

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik

SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major

dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

(predsednik Odbora)

General-potpukovnik

dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik

BRANISLAV OBRADOVIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik

dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

(zamenik predsednika Odbora)

General-major

dr NOVIĆA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major

dr SLOBODAN BURSAĆ, dipl. inž.

General-major

MILAN UZELAC, dipl. inž.

Profesor

dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Profesor

dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik

MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik

STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.

(sekretar Odbora)

* * *

Zastupa glavnog i odgovornog urednika

Potpukovnik

Stevan Josifović, dipl. inž.

(tel. 646-277)

Sekretar redakcije

Zora Pavličević

(tel. 641-795, vojni 22-431)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI

GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.

Pretpлата tel.-fax: 3612-506, žiro-račun: 40818-

637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.

Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štampa-

rija – Beograd, Generala Ždanova 40b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

4-5

GODINA XLVIII • JUL-SEPTEMBAR 2000.

SADRŽAJ

Dr Jugoslav Kodžopeljić, general-potpukovnik, dipl. inž.	AKTIVNOSTI I ZADACI LOGISTIČKE PODRŠKE U ŽIVOTNOM VEKU TEHNIČKIH SISTEMA	389
Dr Petar Stanojević, major, dipl. inž.		
Dr Milenko Živaljević, pukovnik, dipl. inž.	INTEGRISANI INFORMACIONI SISTEM ZA ODRŽA- VANJE BORBENIH VAZDUHOPLOVA	409
Dr Dragana Bečejski-Vujaklija, dipl. inž.	ISTRAŽIVANJA UTICAJA NESIMETRIČNOG OPSTRU- JAVANJA PROJEKTILA NA AERODINAMIČKE KOE- FICIJENTE	417
Dr Dušan Regodić, pukovnik, dipl. inž.	FAKTORSKA ANALIZA POLAZNIH PARAMETARA KOJI NAJVIŠE UTIČU NA MODEL DVOFAZNOG STRUJANJA U CEVI AUTOMATSKE PUŠKE	425
Obrad Čabarkapa, major, dipl. inž.		
Dejan M. Savić, potporučnik, dipl. inž.		
Dr Milan M. Šunjevarić, pukovnik, dipl. inž.	FAMILIJA MSK MODULACIJA	433
Dr Branislav Todorović, dipl. inž.		
Mr Radiša Stefanović, potpukovnik, dipl. inž.	UTICAJ ZRAČENJA MOBILNIH TELEFONA	447
Mr Mladen Arnautović, dipl. inž.	PRINCIPI PRIMENE LASERA U INDUSTRIJSKOJ OBRADI MATERIJALA	454
Tomislav Lukić, potpukovnik, dipl. inž.	PALETNI LANCI U VOJNOM TRANSPORTU	467
Dr Vitomir Miladinović, profesor, dipl. inž.	SATELITSKI SISTEM ZA GLOBALNO POZICIONIRA- NJE - GPS	475
Dušan Marjanov, dipl. inž.	VODNI SAOBRAĆAJ U 21. VEKU - prikaz naučnostručnog skupa	487
Dr Dragutin Jovanović, pukovnik, dipl. inž.		

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Novi upaljači za artiljerijsku municiju - M.K.	490
Precizni mitraljez PECHENEG - M.K.	492
Integralni nišansko-osmatrački sistem - M.K.	493
Elektrooptički holografski nišan - M.K.	494

Poboljšanja tenka LECLERC – V.R.	496
Pustinjska ispitivanja tenka T-90S – M.K.	497
Novi tenkovski dizel motor V-92S2 – M.K.	498
Novi projekti modernizacije aviona MiG-29 – M.K.	499
Radarska tehnologija za novi vek – M.K.	501
Integracija satelitskog linka podataka na rakete taktičkog nivoa – M.S.	503
Termovizijski detektor treće generacije – M.S.	504
Upotreba IC i UV stimulatora u taktičke svrhe – M.S.	505
Razvoj nove generacije GPS satelita – M.S.	506

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Početna ispitivanja projektila 155 mm EXCALIBUR – M.K. .	508
Vođena municija Raven GGM – V.R.	508
Turska raketa TOROS – V.R.	509
Nova generacija raketa MICA – V.R.	509
Razvoj dvocevno minobacača 120 mm AMOS – V.R.	510
Novi kineski višecvni raketni sistem A 100 – V.R.	510
Bojna glava za uništenje otpornih ciljeva – V.R.	511
Modifikovani artiljerijski sistem Crusader – V.R.	511
Artiljerijski sistem LW SP 155 – V.R.	512
Iranski raketni sistem Fadjr – V.R.	513
Testiranje preciznih udara – M.S.	513
Novi mitraljez za američke specijalne snage – V.R.	514
Municija JSOW testirana na avionima B-2 – M.K.	515
Ispitivanja kupolnog sistema	
PVO MARKSMAN 35 mm – V.R.	515
Proizvodnja rakete KONKURS u Iranu – V.R.	516
Oklopni transporter PUMA za KoV Italije – V.R.	517
Modernizacija rumunskih tenkova TR-85 – V.R.	518
Oklopno vozilo PANDUR za armiju SAD – M.K.	518
Tenkovi ABRAMS sa dizel motorima – M.K.	519
Modernizacija motora aviona HARRIER – V.R.	520
Novi motori za vojne helikoptere – M.K.	520
Nova tehnika za uništavanje morskih mina – M.K.	521
Novi izviđački i spasilački radio – M.K.	521
Testiranje nove bespilotne letelice u RM SAD – M.S.	522
Minijaturni laserski daljinomer – M.S.	522
Razvoj malih antena za zaštitu GPS od ometanja – M.S.	523
Laserska komunikacija između vozila u pokretu – M.S.	524

Dr Jugoslav Kodžopeljić,
general-potpukovnik, dipl. inž.
EI Holding korporacija, Niš
Dr Petar Stanojević,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija
VJ, Beograd

AKTIVNOSTI I ZADACI LOGISTIČKE PODRŠKE U ŽIVOTNOM VEKU TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 355.41:62

Rezime:

Da bi tehnički sistemi obavljali svoje funkcije u skladu sa definisanim potrebama, treba da budu optimizirani i sa stanovišta logističke podrške. U radu su navedeni zadaci logističke podrške i aktivnosti kojima se ti zadaci realizuju, uzimajući u obzir ukupan vek trajanja tehničkih sistema. Pošto se tehnički sistemi razvijaju i eksploatišu kroz faze: studija, prethodna analiza, program realizacije, projektovanje (idejni projekat ili pretprojekat), materijalizacija (funkcionalni model, probni komad, prototip, prototipska partija), osvajanje proizvodnje, serijska proizvodnja, eksploatacija i održavanje, predmetne aktivnosti su prikazane za svaku od navedenih faza ili njihovih delova.

Ključne reči: logistička podrška, tehnički sistemi, sistemski pristup, aktivnosti logističke podrške, faze životnog veka tehničkih sistema.

ACTIVITIES AND TASKS OF LOGISTIC SUPPORT IN THE LIFE CYCLE OF TECHNICAL SYSTEMS

Summary:

In order to function according to defined requirements, technical systems should be also optimized from the aspect of logistic support. The tasks of logistic support and the activities for their realization have been given taking into account the overall life cycle of technical systems. Since technical systems are being developed and used through the following phases: study, preliminary analysis, realization program, design (project or preliminary project), materialization (functional model, test specimen, prototype, prototype series), production conquering, mass production, service and maintenance, characteristic activities have been presented for each of the given phases or their parts.

Key words: logistic support, technical systems, system approach, logistic support activities, life cycle phases of technical systems.

Uvod

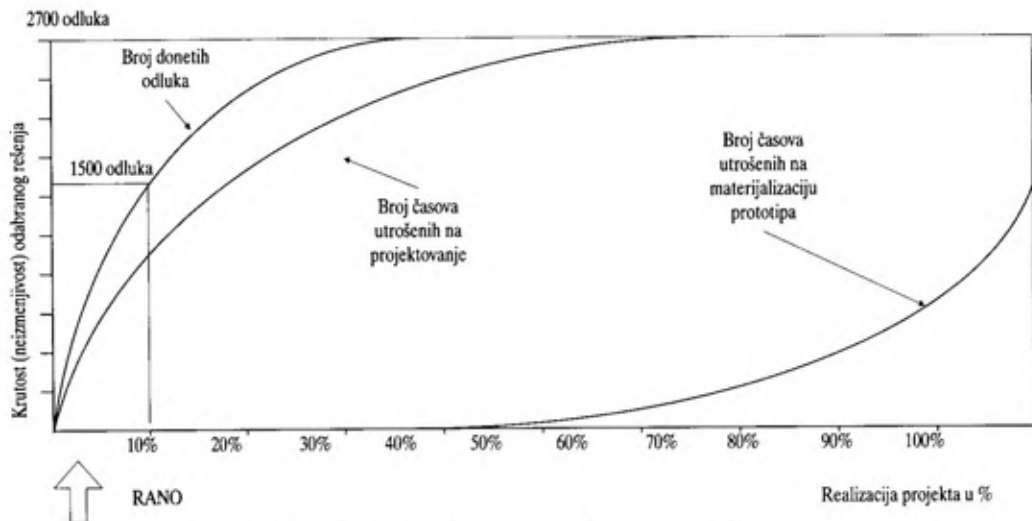
Tehnički sistemi i tehnička sredstva u svom veku prolaze kroz sledeće faze: planiranje, programiranje, projektovanje, razvoj, proizvodnja, ugradnja, eksploatacija i održavanje. Kroz sve ove faze teži se realizaciji takvog tehničkog si-

stema koji će obezbeđivati najveći stepen efektivnosti uz minimalne troškove, odnosno sistemu koji će maksimalno zadovoljiti kriterijum ekonomske efektivnosti. Za rešavanje ovog problema, u poslednjih pedesetak godina, formirao se celoviti pristup pod nazivom integralna logistička podrška ili integralno tehničko

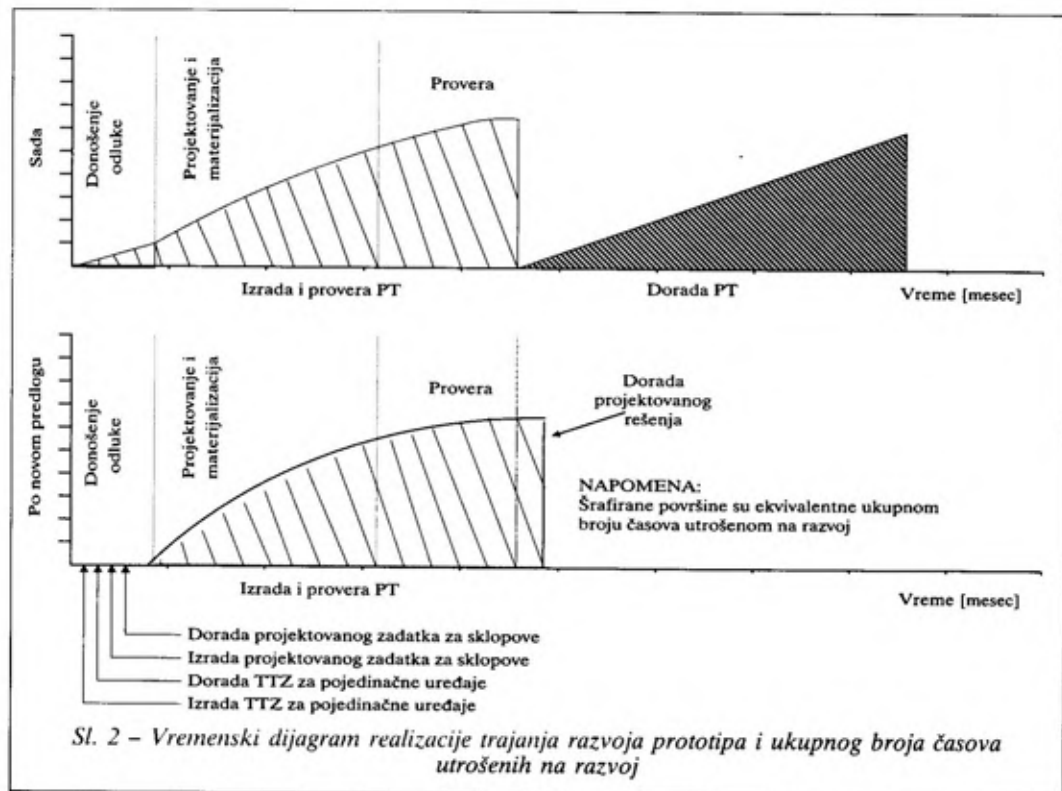
obezbeđenje. Taj pristup se dokazao kao jedini realno primenljivi i isplativi put za smanjivanje ukupnih troškova životnog veka tehničkih sistema, i povećavanje njihovog upotrebnog kvaliteta. Suština pristupa je u sagledavanju svih pojava vezanih za tehnički sistem u toku celokupnog, (programiranog), njegovog životnog veka. Potreba za sagledavanjem svih pojava u toku celokupnog životnog veka uslovljena je dokazanim činjenicama da se najveći deo troškova generiše u fazama eksploatacije i održavanja (a ne u prethodnim fazama), ali i da generatore visokih troškova i nedostataka u kvalitetu treba tražiti prvenstveno u fazama životnog veka koje prethode eksploataciji i održavanju. Indikativna je i činjenica da se troškovi za eliminisanje konstrukciono-tehnoloških nedostataka u razradi projekta, pri izradi serije i u eksploataciji nalaze u odnosu 1 : 10 : 100. Ove činjenice govore o međusobnom uticaju faza životnog veka i potrebi da se problem rešava kao celina, odnosno da se pri donošenju odluka uvek imaju u vidu posledice koje će odluke donete u jednoj fazi životnog veka imati na događaje u ostalim fazama.

Da bi se obezbedilo smanjenje troškova i povećanje upotrebnog kvaliteta, danas je već potpuno jasno, logističkoj podršci mora se pokloniti odgovarajuća pažnja, jer je ona ključna za efektivnost tehničkih sistema u naredne dve faze životnog veka. To znači da se sadržaji logističke podrške nužno moraju, na odgovarajući način, razmatrati u celom životnom veku tehničkih sistema i sredstava. Zbog toga, tim značajnim aktivnostima mora se po fazama životnog veka tehničkog sistema pristupiti sistemski i sistematizovano, odnosno, o njima se mora voditi računa već od početne faze tj. od planiranja. Naravno, kako projekat napreduje tako se rešenja konkretizuju ili logistička podrška realizuje. Iskustva iz svetske prakse (na primeru razvoja jednog radarskog sistema u Švedskoj) govore da se najveći deo odluka o tehničkom sistemu donese na samom početku njegovog razvoja (slika 1).

Razvoj posmatranog tehničkog sistema trajao je oko tri godine. Ukupno je doneto oko 2700 razvojnih-projektantskih odluka-rešenja. Od toga 1500 (ili

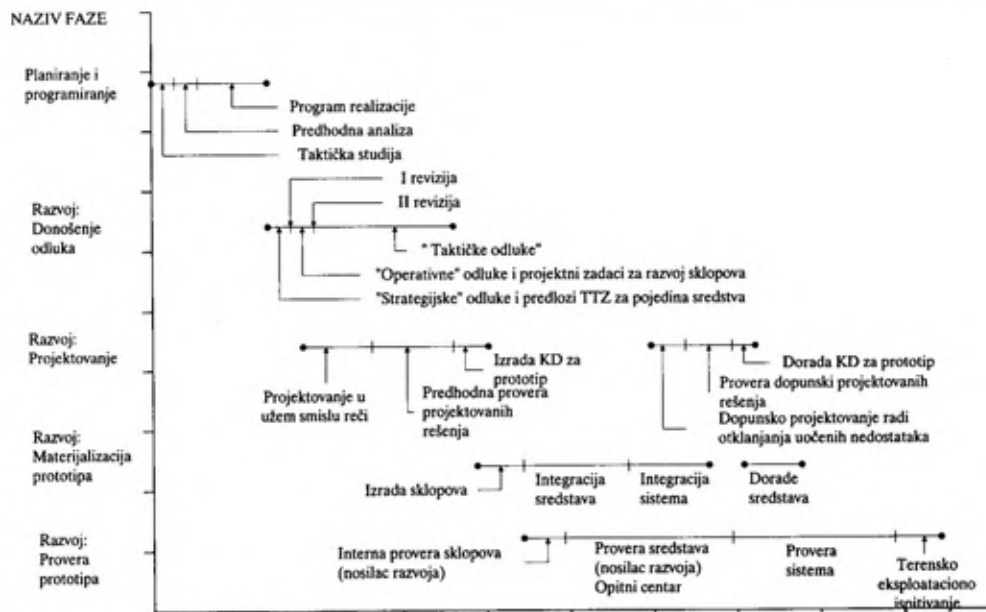


Sl. 1 – Dijagramski prikaz razvoja složenog tehničkog sistema



oko 60%) doneto je za samo 10% od ukupnog trajanja razvoja. Samo donošenje odluka završeno je za oko 40% vremena razvoja, dok je projektovanje (realizacija odluka) trajalo oko 70% vremena razvoja. Sa materijalizacijom rešenja otpočelo se praktično tek po donošenju svih odluka. Ovi podaci govore o značaju pravovremene ugradnje logističke podrške, odnosno o nužnosti njenog razmatranja od najranijih faza životnog veka tehničkog sistema, ali i o tome da ne treba žuriti sa materijalizacijom tehničkog sistema dokle god daleko najveći deo problema nije rešen „na papiru“, odnosno dok sve relevantne i sveobuhvatne odluke nisu donete, jer je to sigurno put koji zahteva manja ulaganja. Ukoliko se to ne učini može doći do situacije prikazane na slici 2.

Na gornjem dijagramu prikazan je slučaj kada se sa materijalizacijom (u ovom slučaju prototipa) započne od najranijih faza projektovanja (kao što je, nažalost, još uvek čest slučaj u praksi). To će sigurno, posle faze provere, dovesti do potrebe za većim doradama i produžavanjem vremena razvoja. Ako se količina rada na projektovanju shvati kao šrafi-rana površina, sa dijagrama se vidi da se ona može znatno povećati, u prvom slučaju, zbog potrebnih dorada prototipa. Takođe, produžiće se i vreme razvoja. U drugom slučaju (donji dijagram), ukoliko se sve relevantne odluke o tehničkom sistemu donesu sveobuhvatno i pre započinjanja materijalizacije, može se očekivati da će dodatna količina rada na projektovanju i vreme produžetka trajanja projektovanja biti kao što je slikovito



Sl. 3 – Gantogram vremenske uslovljenosti faza planiranja, programiranja i razvoja novog tehničkog sistema

prikazano sa desne strane isprekidane linije.

Uzimajući u obzir da se tehnički sistem praktično realizuje izradom određenih dokumenata (kojima se pojedine faze životnog veka verifikuju) i odgovarajućom materijalizacijom, odnosno eksploatacijom, mogu se prihvatiti sledeće aktivnosti i dokumenta, kao ključni: studija za tehnički sistem, prethodna analiza tehničkog sistema, program realizacije, ugovaranje projektovanja i razvoja (ili projektovanje i razvoj), izrada idejnog projekta ili pretprojekta, izrada detaljnog projekta, izrada funkcionalnog modela ili probnog komada, izrada prototipa ili prototipske partije, osvajanje proizvodnje i serijska proizvodnja, izrada nulte serije, serijska proizvodnja, eksploatacija i održavanje. Gantogram aktivnosti planiranja, programiranja i razvoja novog tehničkog sistema (slika 3) pokazuje svu

složenost i vremensku uslovljenost među realizacijom i rezultatima ovih aktivnosti – faza (procesa).

U svim navedenim fazama (aktivnostima) moraju se realizovati zahtevi logističke podrške. To se postiže odgovarajućim aktivnostima i realizacijom odgovarajućih zadataka.

Aktivnosti i zadaci logističke podrške

Logistički pristup u oblasti tehničkih sistema i sredstava danas još uvek nije potpuno sistemski zaokružen. Kada je ovaj pristup u pitanju u literaturi se susreću različiti sadržaji aktivnosti i zadataka, kako u svetu, tako i u domaćoj praksi.

Svetska iskustva na ovom planu sistematizovana su, prvenstveno, kroz više standarda američke vojske [1, 2, 3, 4, 5]. Sadržaj ovih dokumenata prvenstveno je

vezan za ugradnju i poboljšanje pouzdanosti i pogodnosti za održavanje pri razvoju tehničkih sistema. Njima je delimično i na specifičan način obuhvaćena celina odnosa i međuzavisnosti koje, pri ugradnji logističke podrške, mogu međusobno imati projektant, proizvođač i kupac – naručilac tehničkog sistema.

Domaća istraživanja pokazuju da je zadovoljavajući način obuhvata tih zadataka kako je to navedeno u literaturi [6]. Naime, kada se govori o sveobuhvatnosti aktivnosti i zadataka logističke podrške u životnom veku tehničkih sistema i sredstava, moguće je pod tim podrazumevati realizaciju različitih zadataka.* Može se zaključiti da su zadaci mnogobrojni, neki su bitni u početnoj fazi realizacije, a drugi tek u eksploataciji i održavanju, većina je interdisciplinarnog karaktera, svi utiču na efektivnost i cenu tehničkog sistema, za realizaciju pojedinih zadataka je potrebno iskustvo, a neki traže i modeliranje, itd. Sve to ukazuje na nužnost njihovog rešavanja sistemskim putem i pravovremeno.

Iskustvo stečeno dugogodišnjim radom na razvoju tehničkih sistema, njihovoj proizvodnji, eksploataciji i održavanju, upućuje na to da je nužno slediti sledeći model – dat u vidu faznog algoritma:

- postaviti početne zahteve u kvantitativnom i kvalitativnom pogledu;
- alocirati zahteve po tehničkim sredstvima, agregatima, sklopovima, podsklopovima, modulima i delovima;
- prognozirati kvantitativne vrednosti po osnovnim agregatima, sklopovima, podsklopovima i modulima;
- „ugraditi“ zadate vrednosti po agregatima, sklopovima i podsklopovima;
- proračunati vrednosti logističke podrške za ceo životni vek;

– ispitati realizovane vrednosti logističke podrške;

– verifikovati ispitivanjem dobijene vrednosti logističke podrške ili ih verifikovati na završnim ispitivanjima;

– realizovati aktivnosti praćenja logističke podrške pri upotrebi i održavanju;

– korigovati elemente logističke podrške koji su nastali kao rezultat praćenja u praksi;

– modifikovati tehnički sistem u pogledu prilagođavanja tehničkog sredstva novim logističkim mogućnostima.

U toku realizacije navedenih aktivnosti preporučuje se i primena sledećih standarda, propisa i preporuka:

– JUS A.A2.005/85 – *Pouzdanost* (Osnovni termini i definicije),

– JUS IEC 300/92 – *Upravljanje pouzdanošću i pogodnošću za održavanje*,

-
- * 1. – Predmet, naziv i sastav tehničkog sistema ili sredstava
 - 2. – Kompatibilnost sa sredstvima ili sistemima sa kojima treba da radi
 - 3. – Tehničko-eksploatacione karakteristike
 - 4. – Broj, stručnost i psiho-fizičke osobine posluge, vozača i rukovalaca
 - 5. – Klimamehanički uslovi eksploatacije i održavanja
 - 6. – Bezbednost pri rukovanju i održavanju
 - 7. – Zakonski i drugi propisi
 - 8. – Eksploatacione potrebe u toku veka trajanja
 - 9. – Zaštita u incidentnim situacijama
 - 10. – Zaštita od elektronskih i drugih dejstava
 - 11. – Sprečavanje sopstvenih neželjenih zračenja
 - 12. – Napajanje tehničkih sistema i sredstava električnom energijom
 - 13. – Obezbeđenje potrebne operative gotovosti odnosno raspoloživosti ili spremnosti
 - 14. – Obezbeđenje standardizacije, tipizacije i unifikacije
 - 15. – Obezbeđenje pouzdanosti
 - 16. – Obezbeđenje pogodnosti za rukovanje i održavanje
 - 17. – Obezbeđenje uslova u pogledu logistike održavanja (preventivno i korektivno održavanje u celokupnom veku trajanja)
 - 18. – Obezbeđenje zaštite na radu pri radu sa tehničkim sistemom ili sredstvom
 - 19. – Obezbeđenje uslova za transport i eventualno skladištenje
 - 20. – Obezbeđenje konstrukcione i tehnološke dokumentacije, dokumentacije kvaliteta i tehničke dokumentacije za rukovanje i održavanje
 - 21. – Obezbeđenje kadra za proizvodnju, rukovanje i održavanje
 - 22. – Obezbeđenje sistema rezervnim delovima u veku trajanja
 - 23. – Obezbeđenje opreme za održavanje i ispitne opreme
 - 24. – Obezbeđenje individualnog i grupnog kompleta alata, pribora i rezervnih delova

– JUS IEC 605–3–1/92 – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Preporučeni uslovi ispitivanja za prenosne uređaje koji se koriste u zatvorenim prostorijama – nizak stepen simulacije),

– JUS IEC 605–3–2/92 – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Preporučeni uslovi ispitivanja uređaja za stacionarnu upotrebu koji se koriste u zatvorenim prostorijama),

– JUS IEC 605–4 (u pripremi) – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Postupci za određivanje tačkastih ocena i granica poverenja na osnovu ispitivanja pouzdanosti uređaja),

– JUS IEC 605–5/92 – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Planovi provere ispunjenja zahteva za uspešnost – ili relativnu uspešnost),

– JUS IEC 605–6 (u pripremi) – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Provera valjanosti pretpostavke o konstantnom intenzitetu otkaza),

– JUS IEC 605–7 (u pripremi) – *Ispitivanje pouzdanosti uređaja* (Provera zahteva za intenzitet otkaza i srednje vreme između otkaza u slučaju važenja pretpostavke o konstantnom intenzitetu otkaza),

– JUS IEC 50 (191) (u pripremi) – *Pouzdanost, pogodnost za održavanje i kvalitet usluge* (Osnovni termini i definicije),

– SNO 0477/83 – *Elementi koji se razmatraju prilikom ugovaranja sredstava i sistema naoružanja i vojne opreme*,

– SNO 0588/81 – *Rešenje o usvajanju i uvođenju sredstva NVO u naoružanje i opremu OS SFRJ* (Oblik i sadržaj),

– SNO 1096/85 – *Taktičko-tehnički zahtevi za razvoj tehničkih materijalnih sredstava*,

– SNO 4077/89 – *Elektromagnetska kompatibilnost*,

– SNO 4265/84 – *Pouzdanost* (Provera zahteva za srednje vreme između otkaza u slučaju eksponencijalne raspodele),

– SNO 5619/86 – *Trajnost* (Provera ispunjenja zahteva za radni vek i procena veka proizvoda),

– SNO 5706/84 – *Ispitivanje uticaja okoline na elektronske i elektromehaničke uređaje i pribor za potrebe KoV-a*,

– SNO 8348 (u pripremi) – *Određivanje troškova veka sredstava NVO*,

– ISO 9000-SNO 9000/90 – *Opšti zahtevi za sistem kvaliteta isporučioca naoružanja i vojne opreme*,

– 409 – *Uputstvo za uključivanje odredbi u pogledu pouzdanosti u zahteve za komponente (ili delove) elektronskih uređaja*,

– 706 – *Uputstvo za obezbeđenje pogodnosti za održavanje* (Deo 1: Uvod u pogodnost za održavanje; Deo 2: Odredbe u pogledu pogodnosti za održavanje u zahtevima i ugovorima; Deo 3: Program obezbeđenja pogodnosti za održavanje; Deo 4: Projektovanje pogodnosti za održavanje; Deo 5: Provera pogodnosti za održavanje; Deo 6: Prikupljanje, analiza i predstavljanje podataka koji se odnose na pogodnost za održavanje; Deo 7: Planiranje održavanja i podrške održavanju),

– 863 – *Prikazivanje procena pouzdanosti, pogodnosti za održavanje i raspoloživost*,

– Dodatak IEC preporuci 300 – *Upravljanje pouzdanošću i pogodnošću za održavanje softvera*,

– IEC (CO) – *Smernice za propisanu reviziju projekta*,

– MIL-HDBK-217E – *Procena pouzdanosti elektronskih uređaja*,

– MIL-STD-470 i MIL-STD-470A – *Pogodnost za održavanje sistema i uređaja (zahtevi, verifikacija, ocena) itd.*

Međutim, ostaje problem konkretizacije postupka ugradnje logističke podrške po fazama životnog veka, što podrazumeva izbor odgovarajućih (primerenih) aktivnosti, vreme ugradnje, dubinu zahvata, potrebne resurse, itd. Cilj ovog rada je da se preciziraju aktivnosti na ugradnji logističke podrške u toku životnog veka tehničkih sistema.

U vidu tabelarnog pregleda aktivnosti, za sve faze veka tehničkog sistema ili sredstva, dato je rešenje čijom se realizacijom postižu traženi efekti. Na taj način dovedene su u vezu faze životnog veka tehničkog sistema sa odgovarajućim aktivnostima ugradnje logističke podrške, njihovim sadržajem, vremenom ugradnje, dubinom zahvata, nosiocima i potrebnim resursima.

Sve nabrojane aktivnosti (u tabelama) u pogledu obaveznosti primene svrstane su u tri kategorije:

- A – obavezna primena;
- B – treba primeniti (odustajanje od aktivnosti označene sa B mora biti regulisano međusobnim ugovorom naručioca i izvođača ili njegovom dopunom);
- C – poželjno je da se primeni (odluku o odustajanju od aktivnosti označene sa C može doneti i sam izvođač, ali sa njom, ipak, mora blagovremeno upoznati naručioca).

Aktivnosti koje se realizuju u okviru izrade tehničke studije projekta tehničkog sistema, nosioci njihove realizacije i obaveznost primene, navedeni su u tabeli 1.

Aktivnosti koje se realizuju u okviru izrade prethodne analize – (PA), nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene, navedeni su u tabeli 2.

Aktivnosti koje se realizuju u toku ugovaranja izrade programa realizacije (PR), nosioci njihove realizacije i obaveznost primene, navedeni su u tabeli 3.

Aktivnosti koje se realizuju u okviru izrade programa realizacije, nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene navedeni su u tabeli 4.

Aktivnosti koje se realizuju u toku ugovaranja projektovanja i razvoja, nosioci njihove realizacije i obaveznost primene, navedeni su u tabeli 5.

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade idejnog projekta ili pretprojekta, nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene, navedeni su u tabeli 6. Idejni projekat ili pretprojekat obavezno se radi za sisteme i podsisteme tehničkog sistema, a po mogućnosti i za složena tehnička sredstva.

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade detaljnog projekta

Detaljni projekt je početna etapa prototipskog razvoja. Ona obuhvata pronalaženje optimalnog, detaljnog rešenja, a zatim i razradu konstrukcione dokumentacije (u daljem tekstu: KD) na osnovu koje se (prema očekivanju) može fizički materijalizovati tehničko sredstvo ili sistem koji u potpunosti zadovoljava sve postavljene TEZ i ostale ugovorom propisane zahteve kupca.

Detaljni projekat se obavezno radi za svako pojedinačno tehničko sredstvo bez obzira na to da li se ono koristi samostalno ili u sastavu složenog sredstva, podsistema ili tehničkog sistema. Izuzetno od toga se, u slučaju veoma kompleksnih složenih tehničkih sredstava i sistema, može, pored detaljnih projekata pojedinačnih sredstava (koja ulaze u njegov sastav) raditi i detaljni projekat sistema, odnosno složenog tehničkog sredstva.

U toku izrade detaljnog projekta tehničkog sistema i sredstva, po pravilu, realizuju se aktivnosti navedene u tabe-

li 7, u kojoj su prikazani i nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene.

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade funkcionalnog modela ili probnog komada

U slučaju prototipskog razvoja tehničkih sistema ili složenih sredstava, etapi konačne materijalizacije prototipa (u daljem tekstu: PT) može prethoditi etapa materijalizacije funkcionalnog modela. Funkcionalni model je materijalizovana verzija razvijenog sredstva koja zadovoljava zahteve normalnog funkcionisanja, ali ne zadovoljava neke, u posmatranom trenutku, manje bitne zahteve (npr. zadovoljeni su svi zahtevi za normalne uslove upotrebe, ali ne i neki od zahteva za ekstremno nepovoljne uslove ili način upotrebe; ili, model je izrađen od delova, odnosno sklopova nabavljenih na tržištu ili proizvedenih pomoću mašina opšte namene, dok će se u prototip ugraditi namenski projektovani i proizvedeni sastavni delovi (s/d) optimalno prilagođeni zadovoljenju nekog od postavljenih zahteva – npr. delovi ugrađeni u prototip biće: manji ili lakši, pouzdaniji, sposobniji da izdrže veće varijacije temperature, postojaniji u pogledu postepene promene fizičko-hemijskih karakteristika, brži u pogledu reagovanja, čvršći, itd.).

Probni komad načelno predstavlja prvo približavanje rešenju tehničkog sredstva. Pored toga, može biti jedan od rezultata primenjenih istraživanja. Izrađuje se, po pravilu, u više varijanti radi ispitivanja kvaliteta ugrađenih materijala ili funkcije sklopova i celine.

U toku izrade funkcionalnog modela ili probnog komada, kojoj je prethodila faza izrade detaljnog projekta, po pravilu se realizuju zadaci navedeni u tabeli 8, u

kojoj su prikazani i nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene. Međutim, ako pre početka rada na funkcionalnom modelu nije postojao detaljan projekt, tada se i ovo projektovanje realizuje u toku izrade funkcionalnog modela ili probnog komada. U tom slučaju se iza zadatka 1 iz tabele 8 nastavlja sa realizacijom zadatka 2 do 23 iz tabele 7, a zatim nastavlja sa zadacima od 2 do 11 iz tabele 8.

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade prototipa (PT) ili prototipske partije (PP)

Materijalizacija PT ili PP zadnja je etapa prototipskog razvoja, i u njoj se fizički ostvaruju konstrukciona rešenja detaljnog projekta, i objektivno proverava da li će ona zadovoljiti sve postavljene TEZ. Pored toga, proverava se kvalitet svih ugrađenih s/d i materijala, razrađuju se, a po mogućnosti i upotpunjavaju elementi koji obezbeđuju namensku i autonomnu funkciju tehničkog sredstva ili sistema (izvori energije, individualni komplet rezervnih delova, alata i pribora, ambalaža za transport i čuvanje), daju zahtevi za specijalnu remontnu opremu za nivo tehničkog održavanja i nastavna sredstva, kao i nacrti uputstava za rukovanje i tehničko održavanje.

U toku izrade PT ili PP, kojoj je prethodila izrada detaljnog projekta, realizuju se aktivnosti navedene u tabeli 9. Međutim, ako se PT ne radi po razrađenom i usvojenom detaljnom projektu, onda izrada ovog projekta mora biti integrisana sa izradom PT. U tom slučaju, u okviru izrade PT realizuju se sve aktivnosti navedene u tabelama 7 i 9. Na kraju, ako je pre početka izrade PT prvo izrađen

i proveren funkcionalni model, ili probni komad, tada se u okviru izrade PT, odnosno PP, ne realizuju zadaci koji su u tabeli 9 označeni sa „*“.

Aktivnosti koje se realizuju u toku ugovaranja osvajanja proizvodnje i serijske proizvodnje, nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene navedeni su u tabeli 10.

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade „0“ serije, nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene navedeni su u tabeli 11. U toj tabeli nisu prikazani najvažniji zadaci izrade nulte serije (npr. izrada i nabavka proizvodnih alata, proizvodnja sredstava i drugo) zato što nisu kritični sa stanovišta logističke podrške.

Aktivnosti koje se realizuju u toku serijske proizvodnje, nosioci njihove realizacije, saradnici i obaveznost primene navedeni su u tabeli 12.

U tabeli 12 nisu navedeni najvažniji zadaci serijske proizvodnje (npr. proizvodnja samih tehničkih sredstava) zbog toga što oni nisu kritični sa stanovišta logističke podrške.

Aktivnosti koje se realizuju radi obezbeđenja ugradnje tehničkog sredstva u složeno sredstvo ili sistem, odnosno ugradnje tehničkog sistema u objekat

Ako je, na osnovu ukazane potrebe, neophodno da se neko od tehničkih sredstava ugradi u određeno složeno sredstvo ili sistem ili ako je doneta odluka da se neki tehnički sistem ili postrojenje ugradi u određeni specifični objekat, tada se, u okviru rešenja ugradnje, obično realizuju zadaci navedeni u tabeli 13. U ovoj tabeli definisani su i nosioci realizacije, saradnici i obaveznost primene.

Aktivnosti koje se realizuju u toku eksploatacije i održavanja

Obaveze nosioca razvoja i proizvođača tehničkih sistema i sredstava ne završavaju se sa prestankom razvoja ili proizvodnje ovih sredstava. One se produžuju i na period eksploatacije kada se, po pravilu, izvršavaju zadaci navedeni u tabeli 14. U ovoj tabeli definisani su i nosioci realizacije, saradnici i obaveznost primene.

Zaključak

Za realizaciju zadataka logističke podrške tehničkih sistema u toku njihovog životnog veka potrebna je odgovarajuća metodologija sistemskog pristupa. Metodologija opisana u ovom radu je opšteg karaktera, a za svaki projekat se posebno razmatra i konkretizuje. Ovaj pristup može se primeniti i pri nabavci tehničkih sistema i sredstava koja se kupuju kao gotovi proizvodi na tržištu, radi sagledavanja stepena realizacije logističke podrške. Naravno, u tom slučaju postupak je prilagođen takvoj situaciji.

Treba uočiti da kupcu i direktnom korisniku ovakva metodologija (postupak) pomaže da jasnije i preciznije odrede zahteve u pogledu logističke podrške, predvide aktivnosti kojima će se obezbediti ugradnja ovih zahteva i mogućnost pravovremene kontrole realizacije aktivnosti i zadataka.

Proizvođačima ova metodologija omogućava da bolje shvate zahteve za ostvarenje i proveru propisanih karakteristika logističke podrške, sugeriše ili preporučuje put njihove ugradnje i olakšava određivanje realne cene, odnosno, ekonomske podrške projekta u celini.

Aktivnosti koje se realizuju u okviru tehničke studije projekta

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Definisanje najbitnijih tehničko-eksploatacionih zahteva (u daljem tekstu: TEZ) i kriterijuma eksploatacije u veku trajanja tehničkog sistema	Razvojni organ kupca	Razvojni organ proizvođača	A
2.	Propisivanje posebnih zahteva u pogledu smeštaja i održavanja	„	„	A

Tabela 2

Aktivnosti koje se realizuju u okviru prethodne analize

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Definisanje opisa tehničkog sistema i organizacijskih rešenja u vezi s njegovom primenom	Razvojni organ kupca	–	A
2.	Određivanje modela (koncepta) eksploatacije i osnovnog održavanja	„	Razvojni organ proizvođača	A
3.	Utvrdjivanje potreba i mogućnosti ugradnje i čuvanja	„	„	B
4.	Predlaganje početnog koncepta održavanja	Razvojni organ proizvođača	–	A
5.	Određivanje klimatskih i mehaničkih uslova održavanja	„	Razvojni organ kupca	C
6.	Definisanje parametara logističke podrške u okviru početnih TEZ	Razvojni organ proizvođača i kupca	–	A
7.	Analiza mogućnosti obezbeđenja kadra za rukovanje i održavanje	„	–	A
8.	Propisivanje klimatskih i mehaničkih uslova eksploatacije	Razvojni organ kupca	–	B
9.	Utvrdjivanje problematike logističke podrške koja mora biti rešena u okviru programa realizacije (u daljem tekstu: PR)	Razvojni organ proizvođača	–	A

Tabela 3

Aktivnosti koje se realizuju u okviru ugovaranja izrade programa realizacije

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Analiza PA, a posebno zahteva početnih TEZ po logističkoj podršci	Planirani nosilac izrade PR	–	A
2.	Definisanje ponude za izradu PR	Planirani nosilac izrade PR	–	A

Aktivnosti koje se realizuju u okviru izrade programa realizacije

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Određivanje detaljnije razrađenog predloga sastava tehničkog sistema i organizacijskih rešenja njegovog korišćenja	Nosilac izrade PR	Razvojni organ kupca	A
2.	Utvrđivanje modela (koncepta) eksploatacije u životnom veku tehničkog sistema	Nosilac izrade PR	„	A
3.	Analiza mogućnosti obezbeđenja kadra za eksploataciju i održavanje	Nosilac izrade PR	Razvojni organi kupca i proizvođača	B
4.	Analiza mogućnosti uklapanja u postojeću podršku u održavanju u konkretnom poslovnom sistemu	Nosilac izrade PR	Razvojni organi proizvođača	A
5.	Utvrđivanje konačnog koncepta održavanja u veku trajanja tehničkog sistema	Nosilac izrade PR	„	A
6.	Prethodna procena i optimizacija očekivanih troškova životnog veka (radi eventualne korekcije koncepta održavanja i zahteva po logističkoj podršci)	Nosilac izrade PR	(1)	A
7.	Određivanje konačnih TEZ po logističkoj podršci	Nosilac izrade PR	Razvojni organi proizvođača i kupca	A
8.	Definisanje principa projektovanja i provere projektnih rešenja – sa stanovišta logističke podrške	Nosilac izrade PR	Razvojni organi proizvođača	B
9.	Definisanje principa proizvodnje	Nosilac izrade PR	Potencijalni proizvođač i kontrola kvaliteta	C
10.	Utvrđivanje potreba za ispitivanjima u realnim uslovima upotrebe	Nosilac izrade PR	Razvojni organi proizvođača i kupca	B
11.	Propisivanje zahteva u vezi konstrukcione, tehnološke i tehničke dokumentacije za održavanje	Nosilac izrade PR	Razvojni organi potencijalnog proizvođača	A
12.	Procene potreba za obuku kadra u vezi proizvodnje i održavanja	Nosilac izrade PR	Razvojni organi kupca i proizvođača	C
13.	Određivanje neophodnih kontrolnih aktivnosti kupca	Nosilac izrade PR	Razvojni organi proizvođača	B
14.	Predlaganje plana zadataka za obezbeđenje logističke podrške u toku projektovanja i razvoja	Nosilac izrade PR	„	A

(1) – Institucija osposobljena za procenu ili proračun troškova životnog veka proizvoda

Aktivnosti koje se realizuju u toku ugovaranja projektovanja i razvoja

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Analiza PR (a posebno zahteva po logističkoj podršci i plana zadataka za obezbeđenje te podrške) sa procenom njihove realnosti i mogućnosti ispunjenja	Potencijalni izvođač	–	A
2.	Izrada ponude za projektovanje i razvoj	Potencijalni izvođač	–	A
3.	Procena troškova životnog veka prethodno sagledanog konstrukcionog rešenja	Potencijalni izvođač	–	B
4.	Analiza ponuda i procena troškova životnog veka	(2) + (1)	–	A
5.	Razjašnjavanje i usaglašavanje nedorečenih ili suprotnih gledišta kupca i potencijalnih izvođača	Stručna komisija kupca	–	B
6.	Dopunjavanje ili izmena ponude ili procene troškova veka	Potencijalni izvođač	–	A
7.	Sklapanje ugovora za projektovanje i razvoj	Komercijala kupca i prodavca	–	B

(1) – Institucija osposobljena za procenu i proračun troškova životnog veka tehničkog sistema

(2) – Stručna komisija kupca

Tabela 6

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade idejnog projekta ili pretprojekta

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Sagledavanje obaveza rukovodećih struktura i određivanje neposredno odgovornih za realizaciju programa logističke podrške	Upravna struktura izvođača idejnog projekta	–	A
2.	Razmatranje tehničkih i tehnoloških rešenja postojećih tehničkih sistema koji obavljaju istu ili sličnu funkciju	Rukovodilac idejnog projekta	–	B
3.	Definisanje projektne zamisli	Rukovodilac idejnog projekta	–	A
4.	Izrada funkcionalne blok-šeme sistema ili složenog tehničkog sredstva sa predlaganjem kriterijuma za ocenu uslova otkaza sistema	Projektantski tim	–	A
5.	Raščlanjivanje TEZ za tehnički sistem na zahteve koje treba da ispune pojedinačna sredstva (podsistemi) ovog sistema	Projektantski tim	–	A
6.	Definisanje dopunskih zahteva kojima se obezbeđuje međusobna usklađenost i neometanje rada uzajamno spregnutih tehničkih sredstava i agregata (podsistema)	Projektantski tim	–	A

1	2	3	4	5
7.	Definisanje pojedinačnih projektnih zadataka za svako sredstvo ili agregat projektovanog tehničkog sistema, odnosno projektnih zadataka za izradu softvera	Rukovodilac idejnog projekta	–	A
8.	Procena da li je operativno, tehnički i ekonomski opravdano da se pojedine funkcije tehničkog sistema reše putem nabavke ili kopiranja rešenja već gotovih tehničkih sredstava ili agregata, odnosno softverskih proizvoda, ili putem projektovanja u drugim specijalizovanim projektantskim organizacijama	Projektantski tim	–	B
9.	Zaključivanje ugovora sa drugim projektantskim organizacijama (eventualno)	Rukovodilac idejnog projekta	Ekonomski sektor izvođača idejnog projekta	C
10.	Proučavanje projektnih zadataka od strane projekatana ili projektantskih grupa	Idejni projektant određenog sredstva	–	A
11.	Revizija projektne zamisli i zadataka za idejno projektovanje pojedinačnih sredstava, agregata i softvera razvijenog tehničkog sistema ili složenog sredstva	Predsednik komisije za reviziju projektne zamisli i zadataka	–	A
12.	Idejno projektovanje pojedinačnih tehničkih sredstava i agregata i neophodnog softvera	Idejni projektant određenog sredstva	–	A
13.	Integracija projekata pojedinačnih sredstava u projekat tehničkog sistema sa usklađivanjem međusobno oprečnih rešenja iz idejnih projekata (odnosno pretprojekata) pojedinačnih sredstava	Rukovodilac idejnog projekta	Projektanti pojedinačnih sredstava	A
14.	Izrada matematičkih modela funkcionisanja tehničkog sistema sa simulacijom kako će ovaj sistem u različitim ekstremno nepovoljnim uslovima upotrebe izvršavati svoj zadatak	Stručnjaci osposobljeni za izradu matematičkih modela i simulaciju	Idejni projektanti sistema	C
15.	Procena troškova životnog veka predviđene varijante idejnog rešenja	Projektantski tim	(1)	B
16.	Procena da li će se idejnim projektom (odnosno pretprojektom) predloženi tehnički sistem i njegova sredstva uklopiti u propisani koncept održavanja	Stručnjak odgovoran za realizaciju logističke podrške	Idejni projektanti sredstava	A
17.	Procena da li će idejnim projektom (odnosno pretprojektom) predloženih tehničkih sistema i njegovih sredstava zadovoljiti propisani TEZ u vezi s logističkom podrškom	Rukovodilac idejnog projekta	Idejni projektanti sredstava	A
18.	Upotpunjavanje ili menjanje TEZ zahteva sagledanih u toku radova na idejnom projektu	Rukovodilac idejnog projekta	–	A
19.	Prijem idejnog projekta (ili pretprojekta)	Stručna komisija kupca	–	A
20.	Usvajanje idejnog projekta (ili pretprojekta)	Odgovarajući nivo odlučivanja	–	A

(1) – Institucija osposobljena za procenu ili proračun troškova životnog veka proizvoda

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade detaljnog projekta

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Sagledavanje obaveza rukovodećih struktura i određivanje neposredno odgovornih za realizaciju pojedinih delova i integraciju programa logističke podrške	Upravna struktura izvođača projekta	–	A
2.	Razmatranje tehničkih i tehnoloških rešenja postojećih tehničkih sredstava i agregata koji obavljaju istu ili sličnu funkciju (ako to već nije učinjeno u okviru idejnog projekta)	Projektanti sredstva	–	B
3.	Definisanje projektne zamisli tehničkog sredstva (ako to već nije učinjeno u okviru idejnog projekta)	Projektanti sredstva	–	A
4.	Izrada funkcionalne blok-šeme tehničkog sredstva (ukoliko to već nije učinjeno u okviru idejnog projekta)	Projektanti sredstva	–	A
5.	Određivanje modela pouzdanosti koji odgovara predviđenom konstrukcionom rešenju i načinu eksploatacije tehničkog sredstva	Stručnjaci za pouzdanost	–	A
6.	Raščlanjivanje TEZ za tehnički sistem, sredstvo ili agregat na zahteve koje treba da ispune njegovi sklopovi ili podsklopovi (ukoliko to već nije učinjeno u okviru idejnog projekta)	Projektanti sredstva	–	A
7.	Definisanje dopunskih zahteva kojima se obezbeđuju međusobna usklađivanja i neometanje rada uzajamno spregnutih sklopova i podsklopova (ukoliko to već nije učinjeno u okviru idejnog projekta)	Projektanti sredstva	–	A
8.	Utvrđivanje pojedinačnih projekttnih zadataka za svaki sklop ili podsklop projektovanog tehničkog sredstva, odnosno deo projektovanog softverskog proizvoda	Projektanti sredstva	–	A
9.	Procena da li je operativno, tehnički i ekonomski opravdano da se umesto sopstvenog razvoja pojedinog sklopa, podsklopa ili dela softverskog proizvoda on projektuje u nekoj specijalizovanoj projektantskoj organizaciji ili nabavi kao gotov proizvod	Projektanti sredstva	–	C
10.	Zaključivanje ugovora sa drugim projektantskim organizacijama	Projektanti sredstva	Ekonomski sektor izvođača projekta	C
11.	Proučavanje zadataka od strane projekatanata	Projektanti sklopova, podsklopova i softvera	–	A
12.	Revizija projektne zamisli i zadataka za detaljno projektovanje pojedinačnih sklopova razmatranog tehničkog sredstva	Predsednik komisije za reviziju projektne zamisli i zadataka	–	A
13.	Hardversko i softversko projektovanje sklopova i podsklopova	Projektanti sklopova, podsklopova i softvera	–	A

1	2	3	4	5
14.	Integracija projekata pojedinačnih sklopova i podsklopova u projekat tehničkog sistema ili agregata, sa usklađivanjem eventualno oprečnih zahteva iz projekta ovih sklopova	Projektanti sredstva	Projektanti sklopova, podsklopova i softvera	A
15.	Izrada matematičkog modela funkcionisanja sa simulacijom funkcije sredstava u ekstremno nepovoljnim uslovima upotrebe	Stručnjaci osposobljeni za izradu matematičkih modela i simulaciju	Projektant sredstva	C
16.	Procena da li će se projektovano sredstvo, odnosno agregat, uklopiti u predviđeni koncept održavanja	Stručnjak odgovoran za realizaciju logističke podrške	Projektanti sredstva	A
17.	Procena da li će projektovano sredstvo, odnosno agregat, zadovoljiti sve postavljene zahteve u vezi s logističkom podrškom	Projektanti sredstva	Projektanti sklopova, podsklopova i softvera	A
18.	Procena troškova životnog veka razrađene projektne varijante sa predlogom njihove optimizacije	Projektanti sklopova, podsklopova, i softvera	(1)	A
19.	Izrada neophodne KD, a eventualno i tehnološke dokumentacije (u daljem tekstu: ThD)	Projektanti	–	A
20.	Izrada prednacrt propisa o kvalitetu proizvoda (PKP) za razvoj prototipa sredstva, odnosno agregata	Projektanti sredstva	Stručnjaci odgovorni za realizaciju logističke podrške	A
21.	Izrada zahteva za nabavku i ispitivanje sklopova, podsklopova, delova softverskih proizvoda i nestandardnih s/d koji se kupuju od drugih isporučilaca	Projektanti	–	B
22.	Prijem detaljnog projekta	Stručna komisija kupca ili projektanta	–	A
23.	Usvajanje detaljnog projekta	Odgovarajući nivo odlučivanja	–	–

(1) – Institucija osposobljena za procenu ili proračun troškova životnog veka proizvoda.

Tabela 8

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade funkcionalnog modela ili probnog komada

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Određivanje neposredno odgovornih za realizaciju pojedinih delova i integraciju programa logističke podrške	Upravna struktura nosioca razvoja	–	A
2.	Nabavka sklopova, podsklopova i nestandardnih s/d ili delova softverskih proizvoda koji se kupuju od drugih isporučilaca	Nabavni organi nosioca razvoja	Služba obezbeđenja kvaliteta nosioca razvoja proizvođača i kupca	C
3.	Materijalizacija i provera funkcionisanja svih podsklopova i sklopova tehničkih sistema ili sredstva	(3)	–	A

1	2	3	4	5
4.	Proračun – procena pouzdanosti	Specijalisti za proračun pouzdanosti	–	B
5.	Provera mogućnosti jednostavnog podešavanja i defektacije svih podsklopova i sklopova	(3)	–	A
6.	Integracija funkcionalnog modela ili probnog komada	(4)	–	A
7.	Provera stabilnosti sirovina, repromaterijala i s/d čije karakteristike degradiraju u toku vremena	(5)	–	A
8.	Interna provera zadovoljenja prednacrtu PKP	(5)	(4)	A
9.	Razmatranje potrebe da se za eksploataciju i održavanje projektovanog tehničkog sredstva razviju specijalna remontna oprema, nastavna sredstva i individualni i grupni kompleti rezervnih delova (u daljem tekstu: r/d, alata i pribora)	(6)	Odgovarajući projektanti	B
10.	Formulisane plana zadataka kojima se obezbeđuje ugradnja svih zahteva prednacrtu PKP koje još uvek ne zadovoljava funkcionalni model, a mora zadovoljiti PT	(7)	–	A
11.	Prijem i usvajanje funkcionalnog modela sa donošenjem predloga za dalji rad	(8)	–	A

gde je:
 (3) – Stručnjaci zaduženi za izradu (materijalizaciju) sklopova i podsklopova
 (4) – Stručnjaci zaduženi za integraciju funkcionalnog modela, probnog komada ili PT
 (5) – Ispitna laboratorija nosioca razvoja ili osposobljena ispitna laboratorija
 (6) – Stručnjak zadužen za obezbeđenje pogodnosti za održavanje i stručnjaci za obezbeđenje obuke
 (7) – Koordinator zadataka na izradi funkcionalnog modela, probnog komada ili PT
 (8) – Komisija nosioca razvoja koja obavlja prijem i usvajanje funkcionalnog modela (ili probnog komada)

Tabela 9

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade prototipa (PT) ili prototipske partije (PP)

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Određivanje neposredno odgovornih za realizaciju pojedinih delova i integraciju programa logističke podrške	Upravna struktura nosioca razvoja	–	A
2.	Nabavka sklopova, nestandardnih s/d ili delova softverskih proizvoda koji se kupuju od drugih proizvođača	Nabavni organi nosioca razvoja	Služba obezbeđenja kvaliteta nosioca razvoja	C
3.	Materijalizacija i provera funkcionisanja svih podsklopova i sklopova tehničkog sredstva	(3)	–	A
4.	Proračun – procena pouzdanosti*	Stručnjaci za proračun pouzdanosti	–	A
5.	Provera mogućnosti jednostavnog podešavanja i defektacije svih podsklopova i sklopova	(3)	–	A
6.	Integracija PT	(5)	(4)	A
7.	Provera stabilnosti sirovina, repromaterijala i s/d čije karakteristike degradiraju u toku vremena*	(5)	–	A

1	2	3	4	5
8.	Interna provera zadovoljenja prednacrtu PKP	(4)	–	A
9.	Projektovanje i realizacija dorada kojima se poboljšavaju nezadovoljavajući rezultati interne provere PT	(3) i (4)	–	B
10.	Razmatranje potrebe da se za eksploataciju i održavanje projektovanog tehničkog sredstva razviju specijalna remontna oprema, objekti infrastrukture, nastavna sredstva i individualni i grupni kompleti r/d, alata ili pribora	(6)	(3) i (4)	B
11.	Projektovanje, izrada i provera elemenata neophodne podrške u održavanju (ambalaže, individualnog kompleta r/d, alata i pribora, a eventualno, i sredstava i postupaka za eventualnu konzervaciju)	(3)	–	A
12.	Izrada kompletne KD, najneophodnije ThD i privremenog Uputstva za rukovanje, osnovno i tehničko održavanje	Stručnjaci zaduženi za izradu navedene dokumentacije	(3) i (4)	A
13.	Obuka kadra predviđenog za proveravanje eksploatacije i tehničkog održavanja	Stručnjaci koje je odredio nosilac razvoja	–	B
14.	Završna ispitivanja PT	Nadležni kontrolni tehnički centar	Razvojni organi proizvođača i kupca	A
15.	Prijem i usvajanje PT sa donošenjem predloga za dalji rad	Odgovarajući nivo odlučivanja kupca	–	A

(3) – Stručnjaci zaduženi za izradu (materijalizaciju) sklopova i podsklopova

(4) – Stručnjaci zaduženi za integraciju funkcionalnog modela, probnog komada ili PT

(5) – Ispitna laboratorija nosioca razvoja ili osposobljena ispitna laboratorija

(6) – Stručnjak zadužen za obezbeđenje pogodnosti za održavanje i stručnjaci za obezbeđenje obuke

* – Zadaci koji se ne realizuju u slučaju da je materijalizaciji PT prethodila izrada funkcionalnog modela ili probnog komada

Tabela 10

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade funkcionalnog modela ili probnog komada

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Izrada nacrtu PKP	Nosilac razvoja	(9)	A
2.	Izrada ponude za osvajanje proizvodnje (izradu „0“ serije) i serijsku proizvodnju sa predlogom programa logističke podrške, a kojim treba garantovati zadovoljenje postavljenih zahteva	Potencijalni proizvođač	–	A
3.	Zaključivanje ugovora za osvajanje proizvodnje (izradu „0“ serije) i serijsku proizvodnju tehničkog sredstva ili sistema	Komercijala kupca i proizvođača	–	A

(9) – Radna grupa predstavnika zainteresovanih ustanova i proizvođača koju saziva nosilac razvoja i nadležni organ za standardizaciju

Aktivnosti koje se realizuju u toku izrade nulte serije

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Sagledavanje obaveza rukovodećih struktura i određivanje neposredno odgovornih za realizaciju programa logističke podrške	Upravna struktura proizvođača	–	A
2.	Dopunjavanje KD i izrada ThD	(10)	–	A
3.	Aktivnosti službe obezbeđenja kvaliteta	Služba obezbeđenja kvaliteta	–	A
4.	Izrada PT specijalne remontne opreme i nastavnih sredstava	Proizvodnja odeljenja proizvođača	–	A
5.	Izrada konačne verzije Pravila za rukovanje i osnovno održavanje, nacрта Uputstva za tehničko održavanje, nacрта Uputstva za srednji remont i nacрта Imenika s/d	Stručnjaci zaduženi za izradu navedene dokumentacije	–	A
6.	Davanje podataka za izradu normativa rezervnih delova	Razvojni tim proizvođača	–	B
7.	Propisivanje postupaka ispitivanja stabilnosti tehničkog sredstva i sklopova čije karakteristike degradiraju u toku vremena	Razvojni tim proizvođača	Služba obezbeđenja kvaliteta	A
8.	Obuka kadra za rukovanje, tehničko održavanje, a, eventualno, i srednji remont	Odabrani stručnjaci proizvođača	Odabrani stručnjaci drugih isporučilaca	A
9.	Interna provera pouzdanosti, trajnosti, pogodnosti za održavanje i troškova životnog veka	Služba obezbeđenja kvaliteta	Kadar remontnih jedinica i ustanova	A
10.	Nabavka rezervnih delova potrebnih za održavanje „0“ serije	Komercijala kupca	Razvojni organ kupca i proizvođača	B
11.	Priprema kadra za održavanje u toku garantnog roka	Servisna služba	–	B
12.	Razvoj sistema za prikupljanje podataka o otkazima	Služba obezbeđenja kvaliteta	Tehnička služba kupca	A
13.	Organizacija i izvođenje završnih ispitivanja i prijema	Opitni centar (u daljem tekstu: OC)	Proizvođač i tehnička služba kupca	A
14.	Prijem a eventualno i usvajanje „0“ serije (ako to nije učinjeno već pri prijemu PT)	Nadležni nivo odlučivanja	–	A

(10) – Stručnjaci zaduženi za razradu tehnoloških uslova proizvodnje

Tabela 12

Aktivnosti koje se realizuju u toku serijske proizvodnje

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Aktivnosti proizvodne službe obezbeđenja kvaliteta	Služba obezbeđenja kvaliteta	–	A
2.	Proizvodnja specijalne remontne opreme, grupnih kompleta r/d, alata i pribora i nastavnih sredstava	Proizvodna odeljenja	Stručnjaci za izradu uputstava	A

1	2	3	4	5
3.	Izrada konačne verzije Uputstva za tehničko održavanje, Uputstva za srednji remont, kao i Imenika s/d	Stručnjaci zaduženi za izradu ove dokumentacije	–	A
4.	Obuka kadra za tehničko održavanje i srednji remont	Stručnjaci zaduženi za obuku	Stručnjaci drugih isporučilaca	A
5.	Održavanje u toku garantnog roka	Servisna služba proizvođača	Tehnička služba kupca	A
6.	Obezbeđenje r/d	Komercijala kupca	Prodajna služba proizvođača	B
7.	Praćenje ponašanja sredstava u toku početne eksploatacije	Služba za marketing proizvođača	Nosilac razvoja	B
8.	Rekonstrukcija sklopova, pribora i delova softvera koji nisu zadovoljili zahteve u pogledu eksploatacije, pouzdanosti i (ili) pogodnosti za održavanje	Razvojna služba proizvođača	Nosilac razvoja kupca	B
9.	Izrada nacrtu tehničke, remontne dokumentacije za generalni remont tehničkog sistema ili sredstva (ili davanje podataka za izradu ove TRD)	Razvojna služba proizvođača	–	B
10.	Prijem serijske proizvodnje	Služba obezbeđenja kvaliteta proizvođača i kupca	Marketing prodavca	A

Tabela 13

Aktivnosti koje se realizuju radi obezbeđenja ugradnje tehničkog sredstva u složeno sredstvo ili sistem, odnosno ugradnje tehničkog sistema u objekat

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Upoznavanje sa karakteristikama složenog tehničkog sredstva (ili objekta) u koje treba ugraditi razmatrano tehničko sredstvo (ili sistem), kao i klima-mehaničkim uslovima koji postoje u tom složenom sredstvu (ili objektu)	Projektna organizacija koja rešava problem ugradnje	–	A
2.	Projektovanje i izrada dopunskih uslova, pribora i drugih elemenata koji omogućuju ugradnju tehničkog sredstva u složeno sredstvo ili sistema u objekt	Projektna organizacija koja rešava problem ugradnje	–	A
3.	Projektovanje i realizacija izmena na složenom sredstvu (ili objektu) koje omogućavaju planiranu ugradnju tehničkog sredstva (ili sistema)	Projektna organizacija koja rešava problem ugradnje	Specijalizovane projektne izvođačke organizacije	B
4.	Provera nesmetanog rada i održavanje ugrađenog tehničkog sredstva (ili sistema) u ekstremno nepovoljnim uslovima rada složenog sredstva (ili objekta)	Komisija kupca i prodavca	–	A
5.	Provera da li je ugradnja tehničkog sredstva uticala na pogoršanje uslova eksploatacije i održavanja složenog sredstva ili sistema	Komisija kupca	–	A

1	2	3	4	5
6.	Eventualna izmena koncepta održavanja ugrađenog sredstva (ili sistema NVO) ili dotadašnjeg koncepta održavanja složenog sredstva (ili objekta)	Tehnička služba kupca	–	A
7.	Utvrđivanje dopunskih potreba u pogledu obezbeđenja odgovarajuće remonte podrške ugrađenog tehničkog sredstva ili sistema	Tehnička služba kupca	Ustanova koja rešava problem ugradnje	B
8.	Donošenje rešenja o ugradnji tehničkog sredstva u složeno sredstvo ili o prijemu radova na ugradnji tehničkog sistema u objekat	Odgovarajući nivo odlučivanja kupca	–	A

Tabela 14

Aktivnosti koje se realizuju u toku eksploatacije i održavanja

Redni broj	Naziv aktivnosti	Nosilac realizacije	Sarađuje	Obaveznost primene
1	2	3	4	5
1.	Prikupljanje podataka o problemima i otkazima u eksploataciji i održavanju	Tehnička služba kupca	Služba razvoja proizvođača	A
2.	Analiza podataka o problemima i otkazima u eksploataciji i održavanju i predlaganje modifikacija	Služba razvoja proizvođača	Tehnička služba kupca	–
3.	Usavršavanje tehničkog sistema i sredstva radi poboljšanja uslova eksploatacije i održavanja	Nosilac razvoja ili/i proizvođač	–	C
4.	Ispitivanje stabilnosti i upotrebljivosti tehničkih sredstava čije karakteristike degradiraju u toku vremena	Tehnička služba kupca	Služba razvoja proizvođača	A
5.	Održavanje ili preuzimanje alata za proizvodnju s/d ili opreme za fabričko ispitivanje sklopova	Proizvođači tehničkih sredstava	Kooperanti proizvođača	B

Metodologiju treba primenjivati selektivno, zavisno od složenosti i namene tehničkog sistema ili sredstva, i tehničko-ekonomske opravdanosti pojedinih aktivnosti i zadataka. Međutim, preporuka je da, ukoliko se, iz bilo kojih razloga, ustanovi da treba odstupiti od realizacije nekih od istaknutih aktivnosti ili zadataka, to se mora međusobno usaglasiti (kupac-prodavalac-korisnik), i precizirati u okviru programa realizacije ugovora za razvoj i proizvodnju, ili bar u izveštaju neke od propisanih (međunarodnim standardima) revizija projekata.

Literatura:

- [1] MIL-STD-785; Reliability Program Plans for Systems and Equipment Development and Production
- [2] MIL-STD-470; Maintainability Program Plans
- [3] MIL-STD-472; Maintainability Predications
- [4] MIL-STD-781; Reliability Test Plans
- [5] MIL-STD-471; Maintainability Demonstration Test Plans
- [6] Kodžopeljić, J.; Usavršavanje koncepcije razvoja tehničkih sistema i sredstava – doprinos sistemu održavanja, XXI Majski skup održavalaca, Beograd, 1998.
- [7] Kodžopeljić, J.; Pogodnost za rukovanje i održavanje motor-nih vozila – parametri i njihov sadržaj, XXII Majski skup održavalaca, Banja Vrujci, 1999.
- [8] SNO 8196: Aktivnosti i zadaci ITOB-a u toku veka sredstva ili sistema NVO (predlog)

Dr Milenko Živaljević,
pukovnik, dipl. inž.
Uprava za snabdevanje SMO,
Beograd

Dr Dragana Bečejski-Vujaklija,
dipl. inž.
Institut za materijale,
Beograd

INTEGRISANI INFORMACIONI SISTEM ZA ODRŽAVANJE BORBENIH VAZDUHOPLOVA

UDC: 623.746.094-7:007.5

Rezime:

U radu su predstavljeni određeni segmenti informacionog sistema održavanja borbenih vazduhoplova, koji su neophodni za postizanje visoke efektivnosti i bezbednosti letenja. Održavanje borbenih vazduhoplova danas se u svetu organizuje primenom metodologije održavanja prema pouzdanosti, koja zahteva neprekidno praćenje i ocenjivanje dostignutog nivoa pouzdanosti tokom čitavog veka upotrebe, što je moguće ostvariti podrškom odgovarajućeg informacionog sistema.

Ključne reči: informacioni sistem, borbeni vazduhoplov, održavanje, pouzdanost.

INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR COMBAT AIRCRAFT MAINTENANCE

Summary:

This work presents specific segments of an information system for maintaining combat aircraft. The existence of an information system for combat aircraft maintenance is a prerequisite for their high quality maintenance and achieving high efficiency and flight safety. The application of the maintenance methodology according to reliability, where aircraft maintenance is included, imposes the necessity for continuous following and estimation of the achieved reliability level of combat aircraft and effective control during the whole period of usage.

Key words: information system, combat aircraft, maintenance, reliability.

Uvod

Za bezbednost letenja vrlo je značajno održavanje vazduhoplova, ali se kao poseban zahtev u vazduhoplovstvu ističe i poznavanje kompletne „istorije“ sistema, jer podaci i informacije iz prošlosti mogu uspešno da se upotrebe za anticipaciju budućnosti [1]. Relevantne i kontinualne informacije koje se dobijaju o ponašanju jednog sistema mogu odlučujuće uticati na razvoj sistema iste ili slične namene, ali poboljšanih karakteristika.

Navedena činjenica koristi se kao značajan motiv pri modifikaciji postojećih vazduhoplova, ali i pri održavanju radi njegove optimizacije.

Održavanje borbenih vazduhoplova organizuje se primenom tzv. metodologije održavanja prema pouzdanosti. Ova metodologija zahteva neprekidno praćenje i ocenjivanje dostignutog nivoa pouzdanosti borbenih vazduhoplova tokom čitavog veka njihove upotrebe, što je moguće obezbediti uz podršku odgovarajućeg informacionog sistema.

Prikupljanje, prenos, arhiviranje, obrada podataka i njihovo transformisanje u informacije, neposredan je zadatak svakog informacionog sistema.

Pri projektovanju informacionog sistema, čiji je zadatak upravljanje održavanjem, potrebno je respektovati još neke dodatne kriterijume koji odražavaju njegovu specifičnost, i to:

- koji su nivoi održavanja na kojima će se sistem koristiti;
- koje „istorijske“ podatke i informacije sistem treba da obuhvati;
- koji period treba da obuhvate „istorijski“ podaci;
- kako je standardizovan način korišćenja podataka i informacija;
- kakav je stručni i tehnički profil korisnika informacija;
- kakva je učestanost potrebe za podacima i informacijama.

Kvalitetan informacioni sistem za potrebe održavanja ima mnogo šire informacione resurse koje koristi, u odnosu na standardne informacione sisteme opšte namene.

Informacioni sistem za održavanje borbenih vazduhoplova

Povećanje udarne moći i operativnosti ratnog vazduhoplovstva podrazumeva maksimalno iskorišćenje borbenih vazduhoplova. Da bi ovaj uslov bio ispunjen srednje vreme boravka vazduhoplova na zemlji treba da bude što kraće, a zavisi, pre svega, od pouzdanosti, eksploatacione tehnološkičnosti i organizacije opsluživanja i održavanja vazduhoplova, uvežbanosti i obučenosti kadra vazduhoplovnotehničke službe, raspoložive infrastrukture namenjene za vazduhoplovnotehničko održavanje i materijalnih resursa po vazduhoplovnotehničkom snab-

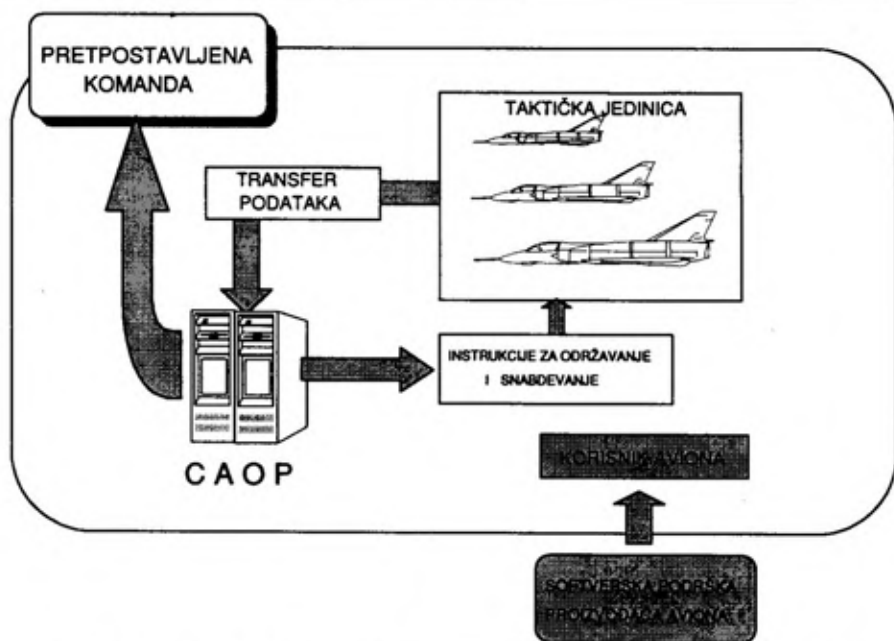
devanju. Pošto se znatan deo vremena koristi za održavanje borbenih vazduhoplova, razumljivo je nastojanje rukovodećih struktura da se ovo vreme skрати uz istovremeno smanjenje troškova.

Jedan od uslova za kvalitetno održavanje, a time i za ostvarenje visoke efektivnosti borbenih vazduhoplova, jeste postojanje kompleksnog informacionog sistema za vazduhoplovnotehničko obezbeđenje čiji je podsistem informacioni sistem za vazduhoplovnotehničko održavanje.

Logično je da se o informacionom sistemu za održavanje borbenih vazduhoplova počne razmišljati i stvarati njegova koncepcija još pri konstrukciji, a naročito pri alokaciji pouzdanosti sistema vazduhoplova. U tom smislu treba razgraničiti i odgovornosti na pojedinim nivoima za nastanak, funkcionisanje i efikasno korišćenje informacionog sistema.

Za uspostavljanje informacionog sistema za održavanje potrebno je obezbediti: matematičke modele za praćenje pouzdanosti, što je kod savremenih aviona zadatak projektanta, odnosno proizvođača i odgovarajuće baze podataka koje se projektuju na osnovu matematičkih modela a realizuje ih korisnik aviona.

Na slici 1 prikazan je tok formiranja i slanja podataka i povratka informacija o održavanju borbenih aviona, počev od proizvođača, preko taktičke jedinice, do najviših nivoa komandovanja, što predstavlja idejnu skicu sistema za upravljanje održavanjem [6]. Uočljivo je da se radi o zatvorenom sistemu podataka i informacija, što omogućava kontinualan proces odlučivanja o održavanju. Proizvođač aviona, pri projektovanju, izrađuje deo softverske podrške (matematičke modele) koju dostavlja korisniku aviona (taktičkoj jedinici i centru za automatsku



Sl. 1 – Cirkulacija podataka i informacija na svim nivoima logističke podrške

obradu podataka – CAOP-u). Podatke neophodne za ocenu pouzdanosti (o otkazima) prikuplja taktička jedinica na osnovu dobijenih instrukcija proizvođača i šalje ih magistralom za transfer podataka CAOP-u. Centar za automatsku obradu podataka vrši njihovu obradu i u vidu instrukcija za održavanje i snabdevanje vraća ih nazad u taktičku jedinicu. Istovremeno, izveštava pretpostavljenu komandu o postignutom nivou pouzdanosti, preduzetim merama i datim instrukcijama, za održavanje, taktičkoj jedinici. Na taj način, obezbeđena je cirkulacija potrebnih podataka i informacija o pouzdanosti i održavanju borbenih aviona na svim nivoima logističke podrške.

Elementi informacionog sistema za održavanje borbenih vazduhoplova

Održavanje borbenih vazduhoplova obuhvata:

- pripremu vazduhoplova za upotrebu;
- otklanjanje otkaza;
- povremene preglede;
- izvršenje modifikacija;
- remont;
- sistematsku kontrolu tehničkog stanja vazduhoplova tokom veka upotrebe;
- čuvanje, kada je vazduhoplov van upotrebe.

Na osnovu ovih delatnosti, cilj i zadatak informacionog sistema za održavanje mogao bi se iskazati kroz:

- permanentno prikupljanje i arhiviranje podataka čijom se obradom dobijaju informacije o pouzdanosti, održavanju, troškovima, elementima logističke podrške, ostvarenim učincima, itd.;
- obezbeđenje potpune „istorije“ o ponašanju i otkazima borbenog vazduhoplova, koja ima odlučujući uticaj na raz-

voj sistema iste ili slične namene, ali poboljšanih karakteristika.

Ovakav pristup nameće potrebu formiranja više baza podataka koje moraju da sadrže sve neophodne parametre za dobijanje kvalitetnih informacija o pouzdanosti delova, agregata i sistema, za ocenu kvaliteta remonta, održavanja i eksploatacije, za praćenje optimalnih zalih rezervnih delova, za formiranje programa održavanja, razradu zahteva za povišenje nivoa pouzdanosti i eksploatacione tehnološkičnosti sistema i vazduhoplova u celini, itd.

Radi realizacije ovih zadataka neophodno je formiranje sledećih baza podataka:

B1. – Baza operativno-tehničkih podataka o vazduhoplovnotehničkim materijalnim sredstvima (VTMS), sledeće strukture:

- B1.1 – Operativno-tehnički podaci o vazduhoplovima i vitalnim sklopovima i podsklopovima vazduhoplova;

- B1.2 – Operativno-tehnički podaci o vazduhoplovnom naoružanju (vođenom i nevođenom) i njegovim vitalnim sklopovima i podsklopovima;

- B1.3 – Operativno-tehnički podaci o sredstvima za opsluživanje vazduhoplova i njegovim vitalnim sklopovima i podsklopovima.

B2. – Baza podataka o resursima, planovima i programima vazduhoplovnotehničkog održavanja.

B3. – Baza operacija preventivnog održavanja vazduhoplova (povremeni pregledi, kontrolni pregledi, vanredni pregledi, baždarenje opreme, itd.).

B4. – Baza eksploatacionih intervencija i praćenja neispravnosti, sa algoritmima za ocenu pouzdanosti delova, sklopova i agregata sistema.

B5. – Baza podataka o modifikacijama.

B6. – Baza tehnološke dokumentacije proizvodnje i remonta, naučnotehničkih informacija (bibliotečkih) i informacija izdavačke delatnosti.

B7. – Baza raspoloživih materijalnih resursa (rezervni delovi, pogonske materije, maziva, itd.).

B8. – Baza operativno-tehničke evidencije infrastrukture vazduhoplovnotehničkog održavanja (radionice, automatizovana skladišta, stajanke, armirano-betonska skloništa za avione (ABS), stanice za proveru raketa vazduh–vazduh, itd.).

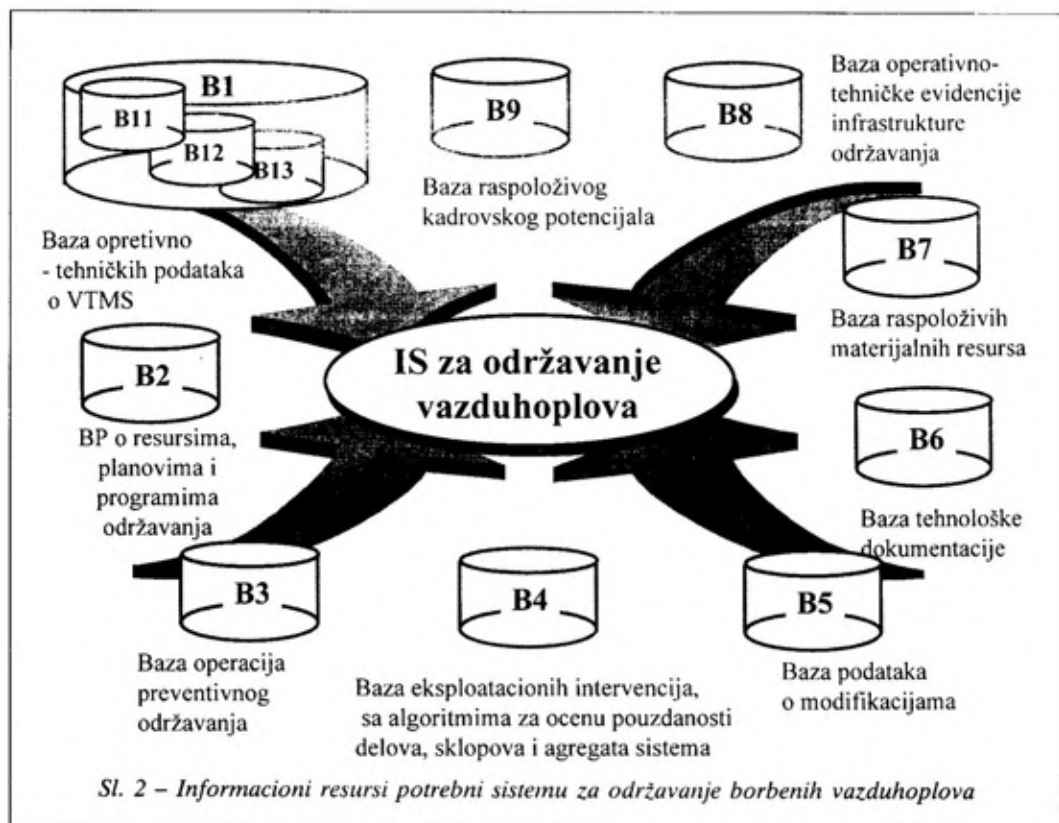
B9. – Baza kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja raspoloživog kadrovskog potencijala namenjenog za vazduhoplovnotehničko održavanje.

Za održavanje borbenih vazduhoplova, koje je zasnovano na održavanju prema pouzdanosti, od posebnog je značaja postojanje kvalitetne baze podataka B4, kojoj je posvećena i posebna pažnja u ovom radu.

Prikupljanje podataka o otkazima

Radi neprekidnog ocenjivanja dostignutog nivoa pouzdanosti borbenih vazduhoplova i efikasnog upravljanja njome, neophodno je obezbediti da se o svim značajnijim događajima, posebno otkazima, neprekidno, tokom čitavog veka upotrebe, prikupljaju odgovarajući podaci. Da bi „sirovi“ podaci postali informacije, oni se, pre smeštanja u odgovarajuće baze podataka, moraju obraditi.

Radi sticanja pravovremenih i upotrebljivih podataka za obradu u informacionom sistemu neophodno je, umesto obrazaca koji opterećuju jedinice nepotrebnim administriranjem, uspostaviti si-



stem za automatski prenos podataka sa sledećim eventualno mogućim šiframa:

- sedmica, godina;
- naziv jedinice;
- ev. br. – evidencijski broj aviona;
- A – vrsta neispravnosti (otkaza);
- B – sistem;
- C – otkrivena neispravnost;
- D – posledice neispravnosti;
- E – uzrok – odgovornost;
- F – način opravke;
- G – mere;
- H – VTUP, slika, pozicija;
- I – naziv dela;
- J – vreme naleta do otkaza;
- K – utrošeno vreme za opravku;
- L – izvršeni radovi (50 ČPP, 100 ČPP, 200 ČPP, jednogodišnji pregled);
- M – utrošeno vreme (h) za izvršenje radova u jedinici (ljudstvo jedinice);

- N – utrošeno vreme (h) za izvršenje radova i opravki u jedinici (VZ i RO);
- O – izgubljeni tehnički (T) i materijalni (M) dani;
- P – datum prijema aviona u jedinicu;
- R – datum predaje aviona;
- S – broj letova tokom meseca;
- T – časova i minuta naleta tokom meseca;
- Opis – kratak opis kvara ili radova tokom meseca, da li je neophodna pomoć i čija.

Jedinica treba da dostavlja ovakav izveštaj o izvršenim radovima na avionima tokom sedmice, magistralom za transfer podataka, s tim što bi ovim izveštajem bili obuhvaćeni svi otkazi (zbog kojih se komponente menjaju i

koje se otklanjaju u jedinici) i vreme utrošeno za opravku. Jednom mesečno, u poslednjoj sedmici, zajedno sa ostalim informacijama za tu sedmicu, treba da se dostavljaju i podaci o ostvarenom naletu za svaki avion.

Softver za obradu podataka

Zahtevi koje softver za obradu podataka o otkazima treba da zadovolji mogu se svesti na sledeće [6]:

- mora verno da odražava ukupnu logiku realnog sistema;
- strukturiranje podataka mora biti jednostavno i jednoznačno, na osnovu raspoloživih ulaznih podataka;
- proces obrade mora biti kratak;
- izlazne informacije moraju biti jasne i nedvosmislene;
- softver ne sme zahtevati nova ulaganja u hardver.

Sagledavajući navedene zahteve i specifičnosti registrovanja otkaza borbenog aviona, projektovano je sedam datoteka podataka, od kojih su tri namenjene za unos podataka o otkazima, naletu i osnovnim podacima o avionima, a četiri

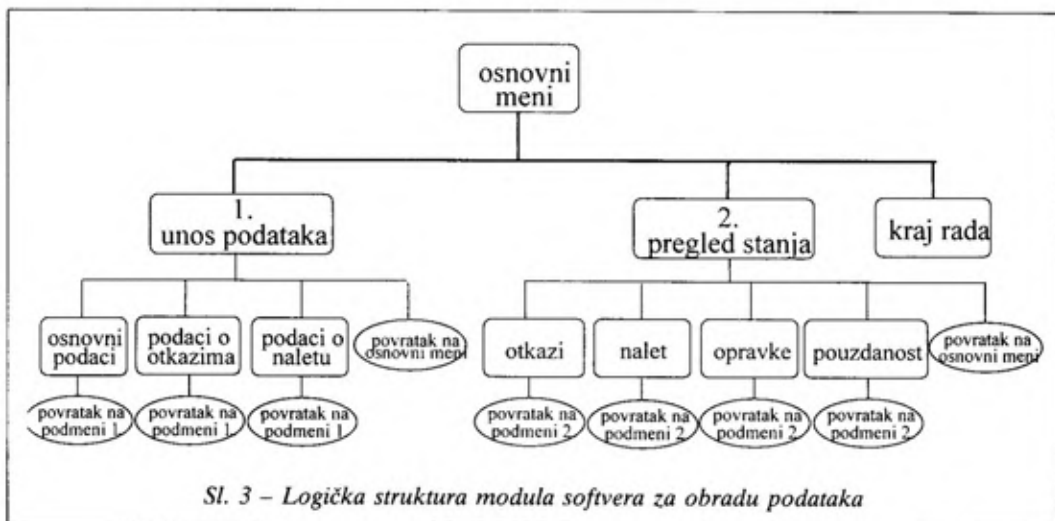
su kontrolnog karaktera i namenjene su za čuvanje etalon-podataka o sistemima i delovima aviona.

Datoteke su integrisane u jedinstvenu bazu podataka softverom koji je realizovan u programskom jeziku CLIPPER. Time je omogućen interaktivan rad, unos podataka u bazu i dobijanje potrebnih podataka iz baze za dalju obradu. Odabran je softverski alat koji nije zahtevan u pogledu potrebnog hardvera, kako bi se omogućio rad na postojećoj opremi, bez dodatnih ulaganja.

Radi omogućavanja kontinualne kontrole unosa podataka i njihovog pregleda, softver predviđa sortiranje podataka (prema evidencijskom broju aviona, po šifri sistema i podšifri dela i po datumu nastanka otkaza).

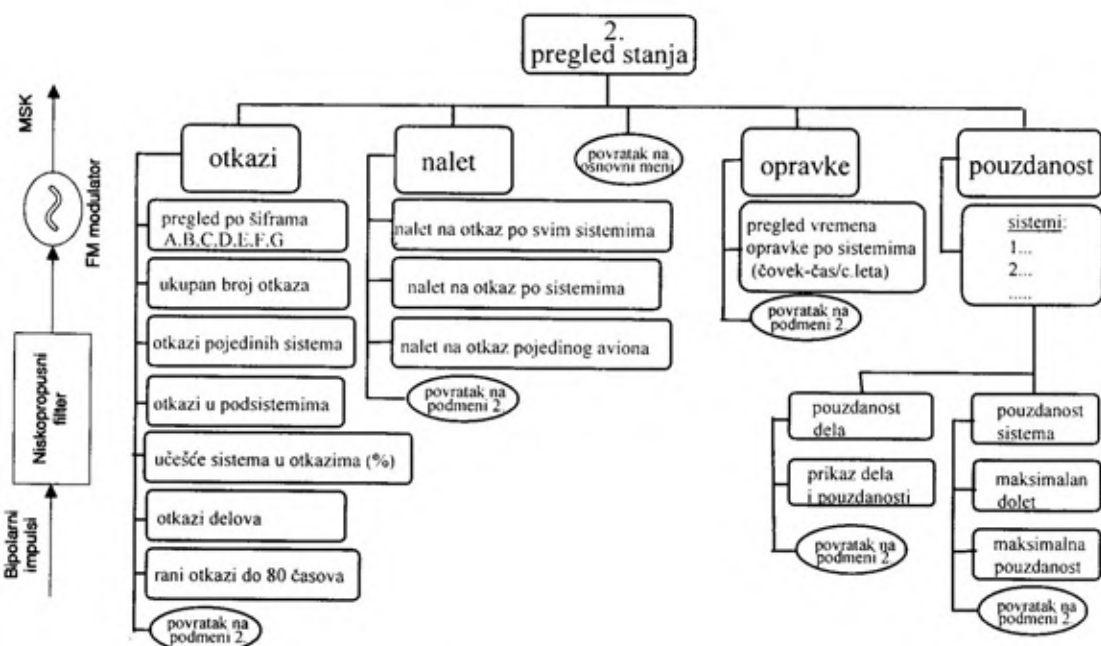
Pored samih podataka o otkazima koji predstavljaju osnovu ovog segmenta informacionog sistema, bitne elemente čine i tokovi podataka, kao i procedure unošenja podataka u računar (bazu podataka). Logička struktura modula softvera za obradu podataka prikazana je na slici 3.

Sledeće bitno obeležje softvera za obradu podataka je sadržaj i oblik izla-





Sl. 4 – Logička struktura modula za unos podataka o otkazima



Sl. 5 – Logička struktura modula za informacije (pregled stanja)

znih izveštaja [5]. Sadržaj izveštaja se kreira tako da omogući donošenje kvalitetnih odluka koje će biti progresivne u odnosu na postojeće stanje.

Radi omogućavanja kontinualne kontrole unosa podataka i njihovog pregleda, softver predviđa sortiranje podataka (prema evidencijskom broju aviona, po šifri sistema i podšifri dela i po datumu nastanka otkaza), što je prikazano na slici 4.

U konkretnom slučaju, cilj obrade podataka je da se dobiju informacije o otkazima, naletu po jednom otkazu, o vremenu utrošenom na opravke (iskazanom u *čovjek čas rada / času leta*) i o pouzdanosti izvršenja zadatka za tri slučaja leta (maksimalni dolet, maksimalna pouzdanost i upotreba naoružanja).

Izlazne informacije prikazuju se u obliku izveštaja na ekranu. Logička interpretacija modula za izveštaje na ekranu prikazana je na slici 5.

Zaključak

Projektovanje i realizacija celokupnog informacionog sistema za vazduhoplovnotehničko održavanje je obiman i izuzetno složen i odgovoran zadatak, jer

predstavlja preduslov za ostvarenje visoke bezbednosti letenja, uz istovremeno smanjenje troškova logističke podrške.

Ovakvo projektovan informacioni sistem može da se nadogradi elementima veštačke inteligencije, što bi omogućilo da se na osnovu dobijenih informacija poboljša kvalitet odlučivanja o održavanju aviona. Ugrađivanjem u informacioni sistem baza znanja o održavanju, pored već postojećih datoteka podataka o otkazima, dobio bi se ekspertni sistem koji bi omogućio punu optimizaciju procesa održavanja.

Literatura:

- [1] Duboka, Č.; Todorović, J.; Arsenić, Ž.; Tomašević, D.: Računarski integrisano upravljanje održavanjem za velike vozne parkove, Naučni skup „Saobraćaj u gradovima“, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.
- [2] Gould, H. I.: Efit guide to concept therms in data procesing, London, 1971.
- [3] Đorđević, B.: Naučno-tehnološki progres i vazduhoplovnotehničko obezbeđenje, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [4] Komljenović, Đ.; Živaljević M.; Arsenić Ž.: Informacioni sistem održavanja borbenih vazduhoplova, Međunarodni stručni skup „Vazduhoplovstvo-95“, Beograd, 1995.
- [5] Lazarević, B.: Projektovanje informacionih sistema I i II, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- [6] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Novi Beograd, 1993.
- [7] Živaljević, M.: Prilog istraživanju sistema za praćenje pouzdanosti lovačkobombarderske avijacije i njegova optimizacija, VTA, Beograd, 1996.

Rezime:

Pri analizi dinamike leta projektila od izuzetnog je značaja poznavanje vrednosti aerodinamičkih koeficijenata i njihovih derivativa, bez kojih je proračun elemenata putanje i stabilnosti leta projektila praktično nemoguć. Cilj ovog rada je automatizacija procesa proračuna aerodinamičkih koeficijenata neupravljivih projektila pri različitim napadnim uglovima. Kretanje svakog osnosimetričnog projektila u prostoru sastoji se od translacije centra mase i rotacije oko sopstvenog centra mase. Let ovih projektila karakterišu uslovi malih poremećaja, pri čemu se pretpostavlja da napadni uglovi ne prelaze nekoliko stepeni. Ova činjenica omogućuje primenu zakona linearne aerodinamike pri proračunu aerodinamičkih karakteristika ili njihovih derivativa. Projektil je često složene geometrijske konfiguracije, pa je i proračun aerodinamičkih karakteristika povezan sa prethodnim poznavanjem aerodinamike sastavnih delova njihove konfiguracije. Programsko rešenje AERO 1 sačinjeno je u programskom jeziku FORTRAN, univerzalno je i može se koristiti za sve klasične projekte bez krilaca.

Ključne reči: aerodinamički koeficijent, aerodinamička sila i moment, nesimetrično opstrujavanje, derivativ aerodinamičkog koeficijenta, napadni ugao, centar mase.

RESEARCHES INTO THE EFFECTS OF ASYMMETRIC FLUID FLOW BIAS AROUND THE PROJECTILE ON AERODYNAMIC COEFFICIENTS

Summary:

In the analysis of projectile flight dynamics it is of utmost importance to know the values of aerodynamic coefficients and their derivatives. The calculation of flight path elements and projectile flight stability is practically impossible without these values. The purpose of this paper is the automation in the process of calculation of unguided projectile aerodynamic coefficients for different angles of attack. The movement of every projectile with axial symmetry in space consists of mass centre translation and rotation around its own mass centre. The flight of these projectiles is characterized by the conditions of slight perturbances, supposing that angles of attack do not exceed several degrees. This fact enables the application of laws of linear aerodynamics while calculating aerodynamic characteristics or their derivatives. The projectile often has complex geometric configuration and the calculation of aerodynamic characteristics is thus connected with the previous knowledge of aerodynamics of their configuration elements. The program solution AERO 1 is made in FORTRAN, it is universal and can be applied to all classical projectiles without fins.

Key words: aerodynamic coefficient, aerodynamic force and moment, asymmetric fluid flow bias, derivative of the aerodynamic coefficient, angle of attack, mass centre.

Uvod

Dejstvo vazduha na projektil u toku njegovog kretanja ispoljava se u vidu

aerodinamičke sile koja stvara aerodinamički moment prema izabranoj tački. Aerodinamička sila i moment, kao vektorske veličine, mogu da se prikažu po-

moću komponenti u jednom od uvedenih koordinatnih sistema. Projekcije sile obeležavaju se, u zavisnosti od izabranog koordinatnog sistema, sledećim oznakama:

$R^d = [X \ Y \ Z]^T$ – u dinamičkom koordinatnom sistemu;

$R^b = [X \ \tilde{Y} \ \tilde{Z}]^T$ – u aerobalističkom koordinatnom sistemu;

$R^s = [X \ \bar{Y} \ \bar{Z}]^T$ – u strujnom koordinatnom sistemu.

Bez obzira na upotrebljeni koordinatni sistem komponente sile nazivaju se:

X – aksijalna sila, Y – bočna sila i Z – normalna sila.

Projekcije aerodinamičkog momenta obeležavaju se sa:

$M^d = [L \ M \ N]^T$ – u dinamičkom koordinatnom sistemu,

$M^b = [L \ \tilde{M} \ \tilde{N}]^T$ – u aerobalističkom koordinatnom sistemu,

$M^s = [L \ \bar{M} \ \bar{N}]^T$ – u strujnom koordinatnom sistemu.

Komponente momenta, bez obzira na koordinatni sistem, nazivaju se: L – moment valjanja, M – moment propinjanja i N – moment skretanja.

Aerodinamički koeficijenti predstavljaju bezdimenzionalne veličine komponenti aerodinamičkih sila i momenta, a dobijaju se kada se stvarne komponente aerodinamičkih sila i momenata podele sa referentnom silom i referentnim momentom.

Referentna sila je proizvod referentnog pritiska i referentne površine, dok

je referentni moment proizvod referentne sile i referentne dužine. U aerodinamici se uzima da je referentni pritisak dinamička veličina:

$$q_\infty = \frac{\rho_\infty V_\infty^2}{2}.$$

Za referentnu površinu uzima se krug prečnika jednog nominalnog kalibra projektila

$$S = \frac{d^2 \pi}{4}.$$

Za referentnu dužinu usvojena je veličina nominalnog kalibra d.

Sistem jednačina za proračun aerodinamičkih koeficijenata i analitičko rešenje

Na osnovu definicije, aerodinamički koeficijenti će biti:

$$C_x = \frac{X}{q_\infty S} \text{ – aksijalne sile,}$$

$$C_y = \frac{Y}{q_\infty S} \text{ – bočne sile,}$$

$$C_z = \frac{Z}{q_\infty S} \text{ – normalne sile,}$$

$$C_l = \frac{L}{q_\infty S d} \text{ – moment valjanja,}$$

$$C_m = \frac{M}{q_\infty S d} \text{ – moment propinjanja,}$$

$$C_n = \frac{N}{q_\infty S d} \text{ – moment skretanja.}$$

Aerodinamički koeficijenti, kao i komponente aerodinamičkih sila i mo-

menta, računaju se za usvojeni koordinatni sistem i obeležavaju se istim redosledom kao i komponente sile i momenta. Vrednosti koeficijenata zavise od:

$$M = \frac{V}{a} - \text{Mahovog broja,}$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} - \text{Rejnoldsovog broja,}$$

α , β , σ i φ – napadnog ugla, ugla klizanja, ukupnog napadnog ugla i ugla oko x ose između dinamičkog i strujnog koordinatnog sistema,

$\dot{\alpha}$, $\dot{\beta}$ ili $\dot{\sigma}$ i $\dot{\varphi}$ – promena položaja aerodinamičke brzine,

p , q i r – ugaonih brzina projektila.

Parcijalni izvodi aerodinamičkih koeficijenata po ovim parametrima nazivaju se derivativi.

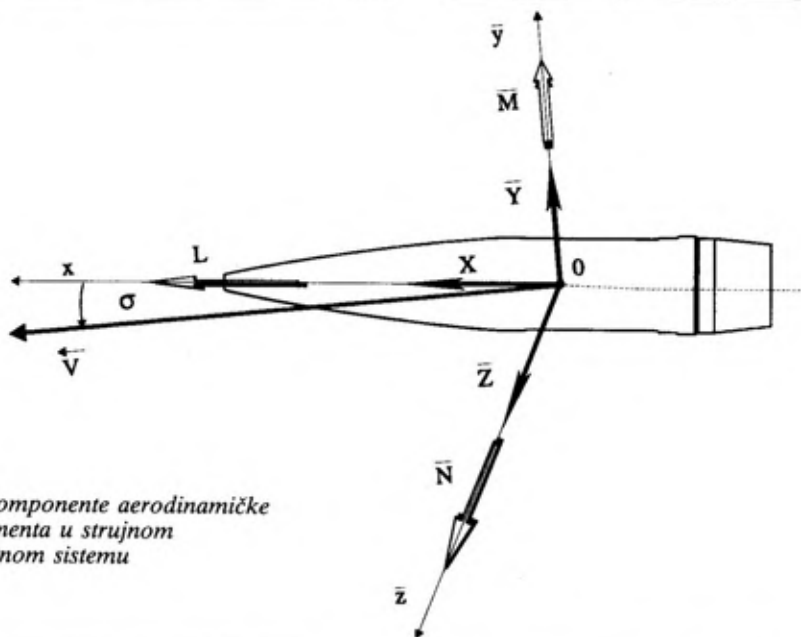
U ovom radu predmet analize je neupravljivi projektil čiji je spoljni oblik rotaciona površina. Projektil je telo čija

površina omotača ima više ravni simetrije, jer je svaka ravan povučena kroz osu rotacione površine istovremeno ravan simetrije. Radi toga upotrebljava se strujna ravan kao referentna ravan i strujni koordinatni sistem da bi se u njemu definisala aerodinamika, slika 1. Komponente aerodinamičke sile i momenata proporcionalne su aerodinamičkom pritisku koji zavisi od: brzine, kalibra, gustine vazduha ρ i viskoznosti. Komponente sile i momenata na velikim visinama će biti manjeg intenziteta, jer gustina opada sa visinom.

Koeficijent aksijalne sile C_x

Istraživanja su pokazala da ovaj koeficijent zavisi od: M – Mahovog broja, σ – napadnog ugla, Re – Rejnoldsovog broja i p^* – bezdimenzionalne ugaone

$$\text{brzine } p^* = p \frac{d}{V} = \frac{\rho d}{2V}.$$



Sl. 1 – Komponente aerodinamičke sile i momenata u strujnom koordinatnom sistemu

Najveći uticaj na vrednost C_x pri nultom napadnom uglu $\sigma = 0$ pokazuje Mahov broj čiji se uticaj može grafički prikazati. Radi upoređivanja koeficijenta $C_x(M)$ za razne projektile uvedena je tzv. etalon-funkcija $C_{xe}(M)$. Za savremeni oblik zapremine projektila funkcija $C_{x0}(M)$ jednaka je proizvodu etalon funkcije $C_{xe}(M)$ i „koeficijenta oblika – i“ koji predstavlja karakteristiku tog projektila:

$$C_{x0}(M) = i \cdot C_{xe}(M) \quad (1)$$

Vrednost koeficijenta oblika „i“ često je bliska jedinici, pa je njegova upotreba ipak ograničena, jer on utiče na povećanje ili smanjenje uvek u istom odnosu za sve vrednosti Mahovog broja. Takav pristup može se koristiti samo za geometrijski vrlo slične oblike projektila.

Vrednost $C_x(-\sigma) = C_x(\sigma)$ ista je za iste vrednosti pozitivnog i negativnog napadnog ugla. Razvijanjem u stepeni red po σ biće:

$$C_x = C_{x0}(M) + C_{x\sigma^2}(M) \cdot \sigma^2 + \dots \quad (2)$$

Za praksu je interesantan član uz σ^2 , jer članovi višeg reda uglavnom imaju manji uticaj. Član $C_{x0}(M)$ predstavlja vrednost koeficijenta aerodinamičke aksijalne sile kada je napadni ugao σ jednak nuli. Istraživanja su pokazala da se pri osnosimetričnom strujanju ukupni aerodinamički koeficijent otpora može prikazati kao suma otpora koje imaju pojedini delovi površine omotača projektila, tj.:

$$C_{x0} = C_{XH} + C_{XSF} + C_{XB} + C_{XBT} + C_{XBND}$$

gde je:

C_{XH} – koeficijent otpora vrha projektila,

C_{XSF} – koeficijent otpora trenja tela projektila i vazduha,

C_{XB} – koeficijent otpora dna projektila,

C_{XBT} – koeficijent otpora zadnjeg konusa,

C_{XBND} – koeficijent otpora vodećeg prstena.

Vrednost C_{XH} predstavlja deo aerodinamičkog koeficijenta aksijalne sile koji nastaje zbog pojave otpora na prednjem delu projektila, tj. zbog postojanja normalnog pritiska po površini projektila. Član C_{XSF} nastaje zbog trenja vazduha pri opstrujavanju projektila, a član C_{XB} je posledica potpritiska koji se stvara iza projektila. Oblik spoljne površine utiče na veličinu prvog člana. Pravilnost oblika površine (kvalitet izrade) utiče na veličinu drugog člana, a veličina dna projektila bitno utiče na veličinu trećeg člana C_{XB} .

Rejnoldsov broj najviše utiče na C_{XSF} i donekle na C_{XB} . Eksperimentalna ispitivanja su pokazala da se zavisnost $C_{XSF}(Re)$ može prikazati Ln-funkcijom. Uticaj Re na C_x je od manjeg značaja, jer je neophodno da se Re promeni za red veličine da bi to bitno uticalo na C_x . Zbog toga se zavisnost $C_x(Re)$ ne uzima u obzir u proračunima trajektorija i stabilnosti jednog projektila. Međutim, pri proračunu $C_x(M)$ geometrijski sličnih projektila, Rejnoldsov broj može bitno uticati (artiljerijski projektil i puščano zrno istog oblika imaju Re različit za red veličine), pa je nemoguća primena samo jedne etalon-funkcije za $C_x(M)$ u tako velikom opsegu Re .

Član C_{XB} je posledica potpritiska koji se stvara iza projektila. Za smanjenje otpora dna projektila C_{XB} primenjuju se različita rešenja. Jedno je isticanje gasova na dnu projektila koje bitno smanjuje

vrednost C_{XB} . Raketni projektili imaju mlaznicu (mlaznice) na dnu, i za vreme rada raketnog motora menja se C_{XB} . Ovaj način koristi se i kod projektila koji nemaju mlaznicu već se u praksi ugrađuje generator gasa, koji je namenjen da stvara gasove neposredno iza projektila, smanjujući potpritisak iza projektila, a time i vrednost C_{XB} . Na taj način moguće je C_{XB} svesti na njegovu trećinu vrednosti. Kako se tokom vremena leta projektila menjaju karakteristike sredine kroz koju prolazi, vrednost C_x će biti funkcija vremena. Uticaj parametra p^* (bezdimenzione ugaone brzine valjanja) nije još dovoljno ispitan. Ovaj uticaj postoji ali se pretpostavlja da su njegove vrednosti male. U poslednje vreme vrše se ispitivanja koja će dati više podataka o ovom uticaju.

Promenom oblika i dimenzija zadnjeg konusa projektila menjaju se vrednosti C_{XBT} i C_{XB} , a kao posledica javljaju se promene i ostalih aerodinamičkih koeficijenata pri različitim napadnim uglovima.

Koeficijent normalne sile $C_z = C_n$

Istraživanja su pokazala da na koeficijent normalne sile utiču: σ – napadni ugao, M – Mahov broj i Re – Reynoldsov broj.

Na osnovu simetrije projektila i slike opstrujavanja, može se zaključiti da je $C_z(-\sigma) = -C_z(\sigma)$ neparna od σ . Njenim razdvajanjem u stepeni red dobiće se:

$$C_z = C_{z\sigma}(M) \cdot \sigma + C_{z\sigma^3}(M) \cdot \sigma^3 + \dots \quad (3)$$

Pažnja će biti usmerena na prva dva člana koji su najuticajniji.

Kako projektili u letu imaju mali napadni ugao σ , ne uzimaju se u obzir članovi višeg reda od σ^3 , a često se i on

zanemaruje. Za $\sigma > 0$ koeficijent $C_z < 0$ i obratno. To je posledica izbora smera ose $\bar{z}$ strujnog koordinatnog sistema. Usvojeno je da ta osa ima isti pravac i smer kao i vektor poprečne komponente brzine projektila. Normalna aerodinamička komponenta ima isti pravac kao i vektor poprečne komponente brzine opstrujavanja. Te dve komponente brzine V_z i V_n imaju isti pravac ali suprotan smer. Vrednost C_z je negativna, a C_n je pozitivna.

Koeficijent bočne sile C_y

Istraživanja su pokazala da koeficijent bočne sile C_y – zavisi od: σ – napadnog ugla, p^* – bezdimenzionalne ugaone brzine i M – Mahovog broja.

Zbog usporavanja struje vazduha, koje prouzrokuje rotacija projektila, u poprečnom preseku dolazi do porasta pritiska, dok se dijametralno javlja obrnut proces: struja se ubrzava i pritisak u struji opada.

Razlika pritiska u svim tačkama levo od strujne ravni, u odnosu na odgovarajuće tačke desno od strujne ravni, daju rezultujuću silu u pravcu $\bar{y}$ ose, a suprotnog smera. Magnusova sila deluje normalno na strujnu ravan, dok se vektor momenta koji ona stvara nalazi u strujnoj ravni. Na osnovu ovoga može se zaključiti da koeficijent bočne sile $C_y(p^*, \sigma)$ ima sledeće osobine:

$$\left. \begin{aligned} C_y(0, \sigma) &= 0 \\ C_y(p^*, 0) &= 0 \\ C_y(-p^*, \sigma) &= -C_y(p^*, \sigma) \\ C_y(p^*, -\sigma) &= -C_y(p^*, \sigma) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ova zakonitost govori da je:

$$C_y = C_{y p \sigma} \cdot p^* \cdot \sigma,$$

s tim da je $C_{y p \sigma}$ funkcija od p^{*2} , σ^2 i M . Funkcija $C_{y p \sigma}$ može se razviti u red po σ^2 :

$$C_{\bar{y}p\sigma} = (C_{\bar{y}p\sigma})_0 + (C_{\bar{y}p\sigma^2})_0 \sigma^2 + \dots$$

Upotrebiće se i oznaka $C_{\bar{y}\sigma}$ za proizvod $C_{\bar{y}} \cdot p$. Sa tom oznakom biće:

$$C_{\bar{y}} = C_{\bar{y}\sigma} \sigma = C_{\bar{y}p\sigma} p^* \sigma$$

Magnusova sila znatno utiče na stabilnost i opšti karakter leta projektila na putanji.

Koeficijent momenta valjanja C_l

Rotacijom projektila oko uzdužne ose brzina u nekoj tački na površini se povećava za $pd/2$, a elementarna sila trenja deluje na površinu u pravcu suprotnom strujanju koje je zaokrenuto za ugao $pd/2V$ u odnosu na pravac brzine translacije V . Suma momenata svih elementarnih sila trenja, koje se protive rotaciji projektila, naziva se aksijalni prigušni moment ili moment valjanja. Istraživanja su pokazala da koeficijent momenta valjanja zavisi od: p^* – bezdimenzionalne ugaone brzine, M – Mahovog broja i σ – napadnog ugla (ako nije mali).

Najčešće se uzima da je ovaj koeficijent proporcionalan bezdimenzionalnoj ugaonoj brzini:

$$C_l = C_{lp} p^* \quad (5)$$

Vrednost derivativa aerodinamičkog koeficijenta valjanja C_{lp} je negativna, jer je u pitanju moment koji se suprotstavlja rotaciji.

Koeficijent momenta propinjanja

Normalna sila $\bar{Z}$ u ravni strujanja ima napadnu tačku na rastojanju X_c od vrha projektila.

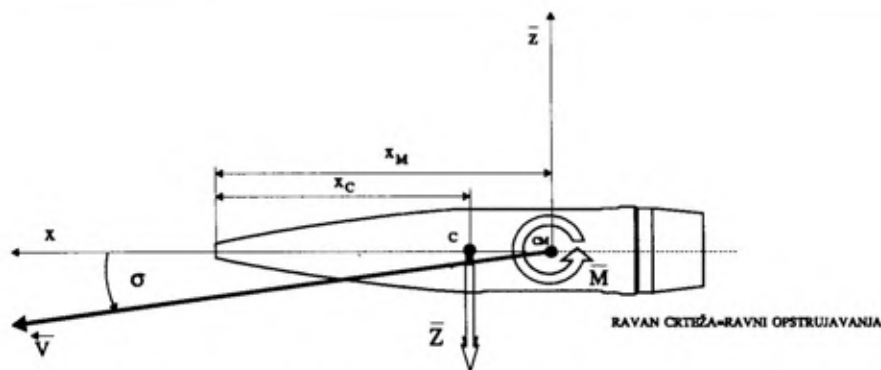
Sa slike 2 vidi se da ona stvara moment $\bar{M}$ (oko centra mase koji se nalazi na rastojanju X_M od vrha):

$$\bar{M} = -\bar{Z}(X_M - X_C)$$

Deljenjem sa $q_\infty S_d$ dobija se:

$$C_{\bar{m}} = -C_{\bar{z}}(X_M^* - X_C^*) \quad (6)$$

Koeficijent $C_{\bar{m}}$ određuje se na osnovu koeficijenta $C_{\bar{z}}$ koji je ranije određen, bezdimenzionalnih vrednosti položaja napadne tačke normalne sile $X_c^* = X_c/d$ i položaja centra mase $X_M^* = X_M/d$. Položaj napadne tačke zavisi od M – Mahovog broja i σ – napadnog ugla.



Sl. 2 – Delovanje normalne sile $\bar{Z}$ i momenta $\bar{M}$

U praksi se uticaj napadnog ugla σ na X_C^* , za male vrednosti $\sigma < 0,1$ rad zanemaruje.

Ovako definisan moment $\bar{M}$ predstavlja samo njegov „statički deo“, jer nije uzet u obzir moment propinjanja koji nastaje kao posledica promene ugla σ tokom leta projektila, i zbog ugaone brzine $\bar{q}^*$. Može se zaključiti da je koeficijent funkcija od $C_{\bar{m}}(M, \sigma, \sigma^*, \bar{q}^*)$ gde je:

$$\sigma^* = \frac{\dot{\sigma}}{\frac{V}{d}}; \quad \bar{q}^* = \frac{\bar{q}}{\frac{V}{d}} \quad (7)$$

Ako se funkcija $C_{\bar{m}}$ razvije u red dobija se:

$$C_{\bar{m}} = C_{\bar{m}\sigma} \cdot \sigma + C_{\bar{m}\sigma^3} \cdot \sigma^3 + C_{\bar{m}\sigma^5} \cdot \sigma^5 + C_{\bar{m}\sigma^7} \cdot \sigma^7 + \dots \quad (8)$$

Član σ^3 i preostali članovi se zanemare, pa se dobija:

$$C_{\bar{m}} = C_{\bar{m}\sigma} \cdot \sigma + C_{\bar{m}\sigma^*} \cdot \sigma^* + C_{\bar{m}\bar{q}} \cdot \bar{q}^* \quad (9)$$

Upoređenjem jednačina (3) i (6) dobija se da je:

$$C_{\bar{m}\sigma} = -C_{Z\sigma} \cdot (x_M^* - x_C^*) \quad (10)$$

Parcijalni izvodi po vremenu (derivativi) u jednačini (9) funkcije su Mahovog broja. Zadnja dva derivativa eksperimentom se dobijaju u sumi $C_{\bar{m}\sigma} + C_{\bar{m}\bar{q}}$.

Da bi se analiziralo šta se dešava sa projektilom u strujnoj ravni, pretpostaviće se da nema ugaone brzine valjanja ($p = 0$). U tom slučaju na projektil deluje samo moment M . Sila $\bar{Z}$ je uvek negativna, a vrednost napadnog ugla σ uvek pozitivna. To znači da je $Z_\sigma < 0$, pa se može napisati:

$$\bar{M} = \bar{Z}_\sigma \sigma (x_M - x_C)$$

Iz ove jednačine vidi se da će $\bar{M}$ biti pozitivan ako se centar pritiska C nalazi između vrha projektila i centra mase, tj. $x_C < x_M$, pa će $\bar{M}$ postojeće σ povećavati. Razlika $x_M - x_C$ ne sme biti velika zbog pojave velikog momenta $\bar{M}$ koji povećava σ . Premale vrednosti te razlike dovele bi u temenu putanje do naglog povećanja σ , gde je vrednost brzine V minimalna. To je pojava „statičke nestabilnosti“. Ukoliko je centar pritiska C iza centra mase, $x_C > x_M$, tada je projektil „statički stabilan“, jer je $\bar{M}$ negativan pa svojim dejstvom smanjuje ugao σ .

Koeficijent momenta skretanja $C_{\bar{n}}$

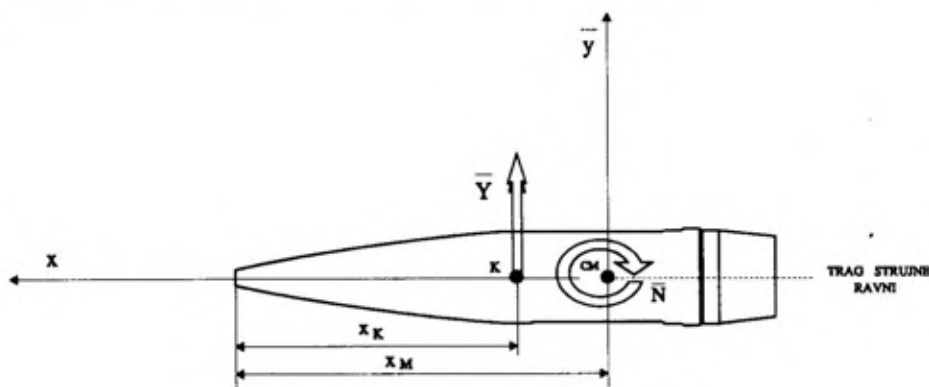
Moment skretanja $\bar{N}$ iz strujne ravni je moment koji stvara Magnusova sila $\bar{Y}$ za centar mase (slika 3), pa se ovaj moment naziva Magnusov moment. Ako je napadna tačka sile $\bar{Y}$ na rastojanju X_K od vrha projektila, onda je njen moment za centar mase:

$$\bar{N} = \bar{Y}(X_M - X_K)$$

Nakon deljenja sa $q_\infty S_d$ dobija se:

$$C_{\bar{n}} = C_{\bar{y}}(X_M^* - X_K^*) \quad (11)$$

Ovde se problem svodi na nepoznatu veličinu X_K^* , jer je $C_{\bar{y}}$ već ranije određeno. Budući da se napadna tačka Magnusove sile pomera duž ose projektila, X_K^* zavisi od onih veličina od kojih zavisi i Magnusova sila, a to su p^* , σ i M . Ispitivanja i teorijski proračuni pokazali su da je X_K^* uglavnom funkcija od M , kao najuticajnije veličine, dok σ i p^* manje utiču. Funkcija $X_K^* = X_K^*(M)$ zavisi od oblika projektila i to od njegove ukupne vitkosti i posebno od oblika zadnjeg dela. Preko sile $\bar{Y}$ moment $\bar{N}$ će zavisiti od sva tri parametra σ , p^* i M . Moment $\bar{N}$ imaće



Sl. 3 - Delovanje momenta skretanja $\bar{N}$

i komponentu prouzrokovanu ugaonom brzinom $\bar{r}^*$. Ukupni koeficijent momenta Magnusove sile može se prikazati kao zbir:

$$C_{\bar{n}} = C_{\bar{n}p\sigma} p^* \sigma + C_{\bar{n}r} \bar{r}^* \quad (12)$$

Upoređujući jednačine pri $\bar{r}^* = 0$ dobija se da je:

$$C_{\bar{n}p\sigma} = C_{\bar{y}p\sigma} (X_M^* - X_K^*) \quad (13)$$

Zbog osne simetrije projektila biće:

$$C_{\bar{n}r} = C_{\bar{m}q} \quad (14)$$

Može se zaključiti da aerodinamički koeficijenti predstavljaju rotacione površine u strujnom koordinatnom sistemu:

$$\left. \begin{aligned} C_x &= C_{x0} + C_{x\sigma} \sigma^2 \\ C_{\bar{y}} &= C_{\bar{y}\sigma} \sigma \\ C_{\bar{z}} &= C_{\bar{z}\sigma} \sigma \\ C_l &= C_{lp} p^* \\ C_{\bar{m}} &= C_{\bar{m}\sigma} \sigma + C_{\bar{m}\sigma} \sigma^* + C_{\bar{m}q} \bar{q}^* \\ C_{\bar{n}} &= C_{\bar{n}p\sigma} p^* \sigma + C_{\bar{m}q} \bar{r}^* \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Aerodinamički koeficijenti u strujnom koordinatnom sistemu mogu se transformisati u aerobalistički koordinatni sistem pomoću matrice transformacije. Iz strujnog koordinatnog sistema u aerobalistički koordinatni sistem dolazi se rotacijom oko x-ose. Nakon sređivanja dobija se:

$$\left. \begin{aligned} C_x &= C_{x0} + C_{x\sigma} \sigma^2 \\ C_{\bar{y}} &= C_{\bar{y}\sigma} \tilde{\alpha} + C_{\bar{z}\sigma} \tilde{\beta} \\ C_{\bar{z}} &= C_{\bar{y}\sigma} \tilde{\beta} + C_{\bar{z}\sigma} \tilde{\alpha} \\ C_l &= C_{lp} p^* \\ C_{\bar{m}} &= C_{\bar{m}\sigma} \tilde{\alpha} + C_{\bar{n}\sigma} \tilde{\beta} + C_{\bar{m}\sigma} \dot{\tilde{\alpha}} + C_{\bar{m}q} \tilde{q}^* \\ C_{\bar{n}} &= -C_{\bar{m}\sigma} \tilde{\beta} + C_{\bar{n}\sigma} \tilde{\alpha} + C_{\bar{m}\sigma} \dot{\tilde{\beta}} + C_{\bar{m}q} \tilde{r}^* \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Ove jednačine daju aerodinamičke koeficijente u aerobalističkom koordinatnom sistemu u zavisnosti od uglova i ugaonih brzina koji su poznati u aerobalističkom koordinatnom sistemu, a pomoću derivativa iz strujnog koordinatnog sistema.

- nastaviće se -

FAKTORSKA ANALIZA POLAZNIH PARAMETARA KOJI NAJVIŠE UTIČU NA MODEL DVOFAZNOG STRUJANJA U CEVI AUTOMATSKE PUŠKE

– nastavak iz broja 3/2000 –

UDC: 623.522:623.442.45]:519.237.7

Regresivna analiza

Nakon prikupljanja rezultata eksperimenta neophodno je pronaći koji od faktora, variranih u eksperimentu, utiču na izlazne karakteristike. Pored opisane disperzivne analize često se koristi i regresivna analiza rezultata eksperimenta, koja mora dati odgovore na sledeća pitanja:

- koliki je uticaj posmatranog faktora na izlazne karakteristike?
- kolike su srednje vrednosti izlaznih karakteristika?
- kolika su rasipanja oko srednjih vrednosti izlaznih karakteristika?
- kako izgleda matematički model posmatranog procesa koji sa zadatim nivoom poverenja aproksimira stvarni proces?

Odgovor na ta pitanja daje funkcija reagovanja (*prenosna funkcija*) datog procesa.

Rezultati dobijeni eksperimentom predstavljaju funkciju koja zavisi od mnogobrojnih, poznatih i nepoznatih faktora. Ukoliko se postavi linearna regresija (mada je moguća i regresija višeg reda) rezultata eksperimenta, dobiće se određeni matematički model eksperimenta koji je predstavljen jednačinom linearne regresije, koja predstavlja traženu funkciju reagovanja. Funkcija reagovanja za-

visi samo od posmatranih faktora (tj. od vrednosti izvora promena).

U slučaju kada se izvodi eksperiment sa četiri faktora, jednačina linearne regresije (regresivni polinom) ima oblik:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + \\ & + b_3x_3 + b_{13}x_{13} + b_{23}x_{23} + \\ & + b_{123}x_{123} + b_4x_4 + b_{14}x_{14} + \\ & + b_{24}x_{24} + b_{34}x_{34} + b_{124}x_{124} + \\ & + b_{134}x_{134} + b_{234}x_{234} + b_{1234}x_{1234}. \end{aligned} \quad (18)$$

gde je:

$\hat{y}$ – vrednost linearne regresije (regresivnog polinoma),

b_j – vrednost j-tog regresivnog koeficijenta,

x_i – vrednost i-tog izvora promene.

Ovako odabran model stvarnog procesa nosi u sebi grešku koja iznosi:

$$\varepsilon = y - \hat{y}, \quad (19)$$

gde je sa y označena vrednost posmatrane veličine koja je dobijena proračunom u eksperimentu, za određenu kombinaciju nivoa faktora. Pomoću regresivne analize moguće je naći takvu jednačinu linearne regresije (regresivni polinom) $\hat{y}$ koja će, sa zadatim nivoom poverenja V , aproksimirati stvarnu funkciju rezultata eksperimenta y . Pri tom se razlikuju slučajevi sa i bez ponavljanja, na jednom nivou fak-

torskog plana (kombinaciji nivoa faktora). U ovom radu, s obzirom na to da se analizira slučaj kada nema ponavljanja (radi se o rezultatima proračuna), objašnjen je postupak regresivne analize za slučaj bez ponavljanja.

Prvi korak je da se nađe srednja vrednost rezultata eksperimenta:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{2^n} y_i}{2^n} \quad (20)$$

gde je y_i vrednost rezultata na i -tom nivou faktorskog eksperimenta (ukupno ima 2^n nivoa).

Nakon što je izračunata srednja vrednost svih rezultata u jednom faktorskom eksperimentu, računa se vrednost disperzije, takođe pomoću rezultata eksperimenta. Njena vrednost se određuje prema formuli:

$$\bar{S}_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{2^n} (y_i - \bar{y})^2}{2^n - 1} \quad (21)$$

gde je 2^n ukupan broj rezultata, a $\bar{y}$ njihova srednja vrednost.

Zatim se izračunavaju vrednosti regresivnog polinoma za svaku kombinaciju nivoa faktora. Pri tome se onaj izvor promena za koji je, na osnovu disperzivne analize ili prema odabranom planu eksperimenta, zaključeno da nema uticaja na rezultate eksperimenta, ne nalazi u regresivnom polinomu, tj. vrednost regresivnog koeficijenta je 0.

Regresivni koeficijenti računaju se prema formuli:

$$b_j = \frac{1}{2^n} \sum_{i=1}^{2^n} x_{ij} \cdot y_i \quad (22)$$

gde je:

b_j – regresivni koeficijent j -tog člana regresivnog polinoma,

x_{ij} – elementi matrice faktorskog plana eksperimenta (neodirane ili kodirane vrednosti).

Nakon što su određene vrednosti regresivnih polinoma, za svaku kombinaciju nivoa faktora izračunava se disperzija neadekvatnosti, koja predstavlja meru odstupanja regresivnog polinoma od stvarnih vrednosti za svaki nivo faktorskog eksperimenta (kombinaciju nivoa faktora), po formuli:

$$S_{\text{nead}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{2^n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{2^n - d} \quad (23)$$

gde je:

y_i – vrednost izmerena u eksperimentu na i -tom nivou faktorskog plana,

$\hat{y}_i$ – vrednost dobijena regresivnim polinomom na i -tom nivou,

d – broj članova regresivnog polinoma.

Neadekvatnost se procenjuje pomoću Fišerovog kriterijuma, slično kao kod disperzivne analize, tako što se izračuna parametar:

$$v_0 = \frac{\bar{S}_y^2}{S_{\text{nead}}^2} \quad (24)$$

koji se upoređuje sa Fišerovim kriterijumom $c = f(V, SS_{\text{im}}, SS_{\text{br}})$,

gde je:

$SS_{\text{im}} = 2^n - 1$ stepen slobode imenioca,

$SS_{\text{br}} = 2^n - d$ stepen slobode brojioca.

Odnos v_0 i c može da bude dvojak:

$v_0 \leq c$ model je adekvatan sa nivoom poverenja V ,

$v_0 > c$ model nije adekvatan (prevelika je S_{nead}^2).

Ukoliko je potvrđeno da je model adekvatan, dobijeni regresivni polinom u potpunosti predstavlja posmatrani proces, tj. može se reći da će se posmatrani proces odvijati prema dobijenom modelu sa verovatnoćom V . Pri izvođenju regresivne analize formira se tabela sa vrednostima koeficijenata kodiranog regresivnog polinoma pomoću koje se utvrđuje uticaj svakog izvora promene, odnosno faktora.

Dobijenim rezultatima, za maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila, analizom adekvatnosti (prema formulama 23 i 24), potvrđena je tvrdnja $v_0 \leq c$, što znači da je model adekvatan, a regresivni polinomi će odsl-

kavati posmatrani proces sa izabranim nivoom poverenja.

Rezultati regresivne analize (vrednosti disperzija i regresivnih koeficijenata) za maksimalni pritisak i početnu brzinu, prikazani su u tabeli 7.

Na osnovu rezultata dobijenih regresivnom analizom (tabela 7), uz korišćenje značaja svakog od izvora promene određenog disperzivnom analizom (na osnovu rezultata iz tabele 7), dolazi se do regresivnih polinoma.

Za veličinu maksimalnog pritiska barutnih gasova kodirani regresivni polinom glasi:

$$p_m = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_{34} \quad (25)$$

Tabela 7

Disperzija (S_i^2)	Rezultat		Regres. koefic. (b_j)	Rezultat	
	P_{max}	V_0		P_{max}	V_0
S_1^2	71055,57	892,52	b_0	3146,5625	726,875
S_2^2	16272,19	284,77	b_1	73,6875	6,125
S_3^2	15201,57	141,02	b_2	76,5625	8,5
S_4^2	503,44	0,02	b_{12}	1,6875	-0,25
S_5^2	29433,69	165,77	b_3	51,1875	8,375
S_6^2	815,82	0,02	b_{13}	1,3125	-0,125
S_7^2	509,07	26,27	b_{23}	1,4375	0
S_8^2	16240,32	293,27	b_{123}	-0,0625	0
S_9^2	16272,19	284,77	b_4	73,6875	6,125
S_{10}^2	270,19	15,02	b_{14}	1,5625	-0,125
S_{11}^2	503,44	0,02	b_{24}	1,6875	-0,25
S_{12}^2	815,82	0,02	b_{34}	1,3125	-0,125
S_{13}^2	30080,57	147,02	b_{124}	-0,0625	0
S_{14}^2	14747,07	147,02	b_{134}	0,1875	0,125
S_{15}^2	16240,32	293,27	b_{234}	-0,0625	0
S_{16}^2	80904,69	791,02	b_{1234}	-0,0625	0
Srednja vrednost rezultata eksperimenta				3146,5625	726,875
Vrednost disperzije				20645,73	232,12
Suma disperzija				309685,94	3481,75
Maksimalni iznos pojedinačne disperzije				80904,69	892,52
Srednja disperzija				19355,37	217,61

Ovde je b_0 srednja vrednost maksimalnog pritiska dobijena pri izvođenju eksperimenta, po ranije definisanom faktornom planu. To je kodirani regresivni polinom (svaki od faktora koji je njegov član može da ima samo dve vrednosti: +1 kada je na gornjem nivou i -1 kada je na donjem nivou). Najveći uticaj na maksimalni pritisak ima faktor X_2 – jedinična brzina sagorevanja, zatim jednak uticaj imaju faktori X_1 i X_4 (početna masa barutnog zrna i početna površina barutnog zrna), i na kraju faktor X_3 – početna masa baruta, što je već potvrđeno disperzivnom analizom.

Regresivnim polinomom (25), uz primenu vrednosti regresivnih koeficijenata za maksimalni pritisak barutnih gasova (iz tabele 7) dobijaju se dve vrednosti maksimalnog pritiska, odnosno njegova gornja i donja granica:

$$p_m = 3146,5625 + 73,6875 m_{z0} + 76,5625 u_{z0} + 51,1875 m_{b0} + 73,6875 S_{z0} + 1,6875 m_{z0}u_{z0} + 1,3125 m_{z0}m_{b0} + 1,4375 u_{z0}m_{b0} + 1,5625 m_{z0}S_{z0} + 1,6875 u_{z0}S_{z0} + 1,3125 m_{b0}S_{z0}$$

$p_m = 3430,6875$ – kada su faktori na gornjem nivou,

$p_m = 2862,4375$ – kada su faktori na donjem nivou.

U odnosu na srednju vrednost maksimalnog pritiska dobija se odstupanje od $\pm 284,125$ bara, što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na maksimalni pritisak barutnih gasova, jer ga menjaju za 9% od svoje srednje vrednosti.

Za veličinu početne brzine zrna kodirani regresivni polinom glasi:

$$V_0 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 \quad (26)$$

Analogno objašnjenju za prethodni regresivni polinom b_0 je srednja vrednost početne brzine dobijena pri izvođenju eksperimenta po ranije definisanom faktorskom planu. Očigledno je da najveći uticaj na početnu brzinu zrna ima X_2 – jedinična brzina sagorevanja, na drugom mestu je X_3 – početna masa baruta, dok jednak uticaj imaju faktori X_1 i X_4 (početna masa barutnog zrna i početna površina barutnog zrna), što je već potvrđeno disperzivnom analizom.

Regresivnim polinomom (26), uz primenu vrednosti regresivnih koeficijenata za početnu brzinu projektila (iz tabele 7) dobijaju se dve vrednosti početne brzine, odnosno njena gornja i donja granica:

$$V_0 = 726,875 + 6,125 m_{z0} + 8,5 u_{z0} + 8,375 m_{b0} + 6,125 S_{z0}$$

$V_0 = 756$ m/s – kada su faktori na gornjem nivou,

$V_0 = 697,75$ m/s – kada su faktori na donjem nivou.

U odnosu na srednju vrednost početne brzine zrna dobija se odstupanje od $\pm 29,125$ m/s, što ukazuje na to da ovi parametri bitno utiču na početnu brzinu projektila, jer je menjaju za 4% od svoje srednje vrednosti.

Prikaz rezultata proračuna

Na osnovu programskog rešenja [1 i 2] izvršen je proračun opisanog modela dvofaznog strujanja, sa srednjim vrednostima analiziranih polaznih parametara. Dobijeni rezultati proračuna mogu se prikazati tabelarno i grafički.

Kako se razmatra nestacionarni problem, osnovna veličina je vreme, a zatim s – masa radnog medijuma koja definiše

Vreme	Put	ε	ρ	u	u_b	E	p
ms	cm		kg/m ³	m/s	m/s	mJ/kg	bar
0,061	0,00	0,45952	30,67	0,000	0,000	3,952867	307,05
	0,28	0,45964	30,66	0,633	0,435	3,951914	306,83
	0,56	0,45977	30,64	1,229	0,871	3,951034	306,62
	0,84	0,45989	30,63	1,792	1,311	3,950262	306,41
	1,13	0,46002	30,62	2,326	1,756	3,949622	306,21
	1,41	0,46015	30,60	2,835	2,209	3,949128	306,03
	1,69	0,46028	30,59	3,324	2,670	3,948790	305,85
	1,97	0,46041	30,57	3,796	3,144	3,948612	305,68
	2,25	0,46054	30,56	4,256	3,631	3,948593	305,52
	2,53	0,46067	30,54	4,707	4,134	3,948728	305,38
	2,82	0,46081	30,53	5,153	4,654	3,949009	305,24
	3,10	0,46094	30,51	5,598	5,194	3,949424	305,11
	3,38	0,46108	30,49	6,045	5,756	3,949955	304,99
	3,66	0,46122	30,48	6,496	6,342	3,950578	304,88
	3,95	0,46135	30,46	6,953	6,953	3,951263	304,77
0,092	0,00	0,46943	49,90	0,000	0,000	3,941295	507,30
	0,28	0,46963	49,86	1,157	0,954	3,940753	506,79
	0,57	0,46982	49,82	2,280	1,909	3,940251	506,29
	0,85	0,47001	49,78	3,373	2,867	3,939808	505,80
	1,13	0,47021	49,74	4,439	3,831	3,939438	505,32
	1,42	0,47040	49,70	5,480	4,802	3,939149	504,84
	1,70	0,47060	49,66	6,500	5,783	3,938948	504,38
	1,99	0,47080	49,62	7,502	6,775	3,938838	503,92
	2,27	0,47099	49,58	8,489	7,781	3,938819	503,48
	2,56	0,47119	49,53	9,463	8,804	3,938891	503,04
	2,84	0,47139	49,49	10,427	9,844	3,939048	502,62
	3,12	0,47159	49,45	11,383	10,905	3,939284	502,20
	3,41	0,47179	49,41	12,335	11,989	3,939590	501,79
	3,69	0,47199	49,37	13,284	13,097	3,939952	501,39
	3,98	0,47219	49,32	14,233	14,233	3,940351	500,99

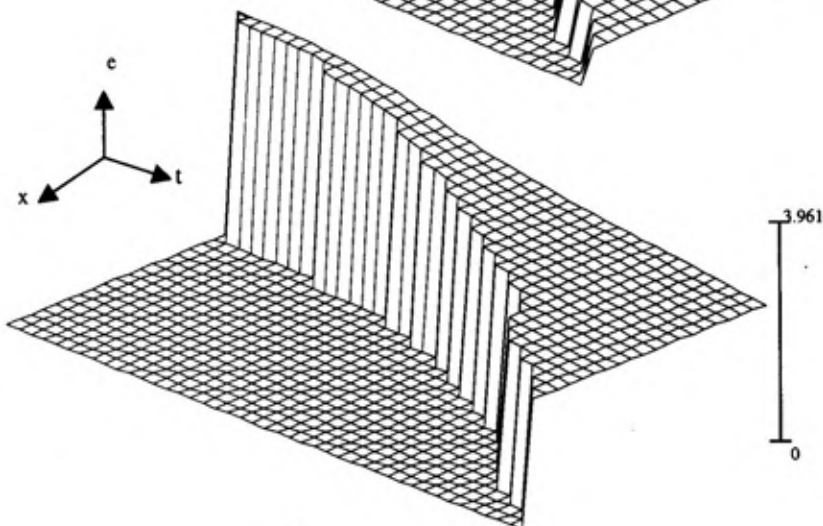
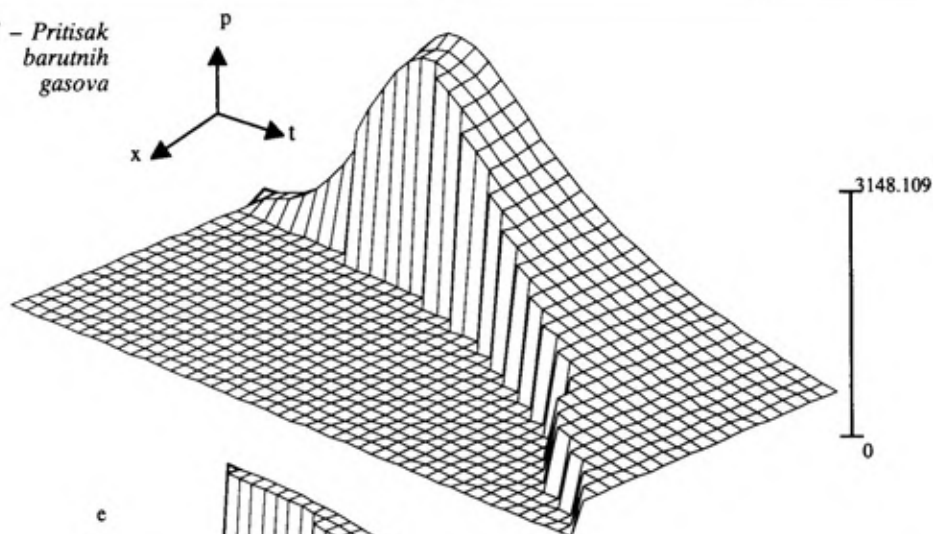
konačnu zapreminu u kojoj se odvija proces, a daje i put projektila u cevi oružja.

Pored maksimalnog pritiska barutnih gasova i početne brzine projektila, kao važnih UB karakteristika, koje su posebno analizirane u ovom radu, postoji čitav niz drugih veličina za koje se u svakom vremenskom intervalu vrši proračun: brzina barutnih zrnaca, brzina barutnih gasova, poroznost, energija barutnih

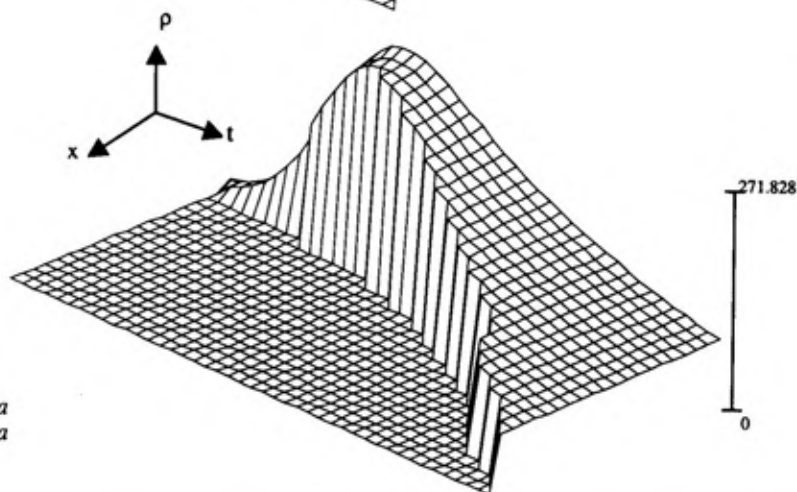
gasova, gustina barutnih gasova, temperatura površine barutnog zrna, brzina sagorevanja barutnog zrna, relativno sagorela masa baruta u zapremini i druge. Ovako veliki broj proračunskih veličina predstavlja problem za tabelarno prikazivanje svih veličina, pa se prikazuju samo odabrani parametri.

Radi ilustracije u tabeli 8 prikazan je način tabelarnog prikazivanja rezultata proračuna.

Sl. 1 – Pritisak
barutnih
gasova

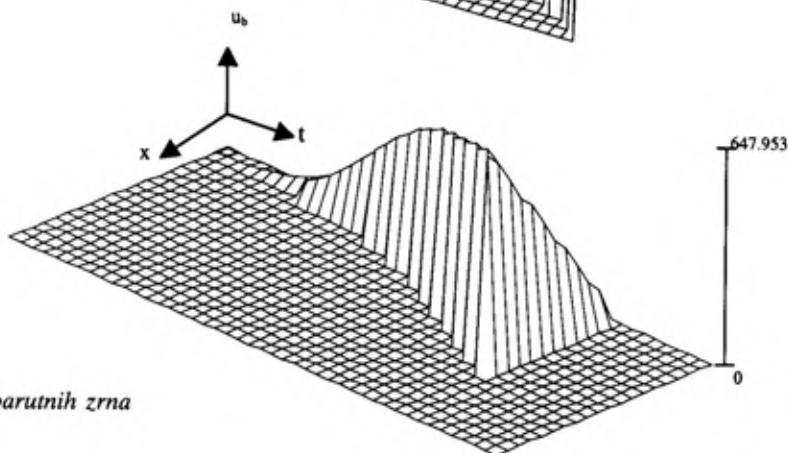
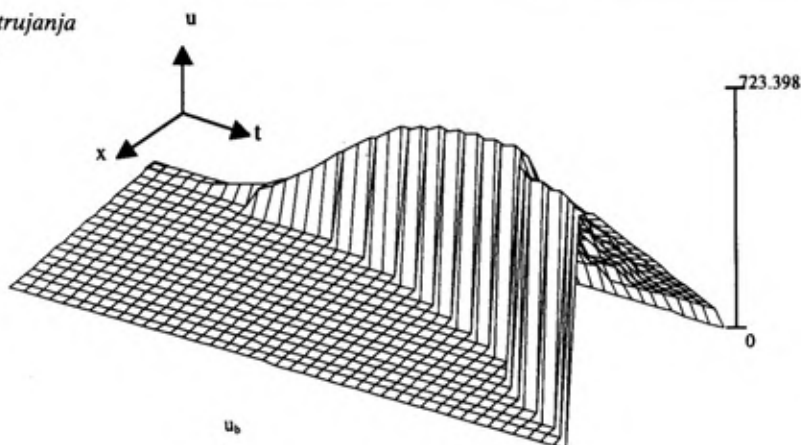


Sl. 2 –
Unutrašnja
energija
barutnih
gasova



Sl. 3 – Gustina
barutnih gasova

Sl. 4 – Brzina strujanja
barutnih gasova



Sl. 5 – Brzina barutnih zrna

U tabeli 8 date su vrednosti navedenih parametara strujanja u zapremini između dna cevi (čela zatvarača) i dna projektila. Dvofazni UB modeli u zapremini iza projektila daju različite vrednosti parametara za razliku od klasičnih modela koji daju samo srednje vrednosti ovih parametara. U tabeli 8 je za određeni trenutak u zapremini iza projektila prikazan primer za 15 tačaka za koje se daju vrednosti posmatranih parametara strujanja. Dvofazni UB modeli odslikavaju karakter promene posmatranih parametara u zapremini iza projektila.

Karakteristike proračuna: pritisak barutnih gasova – p , unutrašnja energija

barutnih gasova – e , gustina barutnih gasova – ρ , brzina strujanja barutnih gasova – u i brzina barutnih zrna – u_b grafički se prezentiraju u MATCAD-u (slike 1 do 5), kao prostorne funkcije vremena i položaja cevi. Sve karakteristike procesa opaljenja u cevi oružja su funkcije dve nezavisne promenljive (t, x), što znači da zavise i od vremena i od položaja u cevi, te se i opisuju prostornim krivim površinama. U tome je i osnovna razlika između klasične teorije unutrašnje balistike i teorije dvofaznog strujanja.

Funkcije su prikazane u aksonometrijskom položaju tako što je horizontalna ravan nezavisnih promenljivih (baza) za-

rotirana u smeru kazaljke na satu za 45° , a pravac posmatranja u odnosu na bazu je pod uglom od 25° . Podatak za vertikalnu skalu (na crtežu) predstavlja razmeru crtanja u odnosu na podatke proračuna i njime se reguliše visina crteža. Početak koordinatnog sistema je u najvišoj tački horizontalne ravni (baze) na crtežu. Od te tačke sa leve strane se pruža osa koja definiše položaj u cevi, a sa desne strane je vremenska osa. Promenom tri parametra, koja su prikazana na slikama, moguće je dobiti željeni aksonometrijski izgled date funkcije. Na slikama su prikazani samo vidljivi delovi površina, a moguće je prikazati i nevidljivi deo.

Takođe, na slikama se uočava horizontalna ravan i kriva površina u vidu brega – funkcijska površina. Svaka kriva površina ima dve rubne krive linije: desna rubna linija predstavlja krivu promene date funkcije na dnu cevi, a leva definiše krivu promene date funkcije uz dno zrna. Ako se data kriva površina preseče uzastopnim vertikalnim ravnima paralelnim vremenskoj osi, dobija se familija krivih koje definišu vremenske promene funkcije na određenim mestima u cevi. Slično tome, ako se data površina preseče vertikalnim ravnima, paralelnim osi položaja u cevi, dobiće se familija krivih koja definiše promenu funkcije duž cevi u fiksnim momentima.

Zaključak

Primenom faktorske analize na polazne parametre koji najviše utiču na model dvofaznog strujanja u cevi automatske puške 7,62 mm, dolazi se do sledećih zaključaka:

- analizirana su četiri parametra koji najviše utiču na izlazne UB karakteristike, kako samostalno tako i u kombinaciji sa ostalim parametrima. To su: jedinična brzina sagorevanja baruta, početna masa barutnog zrna, početna površina barutnog zrna i početna masa baruta;

- potpunim faktorskim planom eksperimenta obuhvaćeni su maksimalni pritisak barutnih gasova i početna brzina projektila. Analogno ovoj analizi moguće je da se postupak faktorske analize primeni i na ostale karakteristike strujanja (gustina barutnih gasova, poroznost, energija barutnih gasova, temperatura barutnih gasova, itd...);

- postupkom disperzivne i regresivne analize izvršeno je rangiranje odabranih parametara, formirani su regresivni polinomi, dobijene srednje vrednosti za maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila, kao i njihove dozvoljene granice odstupanja. Na osnovu dobijenih regresivnih koeficijenata i formiranih regresivnih polinoma moguća je dalja korekcija odabranih parametara radi usaglašavanja rezultata modela sa rezultatima eksperimenata;

- za pritisak barutnih gasova i brzinu projektila izvršena je faktorska analiza za određeni vremenski trenutak, odnosno trenutak postizanja maksimalnog pritiska i brzine projektila na ustima cevi (početna brzina);

- potpuni faktorski plan eksperimenta 2^4 primenjen je u ovom radu na teorijski model dvofaznog strujanja. Na isti način faktorska analiza se može primeniti i na eksperimentat [6], što iziskuje znatno više vremena i novčanih sredstava. Najbolje je da se realizuje kombinacija teorijskog modela i eksperimentalnih istraživanja.

Literatura:

- [1] Cvetković, M.: Unutrašnja balistika, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [2] Tančić, Lj.: Zbirka zadataka iz unutrašnje balistike, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1999.
- [3] ***: Propis o kvalitetu proizvoda (PKP), SOUR „Prvi partizan“ RO Namenska proizvodnja, Užice, 1987.
- [4] ***: Commission Internationale Permanente (CIP), Geneve, 1985.
- [5] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radnički univerzitet – „Radivoj Čirpanov“, Novi Sad, 1976.
- [6] Petrović, M.: Analiza novog oblika vodišta zrna za cev kal. 5,56 mm, doktorska disertacija, VTA, Beograd, 1999.

Dejan M. Savić
potporučnik, dipl. inž.
VP 4514-2 Podgorica
Dr Milan M. Šunjevarić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

FAMILIJA MSK MODULACIJA

UDC: 621.396.21:621.376

Rezime:

Trend razvoja savremenih mobilnih komunikacija zahteva primenu modulacionih metoda koje obezbeđuju izlazni signal što bolje spektralne efikasnosti i primenu pojačivača snage u klasi C. U tom pogledu GMSK modulacija ima veoma dobre osobine i predstavlja modulacionu metodu sa velikom perspektivom. Njenu efikasnost, uostalom, dokazuje primena u GSM mobilnim sistemima. Pojava softverski definisanog radija otvara sasvim novu dimenziju u projektovanju mobilnih sistema. Jedna od njih je i primena linearizovanih CPM signala.

Ključne reči: mobilne komunikacije, modulacija, digitalna modulacija, GMSK modulacija, linearizacija CPM signala, linearizacija GMSK signala, softverski definisan radio.

THE MSK MODULATION FAMILY

Summary:

In the era of new trends in the development of mobile communication systems, a modulation technique should provide an output signal with extraordinary spectral efficiency and application of the output power amplifier in the C class. The GMSK modulation technique has very good characteristics as well as perspective. Its efficiency is proved by the application in GSM mobile systems. The Software Defined Radio opens new dimensions in the design of mobile systems. One of them is the use of linearized CPM signals.

Key words: mobile communications, modulation techniques, digital modulation techniques, GMSK modulation technique, linearization of CPM signals, linearization of GMSK signals, Software Defined Radio.

Uvod

Uskoro će mesto analognih mobilnih komunikacionih sistema zauzeti digitalni sistemi sa svim svojim prednostima i nedostacima. Ovaj trend će vrlo brzo zaživeti kao standard u celom svetu. Dokaz tome jeste novi Evropski mobilni komunikacioni sistem treće generacije UMTS (Universal Mobile Communications System) koji je potpuno digitalan. U prilog tome govori i pojava softverski definisa-

nog radija koji predstavlja kamen temeljac sistema treće generacije, a koji je, takođe, potpuno digitalno zasnovan.

Prednosti koje pružaju digitalni sistemi u odnosu na analogne su velike. Mogućnost prenosa ne samo govora već i podataka svih oblika, povezivanje na svetsku mrežu (World Wide Web) i njeno korišćenje, integracija komunikacionih službi (ISDN), lakša zaštita privatnosti svih informacija i još mnogo toga, prednosti su koje pružaju digitalni sistemi.

Osnov ovih sistema predstavljaju digitalne modulatorne metode koje su se vrlo brzo razvijale u prethodnom periodu.

S obzirom na rasprostranjenost mobilnih komunikacionih sistema i porast broja mobilnih korisnika, kako trenutnih tako i potencijalnih, vidi se da je frekvenzijski spektar, kao prirodni resurs, vrlo ograničen. Zbog toga ga je potrebno što štedljivije koristiti, a u isto vreme ostvariti što više veza. Efikasno korišćenje radio-spektra povlači za sobom iznalaženje takvih modulatornih tehnika koje imaju što bolju spektralnu iskorišćenost.

GMSK (Gaussian filtered Minimum Shift Keying) jeste jedna izuzetno dobra digitalna modulatorna metoda koja ima veliku spektralnu iskorišćenost. Pri njenom opisivanju polazi se od MSK (Minimum Shift Keying) modulacije.

MSK modulacija

Modulacija MSK je binarna digitalna frekvenzijska modulacija sa indeksom $h = 0,5$ i spada u grupu metoda frekvenzijske modulacije. U literaturi se svrstava i u kontinualne fazne modulatorne (Continual Phase Modulation) metode, CPM metode. MSK se razvio iz potrebe da se poboljšaju dobre osobine OQPSK (Offset Quaternary Phase Shift Keying) modulacije, a može se posmatrati čak i kao specijalni slučaj OQPSK ili kao poseban slučaj CPFSK (Continuous-Phase Frequency Shift Keying) [1].

MSK signal matematički se može predstaviti izrazom:

$$s(t) = \cos \left[2\pi \left(f_0 + \frac{d_n}{4T_b} \right) t + x_n \right], nT_b < t < (n+1)T_b, d_n \in \{-1, +1\} \quad (1)$$

gde je:

f_0 – noseća frekvencija,

T_b – trajanje informacionog simbola (trajanje bita),

d_n – bipolarna povorka informacionih simbola.

Noseća frekvencija se menja na početku svakog informacionog simbola, tako da za $d_n = 1$ frekvencija postaje $f_0 + \frac{1}{4T_b}$, a za $d_n = -1$ frekvencija popri-

ma vrednost $f_0 - \frac{1}{4T_b}$. Faza x_n je konstantna za vreme svakog T_b intervala i određena je izrazom:

$$x_n = \left[x_{n-1} + \frac{\pi n}{2} (d_{n-1} - d_n) \right] \bmod 2\pi \quad (2)$$

Jednačina (1), koristeći trigonometrijski identitet za kosinus sume uglova, može se izraziti u kvadraturnoj formi na sledeći način:

$$s(t) = a_n \cos \frac{\pi t}{2T_b} \cos 2\pi f_0 t - b_n \sin \frac{\pi t}{2T_b} \sin 2\pi f_0 t = I(t) - Q(t), \quad (3)$$

$$nT_b < t < (n+1)T_b$$

Ovde je $a_n = \cos x_n = \pm 1$,
 $b_n = d_n \cos x_n = \pm 1$.

$I(t)$ se naziva komponenta u fazi, a $Q(t)$ komponenta u kvadraturi. Veličine $\cos(2\pi f_0 t)$ i $\sin(2\pi f_0 t)$ predstavljaju nosioce u fazi i u kvadraturi respektivno. Veličine $\cos(\pi t/2T_b)$ i $\sin(\pi t/2T_b)$ nazivaju se kosinusoidna, sinusoidna simbolička težina respektivno. Promenljive a_n i b_n zavise od dolazećeg simbola i mogu se menjati svakih T_b sekundi, jer je to period promene podataka. Međutim, zbog konstantnog faznog ograničenja, promenljiva a_n može da promeni vrednost samo pri prolasku $\cos(\pi t/2T_b)$ kroz nulu, a b_n

može da promeni vrednost samo pri prolasku $\sin(\pi t/2T_b)$ kroz nulu, jer su simbolske težine u oba kanala poluperiodične sinusoide sa trajanjem $2T_b$ sekundi.

Potrebno je primetiti da je x_n u jednačini (2) funkcija razlike između prethodnih i trenutnih podataka (diferencijalno kodovanje). Promenljive a_n i b_n mogu se posmatrati kao diferencijalno kodovane komponente povorke podataka d_n . Zato se MSK može posmatrati kao poseban slučaj OQPSK, pa se jednačina (3) može napisati u sledećem obliku:

$$s(t) = d_I(t) \cos \frac{\pi t}{2T_b} \cos 2\pi f_0 t - d_Q(t) \sin \frac{\pi t}{2T_b} \sin 2\pi f_0 t \quad (4)$$

gde je:

$d_I(t)$ – niz u fazi,
 $d_Q(t)$ – niz u kvadraturi sa dva puta dužim trajanjem simbola od trajanja bit-skog intervala, kako je ilustrovano na slici 1.

Ovaj oblik zapisa MSK signala naziva se i prekodovani MSK. Na slici 2 prikazan je način formiranja i vremenski oblik MSK signala, dok je na slici 3 prikazan njegov spektar i spektar BPSK, QPSK i OQPSK radi upoređenja.

GMSK modulacija

Modulacija MSK ima nekoliko dobrih osobina, a to su: konstantna anvelopa, relativno uzak spektar i mogućnost koherentne detekcije. Ipak, ona ne ispunjava nekoliko bitnih zahteva sa gledišta korišćenja u sistemima mobilnih komunikacija gde se primenjuje SCPC princip, to jest princip jednog nosioca po kanalu (Single Channel Per Carrier). Zbog zahteva za povećanjem kapaciteta mobilnih

sistema poželjna je primena spektralno efikasnih modulacija, to jest modulacija koje omogućavaju da se u što užem opsegu spektra prenese što više bita informacije. Kao što se vidi sa slike 3, MSK modulacija je lošija od QPSK i OQPSK modulacija. Zbog toga se pokušalo sa poboljšanjem spektralne karakteristike MSK modulacije uobličavanjem povorke informacionih bita. Naime, MSK se može generisati direktno primenom FM modulacije. Korišćenjem premodulacionog niskopropusnog filtra, kao na slici 4, uobličava se povorka informacionih bita pre formiranja MSK signala radi dobijanja što užeg spektra.

Da bi se formirao signal sa kompaktnim, uskim spektrom, NF premodulacioni filter mora da ima sledeće osobine:

- uzak propusni opseg i oštre ivice,
- mali preskok amplitude signala impulsnog odziva filtra,
- održavanje nivoa izlaznog signala iz filtra pri kojem se održava fazni pomak FM modulatora od nula do $\pi/2$.

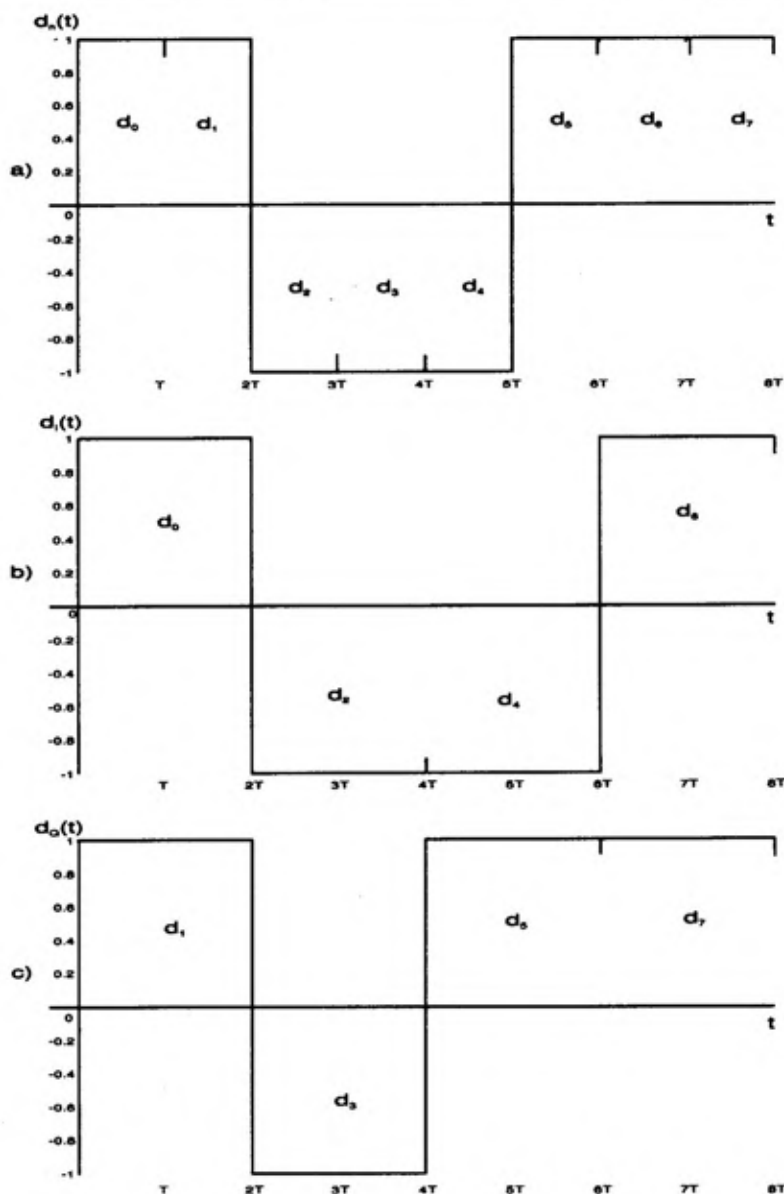
Prvi uslov obezbeđuje prigušenje komponenti viših frekvencija, drugi uslov je potreban da ne bi došlo do prevelike trenutne frekvencije devijacije, dok je treći uslov neophodan za koherentnu detekciju, kao na primer kod MSK. Ipak, bar dva ograničenja nisu suštinski bitna za efektu koherentnu binarnu FM modulaciju sa indeksom modulacije $h = 0,5$. Ovako premodulisani MSK signal može se koherentno detektovati zbog toga što se njegov prosečni fazni prelaz ne razlikuje od onog koji ima obična MSK.

Sve opisane karakteristike zadovoljava Gausov niskopropusni filter. Njegova amplitudska prenosna karakteristika prikazana je na slici 5 za slučaj različitih vrednosti proizvoda BT_b (propusni opseg NF filtra puta vremensko

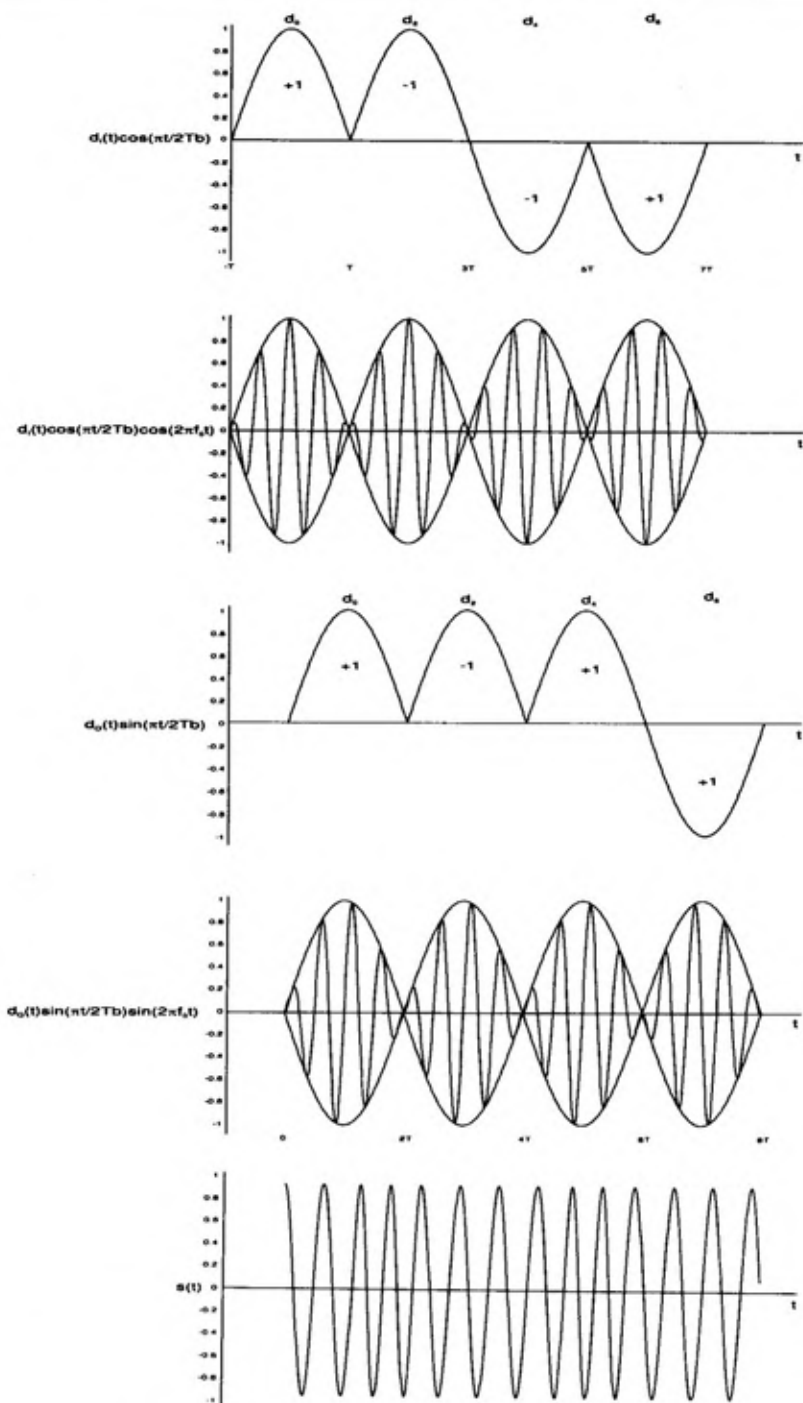
trajanje bitskog intervala). Pošto ispunjava sve navedene uslove, modifikovana MSK modulacija koja koristi premodulacioni Gausov niskopropusni filter predstavlja izvrsnu digitalnu modulaciju.

Ovako modifikovana MSK se naziva Gausova MSK ili GMSK zbog korišćenja Gausovog niskopropusnog filtra.

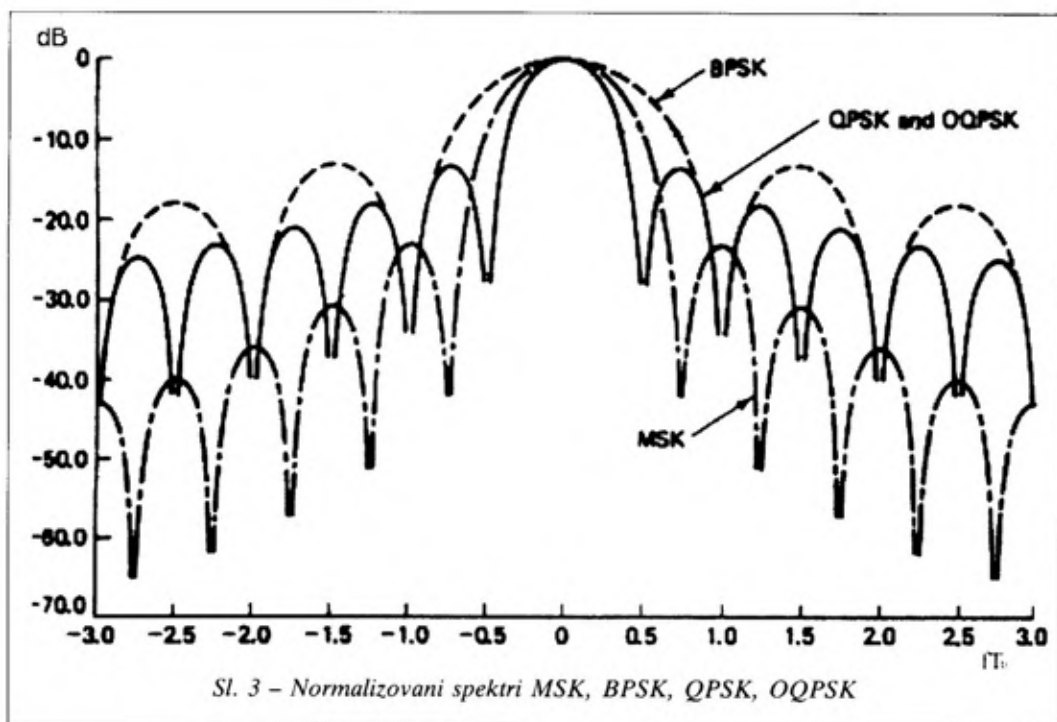
GMSK modulacija je digitalna modulaciona metoda, jer je poruka koju ona



Sl. 1 – Ilustracija kvadraturnih nizova:
a) – informacioni niz, b) – niz u fazi, c) – niz u kvadraturi

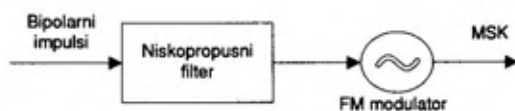


Sl. 2 – Formiranje MSK signala pomoću kvadraturnih komponenti



Sl. 3 – Normalizovani spektri MSK, BPSK, QPSK, OQPSK

prenosi binarna, a pripada i signalima sa kontinualnim faznim pomakom, jer je u osnovi fazna modulacija sa kontinualnom promenom faze. GMSK spada u grupu kombinovanih modulacionih metoda, tj. ona je digitalna modulacija sa kontinualnim faznim pomerajem.



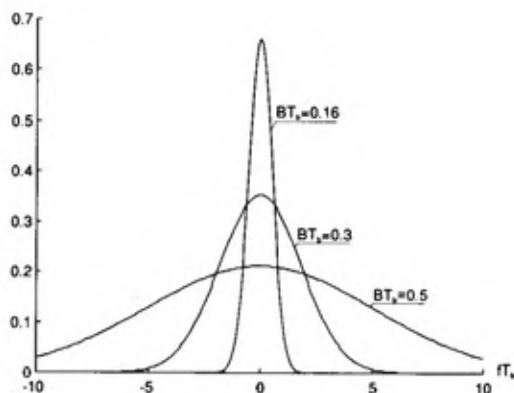
Sl. 4 – Dobijanje modifikovane MSK uz pomoć premodulacionog NF filtra

Osobine GMSK modulacije

GMSK signal može se zapisati u obliku u kojem se zapisuju CPM signali [2]:

$$s(t, d_n) = \sqrt{\frac{2E}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t, d_n) + \varphi_0) \quad (5)$$

Ovde je sa E obeležena energija signala na simolskom intervalu T_b , a sa φ_0 označena je početna faza. U daljem razmatranju pretpostavljeno je da je ona jednaka nuli. Time se ne gubi na opštosti,



Sl. 5 – Amplitudska prenosna karakteristika Gausovog niskopropusnog filtra za različite vrednosti BT_b

ali se pojednostavljuje proračun. Promenljiva faza u koju je utisnuta informacija određena je izrazom:

$$\varphi(t, d_n) = 2\pi h \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_n \int_{-\infty}^t g(\tau - nT_b) d\tau \quad (6)$$

gde je:

$g(t)$ – normalizovani frekvencijski impuls,

h – indeks modulacije, d_n – informaciona sekvenca binarnih simbola.

Modulacioni indeks GMSK signala je $h = 0,5$ dok je frekvencijski impuls određen izrazom [3]:

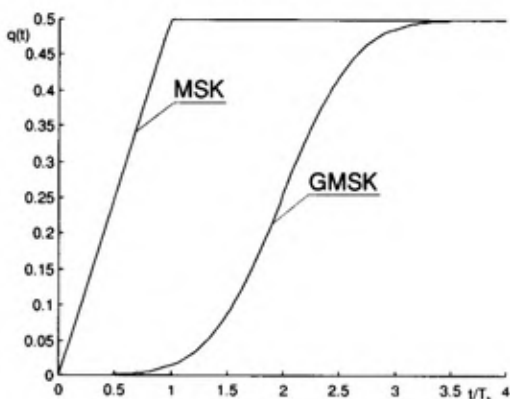
$$g(t) = \frac{1}{2T_b} \text{rect}\left(\frac{t}{T_b}\right) \otimes h_{\text{GAUS}}(t) \quad (7)$$

Frekvencijski impuls $g(t)$ predstavlja konvoluciju ($\otimes$) pravougaone funkcije rect (rectangle) centrirane u koordinatnom početku, dužine T_b i impulsnog odziva Gausovog niskopropusnog filtra $h_{\text{GAUS}}(t)$, koji se karakteriše proizvodom BT_b (proizvod propusnog opsega NF filtra 3dB i vremenskog trajanja bitskog intervala). Ovaj integral određen je na intervalu od $-\infty$ do $+\infty$. Uobičajeno je, radi lakšeg izračunavanja, da se ovaj integral ograniči na određenu dužinu LT_b koja se kreće u granicama $3 < LT_b < 5$. Time se vrlo malo gubi u preciznosti proračuna (unutar intervala čije trajanje je ograničeno trostrukom vrednošću standardne devijacije σ nalazi se 99,99% energije impulsa Gausovog oblika), dok se znatno uprošćava matematička manipulacija signalom.

Integral frekvencijskog impulsa naziva se fazni odziv i određen je formulom:

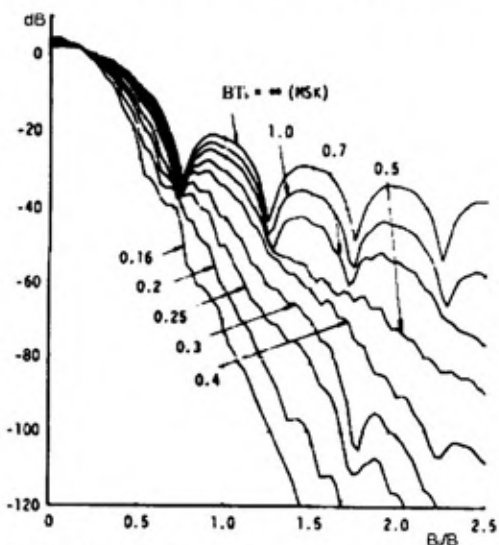
$$q(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau \quad (8)$$

Na slici 6 prikazan je izgled faznog odziva za MSK i GMSK za $L = 4$ i $BT_b = 0,3$ radi upoređenja. Može se uočiti osnovna prednost GMSK nad MSK signalom. Faza GMSK signala ima blag prelaz zbog kojeg se dobija uži spektar, dok MSK ima nagli prelaz i adekvatno tome znatno širi spektar.



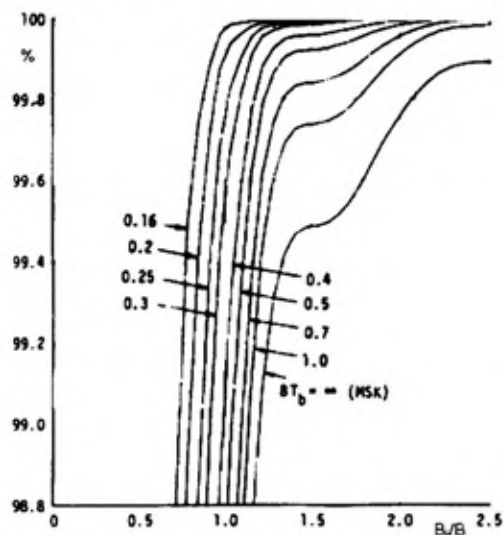
Sl. 6 – Fazni odziv za MSK i GMSK za $L = 4$ i $BT_b = 0,3$

Spektralnu gustinu snage GMSK signala ilustruje slika 7, gde su prikazane spektralne gustine snaga GMSK signala za različite vrednosti proizvoda BT_b .



Sl. 7 – Spektralna gustina snaga GMSK signala za različite vrednosti BT_b

Može se uočiti da je za manju vrednost BT_b proizvoda spektar kompaktniji. Za $BT_b = \infty$ spektar GMSK signala se podudara sa spektrom MSK signala, a za $BT_b = 0,16$ spektar GMSK signala je isti kao spektar TFM (Timed Frequency Modulation) signala.



Sl. 8 – Deo snage GMSK signala u kanalu

Na slici 8 prikazan je procenat snage u kanalu u zavisnosti od normalizovanog propusnog opsega preddetekcionog filtra B/B , gde je B_1 širina preddetekcionog filtra i B širina odgovarajućeg pravougao-nog NF filtra, odnosno, širina kanala [4]. U tabeli 1 prikazana je zauzetost opsega

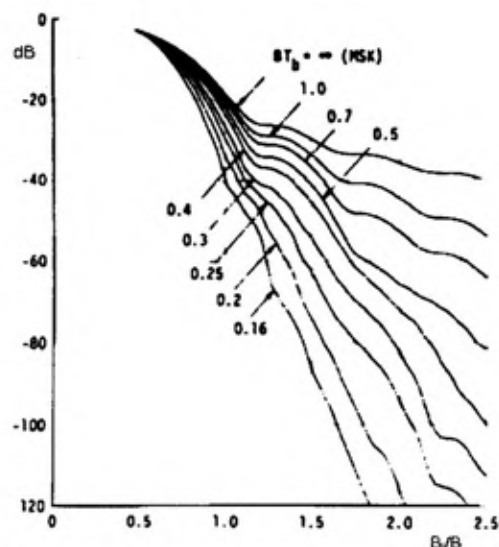
Tabela 1

Zauzetost opsega u GMSK, MSK i TFM signalu u zavisnosti od zadate snage

BT_b		Procenat snage (%)			
		90	99	99,9	99,99
GMSK	0,2	0,52	0,79	0,99	1,22
	0,25	0,57	0,86	1,09	1,37
	0,5	0,69	1,04	1,33	2,08
MSK		0,78	1,20	2,76	6,00
TFM		0,52	0,79	1,02	1,37

za zadati procenat snage signala gde je BT_b promenljiva. Radi uporedjenja prikazana je zauzetost i za MSK i TFM signale.

Na slici 9 prikazan je odnos snage signala koja se preliiva u susedne kanale i ukupne snage signala u posmatranom kanalu. Ovde je kao apscisa uzet normalizovani razmak između kanala $f_s T_b$ i pretpostavljeno je da oba kanala imaju idealne pravougaone propusne karakteristike $B_1 T_b = 1$.



Sl. 9 – Odnos snage signala prelivene u susedne kanale i ukupne snage u posmatranom kanalu

Analiziraće se uticaj delovanja aditivnog belog Gausovog šuma na performanse GMSK signala u slučaju koherentne detekcije. Pošto je to digitalna modulacija uticaj smetnje izražava se verovatnoćom greške po bitu, to jest sa BER-om (Bit Error Rate).

Kod svih binarnih modulacija, u uslovima velikog odnosa signal/šum SNR (Signal to Noise Ratio), BER se može aproksimirati izrazom [4]:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{d_{\min}}{2\sqrt{N_0}} \right) \quad (9)$$

gde je:

N_0 – spektralna gustina snage aditivnog belog Gausovog šuma, $\text{erfc}()$ – komplementarna funkcija greške:

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2} du \quad (10)$$

Veličina $d_{\min}$ predstavlja minimalnu vrednost rastojanja d između binarnih simbola u Hilbertovom prostoru, posmatrano tokom vremenskog intervala od t_1 do t_2 . Rastojanje d definisano je izrazom:

$$d^2 = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} |u_1(t) - u_{-1}(t)|^2 dt \quad (11)$$

gde su $u_1(t)$ i $u_{-1}(t)$ kompleksni oblici signala za oba binarna stanja.

Jednačina (9) daje graničnu vrednost koja se dobija pri maksimalnoj verovatnoći detekcije. Ova jednačina može da se koristi kao aproksimativno rešenje za BER karakteristiku GMSK sa koherentnom detekcijom.

Na slici 10 prikazane su normalizovane vrednosti za $d_{\min}$ kod GMSK signala u zavisnosti od BT_b . Energija signala po bitu E_b određena je izrazom:

$$E_b = \frac{1}{2} \int_0^{T_b} |u_1(t)|^2 dt = \frac{1}{2} \int_0^{T_b} |u_{-1}(t)|^2 dt \quad (12)$$

U slučaju $BT_b \rightarrow \infty$, što odgovara MSK, $d_{\min}$ dostiže vrednost $2\sqrt{E_b}$ koja se dobija pri prenosu antipodnih simbola.

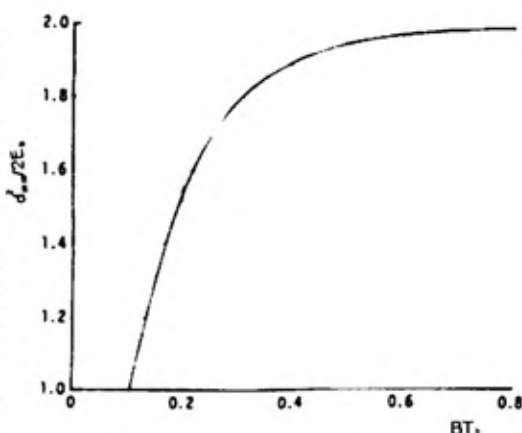
Na slici 11 prikazana je degradacija performansi GMSK signala zbog antipodnog prenosa u zavisnosti od BT_b . Degradacija nastaje zbog intersimbolske interferencije koja se dešava u premodulacionom filtru. Ova slika pokazuje da je degradacija mala u poređenju sa degradacijom kod antipodnog prenosa i da zahte-

vani odnos E_b/N_0 GMSK sa $BT_b = 0,25$ ne prelazi 0,7 dB.

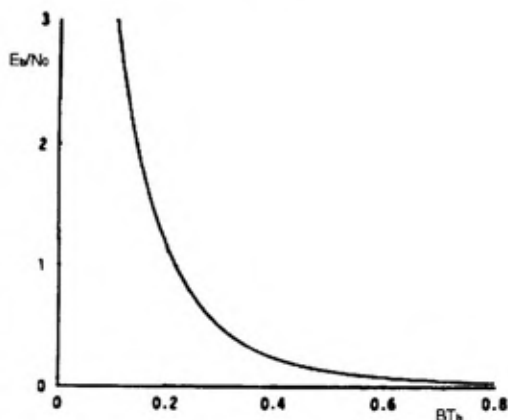
Predstavljanje CPM signala pomoću superpozicionih impulsa

GMSK signal predstavlja posebnu klasu CPM signala čija se kompleksna anvelopa može predstaviti izrazom:

$$s(t) = \exp \left[j2\pi h \sum_{n=0}^{\infty} d_n q(t - nT_b) \right] \quad (13)$$



Sl. 10 – Normalizovana minimalna distanca GMSK signala



Sl. 11 – Teorijska E_b/N_0 degradacija GMSK signala

U radovima [2] i [3] pokazano je da se CPM signal može egzaktno konstruisati superpozicijom $N_c = 2^{L-1}$ impulsa, koji imaju poseban izgled i označavaju se sa C_K :

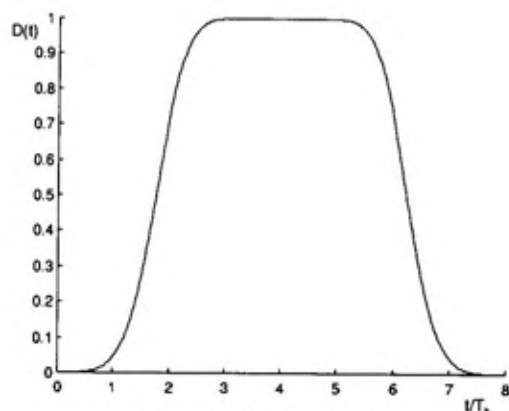
$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{K=0}^{N_c-1} \exp[j\pi h A_{K,n}] C_K(t-nT_b) \quad (14)$$

Ovde je:

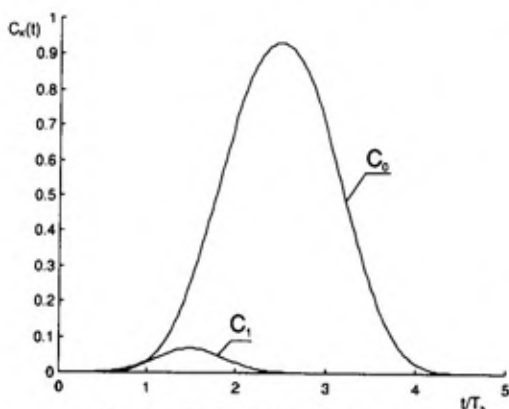
$$A_{K,n} = \sum_{i=0}^n d_i - \sum_{l=1}^{L-1} d_{n-l} \cdot \alpha_{K,l} \quad (15)$$

$$K = \sum_{l=1}^{L-1} 2^{l-1} \alpha_{K,l}, \quad \alpha_{K,l} \in \{0, 1\} \quad (16)$$

$$0 \leq K \leq (2^{L-1} - 1) \quad \text{i} \quad K \in N_0 \quad (17)$$



Sl. 12 – Izgled D impulsa



Sl. 13 – Izgled impulsa C_0 i C_1

Binarna promenljiva $\alpha_{K,l}$ uvedena je zbog binarne reprezentacije indeksa K. Superpozicioni impulsi C_K računaju se pomoću funkcije:

$$D(t) = \begin{cases} \sin\left(\pi \int_0^t g(\tau) d\tau\right), & 0 \leq t \leq LT_b \\ \sin\left[\frac{\pi}{2} - \pi \int_0^{t-LT_b} g(\tau) d\tau\right], & LT_b \leq t \leq 2LT_b \\ 0, & \text{drugde} \end{cases} \quad (18)$$

i izraza:

$$C_K(t) = D(t) \prod_{l=1}^{L-1} D[t + (l+L \cdot \alpha_{K,l})T_b], \quad (19)$$

$$0 \leq t \leq T_b \cdot \min_{l=1}^{L-1} [L \cdot (2 - \alpha_{K,l}) - 1]$$

Opisivanje CPM signala pomoću C_K impulsa omogućava predstavljanje GMSK signala pomoću njegove linearne aproksimacije.

Linearna aproksimacija GMSK signala

Princip linearne aproksimacije GMSK biće objašnjen na primeru. Odbran je GMSK signal sa $L = 4$ i $BT_b = 0,3$. Ovaj GMSK može se predstaviti superpozicijom ukupno $N_c = 2^{4-1} = 8$ impulsa. Na slikama 12 do 16 prikazani su D i C_K impulsi čijom superpozicijom se dobija egzaktni GMSK signal sa $L = 4$ i $BT_b = 0,3$.

Sa ovih slika može se zapaziti da su svi C_K impulsi ograničeni i kraći od $(L+1)T_b$, i da se amplitude pojedinih C_K impulsa veoma razlikuju.

Ograničenost C_K impulsa po trajanju proističe iz ograničavanja dužine trajanja frekvencijskog impulsa na LT_b . Ovo ograničenje uvedeno je radi lakšeg računanja.

Proističe da je konstrukciju GMSK signala superpozicijom C_K impulsa stvarno moguće ostvariti, što se vidi iz sledećeg razmatranja.

Ukoliko se posmatraju amplitude pojedinih C_K impulsa videće se da se one među sobom znatno razlikuju. Amplituda C_0 je oko jedan, C_1 ima amplitudu 10^{-1} , C_2 i C_3 reda 10^{-5} , dok C_4 , C_5 , C_6 i C_7 imaju amplitudu reda 10^{-12} . Takođe, vidi se da je C_0 impuls sa najdužim trajanjem dok su ostali bar za $2T_b$ kraći od njega. To znači da C_0 u superpozicionoj sumi učestvuje sa najvećim udelom.

U [3] je pokazano da se u nultom, $C_0(t)$, impulsu nalazi 99% energije signala. Shodno tome, superpoziciona suma (14) za ovaj primer se može napisati u sledećem obliku:

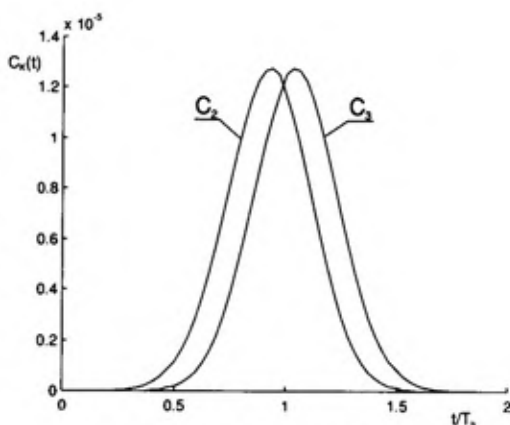
$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(j\pi h \sum_{i=0}^n d_i\right) C_0(t - nT_b) + \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{K=1}^7 \exp(j\pi h A_{K,n}) C_K(t - nT_b) = S^{\text{lin}}(t) + S^{\text{nl}}(t) \quad (20)$$

Signal se sastoji od dva dela, prvog koji je sastavljen samo od linearne kombinacije nultog C_0 impulsa i drugog koji je nelinearna kombinacija ostalih C_K impulsa. Pošto se u linearnom delu nalazi 99% energije signala, logična je sledeća aproksimacija:

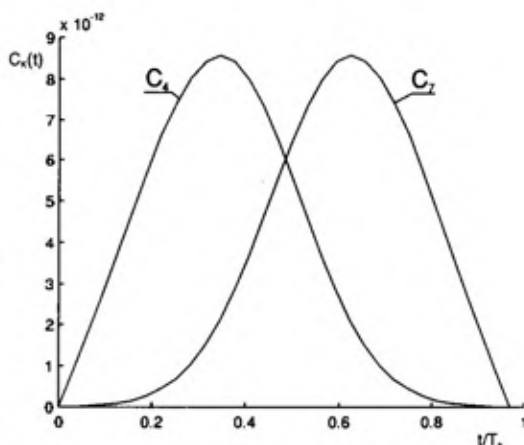
$$s(t) \approx S^{\text{lin}}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} z_n C_0(t - nT_b) \quad (21)$$

$$z_n = \exp\left(j\pi h \sum_{i=0}^n d_i\right) \quad (22)$$

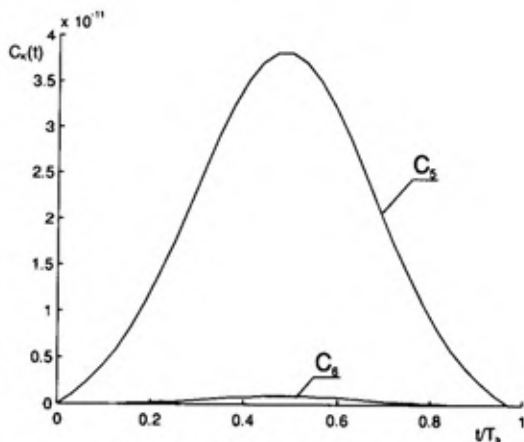
nazvana linearna aproksimacija GMSK signala, koja se može proširiti i na bilo koji CPM signal i nazvati linearna aproksimacija CPM signala.



Sl. 14 – Izgled impulsa C_2 i C_3



Sl. 15 – Izgled impulsa C_4 i C_7



Sl. 16 – Izgled impulsa C_5 i C_6

Karakteristike linearne aproksimacije GMSK signala

Pitanje je šta se gubi, a šta dobija linearnom aproksimacijom egzaktnog GMSK signala?

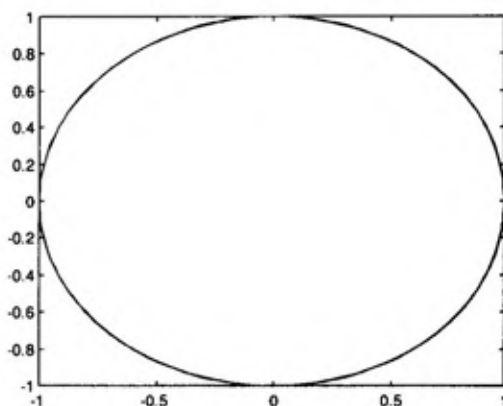
Na slikama 17 i 18 prikazane su kompleksne anvelope egzaktnog i linearizovanog GMSK signala. Sa njih se vidi da aproksimacija izaziva fluktuacije u kompleksnoj anvelopi signala. Ove fluktuacije izraženije su kada se koristi premodulacioni NF filter sa manjim BT_b proizvodom. Ako taj proizvod iznosi 0,5 tada je GMSK sličan linearnoj MSK i tu su fluktuacije znatno manje izražene (slika 19).

Na slikama 20 i 21 prikazani su dijagrami oka egzaktnog i linearizovanog GMSK signala. Sa njih se vidi da egzaktni GMSK ima uži otvor dijagrama oka, što ukazuje na to da je linearizovana GMSK otpornija na šum od egzaktnog GMSK.

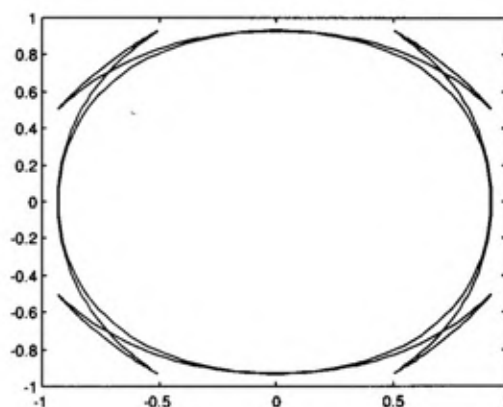
Na slikama 22, 23, 24 i 25 prikazane su spektralne gustine snage egzaktnog i linearizovanog GMSK signala za različite vrednosti proizvoda BT_b . Uočava se da su spektralna gustina snage linearizovanog i egzaktnog GMSK signala skoro identične.

Zaključak

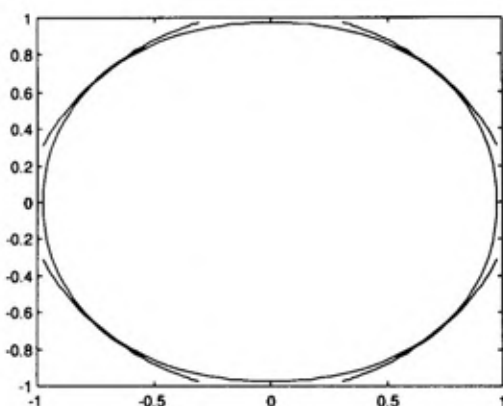
Osnovne karakteristike (kompleksna anvelopa, dijagram oka i spektralna gustina snage) egzaktno definisanog GMSK signala i linearne aproksimacije GMSK signala imaju zanemarljive razlike. U radu [3], simulacijom prenosa po mobilnom radio-kanalu sa običnim prijemnikom (Viterbijev ekvilajzer) pokazano je da oba modulaciona postupka imaju skoro istu verovatnoću bitske greške. Upoređivanjem sa drugim digitalnim



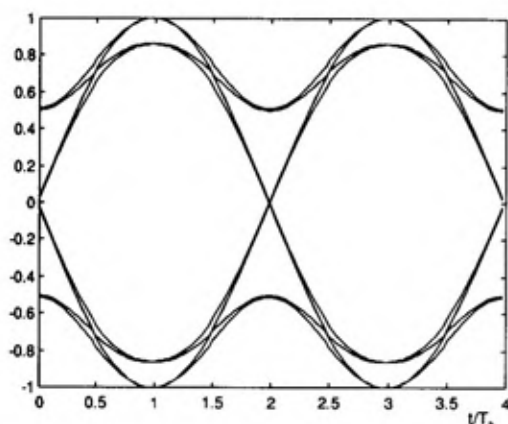
Sl. 17 – Kompleksna anvelopa egzaktnog GMSK signala sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



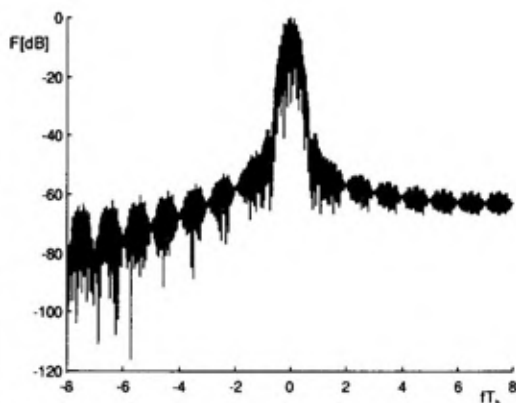
Sl. 18 – Kompleksna anvelopa linearizovanog GMSK signala sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



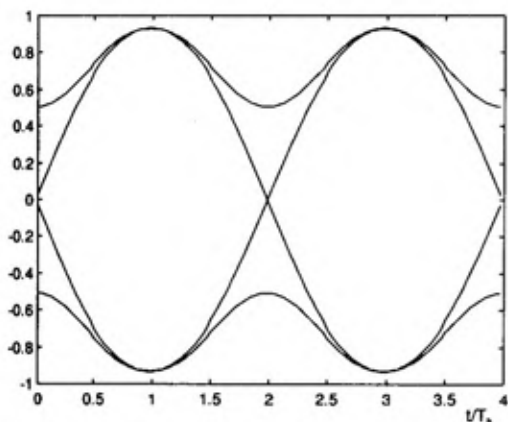
Sl. 19 – Kompleksna anvelopa linearizovanog GMSK signala sa $BT_b = 0,5$ i $L = 4$



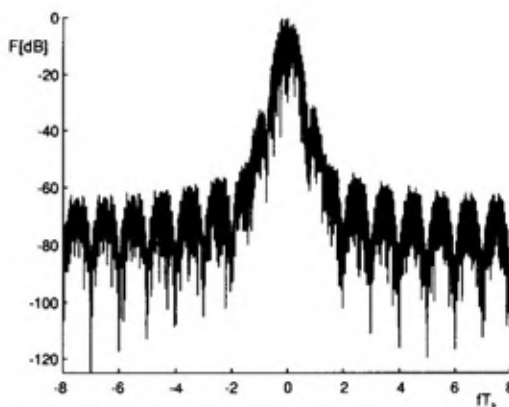
Sl. 20 – Dijagram oka egzaktnog GMSK signala sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



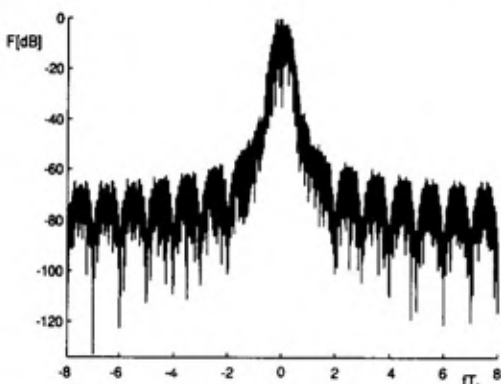
Sl. 23 – Spektralna gustina snage linearizovanog GMSK sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



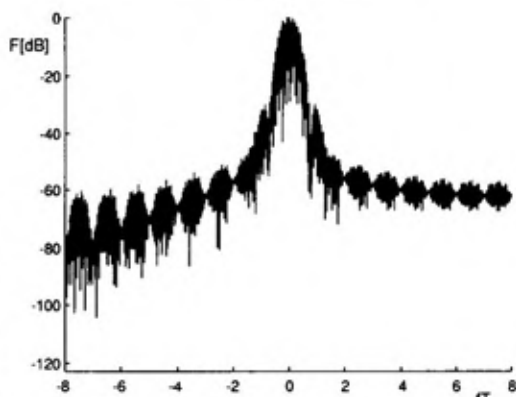
Sl. 21 – Dijagram oka linearizovanog GMSK signala sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



Sl. 24 – Spektralna gustina snage egzaktnog GMSK sa $BT_b = 0,5$ i $L = 4$



Sl. 22 – Spektralna gustina snage egzaktnog GMSK sa $BT_b = 0,3$ i $L = 4$



Sl. 25 – Spektralna gustina snage linearizovanog GMSK sa $BT_b = 0,5$ i $L = 4$

modulacionim metodama (MSK, BPSK, QPSK i OQPSK) vidi se da je GMSK modulacija vrlo superiorna u smislu spektralne efikasnosti, što je izuzetno važno za mobilne komunikacije. Linearna aproksimacija GMSK signala omogućava njenu relativno jednostavnu implementaciju u softverski definisanom radiju [5]. Navedene karakteristike govore da je to izuzetno dobra modulaciona tehnika za buduće mobilne sisteme treće generacije.

Literatura:

- [1] Sklar, B.: Digital Communication: Fundamental And Applications, Aero Space Corporation El Segundo California and University of California, Prentice Hall, 1998.
- [2] Jung, P.: Laurent's representation of binary digital continuous phase modulated signals with modulation index 1/2 revisited, IEEE Trans. on Comm., Vol. 42, pp. 221-224, 1994.
- [3] Wiesler, A.; Machauer, R.; Jondral, F.: Comparison of GMSK and linear approximated GMSK for use in Software Radio, Proceedings of IEEE ISSTA '98., Sun City, South Africa, pp. 557-560, 1998.
- [4] Murota, K.; Hirade, K.: GMSK modulation for digital mobile radio telephony, IEEE Trans. on Comm., Vol. 29, no. 7, pp. 1044-1050, July 1981.
- [5] Šunjevarić, M.; Savić, D.: Jedna realizacija GMSK modulatora, XLIII konferencija ETRANA-a, septembar 1999.

Dr Branislav Todorović,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

Mr Radiša Stefanović,
potpukovnik, dipl. inž.
Mr Mladen Arnautović,
dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ ZRAČENJA MOBILNIH TELEFONA

UDC: 621.396.21:537.531

Rezime:

U ovom radu ukazano je na delovanje zračenja mobilnih telefona na ljudski organizam. Postojeći standardi zasnivaju se na termičkom efektu elektromagnetskog polja na ljudski organizam. Dopuštene vrednosti iz standarda upoređene su sa proračunskim podacima o jačini polja, izmerenim vrednostima polja i eksperimentalnim podacima iz literature, na osnovu čega je određena bezbedna udaljenost antene. Ukazano je da, pored termičkog efekta, postoji i interferencija i homeopatski efekat čiji uticaji još uvek nisu istraženi. Dato je nekoliko saveta o načinu korišćenja mobilnih telefona, radi smanjenja štetnog zračenja.

Ključne reči: mobilni telefon, radio-talasi, zračenje, jačina elektromagnetskog polja, specifični stepen apsorpcije.

EFFECTS OF MOBILE PHONE RADIATION

Summary:

This paper points out the effects of mobile phone radiation on a human organism. The existing standards are based on electromagnetic field thermal effects on a human organism. The permissible values from the standards have been compared with the calculation results concerning field intensity, measured field values and experimental data from literature. This served as a base for the determination of the antenna safety distance. Besides the thermal effect, there is interference as well as homeopathic effect whose influence has not been investigated yet. Some advice on using mobile phones are given in order to reduce harmful radiation.

Key words: mobile phone, radio waves, radiation, intensity of electromagnetic field, specific absorption rate.

Uvod

Nagli razvoj komunikacione tehnologije u poslednjih nekoliko godina doveo je do masovne primene mobilnih telefona. Početkom 2000. godine broj korisnika mobilnih telefona u svetu procenjuje se na blizu 500 miliona. Samo u Velikoj Britaniji u aprilu 2000. godine registrovano je preko 26 miliona korisnika, što znači da skoro 45% populacije poseduje

mobilni telefon. U nekim zemljama (npr. Finska) ovaj procenat je veći i od 50%. Mnogo je firmi u svetu koje se utrkuju u proizvodnji ovih aparata, što se pre svega ogleda u dizajnu, veličini, te mogućnostima primene, što i uslovljava njihovu cenu. Princip rada mobilnih telefona identičan je bez obzira na proizvođača, a uslovljen je analognim ili digitalnim prenosom. Poslednjih meseci na tržištu su se pojavili i uređaji koji omogućavaju pri-

stup INTERNETU (Mobile IP), a uskoro se mogu očekivati i mobilni uređaji za prenos slike (Mobile Video). Gotovo svi proizvođači reklamiraju mogućnosti rada i prednosti svojih mobilnih telefona, ali gotovo nikako, ili vrlo oskudno govore o njihovom štetnom uticaju na ljudski organizam.

Ovim radom ukazuje se na štetno delovanje električnog polja mobilnog telefona. U vezi s tim date su određene preporuke o načinu korišćenja a ukazano je i na pravce i dalji razvoj mobilnih telefona.

Delovanje elektromagnetskog polja na organizam

Efekti delovanja elektromagnetskog polja (EM) na ljudski organizam zavise od njegovog intenziteta i frekvencije [3]. Radi sagledavanja uticaja frekvencije, delovanje se razmatra preko dva frekvencijska pojasa, i to: do 30 kHz – niskofrekvencijsko polje, od 30 kHz do 300 GHz – visokofrekvencijsko polje.

Niskofrekvencijska polja izazivaju površinske efekte, kao što je nadražaj čula, dizanje kose, poremećaj rada pejsmejkera, slušnih aparata i drugih metalnih implantata u organizmu, a efekat je srazmeran jačini polja. Slabija polja ljudski organizam može da kompenzuje, ali polja većeg intenziteta mogu dovesti do trajnog oštećenja zdravlja.

Visokofrekvencijska polja posebno štetno deluju na ljudski organizam, jer se ova energija raspršuje, reflektuje ili apsorbuje u telo u zavisnosti od jačine i frekvencije polja, od dimenzija tela, položaja tela i električnih osobina tkiva. Najizrazitiji efekat ovog polja je zagrevanje, bilo lokalno, bilo celog tela.

Pošto se zagrevanje generiše u unutrašnjosti tela, ova toplota se ne zapaža ili se zapaži isuviše kasno. Ukoliko organizam nije sposoban da oslobađa ovu toplotu brzinom kojom se ona stvara doći će do porasta unutrašnje temperature tela, što može dovesti do oštećenja tkiva. Ako je povećanje temperature veliko i dugotrajnije, može nastupiti i smrt. Kako se, uglavnom prekomerna temperatura unutrašnjih organa oslobađa putem krvotoka, termalnim oštećenjima najpodložnija su očna sočiva i polni organi, ali i centralni nervni sistem što uzrokuje nerveze, vrtoglavice, povećani zamor, bolove u glavi, gubitak koncentracije, nesаницe, razdražljivost itd.

Štetni uticaj zračenja najviše se ispoljava na plod trudnica i decu, jer rezonantna frekvencija na kojoj se najviše apsorbuje zračenje u glavi čoveka iznosi oko 400 MHz, a kod dece oko 700 MHz [6], što je blizu radne frekvencije današnjih mobilnih telefona od 900 MHz. Treba napomenuti da se veći deo energije zračenja apsorbuje u površinskim tkivima, koži, kostima glave i mišićima, manji u glavi.

Impulsna polja kod digitalnih mobilnih telefona druge generacije imaju veći uticaj na biosisteme nego analogni signali mobilnih telefona prve generacije [6] jer unose dodatno zračenje slično EM zračenju ekstremno niskih frekvencija. Najveće količine energije ljudsko telo može da apsorbuje na frekvencijama od 30 do 300 MHz.

Za radnike profesionalno izložene delovanju EM polja postavlja se granica dozvoljenog zračenja izražena kroz specifični stepen apsorpcije SAR (Specific absorption rate). Navedena veličina predstavlja snagu zračenja absorbovanu u jedinici mase pojedinog tkiva [4], [8]:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E^2 \quad (W/kg) \quad (1)$$

gde je:

σ – provodnost tkiva izloženog zračenju (S/m),

ρ – specifična gustina tkiva (kg/m^3),

E – električno polje (V/m).

Ekperimentalna ispitivanja su pokazala da kod čoveka koji se nalazi u stanju mirovanja, pri zračenju u trajanju od oko 30 minuta, ako vrednost SAR-a tela iznosi od 1 do 4 W/kg, dolazi do povećanja temperature tkiva koja ne prelazi $1^\circ C$. Izlaganje zračenju većem od 4 W/kg može da izazove povećanje temperature tkiva koja daje štetne efekte, jer termoregulatorni mehanizmi ne mogu da savladaju nastalo termičko opterećenje [6]. U odnosu na navedenu vrednost za granicu profesionalnog izlaganja RF (radio-frekvencijskom) zračenju za celo telo uzima se zaštitni faktor 10, a za opštu populaciju i dodatni zaštitni faktor 5 u odnosu na profesionalno izlaganje, što iznosi 0,08 W/kg.

Treba naglasiti da SAR faktor uzima u obzir samo termički efekat zračenja mobilnog telefona na ljudski organizam. Ovaj efekat je najlakše izmeriti, ali pitanje je da li je on dominantan. Uticaj interferencije elektromagnetskih talasa mobilnog telefona i moždanih talasa, koliko je poznato, do danas nije razmatrano. Takođe, do danas nije poznato u kojoj meri elektromagnetski talasi menjaju strukturu molekula. Iskustvo homeopatske medicine [9], dugo više od 200 godina, ukazuje na to da molekuli u magnetskom polju menjaju svoju strukturu, što se može dokazati metodama spektroskopske analize [10].

Karakteristike mobilnih stanica sa stanovišta RF zračenja

Danas se često koriste bežični telefoni koji se mogu podeliti u nekoliko grupa.

Prevozna varijanta telefona, kao i radio-telefoni u automobilima, poseduju antenu postavljenu na krovu vozila, krilu, staklu ili na braniku. Zbog fizičke razdvojenosti antene i korisnika i zaštitne uloge metalne konstrukcije automobila ova grupa telefona nije značajna sa aspekta moguće izloženosti RF zračenju, iako poseduju relativno veliku predajnu snagu reda do 100 W. Prema dostupnim podacima zračenje ove grupe telefona može preći dopušteni nivo na udaljenostima 30 do 50 cm od antene.

Bežični kućni telefoni imaju malu baznu stanicu na fiksnom telefonskom priključku. Uglavnom rade na frekvencijama oko 49 MHz i ne predstavljaju značajan izvor RF zračenja, jer su veoma male snage, reda jednog milivata.

Mobilni telefoni funkcionišu sa snagom reda 1 W, a u toku održavanja veze antena se nalazi u neposrednoj blizini glave. Pored zračenja pojedinačnih, ličnih mobilnih telefona, nivo RF zračenja se može povećati na ograničenom prostoru, kao što su hale, sportski i trgovački centri, veće robne kuće gde se nalazi veliki broj korisnika, ili ako se u njihovoj lokalnoj zoni nalazi bazna stanica. U svetu se sada koriste analogni i digitalni celularni mobilni telefoni. U Jugoslaviji se primenjuju analogni NMT-900 (Nordic Mobile Telephone) i digitalni GSM (Global System for Mobile). Oba sistema rade u frekvencijskom pojasu 890 MHz do 960 MHz, sa snagama od 0,1 W do 1 W kod NMT, te 0,02 W do 2 W kod GSM. U

perspektivi je prelazak sa frekvencije od 900 MHz, na 1800 MHz.

Početkom 1998. godine broj pretplatnika u GSM mreži kod nas je iznosio oko 60 hiljada, a u NMT mreži oko 10 hiljada. Sada se broj digitalnih telefona svakodnevno povećava i trenutno se procenjuje na oko 500 hiljada, dok je razvoj NMT mreže zaustavljen.

Iako vrlo malih dimenzija, mase svega 135 grama i debljine oko 2 cm, mobilni telefon je veoma značajan izvor RF zračenja, jer se u toku korišćenja nalazi u neposrednoj blizini glave, uglavnom na udaljenosti 2 do 7 cm. Više od 50% izlazne snage zračenja kod mobilnog telefona apsorbuje se u glavi korisnika [6], što je vrlo nepovoljno, pa se očekuju konstrukcije sa manjom snagom i antenom, koja će bolje koristiti energiju. Mala štap-antena stvara jako elektromagnetsko polje, tako da se glava korisnika nalazi u bliskom polju zračenja. Deo energije se apsorbuje u tkivu glave, koži, potkožnom tkivu, kostima, očima i moždanom tkivu u blizini uha. Kako su u bliskom polju električno i magnetno polje sinfazni, njihovo merenje je veoma komplikovano i nepouzdan, jer unošenje sonde za merenje dovodi do poremećaja polja. Podaci korišćeni u ovom radu odnose se na proračunate vrednosti.

Zračenje baznih stanica

Antene baznih stanica nalaze se na stubovima visine 15 do 50 m ili na zgradama sa antenskim pojačanjem deset i više puta prema horizontu. Rasipanje zračenja nadole i bočno je relativno malo. Intenzitet zračenja gustine snage u dalekoj zoni opada sa kvadratom rastojanja od antene.

Prema švedskom standardu SS-ENV 50166-2, dopušteni nivo gustine snage zračenja od $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, odnosno jačine električnog polja od 41 V/m, kod GSM sistema na 900 MHz, može biti premašen na udaljenosti do 1 m od antene bazne stanice, u pravcu glavnog snopa. Pomenuti standard donet je na osnovu predstandarda Evropske unije, a odnosi se na opštu populaciju u toku 24 časa, dok je za profesionalne radnike oko 5 puta veća vrednost, ali u vremenu od 8 časova. Dostupni podaci govore da su na tlu neposredno ispod antene, izmerene vrednosti koje su deset puta manje od dopuštenog izlaganja za opštu populaciju.

Prema našem standardu za ovo zračenje gornja dopuštena vrednost intenziteta, kojoj može biti izložena opšta populacija, za frekvencije koje se koriste u mobilnoj telefoniji, iznosi $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (27,5 V/m), a za profesionalne radnike $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (61,5 V/m) [5]. Radi upoređenja jačina zračenja nebeskih tela (sunce, zvezde) iznosi $14 \text{ pW}/\text{cm}^2$, a ljudskog tela $0,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Treba uočiti da je naš standard stroži od švedskog za oko dva puta.

U domaćim publikacijama objavljeno je nekoliko članaka i diskusija u kojima je razmatran problem intenziteta zračenja. Prema dostupnim podacima izmerene jačine električnog polja ispod antene bazne stanice iznose od 1 do 2 V/m, odnosno 0,27 do $1,1 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Naime, tipični zidovi zgrada od cementnih blokova, cigle i drveta imaju faktor slabljenja za oko 10 do 100 puta. Nastalo polje može da utiče na elektronske aparate kao što su televizori ili računari.

Proračun jačine električnog polja

Iako je proračun jačine električnog polja u bliskoj zoni nepouzdan, za grubu

procenu pretpostavlja se da važi relacija [1]:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{30P_{\text{pd}}g_0}}{d} \quad (\text{mV/m}), \quad (2)$$

gde je:

E – nivo električnog polja u (V/m) na mestu prijema na udaljenosti d od antene mobilne stanice,

P_{pd} – snaga mobilne stanice u [W] kad radi na režimu predaje, tipično iznosi 1 W,

d – udaljenost u (km),

g_0 – dobitak antene mobilne stanice, za štap antenu ($L = \lambda/2$) iznosi 2,15 dB.

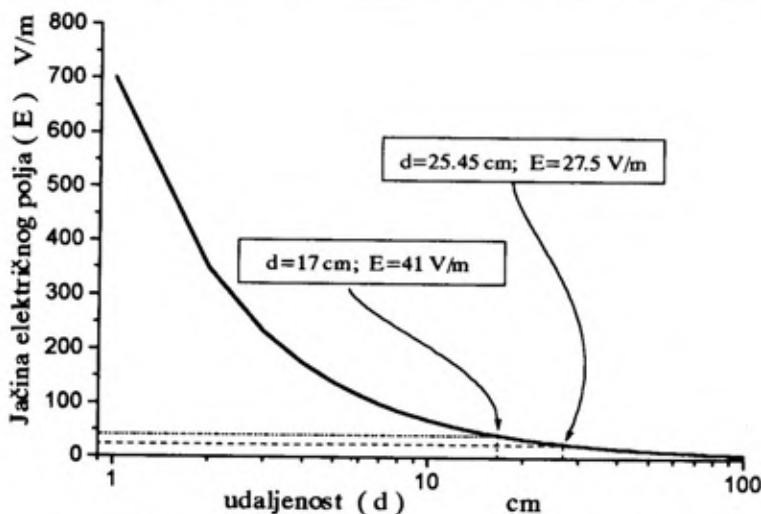
Izračunata vrednost za udaljenost 2 cm od antene je 350 V/m ($32,5 \text{ mW/cm}^2$). Ako se mobilna stanica jače prisloni na uho, na udaljenosti 1 cm od glave, polje dostiže vrednost od čak 700 V/m (130 mW/cm^2). To je potvrđeno i merenjem koje su autori ovog rada obavili u laboratoriji. Za udaljenost 1 cm od antene mobilne stanice Ericsson 868, sa indikacijom prijemnog polja od dva podeoka u

GSM mreži, pri uspostavljanju veze izmerena je vrednost od 680 V/m. Ako se mobilna stanica udalji na dohvat ruke, na oko 70 cm, izračunata vrednost polja je 10 V/m ($26 \mu\text{W/cm}^2$), što je prihvatljivo i bezopasno, za duži period.

Ilustracija odnosa jačine polja i udaljenosti prikazana je dijagramom, za snagu mobilne stanice 1 W i dobitak antene 1,64 puta (2,15 dB).

Sa dijagrama se može videti da je zračenje u granicama dozvoljenog prema navedenom švedskom standardu, na udaljenosti većoj od 17 cm od glave i tela, odnosno dalje od 25 cm po jugoslovenskom standardu. Ovaj podatak upućuje na to da je bezbednije nošenje mobilnog telefona u tašni, sa strane preko ramena ili u ruci, u pregradi najudaljenijoj od tela, a nikako na kaišu pantalona ili u džepu. Zračenje će biti naročito izraženo ukoliko se mobilni telefon nalazi u džepu koji se nalazi u predelu grudnog koša.

Prvi standardi za kontrolu izloženosti zračenju uvedeni su pedesetih godina u SAD i SSSR-u. Po američkom standardu



Dijagram jačine polja u zavisnosti od udaljenosti

smatra se da izloženost gustini snage od $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($6,2 \text{ V}/\text{m}$) ne predstavlja dodatno toplotno opterećenje, te da je organizam u takvim uslovima u stanju da bez posebnog napora održava toplotnu ravnotežu [7]. Sovjetski standardi su daleko tolerantniji, čak i do 100 puta, ali za vreme izlaganja zračenju u trajanju od jednog časa.

S obzirom na to da postoje komercijalni instrumenti za merenje gustine snage zračenja u mW/cm^2 (npr. Narda), kao i instrumenti za merenje jačine električnog polja u V/m (npr. Anritsu), za pretvaranje jedne veličine u drugu koriste se izrazi:

$$P = E^2 / 120 \pi \quad (\text{W}/\text{m}^2), \text{ odnosno} \quad (3)$$

$$E = \sqrt{P \times 120 \pi} \quad (\text{V}/\text{m}).$$

Pored poređenja sa bilo kojim standardom, jer se umnogome razlikuju, ovo zračenje uporediće se sa zračenjem koje je svakodnevno prisutno u atmosferi, a odnosi se na zračenje RTV odašiljača i baznih stanica. Jačina polja potrebna za prijem televizijske slike zadovoljavajućeg kvaliteta, prema UIT-R preporuci 417-2 [2], za IV frekvenijski pojas ($470\text{--}790 \text{ MHz}$), iznosi $70 \text{ dB } (\mu\text{V}/\text{m})$. Kada se ova vrednost izrazi preko jačine polja dolazi se do vrednosti od $3,16 \text{ mV}/\text{m}$. U području gde se dobro prima signal od 3 TV stanice, jačina polja iznosi oko $10 \text{ mV}/\text{m}$. Navedenom zračenju može se dodati i zračenje od bazne stanice, koje je zbog udaljenosti bezopasno i slabije za oko 100,000 puta od zračenja mobilne stanice. Američka federalna komisija za telekomunikacije (Federal Commision for Communications – FCC) definiše specifičnu vrednost prijemnog polja koja iznosi $39 \text{ dB } (\mu\text{V}/\text{m})$, kao granicu zone pokrivanja za analogni sistem, što odgovara vred-

nosti od oko $90 \mu\text{V}/\text{m}$. Navedeni podaci jasno ukazuju na to da mobilni telefon i na udaljenosti od 70 cm, na dohvatu ruke, zrači nekoliko stotina do hiljadu puta jače od polja koje nastaje zračenjem RTV odašiljača, odnosno trideset hiljada puta jače od polja zračenja sa bazne stanice na granici zone pokrivanja.

Perspektive daljeg razvoja uslovljene štetnim zračenjem

Prvobitni mobilni telefoni bili su predviđeni za pokretne sisteme (brodove, automobile, avione, itd.) i radili su sa snagama od 5 W i antenama montiranim na krovu automobila ili vrhu broda. Njihove antene bile su udaljene nekoliko metara od čoveka. U tim uslovima radilo se, ipak, sa manje štetnim jačinama polja zračenja, jer se za snagu od 5 W na udaljenosti od 1 m jačina polja kreće oko $15 \text{ V}/\text{m}$.

Budući mobilni telefoni radiće u dual-modu (dual-band), u jednom pojasu sa baznom stanicom na Zemlji i u drugom pojasu sa satelitskom stanicom na malim i srednjim visinama. Već sada neki od satelita kao ARIES na visini 1020 km, GLOBALSTAR na 1400 km, IRIDIUM na 780 km, predstavljaju okosnicu treće generacije komunikacionih sistema. Sistem IRIDIUM će sa svojih 66 satelita na malim visinama (oko 780 km) obezbediti prenos glasa, podataka, faks i pejdžing-poruka [3]. S obzirom na povoljnije prostiranje talasa korišćenjem satelita, treba očekivati i smanjenje snage do reda 100 mW. Površina ćelije će biti daleko manja, a broj ćelija će se mnogostruko povećati. Mobilna jedinica će najpre pretražiti mogućnost uspostavljanja veze preko lokalnog zemaljskog ćelijskog sistema, a zatim, ako ne ostvari vezu, koristiće

satelit. Takođe, frekvencije će se povećati na 1,8 GHz sa tendencijom porasta na 2,5 GHz ili 5 GHz. Antena će se nalaziti u samom kućištu aparata, kao na primer dvostruki kvad, a na strani prema korisniku imaće žičanu mrežicu kao reflektor.

Zaključak

Na osnovu izloženog može se sa sigurnošću tvrditi da mobilni telefoni emituju štetno zračenje. Sve analize u dostupnoj literaturi izvedene su samo na osnovu povećanja telesne temperature, pri čemu nisu uzeti u obzir interferencija i homeopatski efekat. Radi smanjenja štetnog delovanja treba se pridržavati sledećih pravila:

- mobilni telefon treba držati na radnom stolu ili polici nadohvat ruke. Vezu, kad god je to moguće, treba održavati uz pomoć slušalica i mikrofona, koji su izdvojeni provodnikom. Kabl treba postaviti tako da ne bude paralelan sa antenom, a pogotovu da ne bude namotan oko antene;

- kada se mobilni telefon ipak mora koristiti u pokretu, to treba činiti što kraće vreme. Efekti štetnog delovanja izraženiji su kada se duže i češće koristi;

- treba ga držati tako da se prsti šake nalaze između obraza i aparata, čime se povećava minimalno rastojanje;

- mobilni telefon valja koristiti sa pozicije gde je najjače prijemno polje, odnosno treba izbegavati korišćenje u zatvorenom prostoru, već potražiti najpogodniji položaj, izvan objekta gde je prijemno polje veće od dva podeoka. Najveća zračenja snaga je u trenutku uspostavljanja veze;

- mobilni telefon treba nositi u torbici sa strane, nikako na kaišu, a posebno ne u unutrašnjem džepu sakoa ili džepu košulje na prsima, jer kad je uključen permanentno zrači, pri promeni bazne stanice;

- kada se mobilni telefon koristi u prostoriji u kojoj se duže boravi (kancelarija, stan) znatno smanjenje polja štetnog zračenja postiže se ako se izvede spoljna antena, preko koje se priključi mobilni telefon. Novije varijante mobilnih telefona imaju ugrađen priključak za spoljnu antenu, čijom se upotrebom štap-antena automatski isključuje;

- ne preporučuje se korišćenje mobilnog telefona trudnicama i deci, zbog štetnog zračenja, posebno izraženog na tkivo u razvoju.

Literatura:

- [1] Zentner, E.: Radiokomunikacije, Školska knjiga, Zagreb, 1980.
- [2] UIT-R (CCIR), Preporuka 417-2, VOLUME V, Internationale Telecommunication Union, Geneve, 1974.
- [3] Šunjevarić, M.: Radio-tehnika 2, predavanje za studente VTA VJ, 1999.
- [4] Kuster, N.; Balzano, Q.: Mobile communication safety, Chamman and Hall, London, 1997.
- [5] JUS N. NO.205. – Radio-komunikacije. Radio-frekvencijsko zračenje. Maksimalni nivoi izlaganja koji se odnose na ljude. 1990.
- [6] Hrnjak, M.: Medicinski aspekt korišćenja mobilne telefonije, Vojnosanitetski pregled br. 1/2000, Sanitetska uprava, GŠ VJ, 2000.
- [7] Rakar-Andrić, M.: Radio-talasno i mikrotalasno zračenje u radnoj sredini i zaštita ljudstva, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLII, No. 6, 1992. str. 36-40.
- [8] Bernardi, P.; Cavagnaro, M.; Pisa, S.: Evaluation of the SAR Distribution in the Human Head for cellular Phones used in a Partially closed environment, IEEE Trans. on Electromagnetic compatibility, Vol. 38, No. 3, August 1996, pp. 357-366.
- [9] Vels, H.: Homeopatija za decu, Klio, Beograd, 2000.
- [10] Mikanović, N.; Jeremić, M.: Spektroskopska analiza pojedinačnih molekula, Nauka Tehnika Bezbednost, God. VIII, Br. 2, 1998, str. 59-70.
- [11] World Health Organization, Radiofrequency and Microwaves, Environmental Health Criteria 16, Geneve, 1982, pp. 23-34.

Temperaturno polje u materijalu indukovano laserskim zračenjem

Osnovni efekat dejstva laserskog zračenja visokog intenziteta ispoljen na materijal jeste promena temperature na površini i u unutrašnjosti obrađivanog materijala. Izračunavanje i eksperimentalno određivanje karakteristika temperaturnih polja u materijalu u procesu zagrevanja i hlađenja omogućava da se predvidi sastav materijala posle obrade, njegovo fazno i strukturno stanje. Izučavanjem toplotnih pojava mogu se odrediti najefikasniji tehnološki procesi, potrebne energetske karakteristike laserskog zračenja i optimalni režimi obrade.

Temperatura ozračenog materijala obično se izračunava primenom klasične teorije termoprovodnosti, pri čemu trajanje impulsa nije kraće od 10^{-9} s, a gustina snage nije veća od 10^9 W/cm². Temperaturna raspodela u materijalu ozračenom laserskim zračenjem određena je jednačinom termoprovodnosti [3, 4, 5, 6, 7]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (c\rho T) = \text{div} (K \text{ grad } T) + q_v \quad (8)$$

gde je:

c – specifični toplotni kapacitet (J/g°K),

ρ – gustina materijala (g/cm³),

K – koeficijent termoprovodnosti (W/cm°K),

T – temperatura (°K),

q_v – specifična snaga (prostornog) toplotnog izvora (W/cm³).

Izvođenje analitičkog rešenja ove jednačine nije nimalo lak zadatak, a kada se uzme u obzir temperaturna zavisnost njenih parametara, analitičko rešenje najčešće ne postoji. Zato su razvijene raznovrsne metode dobijanja približnog rešenja: linearizacija, uvođenje specijalnih funkcija, metode integralnih transformacija, a u posebno važnim praktičnim slučajevima koriste se numerički postupci.

S obzirom na to da zagrevanje ozračenog uzorka ima karakter površinskog efekta, uzorak se može posmatrati kao polubeskonačno telo na čijoj površini deluje toplotni izvor i u kojem se toplota prostire samo po osi z, normalnoj na ozračenu površinu i usmerenoj u dubinu materijala. U tom slučaju, za brze i jednostavne inženjerske proračune i izvođenje odgovarajućih ocena uzima se da su termofizički koeficijenti konstantni, a jednačina (8) rešava se u jednoj dimenziji [7]:

$$\frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T(z, t)}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial I_a(z, t)}{\partial z} \quad (9)$$

gde je:

χ = K/ρc – koeficijent termičke difuzije (cm²/s),

I_a – apsorbovani intenzitet laserskog zračenja (W/cm^2).

Razmotriće se neka analitička rešenja jednačine (9) u slučaju ozračivanja materijala impulsnim i kontinualnim laserskim zračenjem sa ravnomernom i Gausovom raspodelom intenziteta po poprečnom preseku snopa.

Ako je površina materijala označena laserskim zračenjem konstantnog upadnog intenziteta u vremenu i po poprečnom preseku snopa, a parametri c i K su takođe konstantni, rešenje jednačine (9) po koordinati z (dubina prodiranja toplote u materijal) su [3, 5, 6]:

$$T(z,t) = \frac{2I_a}{K} \sqrt{\chi t} \operatorname{ierfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\chi t}}\right) = \frac{2I_a}{K} \left\{ \sqrt{\frac{\chi t}{\pi}} e^{-\frac{z^2}{4\chi t}} - \frac{z}{2} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\chi t}}\right) \right] \right\} \quad (10)$$

gde je:

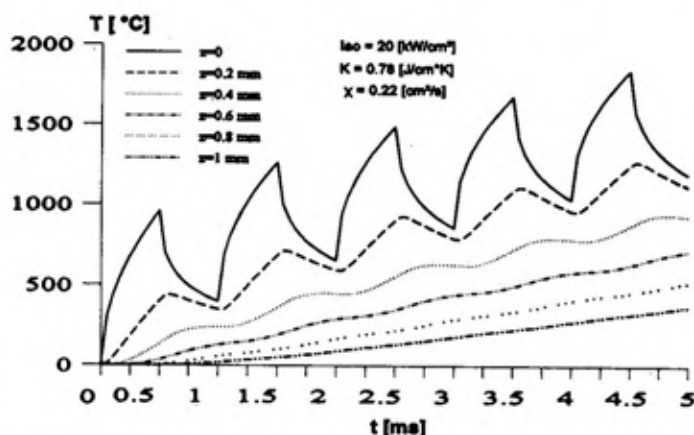
$I_a = \gamma I_u$ – vrednost apsorbovanog intenziteta na ozračenoj površini,

$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi$ – funkcija greške,

$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$ – komplementarna funkcija greške,

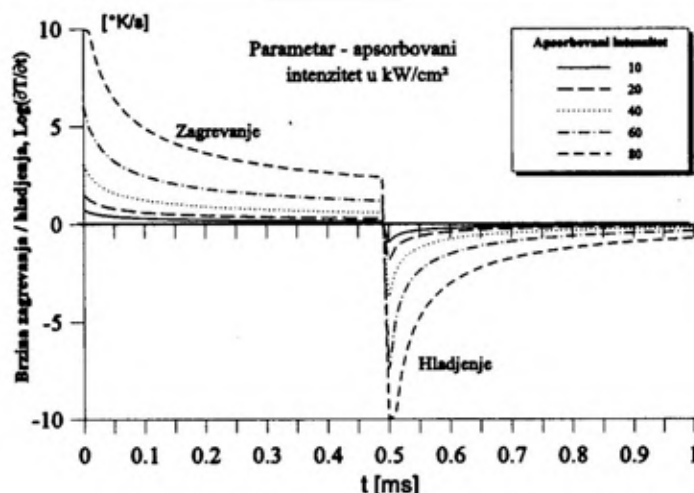
$\operatorname{ierfc}(x)$ – integral od $\operatorname{erfc}(x)$ [5, 6, 7].

Polazeći od jednačine (10) i primenom Duhamelove teoreme [6] može se doći do izraza za temperaturu kada je upadni intenzitet funkcije $I(t) = I_0 f(t)$. Na sl. 10 prikazana je teorijska promena temperature u uzorku od gvožđa ozračenim povorkom pravougaonih impulsa, dobijena numeričkom integracijom jednačine (10). Promena koeficijenta sprege sa porastom temperature nije uzeta u obzir. Temperatura površine raste proporcionalno kvadratnom korenu vremena t , a na sl. 10 se vidi da već na kraju prvog impulsa ($t = 0,5$ ms) dostiže vrednost oko $1000^\circ C$. Temperatura $T(z,t)$ veoma brzo opada sa dubinom z . Dubina $Z_L = \sqrt{\chi t}$ na kojoj temperatura opadne na $1/10$ vrednosti temperature na površini, predstavlja karakterističnu dubinu prodiranja toplote u materijal, koja se još naziva i efektivna zona termičkog uticaja (engl. skrać. HAZ [4]). Odnos $r_s \gg Z_L$, odnosno $t \ll r_s^2/\chi$, predstavlja uslov jednodimenzionalnosti jednačine (8) i on je ispunjen samo za male vrednosti vreme-



Sl. 10 – Promena temperature u uzorku od gvožđa ozračenim intenzitetom zračenja u obliku niza pravougaonih impulsa

Sl. 11 – Brzina promene temperature površine uzorka od gvožđa ozračenog laserskim impulsom trajanja 0,5 ms



na t . Tako, na primer, za gvožđe ($\chi \approx 0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$) pri $r_s = 0,5 \text{ mm}$, dubina prodiranja je oko $0,03 \text{ mm}$ u momentu $t = 0,5 \text{ ms}$ ($\ll r_s^2/\chi$), što znači da je uslov jednodimenzionalnosti ispunjen u toku trajanja celog impulsa.

Brzina zagrevanja, odnosno hlađenja površine materijala dobija se diferenciranjem jednačine (10) po vremenu t za $z = 0$ (τ – trajanje impulsa). Brzina promene temperature iznosi [5]:

$$\left. \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} \right|_{z=0} = \begin{cases} \frac{I_a}{K} \sqrt{\frac{\chi}{\pi t}}, & t < \tau \\ \frac{I_a}{K} \sqrt{\frac{\chi}{\pi}} \left(\frac{1}{\sqrt{t}} - \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \right), & t > \tau \end{cases} \quad (11)$$

Jednačina (11) omogućava da se izvede ocena brzine porasta temperature ozračene površine. Uzimajući ponovo gvožđe za primer, za $I_a = 1 \text{ MW}/\text{cm}^2$, $\chi \approx 0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$ i $K = 0,8 \text{ W}/\text{cm}^2\text{K}$, u trenutku $t = 1 \text{ } \mu\text{s}$ dobija se brzina porasta temperature oko $10^9 \text{ }^\circ\text{K/s}$ (sl. 11). S druge strane, brzina hlađenja dostiže oko $5 \cdot 10^8 \text{ }^\circ\text{K/s}$ u trenutku $t = 1 \text{ } \mu\text{s}$ posle

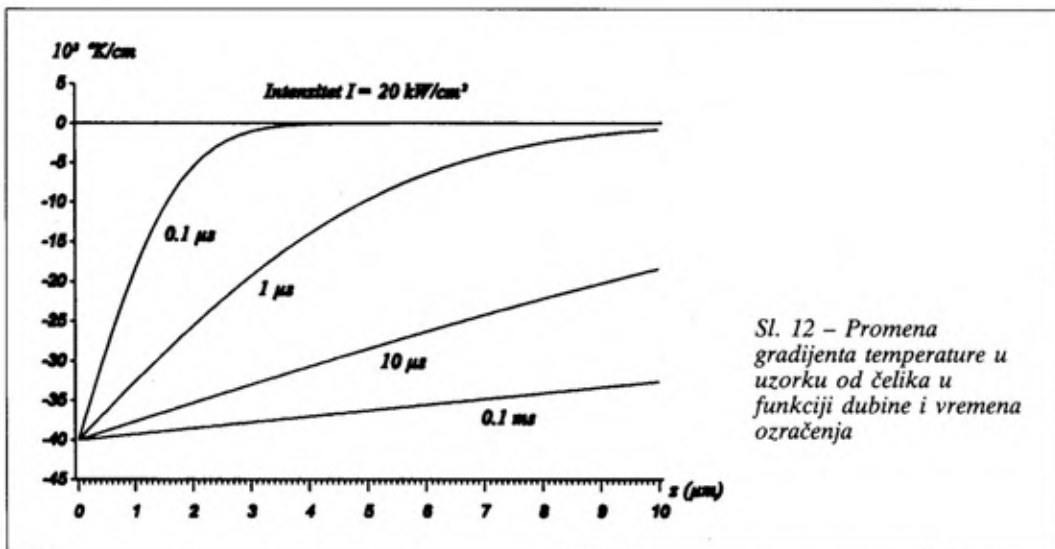
prestanka laserskog impulsa. Ovako velike brzine zagrevanja i hlađenja pružaju izvanredne mogućnosti termičke obrade površine materijala laserskim zračenjem.

Izraz za gradijent temperature dobija se diferenciranjem jednačine (10) po z [5]:

$$\frac{\partial T(z,t)}{\partial z} = -\frac{I_a}{K} \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\chi t}}\right) \quad (12)$$

Može se uočiti da je gradijent utoliko veći ukoliko je veći odnos I_a/K , a u znatnoj meri zavisi od karakteristične dubine prodiranja toplote z_L . Za $t \rightarrow \infty$ ili $z = 0$ gradijent poprima konstantnu vrednost $-I_a/K$.

Na sl. 12 predstavljene su krive promene gradijenta temperature po dubini uzorka sa vremenom kao parametrom, u uzorku od čelika ($K = 0,5 \text{ J}/\text{cm}^2\text{K}$, $\chi = 0,092 \text{ cm}^2/\text{s}$). Na površini uzorka gradijent može biti veoma veliki. Za vrednost $I_a = 1 \text{ MW}/\text{cm}^2$, iz jednačine (12), sledi da gradijent iznosi oko $2 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}/\text{cm}$. Njegova visoka vrednost znači da je zagrevanje materijala laserskim zračenjem veoma koncentrisano što omogu-



čava obradu i vrlo sitnih detalja u sredi-nama osetljivim na visoku temperaturu.

Izračunavanje temperaturnog polja u materijalu koji je ozračen laserskim snopom sa Gausovom prostornom raspodelom intenziteta znatno je složenije nego kod impulsa sa ravnomernom raspodelom. Takođe, pri ozračivanju materijala kontinualnim laserskim zračenjem, bez obzira na to što ozračena površina može biti i ekstremno mala, usled dugotrajne apsorpcije upadnog fluksa dolazi do zagrevanja površine relativno velikih dimenzija, pa je pri proračunu temperaturne raspodele neophodno uzeti u obzir i gubitke usled zračenja i konvekcije. Uvrštavanje nelinearne zavisnosti izračunog fluksa ($\sim T^4$) u jednačinu energetskog

balansa dovodi do problema koji se veoma teško rešava, čak i numerički. Radi toga se, za ocenu procesa često uzima linearna temperaturna zavisnost toplotnih gubitaka usled zračenja i konvekcije [6].

U najjednostavnijem slučaju, zanemarujući gubitke usled zračenja i konvekcije, a uzimajući da se po površini polube-skonačnog tela sa početnom temperaturom T_0 u smeru ose x kreće Gausov snop brzinom v i intenziteta $I(t) = I_0 f(t)$ gde $f(t)$ karakteriše vremensku promenu intenziteta, rešenje jednačine (8) u pravou-glim koordinatama dobija se primenom metoda trenutnog prstenastog izvora to-plate [5, 6]:

$$T(x, y, z, t) = T_0 + \frac{I_{aom} r_s^2}{K} \frac{\sqrt{\chi}}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{f(t - \xi)}{\sqrt{\xi} (4\chi\xi + r_s^2)} e^{-\frac{z^2}{4\chi\xi} - \frac{(x - vt)^2 + y^2}{4\chi\xi + r_s^2}} d\xi \quad (13)$$

gde je:

I_{aom} – apsorbovani intenzitet u centru Gausovog snopa u trenutku kada je on maksimalan,

x, y – koordinate na površini uzorka,

z – dubina prodiranja toplote u materijal, ξ – promenljiva integracije.

Za nepokretan Gausov snop ($v = 0$) i konstantan intenzitet ($f(t) = 1$) tempe-

ratura na površini uzorka, u centru snopa ($x = 0, y = 0$), data je izrazom [3, 6]:

$$T(0,0,0,t) = T_0 + \frac{r_s I_{aom}}{K\sqrt{\pi}} \arctg\left(\frac{2\sqrt{\chi t}}{r_s}\right) \quad (14)$$

Nakon $t \gg r_s^2/\chi$ postiže se stacionarna vrednost temperature [3]:

$$T(0,0,0,\infty) = T_0 + \frac{r_s I_{aom}\sqrt{\pi}}{2K} \quad (15)$$

Uvrštavanjem konkretnih vrednosti u (15), npr. za staklo $K = 0,007 \text{ J/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$, pri $r_s = 0,1 \text{ mm}$, ukupna apsorbovana snaga u uzorku $P_t = 0,1 \text{ W}$, dobija se $T_{stac} \approx 400^\circ\text{C}$, što je vrednost koja se veoma lako postiže današnjim laserima [6].

Jednačina (15) pruža pogodnu mogućnost određivanja temperature tela ozračenog Gausovim snopom u funkciji bezdimenzionih parametara [3]. Uračunavajući vremensku formu impulsa $f(t)$ (sl. 4), dolazi se do izraza (16) za tzv. bezdimenzionu temperaturu ozračenog materijala u trenutku t . Promenom pojedinih parametara u (16) moguće je konstruisanje familije generalisanih krivulja koje prikazuju temperaturnu raspodelu nezavisno od vrste materijala [6].

$$\theta(\xi, \zeta, \tau) = \int_0^\tau \frac{f(\tau - \lambda) e^{-\frac{\xi^2}{\lambda+1}} e^{-\frac{\zeta^2}{\lambda}}}{\sqrt{\lambda}(\lambda+1)} d\lambda \quad (16)$$

Veličina $\theta(\xi, \zeta, \tau) = \frac{2K\sqrt{\pi}T}{I_{a,r_s}}$ predstavlja bezdimenzionu temperaturu, a $\tau = \frac{4\chi t}{r_s^2}$, $\zeta = \frac{z}{r_s}$, $\xi = \frac{r}{r_s}$ jesu bezdimenzioni parametri; r_s je Gausov radijus laserskog snopa i λ – promenljiva integracije.

Numeričkom integracijom jednačine (16) konstruisane su krive zavisnosti bezdimenzione temperature u slučaju ozračivanja materijala laserskim zračenjem modulirane dobrote (sl. 13).

Krive na sl. 13 su tipične za temperaturnu raspodelu u materijalu ozračenom impulsnim laserskim zračenjem. U konkretnom slučaju uzete su vrednosti $r_s \approx 0,03 \text{ cm}$ i $\chi = 0,9 \text{ cm}^2/\text{s}$. Iz oblika krivih $\Theta(\xi, \zeta, \tau)$ mogu se izvući sledeći opšti zaključci:

- temperatura na površini ozračenog tela ($\zeta = 0$) veoma brzo dostiže maksimalnu vrednost, a zatim relativno sporo opada za vreme trajanja impulsa; do opadanja temperature dolazi zbog odvođenja toplote u dubinu materijala kondukcijom;

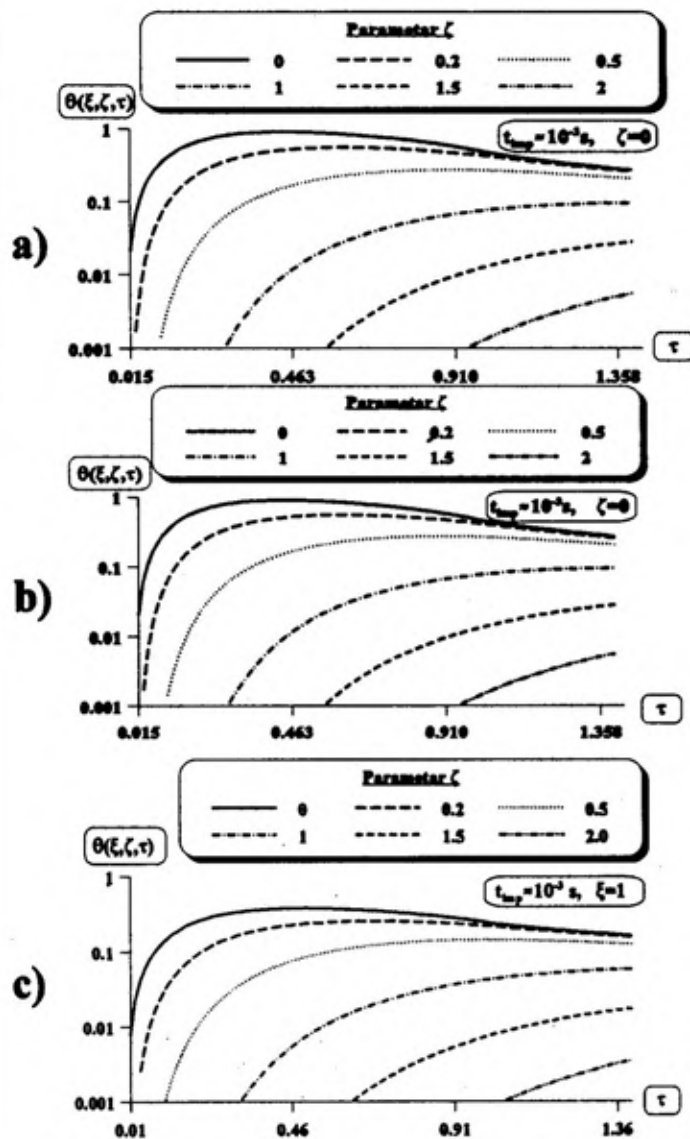
- na kraju impulsa temperatura je znatno niža od maksimalne, jer upadni fluks nije dovoljan da kompenzuje odvedenu toplotu u dubinu materijala zbog vrlo visoke brzine širenja toplote (jedin. 13);

- što je veća posmatrana dubina, temperatura dostiže maksimum kasnije, a na velikim dubinama uspeva da dostigne maksimum za vreme trajanja impulsa;

- u konkretnom slučaju (sl. 13a), karakteristična dubina do koje prodre toplota za vreme trajanja impulsa određena je vrednošću $\zeta = 0,004$ i iznosi $z \approx 10^{-4} \text{ cm}$, što je potpuno u skladu sa ranije konstatovanom činjenicom da je interakcija laserskog zračenja sa materijalom pre svega površinski proces;

- brzina porasta temperature u centru Gausovog snopa na ozračenoj površini je ekstremno visoka (dostiže $10^{10} \text{ } ^\circ\text{K/s}$);

- gradijent temperature dostiže ekstremno visoke vrednosti (reda $10^6 \text{ } ^\circ\text{K/cm}$);



Sl. 13 – Generalisane krive promene temperature u telu ozračenom Gausovim snopom dobijenim u laseru modulirane dobrote:

a) centar snopa, nanosekundni impuls;
b) centar snopa, milisekundni impuls;
c) ivica snopa, milisekundni impuls

– zagrevanje materijala je lokalizovano.

Pažljivim upoređivanjem grafika sl. 13, b) i c), može se uočiti da krive nisu iste. Pri $\xi = 1$ (na ivici spota) veličina θ se menja nešto sporije nego u centru ($\xi = 0$). To znači da pri dužem trajanju impulsa odvođe-

nje toplote u poprečnim pravcima (paralelno površini) postaje veliko.

Upoređenjem grafika a) sa graficima b) i c) sl. 13, vidi se da pri dužem trajanju impulsa temperatura dostiže znatno veću dubinu i zagrevanje materijala prestaje da bude površinski efekat.

Promene faznog stanja materijala

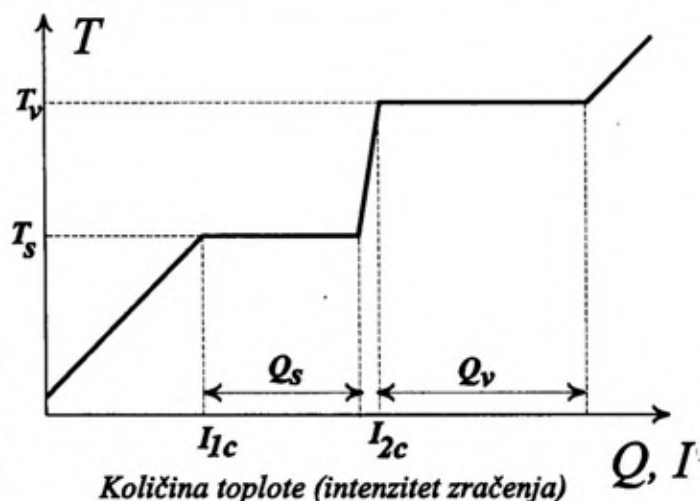
Matematički opis faznih promena predstavlja veoma složen problem (tzv. Stefanov problem). On se obično rešava numerički, ali primena i najtačnijih različitih metoda daje rezultate koji se međusobno veoma razlikuju [3].

Stadijum topljenja metala veoma je teško razdvojiti od studijuma isparavanja. Problem je u tome što u intervalu promene temperature od temperature topljenja T_s do temperature ključanja T_v vrlo brzo raste pritisak ravnoteže pare, a temperatura se menja skokovito (sl. 14) [2, 3]. Tako, na primer, kod aluminijuma, pri približno dvostrukom uvećanju temperature od $T_s \approx 900^\circ\text{K}$ do $T_v \approx 2000^\circ\text{K}$, dolazi do povećanja pritiska zasićene pare za 11 redova veličine, od $p_{\text{top}} \approx 10^{-8}$ mbar do $p_{\text{klj}} \approx 10^3$ mbar [3]. Temperatura ključanja T_v postiže se kada pritisak ravnotežne pare postane jednak pritisku okolnog gasa, odnosno, u najvećem broju praktičnih slučajeva – atmosferskom pritisku. Iz navedenog primera sledi da temperatura ne mora da dostigne vred-

nost praga $T > T_v$ da bi došlo do isparavanja. Da bi se izdvojio stadijum topljenja bez isparavanja metal treba zagrejati do temperature koja se nalazi u vrlo uskom dijapazonu iznad temperature topljenja.

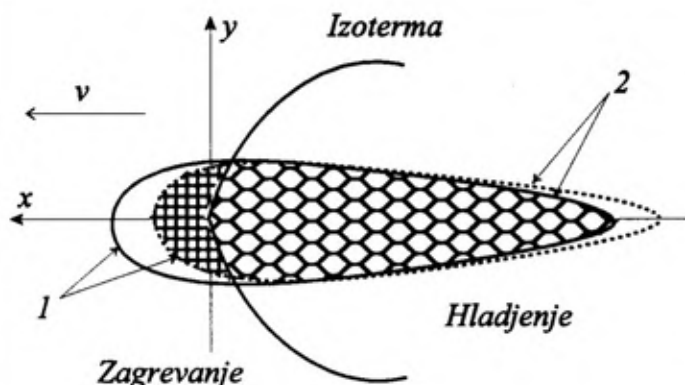
Za kvantitativni opis topljenja metala, pored procesa apsorpcije zračenja, zagrevanja površinskog sloja i rasprostiranja toplote u dubinu materijala, treba uzeti u obzir i promenu termofizičkih svojstava metala u čvrstoj i tečnoj fazi, skrivenu toplotu topljenja metala, kao i proces oksidacije površine metala i promenu koeficijenta refleksije zbog oksidacije [7, 8].

Skrivena toplota topljenja menja se za red veličine pri prelasku od lakotopljivih metala ($Pb \approx 4$ kJ/mol) ka teškotopljivim metalima ($W \approx 40$ kJ/mol) [3]. Ona ima utoliko veću ulogu ukoliko je niža temperatura topljenja metala. Uticaj skrivene toplote topljenja vidi se na sl. 15. Uzimajući u obzir da se toplotni izvor kreće u smeru ose x , na frontu topljenja, tj. na prednjem delu rastopine stvarna toplotna snaga je nešto manja od nominalne zbog apsorpcije toplote topljenja.



Sl. 14 – Kvalitativni dijagram faznih promena u materijalu:

(T_s , T_v – temperatura topljenja i isparavanja; Q_s , Q_v – latentna toplota topljenja i isparavanja), I_{1c} , I_{2c} – kritične vrednosti intenziteta upadnog zračenja



Sl. 15 – Izoterma topljenja:

1 – front topljenja, 2 – front kristalizacije; puna linija – bez uračunavanja skrivene toplote, tačkasta linija – sa uračunavanjem skrivene toplote

Zbog toga je zagrejeni deo neznatno skraćen. U isto vreme na frontu kristalizacije, tj. na repnom delu rastopine, izdvaja se skrivena toplota i stvarna toplotna snaga je nešto veća od nominalne. Izoterma topljenja (površina konstantne temperature koja razdvaja čvrstu od tečne faze) izdužena je u repnom delu dok se njena širina neznatno menja.

Svojstva para mogu se jednostavno opisati samo u slučaju da se posmatraju kao gas koji se slobodno širi u vakuum. Ovakav slučaj u praksi se ne dešava, te služi samo za dobijanje kvalitativnih ocena procesa. Oblik pare koji nastaje ispred zagrevane površine dovodi do sledećih efekata [2]:

- pare apsorbuju upadno zračenje i ekraniraju ozračenu površinu,
- u pari dolazi do jonizacije laserskim zračenjem, nelinearne apsorpcije i nastanka plazme tako da ekraniranje vrši plazma.

Pri relativno malim intenzitetima laserskog zračenja ($10^3 - 10^6 \text{ W/cm}^2$) može se smatrati da obrazovana para ne utiče na prostiranje laserskog zračenja, tj. ne ekranira zagrevanu površinu.

Dubina isparavanja je, takođe, važna tehnološka karakteristika primene lasera.

Od nje direktno zavise dubina otvora koji može biti napravljen u metalu ili debljina lisnatog materijala za sečenje (lim, tkanina, staklo, ...). Postoje dva očigledna načina povećanja dubine isparavanja: povećanje intenziteta i korišćenje neprekidnog zračenja. Prva mogućnost je ograničena brzinom isparavanja materijala i ekraniranjem ozračene površine parom, a druga tipom lasera [2].

Duboko protopljavanje materijala

Pod dubokim protopljavanjem podrazumeva se zagrevanje materijala iznad temperature topljenja na dubini znatno većoj od prečnika laserskog snopa ($z \gg 2r_s$) i istiskivanje rastopljenog materijala pod uticajem pritiska sopstvenih para. Da bi se ocenili potrebni parametri laserskog zračenja i izvele kvalitativne ocene procesa, u prvom koraku vrši se određivanje praga protopljavanja, odnosno izračunavaju se parametri laserskog zračenja neophodni da se ostvari protopljavanje na dubini reda r_s . Zadatak se može formulisati na sledeći način: odrediti minimalni intenzitet (snagu, energiju) pri kojem lasersko zračenje sa zadatom vremenskom i prostornom raspodelom

rastopi metal do dubine reda radijusa poprečnog preseka snopa.

Za Gausov snop koji se kreće po površini metala u vakuumu traženi prag intenziteta može se oceniti iz vrednosti stacionarne temperature T_p u centru Gausovog snopa pri nepokretnom snopu. Temperatura T_p treba da dostigne vrednost pri kojoj će pritisak para isparenog materijala istisnuti rastopljeni materijal na dubini reda Gausovog radijusa r_s . Polazeći od fenomenološke relacije za jednakost sila pritiska pare materijala u centru Gausovog snopa i sila pritiska površinskog napona u tankom sloju rastopljenog materijala pri isticanju para u vakuum [3]:

$$P^* e^{\frac{\varphi}{k} \left(\frac{1}{T_v} - \frac{1}{T_p} \right)} = \frac{\sigma}{r_s} \quad (17)$$

gde je:

$P^* = 10 \text{ bar}$,

φ – izlazni rad atoma iz rastopljenog materijala,

k – Bolcmanova konstanta,

T_v – temperatura ključanja,

T_p – potrebna vrednost stacionarne temperature površine u centru snopa za $t = \infty$ (jednačina 15),

σ – površinski napon rastopine za prag intenziteta dobija se [3]:

$$I_{pr} = \frac{2\varphi K}{\gamma r_s k \sqrt{\pi}} \frac{1}{\ln(r_s P^*) - \ln(\sigma) + \varphi/kT_v} \quad (18)$$

Za Al i Fe, pri $r_s = 0,5 \text{ mm}$ za prag I_{pr} dobijaju se vrednosti 12 i $0,6 \text{ MW/cm}^2$ respektivno.

U praksi se različite vrste obrade materijala izvide najčešće na atmosferskom pritisku. Pritisak pare postaje veći od atmosferskog pritiska kada tempera-

tura u centru snopa dostigne vrednost temperature isparavanja T_v i u rastopini dolazi do formiranja malog, polusfernog udubljenja radijusa $\approx r_s$. Ocena praga intenziteta za duboko protopljanje dobija se iz vrednosti stacionarne temperature (jednačina 15) u centru sfere, uzimajući $T_{stac} = T_v$:

$$\tilde{I}_{pr} = 2K \frac{T_v - T_0}{\gamma r_s \sqrt{\pi}} \quad (19)$$

gde je T_0 – početna temperatura metala.

Međutim, pri atmosferskom pritisku energija koju odnose pare može biti velika, a njen proračun je veoma složen, jer se moraju uzeti u obzir procesi difuzionog i konvektivnog mešanja okolnog gasa i pare, toplotna konvekcija gasa, itd. Grube ocene pokazuju da se kod gvožđa sva dovedena energija odvodi parama metala pri dostizanju temperature oko 2600°C [3].

Kod većine metala koeficijent sprege povećava se najmanje 1,5 puta pri prolasku kroz tačku topljenja (sl. 7). U istoj tački koeficijent termoprovodnosti skokovito opada, npr. kod Al, Fe i Cu smanji se oko 5 puta. Imajući u vidu da je temperatura ključanja metala po pravilu 1,5 do 2 puta veća od temperature topljenja, može se zaključiti da će znatno povećanje intenziteta upadnog zračenja iznad vrednosti I_{pr} dovesti do skokovite promene temperature od stacionarne temperature topljenja T_s do temperature ključanja T_v .

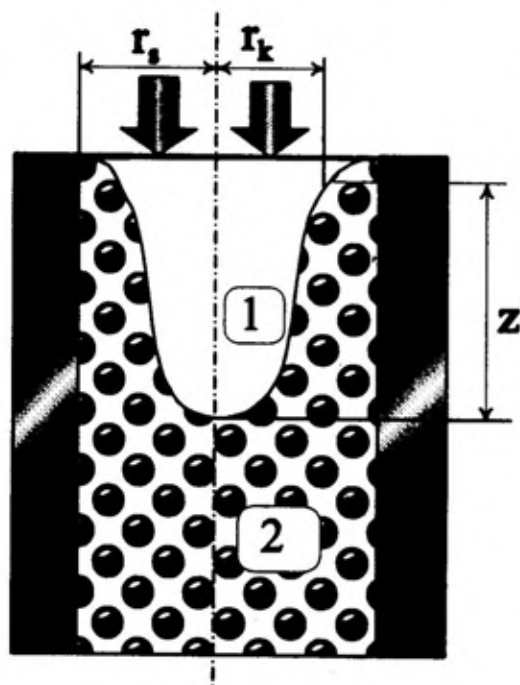
Razmotriće se kako skok koeficijenta termoprovodnosti K i koeficijenta sprege γ utiče na zagrevanje površine tela. Radi pojednostavljenja uzima se da je laserskim snopom sa ravnomernom

raspodelom intenziteta ozračeno polusferno udubljenje radijusa r_s i da koeficijent termoprovodnosti i koeficijent sprege ne zavise od temperature u čvrstoj (K_c , γ_c) i tečnoj (K_t , γ_t) fazi, ali da se menjaju skokovito pri $T = T_s$. Iz stacionarnog rešenja jednačine termoprovodnosti (9) u sfernim koordinatama dobija se vrednost praga intenziteta potrebnog za dostizanje temperature topljenja T_s [3]:

$$I_{pr}(T_s) = \frac{K_c T_s}{r_s \gamma_c} \quad (20)$$

i prag intenziteta potrebnog za dostizanje temperature ključanja T_v [3]:

$$I_{pr}(T_v) = \frac{K_t}{\gamma_t r_s} \left[T_v - T_s \left(1 - \frac{K_c}{K_t} \right) \right] \quad (21)$$



Sl. 16 – Duboko protopljavanje materijala laserskim zračenjem:

r_s – radijus laserskog snopa, r_k – efektivna širina kanala, 1 – kaverna nastala istiskivanjem rastopljenog materijala, 2 – rastopljeni materijal oblika cilindričnog kanala

Za lasere koji rade na kraćim talasnim dužinama (Nd: YAG, eksimerni), odnos $I_{pr}(T_v)/I_{pr}(T_s) \approx 1$ za većinu metala dok je za CO_2 laser ovaj odnos $\ll 1$ izuzev za Al kod kojeg je ovaj odnos ≈ 4 . To znači, generalno, da se pri nepokretnom laserskom snopu prag topljenja i isparavanja poklapaju za većinu čistih metala. Skok stacionarne temperature pri tome dovodi do poklapanja praga topljenja sa pragom dubokog protopljavanja [3].

Da bi došlo do dubokog protopljavanja, $z \gg r_s$, kod mnogih materijala neophodno je koristiti neprekidno lasersko zračenje i proces mora biti stacionaran [2]. Najprostiji model za izvođenje ocene praga dubokog protopljavanja pri kontinualnom laserskom zračenju je homogeno zagrejani cilindar radijusa r_1 i visine z (sl. 16). Iz rešenja jednačine termoprovodnosti (9) za cilindričan homogeni izvor i $r_s \ll z$ dobija se (prema [2]):

$$I_{pr}(T_s) = 2 \frac{\chi T_s z}{r_s^2} \cdot \left(1 / \ln \frac{z}{r_s} \right) \quad (22)$$

Zanemarujući slabu logaritamsku zavisnost u (22) i uzimajući $T = T_v$, za dubinu kanala dobija se:

$$z = \frac{P}{2\pi\chi T_v} \quad (23)$$

Ovde nije uračunato uzajamno dejstvo zračenja sa parama metala. Međutim, ocena ima zadovoljavajuće rezultate u eksperimentu [2]. U okviru ovog modela može se dobiti i širina zone topljenja metala.

Obrazovanje plazme i prostiranje zračenja kroz plazmu

Laserska plazma predstavlja neželjenu pojavu zbog toga što ona efektivno

apsorbuje lasersko zračenje i ekranira površinu čvrstog tela.

Pri malom intenzitetu laserskog zračenja ($I_a < 10^8 \text{ W/cm}^2$) dolazi do zagrevanja površine, topljenja i isparavanja materijala i obrazovanja neutralnih para. Plazma se pojavljuje kao posledica interakcije laserskog zračenja sa parama ozračenog materijala i jonizacije pare. To se dešava već pri vrednostima upadnog intenziteta $I_u \leq 10^6 \text{ W/cm}^2$. Jonizacija para laserskim zračenjem analogna je jonizaciji gasa pri optičkom probou: slobodni elektroni apsorbuju energiju polja zračenja pri sudarima sa neutralnim atomima, a kada elektron nakupi energiju reda energije jonizacije dolazi do jonizacije udarom.

Do jonizacije para dolazi vrlo brzo zbog njene velike gustine ($\approx 10^{23} \text{ cm}^{-3}$). Za ocenu karakterističnog vremena jonizacije mogu se koristiti relacije za optički probij gasa, a pri niskom nivou laserskog zračenja mogu se razmatrati tri stepena obrazovanja plazme: topljenje, isparavanje i jonizacija. Prag probija para znatno je niži od praga probija vazduha pri ekvivalentnoj gustini, jer u pari postoji znatan broj slobodnih jona i elektrona, ($I_{pm} \approx 1/2 I_{pv}$ gde je I_{pm} – prag probija za metalne pare a I_{pv} – prag probija za vazduh). Probij para može da ima stacionarni karakter u blizini ozračene površine za razliku od vazduha gde je ova pojava impulsnog karaktera.

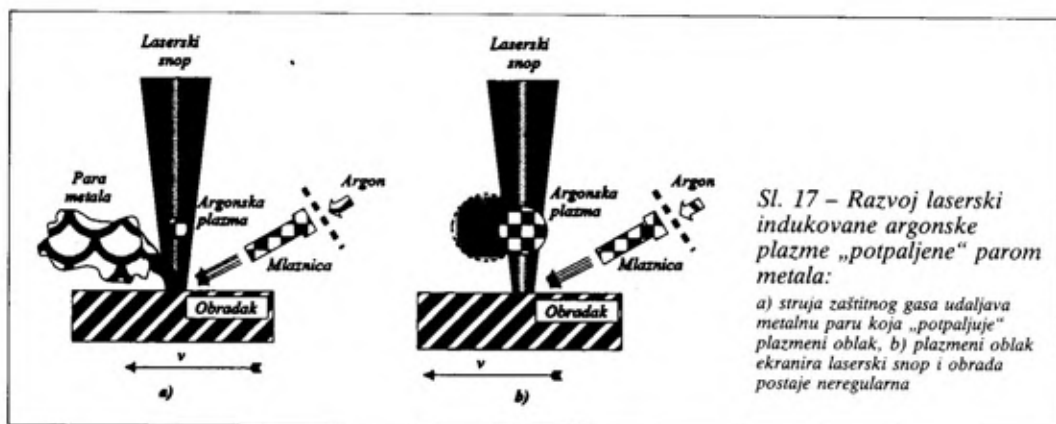
Pri velikom intenzitetu laserskog zračenja ($I > 10^{10} \text{ W/cm}^2$), plazma se obrazuje neposredno pod dejstvom laserskog zračenja na čvrsto telo. Pri tome ukupna energija zračenja E mora biti veća od sume energija topljenja E_t , isparavanja E_i i jonizacije E_j . Od ove tri energije najveća je energija jonizacije E_j , što se može oceniti poređenjem temperature topljenja

T_s i temperature isparavanja T_v koje su za najveći broj metala reda $10^3 \text{ }^\circ\text{K}$, sa temperaturom jonizacije T_j koja je reda $10^5 \text{ }^\circ\text{K}$ (što odgovara energiji $10 \text{ eV} = 16 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Ako je temperatura T površinskog sloja veća od $10^5 \text{ }^\circ\text{K}$, dolazi do neposrednog prelaska čvrstog tela u plazmu [2].

Neposredni prelazak materijala u plazmu može biti realizovan i pri umerenim vrednostima upadnog zračenja I_u . Za dužinu trajanja impulsa laserskog zračenja reda ns to se ostvaruje pri $I_u \approx 10^8 \text{ W/cm}^2$. Velika gustina neutralnih čestica i veliki intenzitet upadnog zračenja uslovljavaju veoma veliku brzinu jonizacije. Za vrednost upadnog intenziteta $I_u \approx 10^8 \text{ W/cm}^2$ i gustinu pare isparenog metala $n \approx 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ sledi da je vreme jonizacije reda 10^{-9} s [2].

Visoka temperatura u prostoru gde se obrazuje plazma dovodi do naglog povećanja pritiska u vrlo malom prostoru. Gruba ocena, pod pretpostavkom da se ne povećava zapremina zagrejanog prostora u vremenu zagrevanja, daje vrednosti lokalnog pritiska $p \approx 10^6 \text{ bar}$, pri čemu je temperatura reda veličine $10^5 \text{ }^\circ\text{K}$ [2]. Iz ovih ocena sledi da se obrazovana plazma mora veoma brzo razleteti. U početku, proces razletanja ne zavisi od pritiska okolnog gasa jer je početni pritisak plazme veoma veliki. Brzina razletanja plazmenog oblaka dostiže vrednosti 10^7 cm/s [6].

Obrazovanje plazmene buktinje prikazano je na sl. 17. Proces se veoma brzo menja u toku vremena. Tipično vreme života plazmene buktinje je 10^{-6} s , a tipične dimenzije su reda 1 cm. To su vrednosti znatno veće od dužine trajanja impulsa τ_{iz} pri impulsnom zračenju sa modulacijom dobrote (reda 10^{-8} s) i od



Sl. 17 – Razvoj laserski indukovane argonske plazme „potpaljene“ parom metala:

a) struja zaštitnog gasa udaljava metalnu paru koja „potpaljuje“ plazmeni oblak, b) plazmeni oblak ekranira laserski snop i obrada postaje neregularna

dimenzija poprečnog preseka ozračene površine (reda 0,1 mm). Na taj način i plazmena buktinja može postati dodatni izvor toplote koji zagreva ozračeni materijal [2].

Usled haotičnosti termalnog kretanja naelektrisanih čestica plazme (elektrona, jona) dolazi do lokalnog narušavanja elektroneutralnosti plazme i pojave lokalnih elektrostatičkih sila koje prouzrokuju nastanak tzv. elektrostatičkih oscilacija, odnosno oscilacija gustine prostornog naelektrisanja i jačine električnog polja izazvanog promenom gustine prostornog naelektrisanja. Ovim oscilacijama daleko lakše podležu elektroni od jona (zbog manje mase i manje inercije), te poseban značaj imaju tzv. elektronske plazmene oscilacije. Frekvencija ω_{pl} elektronskih plazmenih oscilacija zavisi samo od gustine elektrona n_e (cm^{-3}) u plazmi, a poseban značaj ima tzv. kritična gustina plazme [2, 3], odnosno gustina elektrona pri kojoj je plazmena frekvencija ω_{pl} jednaka frekvenciji upadnog zračenja ω . U dijapazonu $\omega: 10^{14} \leq \omega \leq 10^{15} \text{ Hz}$, kritična gustina plazme iznosi $n_{kr} \approx 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Kada je frekvencija upadnog laserskog zračenja $\omega < \omega_{pl}$ – plazma je neprozračna za lasersko zračenje, zračenje prodire u plazmu samo na dubinu skin-sloja (reda

λ – talasne dužine laserskog zračenja) i reflektuje se. Najveća apsorpcija zračenja plazmom, tj. najveće ekraniranje plazmom je pri $\omega \approx \omega_{pl}$. Za $\omega > \omega_{pl}$ – plazma je prozračna, zračenje prolazi kroz plazmu i zagreva površinski sloj materijala.

Da bi se izbegli neželjeni efekti ekraniranja plazmom najčešće se koristi zaštitni gas (npr. argon) koji se pod velikim pritiskom kroz mlaznicu ubacuje na ozračenu površinu (sl. 17) i odstranjuje pare metala sprečavajući jonizaciju i optički proboj. Međutim, i tada se moraju ostvariti optimalni uslovi (brzina i pritisak zaštitnog gasa) da ne bi došlo do tzv. „potpaljivanja“ plazme. Osim toga, zaštitni gas sprečava oksidaciju površine i promenu koeficijenta sprege.

Zaključak

Favorizovano mesto lasera u fabričkoj proizvodnji obezbeđeno je njegovim specifičnim mogućnostima koje ga čine visoko preciznim i visoko pouzdanim alatom. Danas je na raspolaganju veoma širok spektar laserskih pribora kojima se mogu realizovati željeni postupci obrade, kao što su: žarenje, kaljenje, legiranje,

glaziranje, zavarivanje, lemljenje, sečenje, skrajbovanje, bušenje, graviranje, „šok“ kaljenje, itd. Na svetskom tržištu prisutni su najčešće CO₂, Nd:YAG, Nd:staklo, rubinski i eksimerni industrijski laseri, impulsni i kontinualni, snage od nekoliko mW do nekoliko desetina kW. Pri izboru odgovarajućeg laserskog alata i režima obrade, u prvom koraku obavlja se analitičko određivanje koncepta obrade i potrebnih karakteristika lasera. Za izvođenje odgovarajućih ocena željenog procesa obrade koriste se klasične metode različitih naučnih disciplina. U drugom koraku obavlja se optimizacija parametara obrade eksperimentalnim putem.

Literatura:

- [1] Svelto, O.: Принципы лазеров, (prevod na ruski), Мир, Москва, 1984.
- [2] Делоне, Н. Б.: Взаимодействие лазерного излучения с веществом, Наука, Москва, 1989.
- [3] Арутюнян, Р. В. и др.: Воздействие лазерного излучения на материалы, Наука, Москва, 1989.
- [4] Belforte, D., Levit, M.: The Industrial Laser Annual Handbook, Pemmwell Books – Laser Fokus, Tulsa, Oklahoma, USA, 1986.
- [5] Рыкалин, Н. и др.: Лазерная и электронно лучевая обработка материалов – Справочник, Машиностроение, Москва, 1985.
- [6] Redy, J.: Действие мощного лазерного излучения, (prevod na ruski), Мир, Москва 1974.
- [7] Steffen, J.: Schweissen mit dem Laserstahl, Feinwerktechnik 8 Messtechnik 88, (1) 1980.
- [8] Schäfer, P.: Metalle gepulst flexibel und präzise schneiden, Laser-Praxis, München, juni 1989.
- [9] Dickmann, K. i dr.: Fein- und Mikrobohren mit Nd: YAG-Q-switch-Laser hoher Strahlqualität, Laser und Optoelektronik 23 (6), 1991.
- [10] Dausinger, F. i dr.: Effiziente Strahladdition zum Laserschweißen, Laser und Optoelektronik 27 (4), 1995.

Rezime:

Paletni sistem predstavlja osnovu snabdevanja u pozadinskom obezbeđenju strategijsko-operativnih jedinica. Da bi se primena paletne tehnologije racionalno organizovala neophodno je formiranje logističkih transportnih lanaca od proizvođača do krajnjeg korisnika. U ovom članku prikazani su mogući paletni lanci i njihove osnovne karike, čijim se kombinacijama formiraju. Kao kriterijumi za izbor optimalnog paletnog lanca u operativnom planiranju u miru uzeti su načini za utvrđivanje vrednosti po karikama lanca. Za izabrani paletni lanac izložen je deterministički model određivanja broja paleta i potrebne mehanizacije za manipulaciju.

Ključne reči: paletni lanci, vojni transport, cena transportne usluge, bezbednost prevoza.

PALLET CHAINS IN MILITARY TRANSPORT

Summary:

The pallet system is essential in supply, especially in logistic support of strategic units. In order to organize rationally the application of the pallet technology, it is necessary to create logistic transport chains from the producer to the final user. Possible pallet chains are presented here as well as their basic forming links. The evaluation methods concerning chain links are taken as criteria for the choice of an optimal pallet chain in operational planning in peacetime. The deterministic model for working out a number of pallets and necessary manipulation mechanization is presented for the chosen pallet chain.

Key words: pallet chains, military transport, transport service cost, transport safety.

Uvod

Iskustva iz perioda agresije NATO na našu zemlju, vezana za dotur i uspešnu disperziju materijalnih rezervi, potvrdila su opravdanost usvajanja i razvoja tehnologija integralnog transporta. Karakteristika ovog oblika transporta u Vojski Jugoslavije jeste značajno razvijena materijalna baza i donekle infrastruktura, ali i potreba daljeg izučavanja i dogradnja organizacije uz primenu logističkih principa. U ovom članku razmatrano je formi-

ranje i izbor paletnih lanaca, određivanje potrebnog broja paleta i sredstava mehanizacije, kao osnove za racionalno organizovanje. Sa ovim pitanjima suočavaju se snabdevački organi pre svega tehničke i saobraćajne službe, pri primeni paletne tehnologije transporta.

Oblici i karakteristike paletnih lanaca

Savremene tehnologije transporta zavise od razvoja pomoćnih, manipulativ-

nih i transportnih sredstava, koji omogućavaju ostvarivanje neprekinutih transportnih lanaca od proizvođača do krajnjih primalaca. Paletni transportni lanac definiše se kao integrisani i hronološki uređen skup procesa skladištenja, pretovara i transporta, kroz koji prolazi paleta kao tovarna jedinica, od obrazovanja kod pošiljaoca do rasformiranja kod primaoca. Tehničku bazu sistema paletizacije čine palete, pretovarna mehanizacija i transportna sredstva.

Racionalizacija transportnih lanaca treba da omogućiti, u procesu eksploatacije kapaciteta automobilskih jedinica i skladišta, jednostavno i brzo biranje optimalnog paletnog lanca za zadate uslove. Najčešće je na raspolaganju mogućnost prevoza transportnim sredstvima drumskog i železničkog saobraćaja, kao i kombinacija drumskog i železničkog prevoza paletizovanih i nepaletizovanih tereta. Moguće je, ali znatno ređe, i korišćenje ostalih vrsta transporta.

Kao realno prihvatljive varijante mogu se formirati sledeći transportni lanci:

- direktan prevoz drumskim vozilima,
- direktan prevoz železnicom,
- kombinovan prevoz drumskim-železničkim vozilima.

Polazeći od tehnoloških procesa odvijanja paletnih lanaca, mogu se izdvojiti karakteristične faze od čijih su kombinacija sastavljeni [1]:

- utovar na drumska teretna vozila,
- utovar na železnička kola,
- prevoz železnicom,
- prevoz drumskim motornim vozilima,
- pretovar,
- istovar iz drumskih vozila,
- istovar iz železničkih kola.

Za organizovanje, utvrđivanje pojedinačnih troškova i izbor optimalnog lanca neophodno je da se sagledaju faze u transportnim lancima.

Oblici paletnih lanaca sa određenim tehnološkim rešenjima omogućavaju postizanje cilja, ali na različite načine i uz različite uslove. Koja će varijanta biti izabrana zavisi od pravila po kojem će se rešenje upoređivati i odabrati najbolje. Pravilo po kojem se obavlja upoređivanje (kriterijum), predstavlja meru dostizanja postavljenog cilja, a može se definisati i kao pravilo za utvrđivanje važnosti nekog cilja u hijerarhiji ukupnih ciljeva.

Po svom značenju kriterijum predstavlja osnovnu pretpostavku za mogućnost ocene kvaliteta različitih varijantnih tehnoloških rešenja. Pri izboru oblika paletnih lanaca u vojsci najčešći kriterijumi su: produktivnost, odnosno efikasnost; cena transportne usluge; vreme izvršenja zadatka; bezbednost pri radu.

Cena transportne usluge i bezbednost pri radu javljaju se kao osnovni kriterijumi za mirnodopske uslove kod operativnih planiranja, i biće razmatrane kao mera izbora u ovom članku.

Struktura i cena transportne usluge kod paletnih lanaca

Cena transportne usluge utvrđuje se preko transportnih troškova nastalih tokom izvršenja usluge. U odnosu na obim rada troškovi mogu biti, prema klasičnoj teoriji troškova, promenljivi i stalni [2, 3]. Promenljivi su oni troškovi koji zavise od izvršenog transportnog rada i srazmerni su mu, što je veći rad i oni su veći. Za drumski transport to su troškovi za: potrošni materijal, tehničko održavanje vozila i zarade, ako se plaća prema radu.

Stalni troškovi postoje bez obzira na to da li vozni park radi ili ne. Čine ih troškovi: amortizacije objekata, opreme i vozila, plata, ako je isplata prema vremenu, osiguranja, taksi, kamata, doprinosa i ostali troškovi režije.

Pri transportovanju železnicom javljaju se ovi isti troškovi, ali se prema VJ, kao korisniku usluge, javljaju kao ukupni, preko prevoznine.

Dopunski troškovi su troškovi utovara, istovara, održavanja tereta pri transportu i ostali troškovi transportnih operacija. Pri utvrđivanju cena u vojnom putnom transportu sopstvenim vozilima potrebno je uzeti u obzir, zbog komparativne analize, i dopunske troškove pored čisto transportnih, jer i oni ulaze u vrednost transportne usluge, odnosno koštaju VJ kao organizaciju.

Struktura cene transportne usluge u privredi prikazuje se preko troškova dohotka privredne organizacije. Formiranje struktura cena zavisi od karaktera privrednog sistema i od propisa preko kojih se taj sistem ispoljava. Ona je različita po granama transporta koje se javljaju kao karike paletnog lanca.

U cenu bilo kog proizvoda, cena transportne usluge ulazi u troškove prodaje. Transportni troškovi čine najveći deo prodajnih troškova, jer se u cene ugrađuju i ostali troškovi prometa vezani za administraciju, marketing, pakovanje, distribuciju, itd. Cene transporta u privredi više su od cena transporta vojnim motornim vozilima, zbog različite strukture troškova. Prema postojećoj regulativi u izračunavanju cene transporta vojnim vozilima ne uzima se u obzir vrednost transportne usluge, već samo materijalni troškovi nastali zbog njenog obavljanja. Vrednost rada ljudi i višak rada ne ulazi u cenu transportne usluge, pa je čine tri

grupe troškova, i to: pogonski, amortizacioni i troškovi tehničkog održavanja.

Cene transportne usluge i struktura troškova različiti su za pojedine subjekte koji su zainteresovani, odnosno učestvuju u formiranju paletnih lanaca, kao što su transporteri (automobilske jedinice i železnica) i korisnici (pozadinske baze, jedinice i organi VJ).

Svaki subjekt zainteresovan je za troškove koji su neposredno vezani za njega, što je kao procena (kao tačka) prikazano u tabeli 1.

Pri izboru optimalnog lanca cena transportne usluge razmatra se sa aspekta automobilskih jedinica (ukupna cena korišćenja vozila), VJ (ukupna cena korišćenja vozila sa cenom mehanizovanog utovara-istovara) i železnice (cena prevoznine). Vrednost manuelnog rada vojnika, vozača i rukovaoca sredstvima mehanizacije, kao i troškovi pratioca pošiljki, može takođe biti uzeta u obzir pri izračunavanju cene transportne usluge.

Tabela 1

Veza subjekata i troškova transporta

Troškovi	Subjekti		
	Automobil-ske jedinice	Pozadin-ske baze, VJ	Železnica
a) Promenljivi:			
- pogonski	•	-	•
- održavanje	•	•	•
- zarade	-	-	•
b) Stalni:			
- amortizacija	•	•	•
- plate	-	-	•
- osiguranja, takse, doprinosi	-	-	•
- režija	-	-	•
c) Dopunski:			
- utovar	-	•	•
- istovar	-	•	•
- preтовar	-	•	•
- pakovanje	-	•	-
- prometni	-	-	•
Ukupno	•	•	•

Cena transportne usluge u drumskom i železničkom transportu

Proračun cene transportne usluge po varijantama obavlja se na osnovu zbira parcijalnih troškova tehnoloških rešenja u okviru svakog transportnog lanca, odnosno svake varijante posebno. Cene transportne usluge, vezane za realizaciju pojedinih tehnologija u paletnom lancu izračunavaju se po osnovnim fazama čijim se zbirom dobijaju cene pojedinih lanaca.

Cena utovara-istovara drumskih vozila

Ova cena pojavljuje se kao parcijalni trošak kod varijanti u kojima se utovar-istovar obavlja mehanizovanim sredstvima, odnosno kod varijanti gde se kao tovarne jedinice koriste palete. Cena (C_{uid}) se dobija preko jedinačne cene po toni/čas (C_{tc}) iz cenovnika Pravila o korišćenju vozila VJ i vremena rada mehanizacije (T_r) koje zavisi od proizvodnosti sredstava (W_t) i količine koja se utovara-istovara na vozilo (Q_v).

$$C_{uid} = C_{tc} \cdot T_r \text{ (din)}, \quad T_r = \frac{Q_v}{W_t} \text{ (h)}$$

Cena prevoza drumom

Cena korišćenja vojnih teretnih vozila predstavlja trošak kod varijanti u kojima prevoz realizuju automobilske jedinice ili vozila VJ, direktno do korisnika ili do najbliže železničke stanice gde se obavlja pretovar.

Pravilo o korišćenju motornih vozila u VJ definiše da se upotreba vozila za realizaciju zadataka u transportu obavlja bez naplate troškova. Međutim, radi upoređenja sa ostalim oblicima prevoza, cena

prevoza drumom (C_{kd}) dobija se preko jedinačnih troškova (C_1), ukupno pređenog puta (L) i broja korišćenih vozila (A).

$$C_{kd} = A \cdot C_1 \cdot L \text{ (din)}$$

Cena prevoza železnicom

Proračun cene prevoza železnicom obavlja se na osnovu Cenovnika železničkih usluga za unutrašnji saobraćaj, daljnara za prevoz stvari i putokaza. Na osnovu propisa o prevozu i računanju prevoznine reguliše se način proračuna cene prevoza koju VJ plaća Zajednici Jugoslovenskih železnica.

Pri prevozu železnicom paletni lanci se organizuju kao mešovita vojna prevoženja, koje čini prevoženje kola iz jedne otpremne za jednu uputnu stanicu, pod uslovom da to prevoženje planira vojna delegacija. U ovom prevoženju učestvuju najmanje dvojica kola, od kojih jedna služe za prevoz pratnje.

Računska masa za mešovita vojna prevoženja (RM) utvrđuje se sabiranjem stvarne mase utovarenog tereta (materijalno-tehničkih sredstava) u svim teretnim kolima (Q_k), i sopstvene mase kola od 25 tona za putnička kola.

$$RM = \Sigma Q_k + 25 \text{ (t)}$$

Prosečna računaska masa po jednim kolima (RM_k) proračunava se tako da se ukupna računaska masa utovarenog tereta podeli sa brojem upotrebljenih kola (n_k) i zaokruži na 100 kg više.

$$RM_k = \frac{RM}{n_k} \text{ (t)}$$

Prevoznina (C_{kz}), odnosno cena prevoza, računa se po I tarifskom razredu

odgovarajućeg prevoznog stava iz tarife (T_{FI}), za utvrđenu prosečnu masu po jednim kolima (RM_k), i tako izračunata prevoznina za jedna kola množi se sa ukupnim brojem korišćenih kola:

$$C_{kz} = RM_k \cdot n_k \cdot T_{FI} \text{ (din)}$$

Ako se za mešovito vojno prevoženje zahteva poseban voz, prevoznina ne može biti manja od prevoznine izračunate za masu od 500 000 kg po I tarifskom razredu, i 25-tonskom prevoznom stavu za određeno rastojanje.

Cena utovara-istovara na železnici

Cena ove karike lanca pojavljuje se kao parcijalni trošak kod varijanti u kojima se istovar obavlja mehanizovanim sredstvima, odnosno kod varijanti gde se kao tovarne jedinice koriste palete u skladištima sa vojnoindustrijskim kolosekom. Ova cena (C_{uiz}) dobija se po metodologiji izračunavanja cene utovara-istovara vozila (C_{uid}), sa vrednostima za sredstva koja se koriste.

Cena pretovara

Cena pretovara (C_p) javlja se u slučaju nepostojanja vojnog industrijskog

koloseka u skladištima VJ, a za prevoz se koristi železnica. Ova cena obuhvata samo cenu utovara-istovara vozila, jer utovar-istovar železničkih kola ulazi u cenu prevoza železnicom.

Matrica strukture cena, odnosno troškova koji su vezani za realizaciju svakog od mogućih transportnih lanaca, kao osnove za cenu koja je kriterijum optimalnosti, prikazana je u tabeli 2.

Kriterijum bezbednosti prevoza i manipulacije

Svako kretanje povezano je sa pojavom rizika za živote vojnika-vozača, rukovoca mehanizacije i pratioca prevoza, te oštećenja (uništenja) tereta, odnosno tehničkih materijalnih sredstava. Potpuno eliminisanje rizika nije moguće. Priroda tereta, posebno opasnih materija, zahteva poklanjanje posebne pažnje pri prevoženju druskim sredstvima ili železnicom, o čemu svedoči i niz propisa.

U VJ sistemski je rešeno da se prati samo bezbednost u druskom saobraćaju. Nezgode i oštećenja tereta u ostalim karikama paletnih lanaca registruju se i analiziraju samo kao vanredni događaji, prema regulativi za ovu oblast. Zbog parcijalnog praćenja nema odgovarajućih pokazatelja za stanje i karakteristike realizacije transporta primenom paletizacije.

Utvrđivanje konkretnih vrednosti kriterijuma zahtevalo bi opsežna istraživanja. Za optimizaciju izbora paletnih lanaca mogu se koristiti rezultati ankete utvrđene preko srednje vrednosti odgovora 10 eksperata sa ocenama u rasponu od 1 do 10. Anketirani su načelnici saobraćajne službe, tehničke službe, komandiri automobilskih jedinica, starešine vojne delegacije i dr. Pošto je optimalan broj eksperata u granicama 6-22, ovi se

Tabela 2

Matrica strukture cene transportne usluge paletnih lanaca

Struktura cena	Paletni lanac		
	Druski transport	Železnički transport	Kombinovani transport
Utovar	x	x	x
Prevoz drumom	x		x
Pretovar			x
Prevoz železnicom		x	x
Istovar	x	x	x

Tabela 3

Vrednosti kriterijuma bezbednosti

Eksperti	Ocene po paletnim lancima		
	Drumski transport	Železnički transport	Kombinovani transport
1.	7	9	5
2.	7	9	8
3.	5	3	8
4.	8	10	6
5.	7	10	6
6.	7	9	5
7.	8	10	6
8.	6	10	2
9.	7	10	5
10.	8	9	6
Prosečna vrednost	7	8,9	5,7

rezultati kao ocena trenutnog stanja bezbednosti transporta u paletnim lancima mogu prihvatiti [5]. Vrednosti ocena po varijantama date su u tabeli 3 [3].

Primenom programa višekriterijumskog rangiranja, preko kriterijuma cena transportne usluge i bezbednosti na radu, dobija se optimalan paletni lanac za konkretne uslove pojedinih transportnih zadataka.

Određivanje broja paleta i sredstava manipulacije

Da bi se kod operativnog planiranja izabrane varijante lanca mogao proračunati potreban broj paleta za formiranje paletnih jedinica denčanih tereta, neophodno je da budu poznati sledeći elementi:

- prosečna dnevna količina tereta iz otpremljanja i tranzita, između određenih sabirnih centara, koja se prema tehnološkom procesu može paletizovati;
- prosečna masa komadnih tereta, koja se može složiti na jednu paletu;

– vreme obrta paleta, odnosno vreme koje protekne od momenta završetka opterećenja paleta sa teretom, pa do njihovog ponovnog opterećenja [6].

Potreban broj paleta (N_p) izračunava se po obrascu:

$$N_p = \frac{Q_{dp}}{q_k} \cdot t_{op}$$

gde je:

Q_{dp} – dnevna količina tereta koji se može paletizovati (t),

q_k – prosečna masa tereta koja se može smestiti na jednu paletu (t),

t_{op} – vreme obrta paleta (dana).

Svi denčani tereti koji se otpremaju ili tranzitiraju ne mogu se paletizovati. Prema iskustvu iz drugih zemalja, gde je razvijena primena paletizacije, pri dobroj organizaciji rada, paletizacijom može da se obuhvati oko 90% denčanih tereta koji se prevoze. Međutim, za naše uslove to iznosi 40–60%. Ovaj odnos za vojna prevoženja određuju organi službi koje organizuju prevoz.

Dnevna količina tereta koji se može paletizovati izračunava se po obrascu:

$$Q_{dp} = Q_d \cdot \alpha (t)$$

gde je:

Q_d – dnevna količina tereta koji se prevozi (t),

α – teret koji se paletizuje (%).

Pri slaganju na palete, s obzirom na vrstu i specifičnu masu tereta, vrstu i oblik ambalaže, kao i broj i masu komada, prosečna masa tereta koji se može smestiti na jednu paletu kreće se u granicama 0,25–0,6 tona [1, 3].

Vreme obrta paleta, ako se pođe od pretpostavke da se paleta kreće skoro

isto kao i denčani teret, jednako je ili manje od vremena roka za isporuku denčanog tereta (t_d), odn.: $t_{op} \leq t_d$.

Zakonom o prevozu na Jugoslovenskim železnicama, određena je gornja granica roka isporuke, koja se sastoji od roka otpreme, prevoznog roka i roka izdavanja, a oni iznose:

- rok otpreme - 1 dan
- prevozni rok za:
- redovan prevoz i svakih otpočetih 250 km - 1 dan
- ubrzani prevoz i svakih otpočetih 350 km - 1 dan
- rok izdavanja - 12 h

Kako je obrt palete (t_{op}) jednak ili manji od vremena obrta denčanog tereta, može se izračunati i obrt palete prema sledećem obrascu:

$$t_{op} = t_{ot} + t_{prev} + t_{izd} \text{ (dana)}$$

Vreme otpreme paleta (t_{ot}) jeste vreme koje protekne od momenta njenog opterećenja pa do otpreme tereta sa paletom. Za svaki slučaj proračunava se za konkretne uslove ali, po pravilu, ne sme da bude duže od jednog dana.

Vreme prevoza palete (t_{prev}) jeste vreme koje protekne od momenta njene otpreme do momenta pripreme za izdavanje. Ovo vreme zavisi od udaljenosti, pa za svakih 300 km puta obično iznosi 1 dan. Međutim, kada se raspolaže sa prosečnim putem prevoza tereta (L_t) i komercijalnom brzinom (V_k) onda ono iznosi:

$$t_{prev} = \frac{L_t}{V_k} \text{ (h)}$$

Pošto se vreme prevoza palete izražava u danima, a u obrt ulazi i pređeni put

do ponovnog utovara, konačan obrazac glasi:

$$t_{prev} = \frac{2L_t}{24V_k} = \frac{L_t}{12V_k} \text{ (dana)}$$

Vreme izdavanja palete (t_{izd}) jeste vreme od prispeća palete sa teretom u stanicu do istovara palete u magacin ili skladište korisnika prevoza. Ovo vreme iznosi oko 12 časova, odn. 0,5 dana.

Prema tome, konačan obrazac za izračunavanje obrta paleta je:

$$t_{op} = t_{ot} + \frac{L_t}{12 \cdot V_k} + t_{izd} \text{ (dana)}$$

Potreban broj angažovane mehanizacije (viljuškara ili DHP dizalice), zavisi od dnevne količine tereta koju treba utovariti, istovariti ili preneti sa jednog na drugo manipulaciono mesto.

Za manje količine i lakše paletne jedinice obično se koriste ručni viljuškari. Međutim, kada je rastojanje od mesta utovara (ili istovara) do mesta slaganja, i obrnuto, veće od 50 m, ili kada su pojedine paletne jedinice teže od 500 kg, ili kada se utovar ili istovar vozila obavlja u nivou, bez rampe, koriste se viljuškari ili DHP dizalice.

Imajući u vidu da odgovarajuća mehanizacija spada u mašine ciklusnog dejstva, potreban broj mehanizacije (N_m) izračunava se po obrascu:

$$N_m = \frac{Q}{n_c \cdot T_s \cdot q_k}$$

gde je:

Q , - ukupna dnevna količina tereta kojom se manipuliše (t);
 n_c - broj ciklusa u jednom času. Izračunava se izrazom $n_c = 3600 / T_c$, gde je

T_c (sec) vreme trajanja jednog ciklusa između dva zahvata paletne jedinice;
 T_s – trajanje manipulacije kod većih skladišnih kompleksa u jednoj smeni (obično 8 h), odnosno rada na pretovaru.

Kako radnim parkom treba obuhvatiti i mehanizaciju koja je na tekućem i investicionom održavanju, broj sredstava parka treba uvećati koeficijentom koji se u standardnim uslovima rada kreće od 1,10 do 1,15, odn. i do 1,5.

Pored determinističkog prilaza moguće je određivanje potrebnog broja paleta i mehanizacije i preko stohastičkih modela i troškovnom funkcijom cilja.

Zaključak

Karakteristika dostignutog nivoa razvoja paletizacije u pozadinskom obezbeđenju VJ jeste razvijena materijalna baza i u manjoj meri infrastruktura, kao i potreba dogradnje organizacije uz primenu logističkih principa.

Racionalna organizacija paletne tehnologije zasniva se na formiranju paletnih lanaca, čiji oblici zavise od transportnih grana, skladištenja i zahteva za manipulaciju teretima. Polazeći od toga, što predstavlja osnovnu kariku čijim se raznim kombinacijama dobijaju paletni lanci, izdvojeni su utovari i istovari kod odgovarajućih transportnih grana, prevozi i pre-

tovari. Kao kriterijum za izbor optimalnog lanca za operativna planiranja u miru uzeti su cena transportne usluge i bezbednost rada.

Za utvrđivanje cene transportne usluge razmatrana je njihova struktura u saobraćajno-transportnim organizacijama i VJ, kao i primena za svaku kariku paletnog lanca. Kod kriterijuma bezbednosti nepovoljno je što se u VJ sistemski prati samo stanje u vojnom putnom saobraćaju, pa su predložene veličine dobijene istraživanjima na osnovu procene starešina koje neposredno organizuju ili realizuju prevoz primenom paletne tehnologije.

Za određivanje potrebnog broja paleta i mehanizacije na osnovu iskustava stečenih u saobraćajno-transportnim organizacijama i VJ, predloženi su odgovarajući deterministički modeli, jer za primenu drugih, pre svega stohastičkih modela, još uvek nema uslova.

Literatura:

- [1] Miladinović, V.: Integralni transport, predavanja, Vojnotehnička akademija, Beograd, 1999.
- [2] Miladinović, V.: Organizacija putnog transporta, skripta, Tehnički školski centar, Zagreb, 1976.
- [3] Bojanić, I.: Izbor optimalnog transportnog lanca kod slanja municije na remont, diplomski rad, Vojnotehnička akademija, Beograd, 1997.
- [4] Pravilo o korišćenju motornih vozila VJ u miru i ratu, Saobraćajna uprava GŠ, Beograd, 1995.
- [5] Šomodić, Š.: Metodi ekspertskih mišljenja u pripremanju i donošenju odluka, Direktor br. 3, Beograd, 1987.
- [6] Cokić, R.: Jedan od metoda proračuna potrebe sredstava paletizacije, Manipulacija skladištenje br. 2, Beograd, 1974.

SATELITSKI SISTEM ZA GLOBALNO POZICIONIRANJE – GPS

Uvod

Sistem za globalno pozicioniranje (GPS – global positioning system) omogućuje jednostavno i brzo određivanje trodimenzionalnog položaja, brzine i smjera kretanja objekata na bilo kojoj tački Zemljine površine ili njenoj okolini, kao i raspodelu jedinstvenog vremena. Ove funkcije dostupne su u svim meteorološkim uslovima, bez obzira na doba dana i noći. Broj korisnika GPS nije ograničen. Oprema korisnika je pasivnog karaktera – pri radu ne emituje nikakvo (pa ni radio) zračenje. Danas su u svetu u upotrebi dva sistema za globalno pozicioniranje. Jedan je razvilo i održava ga Ministarstvo odbrane Sjedinjenih Američkih Država (poznat pod nazivom NAVSTAR – Navigational Satellite Timing And Ranging), a drugi Ministarstvo odbrane Ruske Federacije (poznat pod nazivom GLONASS – ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА). Oba sistema razvijena su prvenstveno za vojne potrebe, ali je danas i njihova civilna upotreba veoma raširena. U ovom članku u kratkim crtama je opisan NAVSTAR GPS, tako da će se u daljem tekstu nazivi GPS i NAVSTAR upotrebljavati sa istim značenjem.

Hronologija razvoja GPS

Preteča GPS je satelitski sistem za određivanje horizontalnog položaja na nivou mora, poznat pod nazivom TRANSIT, koji je razvijen sa osnovnom namenom za određivanje položaja američkih podmornica sa balističkim raketama. Razvoj ovog sistema trajao je od 1960. do 1964. godine, kada je dostigao svoju punu operativnost. Komercijalna (civilna) upotreba ovog sistema počela je 1967. godine. TRANSIT je operativan i danas, iako je u američkoj vojsci potpuno zamenjen GPS-om 1996. godine. Princip rada ovog sistema zasnovan je na merenju Doplerovog pomeranja frekvencije radio-signala emitovanih sa satelita, pri čemu su orbite satelita poznate. TRANSIT ima pet satelita koji se nalaze u približno kružnoj orbiti na visini oko 1100 km. Sateliti emituju dva signala, jedan na 150 MHz, a drugi na 400 MHz. Samo jedan satelit može se „videti“ na horizontu, ali ne u proizvoljnom trenutku, već na svakih 35 do 100 minuta. Pri određivanju položaja uređaj za prijem signala mora da miruje, a greška iznosi od 80 do 100 metara za jedan prolaz satelita, ili oko 35 metara ako se koriste signali sa više uzastopnih merenja (prolaza).

Razvoj GPS počeo je 1967. godine lansiranjem satelita TIMATION I. Satelit

TIMATION II lansiran je dve godine kasnije. Ovim satelitima izvršena je provera GPS koncepta, po kome se koordinate prijemnika određuju na osnovu merenja rastojanja od najmanje četiri satelita (čije koordinate su poznate). Na dan 17. aprila 1973. godine memorandumom tadašnjeg američkog sekretara za odbranu (a na osnovu iskustava sa TRANSIT i TIMATION sistemom) započeta je prva faza razvoja GPS. U ovoj fazi lansirana su dva satelita: NTS-1 i NTS-2. Druga faza razvoja GPS započinje 1978. godine, tokom koje je lansirano 11 satelita tzv. I bloka. Ovi sateliti bili su namenjeni isključivo za testiranje sistema. Treća faza obuhvata period od 1989. do 1995. godine, kada je lansirano 9 satelita bloka 2 i 19 satelita bloka 2A. Aprila 1995. godine sistem je ušao u punu eksploataciju. Kod satelita ove faze prvi put su primenjene sledeće tehnike:

- unošenje namernih grešaka u podatke za koordinate satelita i vreme, kako bi se deo sistema namenjen civilnoj upotrebi namerno učinio manje preciznim u odnosu na deo sistema namenjen vojnim potrebama (tzv. „selective availability“ način rada);
- dodatna zaštita P-signala (preciznog koda namenjenog vojnim potrebama) kriptovanjem u Y-kod (tzv. anti-spoof).

Četvrta faza predviđena je za period od 1996. godine do 2001. godine kada treba da bude lansiran 21 satelit bloka 2R. Peta faza planira se za period od 2002. do 2013. godine kada će se lansirati 33 satelita bloka 2F.

Opis GPS-a

GPS sistem može se podeliti na sledeća tri segmenta: svemirski, kontrolni i korisnički segment.

Svemirski segment sačinjavaju 24 satelita koji se nalaze u približno kružnoj orbiti oko Zemlje na visini od oko 20 200 km iznad nivoa mora i emituju radio-sig-nale sa podacima o koordinatama satelita i o vremenu slanja. Sateliti se nalaze u šest orbitalnih ravni – po četiri satelita u svakoj. Sve orbitalne ravni se seku u pravi koja sa ekvatorijalnom ravni zaklapa ugao od oko 55°. Susedne orbitalne ravni seku se pod uglom od 60°. Svaki satelit napravi pun okret oko Zemlje za 11 časova i 58 minuta. Ovakav raspored satelita omogućuje da se u svakom trenutku sa bilo koje tačke Zemljine kugle može „videti“ pet do osam satelita (za tačno određivanje položaja potrebno je da GPS prijemnik nesmetano prima signale sa najmanje četiri satelita). Signali se emituju na frekvencijama Link1 (L1) od 1575,42 MHz i Link2 (L2) na 1227,6 MHz korišćenjem tehnike proširenog spektra. Emituju se dve vrste signala:

- C/A signal (Coarse/Acquisition code), čiji osnovni nosilac ima frekvenciju od 1,023 MHz i koji se emituje na frekvenciji L1,
- P signal (Precision code), čiji osnovni nosilac ima frekvenciju 10,23 MHz. Ovaj signal se emituje i na L1 i na L2 frekvenciji.

C/A signal namenjen je za civilne potrebe, a P signal se koristi u vojne svrhe. P signal može biti dodatno šifrovan, i tada se naziva Y signal. Navigacioni signal brzine 50 boda (Hz) moduliše i C/A i P signal. Navigacioni podaci su organizovani u ramove od po 1500 bita. Svaki ram ima 5 podramova dužine 300 bita. Ukupno ima 25 ramova, tako da je za predaju kompletne navigacione poruke potrebno oko 12,5 minuta. Zajedno sa navigacionim podacima, uz svaki podram šalje se i tačno vreme njegovog

slanja. Podatak o vremenu uzima se sa atomskog časovnika kojim je opremljen svaki satelit (sateliti bloka 2R imaju po 3 rubidijumska atomska časovnika). Svaki satelit osim sopstvenih koordinata šalje i koordinate ostalih satelita. U C/A signal namerno se unosi greška, kako bi se umanjila tačnost u odnosu na P (Y) signal. Ova greška može se učiniti manjom ili većom, a kontrola veličine greške je pod nadležnošću američkog Ministarstva odbrane.

Kontrolni segment sačinjavaju kontrolne stanice na Zemlji kojih ima pet: dve su na ostrvima u Tihom okeanu – Hawai i Kwajalein, jedna na ostrvu u Indijskom okeanu – Diego Garcia, jedna na ostrvu u Atlantskom okeanu – Ascension i jedna u Kolorado Springsu u SAD. Funkcija kontrolnog segmenta jeste praćenje podataka iz radio-signala koji stižu sa satelita i, po potrebi, slanje korekcionih podataka satelitima kako bi se tačnost čitavog sistema zadržala u dozvoljenim granicama. Stanica u Kolorado Springsu ima funkciju glavne kontrolne stanice i jedino ona ima dvosmernu komunikaciju sa satelitima. Ostale stanice komuniciraju samo sa glavnom stanicom.

Korisnički segment sačinjavaju GPS prijemnici. Na osnovu podataka izdvojenih iz satelitskih radio-signala GPS prijemnici mogu da izračunaju koordinate svog položaja u globalnom geodetskom sistemu WGS84 ili u nekom od nekoliko desetina drugih koordinatnih sistema koji se koriste u svetu. Osim koordinata, GPS prijemnici mogu da izračunaju svoju brzinu i smer kretanja, kao i GPS vreme. Postoji više od stotinu tipova GPS prijemnika različitih namena i preciznosti. Bez obzira na vrstu prijemnika, od prvog uključenja prijemnika (kada je memorija prijemnika koja sadrži podatke o konste-

laciji satelita prazna) pa do dobijanja podataka o položaju prijemnika potrebno je da protekne oko 12,5 minuta. Pri sledećim uključivanjima GPS prijemnika ovo vreme se skraćuje na oko 5 minuta, zahvaljujući tome što prijemnik u svojoj memoriji čuva podatke o koordinatama svih GPS satelita. Ako bi se prijemnik u isključenom stanju preneo na rastojanje udaljenije od 1000 km, ili ako bi duže vreme bio isključen (nekoliko meseci), tada bi se memorisana konstelacija satelita bitnije razlikovala od stvarne i prijemniku bi opet bilo potrebno 12,5 minuta da obnovi ove podatke.

Globalni geodetski sistem WGS84

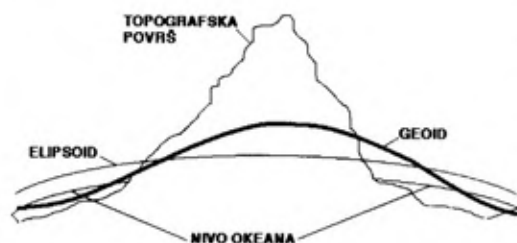
U satelitskoj geodeziji koriste se sledeća dva koordinatna sistema:

- konvencionalni (kvazi) inercijalni koordinatni sistem (Conventional Inertial System – CIS) u kojem se opisuje kretanje satelita,

- konvencionalni zemaljski koordinatni sistem (Conventional Terrestrial System – CTS) u kojem se prikazuju rezultati pozicioniranja.

Koordinatni počeci oba koordinatna sistema poklapaju se i nalaze se u centru mase Zemlje. Z-osa oba sistema približno se poklapa sa Zemljinom osom rotacije. Ortogonalne ose CIS koordinatnog sistema definišu se u odnosu na nepokretne zvezde, dok se kod CTS koordinatnog sistema ortogonalne ose definišu u odnosu na nulti meridijan i konvencionalan Zemljin pol. Koordinatni sistem CIS kreće se zajedno sa Zemljom isključivo translatorno. Strogo uzevši, ovakav sistem nije inercijalan, jer se u njemu oseća dejstvo centrifugalne sile zbog kružnog kretanja Zemlje oko Sunca, pa otuda u njegovom nazivu reč „kvazi“. CTS koor-

dinatni sistem, osim što se kreće zajedno sa Zemljom oko Sunca, okreće se oko Z-ose ugaonom brzinom jednakom srednjoj ugaonoj brzini okretanja Zemlje oko svoje ose.



Sl. 1 – Odnosi između elipsoida, geoida i stvarnog oblika zemlje

Stvaran oblik Zemlje je nemoguće precizno matematički opisati zbog izuzetne složenosti, pa se prikazuje na sledeća dva načina (slika 1):

- pomoću obrtnog elipsoida – geometrijskog tela koje nastaje obrtanjem elipse oko njene kraće ose,

- pomoću geoida: Zemljin geoid je geometrijsko telo koje je nalik zatalasanom elipsoidu. Sve tačke površi geoida imaju istu potencijalnu energiju, pri čemu površ geoida na najbolji način aproksimira srednji nivo svih okeana na Zemlji.

Vojnim standardom 2401 [7] američkog Ministarstva odbrane definisan je globalni referentni geodetski sistem pod imenom WGS84 (World Geodetic System 1984). Ovim standardom definisan je CTS koordinatni sistem na sledeći način: koordinatni početak se nalazi u centru mase Zemlje, Z-osa je paralelna sa osom obrtanja Zemlje koja prolazi kroz konvencionalni Zemljin pol (Conventional Terrestrial Pole – CTP, koji je definisao Internacionalni biro za vreme – Bureau International de l'Heure,¹ skraćeno BIH), X-osa se nalazi u preseku

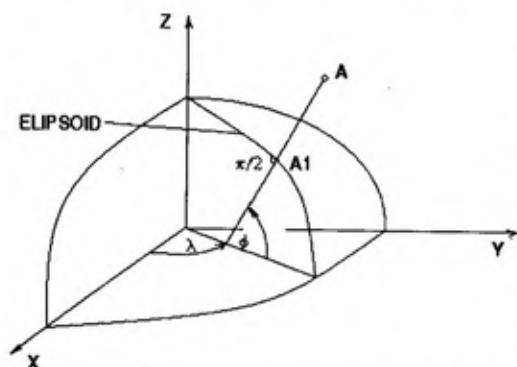
ravni CTP evkatora i ravni koja prolazi kroz Z-osu, a paralelna je sa ravni nultog meridijana (koji je takođe definisao BIH). Y-osa je tako odabrana da sa X i Z osom čini desni ortogonalni koordinatni sistem. Po definiciji, ovaj koordinatni sistem rotira oko Z-ose konstantnom ugaonom brzinom koja je jednaka srednjoj brzini rotiranja Zemlje oko konvencionalnog pola. CIS koordinatni sistem je definisan, prema standardu 2401, na osnovu Fundamentalnog zvezdanog kataloga FK5. Osim definicije CTS i CIS, ovaj standard daje i definicije WGS84 elipsoida i WGS84 geoida. Prema njemu dužina manje poluose elipse izvodnice (polarni radijus) WGS84 elipsoida iznosi 6 356 752,3142 metra, a dužina veće poluose (ekvatorski radijus) iznosi 6 378 137,0 metara [9]. Manja osa elipse leži na Z-osi CTS sistema, a presek male i velike ose elipse nalazi se u koordinatnom početku CTS sistema.

Osnovni koordinatni sistem za GPS je WGS84 CTS koordinatni sistem. Osim u ortogonalnim XYZ koordinatama ovog sistema, položaj neke tačke se izražava i preko geodetske longitude, latitude i visine. Njima se zadaju koordinate u odnosu na WGS84 elipsoid. Geodetska longituda neke tačke računa se kao ugao koji zaklapaju ravan XZ i ravan koja prolazi kroz datu tačku i Z-osu. Geodetska latituda neke tačke računa se kao ugao koji zaklapaju ravan XY i prava koja prolazi kroz datu tačku, a normalna je na površ elipsoida. Geodetska (elipsoidna) visina neke tačke predstavlja normalno rastojanje od te tačke do površi elipsoida (slika 2).

Standard 2401 definiše način konverzije koordinata iz CIS sistema u CTS

¹ Nekadašnji BIH sada je International Earth Rotation Service (IERS), Međunarodni servis za praćenje rotacije Zemlje, ali se ranije doneti standardi i definicije i dalje vode pod imenom BIH.

sistem (i obrnuto), kao i postupak za konverziju između WGS84 sistema i nekoliko desetina lokalnih koordinatnih sistema koji se danas koriste u svetu.



Sl. 2 – Geodetske koordinate tačke A: geodetska longitudina (λ), geodetska latituda (ϕ) i geodetska visina (dužina A-A1) tačke A

Konverzija iz CIS koordinatnog sistema u CTS obavlja se prema sledećoj formuli:

$$[X]_{\text{cts}} = [A] [B] [C] [D] [X]_{\text{cis}}$$

gde je:

$[X]_{\text{cts}}$ – vektor koordinata u CTS koordinatnom sistemu,

$[A]$ – konverzionna matrica (jakobijan) precesije,

$[B]$ – koverzionna matrica (jakobijan) nutacije,

$[C]$ – konverzionna matrica (jakobijan) pomeranja polova,

$[D]$ – konverzionna matrica (jakobijan) zvezdanog vremena,

$[X]_{\text{cis}}$ – vektor koordinata u CIS koordinatnom sistemu.

Navedeni činioci (precesija, nutacija, pomeranje polova i zvezdano vreme) uzimaju se u obzir pri konverziji koordinata zbog neravnomernog kretanja Zemlje. Precesija je pojava, uzrokovana uglavnom gravitacionim uticajem Sunca i Meseca na Zemlju, da pozitivan deo Zem-

ljine ose rotacije opiše pun kružni konus (u smeru okretanja Zemlje oko svoje ose) sa temenom u koordinatnom početku približno svakih 25 780 godina. Ugao između ose konusa i ose rotacije iznosi $23,439^\circ$. Gravitacioni uticaj Sunca i Meseca na Zemlju je promenljiv zbog promene položaja Zemlje u odnosu na njih, pa osa rotacije pri precesiji neznatno osciluje oko srednjeg položaja sa periodom od oko 18,6 godina i amplitudom od oko 9,2 sekunde. Ova pojava naziva se nutacija. Pomeranje polova je pojava da se trenutna osa obrtanja Zemlje ne poklapa sa srednjom osom. Pomeranje trenutne ose je periodičnog karaktera i sastoji se od više komponenti. Dominantna komponenta utiče da trenutna osa napravi pun krug oko srednje ose za vreme od oko 14 meseci, pri čemu rastojanje trenutne ose od srednje ose iznosi oko 0,2 sekunde. Uzimanjem u obzir zvezdanog vremena (baziranog na astronomskim merenjima stvarnog okretanja Zemlje oko svoje ose) uvažava se činjenica da Zemlja na neravnomeran način neznatno usporava obrtanje oko svoje ose (uglavnom zbog dejstva plime i oseke). Razlika između vremena merenog atomskim časovnicima (UTC ili TAI vreme, videti poglavlje GPS vreme) i zvezdanog vremena povećava se u proseku za oko 0,8 sekundi godišnje.

Kako je dato standardom 2401, konverzija koordinata iz nekog drugog geodetskog sistema u WGS84 sistem može se izvršiti primenom formula Molodenskog [7, 9].

GPS vreme

GPS vreme upravlja se prema UTC vremenu Američke mornaričke opservatorije (United States Naval Observatory

– USNO). UTC (univerzalno koordinisano vreme) predstavlja srednje vreme atomskih časovnika oko 50 opservatorija – laboratorija širom sveta. S vremena na vreme se UTC vremenu dodaje ili oduzima 1 prestupna sekunda, kako bi se razlika između UTC vremena i vremena baziranog na praćenju rotacije Zemlje oko svoje ose smanjila na najviše 0,9 sekundi (u apsolutnom iznosu). Dodavanje ili oduzimanje prestupne sekunde vrši se na predlog Međunarodnog servisa za praćenje rotacije Zemlje (IERS – International Earth Rotation Service). Prva prestupna sekunda dodata je 1972. godine, i do sada su prestupne sekunde uvek dodavane UTC vremenu. GPS vremenu se ne dodaju i ne oduzimaju prestupne sekunde, tako da je na dan 1. januara 1999. godine GPS vreme žurilo u odnosu na UTC vreme za 13 sekundi [14]. Ako se izuzmu kumulativne prestupne sekunde, GPS vreme prati UTC vreme sa apsolutnom greškom koja nije veća od 200 nanosekundi za P(Y) signal, odnosno 340 nanosekundi za C/A signal za 95% vremena.

GPS vreme je na dan 1. januara 1999. godine kasnilo u odnosu na TAI vreme za 19 sekundi. TAI vreme je međunarodno atomsko vreme, definisano kao srednje vreme većeg broja atomskih časovnika raspoređenih u laboratorijama širom sveta. Ovo vreme održava i prati Međunarodni biro za tegove i mere (Bureau International des Poids et Mesures). TAI vremenu se ne dodaju i ne oduzimaju prestupne sekunde.

Princip rada GPS

Navigacione poruke koje emituju NAVSTAR sateliti sadrže podatke o položaju satelita (putanja i trenutni položaj

svakog NAVSTAR satelita opisani su sa 6 keplerijanskih elemenata) u trenutku slanja, kao i o tačnom vremenu slanja pojedine poruke. Tačno vreme obezbeđuje se atomskim časovnikom kojim je svaki satelit opremljen. Koordinate satelita se u GPS prijemniku konvertuju u ortogonalne XYZ koordinate WGS84 koordinatnog sistema prema postupcima i formulama datim u [2] i [3]. Pod uslovom da su časovnici na satelitima idealno sinhronizovani sa časovnikom u GPS-prijemniku, za određivanje tačnog položaja prijemnika potrebna su tri satelita. Ako bi prijemnik primao signale sa samo dva satelita, tada bi se njegov izračunati položaj mogao nalaziti bilo gde na kružnici koju obrazuju dve sfere koje se seku: prva sfera čiji je poluprečnik $r_1 = C t_1$ i druga sfera poluprečnika $r_2 = C t_2$, gde je C brzina prostiranja radio-talasa, a t_1 i t_2 vremena potrebna da radio-talas stigne sa prvog i drugog satelita do prijemnika respektivno. Centri sfere nalaze se u tačkama gde se nalaze antene satelita u trenutku emitovanja signala. Primajući signal i sa trećeg satelita, položaj prijemnika se ograničava na samo dve tačke, pri čemu se jedna može odbaciti (ona koja je izvan sfere po kojoj kruže sateliti). Iako je prijemnik opremljen kvarcnim časovnikom, potreban sinhronizam sa časovnicima na satelitima teško se može postići. U tu svrhu bi se u prijemniku morao koristiti atomski časovnik, što bi znatno povećalo cenu prijemnika. Uместo toga koriste se signali sa još jednog, četvrtog satelita. Rešavajući sistem od četiri jednačine (za svaki od 4 satelita postavlja se jednačina kojom se izražava rastojanje od GPS prijemnika do satelita) sa četiri nepoznate (X , Y i Z koordinate GPS prijemnika u WGS84 koordinatnom sistemu, kao i greška časovnika u prijem-

niku) prijemnik izračunava koordinate svog položaja i veličinu greške svog časovnika. Pošto izračuna svoje XYZ koordinate, GPS prijemnik ih može po potrebi konvertovati u geodetske koordinate WGS84 sistema ili u koordinate nekog drugog koordinatnog sistema.

Navigacionim signalom frekvencije 50 Hz modulišu se i C/A i P signal. Ovaj signal sadrži podatke o položaju satelita koji emituje signal, podatke o celokupnoj konstelaciji satelita NAVSTAR sistema, o ispravnosti satelita, o potrebnoj korekciji podataka o vremenu, koeficijentima koje treba koristiti pri obradi kašnjenja signala kroz jonosferu i troposferu, itd.

Osnovni nosilac C/A signala je pseudoslučajni kod (PRN – Pseudo Random Noise) dužine 1023 bita na frekvenciji 1,023 MHz, tako da je perioda ponavljanja ovog signala 1 ms. Ovako kratak period ponavljanja je izabran da bi se skratilo vreme potrebno za sinhronizovanje PRN sekvence sa satelita i PRN sekvence generisane u prijemniku. C/A signali nisu šifrovani i prenose se samo na L1 frekvenciji. Pseudoslučajni kod je jedinstven za svaki satelit. Svih 24 različitih pseudoslučajnih kodova (za svaki satelit po jedan) izabrani su iz skupa tzv. „zlatnih pseudoslučajnih kodova“, koji imaju osobinu da im je međukorelacija minimalna. To je neophodno jer je nosilac C/A signala L1 iste frekvencije za svih 24 satelita, pa se izdvajanje podataka sa tačno određenog satelita mora izvršiti primenom tehnike multipleksiranja sa kodnom podelom (tzv. code-division multiplexing): pseudoslučajni kodovi svakog satelita poznati su GPS prijemniku, i ako se želi izdvojiti navigacioni signal sa posebnog satelita, zbirni signal se korelira sa pseudoslučajnim kodom datog satelita. Kao rezultat korelacije pojavljuje

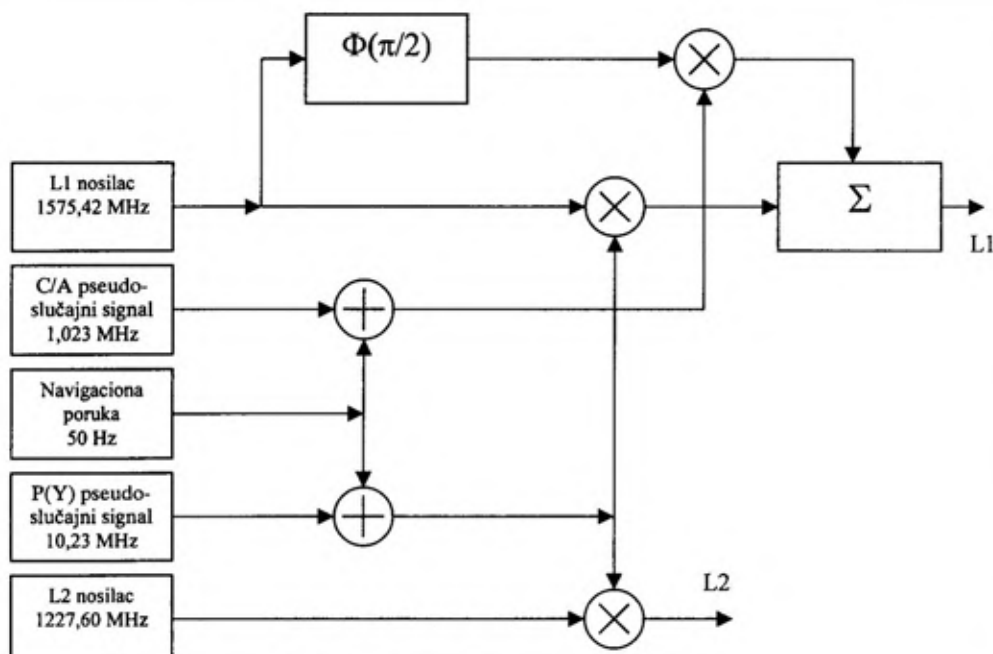
se samo signal sa željenog satelita (autokorelacija je maksimalna kada je pseudoslučajni kod satelita sinhronizovan sa pseudoslučajnim kodom prijemnika), dok se uticaj ostalih signala gubi (međukorelacija između kodova je minimalna bez obzira na vremenski pomeraj između njih).

Osnovni nosilac P – signala je pseudoslučajni kod dužine 7 dana na frekvenciji od 10,23 MHz. P – signal se po potrebi može šifrovati u Y signal, kako bi se sprečilo neautorizovano korišćenje ovog signala. Sateliti mogu slati bilo P, bilo Y signal. GPS prijemnici za civilnu upotrebu nemaju podatke o P kodovima i načinu šifriranja u Y kod. P(Y) signali se emituju i na L1 i na L2 frekvenciji. Na L1 frekvenciji nosilac je u kvadraturi (fazno pomeren za $\pi/2$) u odnosu na nosilac C/A signala. Na slici 3 prikazana je blok-šema formiranja L1 i L2 signala.

Da bi tačno izračunao svoj položaj, GPS prijemnik mora da uradi sledeće operacije:

- da se sinhronizuje sa C/A nosiocem;
- da izvrši izdvajanje i sinhronizaciju sa navigacionim signalom od 50 Hz;
- da pređe na prijem P(Y) signala (samo prijemnici koji imaju mogućnost prijema P(Y)-koda);
- da obavi sinhronizaciju sa P(Y) signalom (samo prijemnici koji imaju mogućnost prijema P(Y)-koda);
- da izvrši traženje i prihvatanje signala sa sledećih satelita (drugog, trećeg i četvrtog);
- da izračuna rastojanja do satelita postavljanjem i rešavanjem sistema jednačina (uzimanjem u obzir i nepravolinijskog prostiranja radio-talasa kroz jonosferu i troposferu).

Prema konstrukciji postoji nekoliko tipova GPS prijemnika.



Sl. 3 – Blok-šema formiranja L1 i L2 signala

Kontinualni prijemnik ima pet ili više zasebnih hardverskih kanala. Svaki od njih može kontinualno da prati po jedan satelit, pri čemu se za određivanje položaja koriste četiri najpovoljnija satelitska signala. Prijemnik ovakvog tipa je najsloženiji (a time i najskuplji), ali i najboljih performansi.

Sekvencijalni prijemnik sa jednim kanalom ima jedan hardverski kanal, tako da u svakom trenutku može da prati samo jedan satelit. Po obradi signala sa jednog satelita prijemnik prelazi na sledeći satelit, što utiče na smanjenje performansi prijemnika (pogotovo za primenu na pokretnim objektima), ali i na smanjenje njegove cene.

Sekvencijalni prijemnik sa dva hardverska kanala odmah po uključenju radi kao i onaj sa jednim kanalom. Pošto primi podatke sa četiri satelita, prijemnik

prelazi u režim u kome jedan kanal služi za prijem i obradu navigacionih signala, a drugi za praćenje signala-nosioca. Takođe, na jednom kanalu prima L1 signal, a na drugom L2 signal, čime dobija mogućnost da kompenzuje promenljivo vreme prostiranja signala kroz jonosferu.

Multipleksni prijemnik ima jedan hardverski kanal pomoću kojeg može da prati signale do osam satelita uz brzi prelazak sa jednog na drugi satelit (do 50 puta u sekundi). Nedostatak ovog prijemnika je što je odnos signal/šum $10 \log(n)$ (n – broj satelita koji se prate) lošiji od kontinualnog prijemnika, ali mu je konstrukcija mnogo jednostavnija (a time i cena manja).

Prema nameni, GPS prijemnici se mogu podeliti na:

– ručne prijemnike opšte namene koji su malih dimenzija i mase, i sa ba-

terijskim napajanjem. Neki od njih imaju mogućnost prikazivanja geografskih karata na ekranu od tečnog kristala. Mogu koristiti dodatnu antenu koja se može instalirati na krov vozila ili na neko drugo pogodno mesto;

– prijemnike predviđene za ugradnju u različita saobraćajna sredstva (avione, automobile, autobuse, brodove). Opremljeni odgovarajućim podacima i digitalizovanim geografskim kartama, ovakvi GPS prijemnici pomažu korisnicima da lakše savladaju zadate maršrute. Druga kategorija ovih prijemnika namenjena je praćenju vozila. U tu svrhu se uz GPS prijemnik dodaje neophodna oprema kojom prijemnik može da pošalje podatke o svom položaju centru za praćenje, kontinualno ili na zahtev centra (putem GSM telefonije ili posebnim radiovezama);

– prijemnike predviđene za korišćenje na satelitima. Posebno su prilagođeni za rad pri velikim brzinama i ubrzanjima, sa posebnom zaštitom od kosmičkog zračenja;

– prijemnike za dobijanje standardnog vremena. Prijemnici ovog tipa zahtevaju samo jedan GPS satelit, jer su obično stacionarnog tipa, pa je njihova pozicija precizno utvrđena, tako da se potrebna korekcija vremena može lako izvršiti. Ovakvi prijemnici mogu se koristiti kao etaloni za vreme i za frekvenciju, jer održavaju dobru stabilnost u dužem periodu. Mogu se koristiti u kalibracionim laboratorijama, za vremensku sinhronizaciju u digitalnim mrežama, astronomskim opservatorijama, seizmografima u seizmičkim stanicama (radi preciznog određivanja epicentra zemljotresa), u uređajima za registrovanje događaja na mrežama i postrojenjima za prenos električne energije;

– prijemnike za prikupljanje podataka o položaju različitih objekata na terenu i unošenje ovih podataka u geografske informacione sisteme. Radi postizanja veće preciznosti obično se koriste tehnike za poboljšanje tačnosti merenja, kao što su diferencijalni GPS ili interferometarski GPS (videti deo o povećanju tačnosti GPS). Ovakvi prijemnici su mobilnog tipa, često sa ugrađenim računom koji omogućuje jednostavniju razmenu podataka sa različitim bazama podataka i geografskim informacionim sistemima.

Tačnost GPS

GPS omogućuje određivanje položaja i vremena sa sledećom osnovnom tačnošću u WGS84 koordinatnom sistemu (bez primene bilo kakvih dodatnih tehnika za povećanje tačnosti).

Uz upotrebu P(Y) signala, za 95% vremena:

– greška određivanja horizontalnog položaja nije veća od 22 m, odnosno rastojanje normalne projekcije izračunatog položaja GPS prijemnika na elipsoid WGS84 i normalne projekcije tačnog položaja GPS prijemnika na elipsoid WGS84 nije veće od 22 m;

– greška određivanja vertikalnog položaja nije veća od 27,7 m, odnosno apsolutna vrednost razlike između tačne elipsoidne visine i izračunate elipsoidne visine ne prelazi 27,7 m;

– greška u merenju vremena ne prelazi 200 nanosekundi u odnosu na UTC vreme bez prestupnih sekundi.

Uz upotrebu C/A signala, za 95% vremena:

– greška pri određivanju horizontalnog položaja nije veća od 100 m, odnosno rastojanje normalne projekcije izračuna-

tog položaja GPS prijemnika na elipsoid WGS84 i normalne projekcije tačnog položaja GPS prijemnika na elipsoid WGS84 nije veće od 100 m;

- greška pri određivanju vertikalnog položaja nije veća od 156 m, odnosno apsolutna vrednost razlike između tačne elipsoidne visine i izračunate elipsoidne visine ne prelazi 156 m;

- greška u merenju vremena ne prelazi 340 nanosekundi u odnosu na UTC vreme bez prestupnih sekundi.

Izvori grešaka su:

- tačnost C/A signala degradirana je u odnosu na P(Y) signal namernim unošenjem grešaka u podatke za položaj satelita i u podatke za vreme (tzv. SA – selective availability način rada satelita). Namerno unošenje grešaka bilo je sasvim ukinuto u vreme rata zemalja članica NATO protiv Iraka, jer NATO nije raspolagao potrebnom količinom vojnih GPS prijemnika, pa je koristio civilne. Namerno unošenje grešaka je od 1. maja 2000. godine potpuno ukinuto;

- nepovoljan raspored satelita (DOP – dilution of precision – „rasipanje“ preciznosti). Poznato je da se kod tzv. slabo uslovljenog sistema linearnih jednačina pri malim varijacijama vrednosti slobodnih koeficijenata dobijaju velike varijacije u vrednostima rešenja sistema. Sličan efekat primećuje se i kod sistema nelinearnih jednačina, čijim rešavanjem se dobijaju koordinate GPS prijemnika i odstupanje časovnika GPS prijemnika: za istu veličinu grešaka u koordinatama satelita (i grešaka zbog zaokruživanja vrednosti promenljivih i konstanti koje učestvuju u računu), a pri različitim konstelacijama satelita, dobijaju se različite greške u izračunatim koordinatama GPS prijemnika. U tačkama u kojima se sfere frontova radio-talasa seku pod uglovima

koji se približavaju pravom uglu, greška je manja nego u tačkama gde su ovi uglovi mali. Za zadatu tačku DOP varira u toku vremena onako kako varira konstelacija satelita koji se „vide“ iz te tačke;

- promenljiva dužina putanje signala kroz jonosferu. Variranje ove putanje može izazvati grešku od 40 do 60 m u toku dana (za 95% vremena) i od 6 do 12 m u toku noći (za 95% vremena). Ovaj problem posebno je izražen kod prijemnika koji primaju samo C/A signale. Kod prijemnika koji primaju i C/A i P(Y) signale greška se može svesti na oko 4,5 m za 95% vremena. Navigacioni podaci sadrže korekzione koeficijente za korisnike samo C/A signala pomoću kojih se uticaj promenljive jonosferske putanje može delimično umanjiti;

- promenljiva putanja signala kroz troposferu. Variranje ove putanje može izazvati grešku od 6 m za 95% vremena. Kvalitetniji prijemnici imaju ugrađen poseban algoritam kojim se uticaj ovog variranja može umanjiti;

- razlika između stvarne pozicije satelita i one sadržane u navigacionim podacima (izuzimajući mere namernog unošenja greške). Ova razlika iznosi do 8,2 m za 95% vremena;

- razlika između stvarnog vremena i vremena koje pokazuju časovnici na satelitima (izuzimajući mere namernog unošenja greške). Ova razlika unosi grešku koja je manja od 6,5 m za 95% vremena;

- prijem radio-talasa reflektovanih od površina u blizini GPS prijemnika. Ovakvi talasi u prijemniku interferiraju se direktnim talasom ili ga zamenjuju i time utiču na unošenje greške. Uticaj reflektovanih talasa na grešku procenjuje se na oko 0,5 metara.

Diferencijalni GPS (DGPS) razvijen je sa ciljem da se uticaj pomenutih čini-

laca (osim reflektovanih talasa i DOP) umanju i time poboljša preciznost sistema. Za dve tačke na površini Zemlje koje nisu udaljene više od 250 km jedna od druge uslovi prostiranja signala kroz jonosferu i troposferu približno su isti, pa je i veličina greške približno ista (osim za greške nastale usled refleksije radio-talasa). Zbog toga se u jednu tačku, čije su koordinate unapred precizno utvrđene, stavlja tzv. „referentni“ GPS prijemnik. Ovakav prijemnik izračunava grešku koju sadrže podaci sa satelita kao razliku između izračunatih i stvarnih koordinata. Podatak o grešci može se memorisati u računaru samog referentnog prijemnika za kasnije korišćenje ili odmah slati zemaljskom radio-vezom do mobilnih DGPS prijemnika. Mobilni DGPS prijemnik od izračunatog položaja (na bazi podataka primljenih sa satelita) oduzima grešku i preciznije određuje koordinate svog položaja. Pri tome mora koristiti iste satelite koje koristi i referentna stanica. Da bi se to izbeglo, referentni prijemnik može na osnovu svog tačnog položaja i primljenih signala izračunati posebno grešku koju unosi svaki satelit koji je u datom trenutku dostupan, i takav signal poslati zemaljskom radio-vezom ka mobilnim GPS prijemnicima. U tom slučaju mobilni prijemnici mogu koristiti bilo koji satelit koji je u datom trenutku dostupan.

Retko se podaci iz mobilnih GPS prijemnika zemaljskom radio-vezom šalju ka referentnom prijemniku na dalju obradu radi postizanja veće preciznosti. Ovakav postupak naziva se „inverzni DGPS“.

Za potrebe snimanja podataka na terenu nije neophodno postojanje zemaljske radio-veze. Podaci se mogu memori- sati na terenu mobilnim GPS prijemnici-

ma, bez ikakve korekcije. Kasnije se mogu obraditi zajedno sa podacima o greškama koji su memorisani u računaru referentnog prijemnika u istom intervalu kada je vršen obuhvat podataka na terenu. Tako obrađeni podaci imaju poboljšanu tačnost istog kvaliteta kao da je korekcija vršena u realnom vremenu.

U navedenim postupcima (diferencijalni GPS zasnovan na C/A kodu) greška se svodi na veličine od 1 do 10 metara. Što je mobilni prijemnik bliži referentnom prijemniku – greška je manja.

Za potrebe preciznog snimanja koordinata tačaka na terenu, kada se zahteva tačnost reda centimetra, primenjuju se postupci zasnovani na interferenciji, tj. na merenju faznih razlika nosilaca signala (tzv. differential carrier-phase positioning). Pošto se fazna razlika između signala na mestu referentnog i na mestu mobilnog prijemnika može utvrditi sa tačnošću od 1% do 5%, greška bi mogla biti reda 1 cm, ako bi se koristio signal L1 čija je talasna dužina oko 19 cm. Pri tome je najveći problem da se odredi koliko ima punih talasnih dužina od oba prijemnika do satelita (ili između prijemnika), jer je rezultat merenja razlike u fazama najviše 2π (ili jedna talasna dužina), zbog periodičnosti nosećeg signala. Problem određivanja broja punih talasnih dužina (tzv. integer ambiguity) vrlo je složen, i tek u poslednjih nekoliko godina rešen je na zadovoljavajući način. Pre toga je za DGPS merenja sa centimetarskom tačnošću bilo potrebno da oba prijemnika (referentni i mobilni) satima budu nepokretni. Razvojem algoritama za nalaženje broja punih talasnih dužina ovo vreme je postepeno skraćivano. Danas postoje algoritmi kojima se, na računarima procesorske snage približne Pentium-procesoru, ovaj problem rešava za

manje od jedne sekunde [4 i 5]. Zahvaljujući tome, tačne koordinate se mogu određivati i kada je mobilni prijemnik u pokretu (tzv. RTK GPS – real-time kinematic GPS – kinematički GPS u realnom vremenu).

Zaključak

Iako razvijen prvenstveno za vojne potrebe, sistem za globalno pozicioniranje danas se koristi i u saobraćaju, transportu nafte, gasa i električne energije, geodeziji, poljoprivredi, očuvanju okoline, u rudnicima sa površinskim kopom, rekreaciji, itd. Osim pozicioniranja, GPS je značajan i kao sredstvo za raspodelu jedinstvenog vremena. Razvijene su i razvijaju se nove tehnike za povećanje tačnosti pozicioniranja. Vojni i civilni segment GPS-a danas su po tačnosti izjednačeni, jer je obustavljeno namerno unošenje grešaka u podatke civilnog dela GPS za koordinate i vreme. Osim stalnog praćenja sistema i održavanja deklarisanе tačnosti, planiraju se dalja usavršavanja GPS sistema, prvenstveno na planu smanjenja osetljivosti na smetnje i na povećanju osnovne tačnosti. U planu je uvođenje još jednog signala za civilnu upotrebu, kojim će se osnovna greška sistema (bez primene dodatnih tehnika) spustiti ispod 10 metara.

Literatura:

- [1] ARINC RESEARCH CORPORATION, 2250 E. Imperial Highway, Suite 450, El Segundo, CA 90245-3509, USA: NAVSTAR GPS SPACE SEGMENT / NAVIGATION USER INTERFACES, 10. Oct. 1993. g., rev. 13. Oct. 1995. g., rev. 25. Sep. 1997.
- [2] U. S. Coast Guard Navigation Center, 7323 Telegraph Road, Alexandria, VA 22315-39988: NAVSTAR USER EQUIPMENT INTRODUCTION (September 1996).
- [3] U. S. Coast Guard Navigation Center, 7323 Telegraph Road, Alexandria, VA 22315-39988: GLOBAL POSITIONING SYSTEM – STANDARD POSITIONING SERVICE – SIGNAL SPECIFICATION (2nd edition, June 1996).
- [4] P. J. G. Teunissen, P. J. de Jonge and C. C. J. M. Tiberius: THE LAMBDA-METHOD FOR FAST GPS SURVEYING, Delft Geodetic Computing Centre (LGR), Faculty of Geodetic Engineering Delft University of Technology Thijssseweg 11, NL-2629 JA Delft.
- [5] P. J. G. Teunissen, P. J. de Jonge and C. C. J. M. Tiberius: FAST POSITIONING USING THE LAMBDA-METHOD, Delft Geodetic Computing Centre (LGR), Faculty of Geodetic Engineering Delft University of Technology Thijssseweg 11, NL-2629 JA Delft.
- [6] Peter H. Dana, Department of Geography, University of Texas at Austin: GLOBAL POSITIONING SYSTEM OVERVIEW (September 1994, revised 12. Aug. 1999).
- [7] Department of Defense – Defense Mapping Agency, 8613 Lee Highway, FAIRFAX, VA, USA: WORLD GEODETIC SYSTEM (WGS) – MILITARY STANDARD (mil.std. 2401, 11. January 1994).
- [8] Robert J. Danchik AN OVERVIEW OF TRANSIT DEVELOPMENT, John Hopkins Apl Technical Digest, Vol. 19, number 1 pages 18–26 (1998).
- [9] DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984, ITS DEFINITIONS AND RELATIONSHIPS WITH LOCAL GEODETIC SYSTEM, National Imagery and Mapping Agency, 4600 Sangamore Road, Bethesda, Maryland (NIMA TR 8350.2, Third Edition, 4 July 1997).
- [10] Lukatela, G., Drajić, D., Petrović, G., Petrović, R.: DIGITALNE TELEKOMUNIKACIJE, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.
- [11] Stojanović I. S.: OSNOVI TELEKOMUNIKACIJA, Građevinska knjiga, Beograd, 1977.
- [12] Veb-sajtovi:
- [13] Mark Wade: ENCYCLOPEDIA ASTRONAUTICA: www.rocketry.com/mwade/spaceflit.htm
- [14] UNITED STATES NAVAL OBSERVATORY (USNO): tycho.usno.navy.mil, www.usno.navy.mil
- [15] INTERNATIONAL EARTH ROTATION SERVICE – CENTRAL BUREAU: hpiers.obspm.fr

Dr Dragutin Jovanović,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

VODNI SAOBRAĆAJ U 21. VEKU

– prikaz naučno-stručnog skupa –

Pre 21 godinu u organizaciji Saobraćajnog fakulteta i Saveza društava inženjera i tehničara Beograda održano je prvo savetovanje na temu Perspektive mogućnosti korišćenja plovidbenog sistema Rajna–Majna–Dunav. Ove godine u maju mesecu u organizaciji Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu i njegovog Odseka za vodni saobraćaj održan je I Jugoslovenski naučno-stručni skup pod nazivom VODNI SAOBRAĆAJ U 21. VEKU. Osnovna tema skupa bila je razvoj vodnog saobraćaja i novi sistemi navigacije na plovnim putevima. To je prvi skup takvog nivoa iz ove oblasti u našoj zemlji.

Na skupu je izloženo 70 radova, svrstanih u tri osnovne sekcije:

- Vodni saobraćaj, razvoj, pravo, ekonomija;
- Vodni saobraćaj, navigacija, informacioni sistemi;
- Plovna sredstva, plovni putevi, luke i pristaništa.

Skup je održan uz učešće brojnih organizacija i institucija iz oblasti funkcionisanja i razvoja vodnog saobraćaja u SR Jugoslaviji, organizacija iz drugih dodirnih grana i vidova, naročito železničkog i drumskog saobraćaja. Zapaženo je i učešće pripadnika Vojske Jugoslavije, i to iz Vojnotehničke akademije VJ – Saobraćajni smer, Vojne akademije VJ –

Odsek ratne mornarice. Generalštaba VJ – Uprava pomorstva i Uprava za EI i PED i Vojnogeografskog instituta.

Pripadnici Vojske Jugoslavije prezentirali su sledeće radove:

– Zdravko Ponoš, Uprava za EI i PED GŠ VJ, sa koautorom: *GPS – navigacioni sistem za 21. vek;*

– dr Dušan Stajić, kapetan bojnog broda, VA VJ – Odsek ratne mornarice: *Iskustva iz primene satelitskih navigacionih sistema u ratnoj mornarici;*

– mr Branko Božić, potpukovnik, Vojnogeografski institut, sa koautorom: *Realizacija globalnog prostornog koordinatnog sistema na teritoriji SRJ i preduslov izgradnje savremenog navigacionog i upravljačkog sistema;*

– vanredni profesor dr Dragutin Jovanović, pukovnik, VTA VJ – Saobraćajni smer: *Unutrašnji vodni saobraćaj i transport u odbrani zemlje;*

– mr Miloš Arsić, potpukovnik, VTA VJ – Saobraćajni smer, sa koautorom: *Savremene informacione tehnologije u planiranju i upravljanju plovidbenim saobraćajem u odbrani zemlje;*

– Boban Đorović, kapetan I klase, VTA VJ – Saobraćajni smer, sa koautorom: *Projektovanje upravnih organa saobraćajne službe u plovidbenom saobraćaju;*

– dr Novica Đorđević, general-major, MTU GŠ VJ, sa koautorima: *Opravljanost formiranja rečno-morske i prekomorske flote Srbije*;

– Mileta Marinković, kapetan bojnog broda, Uprava pomorstva GŠ VJ: *Organizacija i zaštita vodnog saobraćaja u ratnim uslovima*;

– Mirko Borisov, major, Vojnogeografski institut, sa koautorom: *Primena diferencijalne metode globalnog satelitskog sistema pozicioniranja i geografskih informacionih sistema u navigaciji*;

– Boško Antić, kontraadmiral u penziji: *Vodni saobraćaj činilac ukupne pomorske moći zemlje*;

– Ivan Veselinović, videadmiral u penziji: *Pomorska politika države – fikcija ili imperativ*.

U okviru sekcije *Vodni saobraćaj, razvoj, pravo, ekonomija*, posebno je istaknuto sledeće:

– značaj pomorskog i podunavskog položaja SRJ, kao dragocene komponente ekonomskog razvoja i veze sa svetom;

– osnovni uslovi i opravdanost formiranja rečno-morske i prekomorske flote Srbije;

– značaj i mesto unutrašnjeg saobraćaja u sistemu odbrane zemlje, i projektovanje organizacionih struktura upravnih organa SbSl u tom sistemu;

– osnovna pitanja organizacije i zaštite vodnog saobraćaja u ratnim uslovima;

– problematika osposobljavanja kadra;

– pravni aspekti uređenja plovidbe na unutrašnjim vodama, zaštite mora i upravnog nadzora pomorske plovidbe.

Sekcija *Vodni saobraćaj, navigacija, informacioni sistemi*, težišno se bavila pitanjima:

– sistema za globalno pozicioniranje (GPS), geografskih informacionih sistema i njihove primene u vođenju plovidbe;

– mreža i informaciono-upravljačkih tehnologija u sistemu vodnog saobraćaja, i njihove primene u planiranju i upravljanju vodnim saobraćajem u odbrani zemlje;

– osnovnih pravaca u evropskoj strategiji sistema satelitske navigacije;

– razvoja i upravljanja Ro-Ro saobraćajem u lučkim terminalima i primenom savremenih informacionih tehnologija u intermodalnom transportu.

Sa većim brojem radova u sekciji *Plovna sredstva, plovni putevi, luke i pristaništa* stručna pažnja bila je usmerena ka:

– sagledavanju osnovnih pravaca razvoja unutrašnjeg vodnog saobraćaja u narednom periodu;

– primeni savremenih metoda u izboru plovni sredstava u vodnom saobraćaju;

– novinama u kategorizaciji unutrašnjih plovni puteva Jugoslavije;

– osnovnim aspektima zaštite životne sredine u ambijentu vodnog saobraćaja;

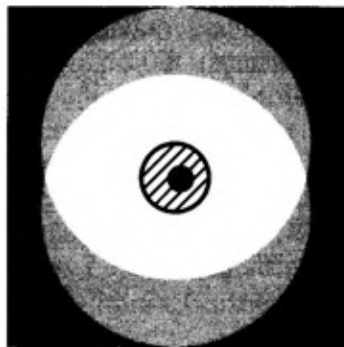
– intenziviranju transporta rečnim Ro-Ro brodovima, i drugo.

Osnovna poruka dvodnevnog naučno-stručnog skupa bila je da u budućnosti, radi snižavanja prevoznih troškova, očuvanja i zaštite prirodnog ambijenta, povećanja nivoa bezbednosti prevoženja tereta i putnika, treba još energičnije usmeriti aktivnosti ka daljem razvoju i usavršavanju pomorskog i unutrašnjeg vodnog saobraćaja, uklapajući se u savremene evropske tokove razvoja integralnog saobraćajnog sistema. Saglasno definisanim ciljevima, dalja razvojna politika

u ovom vidu saobraćajnog sistema treba da ide sledećim pravcima: osavremenjavanje teretne i putničke flote, razvoj i prilagođavanje lučkih i pristanišnih kapaciteta za primenu savremenih pretovarnih tehnologija, uvođenje savršenijih navigacionih sistema visoke tačnosti i pouzdanosti, razvoj sopstvenog informacionog sistema kao dela jedinstvenog saobraćaj-

nog informacionog sistema, osavremenjavanje obrazovnog sistema, uključivanje u evropske saobraćajne integracije i slično.

U pauzama rada sekcija organizovana je izložba i prezentacija saobraćajno-navigacione opreme i novih proizvodnih programa, softvera i projekata inostranih i domaćih preduzeća i ustanova.



prikazi iz inostranih časopisa

NOVI UPALJAČI ZA ARTILJERIJSKU MUNICIJU*

Za novu klasu artiljerijsko-raketnih projektila srednjeg (152 mm) i velikog (203 mm) kalibra zemaljskih artiljerijskih sistema razvijen je i pušten u proizvodnju upaljač V-491 trenutnog dejstva i visoke efikasnosti.

Za projekte trenutnog dejstva, koji su korišćeni u brodskim artiljerijskim sistemima, kao što je AK-176, Institut Poisk iz Rusije projektovao je visokoosetljivi mehanički upaljač bez detonatora.

Ovaj upaljač je 1990. godine zamenjen upaljačem VG-76, koji je imao navojni otvor 36 mm, umesto 56 mm kao kod VG-67. Novi upaljač je obezbedio veću efikasnost projektila trenutnog dejstva za faktor 1,5. Ubojitost ovih projektila u artiljeriji, u velikoj meri, definisana je karakteristikama upaljača, kao što su sigurnost, pouzdanost, osetljivost i preciznost. Upaljač mora biti siguran, tj. ne sme da dozvoli eksploziju projektila kada je on nepravilno upotrebljen, kao i u momentu opaljenja ili na putanji. Svi njegovi sistemi treba da su projektovani tako da bilo koji neregularni udar na upaljač, ili projektil, ne sme da izazove

detonaciju projektila. Upaljači koje proizvodi ovaj institut ispunjavaju najstrože zahteve za apsolutnu sigurnost.

Zahtev za osetljivost je kontradiktoran sa zahtevima otpornosti upaljača na bilo koju vrstu spoljašnjih uticaja: fizičkih, temperaturnih, elektromagnetskih, radijacije, itd. Rešenje tog problema je u sposobnosti upaljača da za vreme borbene radnje izdvoji što je moguće korisniji signal, uključujući uslove ometanja.

Precizno vođeno oružje, posebno rakete ili projektili sa korigujućom putanjom, imaju povećane zahteve za preciznost dejstva za sve elemente artiljerijskih sistema. To obuhvata topografska merenja, laserske ili optičke daljinomere, balističke računare i sisteme za upravljanje vatrom, glave za samonavljeđanje, osnovna punjenja i upaljače. Razvojni rad Instituta Poisk usmeren je na povećanje preciznosti u identifikaciji, obradi, određivanju i oblikovanju signala koji prolazi kroz strujna kola upaljača. To se odnosi i na preciznost ulaznih i logičkih delova i preciznost aktiviranja tempirnih delova upaljača. Prelazak sa pirotehničkih, mehaničkih i električnih tempirnih sklopova na elektronske tajmere, čije greške tempiranja ne prelaze delić sekunde, potpuno je razumljivo.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april 2000.

Visoke karakteristike pouzdanosti upaljača obezbeđuju se dupliranjem manje pouzdanih delova, koji imaju zahtevane granice osetljivosti, kao i njihovom modularnom izradom. Povećana pouzdanost ostvarena je i širokom primenom optimiziranih delova i sklopova, kao i akumulacijom statističke pouzdanosti upaljača, koja je rezultat ispitivanja na novim tipovima municije.

Trendove razvoja upaljača i perspektive trebalo bi posmatrati u bliskoj vezi sa opštim tehnološkim razvojem, posebno sa razvojem vojne tehnologije. Ranih devedesetih godina proizvedeni su elektronski tempirni i udarni upaljači 3VM17 (za šrapnelne projektele tenkovskog topa) i 3VM18 (za projektele trenutnog dejstva tenkovskog topa) sa navojnim otvorom od 52 mm. Zbog upotrebe mikroelektroničkih komponenti oni poseduju visoku tačnost odbrojavanja i, zbog toga, visoki terminski efekat. Ti upaljači dobijaju signale od sistema za upravljanje vatrom preko linije za postavljanje upaljača, kada se projektil nalazi u automatskom punjaču. Zahtevano vreme uspostavlja se automatski bez uticaja operatora, što ne smanjuje režim vatre u poređenju sa standardnim zrnom.

Institut Poisk razvija upaljače za tenkovske granate prema sledećem:

- uvođenje novih elemenata u izradi upaljača, posebno prelaz na kondenzatorski tip snabdevanja energijom umesto termičkog, što će obezbediti povećanje operativne pouzdanosti i smanjenje troškova;

- razvoj donjih upaljača opremljenih radio-komandnim vremenskim okvirom, koji omogućava znatno smanjenje obima grešaka gađanja zbog uzimanja u obzir aktuelne početne brzine projektila za svako pojedinačno zrno.

Elektronski tempirni i udarni upaljači, navojnim otvorom sa 36 mm za top 100 mm, kojim je opremljeno borbeno vozilo pešadije BMP-3, takođe su u proizvodnji. Način i vreme aktiviranja upaljača obavlja se preko ručno povezujuće induktivne linije, jer na BMP-3 nema automatskog punjača. Na tom planu rešava se kompleks problema povezanih sa mikrominijaturizacijom elektronskih kola upaljača i kontaktnih senzora cilja. Izrada takvog sistema omogućila je povećanje efikasnosti pogađanja projektilima trenutnog dejstva iz BMP-3 za faktor 3 ili 4 u poređenju sa standardnim upaljačem 3V35.

Elektronski tempirni upaljač projektovan za kasetne projektele 120 mm za samohodni top, takođe je razvijen u ovom institutu. Taj upaljač, sa navojnim otvorom 52 mm, osnovni je u razvoju familije elektronskih upaljača za zemaljsku i brodsku artiljeriju. Može se koristiti u kasetnim projektilima 152 mm za samohodne artiljerijske sisteme gotovo bez ikakve modifikacije.

Za standardne projektele, trenutnog dejstva koji se koriste za samohodni top, Institut je razvio elektronski kontaktni upaljač projektovan za trenutno dejstvo nakon udara u prepreku, usporeno dejstvo kada se gađaju zemaljski ciljevi, i automatsko regulisanje usporenog dejstva za detonaciju projektila iza čvrstih prepreka (građevina od cigle ili ojačanog betona). Upaljač je posebno efikasan pri upotrebi artiljerijskih projektila u urbanim sredinama, a način njegovog dejstva je automatski.

Za dalekometnu vatra ili gađanje ušančene žive sile razvijen je višenamenski upaljač za modernizovane samohodne artiljerijske sisteme. On stvara kontaktno dejstvo (trenutno ili automatsko regulisa-

nje dejstva iza prepreke) i blisko dejstvo na zahtevanoj visini iznad zemlje, što se reguliše ranije na zrnu. Blisko dejstvo obezbeđeno je pomoću mikrotalasnog senzora, koji funkcioniše kao daljinomer u graničnoj fazi putanje leta projektila.

Višenamenski upaljač projektovan je za projekte trenutnog dejstva 100 mm i 130 mm brodskih topova. Kako taj upaljač ima iste karakteristike kao i upaljač za samohodni top, može se koristiti za gađanje visokoletećih ciljeva (avioni) i niskoletećih protivbrodskih raketa (npr. HARPUN). U tom slučaju mikrotalasni senzor, koji inače dejstvuje kao daljinomer u konačnoj fazi, takođe dejstvuje u Doplerovom režimu i stvara vlastite ulazne signale. U zavisnosti od vrste cilja, način dejstva upaljača postavljen je u skladu sa signalima koji dolaze od sistema za upravljanje vatrom preko induktivne linije na upaljaču.

M. Krbavac

<<<◇>>>

PRECIZNI MITRALJEZ PECHENEG*

Detaljne studije upotrebe streljačkog naoružanja, posebno mitraljeza, koje je izradio ruski Institut precizne mehanike i tehnike, pokazale su da postoje brojni faktori koji utiču na nivo tehničkih karakteristika mitraljeza i određuju ga. Glavni faktori koji utiču na efikasnost mitralješke vatre su:

- prinudne i prirodne oscilacije cevi u toku gađanja;
- krivljenje cevi zbog nepravilnog zagrevanja unutrašnjosti cevi i nepravilnog hlađenja spoljnog dela cevi pri gađanju, tzv. termičko krivljenje cevi;

– formiranje toplog vazduha na površini cevi koji pokriva liniju nišanja, stvarajući efekte optičke iluzije ili lebdećeg cilja, što znatno ometa gađanje.

Teorijski i istraživački naporu su pokazali da amplituda oscilacije cevi pri opaljenju dostiže vrlo velike vrednosti, prouzrokujući pojačanu nutaciju metka i brzo habanje unutrašnjosti cevi. Amplituda oscilacije cevi povećava se sa njenim zagrevanjem u toku opaljenja, a kao rezultat toga pogoršava se gustoća vatre. Termičko krivljenje cevi mitraljeza, za vreme dugih gađanja, nastaje usled:

- promene čvrstoće cevi za vreme zagrevanja u toku opaljenja;
- zaostalih deformacija u materijalu nastalih pri izradi cevi (kovanje, izrada žlebova, mašinska obrada i dr.);
- kretanja hladnog vazduha ili uticaja kiše i snega, kao i neujednačenog solarnog zračenja kojim se zagreva površina cevi;
- uticaja delova povezanih sa cevi.

Većina faktora koji utiču na veličinu i smer termičkog krivljenja slučajnog su karaktera, pa su slučajne veličine i krivljenje cevi i odstupanje nišanske tačke. Takođe, utvrđeno je da odlučujući uticaj na veličinu krivljenja cevi za vreme duge paljbe ima unutrašnji pritisak, gravitaciona sila koja deluje na cev, veličina naslaga kao i položaj dodirnih mesta sa drugim delovima mitraljeza. Kako se broj ispaljenih metaka povećava, menja se i uticaj navedenih faktora. Na primer, krivljenje relativno hladne cevi pojačano je unutrašnjim pritiskom, dok je krivljenje vruće cevi, posle opaljenja velikog broja metaka, uglavnom određena efektima gravitacione sile koja se javlja u cevi. Užareni vazduh prouzrokuje optičke iluzije i treperenje cilja, koje se može javiti posle opaljenja 50 do 100 zrna

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2000.

i dovesti do grešaka u gađanju za 2 do 3 hiljadita. Stvaranje efekta optičke varke zavisi i od temperature okoline i brzine vetra.

Analize uticaja navedenih faktora na tačnost pogađanja i životni vek cevi pokazale su da njihovo potpuno eliminisanje može znatno poboljšati gustoću automatske vatre, povećati vek trajanja cevi, smanjiti greške nišanjenja, što znači povećati vatrenu efikasnost bez menjanja strukture i dimenzija unutrašnjosti cevi i načina dejstva mitraljeza. Pronađena su nova tehnička rešenja kojima su znatno smanjene oscilacije cevi i termičko krivljenje, eliminisan efekat optičke varke, a ugrađena su u projekat 6P41 mitraljeza PECHENEG. Nekim tehničkim rešenjima istovremeno je rešavano nekoliko zadataka, a suština projektnih rešenja svodi se na sledeće:

- promena čvrstoće cevi, pa otuda i frekvencije njenih prirodnih oscilacija, kao i promena spoljašnje geometrije cevi i uvođenje dodatnih obloga i strukturnih elemenata u konstrukciju;

- zaštita kompletne spoljašnjosti cevi oblogama koje isključuju direktne uticaje vetra i padavina;

- jednako i simetrično pojačano hlađenje cevi, zbog upotrebe odvodnika gasova ugrađenog na ustima cevi;

- redistribucija toplotnog strujanja koje je proizvela cev, ka delovima za apsorbovanje toplote povezanim sa cevi;

- zaštita nišanske linije od isparavanja većeg užarenog vazduha.

Pored toga, povećanje ukupne čvrstoće cevi omogućilo je premeštanje nogara bliže ustima cevi, čime se poboljšala stabilnost mitraljeza pri gađanju. Paket projektnih rešenja ugrađen u mitraljez PECHENEG, omogućio je poboljšanje gustoće vatre sa podloge i nogara

za 1,7 i 1,9 puta, respektivno, u odnosu na mitraljez PKM, zatim dvostruko povećanje veka trajanja cevi, napuštanje upotrebe druge (rezervne) cevi i smanjenje odstupanja nišanske tačke do jednog hiljaditog kada se gađa velikom količinom municije. Mitraljez PECHENEG koristi 80% delova proizvedenih za mitraljez PKM, što je omogućilo firmi Kavrovski da otpočne serijsku proizvodnju ovih mitraljeza u 1999. godini sa minimalnim troškovima. Uvođenje ovog oružja u upotrebu ne zahteva dodatnu obuku ličnog sastava.

M. Krbavac

<<<◇>>>

INTEGRALNI NIŠANSKO-OSMATRAČKI SISTEM*

Francuski SAGEM razvio je novi integralni nišanski i osmatrački sistem ISIS, koji je zasnovan na velikom iskustvu u projektovanju, razvoju i proizvodnji sistema za osmatranje i navigaciju za potrebe raznih platformi. Za potrebe ispitivanja ISIS je postavljen na lako izviđačko vozilo francuske armije PANHARD VBL (4×4). To vozilo, koje inače izvršava izviđačke zadatke za potrebe osnovnih tenkova LECLERC i oklopnih vozila AMX-10RC (6×6), nema objedinjene nišansko akvizicijske mogućnosti. Posada koristi ručnu osmatračku opremu.

Francuskoj armiji potrebno je oko 150 vozila VBL opremljenih integrisanim nišansko-akvizicijskim sistemom. To će biti aktuelno i za vozila VAB koja su naoružana protivtenkovskim vođenim raketama HOT, dometa do 4000 metara. Radi smanjenja ukupne cene, svi podsklopovi sistema ISIS već su u proizvodnji ili upotrebi za neke druge namene. Mada

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.

je prvi primerak sistema ISIS ugrađen na vozilo PANHARD VBL (4×4), on može da se ugrađuje i na mnoga druga guse-nična vozila ili lakooklopljene točkaše.

Integralni nišansko-akvizicijski sistem sadrži dnevno-noćni stabilisani senzorski sklop koji je ugrađen na krovu vozila. Radi povećanja zone osmatranja senzor se može postaviti na pomičnom kraku. Upravljački delovi i displeji montirani su unutar vozila, kao i sistemi za vezu i navigaciju. Telo senzora je stabilizovano, pa se sistem može koristiti i pri kretanju vozila. Zbog nišansko-akvizicijskih sposobnosti može se koristiti i za brojne druge zadatke, kao što su izviđanje granice i prostorno izviđanje.

SAGEM je, takođe, razvio taktički informacioni sistem TACTIS, kao sistem za borbeno upravljanje na nivou voda i čete. Njime se može komunicirati sa sistemima višeg nivoa, kao što je SAGEM MESREG, koji je u francuskoj vojsci usvojen kao sistem pukovskog nivoa.

Sistem TACTIS objedinjava terminal informacionog i komunikacionog polja, koji je spojen sa radio-uređajem vozila, osmatračku, identifikacionu i nišansku opremu sistema naoružanja, autonomni sistem navigacije i sistem za upravljanje vozilom. TACTIS omogućava posadi da vidi ključne informacije, uključujući položaj svojih i protivničkih snaga, prikazanih na digitalnoj karti koja se stalno ažurira.

Sistem TACTIS je za potrebe francuske armije ugrađen na oklopno vozilo AMX-10RC (6×6), i jedan je od tri pretendenta za budući armijski sistem za upravljanje u borbi. Konkurenti su mu sistemi koje razvijaju firme Giat Industries i Thomson-CSF.

M. Krbavac

<<<◇>>>

ELEKTROOPTIČKI HOLOGRAFSKI NIŠAN*

U proteklom periodu elektronski i kolimatorski optički nišani dostigli su široku primenu u specijalnim vojnim i policijskim jedinicama, jer su pouzdani i pogodni za stvaranje veoma brze nišanske slike na rastojanjima od 25 do 400 m.

Kod optičkog nišana, uz klasični otvoreni ili čvrsti nišan, nije potrebno da strelac ostvaruje spajanje nišanske linije i nišanske slike. Umesto toga, treba samo da navede tačku ili krst končića na cilj. Dodatna prednost je eliminacija paralaksa.

Međutim, neki optički nišani imaju nedostatke: unapred isključuju upotrebu otvorenih nišana na oružju ili zavise od baterija za osvetljenje njihovih končanica. Kod nekih nišana, iako su baterije neispravne, otvoreni nišani oružja se ne mogu koristiti. To može da bude otežavajuće, pa čak i pogubno. Neki optički nišani kolimatorskog tipa eliminišu potrebu za baterijama, ali nijedan od njih ne obezbeđuje korišćenje otvorenih nišana na oružju. Nedavno je EO Tech (Electro-Optics Technologies) iz Ann Arbor, iz Mičigena, uveo holografski difrakcioni nišan, pod nazivom HOLO nišan, koji prevazilazi mnoge nedostatke ranijih elektrooptičkih nišana.

HOLO nišani EO Tech mogu se postavljati na svo naoružanje koje poseduje nosače nišana prema standardu MIL-STD-1913. Razlikuju se od ostalih po tome što je njihova končanica hologram – laserska slika projektovana na vertikalno čvrsto staklo. Po konceptu to je isto kao čeonni displeji koje koriste avioni lovci visokih performansi. Takvi

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

sistemi imaju nekoliko prednosti. U razmatranoj konfiguraciji HOLO nišan omogućava i potpunu upotrebu otvorenog nišana oružja bez skidanja HOLO nišana. Sa isključenim HOLO nišanom strelac nastavlja osmatranje kroz njegovo staklo i koristi otvoreni nišan na uobičajeni način. Takođe, zbog neskidanja u toku upotrebe, HOLO nišan ima i nekoliko drugih taktičkih, operativnih i logističkih prednosti.



Karabin AR15 sa postavljenim HOLO nišanom

Taktički posmatrano, holografski nišanska končanica odmah „uhvati“ strelčevo oko, omogućavajući virtuelno trenutno pozicioniranje cilja bez zatamnjenja. Nišan omogućava strelcu da drži oba oka otvorena i zadržavanje končanice u vidnom polju za vreme trzanja ili kretanja cilja. S operativne tačke gledišta, HOLO nišan ne otkriva strelčev položaj emitovanjem elektromagnetnog zračenja bilo koje vrste. Kod ovog nišana nema znakova koji su vidljivi pomoću opreme za noćno osmatranje, ali je kompatibilan sa trećom generacijom optičkih uređaja za noćno osmatranje ugradnjom dodatnih filtera. Čvrsto staklo sadrži zaštitu protiv bljeska, a ukoliko je potrebno korisnik može menjati končanicu u terenskim uslovima za manje od jednog minuta.

Telo HOLO nišana konstruisano je od aluminijuma. Čvrsto staklo prozora na koje se projektuje hologram, omogućava korišćenje nišana čak i u slučaju manjih oštećenja stakla. Sva elektronika HOLO nišana potpuno je zaštićena sa dvostruko spojenim priključcima. Unutrašnji sklopovi su vodootporni, a sprovode se ispitivanja radi sertifikacije po MIL standardima.

Prema fabričkim prospektima HOLO nišan se obično montira na specijalni adapter, što bi trebalo da bude rešenje za vojne potrebe. Upravljanje nišanom prilagođeno je prstima strelca. To je slučaj s obe strane oružja, a prekidajući kojima se upravlja nišanom lako su dostupni bez promene nišanskog položaja. Takođe ugradnja nišana na prednji deo oružja otvara vidno polje strelca, pa ga čak i povećava. Držeći oba oka otvorena, svaki strelac se može usredsrediti na cilj i baratati oružjem. Nišanska končanica se odmah poklapa sa linijom oka i ciljem. Pretraživanje je gotovo trenutno i mnogo je brže nego kod standardnih otvorenih nišana. Svetlost končanice može da se menja u 20 nivoa, što je dovoljno za upotrebu na svetlosti dana, pa do zatamnjenja pogodnog za upotrebu po mraku. Sistem je proveravan u uslovima slabe vidljivosti, pri čemu su manja podešavanja bila dovoljna za upotrebu u takvim uslovima. Nivo 15 je osnovni položaj, a manje ili veće vrednosti postižu se taster-prekidačem. Za razliku od nekih drugih nišana, ukupna veličina HOLO nišana se ne povećava ako je osvetljenje končanice povećano ili smanjeno. Postoji više mogućih oblika končanica HOLO nišana.

M. Krbavac



POBOLJŠANJA TENKA LECLERC*

U kopnenu vojsku Francuske stigli su prvi osnovni borbeni tenkovi LECLERC Mk2 iz kompanije Giat Industries, kojima će biti zamenjena prvobitna verzija tenka Mk1.

Poslednja verzija Mk2 optimizirana je za upotrebu u otežanim operativnim uslovima, koji odražavaju planiranu ulogu kopnene vojske Francuske u 21. veku.

Prvobitni zahtevi koji su se odnosili na novi tenk bili su da se zameni stari AMX-30 i da novo oklopno vozilo ima ofanzivne sposobnosti: dobru strategijsku i veliku taktičku pokretljivost, efikasnu vatru u pokretu na velikoj daljini, dominaciju u informatičkom ratovanju, kao i dalje povećanje kapaciteta.

LECLERC je prvi tenk u NATO koji je opremljen automatskim punjačem topa, što je omogućilo da se posada smanji na tri člana. Tenk ima električni sistem za stabilizaciju 52-kalibarskog topa 120 mm sa glatkom cevi.

Pre isporuke poboljšane verzije Mk2 kopnena vojska Francuske bila je opremljena sa 134 tenka u verziji MK1. Poboljšanja u verziji Mk2 odnose se na ugradnju sistema za klimatizaciju, koji će omogućiti rad u uslovima visokih temperatura, okoline i poboljšanje softvera.

Planirane su tri faze modernizacije. U prvoj fazi do 2002. godine, očekuje se ugradnja u nove i povlačenje prvih modela na doopremanje poboljšanim sistemom za upravljanje na bojištu, kao i novim sistemom za detekciju vatre i sistemom ogibljenja. U drugoj fazi, koja će započeti 2006. godine, izvršiće se uvođenje sistema BIFF za identifikaciju kao i

novog termalnog nišana. Treća faza, od 2010. godine, uključuje poboljšanja u oklopnoj tehnologiji, sposobnost automatskog praćenja cilja i novi integrisani komandni sistem i sistem za upravljanje.

U maju i junu 1999. godine pet modela tenkova LECLERC Mk2 ispitivano je u Kataru, kako bi se ispitalo funkcionisanje u uslovima temperatura do 50°C. Oni su prešli 3000 km i ispalili 300 projektila 120 mm. Sa 160 projektila APFSDS-T na daljinama do 3700 metara pogodeno je 90% ciljeva.

Kopnena vojska Francuske naručila je 310 tenkova LECLERC i 15 tenkova za izvlačenje, a očekuje se naknadna porudžbina za dodatnih 96 tenkova i 15 tenkova za izvlačenje, tako da ukupan broj dostigne 436. Njima će biti opremljene oklopne i mehanizovane brigade do 2006. godine.

Prema zvaničnim podacima 50% oštećenja tenka LECLERC može se sanirati za dva sata, a 80% za četiri sata. Kod starijih tenkova AMX-30, bilo je potrebno 180 minuta za kompletnu zamenu motora, a za tenk LECLERC samo 50 minuta.

Ujedinjeni Arapski Emirati poručili su 390 tenkova LECLERC i 46 tenkova za izvlačenje. Do novembra 1994. godine isporučeno je više od 270 tenkova, koji se po mnogo čemu razlikuju od modela u kopnenoj vojsci Francuske. Opremljeni su nemačkim motorom MTU sa 1500 KS EuroPowerPack, koji je ugrađen i u francuske tenkove za izvlačenje.

Ostale modifikacije podrazumevaju ugradnju novog sistema FINDERS za brzu obradu informacija, dodatnu oklopnu zaštitu, spolja ugrađeni dizel agregat, sistem za klimatizaciju, komandirski nišan, laserski daljinomer i termalni nišan, kao i mitraljez 7,62 mm ugrađen na krovu.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.

Do decembra 1999. godine ukupan broj proizvedenih tenkova LECLERC dostigao je 440 i 13 tenkova za izvlačenje, a očekuje se da se proizvodnja nastavi do 2006. godine. Kompanija Giat Industries identifikovala je potencijalno tržište za 1000 osnovnih borbenih tenkova u periodu od 2003. do 2011. godine. Ono uključuje Grčku, Katar, Saudijsku Arabiju i Tursku.

Tenkovi za izvlačenje opremljeni su dodatnom opremom za razminiranje, koja uključuje plug firme Pearson, elektromagnetski sistem za neutralizaciju mina DEMETER, raketno podržanu opremu za uništavanje mina PW-LWD, poljske firme Pronit, kao i sistem za označavanje prolaza u minskim poljima Pathfinder firme Pearson.

Kompanija Giat Industries lansirala je i sistem za postavljanje mostova (nazvan PTG) na šasiji tenka LECLERC, zajedno sa kompanijom Vickers Defence Systems iz Velike Britanije.

Osnovni napor u kompaniji Giat usmereni su na smanjenje troškova i povećanje produktivnosti. Izvršen je kompletan reinžinjerinng procesa proizvodnje tenka LECLERC, što je dovelo do smanjenja troškova u oblasti proizvodnih pogona za 32%, u oblasti alata i pribora za 37%, defekata i škarta za 36%, kao i ciklusa proizvodnje za 40%.

V. Radić

<<<◇>>>

PUSTINJSKA ISPITIVANJA TENKA T-90S*

Tenk T-90S, koji proizvodi Uralvagonzavod iz Nižnjeg Tagila, spada u noviju rusku tehniku koja se nudi za izvoz. Indija, kao tradicionalni kupac ruskog

naoružanja, potpisala je pre godinu dana sporazum o kupovini 300 tenkova T-90S. Zahtevano je da se probna ispitivanja održe u pustinji Indije i to u periodu maj-jun koji je najtopliji. U to vreme temperatura u nekim pustinskim predelima u hladu dostiže i 57°C, što je već dovoljno težak test za tenkove i članove posade. Same pripreme bile su vrlo uspešne. Učestvovali su iskusni profesionalci iz redova indijskih tenkista. Vozači su imali od 5 do 15 godina staža u vožnji tenkova T-72M1 proizvedenih u Indiji. Nišandžije i komandiri su, takođe, prošli odgovarajući instruktaž.

Tenkovi isporučeni Indiji za potrebe ispitivanja umnogome se razlikuju od produkcije modela T-90. Pre svega, sadrže sasvim novu pogonsku grupu. Tenk T-90S pokreće najnoviji višegorivni turbodizel motor B92S2 od 1000 kW (736 KS) sa potpuno kompatibilnim sistemima. Opremljen je poboljšanim guseničnim mehanizmom i sistemom ovešenja. Posедуje i termovizijski sistem za upravljanje vatrom i sistem za optoelektronska protivdejstva ŠTORA-1.

Ispitivanja vožnje i gađanja izvođena su istovremeno. Svi parametri su proveravani u režimima maksimalne operative popunjenosti. Testovi vožnje su sadržavali i testove izdržljivosti, koji su rađeni posle 100, 1000 i 1500 km, pri čemu je svaki tenk trebalo da vozi neprekidno 500 km po raznim terenima.

Testovi vožnje trajali su 24 sata, a svaki tenk je prelazio preko 2000 km. Maksimalna brzina od 70 km/h postignuta je kad se tenk kretao po putu pomoću gumenih guseničnih papuča.

Naoružanje i sistem za upravljanje vatrom takođe su proveravani. Tenkovi su koristili sve tipove municije, uključujući i rakete, danju i noću, i na raznim

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar 2000.

rastojanjima. Poseban interes posvećen je gađanju realnih ciljeva. Vatra je otvarana sa zastanaka i iz pokreta, s položajem topa u stranu i unazad, a ciljevi su pogađani u gotovo 100% slučajeva. U toku ispitivanja gađani su telo i kupola tenka T-90S, sa istim tipom projektila. Potkalibarni i kumulativni projektili koji su ispaljivani (rastojanje do cilja bilo je manje od 100 m) iz tenkovskog topa 125 mm nisu probijali oklop, čak i u slučaju kada gađani tenkovi nisu imali dinamičku zaštitu. Oštećenja su pretrpeli samo površinski slojevi oklopa, pri čemu nisu onesposobljena ni tenkovska posada ni njihovi sistemi.

Termovizijski sistem, koji je ugrađen u tenk, povećao je njegovu sposobnost da bolje „vidi“ bojno polje, da gađa mnogo preciznije i da bude „dalekometniji“, tj. da gađa ciljeve na velikim rastojanjima.

U celini, ispaljeno je oko 500 projektila raznih tipova i 30 vođenih raketa u toku ispitivanja. Svaki od tenkovskih sistema, uključujući i optoelektronski sistem za protivdejstva ŠTORA, bio je proveren i ispitan. Potpuna demonstracija mogućnosti sistema ŠTORA završena je ispitivanjima u Rusiji. Pri ispitivanjima pouzdanosti tenka na dejstvo protivtenkovskog vođenog oružja, u delićima sekunde nakon što je „neprijatelj“ laserski snop pogodio tenk, automatski zvučni alarm upozorio je posadu na opasnost. U tom trenutku aktivirana je i granata, čijom je eksplozijom stvoren neprobojan aerosolni oblak koji je skretao laserski snop i time zaštitio tenk. Zatim je korišćena raketa sa IC navođenjem. Sa borbenog vozila pešadije BMP-2 lansirane su dve rakete FAGOT koje nisu pogodile tenk, jer su skrenute sa putanje pomoću sistema za optoelektronsko protivdejstvo.

Prva raketa je pogodila zemlju, a druga je promenila putanju za oko 100 m od tenka. Pri ispitivanju su gađani potpuno novi tenkovi. Jedan od konstruktora sistema ŠTORA izjavio je da, ukoliko bi tenk bio gađan istovremeno sa dve rakete, vođene sa odvojenim sistemima za upravljanje, različitog usmerenja, rezultat bi bio isti. Prema njegovim tvrdnjama, preko 100 raketa je bilo ispaljeno i nijedna nije pogodila cilj – tenk T-90S.

Sistem ŠTORA suštinski poboljšava održivost tenka na bojnom polju, u šta su se uverili i predstavnici oružanih snaga Indije. Očigledno da je tenk T-90S još jednom potvrdio svoje kvalitete i pokazao mogućnosti za efikasnu upotrebu.

M. Krbavac

<<<◇>>>

NOVI TENKOVSKI DIZEL MOTOR V-92S2*

Vojnotehnički savet Ministarstva odbrane Ruske Federacije usvojio je Program razvoja i usavršavanja oklopnih borbenih sredstava. Program je usmeren na očuvanje visokog standarda za operativnu gotovost oklopnih jedinica, radikalnu modernizaciju opreme i izradu novog tenka koji bi imao bolje performanse od postojećih. Na taj način jedinice bi se potpuno preorijentisale na novi tenk.

Ciljevi programa ne mogu se ostvariti bez savremenog motora, jer od njega, uglavnom, zavise efektivnost i pokretljivost tenka. Jezgro oklopnih snaga Rusije, i nekih drugih zemalja, čine tenkovi T-72 kojeg pokreće dizel motor V-46-6 od 574 kW (780 KS), ili V-84MS od 618 kW (840 KS). Do nedavno se smatralo da ti motori imaju vrhunske performanse. Danas se

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar 2000.

razvoj motora usmerava ka još većem povećanju specifične snage, radi daljeg povećanja pokretljivosti tenka i jedinice u celini.

Potreba za snažnijim motorom pojavila se već pri otpočinjanju modernizacije tenka T-72. Čeljabinski traktorski zavod, koji ima veliko iskustvo u projektovanju i proizvodnji dizel motora, prihvatio je taj projekat i 1999. godine proizveo motor V-92S2 od 1000 KS, koji je do sada prošao sve faze ispitivanja.

Junu i julu 1999. godine motor je ugrađen u tenk T-90S i uspešno je prošao predugovorne testove za potrebe Indije. Testovi su izvršeni u surovim pustinjским uslovima, uz visok sadržaj prašine u vazduhu i na temperaturama koje su prelazile 47°C. Motor je pokazao visoku pouzdanost i dobre vučne karakteristike.

Trenutno se radi na razvoju mnogo snažnijih modela. Treba naglasiti da je modernizacija tenka T-72 nezamisliva bez motora T-92S2. Za njegovu ugradnju potrebna je minimalna adaptacija motornog odeljenja i neznatno ulaganje. Motor V-92S2 je zadržao dobre kvalitete motora V-46-6 i V-84MS, kao što su visoka pouzdanost i lako održavanje. Stepem zajedničkog sa ovim motorima je u granicama 74,6%, što omogućava maksimalno korišćenje postojeće proizvodnje, remontnih kapaciteta i zaliha rezervnih delova.

Dizel motor V-92S2 sa turbo predsa-bijanjem opremljen je poboljšanim sistemom za napajanje gorivom i cilindarsko-klipnim sklopom. Po svojim kvalitetima nalazi se na nivou najpoznatijih svetskih modela, a po parametrima efektivnosti, specifične snage i dimenzija prevazilazi mnoge ruske i inostrane modele.

Masa motora V-92S2 je samo 1020 kg, što je manje od polovine mase motora AVDS-1790 (SAD), C12V (VB) i

UDV-12-1100 (Franc.). Odnos snaga – zapremina kod V-92S2 je 1,5 do 4,5 puta veći nego kod navedenih motora, a njegova efikasnost popune gorivom (kada je ugrađen u tenk) za 5 do 25% je veća.

Motor V-92S2 će naći široku primenu kako u novim tenkovima tako i pri modernizaciji postojećih.

M. Krbavac

<<<◇>>>

NOVI PROJEKTI MODERNIZACIJE AVIONA MiG-29*

Ograničenja budžetskih sredstava za odbranu primorala su mnoge zemlje da pristupe modernizaciji postojećih borbених авиона. Vrednosti borbene efikasnosti авиона moraju se poboljšati modernizacijom.

Tako, na primer, borbena efikasnost MiG-29 nije lošija od авиона IV + generacije (Rafale, EFA) i V (Raptor), proizvedених na Zapadu, a neke karakteristike modernizovaniх MiG-ova čak su i bolje. Kako postoji mogućnost produženja veka upotrebe i poboljšanja efikasnosti, atraktivnost modernizacije je još veća. Smatra se da je bolje izvršiti modernizaciju pet postojećih авиона nego kupiti jedan novi.

Danas se nude tri paketa za modernizaciju авиона MiG-29:

1. MiG-29 se modernizuje do mogućnosti MiG-29SM, što podrazumeva:

- uvođenje aktivnovodeiniх raketa RVV-AE (dva cilja mogu da se napadnu istovremeno);

- uključivanje u naoružanje авиона preciznovodeiniх raketa Kh-29T(TE) i vođene bombe za napad po ciljevima na zemlji;

- teži komplet bombi;

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2000.

– veći dolet leta, koji se ostvaruje upotrebom spoljašnjih rezervoara za gorivo i mogućnosti dopune u vazдушnom prostoru;

– parcijalno uključivanje delova sa Zapada u rusku elektroopremu (avioniku), kao što su delovi za sisteme identifikacije, komunikacije i radio-navigacije;

– upotreba motora RD-33, serije III, modularne izrade i dužeg veka upotrebe.

Navedene inovacije, kao i koncept uslovnog održavanja i duži životni vek korpusa i sistema, povećali su borbenu efikasnost i smanjili operativne troškove, uz mogućnost da letelice ostaju prilagođene infrastrukturi mnogih zemalja.

2. MiG-29 se modernizuje do mogućnosti MiG-29SMT. To, pored dostizanja nivoa MiG-29SM, podrazumeva i sledeće:

– povećani unutrašnji kapacitet za gorivo;

– savremeno informaciono polje pilotske kabine, koje se potpuno oslanja na kolor displeje LCD;

– novu otvorenu arhitekturu ugrađene opreme, zasnovanu na vrhunskom digitalnom kompjuteru;

– multipleks komunikacijske kanale i druge sisteme.

3. MiG-29 se modernizuje do nivoa i mogućnosti MiG-29UBT, koji je projektovan za obuku pilota na MiG-29SMT. On nosi i više goriva. Sa prototipovima su izvršene svestrane probe i probni letovi. Testovima je kompletirano i ispitivanje smanjenja radarske slike na prednjoj hemisferi. Pokazalo se da se efektivna površina refleksije u trocentimetarskom talasnom području smanjuje najmanje za faktor 10. To može da se postigne sa bilo kojom modifikacijom MiG-29. Sada Korporacija MIG uvodi u probne letove ra-

dar ŽUK-M. Upoređujući ga sa njegovim prethodnikom – radarom ŽUK, koji je ugrađen na nekoliko MiG-29M i MiG-29K, novi model ŽUK-M ima veći dolet otkrivanja cilja u vazдушnom prostoru i na moru, pojačanu rezoluciju u režimu spajanja otvora antena, kao i savremene kompjutere.

U poređenju sa radarom TOPAZ, koji je ugrađen na većini aviona MiG-29, ostvaren je veći dolet otkrivanja ciljeva, uglovi osmatranja po azimutu blizu 90°, veći je broj ciljeva koji mogu biti otkriveni i napadnuti, bolje su mogućnosti u režimu vazduh-površina, koriste se rakete R-27ER1 i RVV-AE, kao i rakete Kh-31A i Kh-35. Radar ŽUK-M može se ugraditi na avione MiG-29SMT (II faza), i na avione za brodove MiG-29K, kao i pri modernizaciji MiG-29 do nivoa modela MiG-29SM (umesto radara TOPAZ-M). Radi smanjenja troškova modernizacije, avion opremljen radarom TOPAZ-M može da se opremi radarom TOPAZ-M1, u kom slučaju je moguć režim rada vazduh-površina. Danas postoje i značajne mogućnosti unapređenja. One uključuju inercione navigacione sisteme na bazi lasera, sa korekcijom ulaza sa radio-navigacijskih satelita, osmatrački i snimajući sistem KARAT-B, itd. Razmatra se i ostvarenje znatnog povećanja borbene gotovosti i efikasnosti trenažnih aviona, njihovim opremanjem radarom i potrebnim naoružanjem. U Kompaniji MIG nudi se i paket projekata modernizacije koji omogućavaju da flota borbenih aviona bude savremena i, po potrebi, opremljena avionikom i naoružanjem sa Zapada. Takođe, smatra se da mogućnosti modernizacije time nisu iscrpljene. Sa glavnim partnerima radi se na:

– poboljšanju aerodinamike aviona uz povećanje broja spoljašnjih rezervoara i spremišta;

– postepenom povećanju potiska motora, pouzdanosti i efikasnosti, uvođenju mogućnosti promenljivog vektora potiska;

– razvoju radara ŽUK-M opremljenog fazno-rednom antenom;

– daljem razvoju elektronike, naoružanja i veštačke inteligencije;

– poboljšanju operativnih karakteristika i održavanja.

Većina navedenih usavršavanja može se izvesti na avionima u procesu njihove modernizacije, što bi omogućilo da avioni MiG-29 ostanu u sastavu avio-snaga do kraja prvog kvartala narednog veka.

M. Krbavac



RADARSKA TEHNOLOGIJA ZA NOVI VEK*

Ruska firma LEMZ već pedesetak godina učestvuje u razvoju i proizvodnji raznih vrsta radara. Za to vreme proizvela je više od pet hiljada radara i učestvovala u najvažnijim projektima, kao što su opremanje automatskih sistema za upravljanje vazдушnim saobraćajem pomoću radara, razvoj sistema za prizemljenje sovjetskog kosmičkog broda Buran i unikatnog niskovisinskog detektora za raketni sistem S-300 PMU. Proizvodi ovog zavoda dobro su poznati u preko 50 zemalja Evrope, Azije, Afrike i Latinske Amerike.

Radar 96L6E projektovan je za otkrivanje, identifikaciju i praćenje ciljeva u vazдушnom prostoru, kao i da obezbedi korisnicima respektivne informacije.

Radar 96L6E 3D koristi se sa raketnim sistemom PVO S-300 PMU, S-300 PMU1 i FAVORIT, kombinujući fun-

kcije niskovisinskog detektora, izviđačkog radara i komandnog mesta. Kada se koristi u sistemu upravljanja, on služi kao izvor radarskih podataka. Radar objedinjava faznu antensku rešetku, hardverski komplet i sistem za snabdevanje energijom, a montira se na šasiju vozila MAZ-7930.

Antenski sistem omogućava istovremeno elektronsko skeniranje tri snopa po elevaciji i mehaničko okretanje po azimutu. Veličina okretanja unutar sektora selektiranih azimuta može varirati u zavisnosti od situacije. Radar koristi adaptivne režime zračenja i prostornog skeniranja, kao i specijalne metode za obradu signala, koji obezbeđuju visoke performanse u uslovima PEB i pri niskom nivou lažnih uzbuna. Može da ima do pet odvojenih operatorskih radnih stanica. Informacije se pokazuju na kolor raster indikatoru plana – položaja. Ugrađeni automatski sistem testiranja omogućava uvid u neispravnu opremu, sve do dela koji treba zameniti. Sistem za snimanje čuva pristigle informacije i beleži aktivnosti operatora za period od 120 časova.

Osnovne karakteristike radara 96L6E:

- talasno područje: centimetarsko,
- oblast dejstva (pokrivanja):
 - po dometu, 300 km
 - po azimutu, 360°
 - po elevaciji, od -3° do +60°
 - brzina cilja: 30–2800 m/s
 - faktor slabljenja buke: do 70 dB
 - broj automatski praćenih ciljeva do 100
- dozvoljeni broj lažnih ciljeva praćenih za 30 minuta: ne veći od 5,
- vreme gotovosti za pokret, 5 min.

Radar 1L117M 3D razlikuje se od prethodnog modela (1L117) po klistron odašiljaču koji povećava stabilnost emi-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, april 2000.

tovanih signala i faktor slabljenja buke, i poboljšava sposobnost otkrivanja niskoletećih ciljeva. Osim toga, brzina izmena frekvencija poboljšava radarske performanse u uslovima protivelektronskih dejstava.

Oprema za obradu podataka obavlja primarnu i sekundarnu obradu informacija primljenih od primarnog i IFF radara, i šalje korisnicima koordinate cilja i podatke za praćenje. Izdvojeni upravni i kontrolni sistem obezbeđuje radaru automatski rad. Takođe, on upravlja njegovim operativnim režimom i obavlja funkcionalne i dijagnostičke provere radi ocene stanja radara. Uz to locira neispravnosti i ukazuje na to šta treba popraviti.

Radar sadrži antenski sistem, primopredajnu opremu primarnog i IFF radara, opremu za čitanje i obradu podataka, radarske indikatore sa izdvojenim upravljanjem i komplet elektroopreme sa dizel pogonom.

Osnovne karakteristike radara *IL117M 3D*:

- operativni frekventni opseg: S (10 cm),
- maksimalni domet: 350 km,
- vertikalni ugao skeniranja: 28°,
- koordinate tačnosti, RMSE:
 - po dometu, 125 m
 - po azimutu, min od arc 6
 - po visini, 400 m
- rezolucija:
 - po dometu, 125 m
 - po azimutu, 1°
- faktor slabljenja buke; 45 dB,
- broj praćenih ciljeva: 200,
- potrošnja električne energije, max 50 kW.

Radarski sistem za obradu i prikazivanje podataka *VIP-117* razvijen je na bazi savremene kompjuterske opreme,

novih tehnologija i softvera. Obavlja primarnu i sekundarnu obradu radarskih informacija zajedno sa identifikacijom informacija primljenih od primarnog, sekundarnog i IFF radara; pokazuje situaciju u vazдушnom prostoru sa označenim ciljevima i ekstrapolaciju položaja ciljeva; predviđa sukobe; unosi i prikazuje grafičke informacije; upravlja identifikacionim režimima; rešava probleme vođenja; analizira i prikazuje podatke o vremenu; statistički prikazuje radarske operacije; generiše izmene kodograma i šalje ih do komandnog mesta i radnih stanica; snima radarske i druge informacije, koje bi kasnije mogle ponovo poslužiti.

Radar *UTES-T* za praćenje vazдушnih puteva i radar *UTES-A* za ograničene prostore koriste se za upravljanje vazдушnim saobraćajem. Razlikuju se od sličnih radara po potpuno tranzistorizovanoj izradi, koriste najsavremenije metode obrade signala i radarskih podataka, i po izuzetno visokoj pouzdanosti koja je kombinovana sa automatskom redundancijom svih komponenata sistema, daljinskom upravljanju, kontroli i dijagnostici. Do konverzije eho signala u digitalni oblik dolazi na međufrekvenciji. Obrada sledećih signala obavlja se mikroprocesorima i kompjuterima. Ovi sistemi projektovani su tako da mogu da rade bez praćenja, što je moguće zbog njihove visoke pouzdanosti, koja se procenjuje na preko 20 000 časova, i potpunoj automatskoj zamenljivosti svih sistema. Pored toga, modularni tranzistorski odašiljač omogućava rad u bezbednom režimu u kojem do 4 modula (od 16) mogu da otkazu u svakom pojačivaču snage, bez vidnog uticaja na karakteristike sistema.

Sva oprema ima ugrađen sistem provere, koji locira neispravnosti sve do linije zamene određenog dela. Dok je

test sistem u radu, izdvojeni indikator pokazuje vrednosti potrebnih parametara i tekuće stanje radarske opreme. Sistem za automatsko pretraživanje nedostataka i predviđanje pokazuje proceduru za otklanjanje, a omogućeno je da to obavi postojećom opremom i srednjestručno osposobljeno osoblje.

Uključivanje–isključivanje radara automatsko ili ručno, rekonfiguracija opreme, kružno i polarizovano upravljanje, i druge funkcije, takođe se obavljaju daljinski. Zbog minimalnih aktivnosti redovnog održavanja niska je i cena održavanja. Radarski sistem *UTES* može se opremiti sekundarnim radarom bilo kog tipa ili se može povezati sa samostalnim sekundarnim radarima.

Firma LEMZ poseduje i program za osavremenjavanje ranije proizvedenih radara. Tako je u fazi implementacije radikalna modernizacija dobro poznatog radara *P-37*, koja uključuje potpunu zamenu svih starih komponenti sa najsavremenijim, kao i ugradnju trodimenzionalnog radara i hardvera za digitalnu obradu podataka, čime je njihova upotreba produžena za narednih 10 godina.

M. Krbavac

<<<◇>>>

INTEGRACIJA SATELITSKOG LINKA PODATAKA NA RAKETE TAKTIČKOG NIVOA*

Kao deo novog programa za neutralisanje prednosti mobilnih sistema PVO SAD razmatraju mogućnosti za ugradnju opreme za satelitske komunikacije na poboljšanu antiradarsku raketu *AGM-88* (*High speed Anti-Radiation Missile – HARM*). Koncept *ACTD* (*Advanced*

Concept Technology Demonstration), poznat i pod imenom *Quick Bolt*, integriše novu glavu za samovođenje u kojoj će se naći hardver Nacionalnog biroa za izviđanje (*NRO – National Reconnaissance Office*) sa poboljšanim protivradarskim vođenim raketama (*AARGM – Advanced Anti-Radiation Guided Missile*), što će im omogućiti direktni prijem podataka sa *NRO* satelita.

Navedeni hardver omogućiće borbenu upotrebu raketa *AARGM* uz korišćenje direktnih podataka iz centralne borbene mreže pomoću arhitekture tipa senzor–oruđe–senzor.

Koncept *Quick Bolt* dizajniran je tako da dejstvuje dovoljno brzo da bi neutralisao dejstvo mobilnih sistema neprijateljeve PVO, koja se služe taktikom „ispali i beži“. Preciznije rečeno, program poboljšane verzije raketa *HARM* namenjen je da odbije dejstvo neprijateljeve PVO i u slučaju kad ona primenjuje pasivne sisteme vođenja kod kojih se ne emituje radarsko zračenje.

Koncept *Quick Bolt* planira upotrebu *AARGM AGM-88*, koju je razvila firma *Science and Applied Technology*, uz dodavanje nove *NRO* komponente čime bi se dobila višekanalna glava za samovođenje. Kao konačni rezultat ove nadogradnje treba da se dobije raketa znatno robustnija od rakete u verziji *HARM Blok 6* koja sadrži sistem za globalno pozicioniranje (*GPS*) i senzor u radio-području.

Nova raketa *AARGM/Quick Bolt* koristiće višekanalnu glavu za samovođenje, koja u svom sastavu ima ekstremno osetljivu pasivnu radio-komponentu bolju od one u *HARM-u*, *GPS*, sistem za inercijalnu navigaciju (*INS*), radar u milimetarskom talasnom području za vođenje u završnom delu putanje, kao i *NRO* hardver za prijem satelitskih podataka.

* Prema podacima iz časopisa *Jane's Defence Weekly*, 26. April 2000.

Pre završetka programa realizacije sa detaljnim termin-planom za program Quick Bolt, raketa AARGM bez novog NRO hardvera podvrgnuta je prvim letnim testovima u martu 2000. godine na poligonu China Lake u Kaliforniji. Planira se da se ostala letna ispitivanja AARGM izvedu do oktobra 2001. godine, a da se ispitivanja po programu Quick Bolt (ACTD) završe u 2004. godini.

Konačni cilj je da se svih 2000 primeraka raketa HARM modernizuje do standarda AARGM, i doda novi hardver po programu Quick Bolt. Ako sve prođe uspešno, Ministarstvo odbrane planira da istraži mogućnost primene ovog koncepta i na ostale raketne sisteme taktičkog nivoa uključujući: Harpoon, Standoff Land Attack Missile Expanded Response (Boingova ofanzivna raketa za udare po zemaljskim ciljevima sa distance), AGM-154 Joint Standoff Weapons (Raytheonovo kombinovano oružje za udare sa distance), Tomahawk Land Attack Missile (Raytheonova raketa za udare po zemaljskim ciljevima), AGM-158 Joint Air-to-Surface Standoff Missile (Lockheed Martinova kombinovana raketa vazduh-zemlja za udare sa distance) i Land-Attack Standard Missile (Lockheed Martinova standardna raketa za udare po zemaljskim ciljevima).

M. Savanović

<<<<◇>>>>

TERMOVIZIJSKI DETEKTOR TREĆE GENERACIJE*

Švedska firma Celsius Tech Electronics (CTE) razvija IC kameru za protivtenkovski raketni sistem BILL (BIRC – BILL Infra Red Camera) sa termovizij-

skim detektorom treće generacije. Detektor je baziran na, u fokalnoj ravni smeštenoj, rešetki (mozaiku), sastavljenoj od IC foto-detektorskih elemenata sa šupljina (QWIP – Quantum-Well Infrared Photodetector), koji rade u talasnom području od 8 do 12 μm . Ovaj detektor služi kao noćni nišan u Boforsovom protivtenkovskom raketnom sistemu, kao i u drugim protivtenkovskim raketama.

Ova kompanija sarađuje sa norveškom firmom Simrad Optronics na kompaktnijoj verziji kamere koja treba da čini deo sistema za osmatranje i upravljanje vatrom. Na ovaj način nastoje se ispuniti zajednički zahtevi za opremanje artiljerijskih izviđača švedske i norveške vojske. Ova verzija detektora naknadno je prilagođena i za ručnu upotrebu, a sledeća potencijalna primena je ugradnja u nišanske sprave oklopnih borbenih vozila.

Detektor je razvijan u okviru Mikroelektronskog centra u Stokholmu (Microelectronics Center) i u saradnji sa Kraljevskim institutom za tehnologiju (Royal Institute of Technology) i Linköping univerzitetom (Linköping University) uz finansijsko učešće FMW (Uprave za nabavke Ministarstva odbrane), NUTEK (Nacionalno udruženje za industrijski i tehnološki razvoj), i firmi FLIR Systems (zadužena za elektroniku detektora), CTE i Saab Dynamics.

QWIP detektorski elementi izrađeni su od više naizmenično nanetih slojeva galijum arsenida i aluminijum-galijum arsenida, koji sadrže potreban broj šupljina podesive dubine i promera. U dubini, uske šupljine imaju samo dva diskretna energetska nivoa: nivo zemlje (nulti) u blizini dna i prvi pobuđeni nivo u blizini vrha. QWIP detektuje zračenje samo u slučaju korektne (očekivane) talasne du-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

žine emitovane energije, koja se oslobađa pri prelasku elektrona sa prethodnog na sledeći energetska nivo. Pri tome apsorbuju samo fotoni talasne dužine koja odgovara energiji separacije između dva nivoa (oko 9 μm).

BIRC, za sada, raspolaže detektorskom rešetkom koja se sastoji od 320×240 elemenata, a u perspektivi je da se poveća na dimenzije 640×480 elemenata. Detektor radi zajedno sa durbinom koji ima dva vidna polja: $14,1^\circ$ i $4,7^\circ$. Oni u sprezi omogućavaju detekciju srednjeg tenka na daljini preko 10 km, razlučivanje na 4 km i identifikaciju na 2 km.

Početna varijanta BIRC-a, koja je bila konstruisana kao noćni nišan za protivtenkovske rakete BILL, imala je objektiv sa otvorom promera 11 cm i dva vidna polja koja su se menjala električnim putem: $4,6^\circ \times 3,4^\circ$ i $2,3^\circ \times 1,7^\circ$.

U pripremi za izvoz CTE je pripremila i promovisala dve varijante BIRC-a: prvu u okviru protivtenkovske rakete BILL i drugu za ugradnju na ostale protivtenkovske rakete, kao što je npr. MILAN. Očekuju se i dalja prilagođavanja za ugradnju na raketne sisteme zemlja-vazduh, kao što je Boforsov RBS70.

U verziji uređaja za osmatranje u prednjoj polusferi, koji je raden za švedsko-norveške artiljerijske osmatračke sisteme, redukovana je masa detektora na manje od 3 kg. U ovoj verziji iskorišćen je lokator cilja LP10TL firme Simrad Optronics, na koji je kablom spojen detektor, a sve je montirano na glavu za ugaono podešavanje. LP10TL u svom sastavu ima: laserski merač daljine bezbedan za oči, digitalni magnetni kompas, procesor i opciono GPS prijemnik. Njegov displej visoke rezolucije pokazuje sliku koju daje BIRC, a pokretna nad-

gradnja na gornjoj strani omogućava operatoru podešavanje parametara slike.

M. Savanović

<<<◇>>>

UPOTREBA IC I UV STIMULATORA U TAKTIČKE SVRHE*

Britanska firma Elettronica i austrijska firma Vision Abell razvili su i ponudili tržištu familiju modula poznatih pod nazivom MALLINA, koji će biti sklapani i isporučivani u različitim kombinacijama kako bi poslužili kao IC (infra crveni) i/ili UV (ultraljubičasti) stimulatori, koji vrlo verno oponašaju signature (odraze) raketa zemlja-vazduh. To je prva i osnovna namena modula.

Međutim, pored toga što u okviru osnovne namene omogućavaju letno testiranje pilota borbenih aviona opremljenih sistemima za upozorenje na rakete koje se približavaju, moduli MALLINA imaju i nekoliko potencijalnih taktičkih primena. Jedna od njih uključuje simulaciju prisustva raketa zemlja-vazduh, kojom se napadač zavarava da je suočen sa pretnjom koja realno ne postoji. Na taj način napadač se dovodi u situaciju da uzastopnim ispaljivanjem istroši raspoloživu zalihu sredstava za zaštitu od raketa zemlja-vazduh, kao što su različite vrste mamaca (IC, radarski). Ovakva upotreba u okviru taktičkih mera predstavlja drugu ili dopunsku namenu modula MALLINA koja ima značajan potencijal.

Za osnovnu namenu modul MALLINA razvijen je u obliku robustne verzije sa povećanim dometom, pod imenom elektrooptički stimulator srednjeg dometa (MEOS – Medium range Electro-Optical Simulator), krajem 1999. godine.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

U ovom poslu, firma Vision Abell obezbeđuje optiku i zadužena je za plasman modula na južnoj hemisferi, dok je firma Elettronica zadužena za plasman na severnoj hemisferi. Australijsku firmu osnovali su bivši službenici jedne vladine organizacije za vojnu nauku i tehnologiju koji su sami razvili i licencno zaštitili koncept koji se koristi u modulima MAL-LINA. Ovaj koncept je hibridne konstrukcije. Koristi sijalicu čiji se intenzitet svetla menja relativno sporo, u zavisnosti od promene ulaznog napona, a brze promene se ostvaruju brzim prekidačem.

Britanska firma je isporučila dva prototipa originalnog MEOS-a britanskoj Agenciji za razvoj i istraživanje u oblasti odbrane, koja nastoji da ih ugradi u komplet AN/ALQ-24 NEMESIS, firme Northrop Grumman, namenjen za direktne IC kontramere, kao i u uređaje za upozorenje na dolazeće rakete koji se razvijaju u okviru programa za brze mlazne pogone (Fast Jet program). Potencijalni kupci ove opreme su: australijsko ministarstvo odbrane, američko ratno vazduhoplovstvo i nacionalna garda, japanske vazdušne odbrambene snage, kao i neke evropske zemlje.

Saradnja između Australije i SAD na ovom planu sprovodi se i kroz promociju američkog usavršenog sistema mera protiv IC pretnji (ATIRCM – Advanced Threat Infrared Countermeasures), koji treba da bude usvojen kao deo australijskog projekta Echidna vrednog više od 500 miliona australijskih dolara. Ovaj projekat, koji se radi već 9 godina, treba do kraja 2001. godine da obezbedi integrisane elektronske borbene sisteme za platforme kao što su: F-111, F/A-18, C-130J, S-70, CH-47, SH-3, AP-3C.

Firma Vision Abell analizira i upotrebu pomoćnih senzora za testiranje leta.

Izbor senzora za projekat Echidna mogao bi dovesti do toga da svi kupci ATIRCM usvoje istu opremu.

Istraživačka laboratorija američkog ratnog vazduhoplovstva obavlja ocenjivanje postojećih modula MEOS radi potvrđivanja njihove kompatibilnosti sa ATIRCM. Oprema je u radu sa zajedničkim sistemom za upozoravanje na rakete (CMWS – Common Missile Warning System), koji nadopunjava ATIRCM, ostvarila domet od 5 km, a u radu sa drugim sistemima upozorenja na 3,5 km.

Ovakav koncept mogao bi biti vrlo interesantan za primenu i u našim uslovima u okviru mera za operativno-strategijsko maskiranje za stvaranje lažnih raketnih položaja PVO. Ovakvi uređaji svojim dejstvom primoravali bi neprijateljsku avijaciju na napuštanje zone PVO odbrane, udaljavanje od potencijalnih ciljeva, smanjenje preciznosti pogađanja, trošenje raspoloživih resursa IC i radarskih mamac i sl.

M. Savanović

<<<◇>>>

RAZVOJ NOVE GENERACIJE GPS SATELITA*

Ratno vazduhoplovstvo SAD (USAF – US Air Force) namerava da razvije novu generaciju navigacionih satelita za globalni sistem pozicioniranja (GPS), kako bi se zadovoljili novi, znatno prošireni zahtevi koji se postavljaju pred GPS, a koji uključuju upotrebu dodatnih vojnih i civilnih signala i proširenje mogućnosti za sprečavanje ometanja.

Centar za svemirske i raketne sisteme (SMC – Space and Missile Systems Center) koji je nadležan za svemirske sisteme, planirao je da sa firmom Boeing

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, mart 2000.

sklopi ugovor za nadogradnju i modernizaciju 33 satelita serije Block IIF. Međutim, sledeći povećane zahteve za uslugama GPS satelita, da bi izbegao zagušenja i obezbedio prohodnost za dekadne koje dolaze, odlučio se za razvoj i rekonstrukciju sistema GPS satelita pod nazivom GPS Block III sa drastično povećanim mogućnostima.

U međuvremenu, nadogradiće se znatan broj satelita koji se sada nalaze u upotrebi ili su već proizvedeni, ali još nisu lansirani. Boing će nadograditi 6 satelita verzije Block IIF prema postojećem ugovoru, ali će, da bi održao aktivnom proizvodnu liniju, isto uraditi i sa narednih 6 satelita verzije Block IIF. Firma Lokid Martin će, takođe, modifikovati 12 od 18 reprogramabilnih satelita verzije Block IIR, koji se pripremaju za lansiranje. Sateliti Boing i Lokid Martin biće opremljeni uređajima za generisanje novih signala za vojne i civilne potrebe, koji treba da ispune nove zahteve do uspostavljanja novog sistema satelita verzije Block III, za čiji razvoj će biti potrebno još oko 10 godina.

Nakon što su zvanične službe održavanja zaključile da bi jednostavnom nadogradnjom (proširenjem kapaciteta) postojećih verzija satelita Block IIF i IIR bilo vrlo teško zadovoljiti nove zahteve za navigaciju u svakoj tački na terenu, za temeljno restrukturiranje sistema GPS satelita biće potrebno obezbediti više milijardi USD. Međutim, USAF takođe veruje da će nove tehnologije, koje još nisu spremne već se sada nalaze u fazi razvoja, za narednih nekoliko godina biti

u mogućnosti da znatno efikasnije zadovolje zahteve koji se postavljaju naročito u pogledu snage signala. Nadogradnja se može izvršiti relativno lako, ali za nju je potrebno relativno dugo vreme i potrebno je izvršiti revizije mnogih rešenja počev od izvornih Boingovih.

Program realizacije sa termin-planom i osnovnom finansijskom konstrukcijom za novi program GPS III završen je i nalazi se u kongresnoj proceduri gde mora biti usvojen. Predviđa se da će ove godine biti raspisani zahtevi za ponude za proizvodnju, dok se prvo lansiranje očekuje u 2007. godini. Podrazumeva se da će Boing i Lokid Martin biti prvi isporučioци satelita i zemaljskih prijemnih stanica. Napori koji se ulažu nisu ograničeni samo vrednošću projekta, već se nastoji da se rešenja usmere u pravcu fleksibilne arhitekture, koja će moći da prihvati narastajuće potrebe u budućnosti.

Zanimljivo je da su se sateliti koji se nalaze u orbiti, pokazali vrlo pouzdanim, tako da su se zadržali u orbitama duže nego što je bilo planirano. Time su smanjeni troškovi održavanja, kao i ukupni troškovi.

Sada aktivni sistem GPS satelita čini 8 Boingovih satelita verzije Block II, 18 Boingovih satelita verzije Block IIA i 2 Lokid Martinova satelita verzije Block IIR. Početno razvijen samo za vojne primene, GPS se danas koristi u brojnim vojnim i civilnim područjima, uključujući i, kako se procenjuje, oko 4 miliona privatnih korisnika raspoređenih širom sveta.

M. Savanović





tehničke novosti i zanimljivosti

POČETNA ISPITIVANJA PROJEKTILA 155 mm EXCALIBUR*

Precizno vođeni artiljerijski projektili povećanog dometa EXCALIBUR (XM982) prošli su strukturna ispitivanja na poligonima u Arizoni. Zahvaljujući razvoju globalnog sistema pozicioniranja za vođene artiljerijske projekte 155 mm povećanog dometa, kompanija Raytheon, uspešno je sprovedla serijska strukturna ispitivanja. Testovima su verifikovane kritične komponente projektila i njegov uticaj na vozilo. Narednim ispitivanjima testiraće se otpornost topovskih podsistema.

Serijske ispitivanja sastojale su se od šest opaljenja projektila radi uvida u kompaktnost strukture osnove i tela, sekcije za vođenje, navigaciju i upravljanje, kao i otvaranje i zatvaranje krilaca stabilizatora. Ovi testovi deo su planskih ispitivanja karakteristika leta, planiranih da se obave krajem proleća, i ispitivanja elektronike za vođenje, koje je planirano za kraj leta.

Ovaj artiljerijski sistem projektovan je za domet do 50 km i tačnost pogađanja do 20 m, i ključni je elemenat transformacije armijske srednje brigade.

Program projektila XM982 obuhvata familiju od tri projektila (ER-DPICM, SADARM i Unitary) koje objedinjavaju bojne glave specijalne namene sa zajedničkim telom i sistemom vođenja.

M. K.

<<<◇>>>

VOĐENA MUNICIJA RAVEN GGM*

Prva letna ispitivanja GPS vođene municije Raven GGM (GPS Guided Munition) treba da budu izvršena polovinom 2000. godine na poligonu u francuskom centru d' Etudes des Landes (CEL).

Municiju Raven GGM razvile su kompanije Thomson CSF iz Francuske i Daimler Chrysler Aerospace iz Nemačke, na osnovu zahteva francuskog ratnog vazduhoplovstva.

Municija Raven sadrži standardnu razornu bombu Mk84 mase 907 kg sa sistemom za globalno pozicioniranje i četiri zadnja stabilizatora, što obezbeđuje vrlo malu grešku verovatnog kružnog skretanja.

Radi ispitivanja municija Raven GGM će se odbacivati sa visine od 9140 metara po ciljevima na površini koja će

* Prema podacima iz Defence Data, Internet, 13. april 2000.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 8. mart 2000.

se snimati iz aviona E-2C Hawkeye. Zahvaljujući ovoj municiji napadački avion može biti na većem rastojanju (distanci), a potreba za municijom biće manja, jer je obezbeđeno bolje navođenje za neutralisanje cilja.

V. R.

<<<◇>>>

TURSKA RAKETA TOROS*

Raketa TOROS (Topcu Roketi Sistemi) za novi artiljerijski raketni sistem, koja će imati domet do 100 km nalazi se u fazi ispitivanja, a kompletira se razvoj ključnih podsistema. Sledeća faza biće serijska proizvodnja tih sistema.

TOROS sadrži i lansirno vozilo, logističko vozilo i vozilo za održavanje, zasnovano na kamionskoj šasiji 6×6 i komandnom vozilu na šasiji 4×4. U fazi razvoja su dve rakete, TOROS-230 i TOROS-260. TOROS-230 ima minimalni domet 10 km, a maksimalni 65 km, dok TOROS-260 ima minimalni domet 15 km, a maksimalni 100 km.

Tipična konfiguracija rakete može da podrazumeva razornu, fragmentacionu i dimnu bojnu glavu. Razorna bojna glava za raketu TOROS-230 ima masu 120 kg i sadrži 25 000 čeličnih kuglica, dok TOROS-260 ima masu 145 kg i ima 30 000 čeličnih kuglica. Obe rakete imaju unutrašnji sadržaj brizantnog eksploziva. Nove bojne glave i sistemi za vođenje nalaze se u fazi razvoja.

Laser nosi dva kontejnera raketa. Raketa TOROS-230 se transportuje i lansira iz 6, a TOROS-260 iz 8 cevi. Cevi lansera izrađene su od fiberglasa.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 8. mart 2000.

<<<◇>>>

NOVA GENERACIJA RAKETA MICA*

Britansko-francuski proizvođač raketa Matra BAe Dynamics (MBD) objavio je planove za razvoj vertikalno lansirane varijante rakete vazduh-vazduh kratkog dometa MICA, koja je namenjena za mornaričke i zemaljske platforme. Otkrivena tokom azijske vazduhoplovne izložbe 2000 u Singapuru, VL MICA koncept biće razrađen za tri godine. Na osnovu studije o realnim mogućnostima za ostvarenje, koja je izrađena 1999. godine, nova raketna aplikacija generisaće troškove oko 1 milijarde dolara tokom 6 godina.

Identična postojećoj raketi MICA, koja se lansira iz vazdušnog prostora na upotrebi u Francuskoj, Kataru i Arapskim Emiratom, vertikalno lansirana verzija dostižeće maksimalnu visinu oko 10 km i imati domet od 10 do 12 km. Moguće je ugraditi na kamion, pokretni ili brodski sistem, raketa će biti sposobna za vatrene zadatke sa 8 raketa u vremenu od 12 sekundi: sa manje od dve sekunde između dva lansiranja. Raketa MICA će biti kompletirana za serijska gađanja sa zemlje.

Opremljena postojećim IC i aktivnim radarskim tragačem, vektorski kontrolisana VL MICA obezbediće manevarsku sposobnost za dejstvo od 360° protiv ciljeva u vazdušnom prostoru, i imaće veliku otpornost prema protivmerama. Očekuje se da će projekat rakete VL MICA obezbediti smanjenje troškova u ulozi namenjenoj mornaričkoj PVO.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 1. mart 2000.

<<<◇>>>

RAZVOJ DVOCEVNOG MINOBACAČA 120 mm AMOS*

Švedska i Finska potpisale su sporazum o razvoju dvocevnog poboljšanog minobacačkog sistema 120 mm AMOS (Advanced Mortar System). Sporazum se zasniva na dogovoru iz 1994. godine koji su sklopile Danska, Švedska, Finska i Norveška o zajedničkom razvoju borbenih tehničkih sredstava koji će zadovoljavati operativne zahteve armija sve četiri zemlje.

Za projekat AMOS, Danska i Norveška imaju status posmatrača. Novi sporazum pokriva istraživanja i fazu prototipa koje kreću u decembru 2002. godine sa ukupnom vrednošću projekta od 11,5 miliona dolara.

Početni sistem biće procenjivan na dve različite šasije: švedskoj guseničnoj CV90 i finskom vozilu 6×6 XA-203.

AMOS će se razvijati nekoliko godina, biće prilagođen nordijskim uslovima i moći će da se integriše u nove i postojeće gusenične i točkaške šasije.

Sistem poseduje dve cevi 120 mm sa poluautomatskim punjenjem i autonomni nezavisni sistem za upravljanje vatrom i navigaciju. Maksimalna brzina gađanja iznosi 20 projektila u minuti. Maksimalni domet, kada se gađa sa konvencionalnom municijom, iznosi 10 km, a ako se gađa projektilima STRIX vođenim na završnom delu putanje domet je 8 km.

V. R.

<<<◇>>>

NOVI KINESKI VIŠECEVNI RAKETNI SISTEM A100**

Kina je razvila novi višecrevni raketni sistem A100, koji će ispuniti operativne zahteve kineske armije.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 26. april 2000.

** Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 29. mart 2000.

Sistem A100 ima 12 cevi i po prečniku rakete, dometu, brzini gađanja i spoljašnjem izgledu vrlo je sličan ruskom sistemu 300 mm BM9A52 Smerč. Još početkom 1995. godine Kina je tražila i transfer tehnologije Smerča koji ima najveći domet od svih ruskih višecrevnih raketnih nevođenih sistema zemlja-zemlja. Smerč je uveden u naoružanje 1987. godine, a jedini inostrani kupac je Kuvajt, koji je 1996. i 1997. godine kupio 27 sistema.

Standardni ruski sistem Smerč smešten je na šasiji vozila 8×8 MAZ-543M, dok je kineska verzija na različitim šasijama 8×8 sa različitim stabilizatorima. Ruski sistem ima 12 lansirnih cevi, dok kineski ima 10. Maksimalna brzina kretanja sistema A100 po putu iznosi 60 km/h.

Kineske rakete 300 mm imaju minimalni domet 40 km a maksimalni 100 km, dok Smerč ispaljuje 3 različite rakete sa minimalnim dometom 20 km i maksimalnim 70 km. Te rakete su: 9M55K sa 72 razorna kasetna projektila, 9M55K1 sa 5 kasetnih projektila za napad iz gornje polusfere (*top attack*) i 9M55F sa razornom bojnom glavom. Sada se razvijaju još dve bojne glave: 9M55K4 sa protivtenkovskim minama i 9M55S sa aerosolnim eksplozivom.

Nedavno su objavljeni podaci o novim serijama ruskih raketa sa minimalnim dometom 35 km i maksimalnim 90 km, sa složenim bojnim glavama. Moguće je da je izvršen transfer tehnologije za te rakete.

Sistem A100 je komplementaran sa sistemima WS-1, koji se ranije punio sa 4 rakete 320 mm sa maksimalnim dometom 80 km, i WS-1B sa maksimalnim dometom 180 km.

V. R.

<<<◇>>>

BOJNA GLAVA ZA UNIŠTENJE OTPORNIH CILJEVA*

Izraelska kompanija RAFAEL lansirala je novu vrstu bojne glave sposobne da uništi otporne ciljeve, kao što su oklopna vozila ili bunker, visokootporni i ostali objekti izrađeni od betona i dodatno zaštićeni slojevima zemlje, stena ili čelika. Novi projekat ima oblik koji minimizira devijaciju posle udara, što povećava dubinu penetracije i stepen dejstva bojne glave.

Konvencionalne bojne glave su, tipično izrađene od tri segmenta: prednji, obično konusan ili oživalan, osnovni, koji sadrži eksplozivno punjenje i najčešće je cilindričan, te zadnji deo u kojem se nalazi eksplozivno punjenje sa oblogom i upaljačem. Obloga bojne glave izrađena je od čelika povećane čvrstoće.

Namena penetracione bojne glave je da prođe što dublje u cilj kako bi u njemu eksplodirala ili ga zatvorila. Performanse penetracije zavise od ugla pod kojim bojna glava udara u cilj, s tim da mali uglovi udara stvaraju mogućnosti za rikošet. Maksimalna dubina penetracije očekuje se kad je udar pod uglom od 90° (normalno na cilj).

Mnogi otporni ciljevi, kao što su komandni bunker, izrađeni su u zemlji i imaju spoljni zid koji je horizontalan. Kao posledica toga, većina bojnih glava udara u cilj pod uglovima između 45° i 65° . Pri udaru pod uglom $>45^\circ$, bojna glava penetrira cilj ali teži da formira kumulativni prolaz oblika slova J. Ta devijacija može prouzrokovati da bojna glava bude zaustavljena u tački u kojoj je pogodila cilj (nosnim delom). U lošijem slučaju, J-prolaz može rezultovati detona-

cijom bojne glave u mestu gde su manja ili nikakva oštećenja učinjena u cilju.

Sadašnje bojne glave su simetrične, tako da su performanse zavisne od ugla pod kojim se pogodi cilj. Ta simetrija je bitna kod većine vrsta raketa i bombi koje rotiraju u letu, čineći nemogućim predikciju (prognozu) ugla rotacije u trenutku udara. Ukoliko je raketa sa stabilizacijom rotacije, tada koristan teret (eksplozivno punjenje) može da se preda pod zadatim uglom. Kompanija Rafael predlaže da bojna glava bude opremljena dodatnim asimetričnim nosnim delom. Sa asimetričnom bojnog glavom debalans sila na nosu glave teži da je rotira oko njenog centra gravitacije i pravca kretanja prema cilju. U predloženoj konstrukciji asimetričan nos izabran je tako da sila koja deluje na bojnog glavu teži da stvori momenat oko centra gravitacije glave koji obezbeđuje direktnu penetraciju cilja u pravcu koji je približan normalnom (vertikalnom), što povećava dubinu penetracije.

V. R.

<<<◇>>>

MODIFIKOVANI ARTILJERIJSKI SISTEM CRUSADER*

Kopnena vojska SAD povećaće svoju stratezijsku pokretljivost tako što će izvršiti konverziju guseničnih u točkaška vozila za popunu (dotur) nove samohodne gusenične haubice 155 mm Crusader.

Započeti program Crusader biće restrukturiran kako bi se sistem učinio lakim i pokretljivijim. Prema novom planu, svako drugo vozilo Crusader, bilo vozilo-haubica bilo vozilo za dotur, moraće da bude prenosivo stratezijskim

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. februar 2000.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 1. mart 2000.

transportnim avionima tipa C-5B Galaxy na daljinu od 6000 km, distancu koja nije dostižna na sistemima sadašnje konfiguracije.

Transportna masa svakog Crusadera biće smanjena na 38 do 42 tone, jer sada vozila imaju masu i do 50 tona, kada su potpuno borbena opremljena. Samohodna haubica biće smanjena i po dimenzijama, imaće modularni oklop i dodatnu zaštitu osnovne strukture, a imaće i dva manja spremnika za smeštaj municije (sa 25 umesto 30 projektila).

Kopnena vojska tražila je upotrebu poboljšanih materijala, kao što su titan ili kompoziti sa metalnim matricama u gusenicama, ogibljenju zadnjim vratima i štitnicima kako bi se još više smanjila masa.

Smatra se da će redukcija mase omogućiti Crusaderu da nosi manji pogonski agregat i transmisiju. Korisnici sistema nadaju se da će koristiti novi motor koji je isti za Crusader i osnovni borbeni tenk M1 Abrams. Zahtevi za taj motor objedinjeni su aprila 2000. godine. Plan upotrebe odnosi se na 480 vozila za dotur, od kojih će 240 biti sa neoklopljenim paletizovanim sistemom.

Točkaška vozila za dotur moći će da nose 130 projektila, ali će zbog smanjenja mase taj broj iznositi 100 projektila. Plan za restrukturiranje Crusadera zadržaće osnovne parametre performansi – domet, brzinu gađanja, pokretljivost i automatizovani transfer od vozila za dotur.

KoV SAD planira da kupi 408 sistema umesto prvobitno planiranih 1138, koji treba da zamene postojeće, samohodne haubice M109. To će, prema proceni, koštati 11,2 milijarde dolara u periodu od 2001. do 2014. godine.

V. R.

<<<◇>>>

ARTILJERIJSKI SISTEM LW SP 155*

Britanska kompanija BAE Systems udružila se sa američkom kompanijom United Defence LP na razvoju koncepta novog samohodnog 39-kalibarskog artiljerijskog sistema 155 mm 8×8 (LW SP 155).

Kopnena vojska planira da se privremeni brigadni borbeni timovi (IBCT) opreme familijom novih oklopnih vozila (MAV), radi povećanja strategijske pokretljivosti.

Sistem LW SP 155 bazira se na šasiji kanadskog lakog oklopnog vozila (LAV) poznatog pod imenom PIRANHA. Pretpostavlja se da će vozilo LAV 8×8 biti značajan konkurent u ispunjenju američkih zahteva za novim oklopnim vozilom.

Sve više zemalja zainteresovano je za vozilo PIRANHA, tako da je naručeno oko 5000 ovih vozila u konfiguracijama 6×6 i 8×8. Mornarička pešadija SAD ima oko 800 vozila LAV 8×8 u osam namenskih konfiguracija. Sistem LW SP 155 izrađen je na bazi guseničnog artiljerijskog sistema 155 mm AS 90 Braveheart i vučnog artiljerijskog sistema 155 mm/39 kalibara XM777 UFH, koji se razvija za KoV SAD i Velike Britanije i mornaričku pešadiju SAD. Kompanija United Defence LP prvi je ugovarač za artiljerijski sistem M109A6 Paladin i samohodni gusenični sistem Crusader.

Na zadnjem delu šasije vozila LAV 8×8 ugrađeno je oruđe 155 mm/39 kalibra, koje je isto kao i na sistemu XM777. Kada gađa sa projektilima povećanog dometa, kao što su XM982, sistem može da ostvari domet i do 40 km.

Takode, sistem se može opremiti automatskim uređajem za punjenje oruđa

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 16. februar 2000.

i posadi omogućiti da bude potpuno zaštićena od NHB opasnosti. Kompjuterizovani sistem za nišanje smanjuje vreme potrebno za akciju (dejstvo) i povećava efikasnost oruđa.

Posada od tri člana smeštena je u prednjem delu oklopnog tela levo od motornog prostora, dok je u zadnjem delu prostor za smeštaj municije (oko 30 projektila 155 mm i modularnih barutnih punjenja).

Radi povećanja pokretljivosti po različitim vrstama terena, sistem LW SP 155 koristi centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima. Kao standardna oprema ugrađivaće se čekrk, a vozilo će biti prenosivo transportnim avionima C-130 Hercules, što je jedan od ključnih zahteva za vozilo MAV.

V. R.

<<<◇>>>

IRANSKI RAKETNI SISTEM FADJR*

Iran je obelodanio nove informacije o serijama nevođenih raketnih sistema zemlja-zemlja Fadjr - 3 i Fadjr - 5, koji su u upotrebi u iranskim oružanim snagama.

Oba sistema razvijena su u industriji Šahid Bageri, uz verovatnu podršku Severne Koreje. Ovi sistemi su ugrađeni na modifikovanu kamionsku šasiju 6×6 Mercedes Benz 2626 i potpuno zatvorenom kabinom. Srednji deo kabine namenjen je posadi - posluži.

Sistem Fadjr - 3 prvi put je prikazan 1996. godine i ugrađen je na šasiju japanskog vozila Isuzu 6×6. Ima 12 cevi kalibra 240 mm (dva reda po 6 cevi). Rakete imaju maksimalni domet 43 km. Lanser se može pokretati po elevaciji od 0° do +57° i po azimutu 90° i 100° udesno.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 26. april 2000.

Karakteristike raketnih sistema

	Fadjr-3	Fadjr-5
Broj cevi	12	4
Kalibar (mm)	240	333
Dužina rakete (mm)	5200	6485
Maksimalni domet (km)	43	75
Masa rakete (kg)	407	915
Masa bojne glave (kg)	90	175
Masa eksploziva (kg)	45	90
Masa sistema (kg)	15000	15000
Maksimalna brzina vozila po putu (km/h)	60	60

Sistem Fadjr - 5 ima 4 cevi kalibra 333 mm i maksimalni domet 75 km. Lanser se može pokretati po elevaciji od 0° do +57° i po azimutu 45° ulevo i udesno.

Oba sistema lansiraju raketu na čvrsto gorivo sa stabilizatorima koji se šire nakon lansiranja. Da bi se obezbedila što čvršća platforma, na zemljište se postavljaju četiri stabilizatora pre lansiranja raketa. Rakete se mogu lansirati pojedinačno ili rafalno svakih 4 do 8 sekundi.

V. R.

<<<◇>>>

TESTIRANJE PRECIZNIH UDARA*

Američka mornarica demonstrirala je rad komandnih (upravljačkih) linkova, koji funkcionišu u prednjoj polusferi projektila, i linkova za video-podatke, koji funkcionišu u zadnjoj polusferi projektila, u okviru programa za obezbeđenje preciznih udara (Surgical Strike effort) oružjem za udare sa distance. Ovaj program deo je velikog programa za razvoj tehnologije naoružanja za dejstvo na kopnu, moru i u vazдушnom prostoru.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

Sposobnost sistema da velikom brzinom prenosi podatke, kombinovana sa vrlo velikim dometom (čak i u uslovima ometanja), trebalo bi da omogući lovcima F/A-18 da lansiraju projektele za udare sa distance znatno preciznije, uz istovremeno zadržavanje izvan zone dejstva PVO protivnika. Operator, koji se nalazi u avionu, može da vidi sliku koju mu, preko linka, šalje glava za samovođenje projektila i da istim putem prenese komandu nazad na projektil. Ovakav koncept treba da omogući pilotu siguran zahvat stvarnog cilja ili, ako je potrebno, izbor alternativnog cilja, kao i precizan izbor tačke u koju projektil treba da udari.

Poslednji letni testovi, sprovedeni u Mornaričkom opitnom centru na Kineskom jezeru (China Lake) u Kaliforniji, organizovani su i izvedeni tako da je avion tipa T-39 sa potrebnom opremom simulirao vođeni projektil koji je funkcionisao u sprezi sa kontrolerom smeštenim na jednom planinskom vrhu koji je simulirao lovca F/A-18. Svaki od ovih sistema bio je opremljen adaptivnim komunikacijskim terminalom za prenos video i drugih podataka iz sistema za precizne udare (Surgical Strike Adaptable Video and Data Communications Terminal). Na avion T-39 montirana je termovizijska kamera koja je simulirala glavu za samovođenje projektila, a avion je leteo profilima trajektorija kojima, inače, projektili lete pri napadu na različite ciljeve, kao što su hemijske fabrike, energetska postrojenja i aerodromi. U toku testova komprimovane slike su razmenjivane brzinom 800 kbajta/s između dva terminala na razdaljini od preko 240 km.

M. S.

<<<◇>>>

NOVI MITRALJEZ ZA AMERIČKE SPECIJALNE SNAGE*

U opitnom centru Crane, Indijana, predstavnici američke mornarice ispituju novi mitraljez koji će se koristiti u snagama za specijalne operacije (USSOCOM).

U programu razvoja ovog oružja predstavnici specijalnih snaga pokazali su interes za oružje kalibra 5,56 mm sa punjenjem pomoću redenika, koji ima masu samo 5,9 kg i dužinu 112 cm. Zahtev za nabavku mitraljeza odnosi se na kontingent od 425 do 2000 lakih mitraljeza, koji bi se realizovao u roku od pet godina.

Specificirana brzina gađanja iznosi 500 do 750 metaka u minuti, a mitraljez ima povećanu otpornost na koroziju i nišan sličan kao na karabinu 5,56 mm M4A1. Prema standardu MIL-STD 1913, na mitraljezu se nalazi dodatak za montiranje optičkog pribora.

Oružje će upotrebljavati standardnu municiju, a osnovni zahtev je da mora ispaliti najmanje 1800 metaka bez zastoja.

Interes za proizvodnju ovog oružja iskazao je belgijski proizvođač FN Herstal. Smatra se da će kompanija u očekivanju te aktivnosti ponuditi svoje oružje specijalne namene M249 SPW (Special Purpose Weapon). Većina novih rešenja oružja usmerena su na smanjenje mase, koja se zahteva standardom za konfiguracije automatskog oružja u kopненоj vojsci i mornarici SAD. Mere za smanjenje mase uključuju i korišćenje sklopivog kundaka. Oružje M249 SPW ima masu 5,715 kg i dužinu 90,678 cm, što je manje od mase (7,484 kg) i dužine (104,14 cm) mitraljeza M249.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 5. januar 2000.

Kompanija Knight Armaments drugi je proizvođač koji se pojavio sa dva prototipa novog oružja koji se proveravaju u obimnim ispitivanjima. Mada nisu identifikovane mnogobrojne specifičnosti ovog oružja, potvrđeno je da su isporučena dva primerka u „ranom stadijumu razvoja“ za potrebe ispitivanja. Konačan cilj je razvoj ekstremno lakog oružja mase 4,763 kg.

V. R.

<<<◇>>>

MUNICIJA JSOW TESTIRANA NA AVIONIMA B-2*

Članovi ispitnog tima Whiteman B-2 nedavno su ispitali i ocenili poslednji doradeni softver B-2 i municiju JSOW (Joint Standoff Weapon) kroz seriju zadataka izvršenih na opitnom poligonu u državi Utah.

Prva realizovana aktivna ispitivanja JSOW sa B-2 vođena su u januaru najnovijom preciznom municijom iz arsenala B-2. Municijska JSOW, ili AGM-154, standardno je oružje koje može da se lansira sa velikih rastojanja, precizno i po svakom vremenu. JSOW je komplementarna municija JDAM (Joint Direct Attack Munition), a koristi satelitski globalni sistem pozicioniranja GPS radi vođenja do cilja.

Avion B-2 biće prvi nosač u američkim vazduhoplovnim snagama na kojem će se primeniti familija savremene municije JSOW. B-2 nosiće municiju JSOW A i JSOW B. Municijska JSOW A rastura 145 bombi BLU-97 (Bomb Live Unit) kombinujući efekte bombica koje se koriste za napad na meke ciljeve kao što su raketni prostori i aerodromi. Municijska JSOW B sadrži 6 protivoklopnih bombi

BLU-108 koje se koriste za napad na pokretne oklopne ciljeve.

Vazduhoplovne snage SAD planiraju da kupe 3000 komada AGM-154A i 3100 komada AGM-154B koje bi nosile samo B-2 već i B-52, B-1, F-16 i F-15E. Razvoj JSOW je model zajedničkog programa razvoja.

Mornarica SAD koristila je 64 komada JSOW A na Kosovu i Iraku sa aviona F-18, ali sada će se i ona pridružiti ovom programu.

Nedavna ispitivanja pokazala su veliku preciznost i mogućnost municije JSOW. Prvo ispitivanje pokazalo je mogućnost reprogramiranja putanje do cilja u toku leta, drugi test je ocenio selekciju ručnog izbora, a treći pokazao sposobnost upotrebe sistema GPS za preciznije određivanje ciljeva i korekciju koordinata cilja u realnom vremenu. U svim slučajevima cilj je bio zahvaćen bombama ili fragmentima po celoj površini.

Domet JSOW iznosi oko 40 nautičkih milja ako se lansira sa velike visine i 15 nautičkih milja kada se lansira sa male visine.

M. K.

<<<◇>>>

ISPITIVANJA KUPOLNOG SISTEMA PVO MARKSMAN 35 mm*

Kompanija BAE Systems nedavno je okončala ispitivanja poboljšane verzije kupolnog sistema PVO MARKSMAN 35 mm, koji je ugrađen na šasiju osnovnog borbenog tenka LEOPARD 1.

Kupola je izrađena u skladu sa zahtevima komande turskih kopnenih snaga, koji se odnose na samohodni protivavionski top SPAAG (self-propelled anti-air-

* Prema podacima iz Defence Data, 10. mart 2000.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.



Kupolni sistem PVO MARKSMAN 35 mm na šasijsi tenka LEOPARD 1

craft gun), koji treba da zameni zastarele sisteme PVO sa dvocevnim topom 40 mm M42.

MARKSMAN je razvijen za potrebe Finske, što je podrazumevalo šest sistema instaliranih na šasijama sovjetskog tenka T-55. Ove kupole imaju dva stabilisana dnevna nišana SFIM VS 580 montirana na krovu, a nišandžija je opremljen laser-skim daljinomerom.

Na novu kupolu ugrađena je kamera firme Pilkington Optronics HDTI, sa leve strane postojećeg radara za osmatranje i praćenje. Sve to je povezano sa sistemom za upravljanje vatrom preko video procesora Octec.

Monitor HDTI, unutar kupole, mogu da koriste i komandir i nišandžija. Pored toga, podaci o daljini cilja i o upravljanju vatrom mogu se prikazivati i na displeju na kacigi komandira i nišanu nišandžije. HDTI omogućava sistemu MARKSMAN da izvršava pasivne operacije u noćnim uslovima, kao i automatsko praćenje cilja.

Sistem MARKSMAN naoružan je sa dva topa 35 mm KDA, švajcarske firme Oerlikon Contraves, koji imaju brzinu gađanja od 550 metaka u minuti po svakom topu. Svaki top opremljen je sa

po 220 metaka, plus 20 pancirnih metaka za dejstvo po oklopnim ciljevima na zemlji. Koristi se nedavno razvijena municija sa tankom košuljicom, koja je efikasna na daljinama do 4500 metara, a moguće je da se postojeća municija zameni novom povećane efikasnosti AHEAD (Advanced High Efficiency And Attack).

MARKSMAN može da se ugradi na šasijske osnovnih borbenih tenkova, ali su ispitivanja pokazala da je, uz prsten za adaptaciju, moguće instalirati ga za samo dva sata na bilo koju tenkovsku ili samohodnu artiljerijsku šasiju, bez dopunskih modifikacija.

V. R.

<<<◇>>>

PROIZVODNJA RAKETE KONKURS U IRANU*

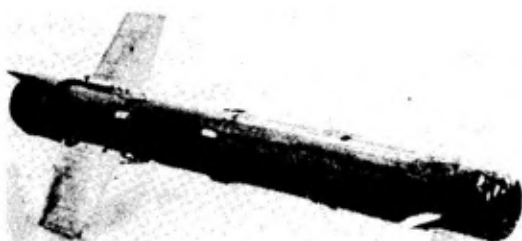
Prema dostupnim podacima, u Iranu je predstavljena nova proizvodna linija za serijsku proizvodnju protivtenkovskih vođenih raketa TOWSAN i M113. Smatra se da su te rakete verzija ruske rakete 9K113 KONKURS (NATO oznaka AT-5 SPANDREL), koja je razvijena u projektnom birou u Tuli.

Pored verzije na tronošcu, sistem 9K113 KONKURS se, takođe, široko koristi za instaliranje na oklopnim borbennim vozilima, kao što su rusko borbeno vozilo pešadije BMP-2 i oklopno vozilo BRDM-2 (4×4). Očekuje se da će raketa, u iranskoj verziji, biti ugrađena na lako oklopno vozilo kao što je BORAGH.

Raketa KONKURS koristi poznati sistem poluautomatskog vođenja na liniji nišanja SACLOS. Standardna verzija ove rakete ima dnevni nišan, kao i termalni nišan koji omogućava praćenje

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.

ciljeva u lošim meteorološkim uslovima. Minimalni domet rakete je 75 metara, a maksimalni 4000 metara.



Raketa 9M113M KONKURS

Pretpostavlja se da će se u Iranu proizvoditi standardna raketa 9M113 sa jednostrukom kumulativnom bojnom glavom HEAT (High Explosive Anti-Tank) kao i novija varijanta 9M113M sa tandem-kumulativnom glavom. Raketa sa tandem-kumulativnom glavom moći će da probija čelični oklop debljine 700 do 800 mm, koji je zaštićen eksplozivnim reaktivnim oklopom (ERA).

Inače, odeljak iranske vojne industrije Parchin Missile Industries već nekoliko godina proizvodi poboljšane verzije ruskih protivtenkovskih raketa 9M114M MALJUTKA-M (NATO oznaka AT-3B SAGGER) pod nazivom I-RAAD.

V. R.



OKLOPNI TRANSPORTER PUMA ZA KoV ITALIJE*

Kopnena vojska Italije poručila je 580 oklopnih transportera točkaša PUMA, od konzorcijuma IVECO-OTO Breda.

Ugovor, vredan 307 miliona dolara, obuhvata 250 oklopnih vozila 6×6 i 330

vozila 4×4, kao i logističku podršku. Prvo vozilo biće isporučeno do polovine 2001. godine, sa planom proizvodnje od 16 vozila mesečno sve do 2004. godine.

Vozilo PUMA predstavlja italijanski projekat lakog oklopnog vozila Veicolo Blindato Leggero (VBL). Ima telo od zavarenog čeličnog oklopa, koje obezbeđuje zaštitu od dejstva malokalibarskog oružja i fragmenata municije većih kalibara.

Verzija vozila 4×4 dugačka je 5,1 m i može, pored vozača, da primi 6 vojnika, dok je verzija 6×6 dugačka 5,5 m i može da prevozi 8 vojnika. Vozilo pokreće četvorocilindrični turbo dizel motor IVECO, koji omogućava maksimalnu brzinu kretanja po putu od 105 km/h i akcioni radijus od 800 km za verziju 4×4 mase 5700 kg, kao i 100 km/h i 700 km za verziju 6×6 mase 7500 kg.

Kopnena vojska Italije planira da uvede vozilo PUMA u četiri izviđačka puka koji će biti mešovito opremljeni – oklopnim vozilom CENTAURO i topom 105 mm, kao i vozilom PUMA. Verzija 6×6 biće zastupljena u lakim pešadijskim pukovima, vazduhoplovnim i amfibijskim jedinicama.

Ugovorom su predviđena dva prototipa – jedan koji će biti opremljen kupolom Oto Breda sa teškim mitraljezom 12,7 mm, montiranim spolja, i jedan sa



*Prototip vozila PUMA 6×6 sa mitraljezom
12,7 mm*

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.

dopunskom pasivnom oklopnom zaštitom. Kupola se može ugraditi na sva proizvedena oklopna vozila kao modul za nadogradnju. Posebne varijante vozila planirane su za buduće serije isporuke.

V. R.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA RUMUNSKIH TENKOVA TR-85*

Kopnena vojska Rumunije izvršila je završna ispitivanja 13 modernizovanih osnovnih borbenih tenkova TR-85 M1.

U toku nekoliko meseci modernizovana verzija tenka TR-85 M1 bila je podvrgnuta intenzivnim ispitivanjima naoružanja i pokretljivosti na poligonu pored Krajove, kako bi se donela odluka o načinu na koji će se izvršiti modernizacija više od 300 tenkova.

Tenk TR-85 projektovan je i izrađen u Rumuniji sedamdesetih godina, korišćenjem nemačke šasije, ali zadržavanjem osnovnih karakteristika sovjetskih tenkova T-54/T-55. Modernizovana verzija TR-85 M1 ima brojna poboljšanja, koja uključuju dodatnu pasivnu zaštitu sa prednje strane i novi električni sistem za stabilizaciju i upravljanje topom. Novi sistem za upravljanje vatrom opremljen je balističkim kompjuterom što, zajedno sa novim nišanima i laserskim daljinomerom, povećava verovatnoću pogađanja prvim metkom. Top 100 mm je zadržan, ali će mu se dodati odstranjivač dima. Nova municija, kao, na primer APFSDS, povećaće sposobnost probijanja oklopa. Mitrалјез 7,62 mm spregnut je sa osnovnim naoružanjem, a mitralјез 12,7 mm postavljen je na vrh kupole. Novi električnopokretni lanser dimnih granata 81 mm

montira se sa svake strane, i integrisan je u laserski sistem obaveštavanja.

Tenk TR-85 M1 ima masu od 50 tona i pokreće ga osmocilindrični dizel motor od 860 KS, koji obezbeđuje maksimalnu brzinu kretanja po putu od 60 km/h i akcioni radijus od 310 km.



Tenk TR-85 M1

Nosilac ugovora modernizacije tenka je kompanija Arsenalul Armetei sa brojnim inostranim partnerima, uključujući Aerospatiale Matra, SAGEM, Kollmorgen i Racal. Takođe, pregovarano je i sa nemačkim koncernom Krauss-Maffei Wegmann o mogućnosti buduće saradnje na tenku, ali nije potpisan nikakav ugovor.

V. R.

<<<◇>>>

OKLOPNO VOZILO PANDUR ZA ARMIJU SAD*

Prvo oklopno vozilo Pandur isporučeno je Armiji SAD. Uvođenje sistema Pandur u naoružanje Armije SAD usledilo je godinu dana nakon što je AV Technology potpisala ugovor za 50 vozila. To je namensko vozilo koje je avioprenosno, mobilno, brzo i okretno, a uz to i sa značajnim zaštitnim osobinama. Pogodno je za dejstvo u naseljenim mestima i na brdsko-planinskom zemljištu, gde je neophodna brzina i sposobnost manevra radi ostvarenja uspeha.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 19. januar 2000.

* Prema podacima iz Defence Data, Internet, 29. mart 2000.

Prema konfiguraciji vozilo Pandur je oklopni transporter, a može da bude izvedeno i u nekoliko drugih varijanti. To su na primer, varijante borbenih vozila sa oruđima 25 i 30 mm, za vatrenu podršku 90 mm, kao raketni sistem, za minobacač, komandno i upravno vozilo, za NHB izviđanje, kao sanitetsko vozilo ili vozilo za intervencije u održavanju.



Oklopno vozilo Pandur

AV Technology proizvodi vozilo Pandur u SAD po licenci sa partnerom iz Austrije Steyr-Daimler-Puch Spezialfahrzeug AG&Co KG, sa kojim su partnerski odnosi uspostavljeni još 1994. godine.

Usavršena tehnologija sistema za vozila Pandur uključuje nova rešenja za oklop, automatsko upravljanje, nezavisno ovesenje, centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima, brzu promenu obrtnog momenta i disk kočnice.

M. K.

<<<◇>>>

TENKOVI ABRAMS SA DIZEL MOTORIMA*

Kompanija General Dynamics Land Systems završila je ispitivanja prototipa tenka M1A2 Abrams sa dizel motorom.

Ova kompanija razvila je dizel motor za ovaj tenk, kako bi odgovorila na zahteve turske armije povodom predstojećeg konkursa za izbor osnovnog borbenog tenka. Turska armija računa na učešće u konkursu nemačkih tenkova LEOPARD II, francuskih LECLERC i ukrajinskih T-84, a potrebe iznose 1000 tenkova.

Pripremajući se za ovaj konkurs, General Dynamics je prošle godine prilagodio sistem poboljšanog kompleta kupole sa evropskim standardom opreme za prototip tenka M1A2 sa dizel motorom.

Evropski standard opreme podrazumeva dizel motor MTU-883 od 1104 kW (1500 KS) sa transmisijom HSWL 295 TM. General Dynamics je u 1999. godini započeo tehnički razvoj dizel motora AVDS 1790 od 1104 kW (1500 KS) i transmisije Allison X7050, što se nastavlja i ove godine.

Tehnički razvoj obuhvata ugradnju novog sistema za izduvavanje, protok vazduha u sistemu za NHB zaštitu, elektro i hidraulični pogon kupole, i softvera za sisteme automatskog upravljanja i prilagođavanje sistema za upravljanje vatom tenka.

Novi poboljšani komplet kupole je u standardu Armije SAD od 1999. godine za tenk M1A2. Ovaj komplet poboljšava mogućnosti digitalnog komandovanja i upravljanja, pridodaje drugu generaciju IC sistema termičkim nišanima komandira i nišandžije, omogućava prirodno



Tenk M1A2 ABRAMS

* Prema podacima iz Defence Data, Internet, 13. april 2000.

hlađenje elektronskih komponenata i odeljenja za posadu, koristi kompjutersku jedinicu veće memorije, kolor karte i displeje.

Testiranje je sprovedeno na deonici od 300 milja radi ocene pouzdanosti, raspoloživosti i procene troškova održavanja, sa ukupno pet probnih vožnji i opaljenja 70 osnovnih topovskih granata po stacionarnim i pokretnim ciljevima. Ističe se uspešnost integracije tenka sa dizel motorom i kupole sa kompletom poboljšanih sistema. Tenk je zadržao dinamičke karakteristike tenka sa standardnim turbinskim pogonom, i nema razlike u otkrivanju i identifikaciji ciljeva i tačnosti gađanja. Testiranja su pokazala da se sa dizel motorom performanse tenka nisu promenile, ali su znatno smanjeni troškovi upotrebe.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA MOTORA AVIONA HARRIER*

Ministarstvo odbrane Velike Britanije lansiralo je potencijalni program (vredan oko 572 miliona dolara) za opremanje lovaca HARRIER modifikovanim motorima koji će biti prilagođeni otežanim operativnim uslovima kao što je, na primer, region Persijskog zaliva.

Kompanija Rols-Royce dobila je ugovor za zamenu 40 motora PEGASUS 11-21 (Mk 105) na avionima HARRIER GR.7 motorima 11-61 (Mk 107). Modifikacija će avionu obezbediti potisak veći za 10% i veću snagu za 15% u uslovima visokih temperatura okoline.

Ideje o modifikaciji pogonskog agregata aviona GR.7 nastale su posle nega-



Avion HARRIER GR.7

tivnih iskustava pilota u uslovima kada su temperature okoline veće od 40°C. Novi avioni HARRIER biće opremljeni i boljim motorom. Inače, RV Velike Britanije u svom sastavu ima 87 aviona HARRIER.

U decembru 1999. godine sklopljen je i ugovor za modernizaciju aviona u mornaričkoj verziji HARRIER FA.2. Ova flota ima 45 aviona, za koje se očekuje da budu modernizovani motorom 11-61.

Rols-Royce će isporučiti prvi motor 11-61 do kraja 2000. godine, a dalje isporuke motora očekuju se u periodu od 2002. do 2004. godine. Planira se da se postojeći avioni GR.7 i FA.2 zamene do 2012. godine novim avionom iz programa FCBA (Future Carrier Borne Aircraft), kao i sa 150 američko-britanskih aviona JSF (Joint Strike Fighter).

V. R.

<<<◇>>>

NOVI MOTORI ZA VOJNE HELIKOPTERE

Kompanija General Electric i Korporacija United Technologies potpisale su sporazum za program razvoja novog mo-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. januar 2000.

* Prema podacima iz Defence Data, Internet, 30. mart 2000.

tora za vojne helikoptere. Prema tom sporazumu obe strane su se dogovorile o zajedničkom poslu i riziku pri učešću u programu izrade motora za vojne helikoptere Armije SAD. Odnos ulaganja i rizika Kompanije General Electric i Korporacije United Technology iznosi 60:40.

Program zajedničke izrade motora CEP (Common Engine Program) predviđen je radi primene na helikopterima Black Hawk, Apache i Seahawk, koji se danas pogone motorima GET700. Programom CEP predviđa se smanjenje potrošnje goriva za 25%, poboljšanje odnosa snaga masa za 60% i smanjenje troškova eksploatacije i podrške za 20%. Ovim programom predviđa se i usavršavanje motora za modernizovane verzije helikoptera Black Hawk.

Smatra se da će konkurs za program CEP biti otvoren u ovoj ili 2001. godini.

M. K.

<<<◇>>>

NOVA TEHNIKA ZA UNIŠTAVANJE MORSKIH MINA*

Firma DERA je sa svojim partnerima iz Norveške ispitala novi sistem za uništavanje morskih mina. To je prva tehnologija te vrste u svetu koja je uspešno isprobana.

Morske mine su aktivirane gađanjem iz topa koji se nalazio na površinskom plovnom sredstvu i na bezbednom rastojanju. Ispaljane bojne glave predstavljaju novinu, a sposobne su da unište sve poznate minske ciljeve i izazovu detonaciju najmanje osetljivih minskih eksplozivnih punjenja.

Ovaj „minski snajper“ opremljen je video-kamerom, osvetljenjem, uređajem

za lasersko nišanje, i sonarom za 360 stepeni. Operator usmerava minski snajper na cilj koristeći se kombinacijom poluautomatskog i ručnog upravljanja. Ukoliko je površinska vidljivost dobra, zadatak se može izvršiti korišćenjem relakcionog sonara. Tada se nišanska tačka selektira i projektil se opaljuje na minu, probija oblogu mine i dolazi do eksplozivnog punjenja izazivajući njegovu detonaciju.

Ovaj sistem je mnogo efikasniji od poznatih metoda sa eksplozivnim punjenjima koje koristi mornarica NATO, jer bojne glave koje se koriste za gađanje mina garantuju detonaciju mina, dok eksplozivna punjenja mogu jednostavno razbacati mine po moru.

Nakon uspešnih proba planira se komercijalizovanje ovog sistema. Smatra se da će oprema „minskog snajpera“ i prenosnog plovila biti spremna za operativnu upotrebu za 18 meseci.

M. K.

<<<◇>>>

NOVI IZVIĐAČKI I SPASILAČKI RADIO*

Prvi put posle Vijetnamskog rata, Ministarstvo odbrane SAD je pripremilo uvođenje novog sistema za vezu, namenjenog za određivanje lokacije prinudno prizemljenih pilota. Kompanija Boeing se obavezala da će do sredine 2000. godine završiti operativni razvoj lokatorskih sistema za preživljavanje u borbi CSEL (Combat Survivor Evader Locator), stvarajući tako uslove za ekonomičnu proizvodnju, planiranu za kraj godine.

* Prema podacima iz Defence Data, Internet, 29. mart 2000. god.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 22. decembar 1999.

Ručni CSEL je prvi izviđački i spasilački radio koji se oslanja na satelitski sistem za globalno pozicioniranje (GPS) namenjen za određivanje lokacije prizemljenih pilota. Oslanjajući se na koordinate GPS, smatra se da će se znatno smanjiti vreme potrebno za otkrivanje članova posade lovaca, bombardera ili helikoptera. Prizemljeni piloti u svojim radio-uređajima sada mogu podesiti do 37 karaktera. Radio prima odgovor na poziv o opasnosti za 8 sekundi nakon utvrđivanja autentičnosti korisnika.

Sistem CSEL može da pošalje svoje podatke pomoću tri satelitske mreže – UHF satelita Pentagona, USA „national“ satelita i civilnih satelita za pretraživanje i spasavanje. CSEL je mnogo više od radio-uređaja. To je komunikacijski si-

stem, čiji je naziv PRQ-7 i za približno 7,25 kg je lakši od serijskog aparata PRC-112 koji treba da zameni.

Sistem CSEL, takođe, obuhvata šifrovani softver protiv ometanja a služi i za zaštitu od prisluškivanja ili lažnih signala.

Prema sadašnjim planovima Pentagon će nabaviti oko 52 000 ovih uređaja po ceni od 5 400 dolara po komadu, za potrebe vazduhoplovstva, mornarice i kopnene vojske, a koristile bi ih specijalne snage i avio jedinice. Početne operativne mogućnosti se planiraju za septembar 2002. godine sa 100 uređaja isporučених za vazduhoplovne snage, 100 za jedan od nosača aviona i 750 uređaja za KoV.

M. K.



TESTIRANJE NOVE BESPILOTNE LETELICE U RM SAD*

Istraživačka laboratorija Ratne mornarice SAD (NLR – Naval Research Laboratory) obavlja letna testiranja nove lake bespilotne letelice pod imenom „Extender“, koja se lansira iz aviona. Ova letelica može da ponese korisni teret mase 2,25 kg što je 2,5 puta više od njihove prethodne bespilotne letelice pod imenom „Sender“.

Letelica ima masu od 13,2 kg, raspon krila 3,1 m, dužinu 76 cm kada je rasklopljena, a kada je sklopljena zauzima prostor od samo 76×76×45 cm. Ovakve dimenzije omogućavaju joj da se ukrca na avione kao što su P-3 ORION, i da se ručno izbacila kroz zadnja vrata. Pakovanje se tada otvara, a poseban padobran

stabilizuje njen let dok se krila ne rasklope. Nakon rasklapanja padobran se odbacuje. „Extender“ može da se zadrži u letu 2,3 časa, dostižući maksimalni dolet od 160 km sa brzinom krstarenja od 72 km/h. Njena najveća brzina iznosi 136 km/h, a prizemljuje se pri brzini od 56 km/h.

M. S.



MINIJATURNI LASERSKI DALJINOMER*

Direkcija za noćno osmatranje i elektronske senzore (Night Visions and Electronics Sensors Directorate – NVESD) Komande za komunikacije i elektroniku američke vojske razvila je minijaturni laserski daljinomer veličine 10×4,5×3,8 cm i mase 570 g. Tendencija je da masa

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

daljinomera bude 340 g. Očekuje se da će mu proizvodna cena biti oko 2500 USD, a demonstrirani model ima domet veći od 3 km.

Ovako male dimenzije i niska cena modela omogućit će njegovu ugradnju u lično naoružanje, kao i funkciju senzora u sistemima za upravljanje vatrom na kopnenim vozilima bez posade (daljinski upravljanim), te za ugradnju u postojeće sisteme.

Očekuje se da će NVESD u toku sledeće godine nabaviti 50 do 100 primeraka ovih laserskih daljinomera za potrebe razvoja koji vodi američka Komanda za specijalna dejstva koja parcijalno podržava i projekat američke vojske koji obuhvata razvoj upravljanja sa malim oružjima. U odnosu na komplet za oči bezbednog minilaser za IC osmatranje AN/PVS-6 (Mini Eyesafe Laser Infrared Observation Set – MELIOS) koji se sada nalazi u upotrebi, novi mikrolaserski daljinomer je šest puta lakši, deset puta manjih gabarita i četiri puta jeftiniji. Otakako je najskuplji deo laserskog daljinomera postao predajnik (transmitter) usvojena je monoblok konstrukcija sa osnovnim ciljem da se redukuje broj komponentata i pojednostavi postupak projektovanja.

Osnova monoblok konstrukcije je keramička pločica sa kanalom u koji se smeštaju ostale vrlo precizno sečene, zaštićene premazom i zalepljene komponente od kristala. Kao primarni izvor svetla u neodimium YAG laseru koristi se standardna komercijalna bljeskalica iz kodakovog foto-aparata 35 mm. Izlazni laserski snop talasne dužine 1,06 μm prolazi kroz pasivni prekidački q-modulator, a zatim ulazi u šupljinu koju formiraju četiri pravougla kristala koji funkcionišu kao optički parametarski oscilator za

pomeranje talasne dužine na vrednost bezbednu za oči od 1,54 μm . Laserski daljinomer emituje energiju preko 3 mJ sa širinom impulsa 27 ns. Napajanje laserskog daljinomera rešeno je standardnom baterijom AA koja omogućava oko 400 merenja daljine.

M. S.

<<<◇>>>

RAZVOJ MALIH ANTENA ZA ZAŠTITU GPS OD OMETANJA*

Centar za istraživanje, razvoj i projektovanje raketa Komande avijacije i raketnih sistema KoV američke vojske (MRDEC – Missile Research, Development and Engineering Center) planira da razvija male, kompaktne i jeftine antene za borbu protiv ometanja sistema za globalno pozicioniranje (GPS), koje bi se koristile na artiljerijskim projektilima i raketama. Postojeća rešenja koriste antenske rešetke sa više elemenata sa dosta elektronike, koji zahtevaju tipično brzinu od 50 m/s za početno praćenje i potiskivanje signala ometača. Smatra se da je to suviše sporo za oruđa kao što su višesevni vođeni raketni sistemi (GMLRS – Guided Multiple Launch Rocket Systems) i taktički raketni sistemi KoV (ATACMS – Army Tactical Missile Systems), koji za taj proces zahtevaju maksimalno 10 m/s. Male dimenzije municije diktiraju upotrebu jednoelementnih dvofrekventnih antena, čija elektronika ne zauzima više prostora od 10×10×2,5 cm.

Cilj istraživanja je da se obezbedi protivometakčki sistem, sa zaštitom od jednostrukih i višestrukih kontinualnih signala smetnji, širokopojasnog šuma (20 MHz) i impulsnih signala. Antene treba

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

prvenstveno da budu namenjene za zaštitu GMLRS i ATACMS, ali alternativno i za široku paletu drugih oruđa i instalacija.

Sličnim putem nameravaju da krenu i u Američkom uredu za mornarička istraživanja. Planira se razvoj zemaljske antene za nuloavanje za GPS, koja će biti u stanju da zaštiti oruđa taktičkog nivoa od uticaja ometača male ili srednje snage, koji dejstvuju sa površine zemlje, sa proizvodnom cenom koja ne bi prelazila 1000 USD. Zahtevi obuhvataju i minimalno slabljenje od 20 dB signala iz izvora koji se nalazi na manje od 5° iznad horizonta antene. Antena, promera 7,5 cm, ne bi zahtevala elektronsko procesiranje niti izvor električne energije. Montirala bi se na vrhu oruđa umesto postojeće antene. Program razvoja treba da se završi izradom 10 prototipskih kompleta, letnim i ostalim ispitivanjima.

M. S.

<<<◇>>>

LASERSKA KOMUNIKACIJA IZMEĐU VOZILA U POKRETU*

Istraživačka laboratorija američke vojske (ARL – Army Research Laboratory) u okviru programa inovativnih is-

traživanja malih firmi (Small Business Innovation Research) planira da razvije brzi sistem za praćenje i upravljanje laserskim snopom koji će omogućiti ostvarenje stabilnog laserskog komunikacijskog linka između dva vozila koja se u terenskim uslovima kreću brzinom do 48 km/h, na međusobnoj udaljenosti od 1 do 5 km.

Postojeći laserski komunikacioni sistemi su laki i obezbeđuju sigurne širokopojasne linkove, ali zahtevaju da prijemnik i predajnik budu stacionarni.

Smatra se da će razvoj različitih alata za brzo upravljanje prednjom ivicom signala kao što su: fazni modulatori sa tečnim kristalom, mikro elektromehanički sistemi i modulatori u čvrstom stanju, obezbediti uslove za rešavanje problema uspostavljanja laserskog komunikacijskog linka između vozila u pokretu.

Predloženi link treba da obezbedi brzinu prenosa od 200 mbit/s, omogućavajući obiman prenos podataka koji se zahteva pri prenosu slike visoke rezolucije, kao i drugih vrsta saobraćaja velike širine prenosnog opsega. Pri tome laser mora da bude bezbedan za oči. Ugovor za ovaj posao potpisan je krajem 1999. godine.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/1999.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Redakcija

„Vojna knjiga“

Vam preporučuje

781. Zlatimir Grujić:
AVIJACIJA SRBIJE I JUGOSLAVIJE 1901–1994.
Cena: 300,00 d.

838. Mladen Đurašinović:
ARHITEKTURA RAČUNARA
Cena: 200,00 d.

839. Milivoj Jugin:
VEČNI TRAG
Cena: 590,00 d.

833. Stanko Nišić:
VELIKE SILE I BALKAN
Cena: 365,00 d.

727. Predrag Pejčić:
VOJNI HELIKOPTERI
Cena: 300,00 d.

837. Miloš Čolaković:
GORIVA ZA RAKETNI POGON
Cena: 200,00 d.

840. Vuk Ognjanović:
**ZAJEDNIČKA ULAGANJA DOMAĆIH I STRANIH
PREDUZEĆA**
Cena: 650,00 d.

803. Slavko Tomović:
ISPITIVANJE POUZDANOSTI
Cena: 180,00 d.

785. Milivoj Jugin:
KOSMOS OTKRIVA TAJNE
Cena: 792,00 d.

805. Svetomir Minić i Živan Arsenić:
MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA
Cena 350,00 d.

847. Grupa autora:
NATO NA BALKANU
Cena 540,00 d.

823. **NAORUŽANJE ZEMALJA NATO
(KOPNENA VOJSKA I RATNA MORNARICA)**
Priredio: Aleksandar Ardeljan
Cena: 150,00 d.

832. Svetozar Radišić:
NEOKORTIKALNI RAT
Cena: 180,00 d.

799. Jovan Matović i Željko Petrović-Poljak:
ORUŽJE, ENERGIJA I TREĆI SVETSKI RAT
Cena: 250,00 d.

828. Aleksandar Ardeljan:
ORUŽJE RUSIJE
Cena: 180,00 d.

783. Boško Antić:
POVRŠINSKI RATNI BRODOVI
Cena: 150,00 d.

778. Boško Antić:
PODMORNICE
Cena: 150,00 d.

831. Slavoljub Šušić:
PROBNI KAMEN ZA EVROPU
Cena: 320,00 d.

760. Boško Antić:
SAVREMENI RATNI BRODOVI
Cena: 400,00 d.

770. Aleksandar Radić:
**SPECIJALNI, ŠKOLSKI I
TRANSPORTNI AVIONI**
Cena: 150,00 d.

595. Nikola Vujanović:
**TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH
SISTEMA**
Cena: 350,00 d.

NAPOMENA:

**Za svaku narudžbu knjiga potrebno je
dodatno uplatiti 35,00 dinara za PTT
troškove.**

N A R U D Ž B E N I C A

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Beograd, Balkanska 53
Tel./faks: (011) 3612-506

Naručujem knjige pod brojem/komada

**Plaćanje unapred (vrednost naručenih knjiga + PTT troškovi) na žiro-račun 40818-637-9-6319
RC Topčider (za VIZ), poziv na broj 963-011. Narudžbenicu i uplatnicu slati na adresu:**

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Reklamacije za neuružene knjige primamo u roku od 30 dana.

Kupac

Ulica i broj Telefon

Mesto i broj pošte

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

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

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

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

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

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

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

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Branko Marković

Lektor
Dobрила Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 55,00 dinara
Tiraž 1200 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)