B} \right) \cdot v_0, & \text{za } R > R_p \\ \frac{F_1 \cdot \eta_m}{\eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{2 \cdot (R - B)}{2 \cdot R - B} \cdot v_0, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (8)$$

b) za nesimetričan sistem

$$P_{kl} = \begin{cases} \frac{F_1 \cdot r_{pt} \cdot \eta_m}{k_{spp} \cdot (1+k_{bp}) \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{k_{spp} \cdot (1+k_{bp})}{r_{pt}} \cdot \frac{B}{R} \cdot v_0, & \text{za } R > R_s \\ \frac{F_1 \cdot r_{pt} \cdot \eta_m}{i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \left(\frac{i_m}{(1+k_{spp})} - i_p \cdot \frac{B}{R} \right) \cdot \frac{v_0}{r_{pt}}, & \text{za } R_p < R < R_s \\ \frac{F_1 \cdot v_0}{\eta_{bp} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{R - B}{R}, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (9)$$

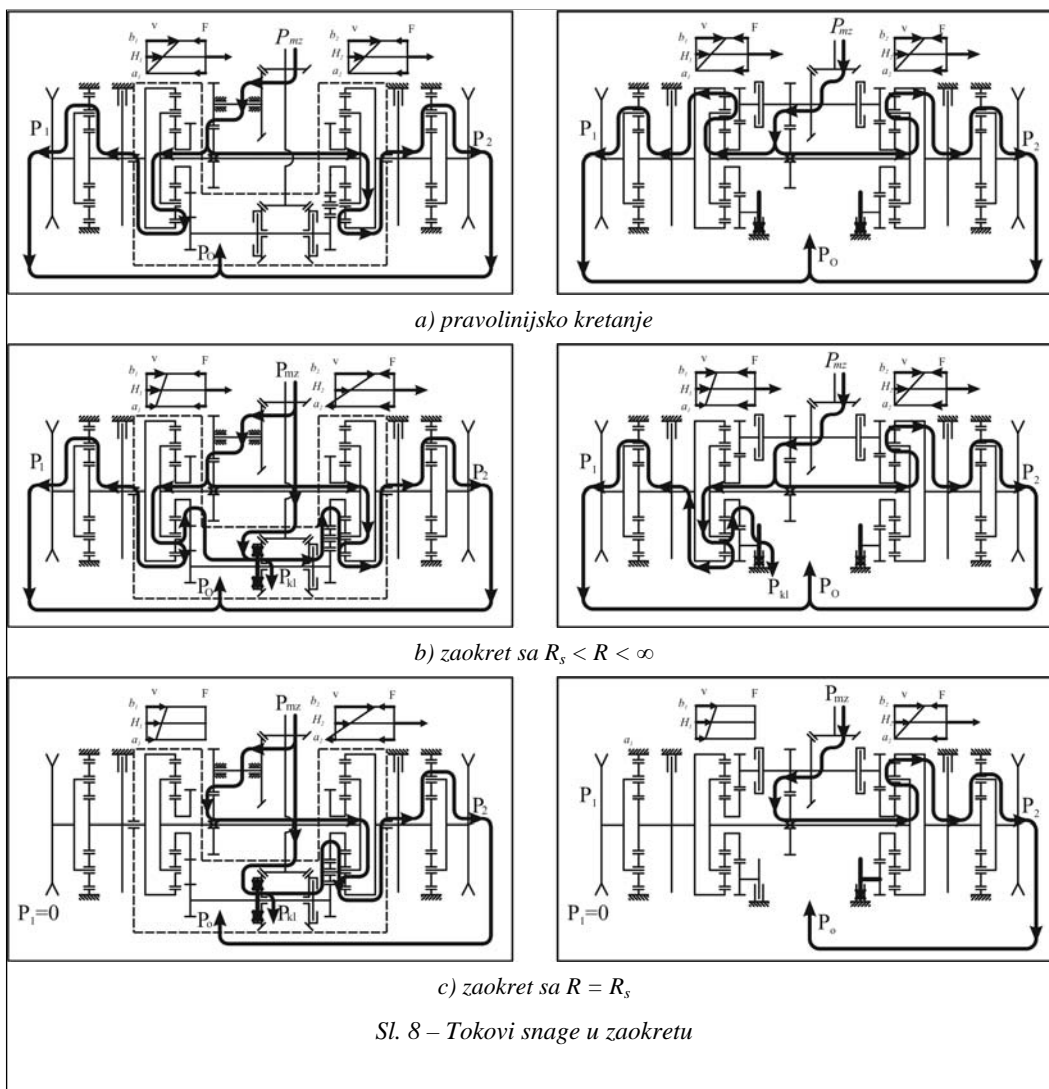
Na osnovu izraza (2), (4), (5), (8) i (9) dobijaju se konačni izrazi za snagu motora potrebnog za izvođenje zaokreta:

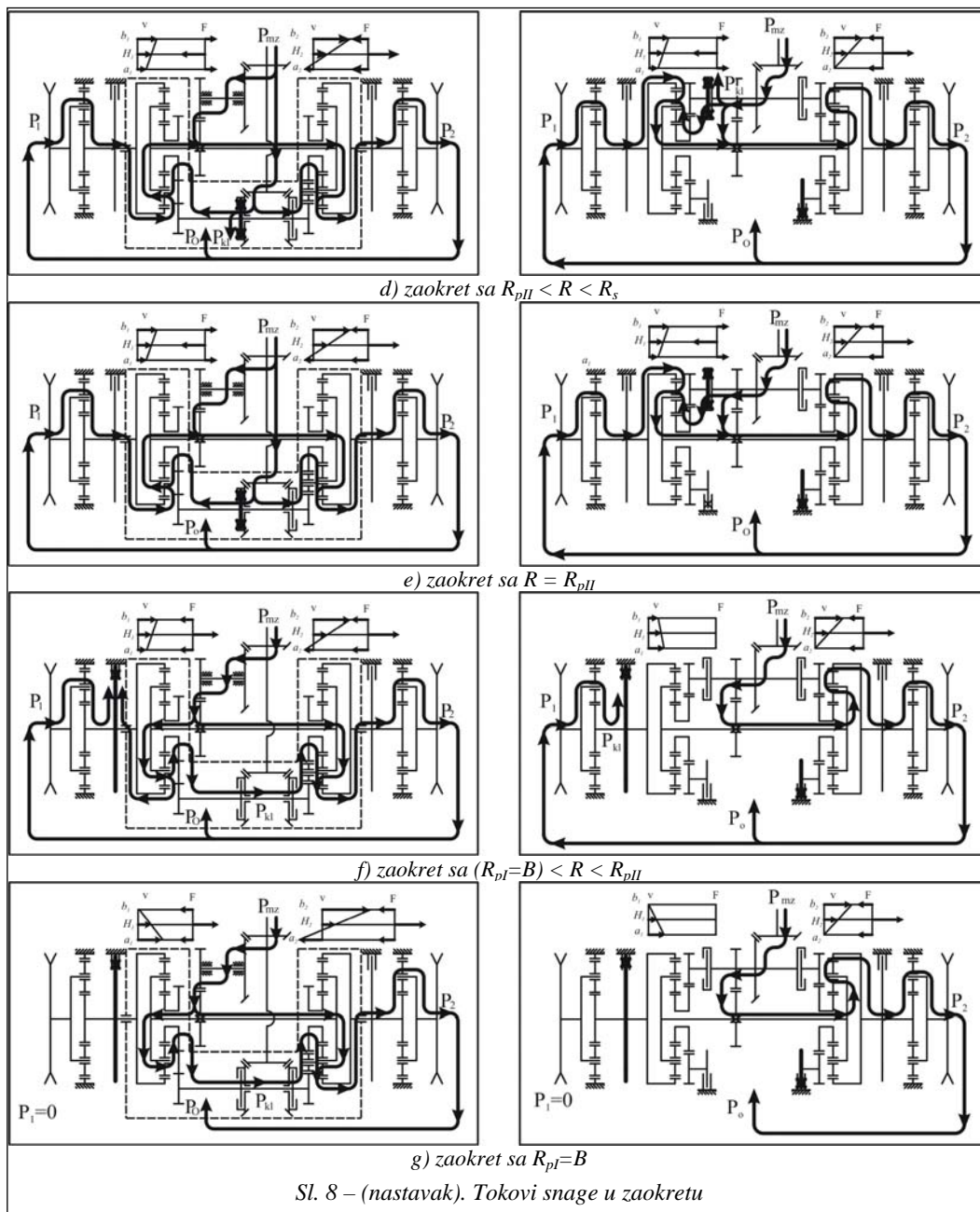
a) za simetričan sistem

$$P_{mz} = \begin{cases} \frac{v_0}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} + \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) + \frac{i_m \cdot \eta_m}{(1+k_{spp}) \cdot i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} - \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) \cdot v_0, & \text{za } R > R_p \\ \frac{1}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{|F_1|}{\eta_{gm.1}} + \frac{F_2}{\eta_{gm.2}} \right) \cdot v_0, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (10)$$

b) za nesimetričan sistem

$$P_{mz} = \begin{cases} \frac{1}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_1}{\eta_{gm.1}} + \frac{F_2}{\eta_{gm.2}} \right) \cdot v_0, & R > R_s \\ \frac{v_0}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} + \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) + \frac{i_m \cdot F_1 \cdot v_0 \cdot \eta_m}{(1 + k_{spp}) \cdot i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}}, & \text{za } R_p < R < R_s \\ \frac{F_2 \cdot v_0}{\eta_{tr} \cdot \eta_{gm.2}}, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (11)$$





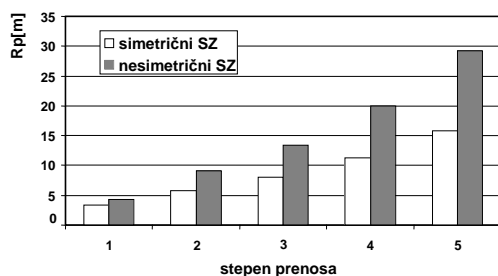
Na osnovu poznatih ugaonih brzina elemenata sistema za prenos snage i momenata na pripadajućim elementima moguće je odrediti i tokove snage unutar sistema. Određivanje tokova snage

veoma je važno sa aspekta analize stepena korisnosti i opterećenja elemenata sistema za prenos snage. Na slici 8 prikazani su tokovi snage u svim funkcionalnim stanjima.

Rezultati proračuna i diskusija

Da bi se sagledao odnos performansi zaokreta za razmatrane sisteme izvršen je proračun poluprečnika zaokreta R_{pII} , snage klizanja i bilansa snage za razmatrane sisteme u prvom i drugom stepenu prenosa. Pri izboru polaznih podataka vodilo se računa o tome da performanse pravolinijskog kretanja budu istovetne.

Promena proračunskih poluprečnika zaokreta prikazana je na dijagramu na slici 9.



Sl. 9 – Promena proračunskog poluprečnika zaokreta u funkciji stepena prenosa

Dijagram pokazuje da su proračunski poluprečnici kod nesimetričnih sistema za zaokret veći nego kod simetričnih sistema. S obzirom na to da je zahtev da proračunski poluprečnik zaokreta bude u zoni u kojoj ne dolazi do bočnog klizanja zaključuje se da nesimetrični sistem ima bolji raspored proračunskih poluprečnika.

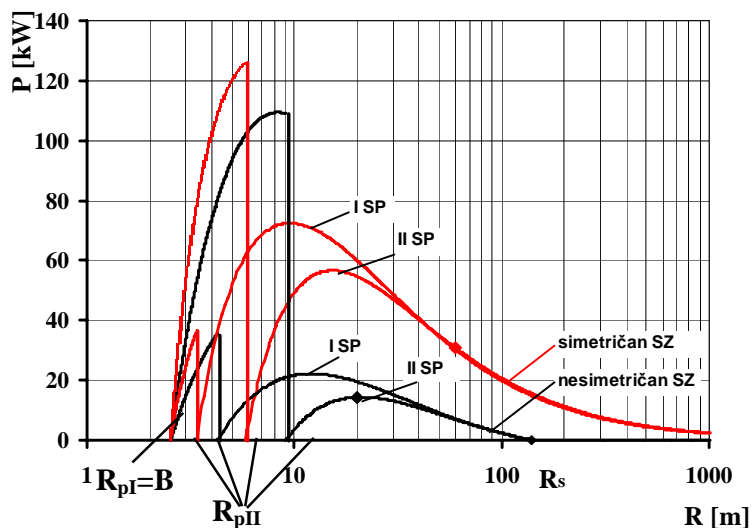
Zavisnost snage klizanja od poluprečnika zaokreta za razmatrane sisteme u I i II stepenu prenosa prikazana je na slici 10.

Na osnovu dijagrama snage klizanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- snaga klizanja veća je kod simetričnih nego kod nesimetričnih sistema za zaokret;

- u području poluprečnika zaokreta između $(R_{pI} = B) < R < R_{pII}$ snaga klizanja kod nesimetričnih sistema veća je u odnosu na snagu klizanja pri drugim poluprečnicima (kod simetričnog sistema taj slučaj prisutan je u drugom i višim stepenima prenosa);

- u području poluprečnika zaokreta $R > R_{pII}$ snaga klizanja sa povećanjem



Sl. 10 – Snaga klizanja

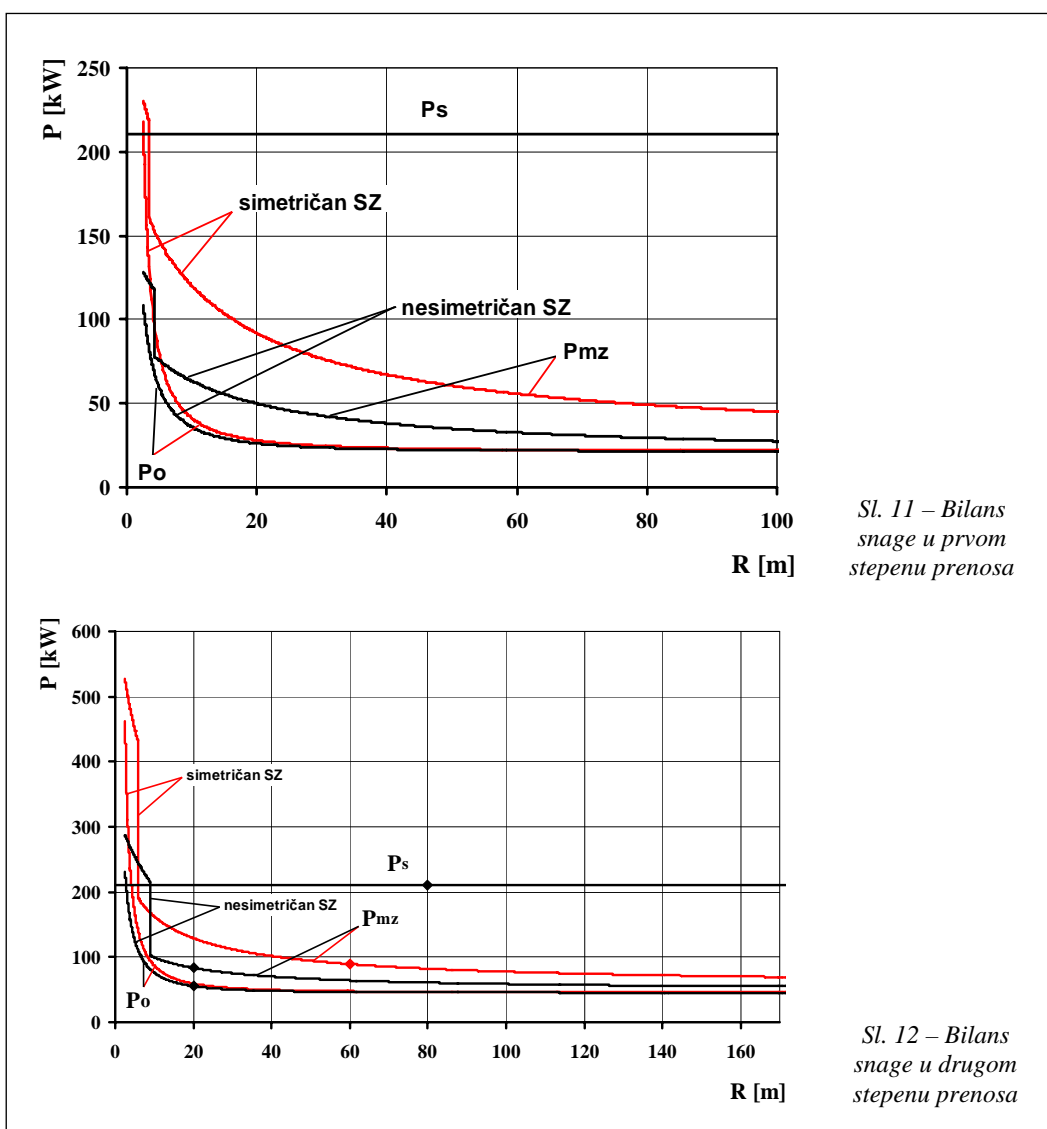
stepena prenosa se smanjuje, što ukazuje na činjenicu da je bolje iskorišćenje snage rekuperacije;

– u području poluprečnika zaokreta $R > R_S$ snaga klizanja kod nesimetričnih sistema je praktično zanemarljiva.

Navedeni zaključci ukazuju na činjenicu da su sa aspekta snage klizanja povoljniji nesimetrični sistemi za zaokret. Takođe, u dijapazonu poluprečnika

zaokreta $R > R_{pII}$ nesimetrični sistemi rade sa dva frikciona elementa, što dodatno olakšava njihove uslove rada.

Mala snaga klizanja pri poluprečnicima zaokreta većim od R_S takođe je povoljna, pošto u tim uslovima dolazi do čestog delimičnog aktiviranja frikcionih elemenata zbog korekcije pravca kretanja. Na dijagramima (slike 11 i 12) prikazan je bilans snage za prvi i drugi stepen prenosa.



Dijagrami pokazuju da je snaga potrebna za savladavanje spoljašnjih otpora kod simetričnog sistema veća nego kod nesimetričnog, s tim da je razlika znatno veća kod manjih poluprečnika zaokreta. Sa povećanjem stepena prenosa potrebna snaga za izvođenje zaokreta raste, zbog povećanja brzine kretanja, tako da sa aspekta bilansa postoji veća mogućnost da vozilo neće biti u stanju da izvrši zaokret. Snaga motora potrebna za izvođenje zaokreta znatno je veća kod simetričnog sistema, tako da je moguće ograničavanje zaokreta i kod minimalnih poluprečnika i u prvom stepenu prenosa.

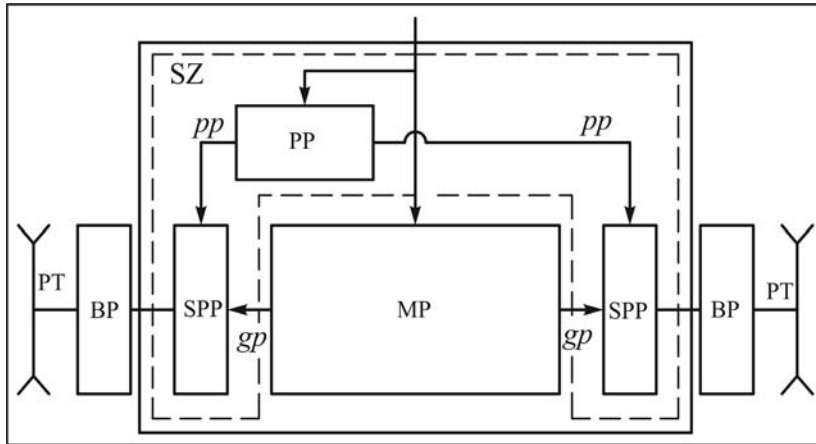
Zaključak

Prikazana analiza performansi zaokreta brzohodnih guseničnih vozila koja su opremljena sistemom za zaokret sa dva toka snage pokazuje da vučne performanse zaokreta bitno zavise od tipa sistema za zaokret. Analiza tokova snage u svim funkcionalnim stanjima bitna je sa aspekta detaljnijeg određivanja unutrašnjih gubitaka, što u radu nije preci-

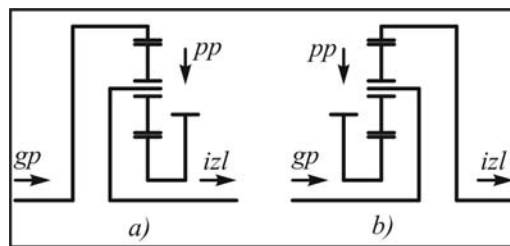
znije analizirano. S obzirom na bilans snage u zaokretu i gubitke snage u sistemu za zaokret prednost imaju nesimetrični sistemi. Međutim, njihov nedostatak je što pri zaokretu dolazi do smanjenja brzine kretanja, odnosno do narušavanja opštih performansi vozila. Dakle, pri izboru sistema za zaokret treba, pored performansi samog sistema, razmatrati i njegovo mesto u ostvarivanju funkcije cilja vozila kao celine, tako da izbor sistema za zaokret bude rezultat kompromisa koji treba da obezbedi najbolje ostvarivanje funkcije cilja.

Literatura:

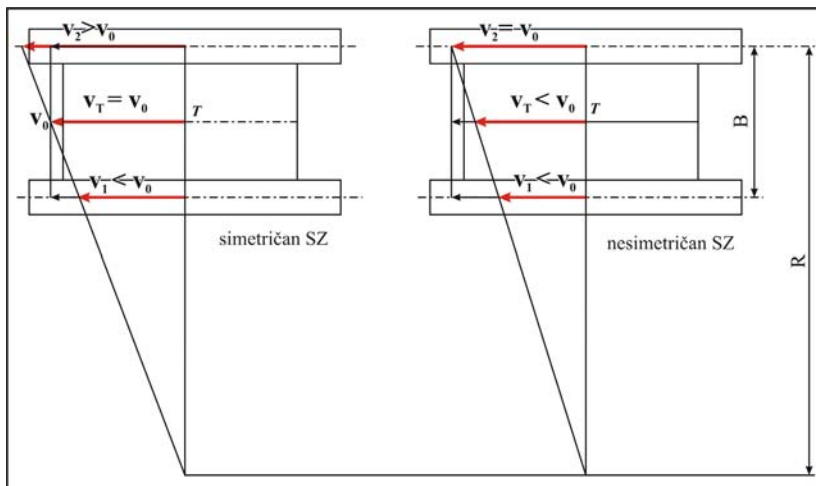
- [1] Dragojević, M.: Složeni sistemi prenosa snage kao osnovna komponenta u ostvarivanju optimalnih brzinskih i vučnih karakteristika i manevarskih sposobnosti savremenih guseničnih vozila domaćeg porekla, doktorska disertacija, TVA, Zagreb, 1974.
- [2] Borbeno vozilo pešadije BVP M80A, tehničko uputstvo TU-I, 1583, SSNO, Beograd, 1989.
- [3] Kovačić, B.: Teorija kretanja motornih vozila, Privredni pregled, Beograd, 1973.
- [4] Muždeka, S., Pantić, M., Arsenić, Ž.: Vučne performanse zaokreta brzohodnih guseničnih vozila, 13. Međunarodni simpozijum MVM 2004, Kragujevac, 2004.
- [5] Demić, M.: Osnovi teorije guseničnih vozila, Tehnički fakultet u Čačku, Kragujevac, 1992.



Sl. 1 – Blok-shema sistema za zaokret sa dva toka snage



Sl. 2 – Najčestće kinematske konfiguracije sumirajućeg planetarnog prenosičnika

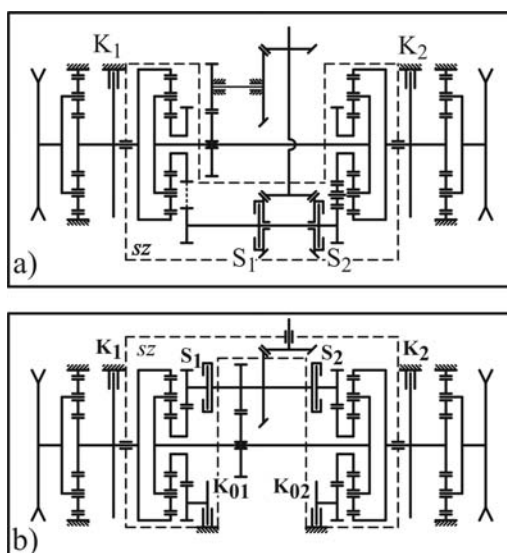


Sl. 3 – Brzine kretanja vozila u zaokretu

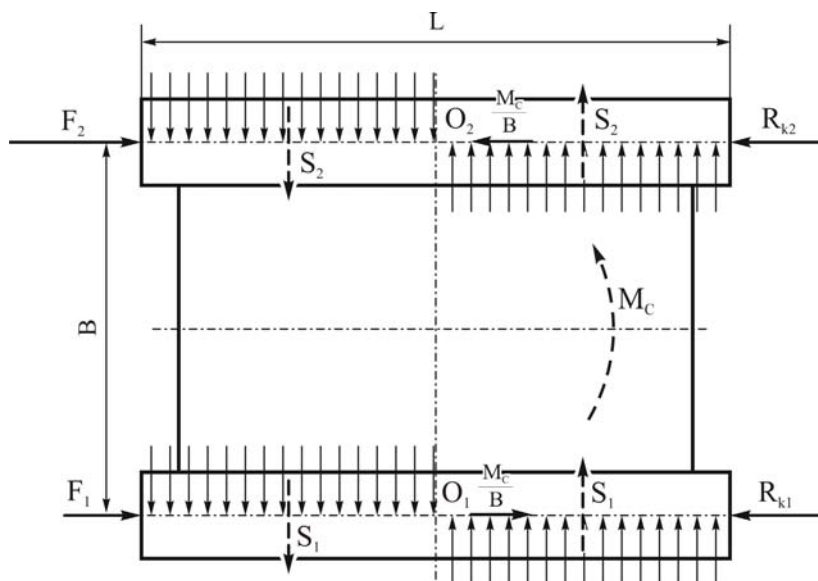
Tabela 1

Brzine premotavanja gusenice

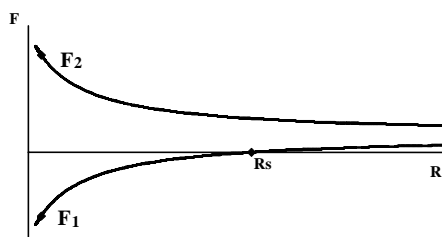
Vrsta sistema	Nesimetričan	Simetričan
Brzina premotavanja unutrašnje gusenice	$v_1 = \frac{R - B}{R} \cdot v_0$	$v_1 = v_0 \cdot \frac{2 \cdot (R - B)}{2 \cdot R - B}$
Brzina premotavanja spoljašnje gusenice	$v_2 = v_0$	$v_2 = v_0 \cdot \frac{2 \cdot R}{2 \cdot R - B}$



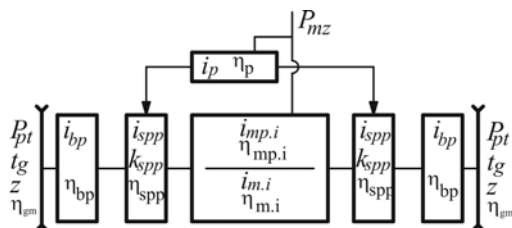
Sl. 4 – Kinematske konfiguracije razmatranih sistema za zaokret
 a) simetričan sistem; b) nesimetričan sistem



Sl. 5 – Sile koje deluju na gusenično vozilo u zaokretu



Sl. 6 – Potrebne sile na gusenicama pri izvođenju zaokreta



Sl. 7 – Parametri sistema za prenos snage

Proračunski poluprečnici zaokreta

Tabela 3

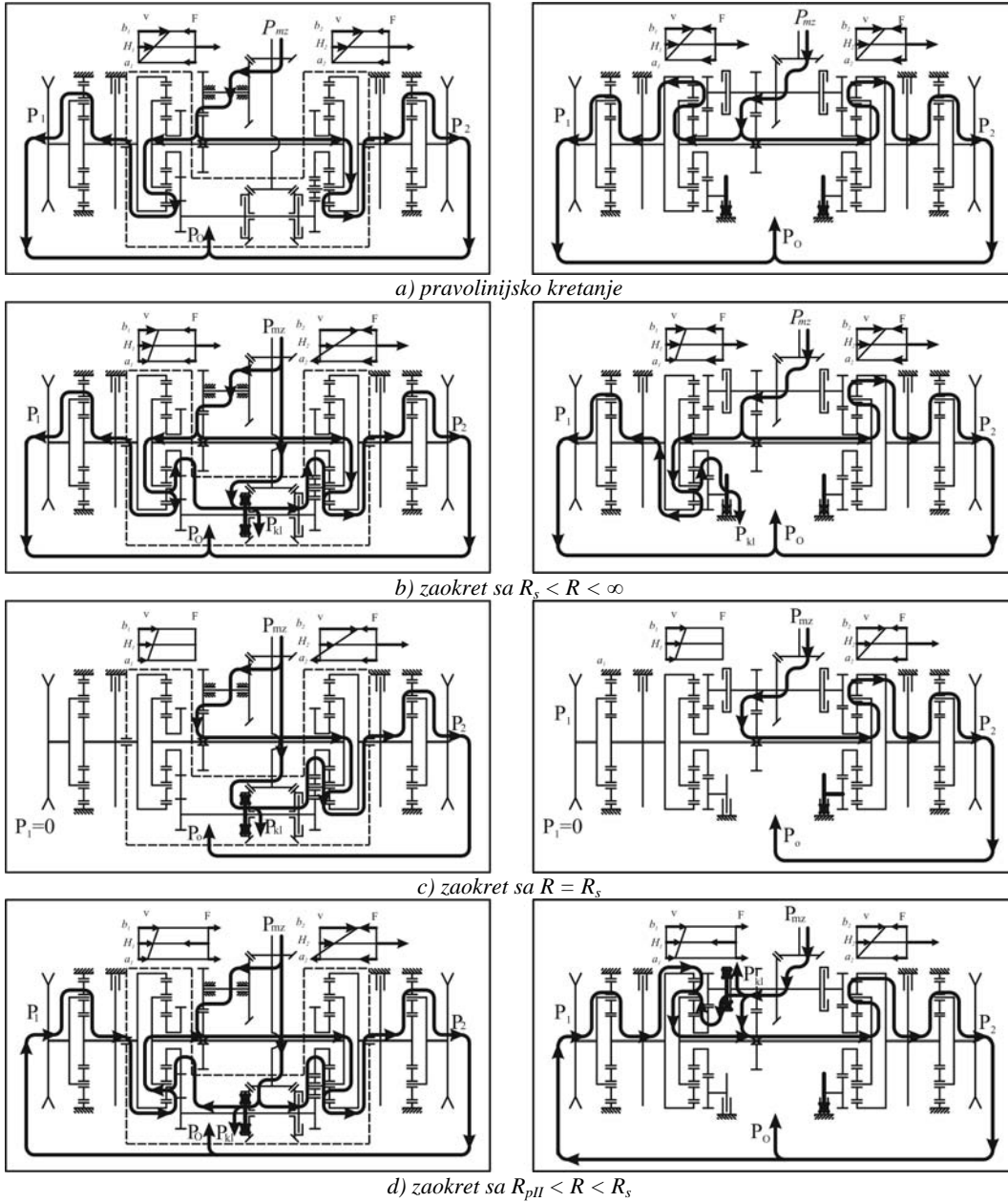
Vrsta sistema	Nesimetričan	Simetričan
Proračunski poluprečnik zaokreta	$R_{PII} = \frac{(1+k_{spp}) \cdot i_p \cdot B}{i_m}$	$R_{PII} = \frac{(1+k_{spp}) \cdot i_p + i_m}{2 \cdot i_m} \cdot B$

$$P_{kl} = \begin{cases} \frac{1}{i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{bp}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} - \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) \cdot \left(\frac{i_m}{1+k_{spp}} - i_p \cdot \frac{B}{2 \cdot R - B} \right) \cdot v_0, & \text{za } R > R_p \\ \frac{F_1 \cdot \eta_m}{\eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{2 \cdot (R - B)}{2 \cdot R - B} \cdot v_0, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (8)$$

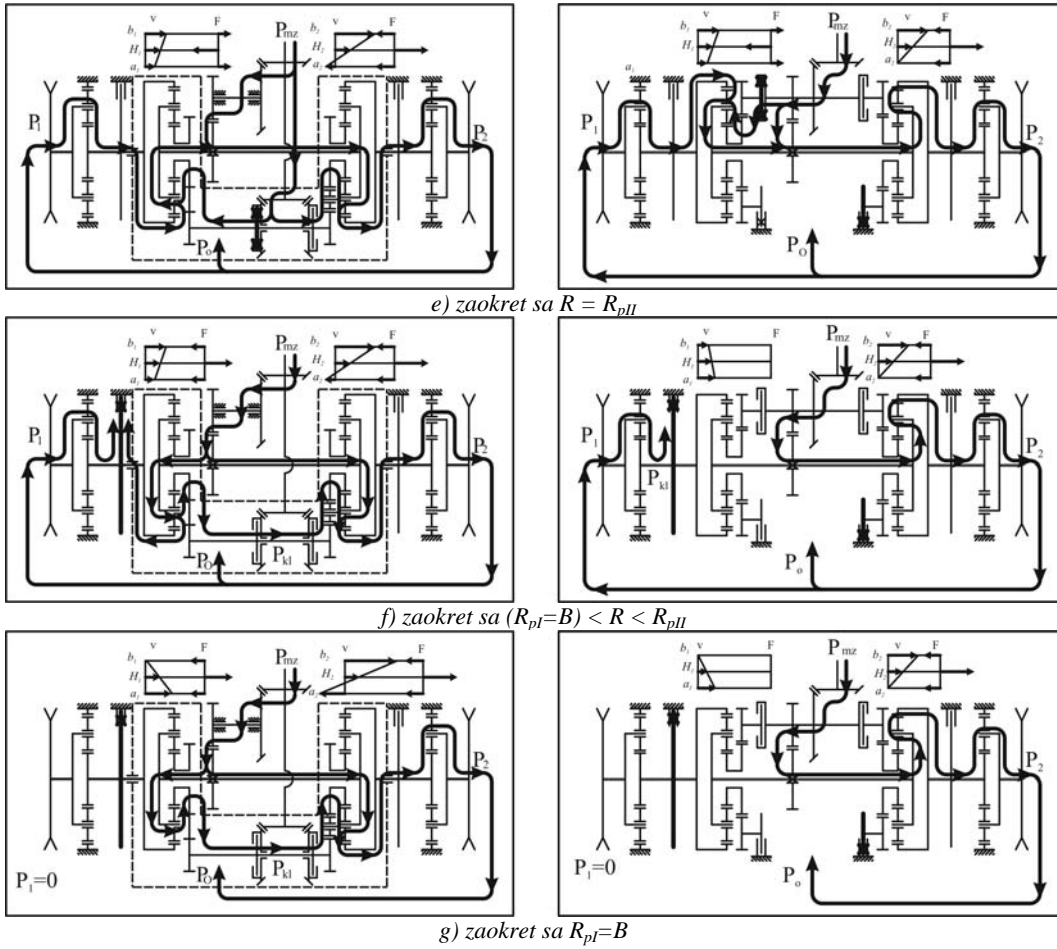
$$P_{kl} = \begin{cases} \frac{F_1 \cdot r_{pt} \cdot \eta_m}{k_{spp} \cdot (1+k_{bp}) \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{k_{spp} \cdot (1+k_{bp})}{r_{pt}} \cdot \frac{B}{R} \cdot v_0, & \text{za } R > R_s \\ \frac{F_1 \cdot r_{pt} \cdot \eta_m}{i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \left(\frac{i_m}{(1+k_{spp})} - i_p \cdot \frac{B}{R} \right) \cdot \frac{v_0}{r_{pt}}, & \text{za } R_p < R < R_s \\ \frac{F_1 \cdot v_0}{\eta_{bp} \cdot \eta_{gm.1}} \cdot \frac{R - B}{R}, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (9)$$

$$P_{mz} = \begin{cases} \frac{v_0}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} + \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) + \frac{i_m \cdot \eta_m}{(1+k_{spp}) \cdot i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} - \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) \cdot v_0, & \text{za } R > R_p \\ \frac{1}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{|F_1|}{\eta_{gm.1}} + \frac{F_2}{\eta_{gm.2}} \right) \cdot v_0, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (10)$$

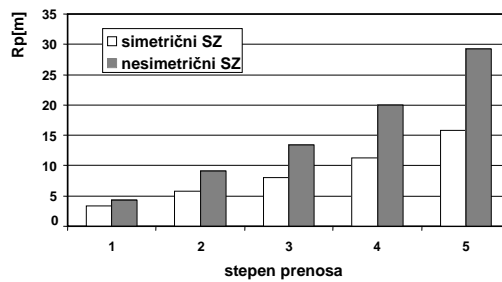
$$P_{mz} = \begin{cases} \frac{1}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_1}{\eta_{gm.1}} + \frac{F_2}{\eta_{gm.2}} \right) \cdot v_0, & R > R_s \\ \frac{v_0}{\eta_{tr}} \cdot \left(\frac{F_2}{\eta_{gm.2}} + \frac{F_1}{\eta_{gm.1}} \right) + \frac{i_m \cdot F_1 \cdot v_0 \cdot \eta_m}{(1+k_{spp}) \cdot i_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{gm.1}}, & \text{za } R_p < R < R_s \\ \frac{F_2 \cdot v_0}{\eta_{tr} \cdot \eta_{gm.2}}, & \text{za } B < R < R_p \end{cases} \quad (11)$$



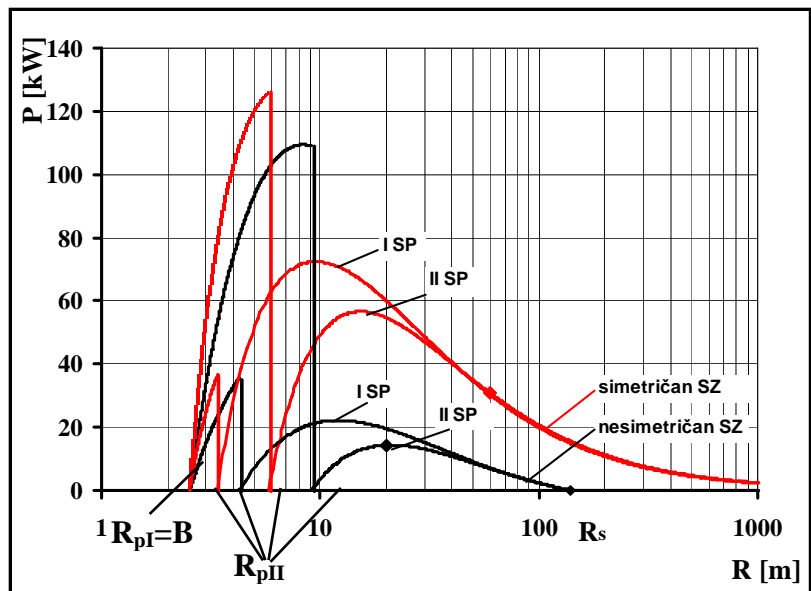
Sl. 8 – Tokovi snage u zaokretu



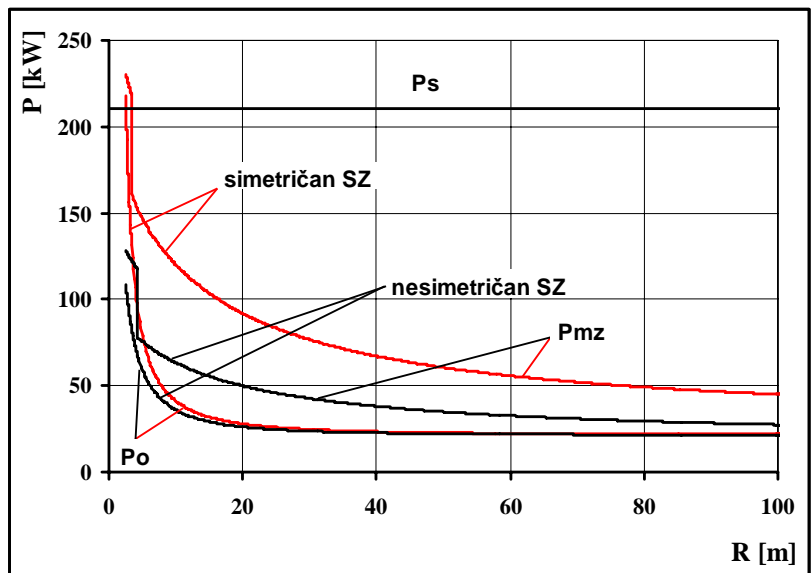
Sl. 8 (nastavak). Tokovi snage u zaokretu



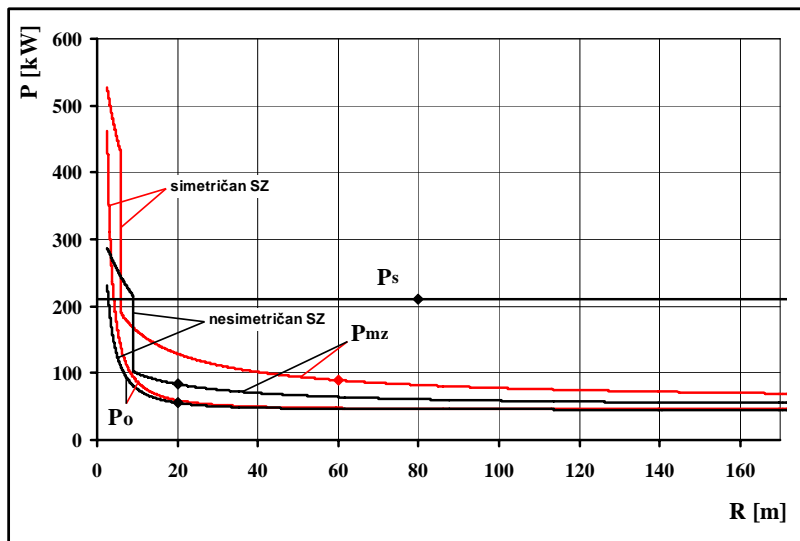
Sl. 9 – Promena proračunskog poluprečnika zaokreta u funkciji stepena prenosa



Sl. 10 – Snaga klizanja



Sl. 11 – Bilans snage u prvom stepenu prenosa



Sl. 12 – Bilans snage u drugom stepenu prenosa

Mr Nebojša Gaćeša,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnoizdavački zavod,
Beograd

SIMULACIONI MODEL SISTEMA ZA UPRAVLJANJE LETOM PROTIVBRODSKE RAKETE

UDC: 623.462.3

Rezime:

U radu je analiziran program za simulaciju sistema za upravljanje letom protivbrodske rakete sa radarskom glavom za samonavođenje. Analiziran je matematički model rakete, model autopilota i model cilja. Ovakvim pristupom dobijen je rezultat koji omogućava uspostavljanje realnijeg procesa praćenja leta konkretne protivbrodske rakete, budući da upravljanje letom rakete na celoj trajektoriji ima znatne prednosti u odnosu na nevođene projekte, pre svega zbog mogućnosti gađanja pokretnih ciljeva. Simulacioni model upravljanja letom rakete pruža mogućnosti za dalje proučavanje ove klase raketa.

Ključne reči: protivbrodska raketa, sistem za upravljanje letom, vođenje, radarska glava za samonavođenje, autopilot, simulacija, simulacioni model.

MODEL FOR SIMULATING THE FLIGHT CONTROL SYSTEM OF AN ANTISHIP MISSILE

Summary:

The paper analyzes a program for simulating the flight control of an antiship missile with the radar seeker. The paper analyzes a mathematic missile model, an autopilot model and a target model. Thus obtained results enable a more realistic process of flight tracking of a particular antiship missile as the missile guidance along the whole trajectory provides many advantages over unguided projectiles, primarily because of the possibility to fire at moving targets. The flight control simulation model enables further study of this missile class.

Key words: antiship missile, flight control system, guidance, radar seeker, autopilot, simulation, simulation model.

Uvod

Pod sistemom za upravljanje letom rakete (SULR) podrazumevaju se svi uređaji koji obezbeđuju susret vođene rakete sa ciljem. Zadatak sistema za upravljanje letom rakete je da eliminiše ili dovede u dopuštene granice greške gađanja po daljini i pravcu, u sledećim fazama:

– određivanje grešaka, tj. veličine odstupanja rakete od zadate (potrebne) trajektorije leta rakete;

– stvaranje signala upravljanja, čija veličina zavisi od veličine greške odstupanja, a znak („+“ ili „-“) od smera odstupanja;

– dovođenje signala upravljanja na organe upravljanja raketom (na kormilar-ske mašine i dalje na elerone, kormila pravca i kormila visine);

– određivanje željenog uglovnog položaja rakete u prostoru, tj. obezbeđivanje uglovne stabilizacije rakete u odnosu na njen centar težišta.

Sistem za upravljanje letom rakete radi na sledeći način.

Podaci o položaju cilja i položaju rakete, koji su određeni na neki način (u zavisnosti od načina vođenja rakete) kao koordinate cilja i koordinate rakete, dolaze na ulaz računarskog bloka i u njemu se obrađuju na takav način da se proračuna trajektorija leta rakete, koja će obezbediti susret vođene rakete sa ciljem. Ako se uređaj za vođenje rakete nalazi izvan rakete (u slučaju teleupravljanja), proračunati signali upravljanja predaju se radio-putem, posredstvom predajnika komandnih signala (komandni signali nose informaciju o odstupanju rakete od cilja). Proračun trajektorije leta rakete neprekidno se koriguje, u zavisnosti od manevra cilja. Grešku sistema za upravljanje letom rakete predstavlja odstupanje rakete od željene, tj. računarom proračunate trajektorije leta rakete. U zavisnosti od veličine i smera greške, stvaraju se signali upravljanja koji se vode na ulaz komparatora automata za stabilizaciju rakete. Pod dejstvom signala sa izlaza komparatora, koji se pojačavaju u pojačivaču autopilota, aktiviraju se kormilarske mašine, odnosno izvršni motori, čime se kormila zakreću u stranu koja raketu dovodi na proračunatu trajektoriju leta rakete, odnosno sve dotle dok signal na izlazu komparatora ne bude jednak nuli. Kada nema odstupanja od proračunate trajektorije leta, signali upravljanja na izlazu komparatora jednaki su nuli i automat za stabilizaciju rakete stabilizuje raketu na potrebnoj trajektoriji. Ako na raketu, iz bilo kojih razloga, deluje neki neželjeni spoljašnji poremećaj, tada će veličinu i smer delovanja takvog poreme-

ćaja registrovati osetljivi elementi – senzori (npr: tri slobodna žiroskopa – kursa, visine i bočnog nagiba, te radio-visinomer), koji će na svom izlazu dati odgovarajući signal koji se vodi na jedan od ulaza komparatora. Sa izlaza komparatora, razlika signala ili signal greške pojačavaju se na pojačivaču, te vode na izvršni motor koji zakreće kormila, a ona aerodinamičkim putem zakreću raketu sve dok se ne otklone posledice neželjenog poremećaja.

Model rakete

Kretanje rakete, odnosno dinamički model kretanja rakete, pod uticajem spoljnih sila, može se potpuno opisati sa šest diferencijalnih jednačina. Tim modelom omogućava se izračunavanje svih odziva rakete (parametara aksijalnih i ugaonih kretanja). Za raketu koja se kreće kroz atmosferu, spoljne sile su kombinacija sile zemljine teže, sile potiska i aerodinamičkih sila. Poznavanje dinamičkih osobina rakete, kao objekta upravljanja, neophodno je u cilju projektovanja SULR. Model dinamike leta rakete omogućava ocenu njenih globalnih performansi, koje proističu iz njene konstrukcije, kao što su aerodinamička konfiguracija i pogon. Raketa kao objekt upravljanja predstavlja nelinearan, nestacionaran, multivarijabilan sistem. Kako je to sistem koji se predstavlja kompleksnim sistemom jednačina, relativno visokih dimenzija, sa velikim brojem podataka i potrebom za velikom memorijom za njihovo rešenje, vrše se neophodna pojednostavljenja. Stoga se polazi od pretpostavke da je raketa kruto telo, da se

njeno kretanje podvrgava zakonima o održanju količine kretanja i momenta količine kretanja, te vrši pogodan izbor koordinatnog sistema. Usvaja se da se koordinatni početak poklapa sa centrom inercije i da se koordinatne ose poklapaju sa glavnim osama inercije, te osnosimetričnost rakete, što znači jednakost momenta inercije oko poprečnih osa. Na osnovu navedenih pretpostavki izvodi se odgovarajući sistem nehomogenih, nelinearnih diferencijalnih jednačina [6]. Vektorske diferencijalne jednačine kojima se izražavaju zakoni o održanju količine kretanja i momenta količine kretanja su:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{M} \quad (2)$$

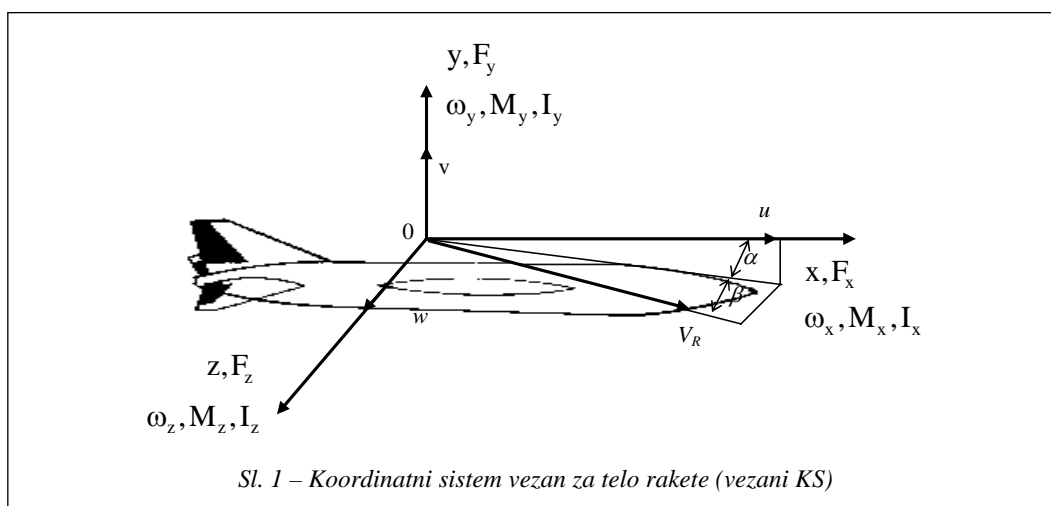
gde \vec{P} i \vec{K} predstavljaju linearni, odnosno ugaoni moment krutog tela u kretanju u odnosu na inercijalni koordinatni sistem, a \vec{F} i \vec{M} vektore spoljnih sila, odnosno momenata koji deluju na kruto telo.

Koordinatni sistemi rakete kao objekta upravljanja

Da bi se opisalo kretanje rakete, neophodno je definisati koordinatne sisteme (KS) u odnosu na koje se kretanje posmatra. U simulaciji su korišćeni KS vezani za zemlju, za telo rakete i za brzinu rakete. Smisao uvođenja pokretnih KS (vezanih za telo rakete i vektor brzine rakete) ogleda se u jednostavnijem projektovanju vektorskih diferencijalnih jednačina (1) i (2) na ose datih KS.

a) Koordinatni sistem vezan za zemlju (inercijalni KS)

KS vezan za zemlju ili zemaljski KS ($OX_0Y_0Z_0$) vezan je za površinu Zemlje, sa osom OX_0 koja leži u ravni paralelnoj sa ravni mesnog horizonta i upravljena je proizvoljno. Osa OY_0 usmerena je duž mesne vertikale, a osa OZ_0 postavlja se tako da formira desni KS. U zemaljskom KS posmatra se kretanje težišta rakete. Zbog kratkoće leta, brzina znatno manjih od prve kosmičke brzine i leta u predelima atmosfere, pri analizi kretanja rakete taktičke namene moguće je zanemariti



rotaciju Zemlje oko sopstvene ose i zakrivljenost njene površine. Zato se zemaljski KS smatra inercijalnim (nepokretnim u prostoru).

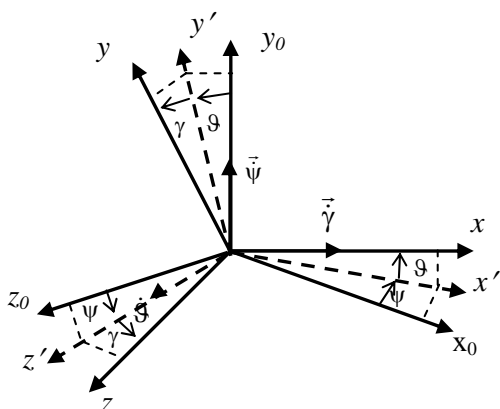
b) Koordinatni sistem vezan za telo rakete (vezani KS)

Koordinatni početak vezanog KS (sl. 1) nalazi se u centru gravitacije tela rakete, osa OX poklapa se sa podužnom osom tela rakete (u pravcu ose simetrije), pozitivno orijentisana u smeru leta rakete i sa osom OY leži u vertikalnoj ravni simetrije. Ose su upravljene duž glavnih osa inercije, jer se u najvećem broju slučajeva glavne ose inercije vrlo blisko poklapaju sa geometrijskim osama simetrije. Osa OZ je normalna na vertikalnu ravan simetrije u smeru desnog krila rakete.

Položaj osa vezanog KS u odnosu na inercijalni KS određen je skupom Ojlerovih uglova: propinjanja ϑ , skretanja Ψ i valjanja γ , kao na slici 2.

Prelaz iz vezanog u inercijalni KS vrši se sledećim redosledom rotacija:

- rotacija oko OY₀ ose, u pozitivnom smeru, za ugao skretanja,
- rotacija oko OZ₀ ose, u pozitivnom smeru, za ugao propinjanja.



Sl. 2 – Veza između inercijalnog i vezanog KS

c) Koordinatni sistem vezan za vektor brzine rakete (brzinski KS)

Prelaz iz vezanog u brzinski KS vrši se:

- rotacijom oko ose OY vezanog KS za napadni ugao α i
- rotacijom oko zakrenute ose Z_B, koja predstavlja bočnu silu (silu klizanja) – jednačina (6), za ugao klizanja β.

Kao varijanta brzinskog KS značajan je i tzv. polubrziški KS, čija osa OY_p leži u vertikalnoj ravni inercijalnog KS (OX₀Y₀), a osa OZ_p u horizontalnoj ravni inercijalnog KS (OX₀Z₀).

Dinamičke jednačine kretanja rakete

Detaljno izvođenje jednačina kretanja rakete objašnjeno je u [6] i [7].

Skup 12 skalarnih diferencijalnih jednačina koje opisuju kretanje rakete moguće je predstaviti na sledeći način:

$$\left. \begin{array}{l} dV/dt \\ d\Theta/dt \\ d\Psi/dt \\ d\omega_x/dt \\ d\omega_y/dt \\ d\omega_z/dt \\ d\psi/dt \\ d\vartheta/dt \\ d\gamma/dt \\ dx_0/dt \\ dy_0/dt \\ dz_0/dt \end{array} \right| = \left. \begin{array}{l} F_{xp}/m \\ F_{yp}/mV \\ -F_{zp}/mV \cos\Theta \\ M_x/I_x \\ [M_y + (I_z - I_x)\omega_x\omega_z]/I_y \\ [M_z + (I_x - I_y)\omega_x\omega_y]/I_z \\ (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma)/\cos\vartheta \\ \omega_y \sin\gamma + \omega_z \cos\gamma \\ \omega_x - (\omega_y \cos\gamma - \omega_z \sin\gamma) \operatorname{tg}\vartheta \\ V \cos\Theta \cos\Psi \\ V \sin\Theta \\ -V \cos\Theta \sin\Psi \end{array} \right| \quad (3)$$

U jednačinama (3) na levim stranama su promenljive u obliku tzv. stanja sistema skalarnih diferencijalnih jednačina.

F_{xp} , F_{yp} i F_{zp} predstavljaju oznake za komponente spoljašnjih sila duž osa polubrzinskog KS. Dati sistem jednačina (3), uz određivanje početnih uslova, dovoljan je za proračun dinamike leta rakete sa blokiranim upravljačim površinama ili sa njihovim programskim otklanjanjem.

Model aerodinamike rakete

Osobine aerodinamičkih sila i momenata, kao funkcija napadnih uglova rakete i uglova otklona upravljačkih površina, zavise od tipa simetrije rakete, koja je opet funkcija rasporeda nosećih površina rakete. Simulacioni model aerodinamike rakete strukturno čine ulazne i izlazne veličine.

Ulazne veličine:

– kinematske veličine (trenutne vrednosti napadnih uglova α i β , izvoda napadnih uglova $\dot{\alpha}$ i $\dot{\beta}$, ugaonih brzina rakete ω_x , ω_y , ω_z , te linearnih brzina u , v , w);

– otkloni upravljačkih površina (trenutne vrednosti δ_h i δ_v , i njihovih izvoda $\dot{\delta}_h$ i $\dot{\delta}_v$);

– parametri atmosfere (gustina vazduha ρ , pritisak p_a i temperatura T_a).

Izlazne veličine:

– komponente aerodinamičkih sila i momenata (u vezanom koordinatnom sistemu);

– šarnirni momenti (aerodinamičko opterećenje upravljačkih površina).

Komponente aerodinamičke sile na ose vezanog koordinatnog sistema (aero-

dinamička uzdužna, poprečna i normalna sila) mogu se dobiti kao:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} C_x \rho V_a^2 S \\ \frac{1}{2} C_y \rho V_a^2 S \\ \frac{1}{2} C_z \rho V_a^2 S \end{pmatrix} \quad (4)$$

gde su:

C_x , C_y , C_z – bezdimenzionalni (aerodinamički) koeficijenti,

ρ – gustina vazduha [kg/m^3],

V_a – brzina leta u odnosu na vazduh [ms^{-1}],

S – karakteristična površina (obično poprečni presek tela rakete [m^2]).

Komponente aerodinamičkog momenta duž osa vezanog koordinatnog sistema (momenat valjanja, propinjanja i skretanja) su:

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} C_l \rho V_a^2 S b \\ \frac{1}{2} C_m \rho V_a^2 S c \\ \frac{1}{2} C_n \rho V_a^2 S b \end{pmatrix} \quad (5)$$

gde su:

C_l , C_m , C_n – bezdimenzionalni (aerodinamički) koeficijenti,

c – raspon krila rakete,

b – srednja aerodinamička tetiva.

Umesto komponenta aerodinamičke sile duž osa vezanog KS, uobičajeno je da se posmatraju njene komponente duž osa brzinskog KS, odnosno polubrzinskog KS. U brzinskom KS kompo-

nente aerodinamičke sile su: X_B – sila otpora, Y_B – sila uzgona, Z_B – bočna sila (sila klizanja). Sve deluju u negativnom smeru odnosnih osa vezanog KS.

Komponente aerodinamičke sile u polubrzijskom KS su, prema tome:

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_B \\ Y_B \cos \gamma_c - Z_B \sin \gamma_c \\ Y_B \sin \gamma_c + Z_B \cos \gamma_c \end{pmatrix} \quad (6)$$

Dakle, aerodinamička sila i aerodinamički momenat nastaju kao posledica međusobnog delovanja rakete i vazdušne sredine. Prvenstveno zavise od brzine rakete, gustine vazduha (tj. visine leta), geometrije rakete, položaja rakete prema struji vazduha i karakteristika upravljačkih površina. Aerodinamički koeficijenti u osnovi zavise od oblika rakete, njene orijentacije u odnosu na struju vazduha, te od kriterijuma aerodinamičke sličnosti

(Mahovog broja $M = \frac{V_v}{a}$ i Rejnaldsovog

broja $Re = \frac{V_v b}{\nu}$, gde je a – brzina prostiranja zvuka u vazduhu, ν – kinematski koeficijent viskoznosti vazduha i V_v – brzina rakete u odnosu na vazduh). Određivanje aerodinamičkih koeficijenata je aproksimativno, pri čemu se u obzir uzima poremećajno kretanje tela rakete u okolini nominalne trajektorije duž koje postoji ravnoteža svih spoljnih sila i momenata. Pretpostavka o srazmerno malim poremećajima u okolini nominalne trajektorije omogućava primenu postupka linearizacije, odnosno aproksimacije nelinearnih zavisnosti aerodinamičkih koeficijenata od kinematskih parametara, razvojem u Tejlorov niz:

$$C(k_1, k_2, \dots, k_n) \cong \frac{\partial C}{\partial k_1} \Delta k_1 + \frac{\partial C}{\partial k_2} \Delta k_2 + \dots + \frac{\partial C}{\partial k_n} \Delta k_n \quad (7)$$

gde su:

C – aerodinamički koeficijent (nelinearno zavisan od kinematskih parametara k_i , $i = 1, \dots, n$),

$\frac{\partial C}{\partial k_i}$ – aerodinamički derivativ – parcijalni

izvod aerodinamičkog koeficijenta C po kinematskoj veličini k_i , izračunat za nominalne vrednosti parametara,

Δk_i – odstupanje kinematskog parametra u okolini nominalne veličine.

Svaki od aerodinamičkih koeficijenata zavisi od određenih kinematskih parametara, tako da se neki mogu zanemariti. Zanimarenja su moguća ne samo zbog zanemarive veličine aerodinamičkog derivata, već i množenja sa drugim malim veličinama, čime je ukupan doprinos u aerodinamičkom koeficijentu zanemariv. Proračun aerodinamičkih koeficijenata vrši se uz pretpostavku o malim napadnim uglovima. Pod malim uglovima smatra se onaj opseg napadnih uglova za koje važi: *aerodinamički koeficijenti osnosimetrične konfiguracije krilo–telo ne zavise od orijentacije rakete (kružna simetrija) i linearne su funkcije napadnog ugla i otklona upravljačkih površina*. Da bi ovaj uslov bio zadovoljen, potrebno je da su aerodinamički koeficijenti izolovanih elemenata (telo, upravljačke površine – krmila) linearna funkcija napadnog ugla, što znači da ne dolazi do odvajanja vrtloga sa tela i prednje ivice nosećih površina, ili je uti-

caj ovih vrtloga zanemariv, te je uticaj vrtloga koji se odvajaju sa zadnje ivice krmila (upravljajuće površine) ili tela na zadnju kombinaciju mali. Opseg malih napadnih uglova moguće je dovoljno tačno odrediti jedino eksperimentalno. U literaturi se u tu svrhu obično preporučuje i posmatra oblast od 5° do 6° . Naime, sile na kombinaciji krilo–telo, usled vrtloga koji se odvajaju sa zadnje ivice krmila, istog su reda veličine kao i sile izolovanih elemenata, te se ne mogu zanemariti. Po svojoj prirodi, ove su sile nelinearne funkcije napadnog ugla, što je i uzrok nelinearnosti aerodinamičkih koeficijenata rakete. Pretpostavka da su u referentnom kretanju kinematički parametri i uglovi otklona upravljačkih površina dovoljno male veličine u većini slučajeva nije gruba, posebno za rakete kod kojih je izvršena stabilizacija valjanja i čija trajektorija leži u granicama relativno malog prostornog ugla. Referentnom trajektorijom naziva se teorijska trajektorija sa nominalnim vrednostima parametara rakete i sistema upravljanja, zadatim početnim uslovima, definisanim manevrom cilja, standardnim parametrima atmosfere itd. Realna trajektorija uvek se razlikuje od teoretske, ne samo po tome što se dinamičke osobine rakete i SULR opisuju jednačinama samo približno, već i kao rezultat delovanja niza slučajnih faktora na raketu i SULR kao poremećajima kretanja. Referentno kretanje, koje uzima u obzir delovanje različitih vidova poremećaja, naziva se poremećajnim. Obično se u linearizaciji zanemaruje uticaj prirasta visine leta rakete y na aerodinamičke sile i momente, jer je taj uticaj veoma mali. Aerodinamički koeficijenti mogu se iz-

računati u funkciji totalnog napadnog ugla, ugla orijentacije projektila, ugla ravni upravljanja, rezultujućeg ugla otklona upravljačkih površina – kada su u pitanju doprinosi statičkih sila i u funkciji ugaonih brzina – kada su u pitanju doprinosi dinamičkih sila. Osim „selekcije“ aerodinamičkih derivata, treba uzeti u obzir zavisnost aerodinamičkih derivata od Mahovog broja. Ova zavisnost određuje se eksperimentalno (interpolacijom mernih tačaka) ili proračunom. Usvaja se da je ova zavisnost poznata (zadata tablično, iz koje se za trenutnu brzinu rakete zavisnost izračunava linearnom interpolacijom između dve najbliže vrednosti).

Sistemi jednačina (4) i (5) mogu se predstaviti na sledeći način:

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} \rho V_a^2 S C_x(y, V, \alpha, \beta, \delta_v, \delta_h) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S C_y(y, V, \alpha, \delta_v) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S C_z(y, V, \beta, \delta_h) \end{vmatrix} \quad (8)$$

odnosno,

$$\begin{vmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b C_l \\ (y, V, \alpha, \beta, \delta_h, \delta_e, \omega_x, \omega_y, \omega_z) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S c C_m \\ (y, V, \alpha, \delta_v, \omega_z, \dot{\alpha}, \dot{\delta}_v) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b C_n \\ (y, V, \beta, \delta_h, \omega_x, \omega_y, \dot{\beta}, \dot{\delta}_h) \end{vmatrix} \quad (9)$$

Razvojem u Tejlorov niz, u kojem se mogu sačuvati članovi drugog reda, uz pretpostavku o sporo promenljivim veličinama visine y i brzine rakete V_R , (u odnosu na ostale kinematske parametre), sada se može pisati:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \rho V_a^2 S \left(C_{x0} + C_x^{\alpha^2} \alpha^2 + C_x^{\alpha \delta_v} \alpha \delta_v + C_x^{\delta_v^2} \delta_v^2 + C_x^{\beta^2} \beta^2 + C_x^{\beta \delta_h} \beta \delta_h + C_x^{\delta_h^2} \delta_h^2 \right) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S \left(C_y^{\beta} \beta + C_y^{\dot{\beta}} \dot{\beta} + C_y^{\omega_z} \omega_z + C_y^{\delta_h} \delta_h \right) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S \left(C_z^{\alpha} \alpha + C_z^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_z^{\omega_y} \omega_y + C_z^{\delta_v} \delta_v \right) \end{pmatrix} \quad (10)$$

odnosno,

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b \left(C_l^{\omega_x} \omega_x + C_l^{\omega_y} \omega_y + C_l^{\omega_z} \omega_z + C_l^{\alpha} \omega_{\alpha} + C_l^{\beta} \omega_{\beta} + C_l^{\delta_e} \delta_e + C_l^{\delta_h} \delta_h + C_l^{\delta_v} \delta_v \right) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S c \left(C_m^{\alpha} \alpha + C_m^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_m^{\omega_x} \omega_x + C_m^{\omega_y} \omega_y + C_m^{\delta_v} \delta_v + C_m^{\dot{\delta}_v} \dot{\delta}_v \right) \\ \frac{1}{2} \rho V_a^2 S b \left(C_n^{\beta} \beta + C_n^{\dot{\beta}} \dot{\beta} + C_n^{\omega_x} \omega_x + C_n^{\omega_z} \omega_z + C_n^{\delta_h} \delta_h + C_n^{\dot{\delta}_h} \dot{\delta}_h \right) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Od navedenih aerodinamičkih koeficijenata, u jednačinama (10) i (11), za slučaj osnosimetrične rakete, posmatraju se sledeći koeficijenti:

– koeficijent sile otpora C_x :

$$C_x = C_{x0} + C_{xi} \quad (12)$$

gde su:

C_{x0} – koeficijent otpora za nulte vrednosti $\alpha = \delta_v = 0$,

δ_v – ekvivalentni otklon upravljajućih površina, kojim se stvara upravljački moment oko ose O_y vezanog koordinatnog sistema,

C_{xi} – koeficijent indukovanog otpora:

$$C_{xi} = C_x^{\alpha^2} \alpha^2 + C_x^{\alpha \delta_v} \alpha \delta_v + C_x^{\delta_v^2} \delta_v^2 \quad (13)$$

– koeficijent bočne sile C_z :

$$C_z = C_z^{\beta} \beta + C_z^{\dot{\beta}} \dot{\beta} + C_x^{\omega_z} \omega_z + C_y^{\delta_v} \delta_v \quad (14)$$

– koeficijent bočne sile C_y :

$$C_y = C_y^{\alpha} \alpha + C_y^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_y^{\omega_y} \omega_y + C_y^{\delta_v} \delta_v \quad (15)$$

Jednačine (14) i (15) su identične, s obzirom na to da kod osnosimetrične rakete postoji potpuna aerodinamička simetrija. Osnovni doprinos aerodinamičkom koeficijentu sile uzgona, u jednačini (15), potiče od krila, trupa i upravljajčkih površina i izražen je članom $C_y^{\alpha} \alpha$, a dopunski doprinos potiče od otklona odnosnih upravljajčkih površina i izražen je članom $C_y^{\delta_v} \delta_v$ (obično je za red veličine manji od $C_y^{\alpha} \alpha$). Članovi $C_y^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha}$ i $C_y^{\omega_y} \omega_y$ aktuelni su u toku prelaznog procesa i predstavljaju funkciju aerodinamičkog prigušenja pri letu u vertikalnoj ravni (uzdužno kretanje, kretanje oko ose O_x

vezanog KS). Ove članove moguće je izraziti kao:

$$C_y^{\dot{\alpha}} = \frac{c}{l_s} C_m^{\dot{\alpha}} \quad (16)$$

$$C_y^{\omega_y} = \frac{c}{l_s} C_m^{\omega_y} \quad (17)$$

gde su:

$C_m^{\dot{\alpha}}$ i $C_m^{\omega_y}$ – prigušni koeficijenti za aerodinamički stabilnu raketu (negativnog predznaka),

l_s – udaljenost šarnirne ose krmila od centra mase rakete.

Identičnost doprinosa bočnoj sili je potpuna, s obzirom na potpunost aerodinamičke simetrije osnosimetrične rakete, uz odgovarajuće ose.

– koeficijent momenta valjanja C_l :

$$C_l = C_l^{\omega_x} \omega_x + C_l^{\omega_y} \omega_y + C_l^{\omega_z} \omega_z + C_l^{\alpha} \alpha + C_l^{\beta} \beta + C_l^{\delta_e} \delta_e + C_l^{\delta_h} \delta_h + C_l^{\delta_v} \delta_v \quad (18)$$

Treba napomenuti da je u koeficijentu momenta valjanja C_l dominantan uticaj momenta elerona δ_e i prigušnog člana $C_l^{\omega_x}$ (zavisnost momenta oko podužne ose rakete od brzine rotacije oko iste ose), dok su uticaji ostalih članova od sekundarnog značaja (pokazuju kuplovanja kanala upravljanja na kanal valjanja).

– koeficijent momenta propinjanja C_m :

$$C_m = C_m^{\alpha} \alpha + C_m^{\dot{\alpha}} \dot{\alpha} + C_m^{\omega_y} \omega_y + C_m^{\delta_v} \delta_v + C_m^{\dot{\delta}_v} \dot{\delta}_v \quad (19)$$

dominantan je uticaj u stvaranju momenta propinjanja osnovne komponente uzgonske sile, odnosno član $C_m^{\alpha} \alpha$. Derivativ $C_m^{\delta_v}$ predstavlja doprinos uzgonske sile krmila visine δ_v , dok ostali derivativi predstavljaju doprinos prigušnog momenta (negativnog predznaka) rakete. Statičke karakteristike rakete definisane su odnosom osnovne komponente uzgonske sile i uzgonske sile krmila visine, odnosno:

$$\frac{\alpha}{\delta_v} = \frac{C_m^{\delta_v}}{C_m^{\alpha}} \quad (20)$$

Takođe, veza derivata C_y^{α} i C_m^{α} :

$$C_m^{\alpha} = (X_{CP} - X_{CM}) C_y^{\alpha} \quad (21)$$

gde su:

X_{CP} – koordinata centra pritiska (u odnosu na vrh rakete),

X_{CM} – koordinata centra mase (u odnosu na vrh rakete).

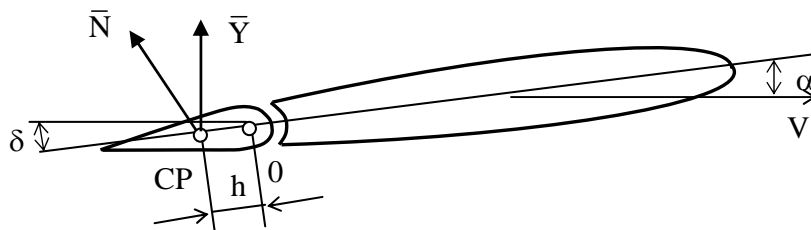
– koeficijent momenta propinjanja C_n :

$$C_n = C_n^{\beta} \beta + C_n^{\dot{\beta}} \dot{\beta} + C_n^{\omega_z} \omega_z + C_n^{\delta_h} \delta_h + C_n^{\dot{\delta}_h} \dot{\delta}_h \quad (22)$$

Vidljivo je da su doprinosi derivata iz jednačina (16) i (18) zbog osne simetrije rakete istovetni, odnosno:

$$C_m^{\alpha} = C_n^{\beta}; \quad C_m^{\dot{\alpha}} = C_n^{\dot{\beta}}; \quad C_m^{\omega_y} = C_n^{\omega_z}; \\ C_m^{\delta_v} = C_n^{\delta_h} \delta_k; \quad C_m^{\dot{\delta}_v} = C_n^{\dot{\delta}_h}$$

– šarnirni momenti



Sl. 3 – Nastajanje momenta na upravljivoj aerodinamičkoj površini:
O – osa obrtanja krila, *CP* – centar pritiska aerodinamičkih sila, *N* – normalna komponenta aerodinamičkih sila, koje deluju na krmilo, *h* – rastojanje centra pritiska od ose obrtanja krmila, α – napadni ugao krmila, δ – ugao zakretanja krmila

Konzola svake od upravljačkih površina čvrsto je spojena upravljačkim vratilom. Osa ovog vratila naziva se šarnirnom osom. Momenti aerodinamičkih sila koje deluju na upravljačkim površinama za šarnirnu osu su šarnirni momenti upravljačkih površina (sl. 3), a nastaju kao posledica dejstva aerodinamičkog opstrujavanja, koje deluje na krmilo, u tački van obrtanja krmila.

Šarnirni momenti nastaju od opterećenja upravljajućih površina aerodinamičkim silama oko šarnirne ose (osa rotacije upravljajuće površine). Iako direktno ne figuriraju u jednačinama kretanja rakete, njihov uticaj na dinamiku sistema upravljanja je bitan.

U opštem slučaju, koeficijent šarnirnog momenta je:

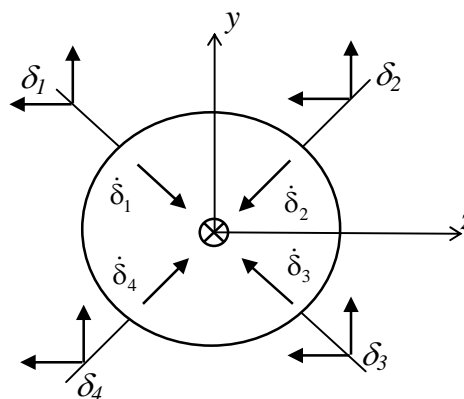
$$C_s = C_{s0} + C_s^\alpha \alpha + C_s^\delta \delta_k + C_s^{\dot{\delta}} \dot{\delta}_k \quad (23)$$

gde je δ_k ($k = 1, 2, 3, 4$) broj krmila.

Koeficijent C_{s0} predstavlja doprinos šarnirnom momentu usled ugradnje krmila na neutralnom položaju, što je u modelu pretpostavljeno, tj. za $\alpha = 0$ i $\delta = 0$. Pored razmatranih šarnirnih momenata koji deluju na pokretač krmila, u toku kretanja javlja se i moment sile trenja. On se može predstaviti zbirom momenta suvog trenja u osi vratila

krmila $M_{tr}(\dot{\delta})$ i momenta viskoznog trenja

$K_f \dot{\delta}$ (K_f – koeficijent viskoznog trenja aerodinamičkog strujanja. Dakle, član $C_s^{\dot{\delta}}$ predstavlja prigušni član i moguće ga je zanemariti, što je u modelu i učinjeno. Veličine pojedinih članova zavise od klase rakete i uslova leta, a važno ih je odrediti radi utvrđivanja potrebne snage pokretača krmila i analize uticaja svakog od članova u koeficijentu šarnirnog momenta na dinamičke osobine pokretača krmila. S obzirom na usvojeni raspored upravljajućih površina (krmila), odnosno konfiguraciju (X), smerove dejstva aerodinamičkih sila moguće je predstaviti kao na slici 4.



Sl. 4 – Smerovi dejstva aerodinamičkih sila na krmilima rakete (X) konfiguracije

Orijentacija aerodinamičkih sila na slici 4 uzeta je za pozitivne smerove napadnog ugla rakete α , odnosno ugla klijanja rakete β . Za usvojene oznake krmila, smerove rotacije krmila i uz pretpostavku da je lokalni centar pritiska iza šarnirne ose, koeficijenti šarnirnih momenata računaju se jednačinama:

$$\begin{pmatrix} C_{s_1} \\ C_{s_2} \\ C_{s_3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_s^\alpha \frac{\sqrt{2}}{2} (\beta - \alpha) + C_s^\delta \delta_1 \\ C_s^\alpha \frac{\sqrt{2}}{2} (\alpha + \beta) + C_s^\delta \delta_2 \\ C_s^\alpha \frac{\sqrt{2}}{2} (\alpha - \beta) + C_s^\delta \delta_3 \\ C_s^\alpha \frac{\sqrt{2}}{2} (-\alpha - \beta) + C_s^\delta \delta_4 \end{pmatrix} \quad (24)$$

Šarnirni moment računa se po relaciji:

$$M_{s_k} = C_{s_k} \frac{1}{2} \rho V^2 S_k b_k \quad (25)$$

gde su:

S_k – karakteristična površina krmila i
 b_k – srednja aerodinamička tetiva krmila.

U zavisnosti od Ma broja, određenog eksperimentalno ili proračunom, tabelarno su prikazane vrednosti aerodinamičkih derivativa, a za potrebe simulacije leta određuju se vrednosti derivativa linearnom interpolacijom. Tako izračunati derivativi služe za izračunavanje aerodinamičkih koeficijenata (na osnovu trenutnih vrednosti kinematskih parametara), a na osnovu njih i za izračunavanje tekućih vrednosti gustine vazduha i brzine rakete, te aerodinamičke sile i momenata duž odnosnih snaga vezanog KS. Za

formiranje diferencijalnih jednačina, koje opisuju kretanje rakete (3), tako dobijene aerodinamičke sile i momenti projektuju se na ose polubrzinskog KS.

Model poremećaja rakete u letu

Osim poremećaja koji nastaje usled nepotpune kolinearnosti vektora sile potiska, u letu se, usled grešaka pri ugradnji nosećih površina rakete (krila) i upravljajućih površina rakete (krmila), javljaju poremećaji sličnog karaktera. S obzirom na to da promašaj kod samonavodjenih raketa raste sa porastom ugaone brzine valjanja (oko podužne ose), važno je simulirati poremećajni momenat valjanja, prouzrokovan nesimetričnom ugradnjom krila. Shodno jednačinama (5) i (18), i ovaj momenat može se predstaviti u vezanom koordinatnom sistemu:

$$M_{x_{por}} = \frac{1}{2} C_1^\varepsilon \varepsilon_k \rho V^2 S b \quad (26)$$

gde su:

C_1^ε – aerodinamički derivativi,
 ε_k – ugao izazvan greškom ugradnje krila rakete.

Od spoljašnjih poremećaja najkarakterističniji su oni koji su nastali dejstvom vetra i turbulencija atmosfere [7].

Model autopilota

Autopilot je sistem sa povratnom spregom, koji predstavlja unutrašnju spregu glavne petlje vođenja. Izuzimajući uticaj sile gravitacije (u vertikalnoj ravni), za rakete sa dve ravni simetrije

autopiloti se mogu smatrati identičnim i nazivaju se bočnim autopilotima. Autopiloti koji služe za upravljanje oko glavne ose inercije ili za stabilizaciju rotacije oko te ose nazivaju se autopilotima valjanja. Autopiloti se mogu klasifikovati na sledeći način:

Autopiloti		
Za stabilizaciju valjanja	Bočni	Specijalni
stabilizacija ugla valjanja	sa dva akcelerometra	ručni sistem vođenja
	sa brzinskim žiroskopom	sistem vertikalnog lansiranja
stabilizacija ugaone brzine valjanja	sa akcelerometrom i brzinskim žiroskopom	sistemi koji lete iznad same površine mora i na konstantnoj visini upravljanje azimutom u inercijalnom smislu

Kombinacija akcelerometra u kanalu upravljanja rakete, preko kojega se ostvaruje glavna povratna sprega rakete, te brzinskog žiroskopa (za prigušenje), najčešće je korišćena u sistemima samonavođenja. Akcelerometar se smešta bitno ispred centra gravitacije, obično na rastojanju od polovine ili dve trećine rastojanja centra gravitacije od vrha rakete. Brzinski žiroskop smešta se na mesto

gde je ugaono kretanje, usled vibracija rakete, najmanje. Na slici 5 prikazana je konfiguracija autopilota u formi funkcije prenosa n_{zd} i n_z (zahtevano i stvarno bočno ubrzanje centra gravitacije rakete, respektivno), gde su:

K_s – pojačanje servosistema pokretača krmila [rad/s];

K_g – pojačanje brzinskog žiroskopa [V/rad/s];

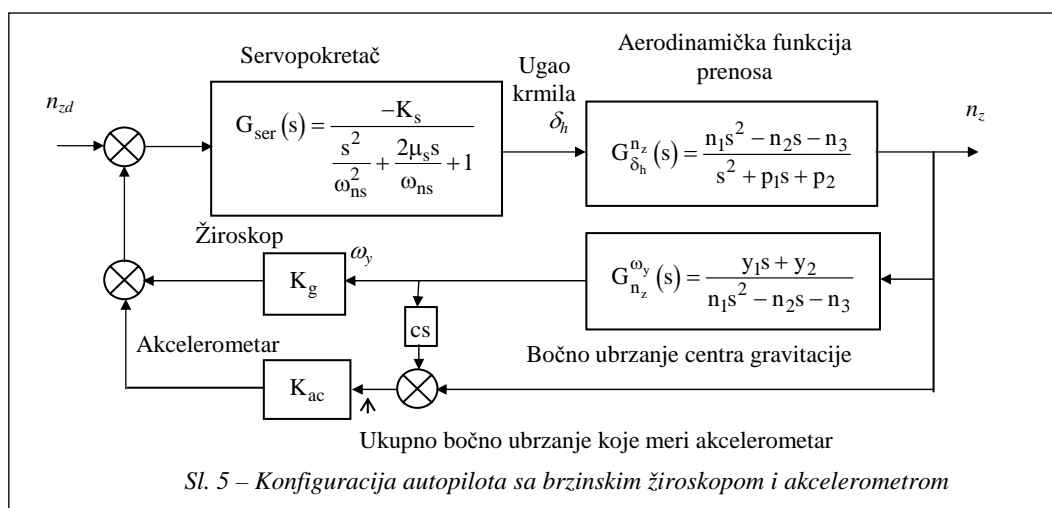
c – udaljenost ose osetljivosti akcelerometra od centra gravitacije;

$G_{\delta_k}^{n_z}(s)$ i $G_{n_z}^{\omega_y}(s)$ – funkcije prenosa bočnog ubrzanja $n_z(s)$ i ugaone brzine $\omega_y(s)$.

Pojačanje servosistema pokretača krmila je sa negativnim predznakom, pošto funkcija prenosa $G_{\delta_k}^{n_z}(s)$ ima negativno pojačanje.

Sa slike 5 uočava se da je funkcija spregnutog prenosa sa zatvorenom povratnom spregom:

$$G(s) = \frac{n_z}{n_{zd}} = \frac{-n_1 s^2 + n_1 s + n_3}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (27)$$



$$\frac{n_z}{n_{zd}} = \frac{G_{ser}(s)G_{d_k}^{n_z}(s)}{1 + G_{ser}(s)G_{\delta_k}^{n_z}(s)G_{pv}(s)} \quad (28)$$

$$G_{pv}(s) = K_g G_{n_z}^{\omega_y}(s) + K_{ac} \left[1 + cs G_{n_z}^{\omega_y}(s) \right] \quad (29)$$

pa kako a_1 bitno zavisi od koeficijenta K_g , za suviše veliko K_g sistem može biti nestabilan. Nestabilnost se može pojaviti pri stvarno velikom prigušenju krmila (povećavajući vrednost a_3). Promenom brzine leta rakete menjaju se dinamički

$$\frac{n_z}{n_{zd}} = \frac{-K_s(n_1 s^2 - n_1 s - n_3)}{\left(\frac{s^2}{\omega_{ns}^2} + \frac{2\mu_s}{\omega_{ns}} + 1 \right) (s^2 + p_1 s + p_2) + K_g + K_{ac} cs (y_1 s + y_2) + K_{ac} (n_1 s^2 - n_2 s - n_3)} \quad (30)$$

gde su $n_1, n_2, n_3, p_1, p_2, y_1$ i y_2 – dinamički koeficijenti, koji zavise od dinamičkog pritiska i aerodinamičkih koeficijenata.

Da bismo projektovali autopilot za raketu sa upravljačkim površinama smeštenim na njenom repnom delu, potrebno je prvo proceniti zahtevane (potrebne) aerodinamičke derivate, za usvojenu brzinu leta rakete. Ako pretpostavimo projektovanje bočnog autopilota bez kompenzacije, moguća je optimizacija parametara servosistema krmila K_s, ω_{ns} i μ , odnosno žiroskopa i akcelerometra K_g, K_a . Pojačanje zatvorene povratne sprege ne bi trebalo da se menja preko $\pm 10\%$. Neophodni stepen stabilnosti, procentualni preskok u vremenskom domenu i rezerva pojačanja te faze u frekventnom domenu, moguće je odrediti iz funkcionalnih zahteva. Da bi se izbeglo zasićenje brzine krmila u prisustvu šuma potrebno je manje pojačanje i uži propusni opseg servosistema. Da bi sistem bio stabilan po Rut-Harvicovom kriterijumu, koeficijenti funkcije spregnutog prenosa moraju zadovoljiti uslov:

$$a_1(a_2 a_3 - a_1 a_4) > a_0 a_3^2 \quad (31)$$

koeficijenti koji ulaze u funkciju prenosa, a time se menja i odziv celog sistema upravljanja. Koeficijent gušenja dominantnih modova raste sa udaljavanjem akcelerometra od centra gravitacije (ka nosu rakete), a stepen stabilnosti povećava se propuštanjem kroz diferencijalni uskladnik signala sa brzinskog žiroskopa, odnosno faznim pomeranjem unapred. Kola za prednjačenje faze i fazno kašnjenje su uskladnici i efikasni su jedino ako su njihove vremenske konstante u vezi sa frekventnim područjem otvorene sprege. Ako bi pojačanje otvorene sprege značajno variralo, kolo kompenzacije može poboljšati odziv na jednom ekstremnom pojačanju, odnosno pogoršati ga na drugom. U opštem slučaju, praktično je neizvodljivo uvođenje pozitivnog faznog pomaka u signal greške jer je ulaz u autopilot fazno pomeren unapred u glavnoj sprezi vođenja. Izlaz akcelerometra se, u opštem slučaju, vodi na diferencijalni kompenzator. Bočno ubrzanje, nastalo od normalnih sila, javlja se uvek. Dodatno kretanje tela rakete može nastati od aerodinamičkih šumova i šumova u sili potiska motora rakete. Zatvaranjem instrumentalne povratne sprege moguće je poboljšanje

vremenskog odziva tela rakete, a takođe i znatne promene u uticaju aerodinamičkog ponašanja.

Autopilot za stabilizaciju ugla valjanja

Ugaona brzina valjanja rakete dovodi do pojave unakrsnih veza između bočnih kanala upravljanja i kanala valjanja, što bitno utiče na proces samonavođenja. Smanjenje uticaja unakrsnih veza zahteva ograničenje brzine valjanja rakete. Zadatak sistema stabilizacije valjanja određuje način stvaranja normalne aerodinamičke sile i tip SULR, a karakter određuje način pretvaranja signala vođenja u otklone organa upravljanja. Poremećajni aerodinamički momenat valjanja nastaje pri nesimetričnom opstrujavanju rakete, najvećim delom preko komponente tog momenta nastalog kosim opstrujavanjem i nelinearnom zavisnošću od uglova α , β , δ_h , δ_v , usled čega se unakrsne veze i javljaju. Da bi se obezbedile dobre karakteristike prelaznog procesa i određena veličina greške u stacionarnom stanju, signal upravljanja treba da sadrži i signal proporcionalan sa ugaonom brzinom valjanja, što se obezbeđuje povratnom spregom brzinskim žiroskopom – slika 6.

Iz opšte blok šeme stabilizacije valjanja rakete sledi:

$$\frac{\gamma}{\gamma_z} = \frac{-K_s K_e}{\left(\frac{s^2}{\omega_{ns}^2} + \frac{2\mu_s}{\omega_{ns}} s + 1\right) s (T_e s + 1) + (-K_s) K_e K_{dg} G_k(s)} \quad (32)$$

$$\frac{\omega_x}{\gamma_z} = \frac{s G_\gamma(s) (-K_s K_e)}{\left(\frac{s^2}{\omega_{ns}^2} + \frac{2\mu_s}{\omega_{ns}} s + 1\right) s (T_e s + 1) + s [-K_s K_e K_{dg} G_k(s)] + G_\gamma(s) (-K_s K_e)} \quad (33)$$

Blok šema na slici 6 pokazuje strukturu u kojoj se povratna sprega, po uglu valjanja γ , obezbeđuje programski, numeričkom integracijom ugaone brzine valjanja ω_x , sa brzinskog žiroskopa. Zadata vrednost ugla valjanja γ_z (u opštem slučaju $\gamma_z \neq 0$) obezbeđuje se takođe programski, memorisanjem ugla valjanja u momentu lansiranja rakete, odnosno „zabavljanjem“ GSN rakete na cilj (komandom sa nosača – broda).

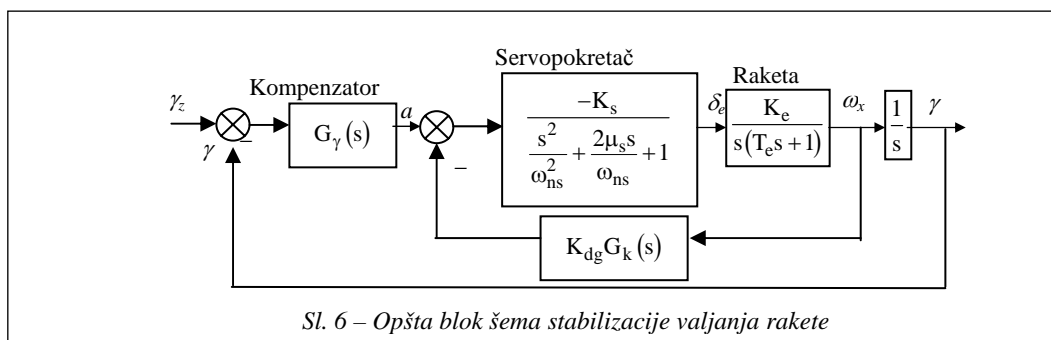
Funkcija prenosa rakete u blok šemi sa slike 6 (po brzini valjanja u odnosu na otklon elerona) data je jednačinom:

$$\frac{\omega_x(s)}{\delta_e(s)} = \frac{K_{\omega_x}}{T_{\omega_x} s + 1}; \quad K_{\omega_x} = -\frac{C_l^{\delta_e}}{C_l^{\omega_x}}; \quad T_{\omega_x} = -\frac{1}{K_{\omega_x} C_l^{\omega_x}}, \quad (34)$$

a na isti način definišu se i funkcije prenosa uzdužnog kretanja rakete

$$\left(\frac{\omega_z(s)}{\delta_v(s)}, \frac{n_y(s)}{\delta_v(s)} \text{ itd.} \right).$$

Funkcije prenosa rakete najpreglednije pokazuju odnose kao što su otkloni komandnih površina sa kinematskim veličinama (uglovi, uglovne brzine i normalna ubrzanja), a računaju se iz linearizovanih i redukovanih modela sistema.



Model cilja

U ovom simulacionom modelu smatra se da raketa u zadatom trenutku zahvata cilj i da je u trenutku lansiranja moguće dobiti početne podatke o brzini i daljini cilja, dok se za početno ubrzanje cilja uzima nula. U radu nije obrađen model scene, budući da se ne razmatra uticaj određenih odnosa na detekciju cilja (udaljenost, oblik i veličina cilja, energetski kontrast, lažni ciljevi itd.). Matematički model kretanja cilja može se predstaviti diferencijalnim jednačinama kretanja centra mase cilja u geodetskom KS. Za poznata ubrzanja cilja u geodetskom KS matematički model kretanja cilja opisuje se sa šest diferencijalnih jednačina, iz kojih se integracijom dobijaju linearne komponente brzine i koordinate položaja centra mase cilja u geodetskom KS. Diferencijalne jednačine kretanja cilja u geodetskom KS su:

$$\begin{vmatrix} \dot{V}_{cxg} \\ \dot{V}_{cyg} \\ \dot{V}_{czg} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{cxg} \\ a_{cyg} \\ a_{czg} \end{vmatrix} \quad (35)$$

$$\begin{vmatrix} \dot{x}_{cg} \\ \dot{y}_{cg} \\ \dot{z}_{cg} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_{cxg} \\ V_{cyg} \\ V_{czg} \end{vmatrix} \quad (36)$$

Komponente ubrzanja cilja u geodetskom KS u jednačini (35) mogu se dobiti projektovanjem apsolutne brzine cilja \vec{V}_c , u odgovarajućem kinematskom sistemu cilja, na ose geodetskog KS. U matricnoj formi taj vektor je:

$$\vec{V}_{cg} = L_{\Psi_c}^T L_{\Theta_c}^T \begin{vmatrix} V_c \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (37)$$

gde su $L_{\Psi_c}^T$ i $L_{\Theta_c}^T$ matrice transformacije iz kinematskih KS cilja u geodetski KS.

U skalarnoj formi jednačina (37) ima oblik:

$$\begin{aligned} V_{cxg} &= V_c \cos \Theta_c \cos \Psi_c \\ V_{cyg} &= V_c \sin \Theta_c \\ V_{czg} &= -V_c \cos \Theta_c \sin \Psi_c \end{aligned} \quad (38)$$

Projektovanjem apsolutnog ubrzanja cilja \vec{a}_c u odgovarajućim kinematskim sistemima na ose geodetskog KS, u matricnoj formi biće:

$$\vec{a}_{cg} = L_{\Psi_c}^T L_{\Theta_c}^T [a_{cx}, a_{cy}, a_{cz}]^T \quad (39)$$

odnosno u skalarnoj formi:

$$\begin{aligned} a_{cxg} &= \dot{V}_c \\ a_{cyg} &= V_c \dot{\Theta}_c \\ a_{czg} &= -V_c \Psi_c \cos \Theta_c \end{aligned} \quad (40)$$

Na osnovu prethodnih jednačina, skalarni izrazi za komponente ubrzanja cilja u geodetskom KS biće:

$$\begin{aligned} a_{cxg} &= \dot{V}_c \cos \Theta_c \cos \Psi_c - V_c \dot{\Theta}_c \sin \Theta_c \\ &\quad \cos \Psi_c - V_c \frac{d\Psi}{dt_c} \cos \Theta_c \sin \Psi_c \\ a_{cyg} &= \dot{V}_c \sin \Theta_c + V_c \dot{\Theta}_c \cos \Theta_c \\ a_{czg} &= -\dot{V}_c \cos \Theta_c \sin \Psi_c + V_c \dot{\Theta}_c \sin \Theta_c \sin \Psi_c - \\ &\quad - V_c \frac{d\Psi}{dt_c} \cos \Theta_c \cos \Psi_c \end{aligned} \quad (41)$$

Modul brzine cilja V_c , ugao nagiba trajektorije cilja Θ_c i ugao zakreta trajektorije cilja Ψ_c određuju se integracijom tri dodatne diferencijalne jednačine, koje se dobijaju iz jednačina opterećenja cilja u kinematskom KS vezanom za cilj:

$$\begin{aligned} n_{cx} &= \frac{\dot{V}_c}{g}; \quad n_{cy} = \frac{V_c \dot{\Theta}_c}{g}; \\ n_{cz} &= \frac{-V_c \frac{d\Psi}{dt_c} \cos \Theta_c}{g} \end{aligned} \quad (42)$$

pa je sada:

$$\dot{V}_c = n_{cx} g; \quad \dot{\Theta}_c = n_{cy} \frac{g}{V_c}; \quad \frac{d\Psi}{dt} = \frac{-n_{cz} g}{V_c \cos \Theta_c} \quad (43)$$

Vektor opterećenja cilja u kinematskom KS je pri tome bio:

$$n_c = [n_{cx} \ n_{cy} \ n_{cz}]^T \quad (44)$$

i zadaje se kao deterministička ili slučajna funkcija vremena sa poznatim statičkim karakteristikama slučajnog procesa.

Zaključak

U radu je formiran matematički model za simulaciju leta konkretne protivbrodske rakete. Ovaj model je verifikovan i kroz softver za simulaciju [7], čime je otvorena mogućnost sinteze novog autopilota sa brzinskim žiroskopima kao sensorima, koji bi omogućio osavremenjavanje. Programi za simulaciju sistema za upravljanje letom protivbrodske rakete dati su u [7]. Model omogućava detaljnu analizu procesa vođenja, za čime se ukazala potreba za vreme eksploatacije rakete. Zbog toga je, pored opisa objekta, data i mogućnost analize uticaja slučajnih grešaka, kao što su greške u zauzimanju početnih parametara, greške merenja (naročito glave za samonavođenje), kao i ostalih šumova u električnom sistemu autopilota (žiroskopi, sabirači itd.).

Model omogućava simulaciju rakete u realnim uslovima, uključujući uticaj vetra i veštačkih smetnji. Suština simulacije je u identifikaciji parametara radi verifikacije rezultata ponašanja rakete prilikom gađanja (u prvom i završnom delu putanje). Analizirani simulacioni model sistema za upravljanje letom protivbrodske rakete nalazi se u praktičnoj upotrebi i daje osnovu za dalja proučavanja ove klase ra-

keta. Koncipiran je tako da se svaki od modula sistema može zameniti modelom željene kompleksnosti, odnosno tačnosti, kako podsistema, tako i sistema u celini. Model omogućava dalji rad u cilju simulacije u realnom vremenu ili sa neposrednom primenom HIL (Hardware In the Loop) simulacija, zamenom posmatranog modula realnim podsistemom. Ideja je da se simulirani model proširuje i koristi u edukativne svrhe.

Literatura:

- [1] Korn, G. A.: Modeliranje slučajnih procesa u analognim uređajima, Mir, Moskva, 1985.
- [2] Pucelev, A. V.: Statistička analiza i sinteza složenih dinamičkih sistema, Mašinstroenie, Moskva, 1984.
- [3] Krutko, P. D. i dr.: Algoritmi i programi projektovanja automatskih sistema, Radio i veze, Moskva, 1988.
- [4] Fitzgerald, R. J.: Reduction Of Missile Navigation Errors by Roll Programing, J. Guidance, VOL. 13, No. 4, 1990.
- [5] Đekić, M.: Prilog razvoju novih algoritama vođenja kod samonavodenih raketa, magistarski rad, Beograd, 1993.
- [6] Nelson, C. R.: Flight Stability and Automatic Control, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [7] Gačeša, N.: Sistem za upravljanje letom protivbrodske rakete sa radarskom glavom za samonavodenje, magistarski rad, Beograd, 2003.

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

MODIFIKACIJA KONVENCIONALNIH RADARA NA BAZI KONCEPTA SOFTVERSKOG RADARA

UDC: 621.396.96 : 004.42

Rezime:

U radu su projektovani softverski modeli pojedinih funkcionalnih blokova radara, čime se stvorila pogodna osnova za poboljšanje performansi postojećih konvencionalnih radara. Primenom koncepta softverskog radara mogu se unaprediti karakteristike i povećati fleksibilnost konvencionalnih radara, kao i implementirati potpuno nove funkcije koje znatno unapređuju njegove performanse. Svi softverski modeli projektovani su u programskom paketu MATLAB. Takođe, opisana je struktura i karakteristike konvencionalnog radara ŽIRAFKA, koji je softverski modelovan. Pored toga, opisan je način softverske realizacije memorije RANGE BIN, Doplerovog filtera i detaljno opisan matematički model procesora CFAR.

Ključne reči: softverski radar, konvencionalni radar ŽIRAFKA, procesor CFAR, Doplerov filter.

CONVENTIONAL RADARS MODIFICATION ON THE SOFTWARE RADAR CONCEPT BASIS

Summary:

Software models of some functional radar units are projected in this paper and proper platform for performance improving of existent conventional radars is created. Feature improving and flexibility increasing of conventional radars can be upgraded with application of software radar concept and totally new functions can be implemented which also upgraded its performances. All software models are projected in MATLAB program. Also structure and performances of the conventional radar GIRAFFE, which is modeled by software, are described. Additionally, way of the RANGE BIN memory and Doppler filter software realization are described. CFAR mathematical model is presented detailed.

Key words: software radar, conventional radar GIRAFFE, CFAR procesor, Doppler filter.

Uvod

Savremeni razvoj radarske tehnologije, a posebno razvoj metoda obrade radarskih signala posredstvom signal-procesora i računara, omogućio je mnogo širu primenu radara nego što je bila njegova prvobitna namena, tj. otkrivanje i praćenje ciljeva. Danas savremeni radari obavljaju mnoge funkcije. Pri tome, treba ukazati na činjenicu da se ove funkcije mogu obavljati pojedinačno, specijalizovanim radarskim uređajima,

a moguće je da jedan višefunkcionalan radar obavlja više funkcija u vidu tzv. modova rada. Tipičan primer predstavlja višefunkcionalni avionski radar s većim brojem modova rada, kao što su: osmatranje, automatsko praćenje, vođenje raketa, snimanje terena i sl. Stariji radari mahom su bili specijalizovani po nameni, pa se govorilo o osmatračkim, nišanskim, meteorološkim radarima i sl. Danas je logičnije govoriti o mogućim funkcijama radara, s obzirom na pomenutu višefunkcionalnost.

Pod pojmom konvencionalni radar podrazumeva se monostatički impulsni radar koji koristi eho signal za lociranje cilja. Kod ovakvog radara predajnik i prijemnik su na istom mestu, što znači da postoji jedna primopredajna antena. Funkcije većine konvencionalnih radara starije tehnološke generacije hardverski su predefinisane, tako da su otežane mogućnosti izvođenja modifikacija radi poboljšanja performansi. S napretkom tehnike digitalne obrade signala i signal-procesorskih tehnologija, teorijski i praktično je razrađen koncept softverskog radija. Njegova realizacija podrazumeva da deo hardvera klasičnog radija treba zameniti sa signal-procesorskom platformom, na kojoj se softverski implementira deo funkcija radija. Koncept softverskog radara predstavlja specifičnu primenu softverskog radija. U ovom radu analizirane su mogućnosti modelovanja konvencionalnih radara kroz primenu koncepta softverskog radara, a radi poboljšanja njihovih performansi. Ukoliko se realizuje ova ideja, stvara se pogodna platforma za unapređivanje karakteristika postojećih konvencionalnih radara primenom modernih tehnika obrade radarskog signala.

Cilj ovog rada je projektovanje softverskog modela pojedinih funkcionalnih blokova radara, čime bi se stvorila pogodna platforma za poboljšanje performansi postojećih konvencionalnih radara.

Struktura i karakteristike konvencionalnog radara koji se softverski modeluje

Da bi se analizirala ideja o primeni koncepta softverskog radara kod konvencionalnih radara upotrebljen je konvenci-

onalni radar ŽIRAFa, čiji je proizvođač poznata švedska kompanija Erikson (Ericsson). ŽIRAFa je impulsni Doplerov osmatračko-akvizicijski radar s digitalnom obradom signala, proizveden 1986. godine. Kabina radara smeštena je na motorno vozilo, pa radarski položaj može biti izabran proizvoljno, za razliku od stacionarnih radara. Namijenjen je da u okviru sistema protivvazdušne odbrane (PVO) detektuje i prati niskoletuće ciljeve. Pri detekciji određuje daljinu i azimut cilja. Brzina cilja se ne meri već grubo procenjuje preko kola za praćenje, a ciljevi se po brzinama svrstavaju u samo tri grupe. Radne frekvencije radara su unutar C-opsega frekvencija, a maksimalni domet iznosi 40 km. Digitalnom obradom signala potiskuje se klater, pa se u normalnom režimu rada na pokazivaču prikazuju samo pokretni ciljevi, što olakšava rad operaterima.

U tabeli 1 prikazane su osnovne tehničke karakteristike radara ŽIRAFa. Vidi se da, u zavisnosti od širine predajnog impulsa, ŽIRAFa može meriti daljine do 20 ili 40 km. Ako je izabrana širina predajnog impulsa od 3 μ s, domet će iznositi 20 km, a ako je širina 6 μ s, domet će biti maksimalnih 40 km. Frekvencije nosioca su u opsegu od 5,4 do 5,9 GHz. Kao pojačavač snage koristi se TWT cev, koja obezbeđuje da izračena snaga u jednom impulsu bude 15 kW. Impulsna frekvencija (PRF) promenljiva je i može se menjati svake sekunde, od jednog do drugog obrtaja antene („promenljiva PRF“), ili od jednog do drugog predajnog impulsa („višestruka PRF“). Prijemnik je superheterodinskog tipa s međufrekvijom od 30 MHz.

Radar ŽIRAFa može detektovati ciljeve koji se kreću brzinama od 15 do 900 m/s, sa rezolucijom po daljini od 740 m u modu rada s maksimalnim dometom. Ova rezolucija je za današnje prilike veoma mala, a rezolucija po azimutu iznosi 4,7°.

Antena radara je u obliku delimičnog paraboloidea. Dijagram zračenja je kosekants na kvadrat sa širinom snopa po azimutu 2,1° i po elevaciji 9,2°. Dobitak antene je $G = 28$ dB, a visina od tla 13 m.

Tabela 1
Osnovne tehničke karakteristike radara ŽIRAFa

Karakteristika		Vrednost
Tip radara		impulsni Doplerov radar sa digitalnom obradom signala
Opseg daljine		0–20 km, ili 0–40 km
Frekventni opseg		C-opseg, 5,4–5,9 GHz
Pojačavač snage		cev sa progresivnim talasom (TWT)
Impulsna snaga		15 kW
Širina impulsa		3 μ s ili 6 μ s
Impulsna frekvencija (PRF)		promenljiva PRF ili višestruka PRF
Međufrekvencija		30 MHz
Opseg brzina ciljeva		15–900 m/s
Rezolucija dva cilja iste jačine	po daljini	740 m
	po azimutu	4,7°
Brzina obrtanja antene		1 obr/s
Širina snopa dijagrama zračenja	po azimutu	2,1°
	po elevaciji	9,2°
Pojačanje antene		28 dB
Visina antene od tla		13 m
Napajanje	agregatom	VW Diesel 1,6 TD
	spoljnom trofaznom mrežom	220 V, 50 Hz i 200 V, 400 Hz
Dužina		6800 mm
Širina		2490 mm
Visina, stub spušten		oko 3,5 m
Masa		7450 kg

Pošto radar ŽIRAFa spada u mobilne radare, za napajanje koristi agregat koji se nalazi u sklopu kabine. Agregat stvara standardni trofazni naizmjenični napon od 220 V, frekvencije 50 Hz i specijalni trofazni naizmjenični napon od 200 V, frekvencije 400 Hz.

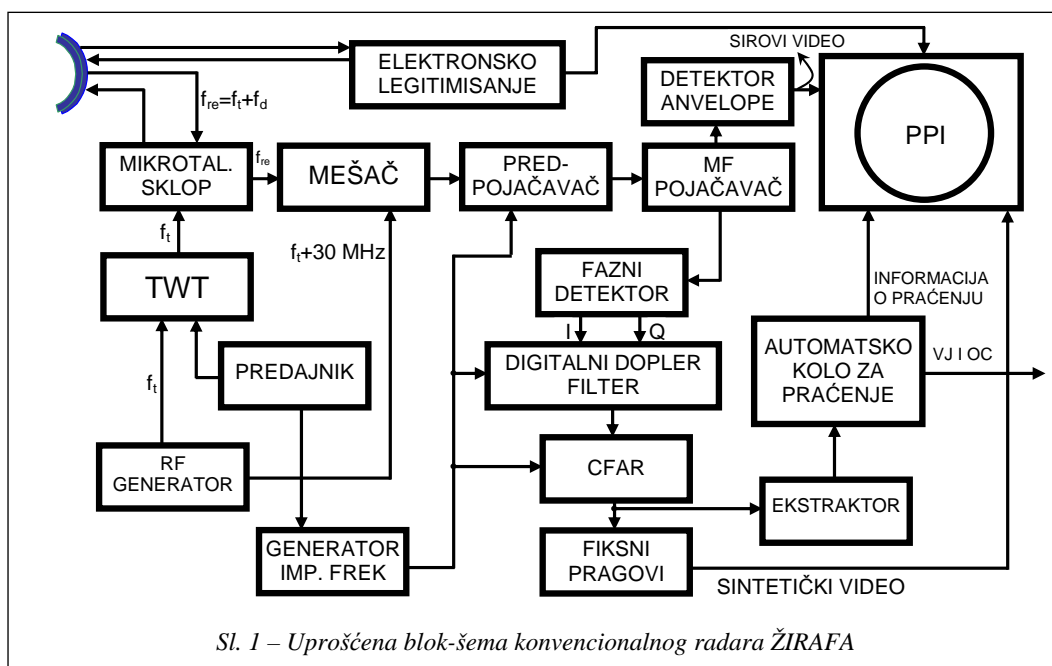
Predajni signal generiše se u kristalnom oscilatoru frekvencije 120 MHz, a zatim mu se frekvencija umnožava u nekoliko koraka, dok se ne dobije odgovarajuća frekvencija u C-opsegu. Blok koji obavlja ovu funkciju nazvan je RF generator. Njegovo mesto prikazano je na uprošćenoj blok-šemi radara ŽIRAFa na slici 1. Visokofrekventni signal koji je generisan u RF generatoru dalje se pretvara u impulsni visokofrekventni signal i pojačava u TWT pojačavaču. Na izlazu iz TWT pojačavača dobija se predajni signal velike snage i frekvencije f_i koji se pomoću talasovodnog sistema prenosi do antenske skretnice, koja preusmerava predajni signal ka anteni koja ga zrači u okolni prostor. RF generator generiše još jedan signal. To je signal lokalnog oscilatora koji ima frekvenciju za 30 MHz veću od predajne.

Eho-signal prima se preko iste antene i dovodi ponovo do antenske skretnice koja ga sada preko talasovodnog sistema preusmerava ka prijemniku radara. Frekvencija prijemnog signala, f_{re} , može se izraziti na sledeći način:

$$f_{re} = f_i + f_d \quad (1)$$

gde je f_d Doplerova frekvencija usled kretanja cilja u odnosu na radar. Doplerova frekvencija može imati pozitivnu ili negativnu vrednost, u zavisnosti od toga da li se cilj približava ili udaljava od radara.

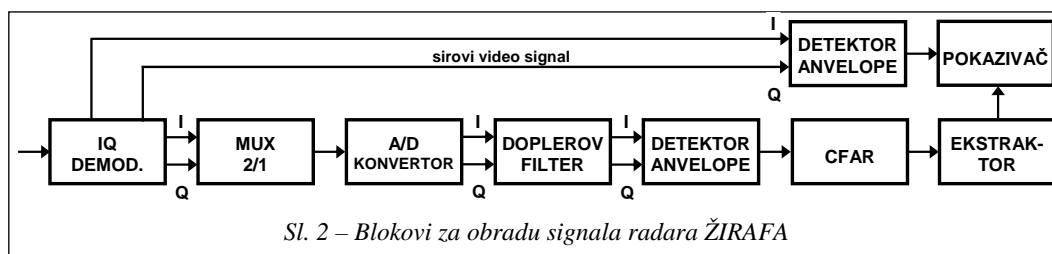
Prijemni signal frkvencije f_{re} prenosi se do mešača. Na drugi ulaz mešača dovodi se signal lokalnog oscilatora. Na izlazu iz mešača dobija se prijemni signal, čiji je spektar iz visokofrekventnog područja transliran u međufrekventno područje na 30 MHz. Dalje se ovaj signal pojačava, prvo u pretpojačavaču, a zatim u međufrekventnom pojačavaču.

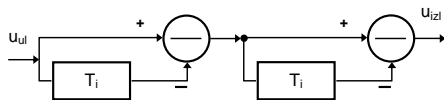


Od međufrekventnog pojačavača signal može dalje da se vodi ka detektoru anvelope ili ka faznom detektoru. Ako se preusmeri direktno na detektor anvelope (slika 2), signal neće biti digitalno obrađen i na panoramskom pokazivaču biće prikazan sirovi video signal. Taj signal sadrži refleksije od pokretnih ciljeva, ali i od nepokretnih ciljeva koji čine stalne odraze, tako da je uočavanje pokretnih ciljeva otežano. Ako postoji ometanje, ometački signali će se videti na ekranu pokazivača, što još više komplikuje situaciju. U operativnoj upotrebi posada uvek, pomoću odgovarajućeg tastera na upravljač-

kom pultu, usmerava signal ka faznom detektoru i blokovima koji dodatno digitalno obrađuju signal. Na ulaz IQ-demodulatora dovodi se kompleksan signal, a rezultat su dva signala čije su faze pomerenе za 90° . Signal obeležen sa I predstavlja realnu komponentu, a signal Q imaginarnu komponentu kompleksnog signala.

Pošto radar poseduje samo jedan jednokanalni A/D konvertor, signali u kvadraturi, I i Q, multipleksiraju se u vremenu da bi konverzija bila moguća. A/D konvertor je desetobitni i kvadrature signale iz I i Q grane bira naizmenično, frekvencijom od 468 KHz.





Sl. 3 – Dvočelijski antiklaterski filter

Sledi blok nazvan Doplerov filter. To je visokopropusni filter šestog reda, koji se sastoji od tri filtera drugog reda, od kojih je prvi nerekurzivni s konstantnim koeficijentima, a drugi i treći su rekurzivni s promenljivim koeficijentima koji zavise od moda rada radara. Prvi Doplerov filter je tipičan dvočelijski antiklaterski filter, čija struktura je prikazana na slici 3. Odziv ovog dvočelijskog filtera na pobudu δ funkcijom je:

$$h(t) = \delta(t) - 2\delta(t - T_r) + \delta(t - 2T_r) \quad (2)$$

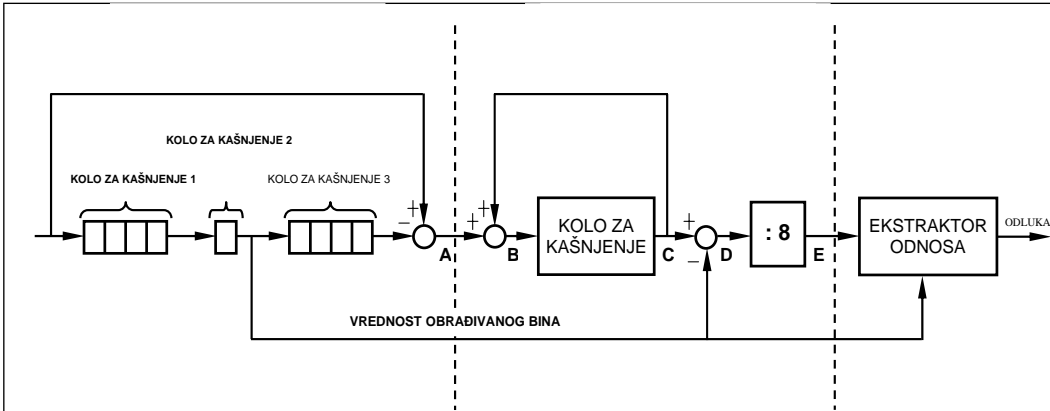
gde je T_r perioda ponavljanja impulsa. Drugi i treći Doplerov filter ograničavaju apsolutne vrednosti ulaznih signala u određenim granicama. Nakon filtriranja neželjeni odrazi od tla i ostalih nepokretnih ciljeva su potisnuti, a ostaju samo signali reflektovani od pokretnih ciljeva.

Filtrirani signal vodi se na ulaz detektora. Detektor radara ŽIRAFa je kolo s konstantnom verovatnoćom lažnog alarma, ili skraćeno CFAR (Constant False Alarm Rate). Sačinjavaju ga kola za kašnjenje, akumulator detektora srednje vrednosti i ekstraktor odnosa (slika 4). CFAR detektor je tipa CA (cell averaging), što znači da se u njemu upoređuje vrednost signala u trenutnom binu daljine sa srednjom vrednošću signala u susednim binovima. U konkretnom slučaju, radi procene nivoa signala usrednjava se vrednost signala u osam susednih binova

daljine. Dobijena srednja vrednost signala (slika 4, tačka E) upoređuje se sa vrednošću signala u obrađivanom binu daljine (slika 4, bin daljine X_n) u ekstraktoru odnosa, deljenjem vrednosti signala u obrađivanom binu daljine sa srednjom vrednošću signala. Prvo se izračunaju logaritmi signala i logaritmi srednje vrednosti. Traženi odnos dobija se posle oduzimanja logaritama i izračunavanja anti-logaritma. Izračunavanje logaritma zasniva se na aproksimaciji logaritma osnove 2. U zavisnosti od vrednosti dobijenog odnosa, donosi se odluka o tome da li je u obrađivanom binu daljine bio signal koji potiče od cilja ili se radilo o šumu.

Sledi blok nazvan ekstraktor podataka. Ekstraktor podataka izračunava koordinate centra cilja po daljini i azimutu i te koordinate prosleđuje na panoramski pokazivač, gde se cilj prikazuje kao svetla tačka sa određenim nivoom osvetljaja koji zavisi od amplitude reflektovanog signala. Podaci o koordinatama detektovanih ciljeva šalju se do bloka koji obavlja funkciju automatskog praćenja ciljeva (slika 1), a prosleđuju se i vatrenim jedinicama i operativnom centru.

Pokazivač radara ŽIRAFa je monohromatski i spada u grupu panoramskih pokazivača (Plan Polar Indicator – PPI). Prikazuje odraze od radarskih ciljeva i specijalne simbole. Informacija o ciljevima, koja se dobija pri prebrisavanju prostora u kojem se ti ciljevi nalaze, sadrži daljinu i azimut za svaki cilj posebno. Informacija o daljini dobija se iz video signala koji se prikazuje, a pravac, odnosno azimut, od digitalnog davača ugla azimuta koji se nalazi na anteni radara.



Primer:

Kada se obrađuje bin daljine broj 24, pomerački registar će imati sledeći sadržaj:

X_{28}	X_{27}	X_{26}	X_{25}	X_{24}	X_{23}	X_{22}	X_{21}	X_{20}
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

(X_n = vrednost za bin daljine n)

$$\mathbf{A:} \quad X_{29} - X_{20}$$

$$\mathbf{B:} \quad \underbrace{X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28}}_{\text{SADRŽAJ U TAČKI C}} + \underbrace{(X_{29} - X_{20})}_{\text{SADRŽAJ U TAČKI A}}$$

$$\mathbf{C:} \quad X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28}$$

$$\mathbf{D:} \quad X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28}$$

$$\mathbf{E:} \quad \frac{D}{8}$$

$$\text{ODNOS} = \log_2^{-1}(\log_2 X_n - \log_2 E)$$

Sl. 4 – CFAR detektor radara ŽIRAFa sa vrednostima signala u karakterističnim tačkama

Ako se radar ŽIRAFa uporedi s drugim modernim radarima sličnog tipa može se reći da ima veoma skromne mogućnosti. Međutim, arhitektura radara ŽIRAFa dozvoljava određene modifikacije i unapređenje karakteristika pojedinih funkcionalnih blokova, a naročito blokova za digitalnu obradu signala i podataka.

Projektovani softverski model funkcionalnih blokova konvencionalnog radara

Projektovanjem softverskog modela funkcionalnih blokova prijemnika konvencionalnog radara stvara se pogodna platforma za unapređivanje njegovih karakteristika. U ovom radu projektovan je

softverski model koji bi trebalo da, uz određena prilagođavanja konkretnom radarskom sistemu, bude primenjiv u svim tipovima konvencionalnih radara, kako u vojnoj, tako i u civilnoj upotrebi.

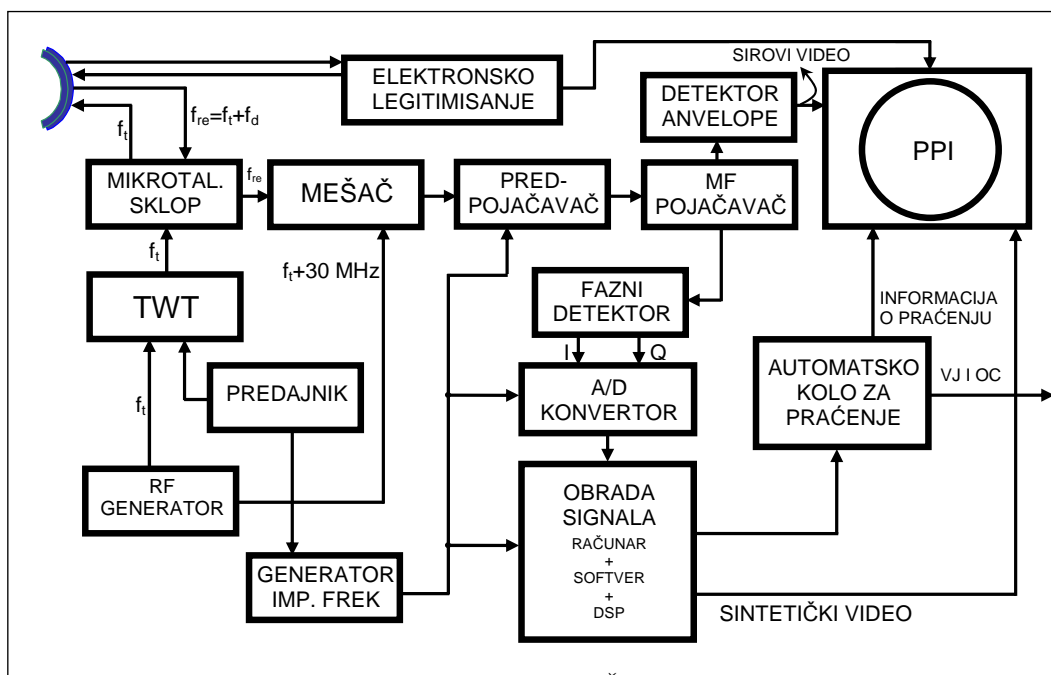
U prvoj fazi projektovanja zahtevano je da softverski model na približno istom nivou zadrži sve karakteristike hardverski realizovanog konvencionalnog radara. To znači da se ne sme smanjivati maksimalni domet, narušiti rezolucija po daljini i uglu, povećati verovatnoća lažnog alarma, smanjiti preciznost merenja koordinata ciljeva, kao i preciznost prikazivanja detektovanih ciljeva na softverskom modelu pokazivača.

U drugoj fazi projektovanja nastojano je da se, na osnovu projektovanih softverskih modela funkcionalnih blokova prijemnika konvencionalnog radara, unaprede njegove karakteristike, i to na tri načina. Prvi način podrazumeva promene algoritama obrade signala u projektovanim softverskim modelima funkcionalnih blokova radara. Time bi se unapredile karakteristike postojećeg Doplerovog filtera i procesora CFAR. Namera je da se projektuje Doplerov filter koji bi signale koji potiču od stalnih odraza potiskivao za više od 35 dB. Kod konvencionalnih radara postoji problem detekcije ciljeva na bliskim međusobnim rastojanjima, reda rezolucione ćelije radara. Cilj je projektovanje softverskog modela procesora CFAR koji bi detektovao takve ciljeve, a da se pri tome ne poveća verovatnoća lažnog alarma. Drugi način unapređenja karakteristika podrazumeva uvođenje novih funkcija u projektovane blokove. Na taj način trebalo bi ostvariti funkciju selekcije ciljeva po brzini, kojom bi se ciljevi detektovali, a kasnije i pratili samo u zahtevanom opsegu brzine. Treći

način je implementacija novih softverski modelovanih funkcionalnih blokova s funkcijama koje ne poseduje dati konvencionalni radar. Jedan od ciljeva ovog rada je projektovanje estimatora radijalne brzine, koji bi, na osnovu merenja Doplerove frekvencije reflektovanog radarskog signala, proračunavao brzinu detektovanog cilja.

Da bi se uspešno analizirale mogućnosti primene koncepta softverskog radara kod konvencionalnih radara, radi poboljšanja njihovih karakteristika, i da bi ta analiza bila verifikovana, projektovani su softverski modeli određenih funkcionalnih blokova, prethodno opisanog konvencionalnog radara ŽIRAFa. Blokovi koji su u ovom radu podlegli softverskom modelovanju vezani su za digitalnu obradu signala i podataka, a softverski je realizovan i panoramski pokazivač. Težnja je bila da softverski modeli u što većoj meri odgovaraju realnim karakteristikama hardverskih komponenata realnog radara. Projektovanje svih funkcionalnih blokova urađeno je u programskom paketu MATLAB.

Ako se uporede sl. 1 i 5 može se uočiti da su blokovi „digitalni Doplerov filter, CFAR procesor, fiksni pragovi i ekstraktor“ zamenjeni jednim A/D konvertorom i blokom za obradu signala. Blok za obradu signala čine jedan robustni računar, ojačan DSP pločom, i softver sa softverskim modelima blokova za digitalnu obradu signala konvencionalnog radara. Elementi koji čine blok za obradu signala, odnosno softverski deo radarskog prijemnika, detaljnije su prikazani na sl. 6. Pri softverskom modelovanju blokova težilo se da se njihovi nazivi, funkcije i redosled što bolje slažu sa originalnim blokovima upotrebljenog radara.



Sl. 5 – Uprošćena blok-šema konvencionalnog radara ŽIRAFa sa softverskom obradom signala



Sl. 6 – Deo radarskog prijemnika za obradu signala sa softverski modelovanim blokovima

Analogno-digitalna konverzija

Zbog potrebe da se istovremeno odabira više signala, umesto postojećeg jednokanalnog A/D konvertora radara ŽIRAFa trebalo je upotrebiti jedan višekanalni A/D konvertor. A/D konverzija je obavljena pomoću kartice PCI-9812/10, na kojoj se nalazi jedan četvorokanalni A/D konvertor. Maksimalna frekvencija odabiranja po kanalu je 20 MHz. Ova kartica istovremeno odabira signale iz I i Q grane, koji dolaze sa IQ demodulatora, na trećem kanalu odabiraju se sinhronizacioni impulsi na izlazu iz generatora impulsne frekvencije radara, a

četvrti kanal odabira tzv. „impuls servera“, koji daje informaciju o trenutku prolaska snopa antene preko nultog azimuta. Frekvencija odabiranja navedenih signala bila je 2 MHz, jer je trajanje sinhronizacionog impulsa 1 μ s.

Memorija RANGE BIN

Sledi blok nazvan memorija RANGE BIN u koji se smeštaju podaci sa A/D konvertora i pripremaju za obradu u narednim blokovima. Ova memorija sadrži pakete podataka iz I i Q grane, složene kao na sl. 7. Svaki red predstavlja I

		REDNI BROJ PREDAJNOG IMPULSA				
		1.	2.	3.	.....	N
REDNI BROJ BINA DALJINE	1.	I,Q(1,1)	I,Q(1,2)	I,Q(1,3)	.....	I,Q(1,N)
	2.	I,Q(2,1)	I,Q(2,2)	I,Q(2,3)	.....	I,Q(2,N)
	3.	I,Q(3,1)	I,Q(2,3)	I,Q(3,3)	.....	I,Q(3,N)
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	M	I,Q(M,1)	I,Q(M,2)	I,Q(M,3)	.....	I,Q(M,N)

Sl. 7 – Struktura memorije RANGE BIN

i Q odbirke istog bina daljine, a svaka kolona sadrži I i Q odbirke jednog predajnog impulsa. Rezolucija po daljini, označena sa ΔR , jeste parametar radara koji predstavlja sposobnost razdvajanja dva cilja na istoj uglovnoj koordinati. Radarski sistemi obično su projektovani tako da određuju daljinu cilja od minimalne vrednosti R_{min} , do maksimalne R_{max} . Rastojanje od R_{min} do R_{max} podeljeno je na M binova daljine. Širina svakog bina daljine je ΔR , a njihov broj se tada može dobiti prema izrazu:

$$M = \frac{R_{max} - R_{min}}{\Delta R} \quad (3)$$

Broj reflektovanih impulsa od jednog cilja u toku jednog prebrisavanja antene – N, zavisi od frekvencije obrtanja antene – f_s , frekvencije ponavljanja impulsa – f_r , i širine dijagrama zračenja antene – θ_{3dB} i dat je u izrazu [3]:

$$N = \frac{f_r \theta_{3dB}}{2\pi f_s} \quad (4)$$

Ovakva matrica podataka generiše se za svaki položaj antene po azimutu [3].

Doplerov filter

Doplerov filter realizovan je kao transverzalni filter trećeg reda (sl. 8b), čiji je odziv na δ funkciju isti kao kod dvočelijskog antiklatorskog filtera radara ŽIRAFa, prikazanog na sl. 3 i odgovara jednačini (2). Antiklatorski filter na bazi transverzalnog filtera može imati proizvoljan broj ćelija (slika 8a). Tada težinski koeficijenti transverzalnog filtera odgovaraju binominalnim koeficijentima s promenljivim znacima, a proračunavaju se prema jednačini:

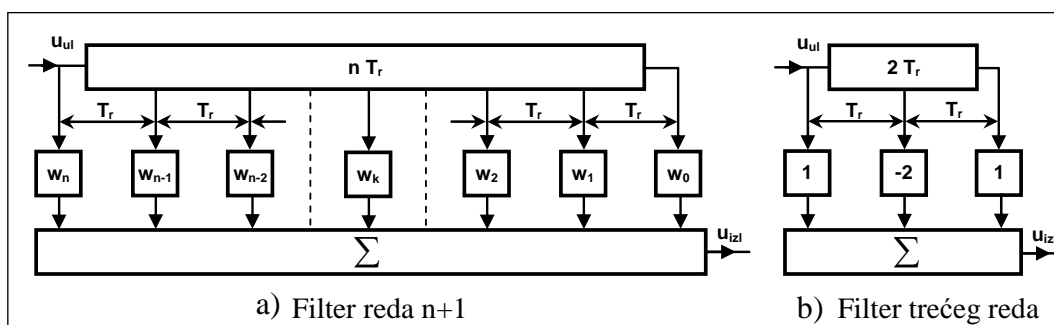
$$w_k = (-1)^{n-k} \binom{n}{k} = (-1)^{n-k} \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (5)$$

gde je:

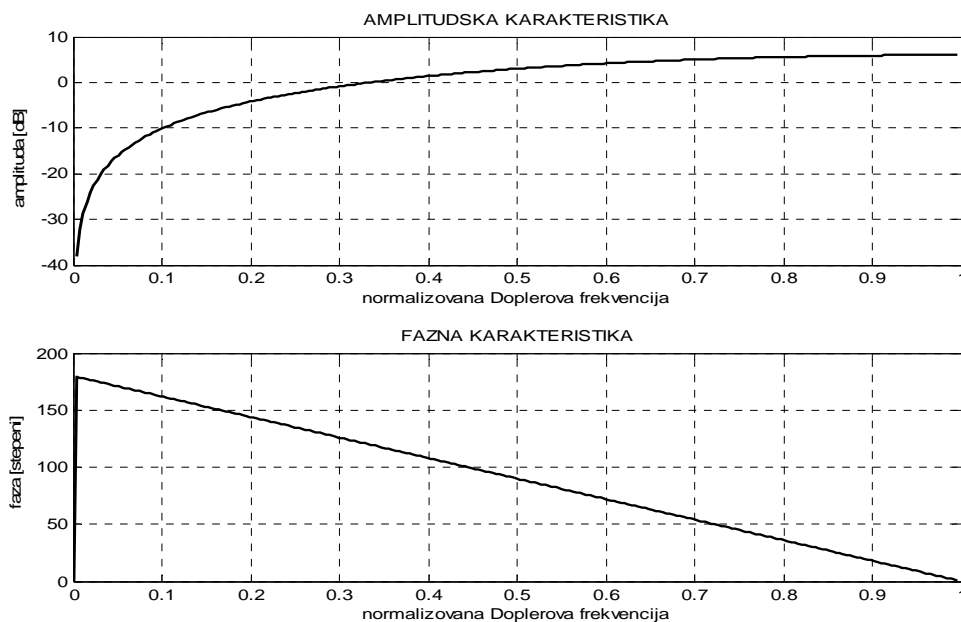
- w_k k-ti težinski koeficijent,
- $n + 1$ red transversalnog filtera, i
- k redni broj težinskog koeficijenta ($k \in \{0, 1, \dots, n\}$).

Ako se za n uzme vrednost 2, težinski koeficijenti antyklaterskog transfer-

znog filtera imaju vrednosti 1, -2 i 1 (slika 8b). Frekvencijska karakteristika projektovanog filtera prikazana je na slici 9. Uočava se da ovakav antyklaterski filter potiskuje signale s malim Doplerovim pomakom za 35 dB. Uvek se filtriraju vektori podataka iz istog bina daljine.



Sl. 8 – Realizacija Doplerovog filtera na bazi transversalnog filtera



Sl. 9 – Amplitudska i fazna karakteristika Doplerovog filtera na bazi transversalnog filtera sa koeficijentima 1, -2 i 1

Detektor anvelope i procesor CFAR

Posle filtriranja signali se prosleđuju do detektora anvelope. Njegov zadatak je da za svaki filtrirani kompleksni par I , Q (m, n) odredi modul po jednačini:

$$X(m, n) = \sqrt{I(m, n)^2 + Q(m, n)^2} \quad (6)$$

gde je:

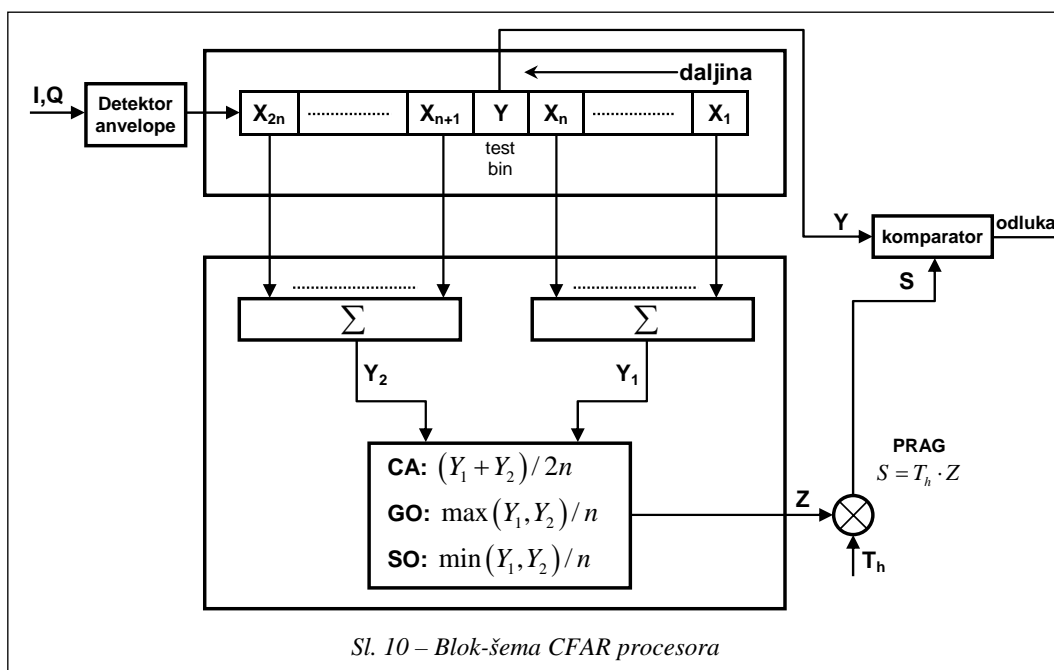
- $I(m, n)$ – filtrirana realna komponenta signala u m -tom binu daljine, n -tog predajnog impulsa,
- $Q(m, n)$ – filtrirana imaginarna komponenta signala u m -tom binu daljine, n -tog predajnog impulsa, i
- $X(m, n)$ – signal na izlazu detektora anvelope u m -tom binu daljine, n -tog predajnog impulsa.

U stvari, $X(m, n)$ predstavlja amplitudu filtriranog signala koji sada dolazi do detektora realizovanog u obliku procesora CFAR.

Procesor CFAR (Constant False Alarm Rate) koristi se kao detektor u radarskim prijemnicima za detekciju ciljeva u zoni osmatranja gde nisu poznati svi parametri statističke raspodele klatera ili tamo gde su oni nestacionarni. Blok-šema procesora CFAR [3] prikazana je na slici 10. Tri glavne tehnike koje se koriste pri realizaciji ovog procesora su:

- CA-CFAR (Cell Averaging CFAR),
- GO-CFAR (Greatest Of the selection logic CFAR) i
- SO-CFAR (Smallest Of the selection logic CFAR).

CA-CFAR je optimalan procesor CFAR kada je zona osmatranja homogena, tj. kada njegove ćelije imaju sadržaj sa identičnom raspodelom klatera. Procesor GO-CFAR koristi se u situacijama kada treba detektovati više ciljeva u grupi, koji su veoma blizu jedan drugom. Ako ciljevi reflektuju signale koji su po amplitudi slični klateru u njihovoj blizini, za detekciju se koristi



procesor SO-CFAR koji sprečava prekomerno pojavljivanje lažnih detekcija ciljeva, odnosno pojavljivanje lažnih alarma. Bitni parametri svakog CFAR-a su:

- verovatnoća lažnog alarma – P_{fa} ;
- veličina prozora detekcije – $2n$;
- srednja vrednost signala u ćelijama – Z ;
- faktor skaliranja praga detekcije – T_h , i
- prag detekcije – S .

Faktor skaliranja praga detekcije, T_h , jeste konstanta kojom se postiže željena vrednost verovatnoće lažnog alarma za datu veličinu prozora detekcije – $2n$. Prozor detekcije sastoji se od dve grupe sa istim brojem ćelija koje se nalaze na suprotnim stranama u odnosu na ćeliju čiji se sadržaj testira.

CA-CFAR obrađuje signale koje dobija od detektora anvelope, tako što usrednjava signale u $2n$ susednih binova daljine (X_i) i dobijenu srednju vrednost upoređuje sa signalom u binu daljine koji se testira (Y). Srednja vrednost signala u $2n$ susednih binova daljine data je u jednačini:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n X_i + \sum_{i=n+1}^{2n} X_i}{2n} = \frac{Y_1 + Y_2}{2n} \quad (7)$$

Nivo praga detekcije, S , računa se za određenu verovatnoću lažnog alarma, P_{fa} . Verovatnoća lažnog alarma kod CA-CFAR-a, zavisi od faktora skaliranja praga detekcije, T_h , prema sledećoj jednačini [3]:

$$P_{fa} = (1 + T_h)^{-2n} \quad (8)$$

Lako se može izračunati da faktor skaliranja iznosi:

$$T_h = \frac{1}{\sqrt[2n]{P_{fa}}} - 1 \quad (9)$$

Kod GO-CFAR procesora parametar Z se dobija preko jednačine:

$$Z = \frac{\max\left[\sum_{i=1}^n X_i, \sum_{i=n+1}^{2n} X_i\right]}{n} = \frac{\max(Y_1, Y_2)}{n} \quad (10)$$

a formula koja povezuje verovatnoću lažnog alarma i faktor skaliranja praga detekcije ima sledeći oblik [3]:

$$P_{fa} = 2(1 + T_h)^{-n} - 2 \sum_{i=0}^{n-1} \binom{n+i-1}{i} (2 + T_h)^{-(n+i)} \quad (11)$$

U slučaju da je procesor SO-CFAR projektovan parametar Z se dobija preko jednačine:

$$Z = \frac{\min\left[\sum_{i=1}^n X_i, \sum_{i=n+1}^{2n} X_i\right]}{n} = \frac{\min(Y_1, Y_2)}{n} \quad (12)$$

a verovatnoća lažnog alarma [3]:

$$P_{fa} = 2 \sum_{i=0}^{n-1} \binom{n+i-1}{i} (2 + T_h)^{-(n+i)} \quad (13)$$

U sva tri načina realizacije procesora CFAR, nivo praga detekcije, S , računa se kao proizvod faktora skaliranja praga detekcije i vrednosti parametra Z po sledećoj jednačini:

$$S = T_h \cdot Z \quad (14)$$

Tabela 2

Vrednosti faktora skaliranja

P_{fa}	2n = 8			2n = 16			2n = 24			2n = 32		
	T_{CA}	T_{GO}	T_{SO}	T_{CA}	T_{GO}	T_{SO}	T_{CA}	T_{GO}	T_{SO}	T_{CA}	T_{GO}	T_{SO}
10^{-4}	2,162	3,60	10,88	0,778	1,36	2,444	0,468	0,833	1,277	0,334	0,602	0,851
10^{-6}	4,623	7,78	36,00	1,371	2,42	5,131	0,778	1,400	2,347	0,540	0,983	1,475
10^{-8}	9,000	15,30	117,9	2,162	3,84	9,905	1,154	2,092	3,916	0,778	1,425	2,302

Proračunate vrednosti za faktor skaliranja, u zavisnosti od vrednosti verovatnoće lažnog alarma i načina realizacije procesora CFAR, prikazane su u tabeli 2.

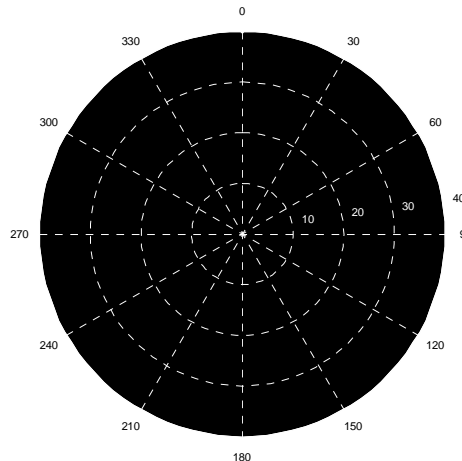
Komparator, u okviru CFAR-a, upoređuje vrednost signala iz test-bina (Y) s dobijenim pragom detekcije prema (14). Ako je $Y > S$ donosi se odluka da je u datom test-binu detektovan cilj sa unapred utvrđenom verovatnoćom lažnog alarma. Ukoliko se pri proračunu donese zaključak da je $Y < S$, u tom test-binu daljine ne nalazi se cilj.

Ekstraktor i pokazivač

U bloku ekstraktora na sl. 6 proračunavaju se koordinate centra cilja po azimutu i daljini za signale iz onih binova daljine u kojima je CFAR detektovao cilj. Zbog dimenzija samog cilja, ali i zbog širine antenskog snopa, postoji više uzastopnih detekcija u susjednim ćelijama memorije RANGE BIN. Pod centrom cilja podrazumeva se onaj bin daljine i azimuta u kojem je vrednost susjednih ćelija na izlazu iz CFAR-a maksimalna.

Da bi dobijeni podaci o koordinatama detektovanih ciljeva bili prikladno prikazani, softverski je modelovan panoramski pokazivač koji liči na realni pokazivač konvencionalnog radara. Softverski modelovani panoramski pokazivač prikazan je na sl. 11. Na njemu se detektovani ciljevi prikazuju kao svetle tačke. Posle

svakog obrtaja antene slika na pokazivaču osvežava se novim podacima o ciljevima. Vizuelno se grubo može proceniti daljina cilja u kilometrima i azimut u stepenima, ali softverski se veoma lako mogu numerisati i obeležavati detektovani ciljevi. Takođe, na monitoru računara mogu se prikazati njihove tačne koordinate. Ako bi se ovde dodali podaci koje daje uređaj za elektronsko legitimisanje ciljeva, olakšalo bi se razvrstavanje ciljeva. Oni bi se, u zavisnosti od grupe kojoj pripadaju (vojni avion, civilni avion itd.), prikazivali različitim simbolima ili bojama.



Sl. 11 – Izgled softverski modelovanog panoramskog pokazivača

Zaključak

Modelovanjem konvencionalnih radara kroz primenu koncepta softverskog radara mogu se poboljšati njihove performanse. Realizacijom ove ideje stvara se

pogodna osnova za unapređivanje karakteristika postojećih konvencionalnih radara primenom modernih tehnika obrade radarskog signala. U radu su projektovani softverski modeli pojedinih funkcionalnih blokova radara, čime se stvorila pogodna platforma za poboljšanje performansi postojećih konvencionalnih radara. Primenom koncepta softverskog radara mogu se unaprediti karakteristike i povećati fleksibilnost konvencionalnih radara, kao i implementirati potpuno nove funkcije koje znatno unapređuju njegove performanse.

Literatura:

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

**Milovan Kostadinović-
Dišović,**
potporučnik, dipl. inž.
VP 1439 Beograd
Dragan Ilić,
potporučnik, dipl. inž.
VP 3233 Beograd

SIMULACIJA RADA OPTIČKE MREŽE POMOĆU SIMULATORA NS-2

UDC: 621.39

Rezime:

Optički multipleks zasnovan na talasnoj dužini nosioca OWDM¹ je tehnologija mreža identifikovana kao odgovarajuća buduća širokopolasna mrežna okruženja, sa dokazanim mogućnostima u pogledu odgovora na povećane zahteve navedenih mreža i kratkom vremenu za uspostavljanje komunikacija. Buduće optičke širokopolasne mreže OWAN² zahtevaju stvaranje odgovarajućih mrežnih protokola i algoritama koji treba da odgovore na promenljive operativne zahteve.

Ključne reči: višetalasni dupleks link, simulacija, srednja brzina dolazećeg saobraćaja, srednje vreme zadržavanja saobraćaja, komutacija fotonskog paketskog prenosa, višeprotokolsko lambda komutiranje, kružna komutacija.

SIMULATION OF OPTICAL NETWORK OPERATION USING SIMULATOR NS-2

Summary:

Optical wavelength division multiplexing (WDM³) networking technology has been identified as a suitable candidate for future wide area network (WAN⁴) environments, due to its potential ability to meet rising demands of high bandwidth and low latency communication. Networking protocols and algorithms are being developed to meet the changing operational requirements in future optical WANs (OWAN).

Key words: duplex fiberlink, simulation, mean session arrival rate, mean session holding rate, photonic packet switching, multi-protocol lambda switching, circuit switching.

Uvod

Imajući u vidu da je simulacija postala neophodan alat u opštem ispitivanju mreža, kada istraživači mogu brzo i bez troškova da procene karakteristike novih protokola, postavlja se pitanje same suštine jednog ovakvog poduhvata. Glavni problemi pri izradi jednog simulatora jesu, pre svega, uniformno mrežno okruženje, kao i razmatranje samog dizajna simulatora. Naime, problem uniformnog

okruženja odnosi se na samu srž rada simulatora koja se u ovom slučaju odnosi na mrežni sloj (rutiranje, dodela talasnih dužina, itd.).

Skoro ceo prioritetni deo ovakvog gledišta WDM mreža baziran je na simulacionim modelima dizajniranim specifično za taj problem. Znajući da postoje različite simulacione platforme i pretpostavke, teško je iskoristiti postojeće protokole i uporediti rezultate pod običnim simulacionim okruženjem. Univerzalno

¹ OWDM – Optical Wavelength Division Multiplex – Multiplex zasnovan na talasnoj dužini nosioca.

² OWAN – Optical Wide Area Network.

³ WDM – Wavelength Division Multiplex.

⁴ WAN – Wide Area Network.

simulaciono mrežno okruženje koje bi omogućilo upoređivanje ključnih karakteristika WDM mreža postalo je neophodno. To bi obezbedilo razvojnim timovima WDM mreža okvir za rad i laku implementaciju novih protokola i karakteristika WDM mreža koje se nalaze u ekspanziji, i lakše upoređivanje dobijenih rezultata, što uključuje ponovno korišćenje postojećih protokola i komponenti simulacija. Što se tiče dizajna simulatora treba istaći da na tržištu postoji veliki broj simulatora, kako besplatnih, tako i komercijalnih, specifično urađenih, za određene namene [1]. Okosnicu simulatora NS-2, po ovom pitanju, predstavlja C++ jezik u saradnji sa OTcl⁵. Naime, samu funkcionalnost elemenata u svakoj vrsti simulacije koju podržava NS-2 obezbeđuje C++ programski jezik, dok povezivanje elemenata i definisanje same topologije mreže mora da se izvede pomoću jezika OTcl.

Arhitektura komutacije optičkog simulatora

Arhitektura zastupljena u optičkom simulatoru dizajnirana je tako da se prilagodi specifičnim karakteristikama potrebnim simulaciji u WDM mreži. Na osnovu toga treba istaći da optički simulator, zasnovan na NS-2 platformi, radi sa fizičkom i logičkom topologijom mreže.

Elementi koji se javljaju na fizičkom planu mreže su komutacioni čvorovi sa optičkom komutacijom, kao i linkovi sa višestrukim talasnim dužinama. Znači, na ovom nivou posmatraju se upravo ele-

menti od kojih esencijalno zavisi mehanizam putanje paketa kroz simuliranu mrežu. Logički sloj obuhvata module rutiranih putanja i module za dodeljivanje talasnih dužina WA⁶, koji zajedno stvaraju i održavaju virtuelnu topologiju mreže. Na ovom nivou ostvaruje se uspostavljena optička putanja, kao i centralizovana višekanalna struktura odgovorna za ukupan uvid o ostvarenim putanjama i iskorišćenim talasnim dužinama.

Verzija korišćena u ovom radu podržava kružnu komutaciju, dok su implementacija komutacije velike količine saobraćaja OBS⁷, zatim komutacije fotonoskog paketskog prenosa, kao i višeprotokolskog lambda komutiranja predviđeni za neki budući rad. Uvođenjem navedenih tehnologija znatno će se promeniti sama struktura rada optičke mreže, ako se ima u vidu kakve prednosti one donose.

Komponente optičkog simulatora NS-2 i iniciranje saobraćaja

Vrlo bitno pitanje predstavlja uvođenje novih komponenti u postojeći mrežni simulator NS-2, koje treba da obezbede odgovarajući rad i simulaciju optičkih komponenti, kao i njihovu međusobnu interakciju. Optički komutacioni čvor, višetalasni linkovi, moduli za rutiranje i modul za dodelu talasnih dužina implementirani su u simulator NS-2 kao posebne komponente koje se uvode posebnim naredbama OTcl jezika: WDMNode, duplex – FiberLink, RouteLogic/Wavelength i WAssignLogic.

⁵ Otcl – Object Technical Language – programski jezik koji je razvijen u SAD.

⁶ WA – Wavelength Assignment – dodeljivanje talasnih dužina.

⁷ OBS – Optical Burst Switching – optička komutacija.

WDMNode predstavlja optički čvor koji je izveden iz postojeće definicije čvora, prisutne u samom mrežnom simulatoru NS-2. U njemu se vrše dve vrste klasifikacije po pitanju ulaza (porta) i po pitanju optičke putanje. Klasifikator portova demultipleksira i prenosi pakete do njihovih odredišta, koji su objekti posebne klase unutar simulatora po imenu Application/SessionTraffic. Klasifikator putanja saraduje sa WAssignLogic komponentom logike, kako bi uspostavio putanje za dolazni saobraćaj i dopunjuje novim informacijama trenutno stanje virtuelne topologije. Ovaj klasifikator, kod izvornog čvora, uvek pokušava da reši zahteve za putanje za svoj generisani saobraćaj ka WAssignLogic komponenti.

Klasični dupleks link, prisutan u simulatoru NS-2, dopunjen je kako bi se formirao višetalasni dupleks link označen kao duplex-FiberLink [3]. Naravno, on ima određene dodatne osobine koje karakterišu upravo njegovu namenu pri optičkoj komunikaciji, kao što su broj talasnih dužina i prošireni opseg, što je, pak, iskorišćeno za modelovanje karakteristika optičkih linkova. Druga bitna razlika u odnosu na postojeće klasične linkove prisutne u simulatoru NS-2 jeste odsutnost komponente čekanja u višetalasnom linku zbog činjenice da se takva osobina ne sme očekivati u modernim optičkim vezama.

Modul odgovoran za procenu pri dodeli talasnih dužina, uspostavljanje veza i pravljenje virtuelne topologije označen je kao WA modul u hijerarhijskom konceptu optičkog simulatora NS-2. Ovaj modul sadrži logiku koja čuva informacije potrebne pri izračunavanju i dodele talasnih dužina. Takođe, moguće

je implementirati i nove algoritme za dodelu talasnih dužina upotrebom prenosnih klasa objekta WAssignLogic.

Modul rutiranja je, sa određenim izmenama, prenesen iz klasičnog simulatora NS-2 zbog činjenice da su algoritmi rutiranja postojećih mreža slični, po funkcionalnosti, sa rutiranjem u WDM mrežama. Kao početni algoritam rutiranja, optički simulator koristi algoritam sa fiksnom – alternativnom i najkraćom putanjom (engl. fixed-alternate shortest path).

Generisanje saobraćaja ima značajnu ulogu u simulaciji, radi pravilnog shvatanja performansi sistema. U simulatoru NS-2, postojeći izvori saobraćaja, kao što su CBR⁸, Exponential i Pareto, dizajnirani su tako da su sposobni za simulacije paketskog prenosa. Prema tome, upravo ovde su i napravljene najveće izmene, kako bi se izašlo u susret komutaciji kola prisutnoj u optičkoj komunikaciji, na ovom nivou razvoja simulatora.

Da bismo opisali saobraćaj u mreži, moramo se upoznati sa dva važna parametra: srednjom brzinom dolazećeg saobraćaja (MSAR)⁹ i srednjim vremenom zadržavanja saobraćaja (MSHT)¹⁰. Oba parametra mere se saobraćajem između izvora i odredišta. Proizvod MSAR i MSHT predstavlja saobraćaj meren u erlanzima i za svaki prenos – distribucija dolaznih paketa je uzeta kao CBR, Exponential ili Pareto. Takođe, postojeći alat za generisanje scenarija prisutan u simulatoru NS-2 proširen je dodacima za generisanje topologije i saobraćaja. Naravno,

⁸ CBR – Constant Bit Rate.

⁹ MSAR – Mean Session Arrival Rate – srednja brzina dolazećeg saobraćaja.

¹⁰ MSHT – Mean Session Holding Time – srednje vreme zadržavanja saobraćaja.

no, u svakom trenutku moguće je izgenerisati željenu topologiju i karakteristike mreže prema nekom specifičnom zahtevu, a moguće je obaviti i veliki broj merenja na nekom slučajno uzetom uzorku i primeru mreže.

Vizuelni prikaz i simulacija u simulatoru NS-2

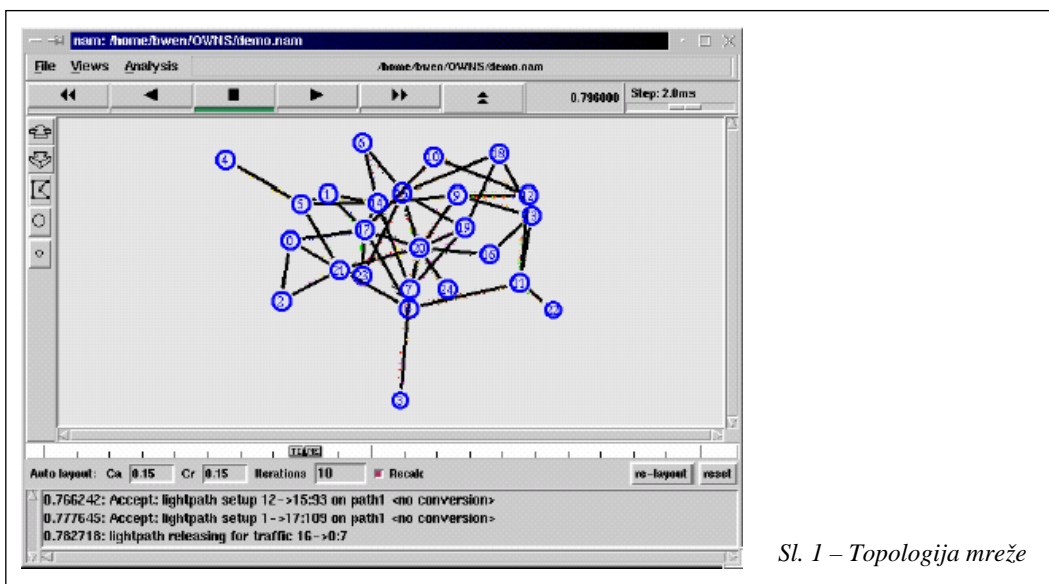
Za vizuelno prikazivanje rada simulacije optički simulator koristi već postojeći alat implementiran u simulatoru NS-2, označen kao nam. nam, koji čita izlazni rezultat koji je generisao simulator NS-2, i koji daje vizuelni prikaz. Prikaz protoka je uobičajen i predstavljen paket-skom animacijom. Da bi se podržao rad WDM mreža, ekstenzije uvedene u nam alatu daju prikaz dva stanja: posmatranje događaja i statistiku virtuelne topologije.

Posmatranje događaja uvedeno je radi prikazivanja paketskog prenosa u virtuelnoj tehnologiji, kao što je, na primer, zahtev za prenošenje dolaznog saob-

raćaja. Posmatranje se može aktivirati u novom, odvojenom prozoru ili u okviru glavnog prozora. Klikom na određeni događaj u mreži ponavljanje tog događaja se momentalno prikazuje tamo gde se pojavio. To omogućuje da se detektuju i ispitaju zanimljivi momenti. Izgled klasičnog primera topologije mreže prikazan je na slici 1.

Primer simulacije koji je urađen korišćenjem optičkog simulatora NS-2 ima niz pogodnosti, i pored činjenice da nije urađen kao primer jedne konkretne i primenjene optičke mreže, što bi predstavljalo pravi smisao jednog ovakvog rada i izazov za autore i njihov budući rad. Kao i većina simulacija koje funkcionišu pod ovim linux baziranim simulatorom, i ova se simulacija sastoji od dva bitna dela [4].

U jednom je moguće definisati i menjati čitav niz različitih parametara bitnih za rad simulacije i krajnje rezultate, dok se u drugom pozivaju različite procedure kojima se kontroliše rad i simulacija definisane mreže. Već je istaknuto da je



Sl. 1 – Topologija mreže

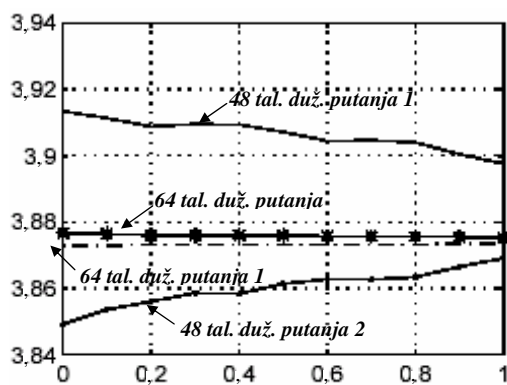
sam simulator NS-2 baziran na OTcl programskom jeziku, koji svoju podršku zatim nalazi u C++ okruženju, na kojem je i zasnovan ovaj linux mrežni simulator, tako da je neophodno poznavanje ovog jezika za pisanje programskog koda.

Protokol koji je implementiran u optički deo ovog simulatora, a koji se odnosi na proceduru dodele talasnih dužina, označen je kao FirstFit, dok je protokol odgovoran za rutiranje WDMStatic. Ova dva protokola rešavaju najbitniji problem po pitanju rutiranja pri prenosu u optičkom domenu RWA¹¹. Zbog činjenice da je moguće definisati čitav niz parametara po pitanju izgleda same mreže u ovoj simulaciji (broj čvorova, propusni opseg linka, broj talasnih dužina po svakom linku), topologija mreže se proizvoljno bira pomoću slučajnog uzorka.

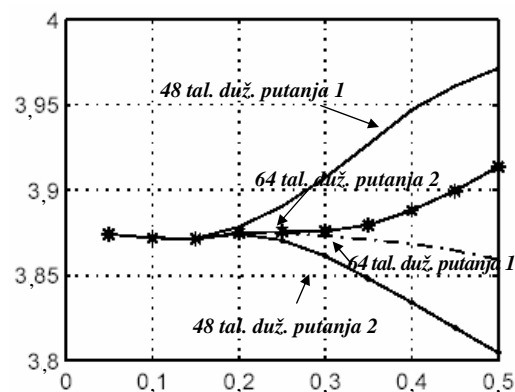
Zahvaljujući promeni parametara moguće je ispitivati različita ponašanja u mreži. Naravno, ostavljena je mogućnost definisanja sasvim konkretne i unapred definisane mreže, pomoću odgovarajućih naredbi implementiranih u optički simulator. Kao krajnji rezultat dobija se izlazni fajl u kojem se nalaze izračunate vrednosti određene simulacije, a koje se odnose na srednje kašnjenje paketa u mreži, verovatnoću blokiranja na pojedinačnom linku, iskorišćenost linka, kao i srednji broj hopova u mreži. Izmenama određenih parametara mogu se dobiti različite krive zavisnosti ispitivane mreže, od kojih su neke date na sledećim slikama. Krive prikazane na slikama dobijene su korišćenjem klasičnih statističkih alata za obradu podataka, pri čemu su podaci uzeti iz rezultujućeg fajla simulacije.

¹¹ RWA – Routing Wavelength Assignment – rutiranje u optičkom domenu.

Na slikama 2 i 3 dati su prikazi za po dve putanje: putanja 1 i putanja 2. Za obe putanje dati su prikazi za 48 i 64 talasne dužine.



Sl. 2 – Zavisnost srednjeg broja hopova u mreži od faktora konverzije talasne dužine



Sl. 3 – Zavisnost srednjeg broja hopova u mreži od saobraćaja koji se prenosi

Mogućnost konverzije talasnih dužina u mreži primenjena je uz korišćenje modela konverzije talasne dužine, izražena u procentima (engl. Sparse wavelength conversion), i parametar koji predstavlja procenat čvorova u mreži koji imaju mogućnost konverzije talasne dužine, a uveden je u simulaciju pod ovim imenom i tokom simulacije se može menjati.

Zaključak

Imajući u vidu kakve prednosti donosi postojanje jedne ovakve infrastrukture, s razlogom se mogu navesti mnogobrojne pogodnosti jednog detaljnog simuliranog procesa koji treba sprovesti, kako bi se u potpunosti mogle sagledati mogućnosti optičke mreže, čak i pre same njene izgradnje. Naravno, gusti multipleks, zasnovan na bazi talasnih dužina (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplex), već je sada realna potreba, pa treba raditi na implementaciji, kako simulacije, tako i same mreže.

Konačni cilj svakako predstavlja komutacija i rutiranje u samom i isključivom optičkom domenu pomoću uređaja tipa OSR¹², koji predstavlja optički ruter,

što je sigurno izazov za budućnost i sam mrežni simulator NS-2, pošto se planira uvođenje modula za podršku rada ovakvog uređaja u budućim rešenjima ovog softverskog alata.

Budući radovi u ovoj oblasti zahtevaju korišćenje već postojećih rezultata, na primeru primene jedne konkretne optičke mreže, sa navedenim načinom prenosa informacija, čija će se implementacija zahtevati i u sistemu veza Vojske Srbije.

Literatura:

- [1] <http://www.isi.edu>
- [2] Somani, A. K.: Survivability and traffic grooming in WDM optical networks, Cambridge University Press 2005.
- [3] Green, P.: Progress in optical networking, IEEE Communications Magazine, Jan. 2001.
- [4] Fall, K., Varadhan, K.: The ns manual, VINT Project, 2001.

¹² OSR – Optical Switching Router – optički ruter.

Profesor dr Miloško Jevtović,
dipl. inž.
Institut Jugoslovenske inženjerske
akademije,
Beograd

PARALELNO UMREŽAVANJE RAČUNARA

UDC: 004.725.5

Rezime:

U radu je izložena originalna koncepcija tehničkog rešenja paralelnog umrežavanja računara, kao i lokalnih računarskih mreža (LAN – Local Area Network), odnosno povezivanja i istovremena komunikacija preko više različitih transportnih telekomunikacionih mreža. Opisano je jedno rešenje paralelnog umrežavanja, kojim je omogućen pouzdani prenos multimedijalnog saobraćaja i prenos podataka u realnom vremenu između računara ili LAN, istovremeno preko N ($N = 1, 2, 3, 4, \dots$) različitih, međusobno nezavisnih mreža širokog prostiranja (WAN – Wide Area Network). Paralelno umrežavanje zasnovano je na korišćenju univerzalnog modema, čije je rešenje, takođe, ukratko predstavljeno.

Ključne reči: računari, umrežavanje računara, računarske mreže, destrukcija mreža, funkcionalna otpornost mreža, univerzalni modem, paralelno umrežavanje.

PARALLEL NETWORKING OF THE COMPUTERS

Summary:

In this paper, new concept for parallel networking of the computers or LANs over different WAN telecommunications networks, is presented. One solution of the parallel networks, which enables reliable transfer of multimedial traffic and data transmission in real time between a computer of LAN via N ($N = 1, 2, 3, 4, \dots$) different inter-connected Wide Area Network. Connections between computers or LANs and wide area networks are realized using universal modems whose solution has also been presented.

Key words: computer, computer networking, computer networks, network destruction, network survivability, universal modem, parallel networking.

Uvod

WAN računarske mreže mogu da budu izložene različitim oblicima ugrožavanja [1], među kojima su najteže destrukcije izazvane ratnim borbenim dejstvima (bombardovanjem) ili prirodnim nepogodama (zemljotresi, poplave, požari), koje mogu da zahvate velika prostiranja. Različite vrste mreža (bežične pokretne radio-mreže, satelitske mreže, žične mreže, optičke mreže) nisu jednako osetljive na ove vrste destrukcija, mada

svaka od njih pojedinačno može da bude ugrožena destrukcijama određenog tipa.

Nameće se pitanje da li je realno moguće obezbediti zaštitu WAN mreža, odnosno funkcionalnu otpornost neke računarske mreže ako je ona izložena destruktivnim dejstvima. U radu je opisano rešenje koje se zasniva na paralelnom umrežavanju računara (ili LAN-ova), odnosno njihovom istovremenom povezivanju na više različitih tipova telekomunikacionih mreža, čime se obezbeđuje sigurna zaštita računarske mreže. To reše-

nje provereno je u realnim uslovima funkcionisanja jedne računarske mreže, koja je bombardovanjem bila izložena velikim destrukcijama.

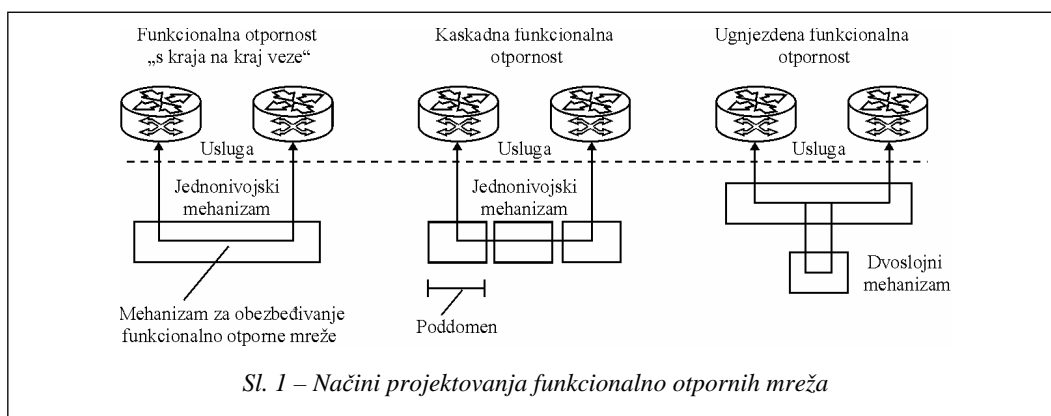
Pod paralelnim umrežavanjem računara podrazumeva se povezivanje računara preko jednog univerzalnog modema [2] sa više različitih interfejsa, preko kojih se modulirani signali istovremeno upućuju na N fizički i prostorno potpuno odvojenih transportnih telekomunikacionih WAN mreža. Na taj način omogućava se da signali preneti preko N različitih mreža budu sigurno prihvaćeni (sa neke od N mreža) od prijemnog modema, bez obzira na moguće destrukcije nekih od N mreža. Prijemni modem analizira signale koji su prispeli sa svih mreža i selektuje onaj signal koji obezbeđuje zahtevani kvalitet usluga (QoS – Quality of Service) [3]. Radi se o korisničkom QoS-u, kojim se definišu zahtevi za osnovne parametre kvaliteta, a to su: kašnjenje, varijacija kašnjenja i verovatnoća gubitka informacija. Na ovaj način moguće je realizovati funkcionalno otporne zaštićene računarske mreže, odnosno sigurnu komunikaciju između umreženih računara, bez obzira na destruktivna dejstva.

Funkcionalna otpornost računarskih mreža

Funkcionalna otpornost mreže (Network Survivability) predstavlja jednu od najznačajnijih osobina današnjih telekomunikacionih mreža. Ona može da se definiše kao mogućnost mreže da održi zahtevani nivo kvaliteta komunikacione usluge prilikom otkaza u mreži, odnosno otkaza nekih njenih linkova ili čvorova. Višeslojna funkcionalna otpornost mreže (Multilayer Network Survivability) odnosi se na mogućnost da se procedure ili šeme za postizanje funkcionalne otpornosti mreže smeste (ugnjezde) između dodirnih slojeva mreže, kao i na načine interakcije ovih šema.

Načini projektovanja funkcionalno otpornih računarskih mreža prikazani su na slici 1. U projektovanju funkcionalno otpornih paketskih IP (Internet Protocol) računarskih mreža, koje na mrežnom sloju koriste MPLS (Multi Protocol Label Switching) ili GMPLS (General MPLS) protokol, razlikuju se tri pristupa:

– funkcionalna otpornost „s kraja na kraj veze“ – postoji samo jedan jednoslojni mehanizam koji obezbeđuje ovu funkcionalnu otpornost;



- *kaskadna funkcionalna otpornost mreže* – postoji više mehanizama koji obezbeđuju ovu otpornost, pri čemu se određeni mehanizmi i procedure primenjuju sekvencijalno, tj. jedna za drugom;
- *ugnjezdena funkcionalna otpornost* – postoji više mehanizama koji obezbeđuju funkcionalnu otpornost, pri čemu se oni koriste za jedan isti domen.

- zaštita 1:N – koja predstavlja specijalni slučaj zaštite tipa 1:1, pri kojoj N radnih putanja deli jednu pomoćnu zaštitnu putanju, što obezbeđuje funkcionisanje mreže samo ako se pojavi jedan otkaz u domenu mreže koji se štiti.

Izbor određenog tipa zaštite vrši se prilikom projektovanja mreže, na osnovu projektnih zahteva.

Tipovi zaštite mreža od otkaza

Postoji više tipova zaštite računarskih MPLS/GMPLS mreža, koji se mogu koristiti radi obezbeđenja njihove funkcionalne otpornosti. To su:

- zaštita 1 + 1 – kod koje se saobraćaj koji se štiti šalje istovremeno preko dve paralelne putanje u mreži, s tim što u toku normalnog rada prijemni entitet prima dva jednaka saobraćajna toka, birajući jedan od njih, ali kada jedna od putanja otkaze, prijemni entitet se prebacuje na prijem saobraćaja sa ispravne putanje;

- zaštita 1:1 – kod koje se, takođe, koriste dve paralelne putanje u mreži, ali u toku normalnog rada nema saobraćaja preko alternativne putanje, već se u slučaju otkaza na primarnoj putanji predajni i prijemni računar prebacuju na alternativnu putanju;

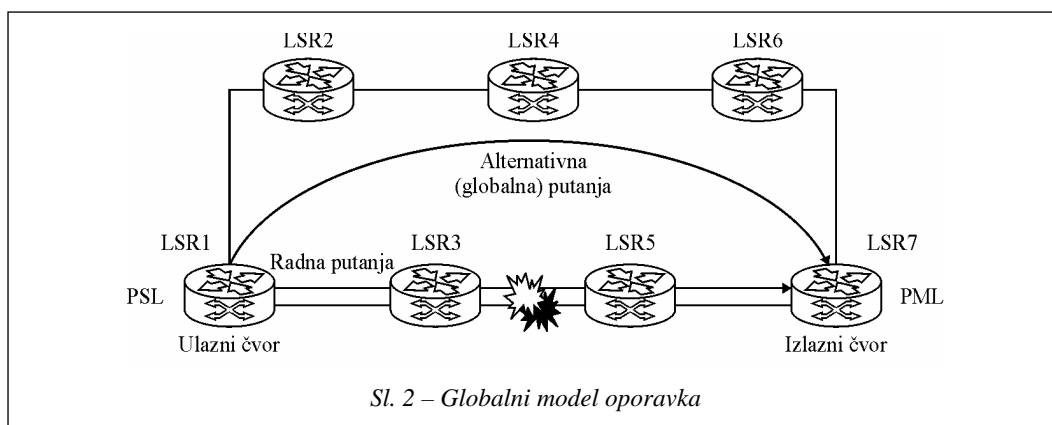
Metode oporavka mreže od otkaza

MPLS protokol obezbeđuje metode oporavke računarske mreže nakon otkrivanja otkaza u mreži. MPLS mehanizmi za zaštitu od otkaza koriste pomoćne putanje na koje se saobraćaj preusmerava kada se u mreži ustanovi otkaz.

Analiza načina projektovanja funkcionalne otpornosti i tipova zaštite računarskih mreža pokazuje da se ova rešenja mogu primenjivati samo kod otklanjanja otkaza u računarskoj MPLS/GMPLS mreži.

Poznata su tri statička modela oporavka (restauracije) mreže:

- Globalni model oporavka (oprawke) računarske mreže prikazan je na slici 2, kod kojeg je ulazni čvor namenjen za ponovno uspostavljanje putanje kroz mrežu kada se pojavi signal indikacije otkaza.



Globalni model zahteva alternativnu putanju za svaku radnu putanju. Globalna zaštita je uvek aktivna na ulaznom čvoru, bez obzira na to gde se otkaz pojavio duž radne putanje.

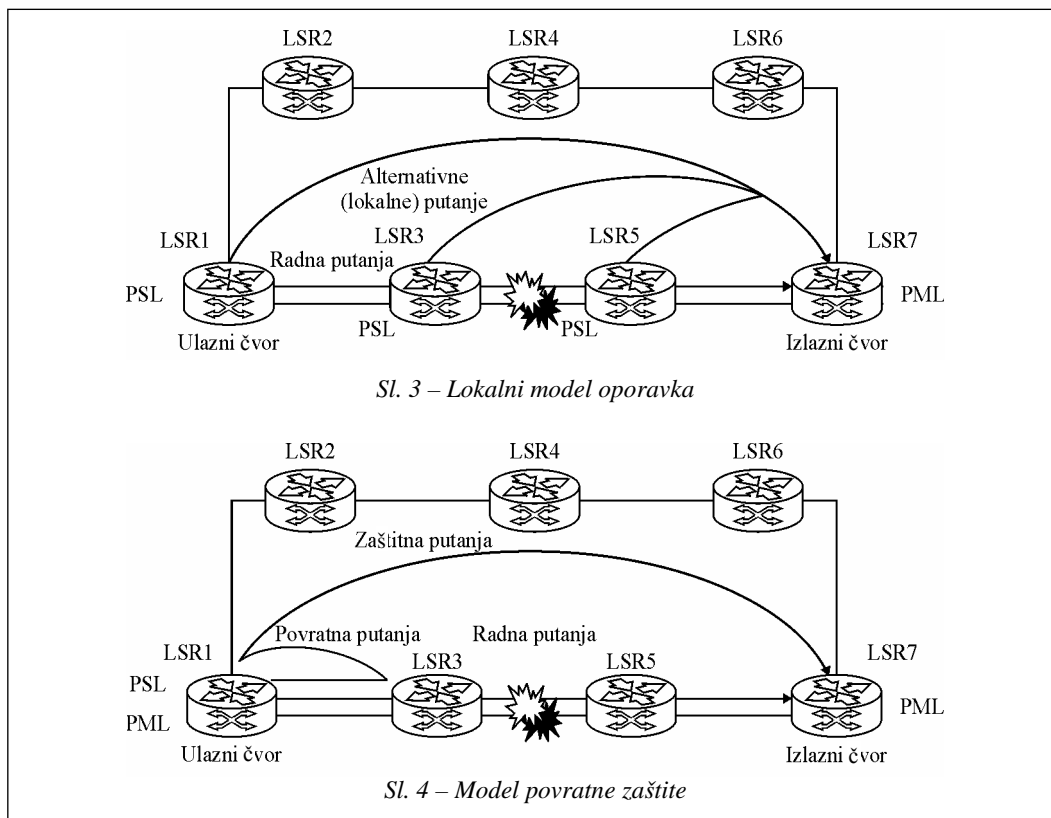
– Lokalni model oporavka računarske mreže (prikazan je na slici 3), koji služi da zaštiti od otkaza linka ili čvora samo deo radne putanje, bez obzira na to gde se on pojavi duž radne putanje.

– Model povratne zaštite (prikazan je na slici 4), kojim se saobraćaj preusmerava nazad do izvornog čvora (rute-
ra) zaštićene putanje.

U trenutku kada se ustanovi otkaz, ruter na kraju linka u otkazu preusmerava dolazni saobraćaj u suprotnom smeru, odnosno ka ulaznom čvoru. Ovaj model po-

godan je u aplikacijama gde su saobraćajni tokovi osetljivi na gubitke informacija. Mana modela povratne zaštite jeste to što su potrebne dve pomoćne putanje da bi se obezbedila zaštita. Drugi nedostatak je kašnjenje, koje nastaje zbog vremena potrebnog da se prenese indikacija o otkazu.

Navedeni tipovi zaštite i modeli oporavka mreže nisu efikasni u zaštiti računarske mreže od destruktivnih dejstava. Oni otklanjaju pojedinačne otkaze, a nisu efikasni u slučaju istovremene destrukcije više linkova i čvorova računarske mreže. Takođe, mora se imati u vidu da se pomenuti modeli mogu primeniti samo kod MPLS/GMPLS mreža, dok za druge tipove računarskih mreža nisu primenljivi.



Funkcionalna otpornost računarskih mreža je neophodna da bi data mreža mogla da zadovolji zahteve za osnovne parametre QoS-a. Prema preporukama G.1000 i G.1010, to su: kašnjenje, varijacija kašnjenja i verovatnoća gubitka informacija. Ispunjavanje ovih zahteva preduslov je da računarska mreža omogući komunikaciju podacima u realnom vremenu, kao i multimedijalni saobraćaj. Takođe, računarska mreža treba da zadovolji ove zahteve i u slučaju destruktivnog ugrožavanja.

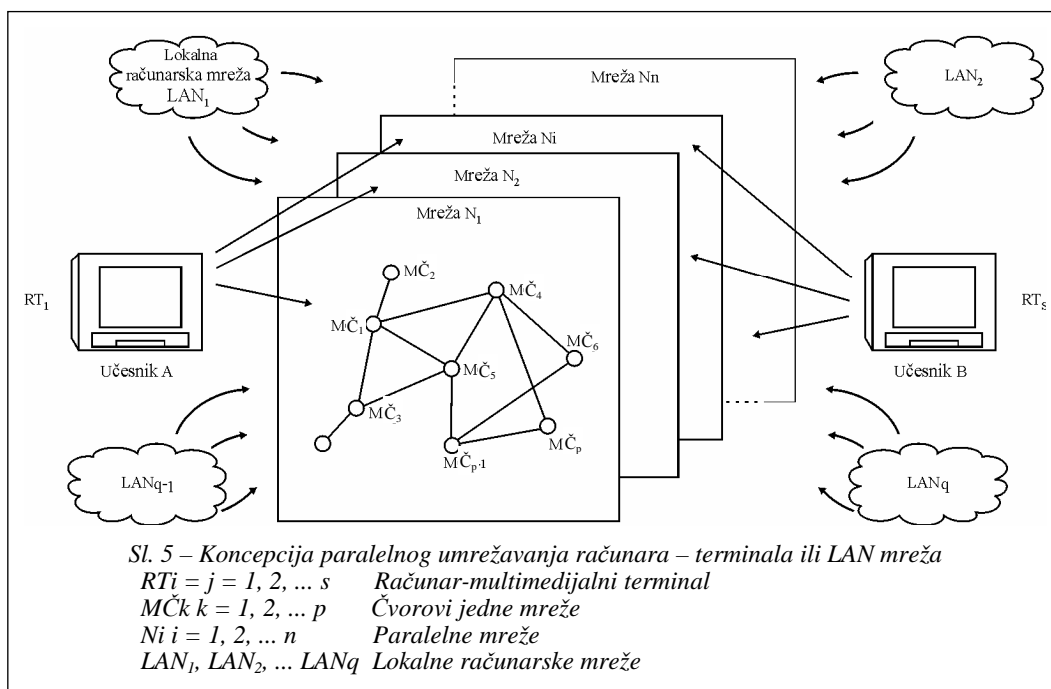
Koncepcija paralelnog umrežavanja

Koncepcija paralelnog umrežavanja računara prikazana je na slici 5. Na svaku od mogućih N WAN mreža, računar ili LAN povezuje se korišćenjem samo jednog univerzalnog modema.

WAN mreže, na koje se povezuju računari ili LAN mreže, mogu biti:

- iznajmljeni kanali telefonske analogne ili digitalne mreže;
- ISDN – digitalna mreža integrisanih službi;
- pokretne KT radio-mreže;
- mobilne bežične VVF/UVF radio-mreže;
- frame relay mreže;
- IP ruterske mreže;
- satelitski kanali, odnosno mreže;
- kablovske žične i optičke mreže;
- telefonske radio-relejne mreže itd.

Mrežne performanse navedenih vrsta telekomunikacionih mreža moraju biti u granicama koje su definisane određenim standardima. Prenos podataka u realnom vremenu uspešno se može realizovati samo ako je kvalitet prenosa signala u referentnim granicama [4]. S obzirom na to da se performanse ovih mreža znat-



no razlikuju, računari se na svaku od njih moraju povezivati korišćenjem različitih tipova modema, odnosno moduliranih signala. Zbog toga se računari na te mreže povezuju jednim univerzalnim modemom, koji omogućava da se podaci (sa računara) modulišu istovremenim korišćenjem više različitih modulacija. To znači da se podaci (signali) sa računara, različito modulirani u univerzalnom modemu, prenose istovremeno preko kanala pojedinačnih mreža. Prijemni univerzalni modem utvrđuje kvalitet svakog primljenog signala, a ka računaru upućuje demodulirani najkvalitetniji signal. Pod najkvalitetnijim signalom podrazumeva se onaj koji ima minimalno kašnjenje, varijaciju kašnjenja (džiter) i najmanje gubitke informacije. Ukoliko neka od N transportnih mreža bude onesposobljena destruktivnim dejstvima, ona ne utiče na mogućnost i kvalitet komunikacije podacima u računarskoj mreži.

Praktična provera efikasnosti paralelnog umrežavanja izvedena je u realnim uslovima kada je jedna namenska računarska mreža bila izložena destruktivnom razaranju. Podaci su prenošeni preko tri paralelne mreže, od kojih je jedna bila pokretna KT radio-mreža. Povezivanje na pomenute mreže ostvareno je korišćenjem multitonskog modema M-2400, koji omogućava otpremanje, odnosno prijem podataka istovremeno sa dve mreže.

Modem M-2400 automatski utvrđuje kvalitet signala, poređenjem džitera faze multitoniranih moduliranih signala. Time se omogućava da prema računaru bude prosleđen signal sa najboljim kvalitetom. Sa tri paralelno povezane transportne mreže obezbeđena je zahtevana funkcio-

nalna otpornost, uprkos destruktivnoj osnovnoj mreži, na koju su se računari uobičajeno povezivali u normalnoj eksploataciji.

Univerzalni modem i povezivanje računara na paralelne mreže

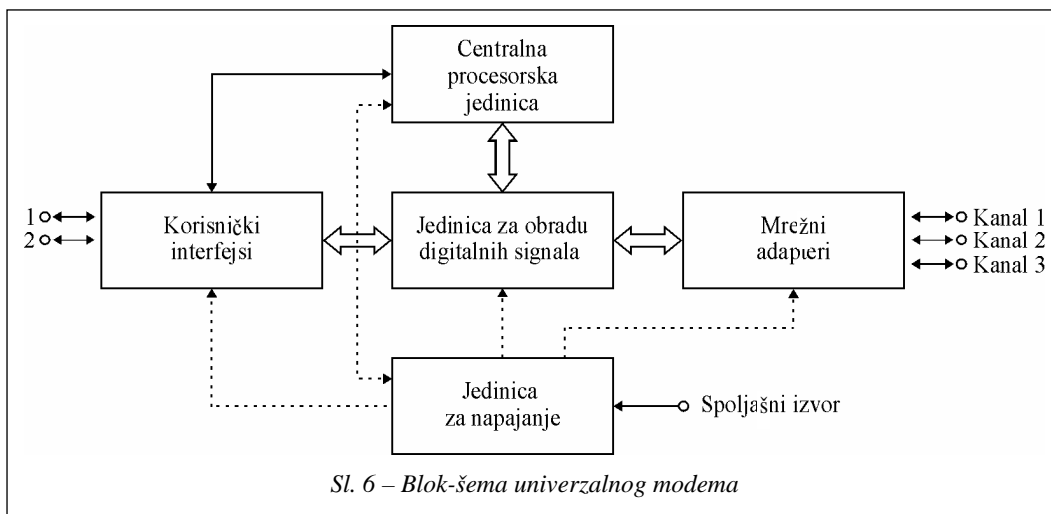
Paralelno umrežavanje tehnički je izvodljivo pod uslovom da se koristi modem (kojim se povezuje računar ili LAN na WAN mreže) koji generiše dva ili više različito moduliranih signala. Ti modulirani signali sa modemske interfejsa prenose se preko odgovarajućih transportnih mreža ka drugom modemu, odnosno računaru ili LAN-u.

Univerzalni modem je projektovan [2] tako da omogući komunikaciju – prenos podataka, istovremenim povezivanjem računara preko više nezavisnih telekomunikacionih mreža. Drugim rečima, univerzalni modem u upotrebnom i funkcionalnom smislu predstavlja multimodem. On objedinjava više različitih tipova modema u jednom uređaju, a prilikom komunikacije ti modemi otpremaju ili primaju istu poruku, odnosno podatke. Povezan sa jednim univerzalnim modemom, računar, terminal, senzor (radar) ili LAN priključuje se istovremeno na više WAN mreža.

Univerzalni modem [2] obuhvata funkcije sledećih klasičnih tipova modema:

- FSK V.23 asinhroni modem, čije su funkcije i tehničke karakteristike definisane ITU-T preporukom V.23;

- paralelni multitonirani modem, čije su funkcije definisane standardom MIL-STD-188C, tačka 4.5.7, koji omogućava prenos podataka brzinom 2400 b/s preko KT radio-mreža;



– dupleksni V.22 bis modem, čije su funkcije i karakteristike date u ITU-T preporuci V.22 bis;

– modem V.26, za prenos podataka preko 4-žičnih kanala, čije su tehničke karakteristike definisane UTU-T preporukom V.26;

– dvožični dupleksni modem V.32, čije su performanse date ITU-T preporukom V.32;

– modem 2B1Q, za komunikaciju preko ISDN mreža i prenos podataka u osnovnom opsegu bitskim brzinama do 144 kb/s, čije su karakteristike definisane ETSI standardima;

– jednotonski modem, za prenos podataka brzinama do 16 kb/s preko VVF-

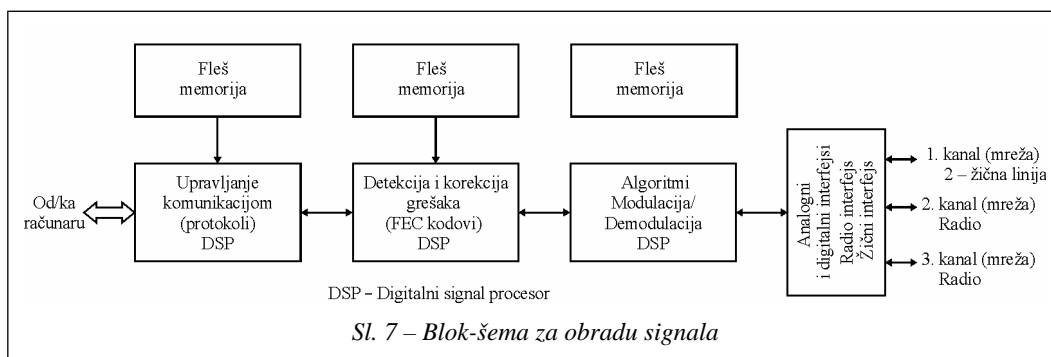
UVF radio-mreža i satelitskih veza, čije su karakteristike definisane standardom MIL-STD-188-181-A;

– modem za prenos podataka prema NATO standardu STANAG 4285.

Blok-šema univerzalnog modema prikazana je na slici 6.

Osnovni elementi univerzalnog modema su: centralna procesorska jedinica (mikroprocesor), jedinica za obradu digitalnih signala (sa DSP i fleš memorijama), mrežni adaptieri (interfejsi prema mrežama), korisnički interfejsi i jedinica za napajanje.

Blok šema jedinice za obradu digitalnih signala prikazana je na slici 7. U ovoj jedinici softverski se realizuju sledeće funkcije: upravljanje komunikaci-



jom (komunikacioni protokoli), kodovanje radi detekcije i korekcije grešaka koje su nastale prilikom prenosa podataka i modulacije – demodulacije signala.

Sve funkcije modema realizovane su softverski. Softverski modulatori i demodulatori, softverska sinhronizacija, kodovanje i dekodovanje i druge softverski realizovane funkcije omogućile su koncentraciju funkcija brojnih klasičnih modema u jednom uređaju. Bez izmena u hardveru, univerzalnom modemu mogu se dodavati funkcije drugih željenih tipova modema. Programi koji obavljaju ove funkcije modema uskladišteni su u fleš memoriji, čime je olakšano i ubrzano biranje odgovarajuće modulacije prema performansama mreže [4] na koju se upućuju modulirani signali.

Zaključak

Predstavljena koncepcija tehničkog rešenja paralelnog umrežavanja računara

i lokalnih pristupnih mreža, zasnovana na korišćenju posebnog univerzalnog modema, omogućava efikasno rešenje zaštite WAN računarskih mreža u slučaju destruktivnih dejstava po komunikacionom sistemu nekog regiona ili neke zemlje. Rezultati praktične primene ovog rešenja, u uslovima kada je komunikacioni sistem vojske jedne zemlje bio izložen destruktiji bombardovanjem, pokazuju da se na ovaj način može ostvariti funkcionalna raspoloživost i efikasnost određene računarske mreže.

Literatura:

- [1] Jevtović, M.: Multimedijalne telekomunikacije, ISBN 86-903281-6-5, Grafo-Žig, Beograd, 2004.
- [2] Jevtović, M.: Projekat realizacije univerzalnog modema, VTI, Beograd, interni dokument, 2002.
- [3] Jevtović, M.: Kvalitet usluga telekomunikacionih mreža, ISBN 86-903281-1-4, Grafo-Žig, Beograd, 2002.
- [4] Jevtović, M.: Univerzalni modem – Laboratorijska ispitivanja i merenje parametara kanala na linkovima računarskih mreža, Fakultet tehničkih nauka, Katedra za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Novi Sad, interni dokument, 2003.

Profesor dr Miroslav Demić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Kragujevac

RAZVOJ MODELA VOZAČA ZA UPRAVLJANJE VOZILOM TOKOM PRAVOLINIJSKOG KRETANJA

UDC: 656.052.42

Rezime:

Upravljanje vozilom na pravolinijskom putu spada u specijalan slučaj analize dinamičkog sistema vozač – vozilo – okruženje, jer podužno kretanje vozila podrazumeva aktivno učešće vozača u uslovima koji su definisani parametrima puta i vozila. U savremenoj literaturi postoje pokušaji modeliranja pomenutog sistema u uslovima pravolinijskog kretanja, ali, do sada, nije definisan opšteprihvaćeni model vozača. Problem se usložava činjenicom da se u razmatranje mora uzeti i veoma složeno ponašanje motora i transmisije u dinamičkim uslovima. U radu je modeliran sistem vozač – vozilo u uslovima pravolinijskog kretanja radi praćenja zadate, najčešće, promenljive brzine vozila.

Ključne reči: vozač, vozilo, put, model.

DEVELOPMENT OF DRIVER MODEL FOR VEHICLE CONTROL DURING A STRIGHT LINE MOTION

Summary:

To drive the vehicle on a straight line road can be put as a special case analysis of a Driver-Vehicle-Environment dynamical system, because, longitudinal vehicle motion means that active driver participates in the conditions defined by road and vehicle parameters. In contemporary literature, there are some attempts of modeling the mentioned system in the case of a straight line drive, but, so far, there is no generally accepted model of a driver. It should be mentioned that the problem is more complex with fact that a very complex motor and transmission behavior must be assumed in dynamic conditions. There are some attempts of modeling the driver and vehicle in the case of straight line driving, with a goal of tracking the given, frequently variable vehicle speed.

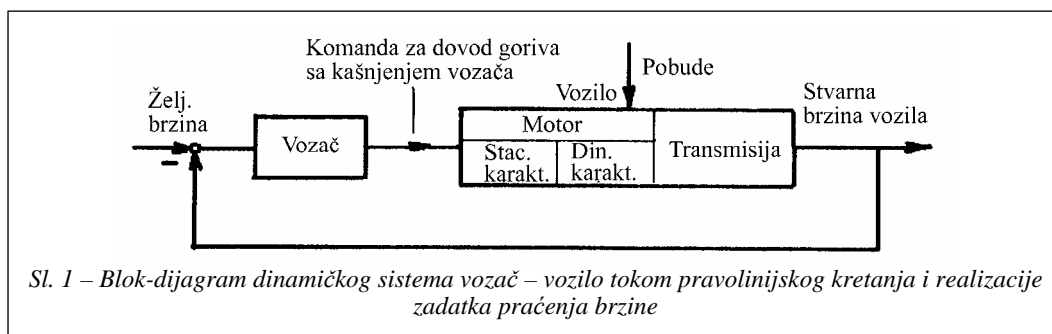
Key words: driver, vehicle, road, model.

Uvod

Radi povećanja bezbednosti vozila, u poslednje vreme koriste se sistemi koji pomažu vozaču ili smanjuju njegovu ulogu tokom vožnje. To se, prvenstveno, postiže sistemima koji omogućavaju korekciju dejstva vozača na točak upravljača, vožnju u koloni, onemogućavanje blokiranja točkova, kontrolu pogonskih sila i sl. Kako su oni detaljno opisani u [10, 22], ovde o njima neće biti reči.

U ovom radu biće definisan model vozača za upravljanje vozilom tokom pravolinijske vožnje, pri izvršavanju zadatka praćenja zadate brzine, a problem je, radi ilustracije, prikazan na slici 1.

Sa slike se vidi da se vozač ne može posmatrati odvojeno od vozila, jer on prati stvarnu i upoređuje je sa željenom – zadanom brzinom. U zavisnosti od njihove razlike, deluje na komandu za dovod goriva, pri čemu se javlja kašnjenje reakcija od trenutka utvrđivanja razlike brzina do trenutka realizacije pomeranja stopala.



Vozilo, na koje deluju spoljašnje pobude (od vazduha, neravnina puta i sl.), predstavlja složeni dinamički sistem, jer obuhvata dinamičke karakteristike motora i transmisije, pa mu se tokom modeliranja mora posvetiti posebna pažnja. Uticaj makroprofila puta uzet je u obzir kroz podužni nagib puta, a o modeliranju posmatranog dinamičkog sistema biće više reči u narednom tekstu.

Modeliranje vozača i vozila

Vozač upravlja vozilom posredstvom: sistema za upravljanje, komandi koje definišu rad motora i transmisije i sistema za kočenje. Modeliranje dinamičkog sistema vozač – vozilo – okruženje tokom pravolinijske vožnje, u najopštijem slučaju, nije jednostavan zadatak, pa se uvode uprošćenja. Kako se pri modeliranju sistema vozača nailazi na veliki broj nepoznanica, ovde je usvojen koncept optimalnog upravljanja [1–11].

Modeliranje motora predstavlja problem sa više nepoznanica, tim pre što njegove karakteristike nisu stacionarne, kako se obično pretpostavlja, već zavise od načina delovanja na komandu za dovod goriva, opterećenja, broja obrtaja i sl. [19, 26, 31, 32].

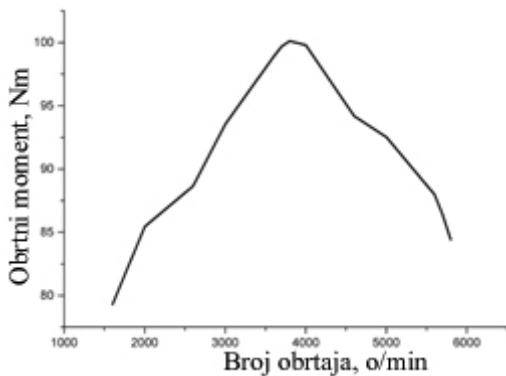
Radi uprošćenja modela vozila, u konkretnom slučaju, posmatrana je idealna transmisija sa kontinualno varijabilnim menjačem, pogonskim mostom i odgovarajućim glavnim prenosnikom [13, 21].

Modeliranje pogonske grupe

Pogonska grupa posmatranog vozila obuhvata motor sa njegovim, u najopštijem slučaju, dinamičkim performansama, idealni kontinualno varijabilni menjač, pogonski most i točkove.

Problem modeliranja motora je veoma složen, jer treba opisati njegove nestacionarne (dinamičke) brzinske karakteristike [31]. Kako ovaj problem nije teorijski razrešen, a imajući u vidu da su za performanse vozila značajne mehaničke (brzinske), a ne termodinamičke karakteristike, u daljem tekstu o njima će biti više reči.

Danas se ispitivanja motora, najčešće, vrše pri konstantnom dovodu goriva, a u slučaju da je on maksimalan, takve karakteristike nazivamo spoljašnjim [19, 32]. Radi ilustracije, na slici 2 prikazan je karakter obrtnog momenta jednog vozila iz proizvodnog programa Zastave [34], čiji će parametri biti korišćeni tokom daljih istraživanja.



Sl. 2 – Obrtni moment posmatranog motora pri maksimalnom dovodu goriva

Karakteristike motora pri delimičnom dovodu goriva nazivaju se parcijalnim [11, 19, 21]. Proizvođači motora ih najčešće javno ne publikuju, ali su ispitivanja pokazala da se može grubo usvojiti da parcijalne karakteristike motora linearno zavise od količine dovedenog goriva [26], a ova konstatacija je mnogo tačnija kod dizel motora, nego kod benzinskih motora. Imajući u vidu složenost problema i nedostatak eksperimentalnih podataka za posmatrani motor, ocenjeno je celishodnim da se u ovom radu koristi ovo uprošćenje.

Radi daljih analiza, kriva momenta sa slike 2 aproksimirana je polinomima, pri čemu su analize pokazale da polinom petog stepena daje zadovoljavajuću tačnost.

Na osnovu prethodnog, parcijalne brzinske karakteristike motora su prikazane izrazom:

$$M_e(n_e, \alpha) = M_e(n_e, \alpha_{100}) \alpha \quad (1)$$

gde je:

$M_e(n_e, \alpha)$ – zavisnost obrtnog momenta motora od broja obrtaja i količine dovedenog goriva,

$M_e(n_e, \alpha_{100})$ – zavisnost obrtnog momenta motora od broja obrtaja pri maksimalnom dovodu goriva,

α – upravljačka veličina koja, u suštini, definiše dovod goriva u motor, a kreće se u intervalu [0, 1].

Dinamičke brzinske karakteristike motora, najčešće, nisu poznate, a radi ilustracije, na slici 3 prikazano je ponašanje jednog motora pri naglom uvećanju i smanjenju količine dovedenog goriva [26]. Kao što se sa slike vidi, pri naglom „dodavanju gasa“ menja se broj obrtaja, a obrtni moment raste sa kašnjenjem (u konkretnom slučaju 1,5 s), a slično se ponaša i pri „oduzimanju“ gasa. To se može objasniti nedostatkom vazduha kod benzinskih, odnosno kašnjenjem turbine (opet vezano za nedostatak vazduha) kod dizel motora [26]. Egzaktno modeliranje dinamičkih karakteristika motora je, praktično, nemoguće, pa se, za praktične potrebe, vrši aproksimacija eksperimentalnih podataka [13]. Na osnovu slike 3 dinamičke karakteristike mogu se, približno, izraziti u funkciji stacionarnih brzinskih karakteristika motora, uvođenjem jedinične funkcije kašnjenja, tj.:

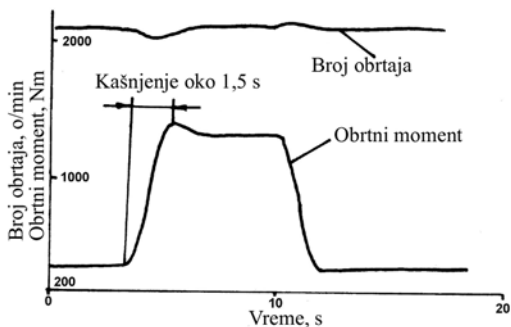
$$M_{edin}(n_e, \alpha) = M_e(n_e, \alpha) h(t - t_m) \quad (2)$$

gde je:

t – vreme,

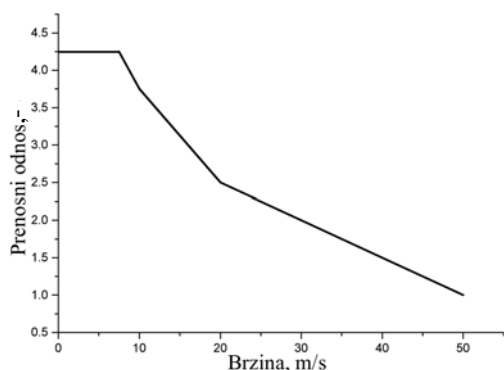
t_m – vreme kašnjenja motora (usvojeno 1,5 s),

$h(t - t_m)$ – jedinična funkcija sa kašnjenjem koja ima vrednosti 0 za $t < t_m$, a izvan tog intervala 1.



Sl. 3 – Dinamičko ponašanje motora pri nagloj promeni količine dovedenog goriva

Radi lakše analize usvojeno je da pogonska grupa predstavlja kombinaciju idealnog kontinualno varijabilnog menjača, kardanskog prenosa i pogonskog mosta [13, 21]. Karakteristika usvojenog idealnog kontinualno varijabilnog menjača prikazana je na slici 4, a glavni prenosnik imao je prenosni odnos 4.



Sl. 4 – Karakteristika idealnog varijabilnog menjača

Napomenuto je da je makroprofil puta, u slučaju pravolinijske deonice, obuhvaćen podužnim nagibom puta. Imajući u vidu uslove puta i karakteristike transmisije, izračunato je ubrzanje vozila [11, 21, 30]:

$$j = \frac{g}{\delta} [D(v) - f(v) \cos u - \sin u] \quad (3)$$

gde je:

$D(v)$ – dinamički faktor,

$f(v)$ – koeficijent otpora kotrljanja,

δ – koeficijent učešća obrtnih masa,

u – ugao podužnog nagiba puta (znak „-“ za nizbrdicu).

Dinamički faktor izračunat je prema formuli:

$$D(v) = \frac{F_o - R_v}{G} \quad (4)$$

Pogonska sila uključuje dinamičke parametre motora date izrazom (2) i transmisije, a data je izrazom:

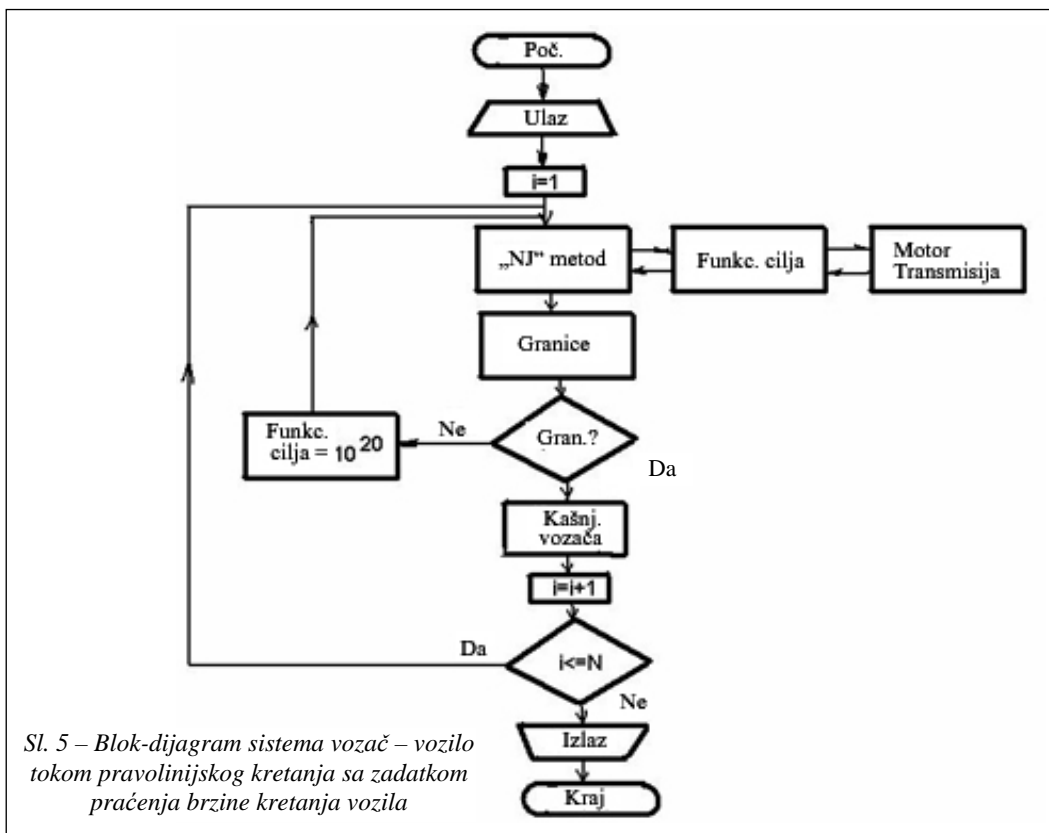
$$F_o = \frac{M_{edin}(n_e, \alpha) i_g i_o \eta_u}{r_d} \quad (5)$$

gde su korišćene oznake istovetne onima iz [11, 21, 30]. Detalji izračunavanja dinamičkog faktora poznati su iz [11, 21, 30].

Jednačina (3) omogućava izračunavanje ubrzanja, čijom se integracijom izračunava stvarna brzina vozila.

Modeliranje vozača

Uloga vozača pri izvršavanju zadatka praćenja brzine tokom pravolinijske vožnje, definisana je optimalnim kontrolerom, čiji su parametri identifikovani metodom stohastičke parametarske optimizacije. Njegove funkcije ne mogu biti posmatrane odvojeno od vozila, pa će u daljem tekstu korišćeni model dinamičkog sistema vozač – vozilo – put biti detaljnije opisan.



Sl. 5 – Blok-dijagram sistema vozač – vozilo tokom pravolinijskog kretanja sa zadatkom praćenja brzine kretanja vozila

Blok-dijagram modela zasnovanog na metodi optimizacije prikazan je na slici 5. Očigledno je da se u svakom trenutku, korišćenjem modela motora i transmisije, vrši izračunavanje veličine funkcije cilja (kvadrat razlike željene v_{zad} i ostvarene brzine v_{stv}), tj:

$$\Phi = (v_{zad} - v_{stv})^2 \quad (6)$$

Preciznije rečeno, za svaku diskretnu vrednost vremena izračunava se minimalna vrednost funkcije cilja (6).

Završetak iterativnog procesa, u svakom trenutku, realizovan je kada je razlika dve susedne vrednosti funkcije cilja bila manja od 10^{-5} .

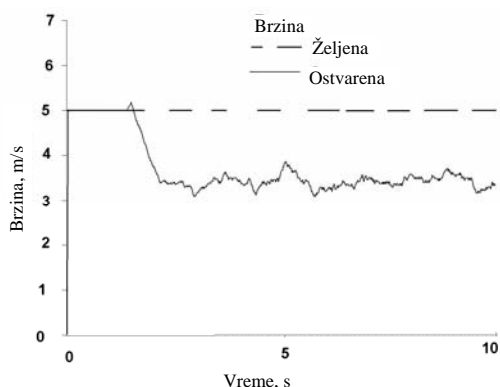
Radi uvođenja konstruktivnih ograničenja za dovod goriva, korišćen je metod spoljašnjih kaznenih funkcija, koji je detaljno opisan u [1–11]. Sva izračunavanja vršena su uz pomoć posebno razvijenog programskog paketa u Paskalu, a treba naglasiti da je simulacija izvršena u 5000 tačaka, sa korakom od 0,01 s, što je omogućilo dobijanje verodostojnih podataka u intervalu 0,02 do 50 Hz. Imajući u vidu postavljene zadatke, to je veoma prihvatljivo [13–29].

U proces dinamičke simulacije uključeno je i vreme kašnjenja vozača, koje obično iznosi 0,6 do 0,8 s [18], a u konkretnom slučaju usvojeno je 0,7 s.

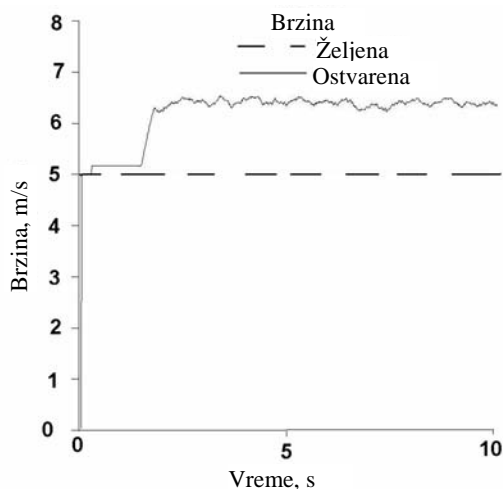
Analiza rezultata dinamičke simulacije

Da bi testovi razvijenog modela vozača i vozila bili pouzdaniji, usvojeno je da zadata brzina vozila nema nultu vrednost u početnom trenutku. Time vozač mora najpre da sa vozilom ostvari zadatu brzinu, čija vrednost u tom trenutku nije nula, pa da je u kasnijem periodu prati. Radi analize rezultata razvijenog dinamičkog modela vozača i vozila pri praćenju brzine, tokom pravolinijske vožnje, posmatraće se slike 6 do 10.

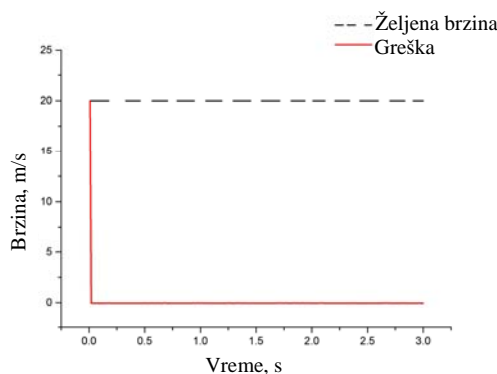
Analizom podataka sa slike 6 može se uočiti da vozilo idealno prati zadatu brzinu do oko 1,5 s, a zatim je srednja brzina nešto manja od željene. Razlozi za ovakvo ponašanje sistema mogu se objasniti kašnjenjem promene obrtnog momenta motora za oko 1,5 sekundi. Imajući u vidu usvojeni karakter dinamičkih karakteristika motora, vozač nastoji da stalno prati zadatu brzinu od 5 m/s, ali zbog dinamičkih pojava to ne uspeva u kratkom periodu (svakih 0,01 s). Međutim, na brzinomeru su ove razlike male, pa se može tvrditi da vozilo sa prihvatljivom tačnošću prati zadatu brzinu.



Sl. 6 – Ponašanje sistema u slučaju praćenja brzine na pravolinijskoj uzbrdici



Sl. 7 – Ponašanje sistema u slučaju praćenja brzine na pravolinijskoj nizbrdici

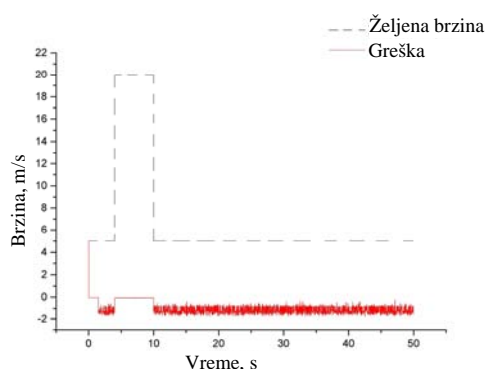


Sl. 8 – Ponašanje sistema u slučaju da je zadato održanje konstantne brzine

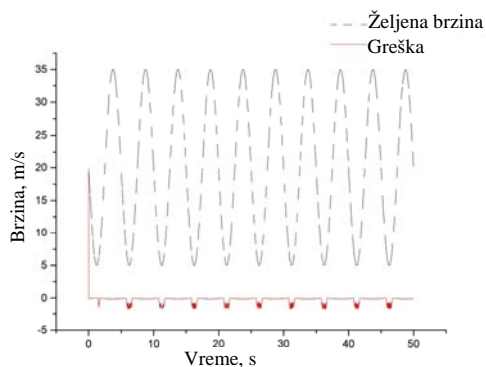
Slična je situacija i pri kretanju vozila na pravolinijskoj nizbrdici. Samo u tom slučaju brzina vozila posle 1,5 sekunde je nešto veća, a objašnjenja su identična kao i u prethodnom slučaju, uz napomenu da vozač u slučaju potrebe može aktivirati i kočni sistem, koji u ovom slučaju nije modeliran.

Ponašanje posmatranog dinamičkog sistema pri realizaciji zadatka kretanja konstantnom brzinom od 20 m/s na pravolinijskom horizontalnom putu, prika-

zано je na slici 8, na kojoj je isprekidanom linijom označena željena brzina, a punom linijom odstupanje stvarne brzine od željene. Sa slike je očigledno da je greška bliska nuli, osim u trenutku polaska vozila iz mesta. To ukazuje na to da usvojeni model vozila i vozača veoma dobro simulira ponašanje sistema praćenja konstantne brzine.



Sl. 9 – Ponašanje sistema u slučaju da je zadato održanje brzine koja se u jednom trenutku naglo menja



Sl. 10 – Ponašanje sistema u slučaju da je zadato održanje brzine koja se menja po sinusnom zakonu

Slučaj praćenja zadate brzine koja se u jednom trenutku naglo menja prikazan je na slici 9. Simulacija je realizovana za pravolinijsku horizontalnu deonicu

puta, a treba istaći da je ovakva promena brzine veoma drastična. Na slici je isprekidanom linijom prikazana željena brzina, a punom odstupanje od te brzine. Očigledno je da je, i u ovom slučaju, usvojeni model imao veoma malu grešku, osim pri polasku iz stanja mirovanja, jer je stvarna brzina u tom trenutku bila jednaka nuli.

Slučaj praćenja zadate brzine koja se menja po sinusnom zakonu prikazan je na slici 10. Simulacija je realizovana za pravolinijsku horizontalnu deonicu puta, a treba istaći da je ovakva promena brzine, takođe, drastična. Na slici je isprekidanom linijom prikazana željena brzina, a punom odstupanje od te brzine. Očigledno je da je, i u ovom slučaju, usvojeni model imao veoma malu grešku, osim pri polasku iz stanja mirovanja, jer je stvarna brzina u tom trenutku bila jednaka nuli.

Zaključak

Na osnovu izvršenih analiza može se zaključiti da je usvojeni model vozača baziran na teoriji optimizacije, pokazao veoma dobre performanse praćenja zadate brzine vozila, što omogućava njegovu primenu i pri rešavanju drugih zadataka koji su vezani za pravolinijsko kretanje (praćenje zadanog rastojanja, zaustavljanje vozila tokom kočenja i sl.).

Literatura:

- [1] Bunday, P.: Basic Optimization Methods, Spottiswoode Ballantyne, Colchester and London, 1984.
- [2] Demić, M.: Identification of Vibration parameters for Motor Vehicles, Vehicle System Dynamics, Vol. 27, 1997, pp. 65–88.
- [3] Demić, M.: Optimization of Characteristics of Elasto-Damping Elements from Aspect of Oscillatory Comfort and Vehicle Handling, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 17, № 1, 1996, pp. 76–91.

- [4] Demic, M.: Optimization of Vehicles Elasto-Damping Elements Characteristics From the Aspect of Ride Comfort, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 23 (1994).
- [5] Demic, M.: A contribution to optimization of vehicle seats, *Int. J. of Vehicle Design*, 5/6, 1991, 10 pp. 618–629.
- [6] Demic, M.: A contribution to the optimization of the characteristics of elasto-damping elements of passenger cars, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 19, 1990, pp. 3–18.
- [7] Demic, M.: Analysis of Influence of Design Parameters on Steered Wheels Shimmy on Heavy Vehicles, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 26, 1996, pp. 34–379.
- [8] Demic, M.: Optimizacija oscilatornih parametara motornih vozila, Monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1997.
- [9] Demic, M.: Teorija kretanja motornih vozila, Tehnički fakultet u Čačku, 1999.
- [10] Demic, M.: Projektovanje putničkih automobila, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2004.
- [11] Demic, M.: Teorija kretanja motornih vozila, Tehnički fakultet u Čačku, 1999.
- [12] Elinder, L.: Longitudinal Automotive Driver Models, MSc, Department of Signals and System, Chalmers University of Technology, 2005.
- [13] Guo, K. At all: Development of a longitudinal and lateral driver model for autonomous vehicle control, In. *J. Vehicle Design*, Vol 36, No 1, 2004.
- [14] Georg, R.: Vehicle Dynamics, Lecture Notes, Fachhochschule Regensburg, 2004.
- [15] Ellis, J. R.: Vehicle Handling Dynamics, Mechanical engineering Publications Limited, London, 1994.
- [16] Gillespie, T.: Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, Warrendale, 1992.
- [17] Genta, A.: Motor Vehicle Dynamics, Politecnica di Torino, 2003.
- [18] Хачатуров, А. А. и др.: Динамика системи: дорожна–шина–автомобиль–водителј, Машиностројеније, Москва, 1976.
- [19] Хачијан, А. С. и др.: Двигатели внутреннего старания, Техника, Киев, 1968.
- [20] Jaginski, R., Flach, J.: Control Theory for Humans-Quantitative Approaches to Modeling Performance, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, New Jersey, London, 2003.
- [21] Janković, D. i dr.: Teorija kretanja motornih vozila, Mašinski fakultet u Beogradu, 1990.
- [22] Janičijević, N.: Automatizacija sistema motornog vozila, Mašinski fakultet u Beogradu, 1976.
- [23] Lee, K., Peng, H.: A Longitudinal Human Driving Model for Adaptive Cruise Control Performance Assessment, Proceedings of IMECE, Symposium on Advanced Automotive Technologies, New Orleans, 2002.
- [24] Miliken, W. F. Miliken, D. L.: Race Car Vehicle Dynamics, SAE, Warrendale, 1995.
- [25] Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, Springer Verlag, 1972.
- [26] Milanović, D.: Lična saopštenja, 2007.
- [27] Olsen, E.: Evaluating Driver Performance on the Road and in a Simulator, PhD., Sant Jose State University, 1996.
- [28] Rothery, R.: Car Following Models, The University of Texas, TX 78712, 2006.
- [29] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [30] Simić, D.: Motorna vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [31] Veinović, S.: Lična saopštenja, 2007.
- [32] Veinović, S.: Automobilski motori I, Naučna knjiga, Beograd, 1979.
- [33] Zhang, Y.: Scalability of Car Following and Lane Changing Models in Microscopic Traffic Simulation Systems, PhD., The Department of Civil and Environmental Engineering, Southeast University, 2002.
- [34] Zastava: Informacije, 2007.

Dr Radomir S. Gordić,
dipl. inž.

MODELIRANJE KRETANJA AUTOMOBILSKIH JEDINICA REALNIM VOJNIM SAOBRAĆAJNIM TOKOM U KOLONI

UDC: 355.691.1 : 656.13

Rezime:

U radu je prikazan model za ocenu efikasnosti i optimizaciju kretanja organizovanog vojnog saobraćajnog toka u koloni. Razrađeni i usavršeni model obezbeđuje brzu i jednostavnu realizaciju istraživanja motorizovanih kolona različitih karakteristika. Prikazani su model, metodologija i rezultati imitacionog modeliranja realnog organizovanog vojnog saobraćajnog toka automobilskih jedinica u koloni. Rad predstavlja originalan doprinos istraživanju realnog vojnog saobraćajnog toka u koloni.

Ključne reči: kolona, model, saobraćajni tok, dinamičko odstojanje, masovno opsluživanje.

MOVEMENT MODELING OF REAL MILITARY COLUMN TRAFFIC AUTOMOBILE UNITS

Summary:

Target of this research was appraisal efficiency and optimization developments of organized column traffic. Elaborated and perfected model provides quick and simple target research realization for the motorized columns with different characteristics. In this work, model, methodology and results of imitation modeling, for real organized column traffic, have been shown. Work represents an original contribution to effective military column traffic.

Key words: column, model, traffic flow, dynamic distance, queueing.

Uvod

Saobraćajna podrška borbenih zadataka vojske može se unaprediti povećanjem efikasnosti i optimizacijom kretanja. U realizaciji borbenih zadataka, vojska se najčešće kreće u organizovanom saobraćajnom toku u koloni. Da bi izvršili istraživanje efikasnosti i optimizaciju kretanja organizovanog vojnog toka u koloni, izvršeno je njegovo modeliranje. Razrađen je i usavršen model za simulaciju kretanja automobilskih jedinica (atj) realnim (stvarnim) vojnim saobraćajnim tokom u koloni [1], koji je razvijen u istraživanjima [2, 3].

Saobraćajni tok, sa svom svojom raznovrsnošću, predstavlja masovni proces, čije su osnovne karakteristike: protok, struktura (sastav) i srednja brzina. Karakteristike toka i njihova promena zavise od velikog broja faktora, pa se zato tok vozila može posmatrati kao niz slučajnih događaja. Osnovne karakteristike saobraćajnog toka važe i za kretanja u koloni.

Zbog tih karakteristika saobraćajnog toka u koloni i sistema vozač–vozilo–put–okolina–organizacija (V–V–P–O–O), u istraživanju efikasnosti i optimizaciji kolone može se efikasno koristiti teorija masovnog opsluživanja (TMO), a kretanje kolone na putu može se posmatrati

kao sistem za masovno opsluživanje (SMO). Za takvo istraživanje neophodno je razmotriti terminologiju i osnovne pojmove koji se koriste u radu.

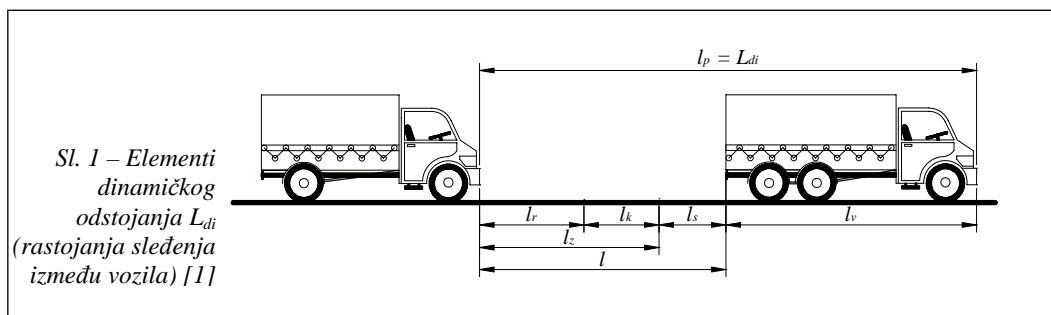
Osnovni pojmovi i pretpostavke teorije masovnog opsluživanja primenjene na kretanje vozila

Saobraćajna traka predstavlja kanal opsluživanja. Zahtev za opsluživanje izražava se kroz nailazak dinamičkog odstojanja¹ (gabarita) automobila L_d na određeni, poprečni presek puta (saobraćajne trake).

Pod dinamičkim odstojanjem L_{di} [m] podrazumeva se bezbedno rastojanje koje obezbeđuje kočenje i potpuno zaustavljanje vozila pred preprekom [4].

Elementi dinamičkog odstojanja L_{di} – rastojanja sleđenja vozila u saobraćajnom toku, šematski su prikazani na slici 1, a analitički opisani izrazom (2).

$$L_{di} = l_r + l_k + l_s + l_v = l_z + l_s + l_v = \frac{V_i \cdot t_r}{3,6} + \frac{V_i^2 \cdot k_e}{254,3 (f + \mu + r \pm i)} + l_s + l_v \quad [m] \quad (2)$$



Opsluživanje je propuštanje dinamičkog odstojanja automobila kroz određeni poprečni presek puta (saobraćajne trake).

Kod tako usvojenih pojmova ispunjen je osnovni zahtev za rad kanala – da se u njemu kod opsluživanja nalazi samo jedan zahtev, tj. druga vozila ne dolaze na poprečni presek dok on ne bude slobodan.

Vreme opsluživanja je vremenski interval u toku koga vozilo pređe put jednak dinamičkom odstojanju,

$$t_{oi} = \frac{L_{di}}{V_i} \quad [s] \quad (1)$$

¹ U našoj literaturi koristi se pojam „bruto odstojanje“, a u ruskoj „dinamički gabarit“. Najpogodnijim smatram izraz „dinamičko odstojanje“, koji se i koristi u ovom radu, jer je to odstojanje funkcija brzine i drugih dinamičkih karakteristika saobraćajnog toka u koloni.

gde su:

l_r – dužina puta reagovanja (vozača i vozila) m,

l_k – dužina čistog puta kočenja m,

l_s – dužina sigurnosnog (dinamičkog – l_d) odstojanja m,

l_v – dužina vozila m,

l_z – dužina zaustavnog puta ($l_r + l_k$) m,

l – odstojanje² između vozila m,

$l_p = L_{di}$ – proračunsko odstojanje, dinamički gabarit ili bruto odstojanje³ m,

² U Teoriji saobraćajnog toka, umesto ovog, koristi se izraz „rastojanje“. U vojnom saobraćaju ovaj termin preuzet je iz taktike, jer označava meru za raspored jedinice po dubini. U taktici se prostori između jedinica po dubini nazivaju „odstojanja“, a po frontu „rastojanja“.

³ U literaturi ima i drugačijih shvatanja, B. M. Кисляков и сог., pod ovim pojmom podrazumeva zaustavni put vozila. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобильной и пешеходов, Транспорт, Москва, 1979, стр. 33.

V_i – brzina kretanja vozila (V_u na uskom grlu) – merodavna brzina km/h,
 t_r – vreme reagovanja vozača i vozila (uzima se najviše 1 s),
 k_e – koeficijent eksploatacionog stanja kočnica (samo ako nisu kočeni svi točkovi),
 f – koeficijent otpora vazdušne sredine (do $V = 60$ km/h uzima se 0),
 m – koeficijent uzdužnog prijanjanja točkova s kolovozom,
 $r(\omega)$ – koeficijent otpora kotrljanja,
 i – uzdužni nagib puta (+ za uspon, – za pad) u decimalnom obliku (tangens a).

Izraz (2) u putogradnji predstavlja kriterijum za određivanje preglednosti⁴ pri kočenju. Kod izračunavanja L_{di} , za t_r , μ i k_e uzimaju se prosečne a ne računске vrednosti.

Parametar toka (potoka)⁵ λ je broj vozila koji se pojavljuje na poprečnom preseku puta u jedinici vremena (u jednoj sekundi) [5],

$$\lambda = \frac{Q}{3600} \quad [\text{voz/s}] \quad (3)$$

gde su:

Q – protok saobraćajnog toka po desnoj saobraćajnoj traci voz/h,

λ – intenzitet ulaznog (neopsluženog) protoka – potoka automobila voz/s.

U zavisnosti od mogućnosti nesmetanog prolaska po traci (kanalu opsluživanja), mogu nastati različite situacije koje uslovljavaju kvalitet funkcionisanja (rada) sistema. U osnovne pokazatelje koji karakterišu rad ovog sistema, kod kretanja u koloni,

⁴ Preglednost predstavlja mogućnost sagledavanja smetnje koja zahteva kočenje. *Pravilnik o tehničkim normativima i osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa*, SL SFRJ, 11, 1980.

⁵ U TMO koristi se izraz potok – protok klijenata – događaja – vozila, a u Teoriji saobraćajnog toka tok vozila.

spadaju: vreme ometanja, brzina toka, verovatnoća ometanja i broj ometanih vozila.

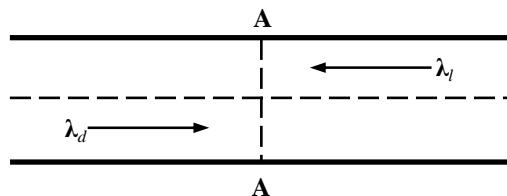
Verovatnoća ometanja predstavlja događaj koji se javlja kada dinamičko odstojanje i -tog vozila, na datom poprečnom preseku, preklopi dinamičko odstojanje vozila ispred sebe ($i-1$). Kod vojnih kretanja u koloni zabranjeno je preticanje, pa je neophodno da i -to vozilo smanji brzinu da bi održavalo minimalno bezbedno odstojanje, zbog čega dolazi do smetnji u toku (kretanju), pa se to može smatrati verovatnoćom ometanja.

Vreme ometanja γ_i je vremenski interval u toku koga je vozilo, koje zatekne presek puta zauzet dinamičkim odstojanjima drugih vozila, prinuđeno da čeka opsluživanje na desnoj traci.

Srednja brzina toka je funkcija promenljivog parametra, a predstavlja brzinu opsluženog toka. Ona zavisi od zadate brzine i kvaliteta rada SMO.

Ometano vozilo je ono koje je prinuđeno da smanjuje brzinu kretanja na posmatranom preseku puta. Broj ometanih vozila zavisi od: protoka, njegove strukture, brzine i gustine, od stanja i karakteristika puta, vozila i okoline.

Ovi pojmovi omogućavaju da se primenom osnovnih postavki TMO analizira interakcija automobila u toku i opišu osnovne zakonitosti saobraćajnih tokova radi ocene rada motorizovane kolone u različitim putnim, vremenskim i organizacionim uslovima.



Sl. 2 – Jednokanalna šema SMO sa zadržkom [4]

Za opisivanje zakonitosti kretanja vojnih tokova u koloni, od većeg broja šema TMO, najefikasnija je jednokanalna šema sa zadržkom (sl. 2).

U slučaju kada je presek A–A zauzet, vozilo iz toka λ_d ne može da pređe na traku suprotnog smera i prinuđeno je da ide iza vozila koje zadržava. Glavni pokazatelj funkcionisanja sistema u tom slučaju je vreme ometanja γ_i .

Osnovne karakteristike kretanja kolone kao sistema masovnog opsluživanja

Srednje vreme opsluživanja dinamičkog odstojanja na preseku A–A kod prikazane šeme SMO (sl. 2) kada nema ometanja biće:

$$\bar{t}_o = \frac{\bar{L}_d}{\bar{V}_o} \quad (4)$$

gde su:

\bar{V}_o – srednja brzina ometanog kretanja ulaznog toka,

\bar{L}_d – srednja vrednost dinamičkog odstojanja ulaznog potoka.

Za određeni protok Q_d vozila u saobraćajnom toku, srednje vreme zauzetosti preseka A–A dinamičkim odstojanjima je:

$$\bar{t} = Q_d \cdot \bar{t}_o \quad (5)$$

Ako se to svede na jedan sat, dobiće se relativno srednje vreme (u odnosu na 3600 [s]) zauzetosti preseka A–A:

$$\bar{t}_r = \frac{Q_d \cdot \bar{t}_o}{3600} = \lambda_d \cdot \bar{t}_{oi} \quad (6)$$

To je verovatnoća ometanja. Kod kretanja u koloni, to je, u stvari, verovatnoća da će naredno L_{di} zahtevati opsluživanje pre nego što prethodno $L_{d(i-1)}$ bude opsluženo. Zbog nemogućnosti preticanja, naredno dinamičko odstojanje prinuđeno je da smanjuje brzinu kretanja zbog prethodnog odstojanja. Kada se određena vozila nađu u toj situaciji, smatra se da su ometana u slobodnom kretanju od vozila ispred sebe. Verovatnoća tog događaja označava se sa:

$$p_i = \lambda_d \cdot \bar{t}_{oi} \quad (7)$$

Sa stanovišta kretanja, za kretanje kolona vojnih vozila karakteristične su maksimalna brzina V_{max} i srednja brzina \bar{V}_o . Maksimalna brzina ne služi za kretanje kolone, već da pojedinačna vozila, koja zaostanu iz bilo kojih razloga, nadoknade vreme izgubljeno pri kretanju brzinama manjim od srednje brzine. Kretanje kolone planira se srednjom brzinom. Stvarna brzina kretanja razlikuje se zbog interakcija u toku. Merilo kvaliteta kretanja (efikasnosti) kolone na putu je stvarna brzina, jer ona odražava realne uslove kretanja vozila u toku sa zadatim protokom i strukturom.

Srednja brzina odražava kretanje kada nema smetnji (nema vozila koja usporavaju i zaostaju), pa se može smatrati da odgovara brzini slobodnog kretanja (toka).

Stvarna brzina kretanja zavisi od:

- a) srednje brzine kretanja \bar{V}_o (brzina slobodnog kretanja – toka) i
- b) disperzije brzine slobodnog toka, koja odražava uslove kretanja i kvalitet organizacije.

Pretpostavimo da je brzina kretanja motornih vozila koja su prinuđena da smanjuju brzinu jednaka brzini ometanih vozila. Brzina vozila koja nisu prinuđena da smanjuju brzinu i čekaju opsluživanje zavisi od disperzije brzine i iznosi:

$$V = (1 - p_i) \cdot V_{si} \text{ [km/h]} \quad (8)$$

gde su:

V – komponenta brzine vozila koja nisu prinuđena da smanjuju brzinu kretanja,

$p_i = 1 - p_i$ – verovatnoća da vozila neće biti ometana u kretanju i

V_{si} – stvarna brzina kretanja vozila koja ne smanjuju brzinu.

Prema tome, brzina posmatranog vozila kroz presek A–A pri zadanom protoku jednaka je:

$$V(Q) = p_i \cdot \bar{V}_o + (1 - p_i) \cdot V_{si} \text{ [km/h]} \quad (9)$$

Osnovni faktor koji utiče na p_i , V_{si} i $V(Q)$ je minimalno bezbedno odstojanje L_{bi} , koje je veće ili jednako L_{di} ,

$$L_{bi} \geq L_{di} \quad (10)$$

Ako je L_{di} dinamičko odstojanje posmatranog vozila, onda će kod slobodnog kretanja (kad nema ometanja) vozilo preći L_{di} za vreme:

$$t_i = \frac{L_{di}}{\bar{V}_o} \quad (11)$$

Kod velikog protoka, na brzinu vozila utiču i drugi automobili toka, pa je:

$$V(Q) \leq \bar{V}_{si}$$

U tom slučaju vreme kretanja vozila na putu dužine L_{di} povećava se za interval vremena γ_i ,

$$V_{si} = \frac{L_{di}}{t_i + \gamma_i} = \bar{V}_o \frac{t_i}{t_i + \gamma_i} \text{ [km/h]} \quad (12)$$

Kada se to uzme u obzir, onda izraz (9) ima oblik:

$$V(Q) = \bar{V}_o \left\{ p_i + (1 - p_i) \frac{t_i}{t_i + \gamma_i} \right\} \text{ [km/h]} \quad (13)$$

Na ovaj način, ako se zna γ_i , može se odrediti stvarna brzina svakog vozila. Prema izrazu (13) može se odrediti brzina u funkciji bilo kog parametra saobraćajnog toka, ili podсистema V–V–P–O–O, koji se na ulazu zadaje kao promenljiva veličina.

Za određivanje γ_i , razmatra se prelaz od slobodnog kretanja na zgusnuti tok nekog potoka. Kod malog protoka $Q \rightarrow 0$, brzine kretanja kroz presek A–A odgovaraju brzinama slobodnog kretanja. Ako se poveća protok Q , dolazi do smanjenja brzine, odnosno prelazi se od slobodnog na zgusnuti tok. Ako se poveća Q , a zadrži brzina slobodnog kretanja V_o , potrebno je dozvoliti međusobnu nezavisnost kretanja vozila (dozvoliti preticanje). Takav tok može se smatrati stihijskim i neorganizovanim. Delovanje vozača u toku kretanja potčinjeno je zahtevu efikasnog i bezbednog kretanja, pa je zbog toga saobraćajni tok u koloni organizovan i determinisan.

Sa stanovišta TMO, stihijski i neorganizovani tok je protok klijenata koji dolaze (ulaze) u SMO; stvarni tok automobila je izlazni (opsluženi) potok.

Izlazni protok karakteriše se računskim protokom Q_d , brzinom slobodnog kretanja \bar{V}_o i nezavisnom raspodelom intervala između vozila.

Smatra se da je opsluživanje prolazak vozila dinamičkim odstojanjem L_{di} kroz presek A–A. Vreme opsluživanja je:

$$t_i = \frac{L_{di}}{V_i} \quad [s] \quad (14)$$

Smatra se da je u nekom momentu presek A–A zauzet ako se na njemu nalazi dinamičko odstojanje bilo kog vozila. Presek je prosečno zauzet u toku:

$$\bar{t}_o = \frac{L_o}{V_o} \quad [s] \quad (15)$$

gde su:

$L_o = L_{di}$ – srednja vrednost dinamičkog odstojanja,

$V_o = V_{oi}$ – srednja vrednost brzine slobodnog kretanja.

Za vreme t_o , na presek A–A može doći iz ulaznog toka (potoka): 0, 1, 2, ... vozila. Svako vozilo, zbog potrebe da održava minimalno bezbedno odstojanje od vozila ispred sebe, prinuđeno je da čeka dok se presek ne oslobodi. Zbog toga se javlja zastoj u opsluživanju – kretanju vozila, odnosno vreme kretanja vozila kroz presek A–A se povećava za γ_i .

Predmet interesovanja je brzina određenog vozila. Tada se u momentu prilaska posmatranog vozila preseku A–A, ispred njega nalazi $j - 1$ ($j = 0, 1, 2, \dots, k$) vozila. Izdvajaju se sledeće dve situacije:

1. zbog održavanja minimalnog bezbednog odstojanja, prvo vozilo u redu (i sledeća) treba da čeka dok se presek A–A ne oslobodi dinamičkog odstojanja vozila ispred njega;

2. poslednje posmatrano vozilo iz reda treba da čeka dok kroz presek A–A prođu sva vozila sa minimalnim bezbednim intervalima odstojanja. U tom slučaju, veličinu γ_i čine dva sabirka:

$$\gamma_i = \tau_i + T_i \quad [s] \quad (16)$$

gde su:

τ_i – komponenta γ_i , koja održava situaciju 1,

T_i – komponenta γ_i , koja održava situaciju 2.

$$\gamma_i = \frac{1}{2} \lambda_d \cdot t_o \left(1 - \frac{\sigma_o^2}{V_o^2}\right) \cdot \left\{ \frac{L_{di}}{V_o} + \frac{\lambda_u \cdot t_o^2}{1 - \lambda_u \cdot t_o} \right\} \quad [s] \quad (17)$$

gde su:

σ_o^2 – disperzija brzine ometanih vozila, u ovom slučaju srednje brzine,

V_o – brzina slobodnog (ometanog) kretanja vozila na datoj deonici,

Q_d – protok direktnog (desnog) i Q_l – protok susretnog (levog) toka,

σ – struktura toka koja omogućava da se odredi disperzija brzine slobodnog kretanja po formuli:

$$\sigma_o^2 = \sum_i p_i [\sigma_i^2 + (V_o - V_i)^2] \quad (18)$$

Funkcionisanje kolone kao sistema u prostoru i vremenu

Kolona⁶ je složen organizacioni, dinamički sistem, kibernetičkih svojstava, koji se sastoji od elemenata–podistema, koji su

⁶ Pod pojmom „kolona“ podrazumeva se vojna motorizovana kolona (kolona vojnih motornih vozila).

po svojim karakteristikama, takođe, složeni [1]. To je specifičan oblik saobraćajnog toka stohastičko-determinističkih svojstava, čiji se rad proučava kao rad SMO korišćenjem principa i postavki TMO. Rad sistema odvija se na sledeći način.

Na poprečni presek puta A–A (sl. 2), koji ima po jednu saobraćajnu traku za kretanje u oba smera, u slučajnim momentima vremena T nailaze motorna vozila (m/v). Brzina kretanja m/v , V [km/h], je slučajna veličina. Vreme opsluživanja m/v , t_{oi} [s], takođe je slučajno.

Prethodnim istraživanjima utvrđeno je da:

- vreme opsluživanja t_{oi} [s] dinamičkog odstojanja vozila L_{di} [m] zavisi od organizacije i stanja sistema V–V–P–O–O i na njega utiče više faktora, pa se njihov uticaj ne može jednoznačno i jednostavno odrediti korišćenjem analitičkih metoda [3];

- vremenski interval t_i [s] između nailaska dva uzastopna vozila ima eksponencijalnu raspodelu [4, 5, 6], a intenzitet ulaznog potoka⁷ vozila je λ [voz/s];

- brzina kretanja ima normalnu raspodelu [4, 5], sa matematičkim očekivanjem μ_v i standardnim odstupanjem σ_v , koje se razlikuje za pojedine organizacione oblike kolone.

Put neprekidno „radi“ u toku dana na sledeći način: vozilo koje dođe na opsluživanje u trenutku t_i , ako je presek A–A slobodan, opslužuje se propuštanjem njegovog dinamičkog odstojanja kroz presek A–A, a ako je presek A–A zauzet dinamičkim odstojanjem prethodnog vo-

zila, vozilo smanjuje brzinu kretanja i čeka da prethodno dinamičko odstojanje bude opsluženo, pa se onda ono prima na opsluživanje.

Na osnovu ovih podataka i uvedenih ograničenja potrebno je razraditi algoritam za imitiranje kretanja kolone vojnih vozila, napisati program za njegovu realizaciju na računaru i za $i = 1, 2, \dots, r$ realizacija odrediti numeričke karakteristike rada sistema.

Da bi se moglo pristupiti rešavanju postavljenog problema, pored opisanih karakteristika sistema, neophodno je poznavati: organizacionu (marševsku) strukturu, način grupisanja vozila u vojnim kolonama i specifičnosti reprezentativnih saobraćajnih tokova u koloni.

Kretanja u koloni, bez obzira što sadrže elemente određenosti, zbog velikog broja uticajnih faktora, koji su promenljivi u prostoru i vremenu, stohastički su procesi i ima smisla proučavati ih primenom TMO i teorije verovatnoće.

Stohastička priroda vojnog saobraćajnog toka u znatnoj meri uslovljena je delovanjem vozača, koji upravlja vozilom donoseći različite odluke na osnovu informacija koje „prima“ od puta, okoline i mernih uređaja na vozilu, a koje su takođe promenljive. Pored toga, put i putna situacija, kao i delovanje ostalih vozila u toku, doprinose stohastičkom karakteru sistema. Vozilo sa svojim uređajima, elementima nadgradnje, stanjem tovara i tereta, bez obzira na propisane normative, u interakciji sa ostalim elementima sistema, takođe doprinosi njegovom stohastičkom karakteru. Elementi okoline promenljivi su u prostoru i vremenu i zavise od

⁷ U TMO je uobičajeno da se kaže ulazni ili izlazni potok (klijenata, događaja i sl.). U ovom slučaju, to je saobraćajni tok–potok vozila određenih karakteristika (intenzitet, sastav–struktura i brzina).

mного faktora. Organizacione mere zavise od stanja sistema i delovanja okruženja, ali i od subjektivnih karakteristika lica koja ih sprovode, pa one nisu ni strogo određene. Zbog toga se istraživani sistem može simulirati sa određenim elementima slučajnosti.

Organizaciona (marševska) struktura reprezentativnog saobraćajnog toka u koloni

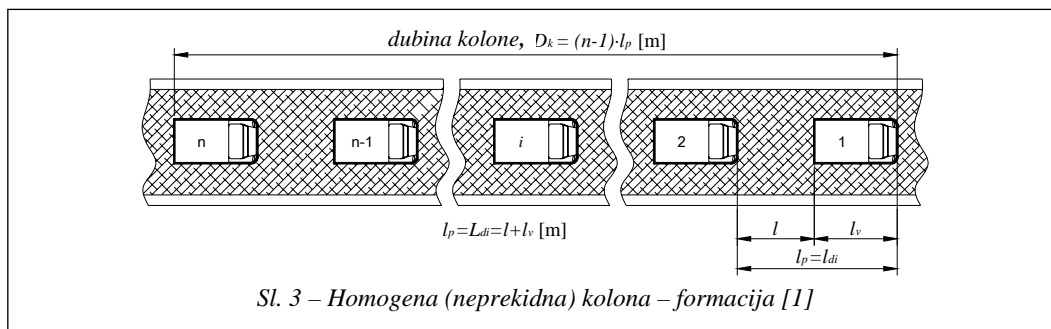
Organizaciona struktura vojnih kolona opisana je u [7, 8], a sistemski je analizirana u [1] (str. 53–66, tačka III 1). U zavisnosti od broja vozila u jedinici, gustine saobraćaja, doba dana i načina kretanja, kolona se organizuje kao: homogena (neprekidna) i nehomogena (isprekidana).

Homogena kolona je neprekidni niz vozila na proračunskim odstojanjima (sl. 3). Primenjuje se za jedinice sa manjim brojem vozila (najviše 15–20 m/v).

formaciji, postoje dva sistema organizovanja nehomogenih kolona – formacijski i grupni. U praksi je moguć, a i u literaturi se pominje i treći, kombinovani sistem.

Formacijski sistem grupisanja vozila unutar nehomogene kolone je grupisanje vozila i homogenih kolona – formacija prema formacijskoj strukturi jedinice. Suština ovog sistema je da se vozila grupišu prema pripadnosti jedinicama. Vozila koja pripadaju jednoj jedinici, bez obzira na dinamičke karakteristike, grupišu se u jednu homogenu kolonu – formaciju, a ona se uključuje u više nehomogene kolone – formacije. U zavisnosti od formacijske strukture i broja vozila, grupisanje homogenih formacija unutar nehomogene kolone može biti: jednostepeno, dvostepeno i trostepeno (sl. 4).

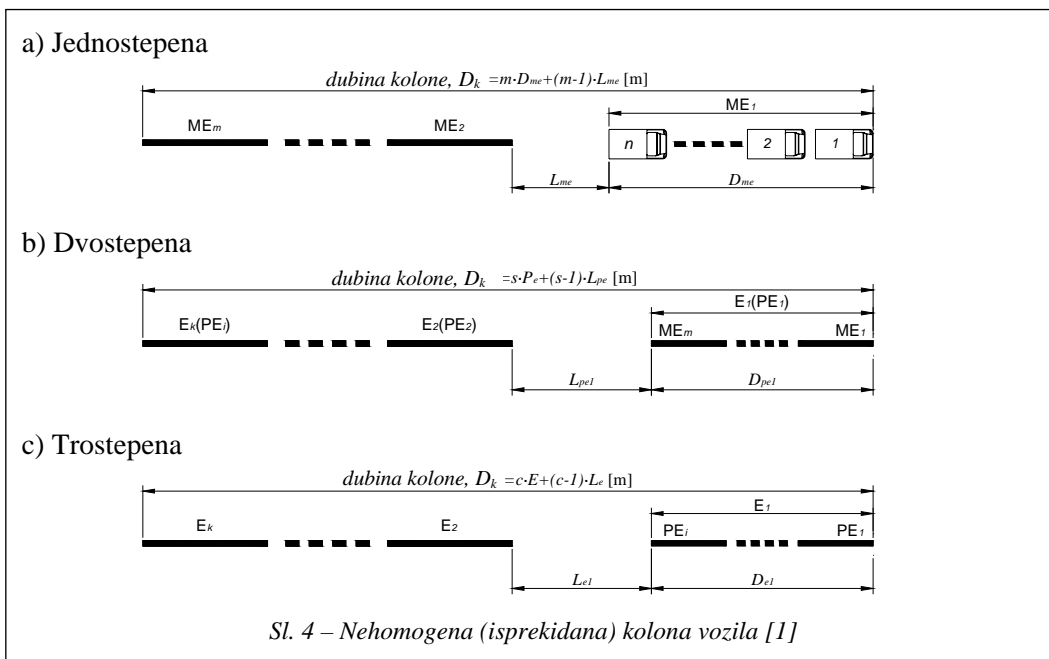
Kod jednostepene formacijske strukture kolone, vozila se grupišu po homogenim formacijama, koje se obič-



Nehomogena kolona je skup više homogenih formacija⁸ (kolona) u okviru jedne kolone (sl. 4). Primenjuje se za jedinice sa većim brojem vozila. U zavisnosti od načina grupisanja homogenih formacija u koloni, sastava i broja vozila u homogenoj

no nazivaju marševskim elementima (ME). Na primer, ako automobilski vod (atv) predstavlja kolonu, ME su automobilska odeljenja (ato). Prema tome, kod jednostepene nehomogene kolone postoje samo ME, koji se kreću na određenim odstojanjima, L_{ME} (sl. 4. pod „a“).

⁸ Pojam „formacija“ ima više značenja. Potiče od latinske reči „formatio“, što u konkretnom slučaju znači sastav, uređenje (vojske).



Kod dvostepene formacijske strukture kolone, pored grupisanja vozila u ME (kao homogene formacije), postoji i grupisanje ME u ešelone (E) (sl. 4 b). Na primer, u koloni automobilske čete (atč), ato predstavlja ME (prvi stepen grupisanja), a atv E (drugi stepen grupisanja). Odstojanja između E (atv) L_E veća su od odstojanja između ME (ato).

Kod trostepene formacijske strukture kolone, marševski elementi (ME) grupišu se u podešelone (PE), a podešeloni u ešelone (E) (sl. 4c). Na primer: atč u koloni atb predstavljaju E, atv unutar atč čine podešelone (PE) a ato unutar atv ME.

Nehomogene kolone su hijerarhijski organizovane (sl. 4), a po sastavu mogu biti jednoobrazne i nejednoobrazne. Kod jednoobrazne kolone svaki hijerarhijski element sadrži isti broj nižih hijerarhijskih elemenata (podsistema), a kod nejednoobrazne broj podsistema razlikuje se na pojedinim hijerarhijskim nivoima.

Broj vozila u koloni jednoobrazne hijerarhijske strukture dobija se prema izrazu:

$$N = k \cdot i \cdot m \cdot n \quad (19)$$

gde su:

- N – broj vozila u koloni,
- k – broj ešelona u koloni,
- i – broj podešelona u ešelonu,
- m – broj marševskih elemenata – grupa u podešelonu i
- n – broj vozila u marševskom elementu – grupi.

U nejednoobraznoj hijerarhijskoj organizaciji broj vozila određuje se prema izrazu:

$$N = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (20)$$

gde su:

- i – broj marševskih elemenata,
- j – broj vozila u marševskom elementu.

Odstojanje između formacija unutar kolone (ME, PE i E) računa se od zadnje ivice vozila na začelju prethodne, do prednje ivice čelnog vozila sledeće formacije (sl. 4). U zavisnosti od uslova i načina kretanja kolone, odstojanja između formacija su normirana [7, 8, 9] i iznose:

- između marševskih elemenata, ME (unutar PE i E) $L_{me} = 0,2 - 0,5$ km,
- između podešelona, PE (unutar E) $L_{pe} = 0,5 - 1,0$ km i
- između podešelona, PE i E (unutar kolone) $L_e (L_{pe}) = \text{oko } 2,0$ km.

Za formacijski sistem grupisanja vozila u koloni karakteristično je da je brzina kolone uslovljena brzinom najsporijeg vozila sredstva u koloni.

Grupni sistem organizovanja nehomogene kolone je grupisanje vozila samo u jednom stepenu, sa relativno malim brojem vozila u pojedinim ME (grupama), od 3 do 5 vozila. Vozila se, u načelu, grupišu prema dinamičkim karakteristikama. Određenu grupu čine vozila istih ili sličnih dinamičkih osobina. Kod grupnog sistema veća su proračunska odstojanja između vozila, dok su odstojanja između pojedinih ME-grupa relativno mala.

Za modeliranje kretanja kolone, potrebno je sagledati karakteristike reprezentativnog saobraćajnog toka u koloni koji se istražuje. U istraživanju je simuliran realni (stvarni) saobraćajni tok – kolona automobilskih jedinica⁹ (atj), po školskoj formaciji. Ovom formacijom ustanovljene su sledeće atj:

1. ato – automobilsko odeljenje, sastava 6 m/v – teretnih od 3 t,
2. atv – automobilski vod, sastava 3 ato sa po 6 m/v – teretnih od 3 t,

⁹ Organizaciona struktura i sastav saobraćajnog toka u koloni atj prikazani su u [1] (str. 96, tačka IV 1).

3. atč – automobilska četa, sastava: 3 atv i komanda atč; ukupno 57 m/v i

4. atb – automobilski bataljon, sastava: 3 atč i komanda atb; ukupno 187 m/v.

Brzina kolone je propisana [7, 9], a određuje se u zavisnosti od uslova kretanja, zadatka jedinice i stanja sistema. Vozaičima se zadaje deonična brzina V_d km/h (planirana–naređena).

Odstojanje između vozila u koloni određuje se prema izrazu (2) (sl. 1), a odstojanja između formacija su fiksna i određuju se u skladu sa propisanim normativima [7, 8, 9]. Dinamičko-sigurnosno odstojanje $l_{di} - l_{si}$ određuje se prema uvedenim analitičkim modelima. Model simulacije kolone prilagođen je tako da može uzeti u obzir specifičnosti saobraćajnog toka u koloni, kada treba povećati odstojanje, npr. u ratu, ili kada se prevoze specifični tereti, u skladu sa taktičkim kriterijumima i propisanim normativima. Tako dobijena dinamička odstojanja vozila L_{di} [m] izražavaju se u vremenskim jedinicama, pa se simuliraju vremenski intervali sleđenja vozila t_i [s] na presek puta A–A (sl. 2). Simulacija intervala sleđenja i brzina vozila u koloni prikazane su u [1] (str. 99–101, tačka IV 1).

Analitički modeli za simulaciju kretanja kolone

Kod modeliranja saobraćajnog toka u koloni (sl. 3. i 4), postavlja se pitanje kako da se odredi l_s^{10} , odnosno l_d (sl. 1). U literaturi se, kao odgovor na ovo pitanje, nude različite mogućnosti:

¹⁰ U literaturi se koristi pojam „dinamičko odstojanje“ (ako se izražava u funkciji brzine), a ako je fiksno koristi se izraz „sigurnosno odstojanje“ ili [11] „rezervno bezbedno rastojanje vozila“.

$$-l_s = 0^{11} \quad (21.1)$$

$$-l_s = l_v \quad (21.2)$$

$$-l_s = \frac{V_u}{10} \quad (21.3)$$

$$-l_s = f(v) = 0,5(l_r + l_k) = 0,5 \cdot l_z \quad (21.4)$$

Smatra se da je osnovna karakteristika vojnog saobraćajnog toka u koloni brzina, pa je logično da ona presudno utiče na ovaj element modela, odnosno da se l_s određuje na osnovu brzine. Sa analitičkog aspekta, moguća su tri modela saobraćajnog toka u koloni.

Model apsolutnog bezbednog rastojanja (odstojanja) sleđenja

Ovaj model podrazumeva da vozilo nailazi na trenutnu nepokretnu prepreku na putu, odnosno da se vozilo ispred njega trenutno zaustavlja.

Model se matematički može prikazati izrazom:

$$L_{di} = l_v + \left(\frac{V_u \cdot t_r}{3,6} + \frac{V_u^2}{254,3(\mu \pm i)} \right) \cdot 1,5 \quad (22)$$

Ovakva pretpostavka garantuje potpunu – apsolutnu bezbednost, jer se dinamičko odstojanje narednog vozila $L_{di} + 1$ nikada ne može preklopiti sa odstojanjem prethodnog vozila L_{di} . Model je u praksi neverovatan – nemoguć i karakterišu ga veliki i nepotrebni gubici kapaciteta. Ovaj model sadrži sve elemente prikazane izrazom (2) i smatra se reprezentativnim za vojne saobraćajne tokove u koloni. Sigurnosno odstojanje l_s je funkcija brzine i iznosi:

$$l_s = f(v) = 0,5 \cdot l_z.$$

¹¹ Neki autori [6] uzimaju da je ovo rastojanje $l_s = 0$, što se u vojnom saobraćaju ne može prihvatiti, jer bi u ekstremnim situacijama bezbednost saobraćaja bila narušena.

Model realnog bezbednog rastojanja (odstojanja) sleđenja

Ovaj model matematički se može prikazati izrazom:

$$L_{di} = l_r + \Delta l_k + l_s + l_v \quad (23)$$

Model predstavlja realnu situaciju u saobraćaju – sadrži deo puta kočenja Δl_k , jer su moguće dve situacije:

– brzina prethodnog vozila $V_i \geq V_{i+1}$, pa je $\Delta l_k = 0$ i

– $V_i < V_{i+1}$, pa je $\Delta l_k = \frac{V_{i+1}^2 - V_i^2}{254,3(\mu \pm i)}$, jer

je $l_{ki} < l_{ki+1}$, pa dolazi do preklapanja dinamičkih odstojanja.

Model relativnog bezbednog rastojanja (odstojanja) sleđenja

Ovaj model obezbeđuje relativnu bezbednost. Zasniva se na pretpostavci da su sva vozila u koloni i imaju približno iste karakteristike (sve mase kočene, sva imaju hidrovakuum ili hidraulične kočnice) i da vozači u proseku imaju približno jednako vreme reaganovanja t_r .

Teorijski je moguće više oblika modela:

$$L_{di} = l_r + l_k + l_s + l_v; \text{ gde je } l_s = \frac{V_u}{10} \quad (24.1)$$

$$L_{di} = l_r + l_s + l_v; \text{ gde je } l_s = \frac{V_u}{10}, \text{ ili } l_s = l_v \quad (24.2)$$

$$L_{di} = l_r + l_k + l_v; \text{ gde je } l_s = 0 \quad (24.3)$$

Ovaj model¹² ima teorijski, a u vojsci (u ratu npr.) i praktični značaj. Model ima smisla koristiti ako je sastav saobraćajnog toka jednorodan (isti tipovi vozila), ako je mala brzina kretanja i ograničen kapacitet puta, ako je kraće rastojanje kretanja (kraći put), te ako su vozači (vojnici) odmorni i istih godina.

Razrada algoritma i programa za simulaciju kretanja kolone

Postavljeni zadatak spada u klasu zadataka TMO. To je jednokanalni SMO sa ograničenim čekanjem (ograničenje je specifično), gde vozač ne raspolaže vremenom čekanja, jer je ono određeno stanjem SMO i interakcijama između vozila u sistemu. Protok vozila koji pristupa u sistem radi opsluživanja je stacionaran, sa eksponencijalnom raspodelom intervala dolaska vozila na opsluživanje. Raspodela vremena opsluživanja nije poznata, pa se ne može utvrditi da li je proces markovski ili ne, pa će zbog toga za njegovo rešavanje biti primenjena metoda statističkog modeliranja [12] (metoda Monte-Karlo).

Metoda Monte-Karlo je numerička metoda rešavanja različitih zadataka, koja se bazira na korišćenju slučajnih brojeva za simuliranje različitih pojava i procesa. Matematička osnova ove metode je Čebiševljev zakon velikih brojeva, po kojem se kod velikog broja eksperimenata frekvencija događaja neograničeno približava verovatnoći događaja, a aritmetička sredina matematičkom očekivanju slučajne veličine. Ovaj princip korišćen je kod razrade algoritma simulacije. Kao jednu realizaciju

¹² U modelu treba koristiti l_{vmax} , a ne \bar{l}_v .

eksperimenta uzima se jedna realizacija imitacionog modela, odnosno propuštanje kolone određenog sastava i zadatih karakteristika kroz presek puta A–A (kanal opsluživanja). Vreme rada nije ograničeno, $t \rightarrow \infty$, pa će sistem posle dovoljno dugog vremena preći u stacionarni režim rada. Pored ove osobine, sistem poseduje ergodično svojstvo, tj. po isteku dovoljno dugog vremena stanje sistema ne zavisi od početnih uslova. Jednom realizacijom algoritma dobijaju se vrednosti traženih karakteristika sistema. Nakon r ponavljanja (realizacija) dobija se dovoljno broj uzorak za određivanje statističkih vrednosti traženih numeričkih karakteristika.

Nakon identifikacije postavljenog problema, utvrđene su osnovne matematičke relacije između parametara koji učestvuju u simulaciji, uočene su interakcije između vozila u koloni, razrađen je sistemski dijagram i napisan program za simulaciju kolone na računaru. Program za simulaciju kretanja kolone, na osnovu ulaznih parametara koji se zadaju na početku programa, simulira kretanje kolone nekim od opisanih analitičkih modela.

Osnovu modela čini imitaciono modeliranje, tzv. dinamičkog gabarita–odstojanja L_{di} (m) [4], koji se u literaturi [8,10] naziva bruto odstojanje, ili [9] proračunsko odstojanje, a predstavlja rastojanje sleđenja vozila¹³ u saobraćajnom toku [11]. U ovom radu koristi se izraz dinamičko odstojanje, kao najprikladniji, jer se L_{di} izračunava na osnovu dinamičkih karakteristika sistema.

¹³ To je rastojanje između čela dva uzastopna vozila u toku. U stručnoj literaturi, kao sinonim za ovaj pojam koristi se izraz „prostorni interval sleđenja“, a ako se izražava u vremenskim jedinicama – „vremenski interval sleđenja“. U teoriji saobraćajnog toka [11] naziva se i „bezbedno rastojanje sleđenja“.

Sadržaj ulaznih podataka, koji se iterativno zadaju na ulazu u model

U L A Z N I P O D A C I :
 =====

Protok po desnoj saobraćajnoj traci je $Q1=300$ [voz/h].

Protok po levoj saobraćajnoj traci je $Q2=300$ [voz/h].

Kolona je organizovana kao **HOMOGENA** formacija.

U koloni se kreće **187** vozila.

Prosečna brzina kretanja kolone je $V=45$ [km/h].

Vreme reagovanja vozača je $tr=0.878$ [sec].

Koeficijent prijanjanja pneumatika s kolovozom je $\mu=0.75$

Uzdužni nagib puta iznosi $i=0$ (%).

Srednja dužina motornog vozila je $lv=7$ [m].

U programu se simulira **1000** realizacija (kolona).

Rezultati se ispisuju za prvih **11** vozila i za prvih **5** realizacija (kolona).

Menja se protok po desnoj traci u granicama od **300** do **1600** [voz/h], sa korakom **10**.

Podaci se simuliraju po modelu **REALNOG** bezbednog odstojanja.

Tabela I

Primer izlaznih rezultata modeliranja saobraćajnog toka u koloni po modelu **REALNOG** bezbednog odstojanja sleđenja vozila

PROTOK PO DESNOJ SAOBRAĆAJNOJ TRACI JE $Q1 = 300$ [voz/h].

Osnovne karakteristike rada puta kao sistema masovnog opsluživanja

Red. broj mv. u ME	Vreme (s)		Vreme (s)		Vreme (s)		Brzina (km/h)		Broj m. voz.		Verov. ometanja	
	ulaska m.v. u SMO	ometanja (zadrž.) (očekiv.)	čekanja SMO	opsluži- vanja m. voz.	osloba- danja SMO	potpune zauzet. SMO	slobod- nog toka paramet.	u funk. promen.	ometa- nih	neome- tanih	i-tog motor. vozila	kolone do i-tog m. voz.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	10	0.000	10.000	2.280	12.280	2.280	43.201	43.201	0	1	0.0000	0.0000
2	20	0.000	7.720	2.305	22.305	4.585	23.628	23.628	0	2	0.0000	0.0000
3	42	0.000	19.695	2.144	44.144	6.728	44.495	44.495	0	3	0.0000	0.0000
4	46	0.000	1.856	1.829	47.829	8.557	42.646	42.646	0	4	0.0000	0.0000
5	48	0.000	0.171	1.843	49.843	10.400	41.654	41.654	0	5	0.0000	0.0000
6	73	0.000	23.157	1.970	74.970	12.370	57.876	57.876	0	6	0.0000	0.0000
7	87	0.000	12.030	1.721	88.721	14.091	52.152	52.152	0	7	0.0000	0.0000
8	93	0.000	4.279	1.921	94.921	16.012	69.311	69.311	0	8	0.0000	0.0000
9	115	0.000	20.079	1.954	116.954	17.966	35.174	35.174	0	9	0.0000	0.0000
10	118	0.000	1.046	2.011	120.011	19.977	50.081	50.081	0	10	0.0000	0.0000
11	132	0.000	11.989	1.889	133.889	21.866	63.430	63.430	0	11	0.0000	0.0000
.....												
187	2230	0.000	5.955	1.747	2231.747	372.757	49.499	49.499	20	167	0.0000	0.0175
1	prosek	0.150	11.132	1.993	2231.747	372.757	42.676	42.311	20	167	0.0009	0.0175
2	prosek	0.139	12.699	1.983	2517.041	370.899	43.840	43.528	18	169	0.0009	0.0164
3	prosek	0.169	11.895	1.954	2363.808	365.375	45.475	45.123	19	168	0.0009	0.0167
4	prosek	0.155	11.445	2.000	2273.928	374.007	43.735	43.330	21	166	0.0009	0.0186
5	prosek	0.122	12.619	1.985	2465.851	371.173	43.558	43.262	21	166	0.0009	0.0186
.....												
1000	prosek	0.133	13.002	1.971	2487.948	368.604	45.386	44.973	24	163	0.0009	0.0206
SREDNJA	VR.	0.142	11.847	1.972	2335.650	368.724	44.617	44.249	21	166	0.0009	0.0183

Tabela 2

Primer izlaznih rezultata srednjih vrednosti osnovnih karakteristika rada puta kao SMO, po modelu REALNOG bezbednog odstojanja sleđenja vozila

Srednje vrednosti osnovnih karakteristika rada puta kao SMO za 1000 simulacija kolone.

Kolona atb sa 187 m/v organizovana je kao HOMOGENA formacija.

Promen- ljivi fak- tor Q1	Vreme (s)	Vreme (s)		Vreme (s)		Brzina (km/h)		Broj. m. voz.		Verov. ometanja	
	ometanja (zadrž.) (očekiv.)	čekanja SMO	opsluži- vanja m. voz.	oslobađa- nja SMO	potpune zauzet. SMO	slobod- nog toka	u funk. promen. paramet.	ometanih	neometanih	i-tog motor. vozila	kolone do i-tog m. voz.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
300	0.142	11.847	1.972	2335.650	368.724	44.617	44.249	21	166	0.0009	0.0183
310	0.148	11.469	1.972	2262.530	368.741	44.661	44.261	22	165	0.0009	0.0198
320	0.157	11.156	1.974	2203.784	369.216	44.611	44.179	23	164	0.0009	0.0211
330	0.167	10.817	1.975	2138.723	369.395	44.679	44.207	23	164	0.0010	0.0226
340	0.173	10.474	1.977	2075.686	369.634	44.656	44.151	24	163	0.0010	0.0239
350	0.181	10.149	1.979	2015.957	370.068	44.651	44.110	25	162	0.0010	0.0253
360	0.189	9.882	1.980	1964.063	370.302	44.673	44.090	26	161	0.0010	0.0270
370	0.200	9.609	1.984	1912.109	370.994	44.641	44.008	27	160	0.0011	0.0287
380	0.211	9.344	1.986	1863.455	371.328	44.655	43.977	27	160	0.0011	0.0303
390	0.221	9.140	1.989	1826.325	371.871	44.626	43.904	28	159	0.0011	0.0317
400	0.231	8.900	1.991	1780.739	372.310	44.658	43.885	29	158	0.0012	0.0335
410	0.239	8.685	1.994	1737.872	372.854	44.617	43.789	30	157	0.0012	0.0356
420	0.250	8.466	1.995	1701.893	373.104	44.630	43.766	30	157	0.0012	0.0368
430	0.258	8.270	1.999	1661.871	373.814	44.611	43.689	31	156	0.0013	0.0392
440	0.273	8.103	2.001	1631.273	374.277	44.659	43.674	32	155	0.0013	0.0408
450	0.285	7.896	2.005	1592.499	374.981	44.635	43.581	33	154	0.0013	0.0430
460	0.297	7.718	2.009	1556.334	375.642	44.670	43.546	34	153	0.0013	0.0456
470	0.311	7.513	2.013	1522.397	376.340	44.649	43.467	34	153	0.0014	0.0472
480	0.323	7.388	2.015	1500.623	376.818	44.655	43.419	35	152	0.0014	0.0488
490	0.336	7.242	2.019	1469.938	377.644	44.686	43.363	36	151	0.0014	0.0516
500	0.355	7.089	2.026	1441.431	378.877	44.638	43.237	37	150	0.0015	0.0541
510	0.366	6.912	2.029	1410.399	379.383	44.703	43.228	38	149	0.0015	0.0562
520	0.387	6.853	2.036	1397.020	380.722	44.655	43.088	39	148	0.0015	0.0586
.....											
.....											
.....											
1600	10.128	2.623	11.956	2241.703	2235.748	45.620	7.703	185	2	0.0047	0.8583

Programski je određeno da se brzina i intervali nailaska vozila modeliraju kao stohastičko-determinističke veličine. Vreme reagovanja sistema V-V može se zadavati, a može se modelirati sa određenim parametrima normalne raspodele, koji se zadaju na ulazu.

Za ostale parametre saobraćajnog toka u koloni i sistema V-V-P-O na ulazu se zadaju početne vrednosti, koje se u toku modeliranja menjaju sa određenim korakom na intervalima koji su navedeni u literaturi ili su dobijeni istraživanjem.

Kao izlazne veličine dobijaju se tabelirani podaci (tabela 1) karakteristični za SMO. Ovi podaci čuvaju se u datoteci, koja se programski otvara, ako nije unapred kreirana,¹⁴ a na izlaznom uređaju ispisuju se po uređenom formatu, u obliku tabela kojih ima onoliko koliko ima koraka promenljivog parametra. Radi lakše i brže obrade podataka, napisan je program za čitanje i ispis srednjih vrednosti rezultata modeliranja (tabela 2).

¹⁴ Ime datoteke može biti zadato na ulazu, kao ulazni podatak. Ako to korisnik ne uradi, programski se otvara serijska datoteka za smeštaj i čuvanje podataka.

Na osnovu vrednosti tih podataka, posebnim programom dobijaju se parametri za planiranje kretanja kolone i kriterijumi za ocenu efikasnosti kretanja. Na taj način mogu se optimizirati vrednosti merodavnog (odabranog) kriterijuma efikasnosti, pa se tako može doći do normativa pojedinih parametara, od kojih zavisi efikasnost kretanja kolone.

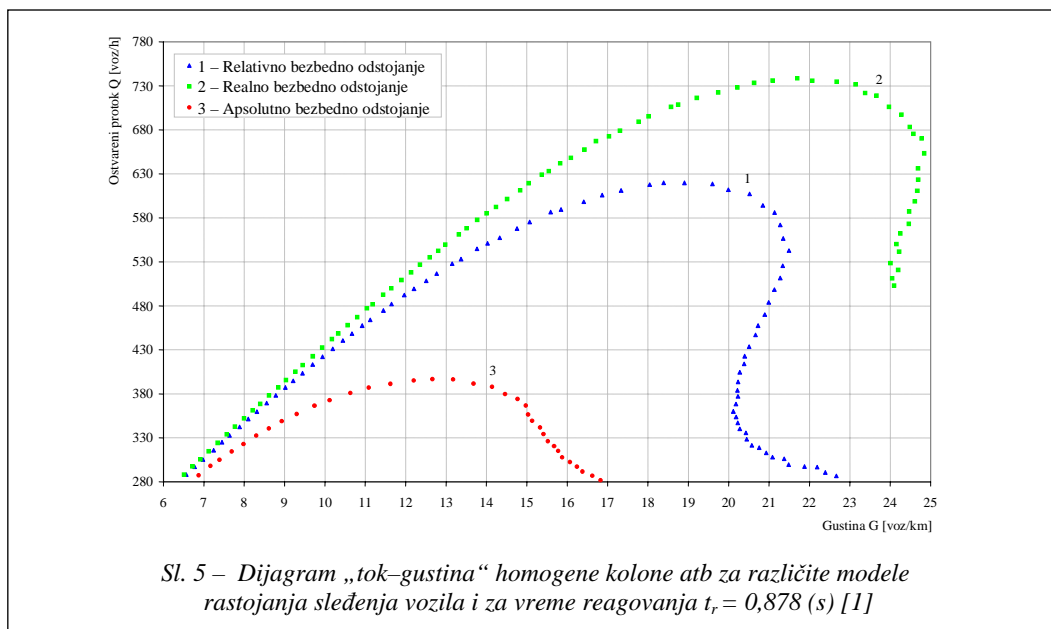
Uporedna analiza rezultata modeliranja kretanja kolone

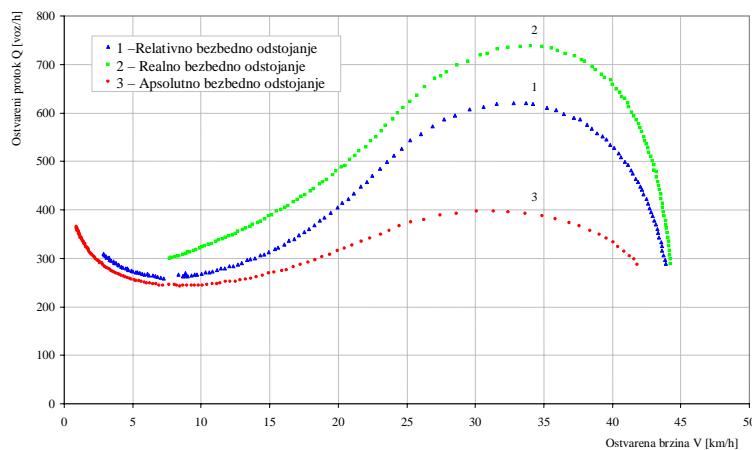
U svim analizama i proučavanjima vojnog saobraćaja i saobraćajnog toka koristi se model apsolutnog bezbednog odstojanja sleđenja vozila. Bez obzira na brojne nedostatke, primena ovog modela opravdava se razlozima bezbednosti saobraćaja. Smatra se da ovaj model garantuje bezbednost u toku kretanja, kompenzujući propuste vozača i nedostatke vozila i puta, a da su ostali modeli nepovolj-

niji. Pri tom se zanemaruje činjenica da bezbednost saobraćaja zavisi od mnogo faktora, a ne samo od dužine odstojanja sleđenja.

Upravljanje saobraćajem, posebno funkcija planiranja, zasniva se na ovom modelu. Zbog nedostataka modela, u realizaciji planova generišu se teškoće, koje su opisane u [1] (str. 153–167, tačka V 2).

Da bi sagledali uticaj analitičkih modela na rezultate kretanja kolonskog toka, izvršena je simulacija kretanja kolone atb prema analitičkim modelima. Funkcionalna zavisnost parametara opsluženog kolonskog toka od primenjenog analitičkog modela za homogenu kolonu atb prikazana je na slikama 5 i 6. Analiziranjem ovih grafičkih prikaza uočava se da parametri opsluženog saobraćajnog toka u koloni značajno zavise od primenjenog modela sleđenja vozila u koloni. Razlike su značajne za sve organizacione strukture kolona i za sve atj.





Sl. 6 – Dijagram „brzina–tok“ homogene kolone atb za različite modele rastojanja sleđenja vozila i za vreme reagovanja $t_r = 0,878$ (s) [1]

Na osnovnom dijagramu saobraćajnog toka (sl. 5) vidi se da je maksimalni protok opsluženog saobraćajnog toka u koloni, za model apsolutnog bezbednog odstojanja sleđenja, oko 400 (395) voz/h, a maksimalna gustina saobraćaja 17 voz/km. Za model relativnog odstojanja sleđenja, maksimalni opsluženi protok je 620 voz/h, a gustina oko 23 voz/km. Kod realnog modela sleđenja, maksimalni opsluženi protok je oko 740 (739) voz/h, a gustina oko 25 voz/km.

Sa dijagrama „brzina–tok“ (sl. 6) vidi se da brzina stalno opada za sve modele odstojanja sleđenja. Za model apsolutnog bezbednog odstojanja, brzina opsluženog toka opada od 42 do 1¹⁵ km/h na intervalu protoka 290 do 400 voz/h, a pri maksimalnom protoku je 31 km/h. Za relativno odstojanje sleđenja, brzina je u intervalu od 44 do 3 km/h, u oblasti protoka od 290 do 630 voz/h, a pri maksimalnom protoku iznosi 34 km/h. Kod realnog odstojanja sleđenja brzina opada od 42 do 8 km/h, u oblasti protoka od 290 do 740 voz/h, a pri maksimalnom protoku je 34 km/h.

¹⁵ Brzinu manju od 10 km/h nema smisla analizirati jer se savremena vojna vozila ne mogu kretati tako malom brzinom, pa rezultati imaju teorijski značaj.

Zaključak

Teorija masovnog opsluživanja koristi se u istraživanju i optimizaciji svih logističkih poslova u vojsci, koje karakterišu neodređenost i stohastički procesi. Brojni su praktični i teorijski radovi koji ukazuju na primenu TMO u vojsci. Primena metoda TMO pogodna je za rešavanje različitih zadataka SbPo.

Imitaciono modeliranje, kao metoda TMO, može se efikasno koristiti u istraživanju i optimizaciji organizovanog vojnog saobraćajnog toka u koloni. Ovaj rad predstavlja teorijsko i aplikativno unapređenje u oblasti optimizacije i istraživanja kretanja u koloni. Razrađeni i usavršeni model solidna je osnova za automatizaciju planiranja, kao inicijalne funkcije upravljanja vojnim saobraćajem, a posebno saobraćajnim tokovima u koloni, istraživanje kriterijuma efikasnosti saobraćajnog toka u koloni, višekriterijumsko rangiranje rešenja i ocenu efikasnosti kretanja u realnom vremenu u svrhu upravljanja.

Osnovne veličine za opisivanje saobraćajnog toka u koloni (brzina, gustina,

protok i dijagrami „BRZINA–TOK“, „TOK–GUSTINA“ i „BRZINA–GUSTINA“) pokazali su potpunu saglasnost sa teorijskim zakonima koji vladaju u saobraćajnom toku [1, 11], uz uvažavanje specifičnosti i ograničenja saobraćajnog toka u koloni. Tako je potvrđena ispravnost modela i izvršena verifikacija rezultata dobijenih imitacionim modeliranjem. Primenom teorije masovnog opsluživanja i imitacionog modeliranja dokazano je da brzina, gustina i protok kod saobraćajnog toka u koloni značajno zavise od strukture kolone i primenjenog modela organizacije kretanja.

Uporednom analizom rezultata dobijenih imitacionim modeliranjem kretanja automobilskih jedinica realnim saobraćajnim tokom u koloni, moguće je zaključiti da najbolje rezultate pokazuje kolona koja se kreće na realnom odstojanju sleđenja vozila. Ovaj model sleđenja vozila u saobraćajnom toku u koloni obezbeđuje najpovoljnije upravljanje kretanjem kolone, jer su poremećaji u saobraćajnom toku najmanji. Time su stvoreni preduslovi za bezbedno kretanje, pod uslovom da su obezbeđeni ciljevi, zadaci i kriterijumi kvaliteta upravljanja kretanjem.

Primenom teorije masovnog opsluživanja i imitacionim modeliranjem, dokazano je da su funkcionalne zavisnosti između ulaznih veličina i karakteristika opsluženog saobraćajnog toka u koloni (izlazne veličine iz SMO) značajne. Te zavisnosti ne mogu se zanemariti u praksi, jer od njih zavisi efikasnost kretanja kolone.

Raspoložive resurse puta (kapacitet, propusna moć i dozvoljena brzina), kod kretanja u koloni nije moguće u potpunosti iskoristiti, pa su gubici ovih resursa neminovni, kao posledica organizacije i interak-

cija između pojedinih sistema V–V–P–O–O, njihovih elemenata i okruženja. Imitacionim modeliranjem može se proceniti efikasnost saobraćajnog toka u koloni za različite oblike organizacije kolona i modele sleđenja vozila,¹⁶ pa se tako mogu smanjiti gubici resursa puta, što je svrha i cilj upravljanja vojnim saobraćajem.

Organizaciona struktura kolone, kao element podsistema organizacije vojnog saobraćaja, odlučujuće utiče na meritelje rada i efikasnost kretanja kolone, sa veoma visokim koeficijentom korelacije. Ona se ne može generalno optimizirati jer zavisi od kriterijuma efikasnosti [1].

Literatura:

- [1] Gordić, S. R.: Efikasnost organizovanog vojnog kolonskog saobraćajnog toka, doktorska disertacija, Vojna akademija, Škola nacionalne odbrane, Beograd, 2005.
- [2] Gordić, S. R.: Izračunavanje osnovnih karakteristika rada puta kao sistema masovnog opsluživanja, seminarski rad iz predmeta „Operaciona istraživanja I“, TVA KoV JNA, Zagreb, 1983.
- [3] Gordić, S. R.: Analiza kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka i kriterijuma njegove efikasnosti, magistarski rad, TVA KoV JNA, Zagreb, 1983. godine.
- [4] Калужский, А. J. и сот.: Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог, Транспорт, Москва, 1969.
- [5] Vukadinović, V. S.: Elementi teorije masovnog opsluživanja, Naučna knjiga, Beograd, 1975.
- [6] Силянв, В. В.: Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения, Транспорт, Москва, 1977.
- [7] Pravilo saobraćajne službe oružanih snaga, SSNO, Saobraćajna uprava, VIZ, Beograd, 1985.
- [8] Dozet, S. i sar.: Saobraćajno obezbeđenje oružanih snaga, VINC, Beograd, 1988.
- [9] Belić, S.: Organizacija putnog saobraćaja (vojni deo), TŠC KoV JNA, Zagreb, 1974.
- [10] Jovanović, G.: Saobraćajni tokovi, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [11] Kuzović, Lj. i sar.: Kapacitet drumskih saobraćajnica, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
- [12] Vukadinović, V. S. i sar.: Metoda Monte-Karlo, skripta, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1977.

¹⁶ Optimizacija se može vršiti prema svim karakteristikama saobraćajnog toka u uslovima i dinamičkog odstojanja sleđenja, koje se zadaju kao ulazne veličine, prema različitim kriterijumima efikasnosti.

Dr Vlado Đurković,
dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

IRMES 2006 – ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA

– prikaz naučno-stručnog skupa –

U organizaciji asocijacije za dizajn, elemente i konstrukcije, pod nazivom ADEKO 21. i 22. septembra na Mrakovici u Republici Srpskoj održano je međunarodno savetovanje IRMES 2006.

Izvršni organizator bio je Mašinski fakultet iz Banje Luke, a pokrovitelj Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske.

Pre održavanja samog skupa, kako je to već ustaljena praksa, štampan je zbornik radova na 428 stranica, čiji je redaktor dr Milosav Đurđević, docent na Mašinskom fakultetu Banja Luka, a predsednik Programskog odbora bio je dr Vojislav Miltenović, profesor na Mašinskom fakultetu u Nišu.

U predgovoru zbornika konstatovano je da je u poslednjoj deceniji XX veka razvoj proizvodnog mašinstva bio usporen, a ponegde čak i zaustavljen. Ovakav tok razvoja posebno je prisutan u mašinogradnji i metalnoj industriji koje bitno utiču na intenzitet razvoja drugih privrednih grana, kao i obrazovanje stručnjaka svih profila u području proizvodnih tehnika i tehnologija. I pored takve situacije, u ovim privrednim granama ipak se obrazovanju kadrova i naučnoistraživačkom radu posvećuje dužna pažnja.

Osnovni preduslov za razvoj svake zemlje jeste da zadovolji postojeće tržište i eventualno ga proširi. A tržište postavlja

sve složenije zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta i brzine osvajanja novih proizvoda. U oštroj tržišnoj konkurenciji proizvođač mora uvek da nalazi nova konstrukciona rešenja mašinskih sistema i njihovih komponenta. Razmena iskustva kroz javne manifestacije dosadašnjih istraživanja i saznanja, takođe imaju za cilj podsticanje proizvodnje i tehničkog razvoja industrije.

Međunarodno savetovanje IRMES 2006, sa višegodišnjom tradicijom na prostorima bivše Jugoslavije, svojim redovnim održavanjem, i pored svih nedaća koje su zadesile i prate ove prostore, doprinosi da se još uvek, sa velikom dozom optimizma, utiče na budućnost tehničke nauke kod nas.

Na skupu je okupljen veliki broj naučnih i stručnih kadrova iz oblasti istraživanja i razvoja novih proizvoda i konstrukcijskih rešenja mašinskih sistema i njihovih komponenta.

Predmet rada skupa bio je istraživanje strukture mašinskih sistema i razvoj konstrukcijskih rešenja komponenta. U centru pažnje bile su metode i metodologije stvaranja (sinteze) mašinskih sistema, zatim analiza stanja u mašinskim sistemima, kao i razvoj komponenta sistema. Mašinski elementi su bazne komponente mašinskih sistema i sa komponentama višeg nivoa složenosti čine osnovni predmet rada.

Radovi su bili razvrstani prema glavnim sadržajima u nekoliko grupa, odnosno oblasti. To su:

– **Razvoj mašinskih sistema** – područje kojim su obuhvaćeni radovi koji tretiraju problematiku razvoja koncepcije, odnosno principa rada mašinskih sistema, varijantnih rešenja i optimalnih parametara konstrukcija. U ovu grupu svrstani su radovi koji obrađuju problematiku modeliranja oblika mašinskih delova, proračun i CAD.

– **Prenosioci snage** – područje u kojem su svrstani radovi čija su tema zupčanici, kotrljajni ležajevi i kompletni prenosnici snage, zupčani i drugi. Dominirali su radovi u kojima su mašinski elementi osnovni predmet i cilj istraživanja, kao i radovi koji obrađuju i kaišne parove, opruge, vratila i sl.

– **Vibracije i buka mašinskih sistema** – oblast predstavljena kroz analizu i primenu vibracija, buke i dinamičkih sila. U radovima se vibracije, buka i dinamičke sile analiziraju kao pojave, odnosno posledica ili njihovi efekti primenjuju za realizaciju tehničkog procesa u sistemu.

– **Nadzor i održavanje mašinskih sistema** – područje kojim su obuhvaćeni radovi koji se, uglavnom, bave dijagnostikom i oštećenjem delova, nadzorom i zaštitom mašinskih sistema, kao i održavanjem konkretnih mašinskih sistema.

– **Materijali i ispitivanja**. Istraživanja u oblasti materijala poslednjih su godina intenzivirana. Tako su u radovima na ovom skupu izloženi trendovi razvoja materijala, otpornost i izdržljivost materijala kod različitih aplikacija, tehnološke metode za uvećanje radnih karakteristika konkretnih mašinskih delova, itd.

Takođe, ovaj naučno-stručni skup tretira istraživanja i razvoj novih proizvoda, razvoj novih konstrukcijskih rešenja mašinskih sistema i njihovih komponentata proisteklih od rešavanja problema u vojnim primenama. U skladu s tim, i održani IRMES 2006 predstavlja redovni dvogodišnji skup domaćih i inostranih istraživača u okviru koordiniranog i organizovanog programa razmene naučno-stručnih informacija iz oblasti mašinstva, metoda istraživanja i njima srodnih disciplina u tehničkim i tehnološkim sistemima, primenama u odbrani i ostalim oblastima. Rangira se kao naučno-stručno savetovanje sa međunarodnim učešćem.

U zborniku su objavljena 64 rada. U pisanju tih radova učestvovalo je više od 116 domaćih i inostranih autora iz 7 zemalja: Bosne i Hercegovine, Srbije, Bivše Jugoslovenske Republike Makedonije, Slovenije, Bugarske, Nemačke i Crne Gore. Radovi su podeljeni u jednu plenarnu sesiju sa četiri uvodna referata i 9 sekcija: Teorija razvoja mašinskih sistema; Razvoj mašinskih sistema; Proračuni i CAD; Planetarni prenosnici; Komponente mehaničkih prenosnika; Vibracije i buka mašinskih sistema; Nadzor i održavanje mašinskih sistema; Materijali i lom i Ispitivanje i radni vek.

Na plenarnoj sesiji, kao što je rečeno, izložena su četiri rada: Kreativnost i dizajn u mašinstvu; Značaj i uloga tima i timskog rada u procesu razvoja proizvoda; Analiza uticaja tehnologije izrade zupčanika na povećanje nosivosti zupčastih parova i Nastavni planovi mašinskih fakulteta u funkciji edukacije i privrednog razvoja, autora iz Srbije i BiH.

Od 64 rada u zborniku, 6 radova, odnosno 9,4% su radovi, odnosno rezultati istraživanja pripadnika Ministarstva odbrane (MO) i Vojske Srbije, koji su bili razvrstani u tri sekcije: Proračuni i CAD; Planetarni prenosnici i Vibracije i buka mašinskih sistema.

Od pripadnika Vojske najviše radova (3) bilo je od autora iz Vojne akademije, dok su ostali bili zajednički, što ukazuje na aktivnost VA kao obrazovno-naučne ustanove Vojske Srbije, ali i na značaj koji istraživači u VA poklanjaju naučnoistraživačkom radu. Većina radova predstavlja rezultat timskog rada autora iz iste ili različitih institucija, pretežno VA i Vojnotehničkog instituta, a ima i više autora sa po dva rada.

Ukratko je dat pregled naziva radova pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije po sekcijama, prema redosledu u zborniku radova. Koautori nekih radova su i pripadnici fakulteta ili drugih institucija van Vojske i MO.

PRORAČUNI I CAD

1. Ratko Šelmić (Saobraćajni fakultet, Beograd), Vlado Đurković (VA), *O linearizaciji nelinearnih diferencijalnih jednačina kretanja mehaničkog sistema*

PLANETARNI PRENOSNICI

2. Slavko Muždeka (VA), Mladen Pantić (VTI), Miloš Vesić (VA), *Strukturalna analiza planetarnih prenosnika tipa ravigneaux*

VIBRACIJE I BUKA MAŠINSKIH SISTEMA

3. Vojislav Batinić (VA), *Prirodne frekvencije i oblici oscilovanja planetarnih prenosnika*

4. Milan Tasić (Viša mašinska tehnička škola, Zemun), Mladen Pantić (VTI), Vlado Đurković (VA), *Uticaj impulsnog opterećenja duž podužne ose na oscilovanje nosećeg rama vozila*

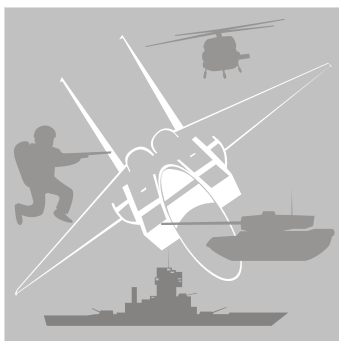
5. Dušan Regodić (VA), Damir Jerković (VA), Dejan Savić (VA), *Stabilnost klasičnih osnosimetričnih projektila*

6. Dušan Regodić (VA), *Uticaj Magnusovog momenta na let klasičnog projektila*

Kao i prethodnih godina, učešće pripadnika MO i Vojske Srbije na ovom, za MO i Vojsku veoma značajnom skupu, potpuno je postignut. Pored saopštavanja rezultata istraživanja, vođena je plodna diskusija u kojoj su sagledani problemi, razmenjena mišljenja i iskustva i razmatrana mogućnost rešenja iznetih problema.

Ponovo se potvrdilo da izlaganje radova na ovakvim i sličnim skupovima, kako međusobno, tako i sa naučnim radnicima iz drugih naučnih i obrazovnih institucija, svakako ima pozitivan uticaj na naučni i stručni nivo rada u našoj Vojsci, na stručno i naučno usavršavanje nastavnika i podizanje kvaliteta nastave na osnovnim i poslediplomskim studijima u Vojnoj akademiji.

Takođe, saradnja pripadnika Vojske i MO sa pripadnicima drugih institucija u rešavanju problema naučno-tehničkim pristupom potvrđuje otvorenost Vojske za angažovanje drugih lica i institucija na rešavanju problema u oblasti odbrane, ali i spremnost i sposobnost pripadnika sistema odbrane da se angažuju na rešavanju problema u civilnim institucijama.



savremeno naoružanje i vojna oprema

POBOLJŠANI KARABIN HK 417*

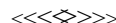
Kompanija Heckler & Koch (HK), na godišnjem skupu AUSA (Association of the United States Army), obelodanila je seriju poboljšanja i proširenje kalibara za svoje karabine. Tom prilikom istaknute su neke manje promene na karabinima HK 416 (metak $5,56 \times 45$ mm) i HK 417 (metak $7,62 \times 51$ mm). Na oba modela uvedena su osiguranja udarne igle na sklopu zatvarača zbog mogućih zastoja koji su se ranije javljali pri punjenju i praznjenju.

Karabin HK 417, prikazan na AUSA, imao je novi polimerni magacin za municiju, umesto standardnog magacina G3, promene na gasnom sistemu, kao i neke spoljne promene. Novi polimerni magacin omogućava „drop-fri“ stil i, takođe, zadržava zatvarač otvoren kada je ispaljen poslednji metak. Izmenjen je i oblik kundaka. Omogućeno je prilagođavanje gasnog sistema radi postizanja optimalnog protoka gasa pri gađanju s prigušenjem i paljbi bez prigušenja.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

Kompanija HK je, takođe, na skupu AUSA obelodanila novu varijantu karabina HK 416 za metak $6,8 \times 43$ mm, što bi trebalo da bude kuriozitet u tom kalibru.

M. K.



LAKI AUTOMATSKI LANSERI GRANATA L134A1*

Britanske oružane snage koje se nalaze u Avganistanu, dobiće više od 40 automatskih lakih lansera granata radi ispomoci kopnenim snagama lociranim u provinciji Helmand.

Prema programu ministarstva odbrane planirano je 8 miliona USD za popunu jedinica municijom i lanserima 40 mm Heckler & Koch (H&K).

Sistem će imati oznaku L134A1 ALGL (Automatic Lightweight Grenade Launcher) i moći će da se montira na vozila Land Rover uz teške mitraljeze 12,7 mm i mitraljeze opšte namene 7,62 mm ili da se koristi sa tronošca. Ovim sistemom trebalo bi znatno da se poveća vatrena moć jedinica pri izvođenju borbenih operacija u Avganistanu.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

Bilo da je montiran na vozilu, ili djeluje sa tronošca, lanser ALGL može da ispali trenutne visokoeksplozivne granate brzinom 340 zrna/min, na udaljenost do 2000 metara. Pri paljbi se koristi pojedinačni ili automatski režim vatre.

Municija dvostruke namene može da se koristi protiv lakooklopljenih vozila i neprijateljeve žive sile. To je jedan od sistema za univerzalnu vatrenu podršku koji se sve više traže radi borbe sa ciljevima na zemlji i kojima se efikasno zamjenjuju i teški mitraljezi i minobacači.

Konvencionalna streljačka municija ne obezbeđuje fragmentacione efekte, a minobacači imaju relativno nizak stepen kontravatre. To se nadoknađuje upotrebom lansera H&K GMG (Grenade Machine Gun), koji efikasno kombinuje efekte oba ta tipa oružja.

M. K.

<<<<>>>>

BACAČ GRANATA M100 GREM*

Armija SAD radi na realizaciji novog bacača granata M100 GREM (Grenade Launched Entry Munition) koji se lansira iz puške M16 ili M4, a za potrebe američke vojske proizvodi ga izraelska kompanija Rafael.

Sistem funkcioniše sa standardnom municijom i predviđen je za opremanje pešadijskih odeljenja u armiji SAD.

Uvođenje sistema GREM u naoružanje rezultat je trogodišnjeg programa za povećanje borbenih mogućnosti vojnika, koji se sprovodi u američkoj armiji.

Ovaj sistem prvobitno je razvijen za vojsku Izraela i izveden je iz njihovog sistema SIMON, a rezultat je zahteva za prilagođavanje američkoj vojsci. Promene u projektu GREM uključuju izmene radi povećanja pouzdanosti zatvarača i bezbednog trzanja.



Granata M100 GREM za lansiranje iz puške

Svaki vojnik dobija po dve granate GREM, od kojih se svaka sastoji od dva dela (šipke i primarne eksplozivne komponente), koji se pre upotrebe sastave i ubace u zadnji deo puške M16 ili M4 radi lansiranja. Kada šipka pogodi prepreku inicira se eksploziv i stvara snažan natpritisak koji razara prepreku.

Granata ima masu oko 625 grama i operativni domet od 10 do 40 metara.

Ovim sredstvom učinjen je velik pomak u odnosu na bezbednost vojnika koji su ranije često morali da prelaze ulicu i postavljaju rušilačko punjenje na prepreku, a zatim se vraćali da bi ga aktivirali. Tom prilikom izlagali su se velikom riziku od dejstva snajperista. Sada oni mogu iz bezbednog položaja, korišćenjem eksplozije iz GREM-a, razbijati prepreke. Završetak programa očekuje se u prvom kvartalu 2007. godine.

M. K.

<<<<>>>>

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

AUTOMATSKI MINOBACAČKI SISTEM ZA UPRAVLJANJE VATROM SCORPION*

Na međunarodnoj izložbi vojne opreme AAD 2006 (Africa Aerospace and Defence) prikazan je eksperimentalni model, automatskog minobacačkog sistema za upravljanje vatrom Scorpion AMFCS (Automatic mortar fire-control system), montiran na vozilu, koji je razvila kompanija ADS (African Defence System).



Demonstrator automatskog minobacačkog sistema Scorpion AMFCS

Projektovan za dejstvo direktno sa zadnjeg dela terenskih vozila HMMWV i Land Cruiser 4 × 4, Scorpion ima postolje s pripadajućim sistemom za upravljanje vatrom, kao i osmatrački i nišanski si-

stem, ugrađen na vozilu, koji se koristi za neposredno gađanje minobacačem sa vozila i omogućava otvaranje vatre na ciljeve za manje od 15 sekundi. Informacija sa sistema za nišanje, koji je u prikazanom obliku imao termovizor povezan sa laserskim daljinomerom ugrađenim na goniometar za merenje pravca i elevacije, pohranjuje se u tablet-kompjuter Rocky 786EX. U režimu indirektno vatre kompjuter prihvata koordinate cilja dobijene vezom sa isturenih osmatračkih pozicija.

Skorpionovo motorizovano postolje ima automatski sistem za lokaciju cilja, koji je potpuno autonoman i za orijentaciju koristi žiroskop sa sistemom GPS. Sistem, za sada, ima softver koji prihvata međusobno zamenljive minobacačke sisteme 60 mm i 81 mm.

U budućnosti se očekuje prilagođavanje sistema za minobacače 120 mm i kineske višecevne raketne lansere 107 mm R107.

Kompanija Denel Land System prikazala je svoj tzv. dalekometni minobacački sistem 60 mm, čije se isporuke s pripadajućom municijom i upaljačima, sistemom za neposredno gađanje, sistemom za osmatranje i trenažnim simulacionim sistemom, očekuju u 2007. godini.

Masa minobacačkog sistema je 28,3 kg, a domet mu je 6,2 km, kada koristi municiju kompanije Denel s HE i dimnim zrnima i vremenskim (Fucks) i udarnim (Naschem) upaljačima.

Sistem sadrži GPS prijemnik i digitalnu komunikacijsku jedinicu radi povezivanja s radio-stanicom ili kompjuterom višeg nivoa. Merni dijapazon sistema je od 80 do 20 500 m s rezolucijom dometa od 5 m.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.

Pored ostalih pogodnosti, sistem nudi displej za procenu situacije koji prikazuje položaj minobacača i drugih korisnika na bilo kojoj mreži. Njegov balistički softver izveden je iz artiljerijskog sistema za komandovanje i upravljanje vatrom, tako da može da vrši vatrene proračune i za samohodne haubice 155 mm M109 i lake topove 105 mm L118, kao i za minobacače 60 mm.

M. K.

<<<<>>>>

LAKI PROTIVAVIONSKI RAKETNI LANSERI MST*

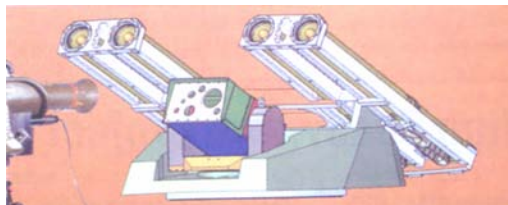
Kompanija IST Dynamics iz Južne Afrike razvija protivtenkovski raketni lanser mase 0,5 t za dejstvo po pokretnim ciljevima sa lakih terenskih vozila, poput HMMWV, RG-32 i Panhard VBL/VBR.

Kao raketna stabilizovana platforma oznake MST (Missile Stabilised Platform), ovo sredstvo je, u stvari, daljinski upravljana stabilizovana kupola namenjena za lansiranje protivtenkovskih raketa Ingwe, koje proizvodi kompanija Denel.

Ističe se da je sistem MST u stanju da uništi pokretne ciljeve na udaljenosti od 200 do 5000 metara, istovremeno kada je i sam u pokretu.

Koristeći konzolu s uređajem VIC (Video Interface Computer) i dve ručice, ovim sistemom može da upravlja samo jedna osoba. Uređaj VIC sastoji se od kolor video displeja za informacije o borbi i oružju koje su pokriveno videom. S jednostavnim ključevima i povezivanjem, uređaj VIC je potpuno integrisani kompjuter za upravljanje vatrom s ugra-

đenim automatskim tragačem, koji omogućava operatoru da automatski prati i otvara vatru po pokretnim ciljevima.



Prikaz lakog mobilnog raketnog lansera MST

Stabilizovani nišan sa tri dnevna kanala i termovizijskim sistemom za noćna dejstva (3–5 μm) koristi se za vođenje laserskim snopom raketa Ingwe do cilja.

Mitraljez za blisku borbu, u kompletu sa laserskim daljinomerom za precizno određivanje dometa, može da bude u ponudi kao jedna od opcija. Moguć je i komplet za daljinsko upravljanje kupolom koji se postavlja na udaljenosti do 40 metara od vozila.

M. K.

<<<<>>>>

NOVI KINESKI PRENOSNI PA RAKETNI SISTEMI*

Kineska vazduhoplovna naučna i industrijska korporacija po prvi put je prikazala tri nove varijante prenosnih raketnih sistema zemlja-vazduh iz familije Qianwei: QW-11, QW-18 i QW-1G.

Sistem QW-18 opisan je kao sistem sa najboljim mogućnostima zaštite od ometanja, pri čemu je obuhvaćen period pre i posle lansiranja.

Raketa ima tragač visoke osetljivosti koji koristi IC tehnologiju dvostruke

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

talasne dužine za osmatranje cilja, kojem se prate rep i spoljne površinske zone cilja radi uništenja.

Raketa koristi čvrste zaštitne tehnike koje su otporne na ometače i višestruke mamce, kao i ometanje od reflektujućih aluminijumskih folija. „Višestruki mamci“ reaguju na svetlosne signale koji se ispuštaju u uzastopnim serijama i, zavisno od toplote, sa različitim IC frekvencijama.

Sistem QW-11 je novi član porodice QW koji je razvijen specijalno za uništavanje krstarećih raketa, zadržavajući i mogućnosti uništenja sporoletućih ciljeva, poput helikoptera i aviona koji napadaju ciljeve na zemlji.

Raketa koristi poboljšani udarni i laserski blizinski upaljač kao i digitalnu obradu podataka. U odnosu na samoodarne upaljače, razvijene za ranije modele, laserski blizinski upaljač omogućava poboljšanu protivelektronsku zaštitu, usmerenu na opasnost od krstarećih raketa.



Novi kineski prenosni raketni sistem zemlja-vazduh iz porodice QW

Za sistem QN-1G nema relevantnih tehničkih podataka, ali foto-snimci upućuju na to da sistem ima nov lansirni uređaj, koji ukazuje na njegovu specifičnu namenu.

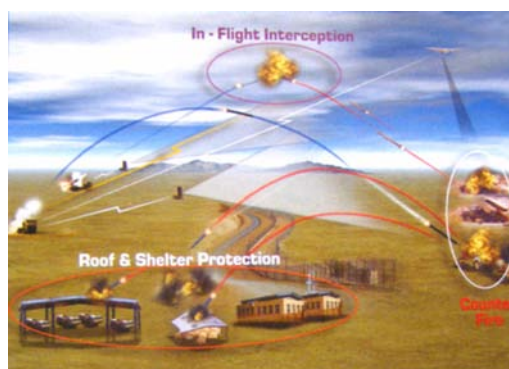
M. K.

<<<<◇>>>>

TROSLOJNI PROTIVRAKETNI ODBRAMBENI SISTEM*

Troslojni protivraketni odbrambeni sistem predložila je kompanija Elbit na osnovu iskustva odbrane od raketa u zoni Gaze i Južnog Libana.

Prvi sloj (prvi nivo) protivraketskog sistema je višecevni raketni lanser, direktno povezan s radarom za lociranje oružja, kao što je Elbitova poboljšana varijanta Daman, koji obezbeđuje upozorenje za lansiranje i informaciju o trajektoriji nadolazeće rakete za odgovarajući raketni lanser. Ovaj poslednji, kao odgovor, lansira svoju raketu koja je opremljena poboljšanim sistemom za korekciju trajektorije TCS (Trajectory Correction System).



Koncept troslojnog sistema protivrakete odbrane

Sistem za korekciju trajektorije omogućava balističku korekciju posle lansiranja rakete putem komandnog signala koji je poslat sa lansera ili sa radara Daman, i ostvaruje se aktiviranjem gasnih generatora u prednjem de-

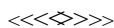
* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

lu rakete, usmeravajući je s bojnom glavom i blizinskim upaljačem na putanju nadolazećeg projektila protivnika. Višecevni raketni lanser može da bude ili izraelski sistem 160 mm LAR, ili višecevni raketni lanser kompanije Lockheed Martin M270/270 A1. U poslednjem slučaju treba lansirati ili adaptirane rakete 227 mm sa sistemom za korekciju trajektorije TSC, ili rakete 160 mm sistemom TSC smeštenim u adaptirane kontejnere u specijalnom pakovanju od 8 raketa.

Višecevni raketni lanser koristi se i za drugi nivo odbrane, lansiranjem raketa s odgovarajućim bojnim glavama direktno na vatrene položaje neprijateljevih lansera, koristeći podatke preko senzorskih linija radara Daman.

Treći sloj (nivo) odbrane ima formu pasivnog oklopnog krova za ključne objekte, štiteći one koji borave u njima od efekata eksplozije bojnih glava koje prodru do njih.

M. K.



BRODSKI PA RAKETNI SISTEM ŠTILJ-1*

Odgovarajući na izazove vremena i produžavajući tradiciju poznatih brodskih protivavionskih raketnih sistema serije „Kašmir“ i „Štilj“, konstruktori kompanije „Aljtair“ su novim rešenjima ponovo zadivili svet.

Nedavno se u sklopu PA raketnog sistema Štilj-1 pojavila nova protivavionska vođena raketa 9M317ME i optičko-elektronski uređaj – televizir sa znat-

no poboljšanim karakteristikama. Protivavionska vođena raketa sa „hladnim“ vertikalnim startom i puštanjem motora u rad u vazдушnom prostoru, smeštena je u transportno-lansirnom kontejneru, u modulnim potpalubnim lansirnim uređajima. To je sistemu dalo sasvim novi kvalitet – suštinski se povećao režim i tempo vatre, smanjili vreme reagovanja, masa i gabariti, kao i vidljivost njegovih palubnih konstrukcija u radio i optičkom dijapazonu, i poboljšala pouzdanost i druge eksploatacione karakteristike.

Novi optičko-elektronski televizir je automatski mnogospektralni uređaj sa dnevnom, noćnom ili termovizijском kamerom za tačno praćenje ciljeva i u vazдушnom prostoru i ciljeva nad vodom. On povećava zaštitu sistema od ometanja, omogućava određivanje tačnih koordinata cilja na udaljenosti do 20 km, među njima i intenzivno manevrišućih, omogućava upravljanje malokalibarskom PA artiljerijom i ocenu uništenja sredstava vazдушnog napada. Na taj način povećava se efikasnost sistema u celini i smanjuje utrošak municije.

Modulna struktura kompleksa Štilj-1 omogućava lako prilagođavanje za svaki brod deplasmana od 1500 tona, kao i modernizaciju svakog modula posebno. To smanjuje izdatke za usavršavanje i remont i na samom brodu. Osim toga, moguće je povećati borbene mogućnosti sistema za račun uvođenja novih borbenih modula, kao što je kupola Gibka. Ona je razvijena u institutu Aljtair i već se uspešno eksploatiše na brodovima ratne mornarice Rusije. Njena

* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, septembar – oktobar 2006.

osnova je malogabaritno obrtno postolje na kojem su postavljeni optička kamera i 4 do 8 lansirnih kontejnera s raketama Igla-C, koje imaju povećanu efikasnost pri gađanju niskoletećih protivbrodskih raketa.

Po dobijenom signalu uređaj se brzo usmerava na cilj. Signal sa optičke kamere obrađuje se u elektronskom računaru specijalnog automatizovanog radnog mesta, a cilj prati operator automatski ili ručno. Posle zahvata cilja toplotnom glavom za samonavođenje raketa startuje i navodi se na cilj. Moguć je i plotun sa dve rakete.

Kupolom Gibka uništava se cilj na udaljenostima do 6 km, među njima i onih koji dolaze u susret, kao i malih ciljeva na vodi. Na osnovu podataka optičke kamere, ovaj uređaj može da upravlja vatrom i malokalibarske artiljerije.

PA raketni sistem Štilj-1, prema podacima broskog radarskog sistema, može da prati do 20 ciljeva i raspoređuje ih po vatrenim sistemima sa odgovarajućim zonama uništenja: Štilj-1 od 3,5 do 32 km, Gibka od 0,6 do 6 km, artiljerijska oruđa tipa AK-630M od 0,3 do 4 km. Koncentracija i obrada svih informacija u automatizovanom uređaju za upravljanje garantuje gađanje i uništenje svih ciljeva koji se napadaju.

Gibka može da se koristi autonomno i u raznim kombinacijama sa drugim naoružanjem, obrazujući tako pouzdani kružni sistem PVO na malim udaljenostima, efikasan protiv aviona, helikoptera za zaštitu od piratskih brodova i terorističkih letelica.

M. K.

<<<<◇>>>>

IZVOZNI HELIKOPTERI KOMPANIJE KAMOV*

Ratna mornarica Kine već pet godina uspešno koristi protivpodmorničke (Ka-28) i pretraživačko-spasilačke (Ka-27PS) helikoptere koje je proizvela ruska kompanija Kamov. Firma Kamov nastoji da, držeći korak s vremenom, predlaže svetskom tržištu nove helikoptere, koji gotovo da nemaju konkurenciju. To je, u prvom redu, helikopter za radarsko patroliranje Ka-31. Na njemu ugrađeni radar E-801 otkriva ciljeve u vazdušnom prostoru na udaljenosti ne manjoj od 110 km, a na moru u granicama radio-horizonta. Ovaj helikopter može da patrolira neprekidno 2,5 sata, na udaljenosti od baze 150 do 200 km i na visinama 3 do 3,5 km. Sposoban je da izvršava borbene zadatke, kako sa obalskih aerodroma, tako i sa brodskih platformi.



Helikopter Ka-31

Firma Kamov nudi ne samo borbene helikoptere, već i helikoptere za opštu namenu. U poslednje vreme pravi hit postao je višenamenski helikopter Ka-32A11BC, koji je sertifikovan u Rusiji, Koreji, Kanadi, Švajcarskoj, Meksiku i Španiji. Nosivost ovešenog tereta ovog helikoptera je 5 t, što se pokazalo neza-

* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, septembar – oktobar 2006.

menljivim pri gašenju požara, krčenju šuma i montažnim radovima. Takođe, pri ukazivanju pomoći postradalim od zemljotresa u planinskim predelima Pakistana odličnim se pokazao helikopter Ka-32 gde nisu mogli da pridu helikopteri drugih proizvođača. Danas se ovaj helikopter koristi u desetak zemalja sveta. Za Kinu je posebno privlačna modifikacija Ka-32 sa velikim brojem agregata sa helikoptera Ka-27PS, što im je omogućilo jeftiniju eksploataciju i održavanje.



Helikopter Ka-226

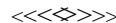
Firma Kamov razvija i manje helikoptere neophodne svetskom tržištu. Tako je 2005. godine dobio sertifikat kategorije „A“ po normi AP-29, harmonizovanoj sa američkim standardom FAR-29, višenamenski laki helikopter Ka-226 koji je modularne konstrukcije. Na njemu je moguće zamenom transportne kabine, za kratko vreme izmeniti namenu helikoptera, od transportnog do putničkog, s mogućnošću ugradnje sedišta. Dobijeni sertifikati, među njima i onaj koji se odnosi na nivo buke, omogućavaju upotrebu ovog helikoptera iznad gusto naseljenih mesta. Sa uzletnom masom od 3400 kg on je sposoban da prenosi teret do 1300 kg na spoljnjem nosaču ili devet putnika u kabini. Po proračunima cena jednog časa rada ovog helikoptera ne prelazi 300 USD.



Helikopter Ka-32A11BC

Kao i svi helikopteri sa saosnom šesom nosača elisa, helikopter Ka-226 ima visoke manevarske i brzinske mogućnosti, što je važno pri eksploataciji u planinskim predelima i urbanim sredinama megapolisa.

M. K.



BESPILOTNA LETELICA ZA LOCIRANJE RADARSKIH SIGNALA*

Kineska vazduhoplovna korporacija CASIC obelodanila je bespilotnu letelicu s rotacionim krilima, kao sistem za pozicioniranje namenjen da locira izvore radarskih signala.

Kompanija je bespilotnu letelicu prikazala na izložbi u Zhuhai kao nov razvojni prototip, ali bez navođenja njenih karakteristika. Sistem može da locira radarski signal u određenom frekventnom opsegu i određenoj zoni izviđanja.

Prilagođavajući tehnologiju pojedinačne pasivne detekcije, sistem može da presretne i locira radarski signal, izmeri parametre i analizira mikrokarakteristike impulsa. Ističe se da će se

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

uspostavljanjem baze radarskih podataka, putem obrade signala i identifikacije cilja, obezbediti neophodna podrška komandama pri odlučivanju o napadima.



Kineska bespilotna letelica s rotacionim krilima za lociranje radarskih signala

Drugi prototip bespilotne letelice s rotirajućim krilom, izložen na izložbi, bio je sistem za monitoring udaljenih prostora. Sistem je adaptiran tako da se sa platforme letelice vrši daljinsko ekološko osmatranje prostora bez ometanja. Sa letelice se prikupljeni podaci prenose od zemaljske stanice u realnom vremenu.

Kontinuirana i stabilizovana video grafika u realnom vremenu, zajedno sa uslovima zagađenja vazduha i izmerenim biološkim promenama u okolini, postignuta je putem kompjuterizovane obrade podataka.

M. K.

<<<<◇>>>>

NOVE VARIJANTE BESPILOTNIH LETELICA PREDATOR*

Dok se bespilotne letelice Predator uveliko upotrebljavaju u Avganistanu i Iraku, američko ratno vazduhoplovstvo (USAF) već radi na uvođenju nove, mnogo veće bespilotne letelice Predator B, koja nosi oznaku MQ-9A Repear.

Upotreba Predatora postaje neophodna za vazduhoplovne snage radi očuvanja života ljudi i rešavanja mnogobrojnih drugih zadataka. Od jula 2005. godine do juna 2006. godine vazduhoplovstvo je koristilo Predatore u više od 242 odvojena naleta; napalo 132 jedinice u akcijama zaštite; ispalilo 59 raketa Hellfire; izvršilo osmatranje 18 490 ciljeva; pratilo četiri konvoja; izvršilo 2073 borbena leta sa preko 33 833 časova leta. Krajem 2005. godine USAF je već imao tri eskadrile letelica Predator varijante MQ-1L naoružanih raketama Hellfire, a radi se na formiranju novih jedinica.

U međuvremenu je već podmakao razvoj letelice MQ-9A Repear koja nije samo veća i drugačija od Predatora, već se postižu i sasvim drugi efekti. Namijenjena je za direktne napade protiv vremenski osetljivih, brzo promičućih ciljeva i biće svrstana u jurišne eskadrile Repear.

Bespilotna letelica Repear ima mogućnost nošenja maksimalnog mešovitog spoljnog tereta od 1500 kg, uključujući laserski vođene rakete Hellfire i laserski vođene bombe GBU-12.

USAF ovu letelicu naziva „lovac-ubica“ i namenio ju je za patroliranje širokih zona, otkrivanje i identifikaciju ci-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

ljeva i lociranje njihovih položaja s tačnošću dovoljnom da bi se gađali sa maksimalnog dometa.

Prve isporuke standardne proizvodnje ovih letelica planiraju se početkom 2008. godine.

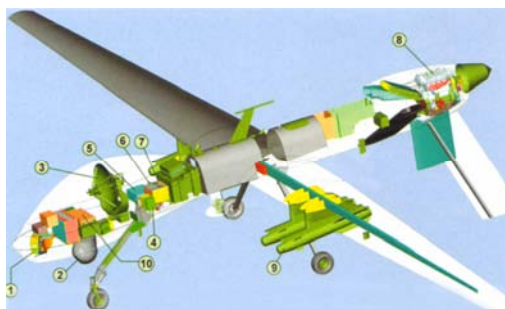
Kao i Predator, Repear je, takođe, izrađen uz široku primenu kompozitnih materijala s ugljeničnim vlaknima.

Motor Haneywell 331-10T ugrađen je na zadnjem delu letelice, dovodni kanal je levo i desno od motora, napajanje motora iz napunjene komore obavijene oko pogonske osovine, a izduvni kanal prolazi iznad krova motora.

Kako će leteti više od Predatora, Repear zahteva više snažnih senzora radi obezbeđenja ekvivalentne slike. Elektrooptički senzor kompanije Raytheon, tip MTS-B (Multi-spectral Targeting System), ugrađen je u kupolicu prečnika 56 cm, a predstavlja kombinaciju mogućnosti dnevnog elektrooptičkog, IC, laserskog pokazivača i laserskog osvetljivača, i mnogo je veći od standardnog MTS.

Drugi primarni senzor na Repearu je radarski sistem APY-8 Lynx s mehaničkim skeniranjem, čija je masa 52 kg, rezolucija 10 cm u spot-režimu, na dometu skoro 40 km u vazduhu. On ima i mogućnost mapiranja i indikacije pokretnih ciljeva na zemlji.

Najnoviji član familije Predator je bespilotna letelica Sky Warrior, oznake MQ-12A. Ona je veća za 50%, ima veća krila, potpuno drugačiji motor i novi sistem za upravljanje letom. Nosiće više naoružanja i imaće radar i senzor EO/IR ugrađene zajedno. Naoružana je sa četiri rakete Hellfire.



Principijelna šema bespilotne letelice Sky Warrior:
1 – radar APY-8 Lynx; 2 – senzor AAS-52;
3 – satelitska antena; 4–7 – radio-komunikacijski sistemi; 8 – motor; 9 – rakete Hellfire;
10 – elektronika Hellfire

U julu 2007. godine počće isporuka 17 letelica s povećanom ukupnom masom, većim kapacitetom senzora i poboljšanim sistemima odleđivanja i zaštite od munja. Namera je da se postigne mogućnost ostajanja u vazduhu 25 časova, na visini od 7620 m (25 000 ft), na udaljenosti do 300 km od baze sa punom avionikom. Održivost na borbenim zadacima sa četiri rakete Hellfire treba da bude 9 do 10 časova. I Sky Warrior, kao i Repear, ima rezervno upravljanje letom, kao i automatski sistem podizanja i prizemljenja.

U 2010. godini planira se verzija sa motorom od 120 kW, ukupne nosivosti 1630 kg, naoružana sa 8 raketa. Čak i sa većom masom ova letelica će imati bolje toplotne i visinske performanse nego ranije verzije.

Planira se da armija ima 132 bespilotne letelice Sky Warrior. Namera je da se formira avijacijska četa u svakoj borbenoj avio brigadi, opremljena sa 12 letelica i 5 zemaljskih stanica sa štabom od 115 vojnika. Letelice će organski pripadati armijskoj diviziji, pod direktnom komandom komandanta divizije.

M. K.

<<<<>>>>

OKLOPNI TRANSPORTERI BTR-80UP ZA IRAČKU ARMIJU*

Poljska kompanija Bumar Group je početkom 2007. godine započela regularnu isporuku poboljšanih oklopnih transportera BTR-80UP (8×8) u Irak.

Prvobitno je u 2005. godini bilo poručeno 115 vozila (novih i poboljšanih) prema ugovoru vrednom 30 miliona USD, ali do isporuke nije došlo zbog proceduralnih razloga. Broj vozila za isporuku sada je sveden na 98 i uključuje dodatne pakete za obuku i održavanje.

Tri novoizrađena vozila BTR-80UP kompanija je isporučila u septembru 2006. godine u kooperaciji sa ukrajinskim remontnim zavodom u Nikolajevu, koji se smatra nosiocem modernizacije ovog transportera za domaće i eksportne potrebe.

Iz Mađarske je u novembru 2006. godine u ovaj zavod isporučeno 66 oklopnih transportera BTR-80, radi poboljšanja do standarda BTR-80UP, i svi, osim četiri, biće isporučeni iračkoj vojsci u konfiguraciji osnovnog oklopnog transportera.



Poboljšani oklopni transporter BTR-80UP

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 3. januar 2007.

Iračka armija dobiće i komandna vozila za nivo bataljona (BTR-80UP-KB) i čete (BTR-80UP-KR), kao i štabna vozila (BTR-80UP-S), sanitetska (BTR-80UP-A), izviđačka (BTR-80UP-R), transportna (BTR-80UP-T) i oklopna vozila za održavanje i izvlačenje (BTR-80UP-BREM). Dopunska oprema za održavanje i obuku takođe će biti isporučena. Sva vozila BTR-80UP imaće dodatni zaštitni balistički oklop sa prednje strane i na bočnim stranama oklopnog tela vozila.

Osnovni komplet oružja (standardna kupola sa mitraljezima 14,5 mm i 7,62 mm i 6 lansera dimnih granata 81 mm) i sistem veze biće zadržani, ali vozilo neće više imati amfibijske mogućnosti. Instalacija za pogon na vodi biće uklonjena, a oslobođeni prostor iskorišćen za dodatne akumulatore i transportnu opremu. Neka vozila (komandna, sanitetska) dobiće i sisteme za kondicioniranje vazduha. Umesto dosadašnjeg turbo-dizel motora KamAZ-7403 V-80, ugrađivaće se poboljšani motor od 220 kW, oznake D-80. Poboljšana vozila dobiće i nove pneumatike i novi električni i pneumatski sistem.

M. K.



POBOLJŠANA VARIJANTA OKLOPNOG TRANSPORTERA IGUANA*

Na međunarodnoj izložbi AAD 2006. u Kejp Taunu zvanično je promovisano poboljšano, zaštićeno od dejstva mina, vozilo FV4 290 – varijanta oklopnog transportera Iguana 4×4, koji je projektovala i razvila kompanija IAD (Industrial and Automotive Design).

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.



FV4 290 – najnovija verzija oklopnog transportera Iguana 4x4

Kompanija IAD je ugovor o licencnoj proizvodnji vozila Iguana sklopila s belgijskom firmom Sabiex.

Model FV4 290 ima dužinu 5050 mm, širinu 2350 i visinu 2150 mm. Od svojih prethodnika principijelno se razlikuje po ugrađenoj tehnologiji protivminске zaštite.

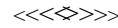
S borbenom masom od 9,5 t, uključujući 2 t korisnog tereta, vozilo FV4 290 je predviđeno da prevozi 8 osoba, obezbeđujući im protivminsku zaštitu ispod poda po standardu STANAG 4569, nivo 2B (mine do 6 kg), a ispod točkova nivo 3A (mine do 8 kg). Standardni nivo balističke zaštite vozila ispunjava uslove STANAG 4569A nivo 2, s mogućnošću podizanja do nivoa 3.

Na vozilu su šire gume (365/80R20), klirens vozila je povećan na 350 mm, a savlađivanje rova moguće je do širine 850 mm.

Kao potencijalne aplikacije ovog vozila vide se minobacačke platforme, sanitetska vozila i nosači raznog oružja prema programu Project Sepula, po ko-

jem se planira 1900 zaštićenih vozila za opremanje mehanizovanih jedinica u Južnoj Africi.

M. K.



NOVI INŽINJERJSKI TENKOVSKI SISTEM VELIKE BRITANIJE*

Novi inženjerski tenkovski sistem (ITS) Velike Britanije sastoji se od dva vozila – oklopnog inženjerskog vozila Trojan i oklopnog vozila nosača lansiranog mosta Titan, koje projektuje, razvija i proizvodi kompanija BAE Systems.

Za sada su u fazi proizvodnje 33 vozila Trojan i 33 vozila Titan, čije se uvođenje u upotrebu u kraljevsku inženjeriju Velike Britanije očekuje do 2008. godine.

Ova vozila zamenice sadašnja vozila na bazi tenka Čiften koja se provlače iz upotrebe.

Vozila Trojan i Titan biće prva oklopna vozila Britanske armije koja će biti razvijena za upotrebu širom sveta i, zbog toga, opremljena savremenim sistemom za upravljanje, koji obezbeđuje kondicioniranje vazduha i NHB zaštitu. Ona će imati i novi digitalni komunikacijski sistem Bowman, kao i mogućnosti daljinskog upravljanja. Ova dva vozila izrađena su na bazi pogonskih komponenta borbenog tenka Čelendžer 2, uključujući motor i transmisiju, koji će biti integrisani u dobro zaštićenu šasiju.

Trojan je projektovan da izvršava širok spektar zadataka u prednjoj borbenoj zoni. Kako će raditi pod direktnom vatrom protivnika, vozilo će imati visok nivo zaštite od oružja i protivtenkovskih

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

mina. Njegov modularni oklopni paket izrađen je tako da može da se poboljšava sa porastom pretnji ili sa napredovanjem nove tehnologije oklopa.

Naoružan je spoljnom oružnom stanicom 7,62 mm kompanije Thales, kojom se upravlja iz vozila. U normalnu opremu spada prednji hidraulički upravljani dozer koji može da se koristi za čišćenje prepreka i za brzu pripremu vatrene položaja. Dozerski nož može brzo da se zameni na terenu i umesto njega postavi raketni uređaj za razminiranje Python. Eksplozivno punjenje ovog uređaja prebacuje se preko minskog polja, a zatim se vrši detonacija daljinskim upravljanjem, čime se, stvorenim natpritisom, neutrališu protivtenkovske mine. Sistem Python predstavlja dalji razvoj sistema Giant Viper, koji nudi brojne i značajne prednosti, uključujući veću preciznost, smanjenje vremena aktiviranja i manju ukupnu cenu životnog ciklusa. Sistem, koji se transportuje na prikolici sa četiri točka, može brzo da očisti put kroz protivtenkovsko minsko polje dužine od 183 m do 230 m i širine 7,3 m.



Oklopno inženjersko vozilo TROJAN

Ako se zahteva, Trojan može da se opremi magnetnim projektorom radi neutralisanja savremenih protivtenkovskih mina s magnetnim sistemom upaljača.

Kad Trojan uđe u minsko polje on sve mine plugom gura u stranu, a očišćeni put automatski markira markirnim sistemom ugrađenim na vozilu.

Napred sa desne strane ugrađen je hidraulično upravljani eskavator, opremljen kašikom koja može da se koristi ne samo za kopanje tranšēja, već i za uklanjanje drveća i drugih prepreka. Razni inženjerski materijal može se prenositi na zadnjem delu, uključujući i svežnjeve šipova koji se mogu brzo ubacivati u protivtenkovske rovove pomoću hidraulične ruke. U standardnu opremu spada i hidraulična dizalica kao i komplet uređaja za dnevno-noćno osmatranje. Trojan može da vuče do dve prikolice sa specijalnom opremom koju posada može brzo da oslobodi dok je u vozilu, ukoliko to situacija zahteva.

Titan je vozilo za lansiranje mosta kojim rukuje dvočlana posada. Polaganje mosta može da se obavlja uz potpunu oklopnu i NHB zaštitu. Titan nosi i lansira most tipa BAE Systems No 10 dužine 26 m za vreme od dva minuta, a uz pomoć ugrađenih skela može da polaže i višestruko kombinovane mostove na vodama dubine do 4 m. Mostovi mogu brzo da se postave i preko naftovoda. Most No 12 postavlja se za 90 sekundi, a tandem most No 12 za 5 minuta. Ako taktička situacija zahteva, Titan može da se opremi dozerskim nožem ili čistačem mina.

M. K.



INŽINJERIJSKO BORBENO VOZILO TERRIER*

Terrier je novo inženjersko vozilo za manevarsku podršku koje je razvila i proizvela britanska kompanija BAE Systems. Četiri predserijska modela biće završena u prvoj polovini 2007. godine, a prva partija od 20 vozila treba da se isporučiti britanskoj armiji do kraja 2009.

Ovo vozilo izvršavaće mnogo širi obim borbenih operacija od dosadašnjih borbenih vozila inženjerije FV 180, koji su na upotrebi već 30 godina.

Pošto je Terrier namenjen za operacije na frontu, projektovan je tako da čelični oklop pruža zaštitu posadi od vatre iz streljačkog naoružanja i od parčadi granata. Dvostruki pod obezbeđuje poboljšanu zaštitu od mina, a pri većim opasnostima može se ugraditi i dodatni oklop. Po potrebi, može se ugraditi i dodatna odbrambena oprema u koju bi se mogao uključiti i uređaj za umnožavanje magnetne slike.

Terrier ima takvu brzinu, pokretljivost i održivost da može izvršavati zadatke zajedno sa ostalim oklopnim vozilima, uključujući tu najmanje pet uloga u manevarskoj podršci i 26 specijalnih zadataka. Za te potrebe opremljen je prednjom hidrauličnom višenamenskom kašikom, koja može da se koristi za čišćenje prepreka, pripremu zaklona za vozila i oruđa i prihvat većih predmeta. Može se opremiti i rasparačem za onesposobljavanje površinskih slojeva puteva. Sa desne strane montirana je hidraulična ruka dizalice nosivosti 3 t, koja, takođe, ima kašiku. Ona se može koristiti za pripremu

tranšeja za pešadiju, a može se brzo zameniti sa drugim dodacima, kao što su bušač za dubine do 3 m ili udarni čekić – razbijač. Hidraulična ruka može se koristiti i za podizanje i nošenje raznih tereta i ispomoć u raznim borbenim radnjama. Zadnja platforma može da nosi teret mase do 5 t.

Za čišćenje maršrute i markirne zadatke Terrier se može brzo opremiti plugom i uređajem za čišćenje mina koji se već koriste u mnogim zemljama, kao i sistemom za automatsko markiranje puteva. Pored toga, vozilo može da vuče i razvija sistem za čišćenje protivtenkovskih mina na raketni pogon Python, koji se nalazi na upotrebi u inženjeriji britanske vojske. Vozilo Terrier ima dvočlanu posadu kojoj će biti na raspolaganju paketi za rad i održavanje koji se nalaze u fazi razvoja.

Modularna izrada vozila otvorene arhitekture omogućava funkcionisanje sa daljinskim upravljanjem, kao i uvođenje sistema zdravstvenog i korisničkog monitoringa HUMS (Health and Usage Monitoring System), a moguća su i naknadna poboljšanja.



Oklopno vozilo Terrier za inženjersku podršku manevra

Vozilo je opremljeno sistemom za prilagođavanje okolini, tako da se može koristiti za preduzimanje operacija širom

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 22. novembar 2006.

sveta, a oprema za daljinsko upravljanje omogućava korišćenje i u visoko rizičnim uslovima. Uređaji za osmatranje i digitalni sistem komunikacija omogućavaju rad svih 24 sata.

Za samoodbranu posada koristi mitraljez 7,62 mm i električno upravljane lansere dimnih granata kojima se obezbeđuje potpuna dimna zaštita. Sistem može da se poboljša ugradnjom oružne stanice po specifikaciji korisnika.

Hidraulični čekrk kapaciteta 10 t namenjen je za samoizvlačenje i rušenje objekata.

Prema sadašnjim planovima Terrier će biti u sastavu jedinica kraljevske inženjerije Velike Britanije, koje podržavaju oklopne divizije, oklopne brigade, mehanizovane brigade i brigade komandosa.

Sa masom od 31,5 t ovo vozilo može da se prevozi avionom A400M ili po dva vozila u avionu C-17.

Ministarstvo odbrane Velike Britanije razmatra šasiju ovog vozila kao potencijalnu baznu platformu za varijante budućih sistema za brza dejstva FRES (Future Rapid Effect System). To su oklopno vozilo kraljevske inženjerije (AVRE), oklopni inženjerijski traktor (AET) i oklopno vozilo nosač mosta (AVLB).

M. K.

<<<<>>>>

KAMIONI I TEGLJAČI „KAMAZ“*

U ruskoj kompaniji „KAMAZ“, Republika Tatarstan, smatraju da su veoma blizu da postanu svetski brend, poput automata Kalašnikov. Popularnost KAMAZ-ovih kamiona sve je veća u svetu,

* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, septembar – oktobar 2006.

što je potvrdio i veliki interes na međunarodnoj izložbi opreme za kopnenu vojsku, održanoj u Moskvi, na kojoj su izloženi već poznati, ali i novi modeli.

Vozila „Mustang“ koja su modernizovana 2003. godine, zaslužila su pažnju stručnjaka. Na njima su ugrađeni snažni višegorivni motori standarda „Euro-2“ sa poboljšanim dvostepenim sistemom za prečišćavanje vazduha, poboljšano kvačilo s jednim diskom, menjač sa deset stepeni prenosa i generator od 2 kW. Na vozilima se koriste samočisteći pneumatici od savremenih materijala, a teretna platforma je prilagođena za prevoz kontejnera. Za brzu evakuaciju posade i otvaranje vatre iz stojećeg stava, na krovu je ugrađen poklopac prečnika 680 mm. Značajno je smanjen obim održavanja (periodičnost 15 000 km), a garantni rok povećan na 45 000 km. Na račun usavršene konstrukcije turbo punjača, dopunskog hlađenja komprimiranog vazduha, s visinskim korektorom dovoda goriva, povećana je specifična snaga motora, ekonomičnost potrošnje goriva i uvećani resursi vozila.

Vojni Mustang, sa autonomijom od 1000 km, mogu bez prethodne pripreme da savlađuju gaz dubine 1,75 m, rov širine 0,6 m, vertikalne prepreke visine 0,55 m, uspone do 31° i da razviju maksimalnu brzinu do 110 km/h.

Vojni tegljači KAMAZ-53504, konfiguracije 6×6, i KAMAZ-6450, konfiguracije 8×8, mogu da se koriste u sklopu sa poluprikolicama ukupne mase 23 t i 32 t, respektivno. Povećanjem zapremine osnovnog rezervoara za gorivo i ugradnjom dopunskog rezervoara, autonomija vozila iznosi 1400 km.

KAMAZ-65225 je modifikovani tegljač KAMAZ-6520, 6×6, sa dozvoljenim opterećenjem na noseće sedlo od 17 t, što omogućava vuču poluprikolice mase do 48 t.

Novina u 2006. godini je artiljerijski tegljač na bazi šasije KAMAZ-6350, namenjen za vuču artiljerijskih oruđa i sistema ukupne mase do 12 t, uz smeštaj posluge i borbenog kompleta municije. Vozilo je predviđeno za prevoz osam ljudi, od kojih su vozač i komandir u kabini a šest osoba u odeljenju za boravak, a masa prevoženog tereta na platformi je 5 t.

Ovaj tegljač je opremljen uređajem za utovar-istovar tereta mase do 2 t. Kabina i odeljenje za boravak imaju oklopnu višeslojnu zaštitu sa termoizolacijom, koja odgovara 5. nivou zaštite. Na krovu odeljenja za boravak su dva otvora sa oklopljenim poklopcima za vanredni izlazak, kao i za otvaranje vatre po vazдушnim i zemaljskim ciljevima. Na bočnim stranama predviđene su po dve hermetički zatvarajuće puškarnice sa neprobojnim staklima. Na vozilu su ugrađeni autonomni grejno-ventilacioni i filtro-ventilacioni uređaji. Postoje i pribori za pričvršćivanje ličnog naoružanja (automata), univerzalni punjač s napajanjem iz mreže vozila i dve utičnice za 24 V. Između kabine i odeljenja za boravak postoji telefonska veza. Predviđena su dva skidajuća dvoredna ležaja, sto i dva dodatna sedišta, a prostor ispod ležaja prilagođen je za smeštaj lične opreme posluge, pp aparata, kutije za priručnu apoteku i posude za pitku vodu zapremine 10 litara.

Unificirani pontonski automobil KAMAZ-4318 je jedinstvena baza za transport svih sastavnih delova postojećih serijskih pontonskih parkova. Njego-

va univerzalna platforma služi za razmeštaj i pričvršćivanje prevoženih članaka i kontejnera pontonskih parkova, postavljanje i učvršćivanje mehanizama, uređaja i skidajuće opreme.

Oklopni automobil BMP-97 „Vistrel“ (KAMAZ-43269), prvi put prikazan na Moskovskoj izložbi KoV 2006, izrađen je po zahtevu federalne pogranične službe, ali praktično može da se koristi u svim rodovima vojske. Bazira se na sklopovima i agregatima serijskog kamiona KAMAZ-4326, tipa 4×4, a ima turbo-dizel motor snage 240 KS (176,64 kW).

Gornji deo oklopnog tela štiti od zrna mitraljeza 12,7 mm sa rastojanja od 300 m, donji deo od snajperskih hitaca kalibra 7,62 mm s udaljenosti od 30 m.

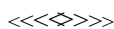
Oklopni patos je u obliku klina i štiti ljudstvo od dejstva protivtenkovskih mina. Naoružanje se pričvršćuje na obrtnoj kupoli, a to može da bude mitraljez velikog kalibra, top 30 mm, automatski bacač granata „Plamja“ ili protivtenkovski raketni sistem. Osnovnu posadu čine dva člana, a u desantnom odeljenju može da se smesti osam pešadinaca s kompletnom opremom.

Masa vozila iznosi oko 10,4 t, maksimalna brzina 90 km/h, a ukupni resurs, u zavisnosti od uslova eksploatacije, od 300 000 do 500 000 časova.

Specijalno vozilo za vazdušnode-santne jedinice KAMAZ-43501 je, takođe, prvi put prikazan kao zamena za vozilo GAZ-66. Predviđen je za desantiranje sa platformi aviona transportne avijacije. Konfiguracije je 4×4, sa stalnim pogonom na sva četiri točka, ima centralno regulisanje pritiska u pneumaticima i ugrađen čekrk za samoizvlačenje.

Kamion za teško dostupne terene KAMAZ-4911, poznat po međunarodnom reliju Pariz – Dakar kao sedmostruki šampion sveta, takođe se serijski proizvodi. Nosivost kamiona je 6,5 t, a koristi se za vanredne dostave tereta u teško dostupne rejone, po zemljanim putevima i ispresecanom zemljištu, i druge specijalne zadatke, pri čemu može da se kreće brzinom do 165 km/h.

M. K.



OSMATRAČKA VOZILA FENNEK ZA HOLANDSKU ARMIJU*

Kraljevska armija Holandije (RN-LA) primila je isporuku prvih 37 lakih oklopnih izviđačkih vozila Fennek 4x4, u varijanti namenjenoj za potrebe isturenog osmatranja, koje je proizvela kompanija Krauss-Maffei Wegmann (KMW).

Poznata u holandskoj vojsci kao Fennek VWRN, ova nova varijanta imaće tri člana posade, koju čine: oficir za timsku vatrenu podršku, istureni (prednji) osmatrač i vozač.



Oklopno vozilo Fennek VWRN za istureno osmatranje

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.

Spolja se vozilo Fennek VWRN razlikuje od ostalih baznih izviđačkih vozila samo po drugoj podižućoj anteni.

Nova unutrašnja oprema uključuje: drugi displej sistema za borbeno upravljanje BMS (Battlefield management system) za oficira za vatrenu podršku, Hanivelov taktički napredni zemaljski inercioni navigacioni sistem TALIN 3000 (većih mogućnosti od sistema TALIN 1000 koji je ugrađen u opštu izviđačku varijantu) i ekstraradio – mogućnosti za pomoć posadi u zahtevima za vatrenu podršku sa vazdušnih, zemaljskih i pomorskih oružanih platformi.

Nova vozila koristiće se u tzv. združenim osmatračkim grupama koje će sodeljstvovati sa izviđačkim snagama u mehanizovanim brigadama ili artiljerijskim bataljonima opremljenim samohodnim haubicama 155 mm/52 PzH 2000.

Fennek VWRN ima masu 11 t, a operativna autonomija mu je do 5 dana.

Vozilo je projektovano tako da se svi operativni postupci mogu izvršavati iz vozila, bez otvaranja poklopaca i izlaska iz vozila.

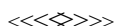
Glavni senzor je isti kao na izviđačkoj varijanti – elektrooptička senzorska jedinica sa laserskim daljinomerom ugrađena na podešavajućem jarbolu.

Fennek VWRN opremljen je naprednim informacionim sistemom za vatrenu podršku AFSIS-2 holandske vojske, koji je optimalna verzija za upotrebu sa haubicama PzH 2000 i isturenim osmatračkim grupama. Za potrebe zemaljske vatrene podrške mehanizovanih brigada, veze se uspostavljaju do obaveštajnih, osmatračkih, izviđačkih i senzora za akviziciju cilja (ISTAR) novoformira-

nog 103. ISTAR bataljona (uključujući radar i bespilotne letelice).

Prvi kursevi za obuku na vozilima Fennek VWRN planiraju se za početak 2007. godine.

M. K.



DANSKO SANITETSKO VOZILO DURO III P 6×6*

Švajcarska kompanija Mowag sklopila je ugovor sa danskom armijom, vredan 26,5 miliona USD za isporuku 29 zaštićenih terenskih vozila DURO III P 6×6 u konfiguraciji oklopljenih ambulantnih vozila. Ugovorom je pokrivena i logistička podrška.

Prva vozila biće isporučena u oktobru 2007. godine, kao urgentna operativna isporuka. I švajcarska armija poručila je šest takvih vozila za svoje potrebe.

Danska industrija uključuje se u realizaciju ovog programa i isporučivaće neke podsisteme radi ugradnje na vozila u Švajcarskoj. Nakon isporuke, očekuje se da se ova vozila angažuju u Avganistanu i Iraku.

Vozila DURO III P zameniće sadašnja ambulantna vozila koja nemaju balištičku i protivminsku zaštitu. Danska armija već ima brojna ambulantna vozila Patria XA-185 (6×6) i skorije nabavljena ambulantna vozila Mowag Pirana III (8×8).

Uz svoju posadu dansko vozilo DURO III P imaće prostora za tri pacijenta na sedištima i dva na ležajima, kao i na medicinsku opremu i opremu za komunikacije i samoizvlačenje.

Odeljenje za vozača i zadnje (ambulantno) odeljenje imaju oklopnu zaštitu i uređaje za kondicioniranje vazduha.

Šasija vozila DURO III P koristi se za čitav niz različitih aplikacija, a verzija 4×4 predstavlja osnovu za najnovije oklopno izviđačko vozilo Mowag Eagle IV (4×4).

Kompanija Mowag je podgovarač i nemačkoj kompaniji Rheinmetall Land-systeme (RLS) za oklopno višenamensko vozilo Yak (6×6), kod kojeg je primenjena šasija DURO III, a oklopna kabina i zadnji deo projektovala je i izrađuje kompanija RLS.

M. K.



PODVODNE MINE M2004*

Finska kompanija Patria Systems Oy (Tampere) prikazala je, po prvi put, na Evropskoj mornaričkoj izložbi u Parizu svoju novu pomorsku minu M2004. Opisana je kao mina koja deluje na dno, a iskorišćena je tehnologija izrade zastupljena u konstrukciji borbenih mina i veoma raširenim vežbovnim minama.

Ova mina sadrži elemente savremenog načina obrade signala i podataka; s multimikroprocesorom za upravljanje; sa stelnim multifunkcionalnim kućištem s daljinskim IC programskim uređajem; sa savremenim uređajem za armiranje i osiguranje upaljača; sa malom potrošnjom energije i savremenim neosetljivim eksplozivnim punjenjem FOXIT PBX (Polymerbonded high explosive).

Mina M2004 opremljena je akustičnim, magnetnim i senzorima za pritisak, a

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 3. januar 2007.

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

biće sposobna za dejstvo protiv površinskih i podvodnih pretnji. Može da bude „lako položena“ površinskim brodovima ili helikopterima, i pri njihovim velikim brzinama kretanja. Tome pomaže specifični oblik mine i multifunkcionalna izrada kućišta. Izgled mine je takav da se teško razlikuje od prirodnog kamenja ili betonskih blokova koji se nalaze na dnu mora.

Operativna dubina polaganja ovih mina iznosi od 10 do 200 metara.

M. K.

<<<<◇>>>>

RADIO-UREĐAJ JURIŠNE PEŠADIJE EAGLE*

Potpuni dupleks šifrovani radio-uređaj jurišne pešadije četvarte generacije, poznat kao Eagle (orao), uvela je kompanija Cobham Defence Communications.

Eagle je namenjen prvenstveno za upotrebu na nivou odeljenja – voda, omogućavajući 6 potpunih dupleks veza korisnika koji mogu istovremeno da koriste savremeno glasovno aktiviranje. Alternativno, uređaj omogućava dva dupleks glasovna kanala sa istovremenim prenosom i prijemom podataka od 128 kb/s, zadržavajući mogućnost iznenadnog prevođenja. Sa frekventnim opsegom od 2,4 GHz, Eagle nudi 64 kanala sa 32 pomaka po kanalu. Skokovita frekvencija širi spektrum emitovanja na 40 u sekundi i obezbeđuje šifrovani prenos i bezbedne veze.

Nominalni direktni domet radija je 800 m, a može se povećati zahvaljujući mogućnostima potpuno automatskog ad hok umreženja, koje je zasnovano na dinamičkom mrežnom kontroleru. Ukoliko

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

je ovaj kontroler izvan funkcije, njegovu funkciju automatski preuzima drugi radio.

Radio-uređaj može da bude integrisan i sa međukomunikacijskim sistemom Cobham ROVIS/LV2 na vozilu, koji posadi nudi ne samo glasovnu i šifrovanu vezu sa iskrčanim vojnicima već im omogućava i povratnu vezu. Drugi prijemnik može da bude osposobljen za monitoring drugih grupa ili rada međugrupa.

Dimenzije radija su 139×77×40 mm, masa iznosi 255 grama sa baterijama, a predviđen je za više od 16 časova rada sa jednim paketom baterija (6 baterijskih elemenata AA).

Uz ručni displej očekuje se da sistem Eagle bude baza budućeg integralnog digitalnog sistema vojnika IDSS (Integrated Digital Soldier System) britanske armije.

M. K.

<<<<◇>>>>

UREĐAJ ZA NOĆNO OSMATRANJE PATHFINDER*

Modernizovani pilotski sistem za noćno osmatranje Pathfinder (izviđač) namenjen je armiji SAD. Njegova demonstracija obavljena je na izložbi održanoj u Vašingtonu sa displejima na kacigi pilota, koje proizvode kompanije Rockwell Collins i Thales.

Primarna namena Pathfinderera je da pilotima omogući mnogo bolji pogled i bezbedan poboljšan sistem za upotrebu u uslovima slabe vidljivosti, kada rotor helikoptera pravi oblake prašine – snega. Sistem treba i mnogo efikasnije da upozorava posadu o eventualnim prepreka-

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, decembar 2006.

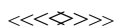
ma. Potreba za takvim mogućnostima na helikopterima CH/UH postala je prioritetna za avijaciju armije SAD, uključujući i prekomorske operacije.

Poboljšana procena situacije koju obezbeđuje dugotalasni (8–12 μm) sistem FLIR (forward-looking infrared), sa rezolucijom od 1780 × 960 piksela i vidnim poljem 52 × 30°, pruža pilotu više pouzdanosti pri operacijama blizu tla pri podizanju – spuštanju, posebno na neravnom i zaraslom zemljištu. Sistem nudi iste uslove pilotu kao i kod jurišnih helikoptera Apache.

Sistem Pathfinder je na upotrebi u armiji SAD na helikopteru Apache AH-64D, a uz male modifikacije može da se koristi na helikopterima CH/UH. Na njemu se nalazi 10 zajedničkih zamenljivih modula, a potrebna su samo tri dodatna modula radi adaptacije na konfiguraciju za helikopter CH/UH.

Radovi na adaptaciji ovog sistema trebalo bi da se završe do sredine 2009. godine.

M. K.



SREDSTVA ZA ZAŠTITU VAZDUHOPLOVA I ZEMALJSKIH BORBENIH SISTEMA*

Razvojem i proizvodnjom optičko-elektronskih sistema zaštite vazduhoplova i zemaljskih borbenih sistema, od raketa sa toplotnim glavama za samonavođenje, gasnih izvora svetla i sličnih pribora, izvora i sistema čvrstih lasera, bavi se više ruskih preduzeća. Među njima su i svetski lideri u toj oblasti: naučno-istraživački institut „Zenit“ i „Stella“ koji po-

* Prema podacima iz časopisa ВОЕННЫЙ ПАРАД, septembar – oktobar 2006.

tencijalnim korisnicima, pored ostalog, nude i sledeće proizvode:

– stanicu optičko-elektronskog protivdejtva (SOEP) TŠU-1-7 za individualnu zaštitu oklopne tehnike od protivtenkovskog raketnog sistema sa poluautomatskim sistemom navođenja tipa „Fagot“, „Konkurs“, „TOU“, „Milan“, „Drakon“, „Kobra“, „AT-S“ i dr. Ispitivanja na tenkovima T-72, T-80, T-90 i na BVP-3 potvrdila su visoku efikasnost SOEP TŠU-1-7. Sada se proizvodi modernizovana varijanta s povećanim stepenom zaštite, smanjenom IC uočljivošću, sa elektromagnetnom podudarnošću sa svim elektronskim uređajima štice-nog objekta;

– stanicu optičko-elektronskog protivdejtva L166B1A za individualnu zaštitu borbene vazduhoplovne tehnike od raketnih sistema sa IC glavama za samonavođenje tipa „Sajduinder“, „Red Aj“, „Čaparel“, „Piton“, „Strela-2M“, „Huninj-S“ i njima slične. Stanica L166B1A se formacijski postavlja na ruske helikoptere Mi-8, Mi-17, Mi-24. U toku su ispitivanja modela SOEP nove generacije. Princip njihovog rada zasniva se na ranom otkrivanju lansiranja rakete, njenom praćenju i uništenju kanala navođenja pomoću usko usmerenog toka modulisanog IC zračenja. Nekoliko emitera, razmeštenih na letelici, računarski sistem upravljanja i operativnog reprogramiranja režima rada, obezbeđuju efikasno protivdejtvo savremenim sredstvima napada raketama poput sistema „Igla“, „Igla-1“, „Stinger“, „Stinger-post“ i sličnih;

– prenosni projektor PP-20 za zaštitu objekata, pretraživanja i spasilačke radove na kopnu i vodenim prostorima pri tmurnom i noćnom vremenu. On osvetljava dovoljno prostora da bi se uočili

pokretni ciljevi (npr. pojedinačne osobe u uniformi) na udaljenosti do 2 km optičkim priborom sa 20-strukim uvećanjem. Snopom se upravlja ručno, ili automatski s pulsa, koji može da se postavi na udaljenosti 20 metara od projektora.

M. K.

<<<<◇>>>>

PROVERA SINTETIČKIH GORIVA NA BOMBARDERU B-52 H*

Američke vazduhoplovne snage (USAF) započele su probne letove bombardera, koristeći sintetičku gorivu smešu izvedenu delimično iz nenaftnih izvora tehnologijom Fischer Tropsch.

Prvi probni let izveden je 19. septembra 2006. godine u vazduhoplovnoj bazi Edwards, Kalifornija, na bombarderima B-52 H.

Fischer Tropsch (FT) proces, koji su originalno razvila dva nemačka inženjera devedesetih godina prošlog veka, jedna je od alternativnih mogućnosti snabdevanja gorivom za vazduhoplovne snage u njihovoj energetske strategiji. FT proces ima mogućnost da koristi produkte poput uglja ili prirodnog gasa, da ih raščlani u ugljenmonoksid i vodonik i da ih zatim sintetizuje u tečne ugljenohidrate. Tako dobijeno sintetičko gorivo radi veoma slično standardnom mlaznom gorivu.

U sklopu energetske strategije USAF, Istraživačka laboratorija vazduhoplovnih snaga (AFRL) radila je u početku analize FT „smeše“ koje je koristila južnoafrička kompanija South African Airlines za komercijalne potrebe bez problema. Na bazi

analiza, laboratorija AFRL se fokusirala na nastavak istraživanja smeša nenaftnog FT deriviranog goriva i standardnog iz nafte deriviranog goriva JP-8, nastavljajući istraživanje preko „mokrih proba“ komponenata i nakon toga statička ispitivanja motora manjeg obima. Sledeće aktivnosti proširiće se od koncepta jednostavnih demonstracija do testnog programa koji bi trebalo da rezultira značajnom informacijom za budućnost.

Za početak testiranja u letu odabran je bombarder B-52 H, zbog brojnih razloga. Prvi je što ovaj avion s osam motora može da izgubi jedan ili dva i da još uvek zadrži dovoljno pouzdanosti za nastavak leta. Drugo, na ovim avionima može se odvojiti gorivo u bilo kojem od rezervoara, tako da je odlučeno da se sedmi i osmi motor na desnom krilu koristi sa gorivom Fischer Tropsch. Ostali motori pogone se standardnim avionskim gorivom JP-8.

Smešu primenjenu na testiranju 19. septembra proizvela je od prirodnog gasa korporacija Syntroleum.

Sadašnji planovi su da se avionima B-52 H izvede 10 do 12 časova „borbenih letova“ sa FT smešom u sedmom i osmom motoru, na raznim visinama (plafon do 40 000 ft – 12 192 m) i pri malim, srednjim i velikim brzinama. Jedan od aspekata ispitivanja uključivaće manevre 0–1,8 g radi potvrde uzajamnog delovanja FT smeše i pojedinih delova na motoru.

Na osnovu uspešnih rezultata u početnoj fazi dalji program trebalo bi da se kreće u smeru testiranja s osam motora i u smeru pune sertifikacije gorive smeše.

M. K.

<<<<◇>>>>

* Prema podacima iz INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, novembar 2006.

