

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

6
1997

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA
„VOJSKA“

NACELNIK

Pukovnik
STANOJE JOVANOVIĆ

UREDIVACKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major
dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-major
dr SLOBODAN BURSAČ, dipl. inž.

Pukovnik
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
MIROSLAV COJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik
MILAN UZELAC, dipl. inž.

Potpukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK

Pukovnik
Miroslav Cojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277, 23-59-133 ili 33-133)

Uradnik
Potpukovnik
Stevan Jočević, dipl. inž.
(tel. 23-59-323 ili 33-323)

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5,
Pretpлата 645-020 i 22-584, Biro-račun: NIU
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)
40823-849-0-2393 Beograd, Polugodišnja
pretpлата 25,00 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampe: Vojna štamparija —
Beograd, Generala Zdanova 40 b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

6

*Čitaocima i saradnicima
čestitamo Novu godinu*

Redakcija časopisa

S A D R Ź A J

Dr Svetomir Minić, pukovnik, dipl. inž. Dr Živan Arsenić, profesor, dipl. inž.	637	Programski paket »PROFAZ« za upravljanje procesom preventivnog održavanja
Mr Dušan Korolija, major, dipl. inž.	649	Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa
Tatjana Peković, dipl. inž.	662	Prihod kao opštiji kriterijum optimizacije u odnosu na raspoloživost i troškove zamena pri određivanju optimalnog perioda preventivne zamene
Sc Momčilo Đorović, potpukovnik, dipl. inž.	678	Simulator tekućeg prijemnog signala radarskog senzora prepreka za niskoletеće platforme
Mr Veselinka Mašić, dipl. inž.	686	Prilog proračunu prinudnih prigušenih vibracija pontonskog mosta sa jedinstvenim gornjim strojem na mirnoj vodi
Dr Dragoljub Vujić, dipl. inž.	696	Uloga servomehanizama u sistemu upravljanja letom aviona
Mr Radiša Stefanović, potpukovnik, dipl. inž.	702	Postojeći mobilni radio-komunikacioni sistemi i pogodnost za njihovo korišćenje u VJ
Dr Ratko Radošević, dipl. inž.	708	Otporne funkcionalne telekomunikacione mreže
Mr Milorad Opsenica, major, dipl. inž.	721	Preticanje vojne motorizovane kolone
Mr Mirko Borisov, major, dipl. inž.	728	Prva digitalna geografska karta izrađena u Vojnogeografskom institutu
Radenko Višnjić, major	733	Digitalni model reljefa

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

743	Višekanalni raketno-artiljerijski sistem PVO KLINOK — M.K.
746	Sistem artiljerijskog naoružanja vođenih projektila KRASNOPOLJ — T.A.

- 750 Avionska protivtenkovska municija — M.K.
- 751 Oklopno naoružanje na pragu 21. veka — D.B.
- 754 Imitator vazdušnog cilja SOMAN — M.K.

TEHNICKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 757 Razvoj tenkovskog topa kalibra 140 mm — V.R.
- 758 Usavršavanje češkog tenka T-72 — M.S.
- 758 Prototip egipatskog borbenog vozila pešadije — V.R.
- 759 Usavršavanje izraelskog oklopnog transportera X3A1 — M.S.
- 759 Uvođenje NATO kalibra 155 mm u slovačku armiju — V.R.
- 760 Razvoj češkog samohodnog PA topa 35 mm — V.R.
- 761 Verzije lansera PA raketnog sistema STINGER — M.S.
- 761 Familija oklopnih vozila ZUBR — M.S.
- 762 Američki lovac F-22 — V.R.
- 763 Беспилотни вертолет DP-4 — M.S.

Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za naučno-
istraživačku delatnost GS VJ,
Beograd
Dr Živan Arsenić,
profesor, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

PROGRAMSKI PAKET »PROFAZ« ZA UPRAVLJANJE PROCESOM PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA

UDC: 62-7:001:681.32.06

Rezime:

Koristeći postavke predloženog fuzzy upravljačkog sistema za upravljanje procesom preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju i razvijeni univerzalni programski paket »PROFAZ« kojim se rešava algoritam aproksimativnog rezonovanja, određuje se jačina preference donosioca odluke o sprovođenju postupka preventivnog održavanja.

Ključne reči: proces održavanja, fuzzy upravljački sistem, algoritam aproksimativnog rezonovanja, programski paket.

THE »PROFAZ« SOFTWARE FOR MANAGEMENT OF PREVENTIVE MAINTENANCE PROCESS

Summary:

The preference intensity (index) of the decision-maker's preventive maintenance actions is determined by using the proposed fuzzy system of process management and the developed universal software »PROFAZ« for solving an approximate reasoning algorithm.

Key words: maintenance process, fuzzy management system, approximate reasoning algorithm, software.

Uvod

Proces preventivnog održavanja tehničkih sistema u klasičnoj Teoriji održavanja određen je sa samo dva stanja sistema — »stanje u radu« i »stanje u otkazu«, tj. isključuje se mogućnost da postoji bilo kakvo treće ili drugačije stanje (između ova dva) [1]. Ovakav prilaz predstavlja pojednostavljenje realnosti u kojoj je moguće da tehnički sistem ima i čitav opseg »međustanja« u kojima sistem radi »delimično« [1,8]. To se posebno odnosi na elemente sistema sa kontinu-

alnom promenom parametara stanja, čije se stanje može iskazati fuzzy skupovima »stanje u radu«, »međustanje« i »stanje u otkazu«. Za ovakve elemente odluke o sprovođenju postupaka održavanja treba zasnivati na algoritmičkim aproksimativnog rezonovanja, odnosno na bazi koncepta fuzzy skupova [2—9].

Kriterijumi za donošenje odluka o sprovođenju postupaka POPS-preventivnog održavanja prema stanju (On-Condition Based Maintenance), na osnovu rezultata »provere stanja« po-

smatranog elementa tehničkog sistema (odnos izmerene i dozvoljene vrednosti posmatranog parametra stanja, prognozirano vreme do sledeće provere stanja i »stanje« sistema) transformisani su u fuzzy promenljive veličine koje se razmatraju kao fuzzy skupovi za koje se definišu njihove funkcije pripadnosti [1]. Na ovoj osnovi i koristeći rezultate simulacije modela preventivnog održavanja EK-RAN [6], definisan je algoritam aproksimativnog rezonovanja u vidu skupa pravila za upravljanje procesom POPS [3,4] za čije je rešavanje razvijen univerzalni programski paket »PROFAZ« koji omogućava automatizovano određivanje vrednosti preference donosioca odluke o sprovođenju postupka POPS.

Model procesa preventivnog održavanja

Model preventivnog održavanja EK-RAN uspostavlja direktne odnose između zakona pouzdanosti posmatranog elementa sistema i zakona promene odgovarajućeg parametra stanja [1,6]. Ovim modelom određuje se dozvoljena vrednost parametra stanja (x_d) i definiše signalizaciona tolerancija parametra (Δx) kao područje u kojem, u definisanom intervalu vremena (Δt), treba sprovesti postupke preventivnog održavanja, kako bi se sistem ponovo vratio u stanje ispravnosti.

U procesu primene modela EK-RAN obavlja se merenje parametra stanja i izmerena vrednost parametra upoređuje se sa dozvoljenom vrednošću. Ukoliko je izmerena vrednost parametra stanja (x_i) u trenutku »prve« provere stanja (t_i), veća od dozvoljene vrednosti (x_d) pristupa se sprovođenju postupaka preventivnog održavanja, a ukoliko je manja — nastavlja se ko-

rišćenje sistema i određuje trenutak sledeće provere stanja.

Kriterijumi odlučivanja o trenutku sprovođenja postupaka POPS mogu se iskazati u funkciji sledećih fuzzy promenljivih:

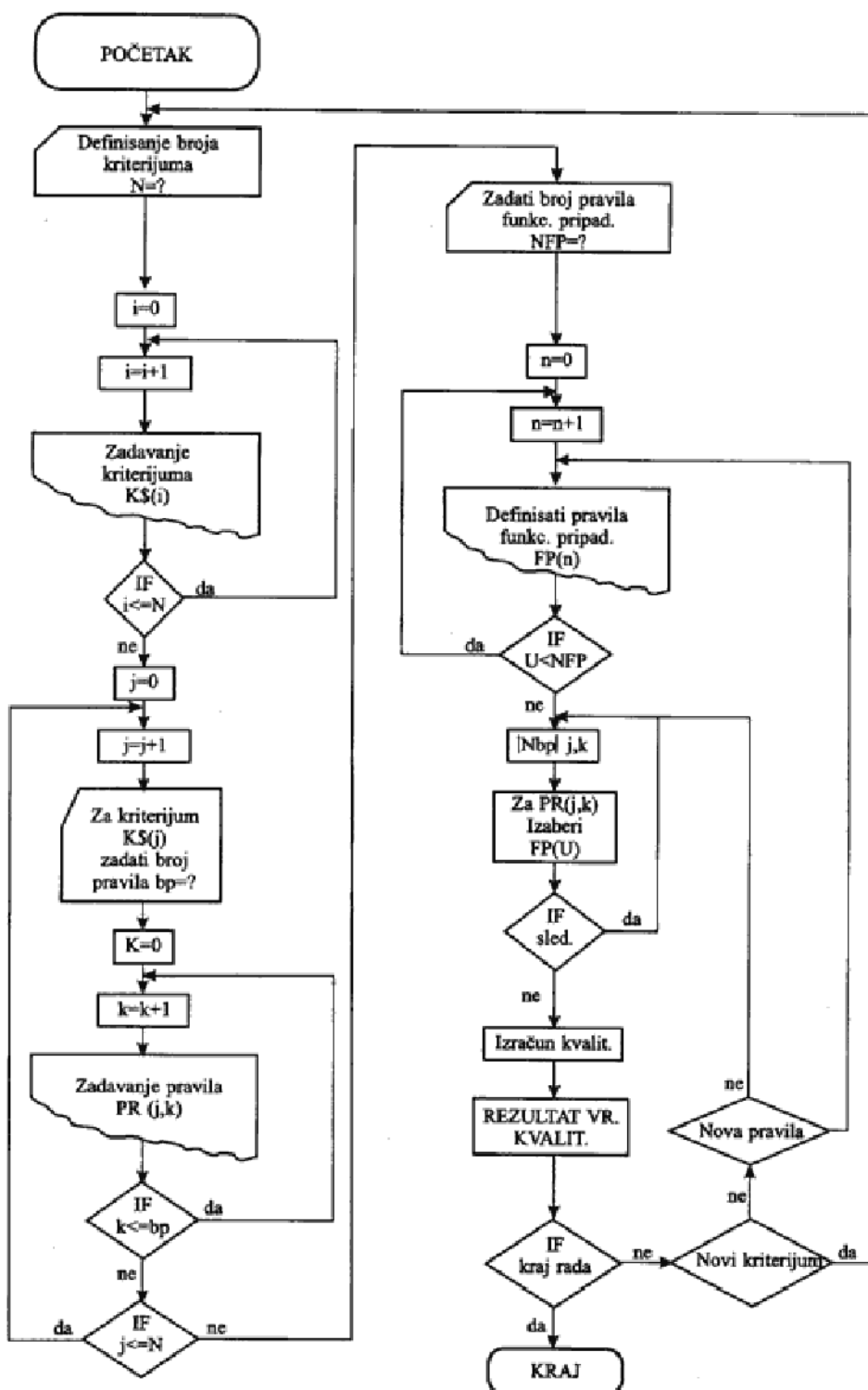
- P — fuzzy promenljiva koja označava izmerenu vrednost parametra stanja u odnosu na dozvoljenu vrednost,
- T — fuzzy promenljiva koja označava vreme rada sistema do sledeće provere stanja,
- X — fuzzy promenljiva koja predstavlja »stanje« sistema,
- I — fuzzy promenljiva koja predstavlja jačinu (indeks) preferencije donosioca odluke o sprovođenju postupaka POPS.

Fuzzy promenljive P, T i X predstavljaju ulazne promenljive na osnovu čijih vrednosti treba doneti odluku o vrednosti izlazne promenljive I.

Opis programskog paketa

Programski paket »PROFAZ« razvijen je u CESIL-u Instituta za motorna vozila, Mašinskog fakulteta u Beogradu. Iz prikazanog algoritma se vidi da programski paket obezbeđuje automatizovano rešavanje algoritma aproksimativnog rezonovanja radi upravljanja procesom preventivnog održavanja, kao i mogućnost rešavanja drugih problema iz oblasti tehnike, u čemu se ogleda i njegova univerzalnost.

Glavna maska programskog paketa »PROFAZ« prikazana je na slici 1, a pojavljuje se odmah nakon startovanja programskog paketa.



Algoritam programskog paketa »PROFAZ«

PROFAZ

PROGRAMSKI PAKET
ZA UPRAVLJANJE PROCESOM POPRAVE

Razvijen u **CENTRI ZA EFEKTIJNOST SISTEMA I LOGISTIKU** **CESIL**

Sl. 1 — Glavna maska programskog paketa »PROFAZ«

Sledeća maska prikazana na slici 2 obezbeđuje korisniku programskog paketa da izabere tri ponuđene opcije.

Ukoliko izabere prvu opciju »UNOŠENJE PODATAKA«, tada korisnik treba da definiše broj kriterijuma sa njihovim značenjem, kao i broj fun-

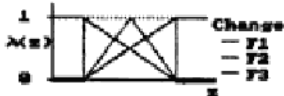
kcija pripadnosti (mišljenja) u okviru svakog kriterijuma. Pri definisanju svakog mišljenja neophodno je izabrati i odgovarajuću fuzzy relaciju, kako je to prikazano na slikama 3 i 4. Nakon unošenja željenih podataka programski paket obezbeđuje njihovu dalju obradu.

MASINSKI FAKULTET Institut za motorna vozila Beograd		CIMM TEKNOLOGIJE CESIL software PROFAS 1.0	
F1	UNOŠENJE PODATAKA		
F2	DATOTEKU PODATAKA		
F3	KRAJ RADA		

Sl. 2 — Maska za izbor željenih opcija

MASINSKI FAKULTET Institut za motorna vozila Beograd	CIMM TEKNOLOGIJE CESIL software PROFAS 1.0
Kriterijun br. 1 : Izmerena vrednost parametra stanja Kriterijun br. 2 : Vreme rada sistema do sledece promene stanja Kriterijun br. 3 : Stanje sistema	

Sl. 3 — Maska za unošenje podataka

MASINSKI FAKULTET Institut za motorna vozila Beograd	CIMM TEKNOLOGIJE CESIL software PROFAS 1.0
Kriterijun br. 1 : Izmerena vrednost parametra stanja Kriterijun br. 2 : Vreme rada sistema do sledece promene stanja Kriterijun br. 3 : Stanje sistema	
	
IZBORNI STEP $\lambda(x)$ 	

Sl. 4 — Maska za unošenje podataka

Ukoliko korisnik programskog paketa želi da vrši obradu već unetih podataka, neophodno je da iz menija sa slike 2 izabere opciju »DATOTEKA PODATAKA«. Posle izbora ove opcije na ekranu monitora se pojavi maska prikazana na slici 5. Predmetna maska zahteva od korisnika da definiše datoteku u kojoj su podaci zapamće-

ni. U ovom slučaju datoteka je zapamćena pod imenom »PODACI« (slika 5).

Izborom opcije »DATOTEKA PODATAKA« i zadavanjem naziva datoteke na ekranu monitora se pojavljuje svaki od zadatih kriterijuma sa odgovarajućim fuzzy mišljenjima i funkcijama pripadnosti (slike 6 do 9).

F1 U N O S E N J E P O D A T A K A

F2 D A T O T E K U P O D A T A K A

Zadaj naziv datoteke: PRIMER

Sl. 5 — Maska za pozivanje već unetih podataka

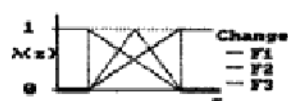
Kriterijum: Izmerena vrednost parametra stanja

Fuzzy skup: -Mnogo niska

Fuzzy skup: -Mnogo

Fuzzy skup: -Iskta

Fuzzy skup: -Visoka



Kriterijum: Vreme rada sistema do sledece provere stanja

Fuzzy skup: -Malo

Fuzzy skup: -Srednje

Fuzzy skup: -Veliko



Kriterijum: Stanje sistema

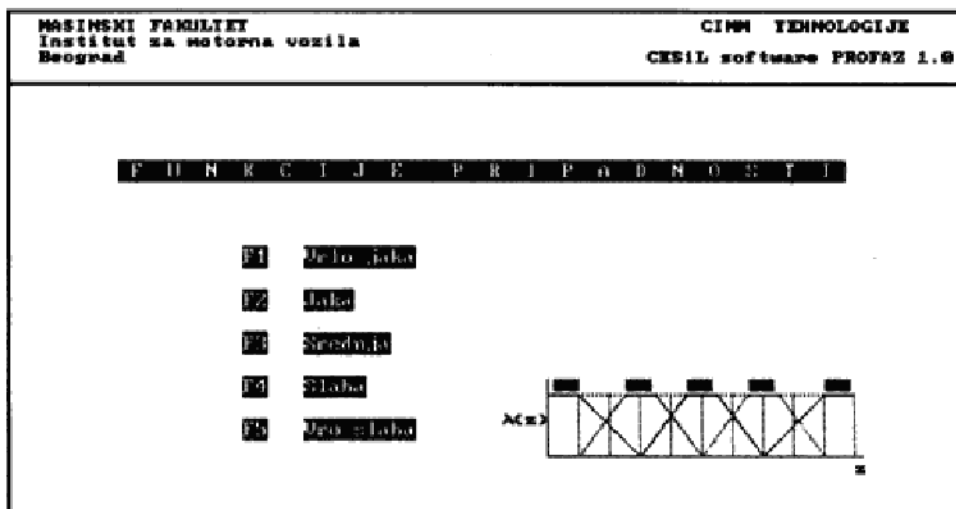
Fuzzy skup: -Stanje u radu

Fuzzy skup: -Medjostanje

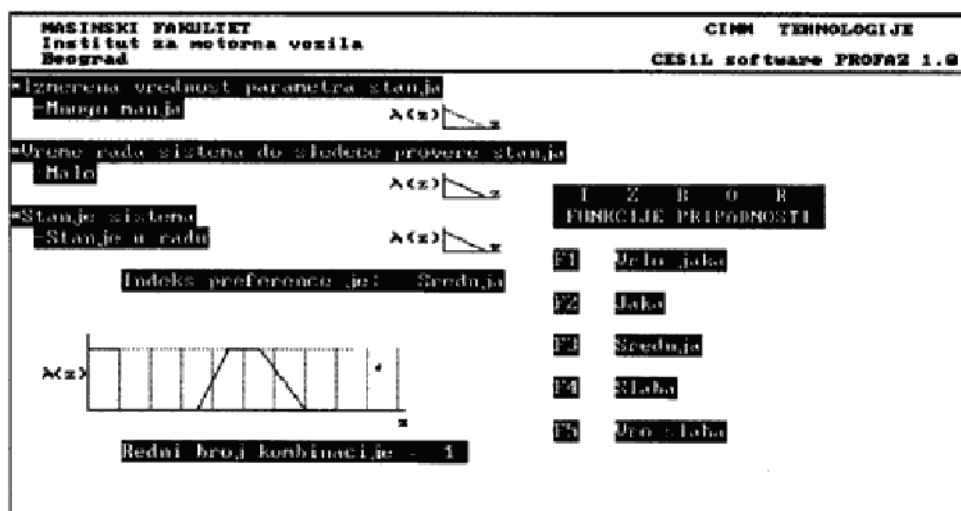
Fuzzy skup: -Stanje u otkazu



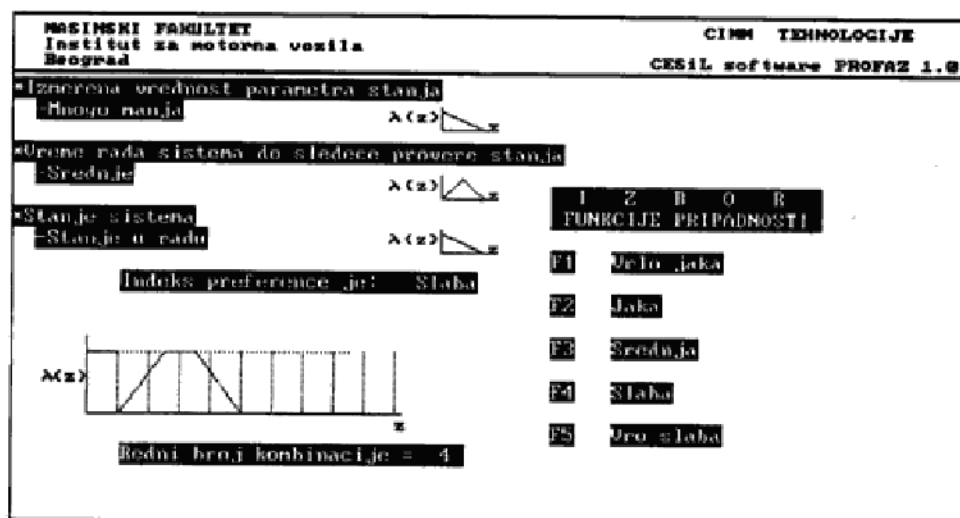
Sl. 6 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket



Sl. 7 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket



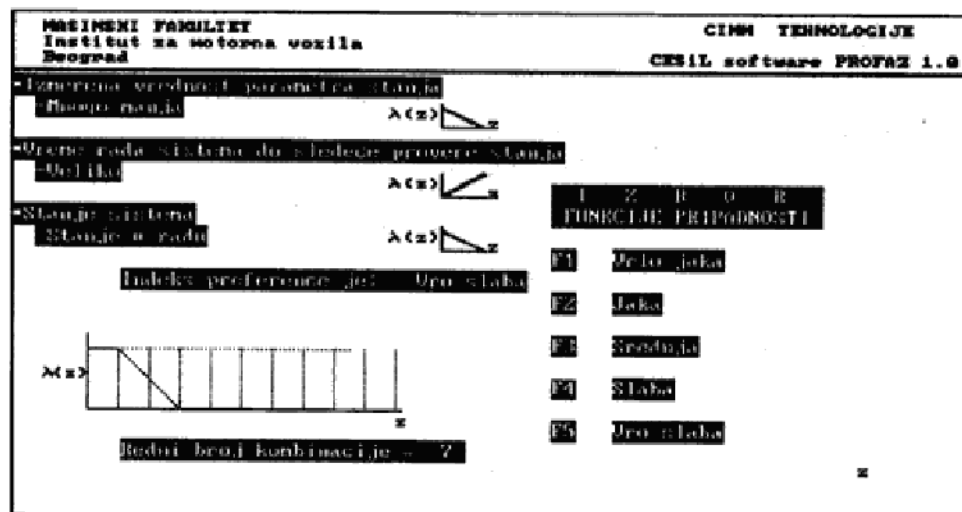
Sl. 8 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket



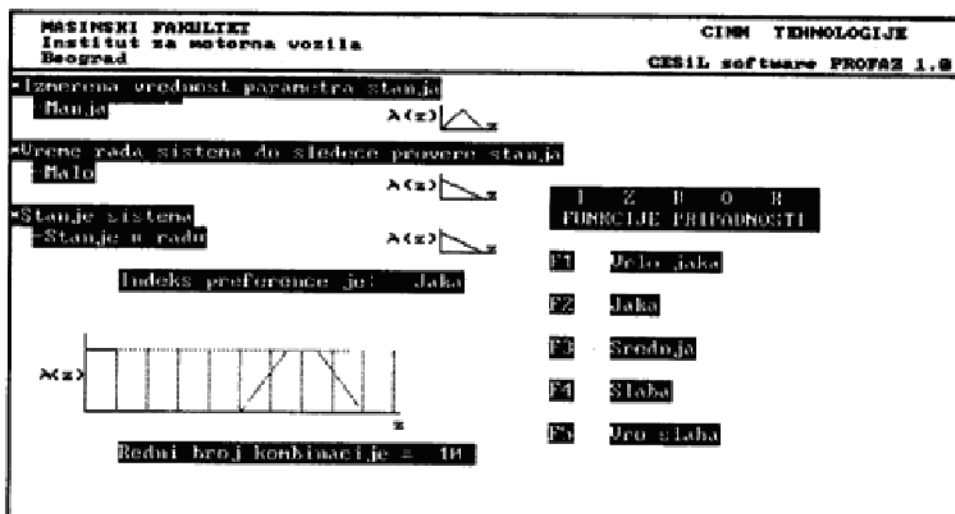
Sl. 9 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket

Raspolažući ulaznim podacima, u daljem radu sa programskim paketom neophodno je da se definiše, za svaki slučaj, kombinacija ulaznih veličina funkcija pripadnosti. Pošto je u prime-

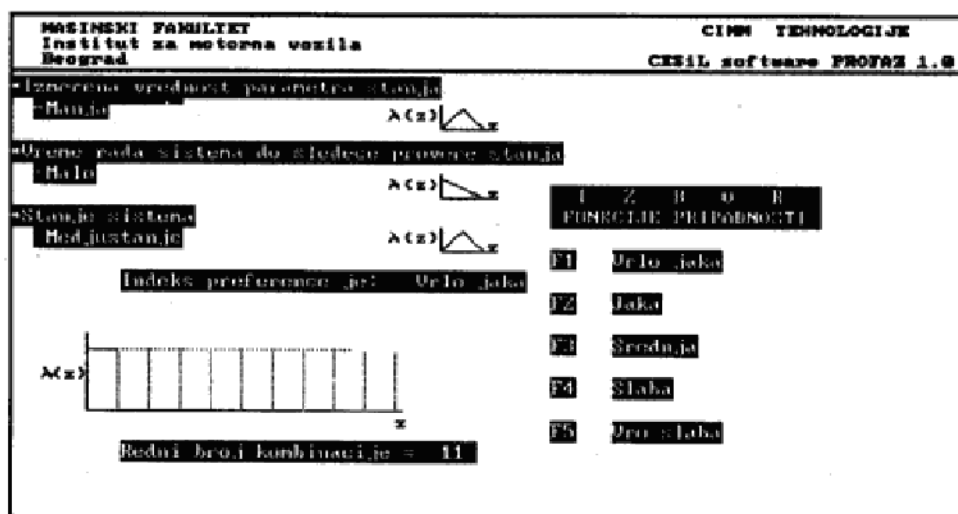
ru bilo ukupno 36 mogućih kombinacija, neophodno je da se za svaku od njih definiše funkcija pripadnosti. Ilustracije radi na slikama 10 do 12 date su neke od njih.



Sl. 10 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket



Sl. 11 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket



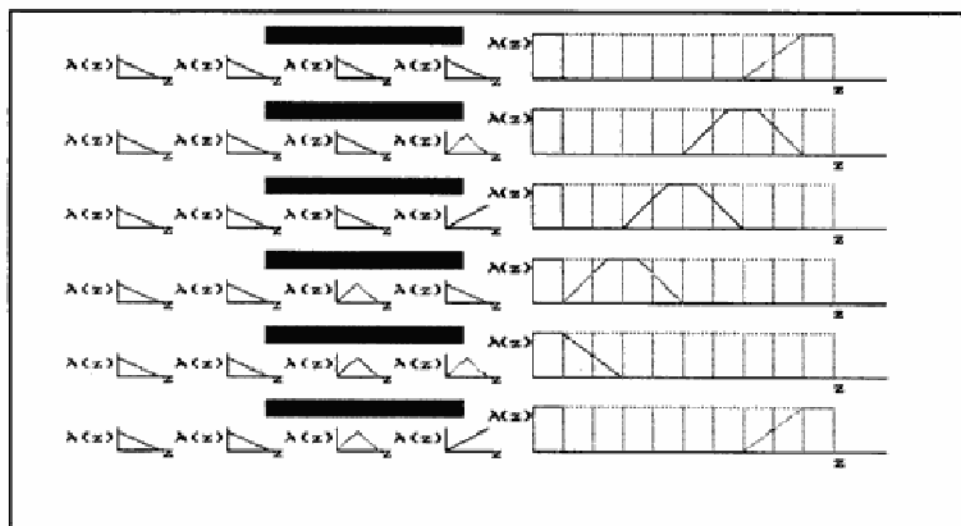
Sl. 12 — Maska sa definisanim podacima koji su uneti u programski paket

Praktična primena programskog paketa »PROFAZ«

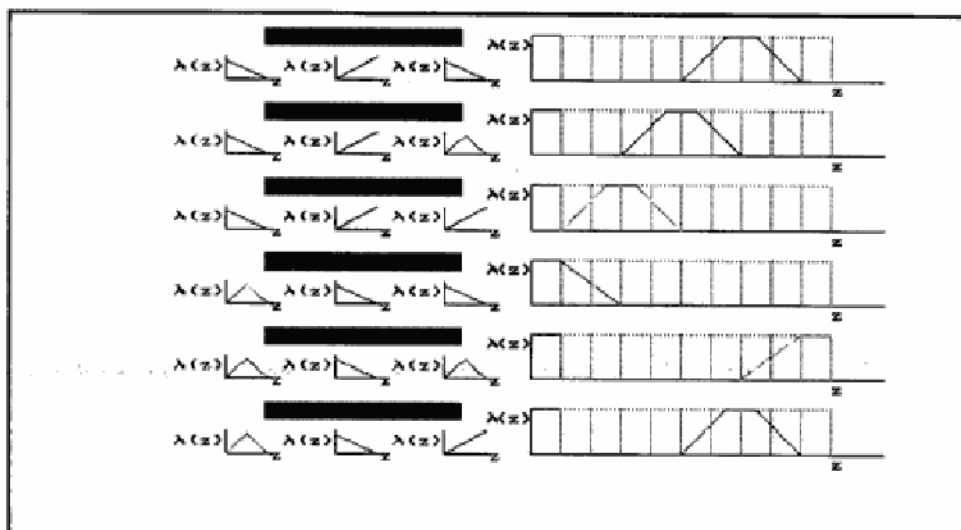
Koristeći osnovne postavke za konstruisanje fuzzy upravljačkog sistema za upravljanje procesom POPS, prikazane u radu [3], i njihovim proširenjem zahvaljujući mogućnostima programskog paketa, prikazani su samo segmenti iz veoma obimnih faza pri re-

šavanju problema upravljanja procesom preventivnog održavanja na bazi fuzzy prilaza.

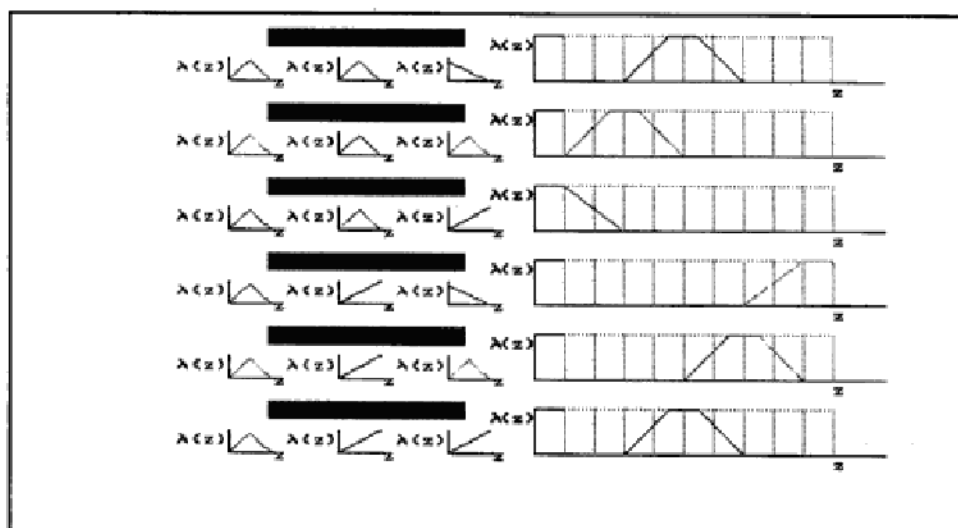
Grafičke interpretacije algoritma aproksimativnog rezonovanja za određivanje jačine (indeksa) preferencije donosioca odluke o sprovođenju postupaka POPS tehničkog sistema prikazane su na slikama 13 do 17.



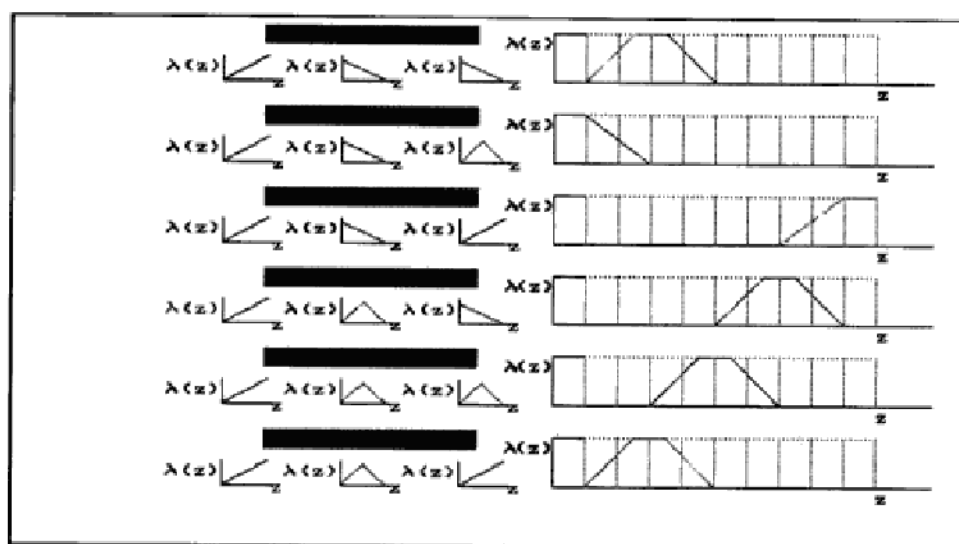
Sl. 13 — Grafički prikaz algoritma aproksimativnog rezonovanja za utvrđivanje jačine preferencije



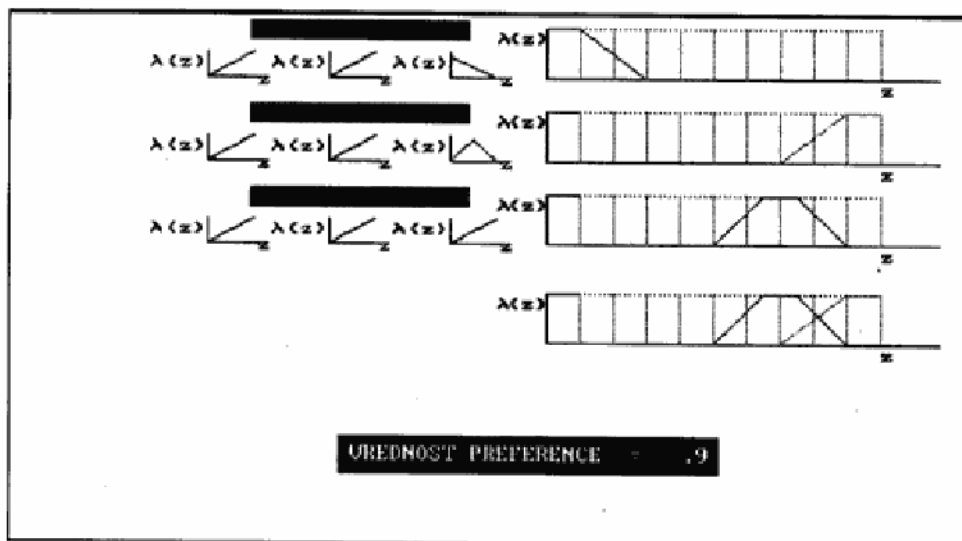
Sl. 14 — Grafički prikaz algoritma aproksimativnog rezonovanja za utvrđivanje jačine preferencije



Sl. 15 — Grafički prikaz algoritma aproksimativnog rezonovanja za utvrđivanje jačine preferencije



Sl. 16 — Grafički prikaz algoritma aproksimativnog rezonovanja za utvrđivanje jačine preferencije



Sl. 17 — Grafički prikaz algoritma aproksimativnog rezonovanja za utvrđivanje jačine preferencije

Zaključak

Odluke o sprovođenju postupaka POPS treba zasnivati na bazi koncepta fuzzy logike. Na taj način uzimaju se u obzir inženjerske nedoumice i subjektivizam u vezi sa prisutnim neizvesnim ili nepreciznim veličinama koje klasični model (EKRAN) za upravljanje procesom POPS ne uzima u obzir.

Predloženi algoritam aproksimativnog rezonovanja omogućava utvrđivanje jačine (indeks) preferencije koju ima donosilac odluke u pogledu sp-

rovođenja postupaka POPS u datom trenutku »provere stanja« tehničkog sistema.

Očigledna je prednost korišćenja razvijenog programskog paketa koji omogućava automatizovano rešavanje algoritma aproksimativnog rezonovanja i time upravljanje procesom POPS. Da bi dobijeni rezultati predstavljali relevantnu informaciju za pravovremeno i efikasno preduzimanje postupaka POPS potrebno je da se programski paket proveri i potvrdi u realnom sistemu održavanja na većem broju različitih tehničkih sistema.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema - Maintainability Engineering, JU MV, Beograd, 1993.
- [2] Teodorović, D., Kikuchi, S.: Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1993.
- [3] Minić, S., Arsenić, Z.: Primena fuzzy logike u upravljanju procesom preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju, XV naučno-stručni skup Nauka i motorna vozila, Beograd, 1993.
- [4] Minić, S., Arsenić, Z.: The Fuzzy Logic Application to The Management of The Motor Vehicle Elements Preventive On-Condition Based Maintenance Process, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 21, Kragujevac, 1993.
- [5] Vasić, B., Todorović, J.: Primena teorije fuzzy skupova u upravljanju održavanjem, SYMOPIS 94, Kotor, 1994.
- [6] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [7] Todorović, J.: Održavanje tehničkih sistema - Nauka ili veština, SYMOPIS 94, Kotor, 1994.
- [8] Peković, T., Todorović, J.: Funkcija cilja kao fazi pojam, XIII simpozijum za operaciona istraživanja, Zlatibor, 1993.
- [9] Minić, S., Arsenić, Z.: Proces preventivnog održavanja tehničkih sistema kao fuzzy pojam, XXIV simpozijum o operacionim istraživanjima, Bečići, 1997.

Mr Dušan Korolija,
major, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

MODEL KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA ELEKTRONSKIH UREĐAJA U SISTEMU ODRŽAVANJA SA VIŠE NIVOVA

UDC: 621.38-7.001.573

Rezime:

U radu je prikazan analitički model korektivnog održavanja modularno građenih elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa. Prikazani model sadrži model nivoa opravke i model snabdevanja rezervnim delovima. Za kriterijume valjanosti korektivnog održavanja izabrani su vreme zastoja zbog korektivnog održavanja i ukupni troškovi korektivnog održavanja u životnom veku. Kao primer proračuna kriterijuma korektivnog održavanja korišćen je jedan hipotetički elektronski uređaj.

Ključne reči: korektivno održavanje, nivo opravke, zastoj zbog korektivnog održavanja, troškovi korektivnog održavanja, popravljivi rezervni delovi.

MODEL OF ELECTRONIC DEVICES CORRECTIVE MAINTENANCE IN MULTILEVEL MAINTENANCE SYSTEM

Summary:

The paper presents corrective maintenance analytic model for electronic module constructed devices in a multilevel maintenance system. The model includes the level-of-repair model and the spare part supply model. Corrective maintenance downtime and corrective maintenance cost in life cycle are selected for validity criterions of corrective maintenance. A hypothetical electronic device is used as an example for the calculation of corrective maintenance criteria.

Key words: corrective maintenance, level-of-repair, corrective maintenance downtime, corrective maintenance cost, repairable spare parts.

Uvod

Profesionalni elektronski uređaji održavaju se u sistemima održavanja sa više nivoa. Na nivoima održavanja izvode se preventivne i korektivne akcije održavanja. Da bi se mogle uspešno izvoditi neophodno je da uređaj bude pogodan za održavanje i da svaki nivo raspolaže obučanim kadrom, opremom, rezervnim delovima, softverom i tehničkom dokumentacijom.

Kako bi se postigla maksimalna operativna gotovost uređaja, uz istovremene minimalne troškove službe održavanja, nužno se nameće potreba optimizacije održavanja. Suština optimizacije održavanja je izbor najbolje od više ponuđenih varijanti [1]. Kod elektronskih uređaja, za izbor, značajne su varijante:

- pogodnosti održavanja,
- tehnologije održavanja uređaja,

— nivoa opravke uređaja i njegovih sastavnih delova — nadležnosti održavanja,

— početnih zaliha rezervnih delova.

Da bi se ocenile varijante održavanja neophodno je izabrati i definisati relevantne kriterijume za ocenu valjanosti varijanti i matematički ih operacionalizovati — izgraditi model održavanja.

Prvi matematički modeli na području održavanja tehničkih uređaja bili su modeli za određivanje asortimana i količina potrebnih rezervnih delova za održavanje, odnosno normiranja rezervnih delova, kako se ova delatnost uobičajeno naziva u vojnoj praksi. Ovi modeli razvijali su se pod pokroviteljstvom vojnih službi koje su se, uglavnom, bavile snabdevanjem, pa su modeli bili slabo povezani sa održavanjem. Na drugoj strani, službe za održavanje razvijale su modele za određivanje nivoa opravke uređaja i njegovih sastavnih delova i za donošenje odluke o tome da li sastavni deo treba popraviti ili odbaciti. Ovi modeli uvažavali su više parametara operativne okoline, opreme i kadra za održavanje, strukture sistema održavanja, itd. Međutim, dugo nisu uzimali u obzir rezultate koje su davali modeli za normiranje rezervnih delova. Poslednjih godina ima sve više pokušaja da se modeli za određivanje nivoa opravke i normiranja rezervnih delova povežu na adekvatan način, kako bi se objedinila optimizacija održavanja i snabdevanja rezervnim delovima.

Preventivno održavanje se, u principu, izvodi na ispravnim uređajima, nakon određenih vremenskih ili radnih resursa. Ako resurs istekne u toku misije uređaja nije neophodno, sa aspekta pouzdanosti uređaja, da se prekinе misija da bi se izvršilo preventivno održavanje. Ono se može izvesti nakon završetka misije uređaja, a ako se zna da će misija dugo trajati pre-

ventivno održavanje se može izvesti i pre njenog početka. Za razliku od preventivnog, potreba za korektivnim održavanjem javlja se u slučajnom trenutku, najčešće u toku trajanja misije, i ovo održavanje mora se sprovesti u kratkom vremenskom periodu, kako bi se misija uređaja mogla nastaviti. Zbog toga je problem izrade modela i optimizacije korektivnog održavanja kompleksniji od ovog problema kod preventivnog održavanja, a optimizacija korektivnog održavanja je važnija za operativnu gotovost uređaja od optimizacije preventivnog održavanja.

Izbor kriterijuma za ocenu valjanosti korektivnog održavanja elektronskih uređaja

Osnovni kriterijumi valjanosti nekog sistema su efektivnost sistema i troškovi sistema. Kod sistema održavanja tehničkih uređaja jedan od pokazatelja efektivnosti sistema je operativna gotovost uređaja, koja se definiše kao odnos vremena kada je uređaj raspoloživ i ukupno posmatranog vremena, a govori o verovatnoći da uređaj može započeti sa izvršavanjem misije u momentu kada to zatreba:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (1)$$

gde je:

MTBM — srednje vreme između održavanja uređaja,

MDT — srednje vreme zastoja uređaja zbog održavanja.

Srednje vreme između održavanja uređaja predstavlja srednju vrednost perioda spremnosti uređaja za rad između dva održavanja. Kod elektronskih uređaja izračunava se kao:

$$MTBM = \frac{1}{\lambda_{ef} + f_p} \quad (2)$$

gde je:

λ_{ef} — efektivni intenzitet otkaza uređaja, [otkaza/h],

f_p — srednja frekvencija preventivnog održavanja [akcija prev. održavanja/h].

Srednje vreme zastoja elektronskog uređaja zbog održavanja dobija se pomoću izraza:

$$MDT = \frac{\lambda_{ef} MDT_c + f_p MDT_p}{\lambda_{ef} + f_p} \quad (3)$$

gde je:

MDT_c — srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja,

MDT_p — srednje vreme zastoja uređaja zbog preventivnog održavanja.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja MDT_c zavisi od efikasnosti sistema održavanja u kome se uređaj održava, od svojstava samog uređaja (pogodnosti za održavanje) i od rešenosti održavanja uređaja (obučenost kadra, oprema, rezervni delovi, itd.). Kao takvo ovo vreme se može uzeti kao osnovni kriterijum za ocenu valjanosti korektivnog

održavanja uređaja, sa aspekta efektivnosti održavanja. Ovo vreme predstavlja usrednjeno vreme srednjih vremena zastoja zbog korektivnog održavanja uređaja na svim nivoima održavanja:

$$MDT_c = \sum_{n=1}^N MDT_{cn} q_n \quad (4)$$

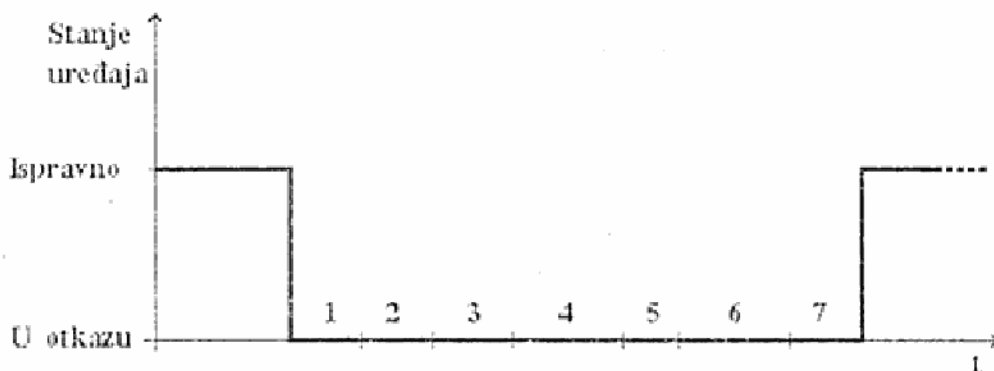
gde je:

MDT_{cn} — srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na n-tom nivou održavanja,

q_n — verovatnoća korektivnog održavanja uređaja na n-tom nivou održavanja,

N — broj nivoa održavanja.

Srednje vreme zastoja zbog korektivnog održavanja MDT_c sadrži sve zastoje u radu ili u spremnosti uređaja za rad, koji su posledica potrebe izvršavanja određenih korektivnih operacija održavanja na sredstvu: od prijavljivanja i planiranja, preko transporta, održavanja i zastoja u toku održavanja, do predaje korisniku, kada je uređaj ponovo spreman za upotrebu. Na slici 1 raščlanjen je vremenski tok korektivnog održavanja,



Sl. 1 — Vremenski tok korektivnog održavanja

gde je:

- 1 — vreme prijavljivanja uređaja za popravku (T_{prn}),
- 2 — vreme transporta uređaja na održavanje (T_{trn}),
- 3 — vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje ($T_{čodn}$),
- 4 — vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova (T_{zrdn}),
- 5 — aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja (T_{akon}),
- 6 — vreme čekanja uređaja u radionici na predaju ($T_{čprn}$),
- 7 — transport uređaja sa održavanja (T_{trn}).

Na osnovu slike 1 srednje vreme zastoja zbog korektivnog održavanja na n-tom nivou održavanja može se analitički izraziti:

$$MDT_{cn} = T_{prn} + 2T_{trn} + T_{čodn} + T_{zrdn} + T_{akon} + T_{čprn} \quad (5)$$

Vremena prijavljivanja, čekanja i transporta jesu vremena koja najviše zavise od organizacije sistema održavanja, pa se kao takva relativno lako mogu proceniti i izračunati.

Ukupni troškovi korektivnog održavanja mogu se uzeti kao osnovni kriterijum za ocenu valjanosti, sa aspekta ekonomičnosti njegovog izvođenja. Pod ovim troškovima podrazumevaju se:

— troškovi ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksploatacije,

— troškovi korektivnog održavanja u toku veka uređaja.

Troškovi ulaganja u korektivno održavanje na početku eksploatacije uređaja pojavljuju se i realizuju na početku veka uređaja. Cilj ovih ulaganja je stvaranje potrebnih uslova za izvođenje korektivnog održavanja uređaja.

Od ovih troškova, za ocenu i izbor varijanti korektivnog održavanja, bitni su:

— *troškovi opreme za korektivno održavanje*, koji su posledica potrebe opremanja nivoa održavanja sa specijalnom opremom za otklanjanje otkaza na sredstvu i njegovim sastavnim delovima. Vrsta opreme (alati, instrumenti, adapteri, interfejsi, itd.) zavisi od tehnologije korektivnog održavanja i raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja;

— *troškovi obuke kadra za korektivno održavanje*, koji su posledica potrebe da se osposobi kadar, koji će raditi na otklanjanju otkaza uređaja i njegovih popravljivih sastavnih delova. Ovi troškovi su proporcionalni trajanju obuke i broju ljudi koje treba obučiti. Trajanje obuke zavisi od tehnologije korektivnih programa za čije izvođenje se kadar obučava, kao i predznanja polaznika. Broj ljudi zavisi od raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja;

— *troškovi početnih zaliha rezervnih delova*, koji zavise od tehnologije korektivnog održavanja, od nadležnosti pojedinih nivoa za izvršavanje korektivnih tehnoloških programa održavanja i od zahtevanog zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Tehnologija održavanja definiše koji će se delovi zamenjivati u toku opravke, odnosno definiše asortiman rezervnih delova, a time utiče na troškove početnih zaliha rezervnih delova. Od nadležnosti nivoa za korektivno održavanje zavisi broj mesta na kojima će se nalaziti rezervni delovi, a od ovog broja i troškovi rezervnih delova. Ako se zahteva manji zastoj uređaja zbog nedostatka rezervnih delova potrebno je na svim nivoima imati veće količine rezervnih delova, a time su i troškovi zaliha rezervnih delova veći;

— *troškovi dokumentacije i softvera za održavanje*, koji se sastoje od troškova izrade i troškova distribucije

(štampanja, umnožavanja i slanja korisnicima). Troškovi izrade dokumentacije su isti za sve varijante izvođenja korektivnog održavanja, dok troškovi distribucije zavise od nadležnosti nivoa za korektivno održavanje.

Troškovi korektivnog održavanja u toku veka uređaja raspoređeni su po vremenu, pa ih je pogodno svesti na vremensku jedinicu (npr. godinu). Od ovih troškova, za ocenu i izbor varijanti korektivnog održavanja, bitni su sledeći:

— *troškovi radne snage za korektivno održavanje*, koji predstavljaju važnu stavku korektivnog održavanja. Zavise od utroška radnog vremena za otklanjanje otkaza, koje zavisi od tehnologije održavanja preko aktivnog vremena održavanja, ali i od nadležnosti korektivnog održavanja preko cene radnog sata, koje se u principu razlikuju po nivoima;

— *troškovi utrošenih rezervnih delova*, koji zavise od odluke: koji će se neispravni sastavni delovi uređaja opravljati, a koji će se odbacivati. U slučaju da se sve modularne celine uređaja opravljaju, odbacuju se samo neispravni elementi i ovi troškovi su minimalni. U slučaju odbacivanja modularnih celina, ovi troškovi rastu;

— *troškovi transporta uređaja i njegovih sastavnih delova pri korektivnom održavanju*, koji zavise od raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja, a kod sastavnih delova i od količine početnih zaliha rezervnih delova. U slučaju izvođenja korektivnih tehnoloških programa na sredstvu na nižim nivoima održavanja troškovi transporta uređaja su manji, a sastavnih delova veći, i obrnuto, pri otklanjanju otkaza uređaja na višim nivoima održavanja troškovi uređaja su veći, a sastavnih delova manji.

Model za ocenu valjanosti korektivnog održavanja

Verovatnoća korektivnog održavanja elektronskog uređaja na n -tom nivou održavanja dobija se pomoću izraza:

$$q_n = \frac{K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j}{\sum_{n=1}^N K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j} \quad (6)$$

gde je:

N — broj nivoa održavanja,

K_n — ukupan broj vrsta sastavnih delova uređaja, koji se na sredstvu menjaju na n -tom nivou održavanja,

Λ_j — ukupan intenzitet otkaza j -tog dela, dobija se pomoću izraza:

$$\Lambda_j = K_c(j)\lambda_1(j) + [1 - K_c(j)]\lambda_2(j) \quad (7)$$

gde je:

$K_c(j)$ — koeficijent eksploatacije j -tog sklopa/dela,

$\lambda_1(j)$ — intenzitet otkaza j -tog dela pod radnim opterećenjem,

$\lambda_2(j)$ — intenzitet otkaza j -tog dela kada je deo rasterećen.

Aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja na n -tom nivou održavanja je dato izrazom:

$$T_{akon} = \frac{K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j t_{aoj}}{\sum_{j=1}^N \Lambda_j} \quad (8)$$

gde je:

t_{aoj} — aktivno vreme opravke uređaja zamenom j -tog dela.

Izraz za aktivno vreme korektivnog održavanja popravljivog sastavnog dela na n -tom nivou održavanja analogan je izrazu (8).

Vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova na n -tom nivou održavanja zavisi od mnogo parametara sistema snabdevanja i sistema održavanja. U opštem slučaju ovo vreme je:

$$T_{zrdn} = \sum_{j=1}^{K_n} q_j \sum_{i=1}^{D_n} t_{ji} R_{ji} \quad (9)$$

gde je:

q_j — verovatnoća opravke uređaja na n -tom nivou zamenom j -tog sastavnog dela,

t_{ji} — srednje vreme obnavljanja j -tog sastavnog dela u i -tom kompletu rezervnih delova,

R_{ji} — verovatnoća obnavljanja j -tog sastavnog dela u i -tom kompletu rezervnih delova,

D_n — broj nivoa snabdevanja rezervnim delovima n -tog nivoa održavanja.

Izraz za vreme zastoja popravljivog sastavnog dela zbog nedostatka rezervnih delova analogan je izrazu (9).

Kompletni matematički izrazi za dobijanje vremena zastoja elektronskog uređaja zbog nedostatka rezervnih delova dati su u [2] — sistem održavanja sa četiri nivoa, i u [3] — sistem održavanja sa dva nivoa.

Troškovi opreme za korektivno održavanje iznose:

$$C_{op} = \sum_{n=1}^N X_n \sum_{i \in n} C_{opi} \quad (10)$$

gde je:

$i \in n$ — korektivni programi održavanja koji se izvode na n -tom nivou održavanja,

C_{opi} — cena specijalne opreme za izvođenje i -tog korektivnog tehnološkog programa,

X_n — broj radionica (mesta za održavanje) na n -tom nivou održavanja.

Troškovi obuke kadra za korektivno održavanje:

$$C_{ob} = \sum_{n=1}^N K_{sln} \sum_{i \in n} C_{obi} T_{obin} \quad (11)$$

gde je:

K_{sln} — broj slušalaca na n -tom nivou,

C_{obi} — cena dnevne obuke po slušaocu za i -ti korektivni tehnološki program,

T_{obin} — trajanje obuke za i -ti korektivni tehnološki program ako se izvodi na n -tom nivou održavanja.

Troškovi početnih zaliha rezervnih delova:

$$C_{zrd} = \sum_{n=1}^N X_n \sum_{j=1}^{K_n + K_{ns}} C_{rdj} Y_{jn} \quad (12)$$

gde je:

K_{ns} — ukupan broj vrsta delova koji pripadaju popravljivim sastavnim delovima uređaja, koji se menjaju na n -tom nivou održavanja,

C_{rdj} — cena j -tog rezervnog dela,

Y_{jn} — broj j -tih rezervnih delova u kompletu na n -tom nivou održavanja.

Troškovi dokumentacije i softvera za održavanje:

$$C_{dok} = C_{id} + \sum_{n=1}^N X_n \sum_{i \in n} C_{disi} \quad (13)$$

gde je:

C_{id} — cena izrade dokumentacije i softvera za korektivno održavanje,

C_{disi} — cena distribucije dokumentacije i softvera za i -ti korektivni program.

Troškovi radne snage za korektivno održavanje uređaja:

$$C_{rs} = \sum_{n=1}^N (z_n \sum_{j=1}^{K_n} \Lambda_j t_{aojs} + \sum_{j=1}^{K_{ns}} \Lambda_{js} t_{aojs} z_{njs}) X_n C_{rsn} T_{ek} \quad (14)$$

gde je:

- z_n — broj uređaja koji se popravljaju na n-tom nivou održavanja,
 Λ_{js} — ukupan intenzitet otkaza j-tog dela sastavnog dela uređaja dobija se pomoću izraza koji je analogan izrazu za Λ_j ,
 t_{aojs} — aktivno vreme opravke sastavnog dela uređaja zamenom j-tog dela,
 z_{njs} — broj popravljivih sastavnih delova uređaja koji se na n-tom nivou održavanja popravljaju zamenom j-tog dela,
 C_{rsn} — cena radnog sata na n-tom nivou,
 T_{ek} — trajanje eksploatacije uređaja.

Troškovi utrošenih rezervnih delova:

$$C_{urd} = \sum_{n=1}^N X_n T_{ek} \left(\sum_{j=1}^{K_n} c_{rdj} \Lambda_j + \sum_{j=1}^{K_{ns}} c_{rdj} \Lambda_{js} \right) \quad (15)$$

Troškovi transporta uređaja i njegovih sastavnih delova zbog održavanja:

$$C_{tr} = \sum_{n=1}^N q_n C_{trn} \Lambda_{sr} T_{ek} \quad (16)$$

gde je:

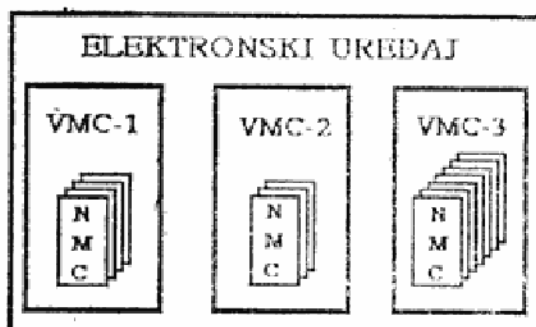
- C_{trn} — cena transporta uređaja na n-ti nivo održavanja,
 Λ_{sr} — ukupni intenzitet otkaza uređaja, koji se dobija pomoću izraza:

$$\Lambda_{sr} = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{K_n} \Lambda_j \quad (17)$$

Matematički izrazi za dobijanje troškova transporta popravljivih sastavnih delova elektronskog uređaja su relativno složeni, jer zavise od potpunosti kompleta rezervnim delovima. U [5] je dat model troškova transporta popravljivih modularnih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa.

Primer proračuna vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja elektronskog uređaja

Pomoću datog matematičkog modela korektivnog održavanja realizovan je računarski program, koji je poslužio za proračun vrednosti kriterijuma jedne varijante korektivnog održavanja hipotetičkog elektronskog uređaja. Na slici 2 prikazana je blok-šema konstrukcije ovog uređaja.



Sl. 2 — Blok-šema konstrukcije hipotetičkog elektronskog uređaja

Kao što se vidi, uređaj se sastoji od tri više modularne celine (VMC), a svaka VMC od određenog broja nižih modularnih celina (NMC). Svaka NMC sastoji se od određenog broja elemenata. Tehnologija korektivnog održavanja ovog uređaja rešena je preko tri korektivna tehnološka programa:

- KO-4 popravak uređaja zamenom VMC bez podešavanja;
- KO-6 popravak VMC zamenom NMC bez podešavanja;

— KO-8 popravak NMC zamenom elemenata bez podešavanja.

Uređaj se održava u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Korektivni programi su raspodeljeni po nivoima održavanja na sledeći način:

- KO-4 $\Rightarrow$ II nivo,
- KO-6 $\Rightarrow$ III nivo,
- KO-8 $\Rightarrow$ IV nivo.

Na I nivou održavanja (korisnik uređaja) ne izvodi se korektivno održavanje. Uređaj se nakon svakog otoka šalje u radionicu II nivoa održavanja, gde se popravlja zamenom neispravne VMC ispravnom. Nakon toga uređaj se vraća korisniku. VMC se popravljaju na III nivou održavanja zamenom NMC, a one na IV nivou održavanja zamenom elemenata.

Rezervne celine i elementi, za potrebe korektivnog održavanja, čuvaju se u grupnim kompletima rezervnih delova (GK), a ešelonirani su na sledeći način:

- II nivo $\Rightarrow$ GK-2 (VMC),
- III nivo $\Rightarrow$ GK-3 (VMC i NMC),
- IV nivo $\Rightarrow$ GK-4 (NMC i elementi).

Na osnovu izraza (6) do (17) vidi se da kriterijumi korektivnog održavanja zavise od mnoštva parametara sistema održavanja, sistema snabdevanja i od parametara samog uređaja i njegovih sastavnih delova. Svi ovi parametri mogu se svrstati u logističke, tehničke i ekonomske. U ovom primeru, kao ulazni podaci programa za proračun kriterijuma, korištene su sledeće vrednosti ovih parametara:

Logistički parametri:

— Broj radionica na III nivou održavanja	5
— Broj radionica na II nivou održavanja oslonjenih na radionicu III nivoa održavanja	8
— Broj uređaja oslonjenih na radionicu II nivoa održavanja	25
— Vreme prijavljivanja uređaja za opravku	1 h
— Vreme transporta uređaja na održavanje	1,2 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje	1 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na predaju	0,5 h
— Vreme redovnog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	100 h
— Vreme vanrednog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	24 h
— Vreme redovnog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	80 h
— Vreme vanrednog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	10 h
— Koeficijent eksploatacije uređaja i svih njegovih delova	0,2
— Broj slušalaca za obuku iz radionice II nivoa održavanja	1
— Broj slušalaca za obuku iz radionice III nivoa održavanja	2
— Broj slušalaca za obuku iz radionice IV nivoa održavanja	3
— Trajanje obuke za KO-4	2 dana

Ekonomski parametri:

— Cene sastavnih delova uređaja date su u tabeli 1.	
— Cena transporta uređaja na II nivo održavanja	30,00 din.
— Cena redovnog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	1,00 din.
— Cena vanrednog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	80,00 din.
— Cena redovnog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	0,50 din.
— Cena vanrednog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	50,00 din.
— Cena specijalne opreme za izvođenje KO-6	10 000,00 din.
— Cena specijalne opreme za izvođenje KO-8	200 000,00 din.
— Cena izrade kompletne dokumentacije za održavanje	200 000,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-4	50,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-6	100,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-8	1000,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-4	300,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-6	300,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-8	400,00 din.
— Cena radnog sata na II nivou održavanja	50,00 din.
— Cena radnog sata na III nivou održavanja	80,00 din.
— Cena radnog sata na IV nivou održavanja	100,00 din.

Pored datih parametara veoma bitan parametar modela korektivnog održavanja elektronskog uređaja su i količine rezervnih VMC, NMC i elemenata u grupnim kompletima rezervnih delova. Ovaj parametar ovde nije dat, zbog toga što razvijeni računarski program startuje sa proračunom kriterijuma korektivnog održavanja sa potpuno praznim grupnim kompletima rezervnih delova. Program na početku vrši optimizaciju zaliha rezervnih delova, koja je objašnjena u [2] i [3]. Optimizacija se završava kada se postigne zadato vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova.

U tabeli 2 data su proračunom dobijena vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja, a u tabeli 3 troškovi korektivnog održavanja u životnom veku razmatranog elektronskog uređaja.

Tabela 2

Vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja

Vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja	7,1 h
— Vreme prijavljivanja uređaja za opravku	1,0 h
— Vreme transporta uređaja na održavanje	1,2 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje	1,0 h
— Vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova	1,8 h
— Vreme opravke uređaja	0,4 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na predaju	0,5 h
— Vreme transporta uređaja sa održavanja	1,2 h

Tabela 3

Troškovi korektivnog održavanja
u životnom veku uređaja

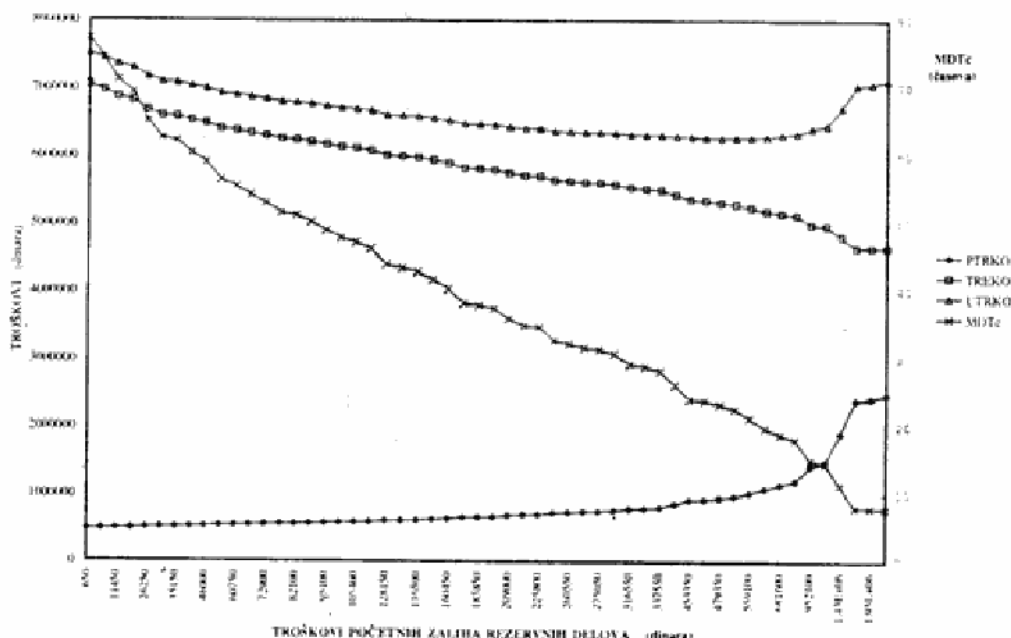
Ukupni troškovi korektivnog održavanja uređaja	7 038 190,00 din.
1. Troškovi ulaganja u korektivno održavanje na početku eksploatacije	2 392 350,00 din.
— Troškovi specijalne opreme	250 000,00 din.
— Troškovi obuke kadra za korektivno održavanje	15 500,00 din.
— Troškovi dokumentacije za održavanje	203 500,00 din.
— Troškovi početnih zaliha rezervnih delova	1 923 350,00 din.
2. Troškovi korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja	4 645 840,00 din.
— Troškovi radne snage	3 628 220,00 din.
— Troškovi utrošenih rezervnih delova	211 660,00 din.
— Troškovi transporta rezervnih delova	201 520,00 din.
— Troškovi transporta uređaja na održavanje	604 440,00 din.

U tabeli 2 vidi se da vrednosti vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja najviše doprinosi vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Za manje troškove početnih zaliha rezervnih delova ovaj doprinos bi bio još veći. Vreme opravke uređaja minimalno utiče na vreme zastoja uređaja, jer je uređaj pogodan za održavanje i popravljiva se zamenom blokova. Vremena prijavljivanja, transporta i čekanja su određena organizacijom sistema održavanja.

U tabeli 3 se uočava da su, u ovom primeru, troškovi korektivnog o-

državanja u toku životnog veka uređaja veći od troškova ulaganja u korektivno održavanje. Razlika između ove dve vrste troškova održavanja bila bi još i veća da je duži period eksploatacije uređaja. Naime, svi troškovi korektivnog održavanja, u toku životnog veka uređaja, predstavljaju linearne funkcije vremena. Od ovih troškova najviši su troškovi radne snage, jer se za svaki otkaz uređaja, javljaju na svim nivoima na kojima se izvode korektivni programi održavanja. Troškovi transporta su visoki, jer korisnik uređaja ne izvodi korektivno održavanje, te se za svaki otkaz uređaja transportuje na II nivo održavanja. Troškovi utrošenih rezervnih delova su niski zbog toga što se u toku održavanja ne odbacuju skupe VMC i NMC, već samo jeftini elementi. Troškovi transporta rezervnih delova su niski, jer su za početne zalihe rezervnih delova utrošena znatna novčana sredstva, pa nema potrebe za vanrednim transportom rezervnih VMC i NMC.

Za razliku od troškova specijalne opreme, obuke kadra i dokumentacije, koji su praktično fiksni za izabrane varijante tehnologije održavanja i nadležnosti održavanja uređaja, troškovi početnih zaliha rezervnih delova mogu imati vrednost u širokom dijapazonu. Proces korektivnog održavanja će se nesmetano odvijati i kada su oni jednaki nuli. U tom slučaju troškovi transporta rezervnih delova biće veliki, kao i vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Povećanjem troškova zaliha rezervnih delova doći će do pada troškova transporta rezervnih delova i vremena zastoja uređaja zbog njih. Na slici 3 prikazana je zavisnost kriterijuma održavanja — zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja (MDT_c) i ukupnih troškova korektivnog održavanja (UTRKO) od troškova početnih zaliha rezervnih delova. Ukupni troškovi korektivnog održavanja prikazani su kao suma troškova ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksplo-



Sl. 3 — Zavisnost kriterijuma korektivnog održavanja od početnih zaliha rezervnih delova

atacije (PTRKO) i troškova korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja (TREKO).

Na slici se vidi da za neku vrednost početnih zaliha rezervnih delova (479 350 din.) ukupni troškovi korektivnog održavanja imaju minimalnu vrednost (6 263 870 din.). Ako vrednost vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja za ovu vrednost zaliha rezervnih delova (23,3 h) ne prelazi dozvoljenu vrednost, ova varijanta početnih zaliha rezervnih delova može se uzeti kao optimalno rešenje.

Zaključak

Kod savremenih, modularno građenih elektronskih uređaja procesi održavanja i snabdevanja rezervnim delovima su višestruko povezani, što se vidi i u ovom radu, u matematičkoj operacionalizaciji kriterijuma za ocenu valjanosti korektivnog održavanja, a i

u primeru proračuna ovih kriterijuma. Spajanje modela održavanja i snabdevanja elektronskih uređaja rezervnim delovima predstavlja značajan doprinos za naučnu i stručnu razvijenost područja održavanja ovih uređaja.

Pomoću modela datog u ovom članku moguće je oceniti valjanost svake varijante korektivnog održavanja elektronskog uređaja i, nakon toga, određenom metodom izabrati najbolju varijantu. Model se može koristiti u fazi razvoja uređaja, radi ugradnje optimalne pogodnosti korektivnog održavanja u uređaj, za rešavanje sledećih pitanja:

— da li pri održavanju uređaja treba primeniti agregatni princip opravke?

— da li u elektronski uređaj treba ugraditi samotestiranje, i do koje dubine?

— koje sastavne delove sredstva treba popravljati, a koje odbacivati posle otkaza?

Model se, takođe, može koristiti u fazi uvođenja uređaja u eksploataciju za rešavanje sledećih pitanja:

— na kojim nivoima održavanja treba popravljati elektronski uređaj, a na kojim nivoima njegove sastavne delove?

— koje rezervne delove, i koliko rezervnih delova, za održavanje elektronskog uređaja treba držati na nivoima održavanja?

Prikazani model može se primeniti i za mašinske uređaje i sisteme, osim u onom delu gde intenzitet otkaza ovih uređaja nije konstantan.

Literatura:

- [1] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [2] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [3] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/86, str. 517—524, 1986.
- [4] Korolija, D.: Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja. Vojnotehnički glasnik 1/87, str. 15—22, 1987.
- [5] Kline, M.: Linking LOR Models to Provisioning Models, 1985 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, IEEE, 1985, 362—368.
- [6] Blanchard, B., Design and Manage to LIFE CYCLE COST, M/A Press, Portland Oregon, 1978.

PRIHOD KAO OPŠTIJI KRITERIJUM OPTIMIZACIJE U ODNOSU NA RASPOLOŽIVOST I TROŠKOVE ZAMENA PRI ODREĐIVANJU OPTIMALNOG PERIODA PREVENTIVNE ZAMENE

UDC: 62-7.001:519.86

Rezime:

U ovom radu dat je postupak za određivanje optimalnog perioda preventivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza kada je kriterijum optimizacije prihod po jedinici vremena. Pokazano je da su prihod po jedinici vremena i njegova komplementarna veličina zbir gubitka zbog zastoja sistema i troškova zamena, opštiji kriterijumi optimizacije od minimalnih troškova zamena i maksimalne raspoloživosti i da predstavljaju samo posebne slučajeve oba komplementarna kriterijuma. Predloženo je da se ovo svojstvo primeni i na tehničke sisteme kod kojih nije definisan prihod po jedinici vremena rada, uvođenjem koeficijenta značaja ispravnosti rada (raspoloživosti) u odnosu na troškove zamena, kao kompromisnog kriterijuma. Izvedeni su izrazi za ekvivalentne parametre pouzdanosti elemenata sa rastućim tokom otkaza, čime je omogućena analiza pouzdanosti i raspoloživosti tehničkih sistema koji sadrže takve elemente u uslovima uspostavljenog procesa njihove preventivne zamene. Urađen je program za računar čijim korišćenjem su, za date ulazne podatke, dobijene brojčane vrednosti svih parametara za sva tri kriterijuma optimizacije.

Ključne reči: inženjerstvo održavanja, optimalni period preventivne zamene, troškovi zamena, raspoloživost.

INCOME AS A MORE GENERAL OPTIMIZATION CRITERION AS REGARDS AVAILABILITY AND REPLACEMENT COSTS IN DETERMINING THE OPTIMAL PERIOD OF PREVENTIVE REPLACEMENT

Summary:

This paper describes a procedure for determining the optimal period of preventive replacement of elements with increasing failure rate when the criterion is income per operating time unit. It is shown that income per operating time unit and its complementary value of the sum of losses due to system dwell and replacement costs represent more general optimization criteria than minimal replacement costs and maximal availability; they also represent only separated cases of both complementary criteria. This property is suggested to be applied in technical systems without a defined income per operating time unit by introducing the coefficient of correct operation importance (availability) in relation to replacement costs as a compromising criterion. The expressions for equivalent parameters of reliability of elements with increasing failure rate are derived which enables the analysis of reliability and availability of technical systems with these elements in the conditions of the re-established process of their preventive replacement. The realized software program gives numerical values of all parameters for all optimization criteria.

Key words: maintenance engineering, optimal period for preventive replacement, replacement costs, availability.

Uvod

Realnost da se i u savremenim tehničkim sistemima ne može izbeći ugradnja elemenata sa rastućim tokom otkaza čije je srednje vreme do otkaza znatno kraće od srednjeg vremena do otkaza ostalih elemenata zahteva da se, u okviru aktivnosti celokupnog tehničkog održavanja, planiraju i aktivnosti preventivnih zamena tih elemenata. Zamenom elemenata sa rastućim tokom otkaza postiže se obnavljanje sistema i sprečavanje njihovih čestih zastoja.

Posle kog vremena je najpogodnije izvršiti zamenу elemenata sa rastućim tokom otkaza zavisi od karakteristika pouzdanosti elemenata (gustina raspodele verovatnoće vremena do otkaza, trenutna vrednost toka otkaza, srednje vreme do pojave otkaza), trošenja resursa pri vršenju zamena (vremena potrebna za obavljanje zamena, materijalni i finansijski troškovi) i veličine koja se želi optimizirati (kriterijum optimizacije).

U stranoj i domaćoj naučnoj literaturi u oblasti inženjerstva održavanja, definisan je i ispitan veliki broj matematičkih modela i postupaka za dobijanje najpovoljnijeg (optimalnog) perioda preventivne zamene za različite strategije obavljanja preventivnih zamena. Kao kriterijum optimizacije najčešće su uzimani troškovi zame po jedinici vremena rada, tako da su preventivne zamene obavljane po isteku tako dobijenog perioda zamene, obezbeđivale postizanje minimalnih troškova zamena. U znatno manjem broju radova kao kriterijum optimizacije uzimana je raspoloživost, kako bi se preventivnim zamenama postiglo da u toku eksploatacije raspoloživost ima maksimalnu moguću vrednost.

U ovom radu je, za slučaj kombinovane preventivne zamene (Age replacement), kao kriterijum optimizacije uzet prihod po jedinici vremena, kao razlika nadoknade koja se dobija za svaki čas rada sistema i troškova

zamena po času rada. Kao kriterijum optimizacije može se uzeti i komplementarna veličina, koja predstavlja zbir troškova zamena i izgubljene dobiti zbog zastoja u radu sistema. Međutim, i ako se radi o dve različite veličine, one kao kriterijum optimizacije daju isti rezultat, pošto im je zbir jednak konstanti i kada prva veličina ima maksimum, druga ima minimum i obrnuto. Matematički modeli koji daju vezu između karakteristika pouzdanosti elemenata sa rastućom vrednošću toka otkaza, potrebnog vremena za vršenje zamena i troškova koji se pri tome čine, dati su u zavisnosti od perioda preventivne zamene, tako da se ponašanje veličina koje su od interesa može analizirati u celom opsegu promena perioda preventivne zamene, a ne samo u tačkama optimuma za pojedine kriterijume optimizacije. Definisan je veći broj pokazatelja preko kojih se može ustanoviti kakvi se rezultati postižu vršenjem preventivnih zamena.

Na brojčanom primeru elemenata sa rastućim tokom otkaza, čija raspodela verovatnoće vremena do otkaza podleže Vejbulovoj raspodeli, dat je postupak korišćenja izvedenih izraza, izvršena je analiza dobijenih rezultata i ustanovljene su veze i zavisnosti između pojedinih veličina kojih nema u dostupnoj naučno-stručnoj literaturi, a značajne su za rešavanje problema koji se javljaju u praksi inženjerstva održavanja.

Korišćene oznake:

- | | |
|---------------|---|
| $f(t)$ | — gustina verovatnoće vremena do pojave otkaza, |
| $F(t)$ | — raspodela verovatnoće vremena do pojave otkaza, |
| $R(t)$ | — pouzdanost elementa (verovatnoća da će raditi bez otkaza do trenutka t), |
| β, η | — parametri (oblika i razmere) Vejbulove raspodele, |
| K_β | — vrednost Γ funkcije $\Gamma(1 + 1/\beta)$, |

$\lambda(t)$	— trenutni tok otkaza,	$A_r(T)$	— relativna raspoloživost u odnosu na raspoloživost kada se preventivne zamene vrše,
m_k	— srednje vreme do otkaza kada se ne vrše preventivne zamene,	$D_r(T)$	— relativni prihod u odnosu na prihod kada se prev. zamene ne vrše,
$m(t)$	— srednje vreme do zamene, bilo korektivne bilo preventivne,	$G_i(T)$	— dobit izražena u procentima koja se dobija prev. zamena (i=c, a, d),
T_k	— srednje vreme trajanja korektivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza,	$g(T)$	— dobit izražena u procentima u odnosu na dobit pri optimalnim preventivnim zamena,
T_p	— srednje vreme trajanja preventivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza,	$z(T)$	— intenzitet korektivnih zamena,
T_{os}^-	— srednje vreme trajanja popravke elementa sa rastućim tokom otkaza,	$u(T)$	— intenzitet preventivnih zamena,
M_k	— srednje vreme između zamena kada se ne vrše preventivne zamene,	$v(T)$	— srednje vreme do korektivne zamene,
$M(t)$	— srednje vreme između zamena kada se vrše i preventivne zamene,	$w(T)$	— srednje vreme do preventivne zamene,
T_i	— optimalna vrednost perioda preventivne zamene (i=c, a, d),	T_e	— period eksploatacije,
C_k	— troškovi korektivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza,	T_{ks}	— srednje vreme zamene elemenata sistema kada se ne vrše preventivne zamene,
C_p	— troškovi preventivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza,	T_s	— srednje vreme zamene elemenata sistema kada se vrše preventivne zamene,
C_{os}	— troškovi popravke elementa sa konstantnim tokom otkaza,	$R_{ks}(T)$	— pouzdanost sistema kada se ne vrše preventivne zamene,
D_o	— prihod po jedinici vremena rada,	$R_s(T)$	— pouzdanost sistema kada se vrše preventivne zamene,
$C(T)$	— troškovi po jedinici vremena rada,	$A_{ks}(T)$	— raspoloživost sistema kada se ne vrše preventivne zamene,
$A(T)$	— raspoloživost,	$A_s(T)$	— raspoloživost sistema kada se vrše preventivne zamene,
$D(T)$	— prihod po jedinici vremena,	$C_{ks}(T)$	— troškovi zamena elemenata sistema po jedinici vremena rada kada se preventivne zamene ne vrše,
$\bar{D}(T)$	— gubici zbog zastoja i troškova zamene,	$C_s(T)$	— troškovi zamena elemenata sistema po jedinici vremena rada kada se vrše preventivne zamene,
$L_i(T)$	— funkcije koje sadrže optimalna rešenja T_i (i=c,a,d),	N_k	— srednji broj zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza kada se preventivne zamene ne vrše,
$C_r(T)$	— relativna vrednost troškova u odnosu na troškove kada se preventivne zamene ne vrše,		

- N_{ek} — srednji broj korektivnih zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza,
- N_{ep} — srednji broj preventivnih zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza,
- N_e — srednji broj zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza,
- n_e — odnos broja korektivnih zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza kada se preventivne zamene vrše i kada se ne vrše,
- N_{oo} — srednji broj zamena elemenata sa konstantnim tokom otkaza kada se ne vrše preventivne zamene,
- N_{oe} — srednji broj zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza u sistemu kada se ne vrše preventivne zamene,
- N_{ok} — srednji broj zamena elemenata sistema kada se ne vrše preventivne zamene,
- N_{os} — srednji broj zamena elemenata sa konstantnim tokom otkaza kada se vrše preventivne zamene,
- N_{sk} — srednji broj korektivnih zamena elementa sa rastućim tokom otkaza u sistemu kada se vrše preventivne zamene,
- N_{sp} — srednji broj preventivnih zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza u sistemu kada se vrše preventivne zamene,
- N_s — srednji broj zamena elemenata sistema,
- n_s — odnos broja korektivnih zamena elemenata sistema kada se preventivne zamene ne vrše i kada se vrše.

Određivanje optimalnog perioda preventivne zamene tako da prihod ima maksimalnu vrednost

Prilikom definisanja aktivnosti održavanja tehničkog sistema koji čine npr. jedna komponenta sa rastućom vrednošću toka otkaza $\lambda(t)$ i ostatak sistema koji se sastoji od komponenata sa konstantnim tokom otkaza, ukupne vrednosti λ_{os} unapred se može reći da za komponente ostatka sistema treba obezbediti samo zamene u slučaju da otkazu (korektivne zamene), dok za komponentu sa rastućim tokom otkaza, pored korektivnih, treba predvideti i preventivne zamene.

Kombinovana preventivna zamena (Age Replacement) elemenata sa rastućom vrednošću toka otkaza vrši se posle planiranog vremena T . Ukoliko se dogodi da element otkaze pre isteka vremena T (pretpostavlja se da je indikacija otkaza trenutna) zamenjuje se (korektivno), a trenutak u kome će biti izvršena preventivna zamena odlaže se, tako da ona bude posle isteka vremena T računato od poslednje zamene. Na taj način proces se nastavlja dalje. To znači da se preventivna zamena vrši kada element dostigne određenu »starost« u radu, računato od poslednje zamene, bilo da je ona bila preventivna ili korektivna.

Kada se komponenta sa rastućom trenutnom vrednošću toka otkaza, po isteku planiranog vremena T preventivno zameni utroši se neko vreme T_p i načine troškovi C_p . U slučaju da komponenta otkaze pre isteka vremena T vrši se njena korektivna zamena, pri čemu se utroši vreme T_k i načine troškovi C_k . U praksi je $T_p < T_k$ i $C_p < C_k$, jer se preventivna zamena vrši u planiranim uslovima i u planiranom trenutku, dok se vreme i uslovi korektivne zamene ne mogu predvideti i birati tako da dolazi do dodatnih gubitaka vremena i troškova. Kada se dogodi otkaz mobilnog sredstva na terenu, na primer, mora se obaviti transport opreme i ekipe za održavanje na mesto na kojem se javio otkaz, a sa-

ma zamena se obavlja u otežanim uslovima ili se mora angažovati drugo vozilo koje će transportovati ono koje je otkazalo u radionicu.

Za otklanjanje otkaza neke od komponenata sa konstantnom vrednošću toka otkaza potrebno je vreme T_{os} i čine se troškovi C_{os} .

Treba odrediti period preventivne zamene komponente sa rastućom vrednošću toka otkaza $\lambda(t)$ tako da ukupni prihod po jedinici vremena bude maksimalan, ako je D_0 suma koja se dobija po jedinici vremena ispravnog rada tehničkog sistema.

To je opštiji pristup od slučaja kada se uzima [9] da je $C_k = c_k T_k$ i $C_p = c_p T_p$, jer troškovi zamena u opštem slučaju nisu srazmerni vremenima potrebnim za obavljanje tih zamena (jedan od razloga je upravo cena rezervnog dela). U praksi se može ići preko srednjih vrednosti koje te veličine imaju u realnim procesima održavanja:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

gde X može biti T_p , T_k , T_{os} , C_p , C_k i C_{os} . Prilikom prvih proračuna procenjuje se na osnovu prethodnih podataka i iskustva, a zatim se dobijeni rezultati koriguju prema vrednostima koje realno imaju. Pored toga, izrazi koji će biti izvedeni omogućavaju da se prilikom postavljanja procesa održavanja datog tehničkog sistema izvrši analiza osetljivosti dobijenih rezultata, tj. koliko se oni menjaju u zavisnosti od promene (pogrešne procene) ulaznih veličina.

Optimalni period preventivne zamene komponente sa rastućom vrednošću toka otkaza

Na osnovu datog opisa procesa preventivne zamene može se zaključiti da verovatnoća da će se po isteku

vremena T obaviti preventivna zamena elementa sa rastućim tokom otkaza iznosi $R(T)$, a verovatnoća da će ranije doći do otkaza i da će se izvršiti korektivna zamena je $F(T)$. Srednje vreme između zamena M je:

$$M(T) = m(T) + F(T)T_k + R(T)T_p \quad (2)$$

gde je:

$$m(t) = \int_0^T R(t)dt \quad (3)$$

Raspoloživost je data izrazom:

$$A(T) = \frac{m(T)}{m(T) + F(T)T_k + R(T)T_p} = \frac{1}{1 + \frac{F(T)}{m(T)}T_k + \frac{R(T)}{m(T)}T_p} \quad (4)$$

Ukupni troškovi zamena (preventivnih i korektivnih) po jedinici vremena rada su:

$$C(T) = \frac{F(T)C_k + R(T)C_p}{m(T)} \quad (5)$$

Prihod od rada sistema, izražen po jedinici vremena, srazmeran je raspoloživosti, pri čemu je koeficijent srazmernosti razlika veličina prihoda i troškova koja je data po jedinici vremena rada, tako da se može napisati:

$$D(T) = A(T)[D_0 - C(T)] = D_0 - \frac{F(T)C_k + R(T)C_p}{m(T)} = \frac{1 + \frac{F(T)}{m(T)}T_k + \frac{R(T)}{m(T)}T_p}{1 + \frac{F(T)}{m(T)}T_k + \frac{R(T)}{m(T)}T_p} \quad (6)$$

ili u obliku:

$$D(T) = \frac{m(T)D_0 - F(T)C_k - R(T)C_p}{m(T) + F(T)T_k + R(T)T_p} \quad (7)$$

Na sličan način može se definisati i veličina komplementarna prihodu kao zbir gubitaka zbog neraspoloživo-

sti (izgubljena dobit) i troškova zamena:

$$\bar{D}(T) = \frac{F(T)C_k + R(T)C_p + D_0F(T)T_k + D_0R(T)T_p}{m(T) + F(T)T_k + R(T)T_p} = \frac{D_0T_k + C_k - R(T)[D_0(T_k - T_p) + C_k - C_p]}{m(T) + F(T)T_k + R(T)T_p} \quad (8)$$

Maksimalna vrednost prihoda dobija se kada je ispunjen uslov:

$$\frac{dD(T)}{dT} = 0$$

koji se posle diferenciranja izraza (7) i svih svođenja može napisati u obliku:

$$\lambda(T)m(T) + \lambda(T) \frac{C_kT_p - C_pT_p}{D_0(T_k - T_p) + C_k - C_p} + R(T) = \frac{D_0T_k + C_k}{D_0(T_k - T_p) + C_k - C_p} \quad (9)$$

Minimum gubitaka (zbir troškova i izgubljene dobiti zbog zastoja) dobija se iz uslova:

$$\frac{d\bar{D}(T)}{dT} = 0$$

i posle diferenciranja izraza (8) i svih sređivanja dobija se izraz (9) kao i za maksimalni prihod, što se moglo i očekivati.

Vrednost $T=T_d$, koja zadovoljava uslov (9), predstavlja optimalni period preventivne zamene pri kome ukupni prihod ima maksimalnu, a gubici minimalnu vrednost.

Srednje vreme do zamene u tom slučaju, bilo korektivne bilo preventivne, iznosi:

$$m_d = \int_0^{T_d} R(t)dt \quad (10)$$

Ako se vrednost za m_d iz uslova (9) zameni u (7) dobija se:

$$D_d = \frac{D_0 - (C_k - C_p)\lambda(T_d)}{1 + (T_k - T_p)\lambda(T_d)} \quad (11)$$

što znači da se optimalna vrednost perioda preventivne zamene može naći kao presek krive (7) i krive:

$$L_d(T) = \frac{D_0 - (C_k - C_p)\lambda(T)}{1 + (T_k - T_p)\lambda(T)} \quad (12)$$

Minimalni troškovi zamena po jedinici vremena rada dobijaju se, kao što je izvedeno u [5] iz uslova:

$$m(T)\lambda(T) + R(T) = \frac{C_k}{C_k - C_p} \quad (13)$$

Kada se vrednost za $m(T)$ iz (13) zameni u (5) dobija se:

$$C_c = \lambda(T_c)(C_k - C_p) \quad (14)$$

što znači da se vrednost perioda preventivne zamene $T=T_c$, pri čemu troškovi preventivnih zamena imaju minimalnu vrednost, mogu naći kao presek krive (5) i krive:

$$L_c(T) = \lambda(T)(C_k - C_p) \quad (15)$$

Na isti način maksimalna raspoloživost se dobija iz uslova $\frac{dA(T)}{dT} = 0$,

koji se posle diferenciranja izraza (4) i sređivanja može napisati u obliku:

$$m(T)\lambda(T) + R(T) = \frac{T_k}{T_k - T_p} \quad (16)$$

a optimalna vrednost perioda preventivne zamene $T=T_a$ pri kojoj raspoloživost ima maksimalnu vrednost može se dobiti kao presek krive (4) i krive date izrazom:

$$L_a(T) = \frac{1}{1 + \lambda(T)(T_k - T_p)} \quad (17)$$

U slučajevima kada je D_0 veliko u odnosu na $C_k/m(T)$ i $C_p/m(T)$ (tj. $D_0 \rightarrow \infty$), uslov (9) postaje (16), što znači da je uslov za optimalnu raspoloživost poseban slučaj uslova za optimalnu vrednost prihoda, kada je značaj raspoloživosti znatno veći od značaja koji imaju troškovi zamena.

U slučaju da je prihod po jedinici vremena rada veoma mali, tj. $D_0 \rightarrow 0$, iz (9) se dobija:

$$\lambda(T)m(T) + \lambda(T) \frac{C_k T_p - C_p T_k}{C_k - C_p} + R(T) = \frac{C_k}{C_k - C_p} \quad (18)$$

Izraz (18) nije isti kao izraz (13). Da bi se to postiglo potrebno je da bude ispunjen dodatni uslov:

$$\frac{D_0 T_k + C_k}{D_0 (T_k - T_p) + C_k - C_p} - \lambda(T) \cdot \frac{C_k T_p - C_p T_k}{D_0 (T_k - T_p) + C_k - C_p} = \frac{C_k}{C_k - C_p} \quad (19)$$

odakle se dobija da je potrebno da:

$$D_0 = \lambda(T)(C_k - C_p) = C_c \quad (20)$$

To znači da je, u slučaju kada prihod po jedinici vremena rada ima istu vrednost kao troškovi zamena po jedinici vremena rada, period preventivne zamene pri kome prihod ima optimalnu (maksimalnu) vrednost isti kao period preventivne zamene pri kome troškovi po jedinici vremena rada imaju optimalnu (minimalnu) vrednost.

Na osnovu izvedenih izraza može se zaključiti da optimalna vrednost perioda preventivne zamene T_d pri kojoj prihod po jedinici vremena ima maksimalnu vrednost, u opštem slučaju zavisi od C_p , C_k , T_p i T_k , ali da postoje vrednosti D_0 pri kojima ona ne zavisi od C_k i C_p (kada D_0 ima veliku vrednost i tada je period preventivne zamene T_c) i kada ne zavisi od

T_p i T_k ($D_0 = C_c$ i tada je period preventivne zamene T_c). Ako je $T_p/T_k < C_p/C_k$ pri promeni D_0 od C_c do ∞ optimalni period preventivne zamene menja se od T_s do T_c , odnosno od T_c do T_s ako je $C_p/C_k < T_p/T_k$. Promena vrednosti prihoda po jedinici vremena rada od 0 do C_c nije značajna za realne sisteme, jer u tom slučaju, kao što se iz (6) vidi, vrednost prihoda ima negativne vrednosti. U posebnom slučaju, kada je $T_p/T_k = C_p/C_k$, sve tri vrednosti optimalnog perioda preventivne zamene su međusobno jednake ($T_s = T_d = T_c$) što se može zaključiti iz izraza (9), (13), (16) i (18) koji, u tom slučaju, izražavaju jedan isti uslov.

Relativne vrednosti kriterijuma optimizacije u odnosu na slučaj kada se preventivne zamene ne vrše

Da bi se ustanovilo šta se preventivnim zamenama elemenata sa rastućim tokom otkaza dobija, vrednosti kriterijuma optimizacije često se daju kao relativne vrednosti u odnosu na slučaj kada se preventivne zamene ne vrše ($T \rightarrow \infty$). Tada se na osnovu (2), (3), (4), (5), (7) i (8) dobija:

$$m_k = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (21)$$

$$M_k = m_k + T_k \quad (22)$$

$$A_k = \frac{m_k}{M_k} \quad (23)$$

$$C_{ok} = \frac{C_k}{m_k} \quad (24)$$

$$D_k = \frac{m_k D_0 - C_k}{M_k} \quad (25)$$

$$N_k = \frac{T_c}{M_k} \quad (26)$$

Relativne vrednosti, kao i dobitak izražen u procentima za pojedine ve-

ličine, u zavisnosti od perioda preventivne zamene dati su izrazima:

$$A_r(T) = \frac{A(T)}{A_k} \quad (27)$$

$$G_a(T) = \frac{A_r - A_k}{A_k} 100 \quad (28)$$

$$g_a(T) = \frac{G_a(T)}{G_{a \max}} 100 \quad (29)$$

$$C_r(T) = \frac{C(T)}{C_{ok}} \quad (30)$$

$$G_c(T) = \frac{C_{ok} - C(T)}{C_{ok}} 100 \quad (31)$$

$$g_c(T) = \frac{G_c(T)}{C_{c \max}} 100 \quad (32)$$

$$D_r(T) = \frac{D(T)}{D_k} \quad (33)$$

$$G_d(T) = \frac{D(T) - D_k}{D_k} 100 \quad (34)$$

$$g_d(T) = \frac{G_d(T)}{G_{d \max}} 100 \quad (35)$$

Relativne vrednosti prihoda mogu biti date i u odnosu na vrednosti D_0 . Naime, sve tri veličine $D(T)$, $\bar{D}(T)$ i D_0 izračunavaju se u novčanim jedinicama po jedinici vremena rada i između njih postoji, kao što se može iz (7) i (8) videti, sledeća veza:

$$D(T) + \bar{D}(T) = D_0$$

Sve mere koje se preduzimaju pri konstruisanju, proizvodnji i eksploataciji tehničkih sistema (od posebnog značaja su mere tehničkog održavanja uključujući i preventivne zamene) usmerene su na to da $D(T)$ bude što veće, a $\bar{D}(T)$ što manje. Zato odnos te dve veličine:

$$d_r(T) = \frac{D(T)}{\bar{D}(T)} \quad (36)$$

izražava, na neki način, rentabilnost tehničkog sistema i ona je utoliko veća ukoliko je taj odnos veći. Kako je odnos d_r dat u zavisnosti od dužine perioda preventivne zamene (36), treba istaći da, za date ulazne podatke, maksimalnu vrednost ima kada je ispunjen uslov (9), jer je ustanovljeno da tada $D(T)$ ima maksimalnu, a $\bar{D}(T)$ minimalnu vrednost.

Ekvivalentni parametri pouzdanosti elementa koji se preventivno zamenjuje

Izrazi (4), (5) i (6) mogu se napisati u obliku:

$$A(T) = \frac{1}{1 + T_k z(T) + T_p u(T)} \quad (36a)$$

$$C(T) = C_k z(T) + C_p u(T) \quad (37)$$

$$D(T) = \frac{D_0 - C_k z(T) + C_p u(T)}{1 + T_k z(T) + T_p u(T)} \quad (38)$$

$$\bar{D}(T) = \frac{(D_0 T_k + C_k) z(T) + (D_0 T_p + C_p) u(T)}{1 + T_k z(T) + T_p u(T)} \quad (39)$$

gde su $z(T)$ i $u(T)$ ekvivalentni intenziteti korektivnih i preventivnih zamena u zavisnosti od perioda preventivne zamene:

$$z(T) = \frac{F(T)}{m(T)} \quad (40)$$

$$u(T) = \frac{R(T)}{m(T)} \quad (41)$$

Ukupni intenzitet zamena (korektivnih i preventivnih) je:

$$z(T) + u(T) = \frac{1}{m(T)} \quad (42)$$

Odgovarajuća srednja vremena do korektivne i preventivne zamene su:

$$v(T) = \frac{1}{z(T) + u(T)} = \frac{m(T)}{F(T)} \quad (43)$$

$$w(T) = \frac{1}{u(T)} = \frac{m(T)}{R(T)} \quad (44)$$

Za određeni period eksploatacije T_e srednji broj svih zamena je:

$$N_e(T) = \frac{T_e}{M(T)} \quad (45)$$

pri čemu je srednji broj korektivnih zamena:

$$N_{ek}(T) = \frac{T_e m(T)}{M(T) v(T)} = N_e(T) F(T) \quad (46)$$

i srednji broj preventivnih zamena:

$$N_{ep}(T) = \frac{T_e m(T)}{M(T) w(T)} = N_e(T) R(T) \quad (47)$$

Smanjenje broja otkaza (korektivnih zamena) preventivnim zamenama u odnosu na slučaj kada se preventivne zamene ne vrše, dobija se iz (26) i (46):

$$n_e(T) = \frac{N_k}{N_{ek}(T)} = \frac{M(T)}{M_k F(T)} \quad (48)$$

Pouzdanost i raspoloživost sistema koji sadrži element sa rastućim tokom otkaza

Element sa rastućim tokom otkaza, sa ostatkom sistema u čijem sastavu se nalazi, povezan je redno u smislu pouzdanosti, tako da je ukupan tok otkaza:

$$\lambda_s(T) = z(T) + \lambda_{os} \quad (49)$$

Redovnom preventivnom zamenom elementa sa rastućim tokom otkaza uspostavlja se stacionarno stanje, pri kome ekvivalentni intenzitet otkaza na osnovu (40) ima neku određenu vrednost, pošto za dato T srednje vreme do zamene $m(T)$ i funkcija raspodele verovatnoće do otkaza

$F(T)$ imaju tačno određene vrednosti. Pouzdanost sistema je:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_s t} \quad (50)$$

gde je λ_s recipročna vrednost srednjeg vremena do otkaza sistema. Srednja vrednost vremena do zamene elementa (preventivne ili korektivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza ili nekog drugog elementa sistema) iznosi:

$$m_s(T) = \frac{1}{z(T) + u(T) + \lambda_{os}} \quad (51)$$

Srednje vreme bilo koje zamene bilo kog elementa je:

$$T_s = \frac{z(T)T_k + u(T)T_p + \lambda_{os}T_{os}}{z(T) + u(T) + \lambda_{os}} \quad (52)$$

Srednje vreme između zamena je:

$$M_s(T) = m_s(T) + T_s(T) \quad (53)$$

Na osnovu prethodnih izraza raspoloživost sistema je:

$$A_s(T) = \frac{m_s(T)}{M_s(T)} = \frac{1}{1 + z(T)T_k + u(T)T_p + \lambda_{os}T_{os}} \quad (54)$$

Srednji broj ukupnih zamena u periodu T_e je:

$$N_s(T) = \frac{T_e}{M_s(T)} \quad (55)$$

Srednji broj zamena elemenata sa rastućim tokom otkaza je:

$$\text{korektivnih } N_{ek}(T) = N_s(T) z(T) m_s(T) \quad (56)$$

$$\text{preventivnih } N_{ep}(T) = N_s(T) u(T) m_s(T) \quad (57)$$

dok je srednji broj korektivnih zamena elemenata ostatka sistema:

$$N_{os}(T) = N_s(T) \lambda_{os} m_s(T) \quad (58)$$

U slučaju kada se ne vrši preventivna zamena elementa sa rastućim tokom otkaza, za izračunavanje pouzdanosti sistema mora se poći od opšteg izraza:

$$R_{ks}(T) = e^{-\int_0^T [\lambda(t) + \lambda_{os}] dt} = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt} e^{-\lambda_{os} T} \quad (59)$$

Srednje vreme do otkaza je:

$$m_{ks} = \int_0^{\infty} R_{ks}(T) dT \quad (60)$$

ali se može uzeti da približno iznosi:

$$m_{ks} \approx \frac{1}{\frac{1}{m_k} + \lambda_{os}} \quad (61)$$

Tada je srednje vreme između otkaza (korektivnih zamena):

$$M_{ks} = m_{ks} + T_{ks} \quad (62)$$

gde je:

$$T_{ks} = \frac{\frac{1}{m_k} T_k + \lambda_{os} T_{os}}{\frac{1}{m_k} + \lambda_{os}} = \frac{T_k + \lambda_{os} m_k T_{os}}{1 + \lambda_{os} m_k} \quad (63)$$

U ovom slučaju raspoloživost sistema je:

$$A_{ks} = \frac{m_{ks}}{M_{ks}} = \frac{m_k}{m_k + T_k + \lambda_{os} m_k T_{os}} \quad (64)$$

Srednji broj ukupnih otkaza u toku perioda eksploatacije T_e je:

$$N_{ok} = \frac{T_e}{M_{ks}} \quad (65)$$

pri čemu je srednji broj otkaza elementa sa rastućim tokom otkaza:

$$N_{oe} = N_{ok} \frac{m_{ks}}{m_k} \quad (66)$$

a srednji broj otkaza elementa ostatka sistema u tom periodu:

$$N_{oo} = N_{oe} \lambda_{os} m_{ks} \quad (67)$$

Na osnovu (56), (58), (65) i (66) dobija se da se broj otkaza sistema u slučaju kada se vrše preventivne zamene u odnosu na slučaj kada se preventivne zamene ne vrše n_s je:

$$n_s = \frac{M_s(T)}{m_s(T) M_{ks} [z(T) + \lambda_{os}]} \quad (68)$$

Numerički primer

Izvedeni izrazi omogućavaju da se u praksi za tehničke sisteme koji sadrže elemente sa rastućom vrednošću toka otkaza postavi optimalni proces njihove preventivne zamene za izabrani kriterijum optimizacije. Primena izvedenih izraza prikazana je na primeru tehničkog sistema koji, pored elemenata koji podležu eksponencijalnoj raspodeli verovatnoće vremena do otkaza, sadrži i element čija raspodela verovatnoće vremena do otkaza podleže Vejbulovoj raspodeli sa parametrom $\beta=4$, tako da trenutna vrednost toka otkaza neprekidno raste, sve dok element ne prestane da funkcioniše. Vejbulova raspodela je izabrana iz dva razloga: prvo, zato što spada među nekoliko raspodela verovatnoća kojoj podleže vreme do otkaza velikog broja različitih elemenata i, drugo, što je u stručnoj literaturi, prilikom analiza i izračunavanja optimalnog perioda preventivne zamene najčešće korišćena ta raspodela, tako da se dobijeni rezultati i zaključci mogu upoređivati sa rezultatima do kojih su došli drugi autori. Jasno je da je i drugi razlog najvećim delom posledica prvog.

Ulazni podaci

Parametri Vejbulove raspodele $\beta=4$, $\eta=200h$.

Vrednost toka otkaza tehničkog sistema bez elementa sa rastućom vrednošću toka otkaza $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ 1/h.

Troškovi korektivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza $C_k = 600$ n.j. (novčanih jedinica).

Troškovi preventivne zamene elementa sa rastućim tokom otkaza $C_p = 300$ n.j.

Prosečni troškovi zamene nekog elementa sa konstantnim tokom otkaza $C_{os} = 600$ n.j.

Srednje vreme obnavljanja korektivne zamene elementa sa rastućom vrednošću toka otkaza $T_k = 24$ h.

Srednje vreme obnavljanja preventivne zamene elementa sa rastućom vrednošću toka otkaza $T_p = 4$ h.

Srednje vreme obnavljanja korektivne zamene nekog elementa sa konstantnom vrednošću toka otkaza $T_{os} = 16$ h.

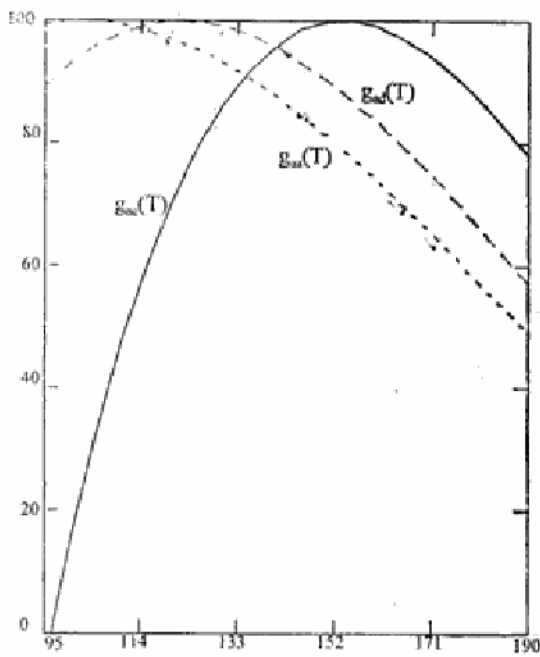
Prihod po času rada $D_o = 50$ n.j./h.
Period eksploatacije $T_e = 8760$ h.

Dobijeni rezultati

Kao i izvedeni izrazi, dobijeni rezultati se odnose na element sa rastućim tokom otkaza kada se ne vrše i kada se vrše njegove preventivne zamene i na tehnički sistem u čiji sastav taj element ulazi. Svi rezultati su dobijeni korišćenjem posebnog programa za računar, koji je realizovan tako da zavisnosti između pojedinih veličina mogu da se predstavljaju tabelarno i u obliku dijagrama. Ako se optimalne vrednosti perioda preventivne zamene mogu dobiti direktno traženjem ekstremnih vrednosti funkcija (4), (5) i (7), program je urađen tako da se one dobijaju u preseku krivih (4) i (17); (5) i (15); (7) i (12). Na taj način postignuta je visoka tačnost dobijenih rezultata, što u suprotnom ne bi bi-

lo obezbeđeno zbog »blagih« minimuma i maksimuma funkcije kriterijuma optimizacije.

Rezultati dobijeni za element sa rastućim tokom otkaza dati su u tabeli 1. Sve vrednosti odnose se na slučaj kada se preventivne zamene ne bi vršile (prva kolona rezultata; period preventivne zamene tada ima beskonačno veliku vrednost) i na tri optimalne vrednosti perioda preventivne zamene T_o , T_a i T_d . Svi ti rezultati mogu se izračunati i za bilo koju drugu vrednost perioda preventivne zamene. Iz tab. 1 vidi se koliko se procenata od najpovoljnijih vrednosti druga dva kriterijuma koristi ako se proces preventivnih zamena tako postavi da jedan od kriterijuma ima najpovoljniju (100 %) vrednost (na red. br. 7, 11. i 15. tabele 1). Kako bi se te veličine menjale kada bi se period preventivne zamene menjao od 95 do 195 h prikazano je na slici 1.



Sl. 1 — Zavisnost dobitka koji se ostvaruje preventivnim zamenama za sva tri kriterijuma optimizacije od perioda preventivne zamene

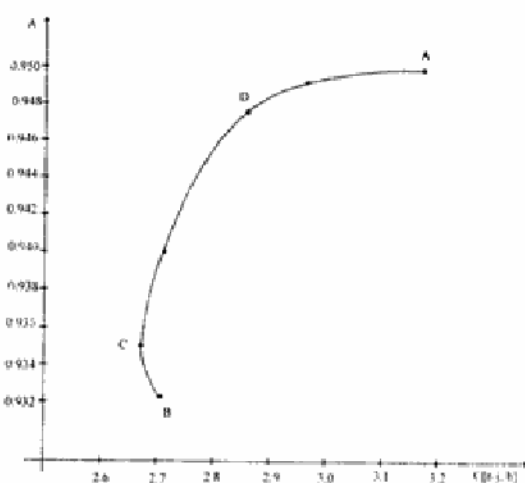
Tabela 1

Redni broj	Veličina	Prev. zamene se ne vrše $i=k$	Kriterijum optimizacije		
			Troškovi $i=c$	Raspoloživost $i=a$	Prihod $i=d$
1.	T_i [h]	∞	153,223	101,796	121,342
2.	m_i [h]	181,280	143,601	100,455	118,173
3.	M_i [h]	205,280	153,429	105,753	124,708
4.	C_i [n.j./h]	3,309788	2,697927	3,180269	2,860329
5.	C_{ri}	1,00	0,815136	0,960868	0,864203
6.	G_i [%]	0	18,47	3,91	13,58
7.	g_i [%]	0	100,00	79,11	88,43
8.	A_i	0,883087	0,935942	0,949900	0,947603
9.	A_{ri}	1,00	1,059583	1,075659	1,073058
10.	G_i [%]	0	5,98	7,57	7,31
11.	g_i [%]	0	21,17	100,00	94,31
12.	D_i [n.j./h]	41,232	44,272	44,474	44,670
13.	D_{ri}	1,00	1,073742	1,078643	1,083387
14.	G_i [%]	0	7,37	7,86	8,34
15.	g_i [%]	0	73,46	96,56	100,00
16.	D_i^* [n.j./h]	8,768	5,728	5,526	5,330
17.	d_{ri}	4,702	7,729	8,048	8,380
18.	z_i	/	20,29	6,462	10,72
19.	u_i	/	49,34	93,09	73,90
20.	v_i [h]	/	492,770	1547,604	932,592
21.	w_i [h]	/	202,659	107,428	135,320
22.	N_{ri}	42,673319	16,638302	5,376780	8,901002
23.	N_{pi}	/	40,456430	77,457838	61,343315
24.	N_i	42,673319	57,094732	82,834618	70,244317
25.	n_i	1,00	2,564764	7,936593	4,794215

Prilikom definisanja uslova koje treba da zadovolji vrednost optimalnog perioda preventivne zamene, ustanovljeno je da granice opsega promena T , u kojima se nalaze optimalna rešenja za sva tri kriterijuma, određuju odnosi $C_p/C_k=1/2$ i $T_p/T_k=1/6$. Optimalne vrednosti perioda preventivnih zamena, pri kojima prihod po jedinici vremena ima maksimalnu vrednost za razne vrednosti prihoda po jedinici vremena rada D_0 , date su u tabeli 2. Iz nje se vidi da se, kada se D_0 menja od $C_c=2,698$ do ∞ , vrednost optimalnog perioda preventivne zamenjenjenja od $T_c=153,223$ h do $T_\infty=101,796$ h. To znači da i rezultati dobijeni za konkretni primer pokazuju da je prihod po jedinici vremena opštiji kriterijum optimizacije od raspoloživosti i troškova po jedinici vremena rada, pošto ta dva kriterijuma optimizacije daju isti rezultat kao i prvi kriterijum za posebne vrednosti parametra D_0 . Da bi se ova osobina prenela i na tehničke sisteme kod kojih se korisnost ne može izraziti u novčanim jedinicama po času rada, parametar D_0 se može shvatiti kao koeficijent značaja ispravnog funkcionisanja sistema (što je značaj ispravnosti rada veći, odnosno, posledice zastoja nepovoljnije, utoliko taj koeficijent treba da ima veću vrednost). U tom slučaju pre-

ko parametra D_0 rešava se problem uvođenja kompromisnog kriterijuma raspoloživosti i troškova, što je uočeno kao potreba [8] u praksi inženjerstva održavanja.

Kriva koja povezuje vrednosti troškova po jedinici vremena rada sa vrednostima raspoloživosti za dati brojčani primer, prikazana na sl. 2, predstavlja krivu kompromisa optimalnih rešenja (od tačke A do tačke C) u smislu Pareto višekriterijumske (dvokri-



Sl. 2 — Kriva optimizacije:
A-C Neinferiorna rešenja (Pareto optimizacija)

Tabela 2

Struktura i da li se vrši preventivna zamena		Pouzdanost			Raspoloživost
		100 h	200 h	300 h	
Elementi sa rast. tokom otkaza	bez prev. zamene	0,939413	0,367879	0,006330	0,883087
	sa prev. zamenom	0,939413	0,878770	0,823783	0,949900
Sistemi bez elem. sa rast. tokom otkaza		0,960789	0,923116	0,886920	0,993641
Tehnički sistem	bez prev. zamene	0,902578	0,339596	0,005614	0,877960
	sa prev. zamenom	0,902578	0,811207	0,730630	0,944159

terijumske) optimizacije, jer se ne može naći tačka sa većom raspoloživošću od raspoloživosti u tački C, a da se ne povećaju troškovi i ne može se naći tačka sa manjim troškovima od troškova u tački A a da se ne smanji raspoloživost. Deo krive od tačke C do tačke B ne predstavlja deo kompromisne krive, pošto te tačke imaju i manju raspoloživost i veće troškove od raspoloživosti i troškova u tački C krive.

Treba naglasiti da u slučaju tehničkog sistema kod kojeg je poznat prihod po svakom času rada (npr. $D_0 = 50$ n.j./h) kao najpovoljniji period preventivne zamene treba uzeti $T = T_d$ ($T_d = 121,342$ h) i to je optimalno, a ne kompromisno rešenje. Kod ostalih tehničkih sistema vrednost D_0 se procenjuje prema značaju raspoloživosti u odnosu na troškove. Posebnu grupu tehničkih sistema predstavljaju sredstva naoružanja i vojne opreme kod kojih je, posebno u toku borbenih dejstava, ispravno funkcionisanje od velikog značaja. Kod njih se proces preventivnih zamena može postaviti tako da u miru odgovara tački C (minimalni troškovi), a u ratu tački A (maksimalna raspoloživost).

Pouzdanosti i raspoloživosti tehničkog sistema koji sadrži element sa rastućim tokom otkaza mogu se izračunati za bilo koju vrednost perioda preventivne zamene. Ovde će to biti učinjeno za $T = T_s = 101,796$. Iz tabele 1 vidi se da su tada ekvivalentni intenziteti zamena: korektivnih $z_a = 6,462 \cdot 10^{-4}$ 1/h i preventivnih $u_a = 93,09 \cdot 10^{-4}$ 1/h, tako da je:

$$\lambda_s = z_a + \lambda_{os} = 10,462 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}$$

$$R_s(t) = e^{-0,0010462t} \quad (69)$$

$$m_s = \frac{10^4}{6,462 + 93,09 + 4} = 96,570$$

$$T_s = \frac{6,462 \cdot 24 + 93,09 \cdot 4 + 4 \cdot 16}{103,552} = 5,712$$

$$M_s = m_s + T_s = 102,282$$

$$A_s = \frac{m_s}{M_s} = 0,944159$$

Srednji broj zamena u toku perioda $T_s = 8760$ h je:

$$N_{os} = 3,309 \quad N_{sk} = 5,344 \quad N_{sp} = 76,992$$

$$N_s = 85,645$$

U slučaju kada se ne vrše preventivne zamene elemenata sa rastućim tokom otkaza pouzdanost sistema je:

$$R_{ks}(t) = e^{-\left[\left(\frac{t}{200} \right)^4 + 4 \cdot 10^{-4} t \right]} \quad (70)$$

Približne vrednosti srednjeg vremena do korektivne zamene, srednjeg vremena trajanja zamene i srednjeg vremena između zamena na osnovu (61), (62) i (63) su:

$$m_{ks} = 169,024 \quad T_{ks} = 23,495 \text{ h}$$

$$M_{ks} = 192,519 \text{ h}$$

tako da je u tom slučaju raspoloživost sistema (64):

$$A_{ks} = \frac{m_{ks}}{M_{ks}} = 0,877960$$

Srednji broj korektivnih zamena je:

$$N_{oo} = 3,076 \quad N_{oc} = 42,426 \quad N_{ok} = 45,502$$

Preventivnim zamenama smanjuje se broj otkaza sistema u odnosu na slučaj kada se zamene ne vrše n_s puta:

$$n_s = \frac{N_{ok}}{N_{os} + N_{sk}} = \frac{45,502}{3,309 + 5,344} = 5,259$$

Na osnovu (69) i (70) izračunata je pouzdanost sistema sa i bez preventivnih zamena po isteku 100, 200 i

300 h rada. Dobijeni rezultati zajedno sa pouzdanošću elemenata sa rastućim tokom otkaza i sistema bez tog elementa, prikazani su u tabeli 3, u koju su unete i odgovarajuće vrednosti raspoloživosti. Pouzdanost sistema, kada se preventivne zamene vrše po-

sle 100 h, nije računata po izrazu (69), jer ne može biti manja od pouzdanosti sistema kod kojeg se preventivne zamene ne vrše. Te dve pouzdanosti su iste, pošto se razmatra slučaj kada se prva preventivna zamena obavlja po isteku $T_d = 101,796$ h.

Tabela 3

Redni broj	D_0 [n.j/h]	$T = T_d$ [h]	$C(T)$ [n.j/h]	$A(T)$	Oznaka tačke na sl. 2
1.	0	159,279	2,703	0,932928	B
2.	2,698	153,223	2,698	0,935942	C
3.	10	142,255	2,714	0,940849	
4.	50	121,342	2,860	0,947603	D
5.	100	113,876	2,958	0,948996	
6.	500	104,817	3,116	0,949841	
7.	1000	103,358	3,146	0,949884	
8.	∞	101,796	3,180	0,949900	A

Na osnovu rezultata datih u tabeli 3 vidi se da se niska pouzdanost i raspoloživost sistema koji sadrži element sa rastućim tokom otkaza može znatno povećati preventivnom zamenu tog elementa. Na osnovu broja otkaza u periodu T_0 mogu se izračunati očekivani troškovi po jedinici vremena rada sistema kada se preventivne zamene ne vrše C_{ks} i kada se preventivne zamene vrše C_s . Dobija se da je:

$$C_{ks} = 3,549040 \quad i \quad C_s = 3,420382$$

tako da su relativni troškovi sistema:

$$C_{sr} = 0,963748$$

Dobijene vrednosti su nešto veće od vrednosti iz tabele 1 (kolona 1 red. br. 4 i kolona 4 red. br. 4 i 5) pošto se čine dodatni troškovi pri zameni komponenti sistema sa konstantnim tokom otkaza.

Zaključak

Izvedeni izrazi i izračunate vrednosti u slučaju kada se ne vrše preventivne zamene elemenata sa rastućim tokom otkaza pokazuju da prisustvo takvog elementa u sastavu tehničkog sistema može znatno da degradira karakteristike pouzdanosti i raspoloživosti sistema u celini i da povećava ukupne troškove održavanja. Preventivnim zamenama elemenata sa rastućim tokom otkaza sprečavaju se česti nepredviđeni zastoji sistema zbog otkazivanja tog elementa. Definisan je veliki broj parametara čije se vrednosti menjaju u zavisnosti od dužine perioda od poslednje zamene do sledeće preventivne zamene.

Za sve tehničke sisteme kod kojih je korisnost upotrebe srazmerna vremenu ispravnog rada i kada se koeficijent te srazmernosti D_0 može kvan-

tifikovati, osnovni kriterijum optimizacije je prihod po jedinici vremena (razlika ostvarene nadoknade za rad sistema i troškova zamena) ili, što je isto, zbir izgubljene dobiti zbog zastoja sistema i troškova zamena. Optimalna vrednost perioda preventivne zamene u tom slučaju, pored koeficijenta D_0 , zavisi i od vremena potrebnog za vršenje zamena T_k i T_p i troškova zamena C_k i C_p . Maksimalna raspoloživost koja se može postići ograničena je vrednostima T_k i T_p i ne zavisi od C_k i C_p , što važi u slučaju kada $D_0 \rightarrow \infty$. Minimalni troškovi koji se mogu ostvariti ograničeni su vrednostima C_k i C_p i ne zavise od T_k i T_p , što važi i u slučaju kada je D_0 jednako troškovima zamena po jedinici vremena rada. Na taj način je pokazano da su raspoloživost i troškovi zamena, kao kriterijumi optimizacije, poseban slučaj prihoda po jedinici rada, jer se iz opšteg uslova koji važi za taj kriterijum dobijaju za posebne vrednosti koeficijenta D_0 . To omogućava da se i za ostale tehničke sisteme može formirati kriva kompromisnih optimalnih rešenja čije krajnje tačke (sl. 2 tačke A i C) predstavljaju optimalna rešenja kada su kriterijumi optimiza-

cije raspoloživost i troškovi zamena, a iz klasične višekriterijumske optimizacije poznato je da se optimalno rešenje uvek nalazi na toj krivi. Izgled te krive i poznavanja značenja koeficijenta D_0 olakšavaju izbor optimalnog rešenja u svakom konkretnom slučaju.

Ekvivalentni intenziteti korektivne i preventivne zamene omogućavaju da se, u uslovima ustaljene redovne preventivne zamene, komponente sa rastućim tokom otkaza tretiraju kao i komponente sa konstantnim tokom otkaza pri analizi karakteristika pouzdanosti i raspoloživosti tehničkih sistema. Izloženi postupak omogućava analizu tehničkih sistema složenije strukture koji sadrže dva i više elemenata sa rastućim tokom otkaza. To što su izrazi za veliki broj parametara dati u zavisnosti od perioda preventivne zamene omogućava: prvo, da se izvrši analiza karakteristika svake komponente sa rastućim tokom otkaza, posebno u širokom opsegu promena perioda preventivne zamene i, drugo, da se na osnovu rezultata tih analiza izvrši optimizacija procesa preventivne zamene za izabrani kriterijum, na nivou tehničkog sistema.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema — Maintainability Engineering, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Barlow, R. G., Proschan, F.: Mathematical Theory of Reliability, John Wiley & Sons, New York, 1965.
- [3] Vukadinović, S., Teodorović, D.: Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema, Privredni pregled, Beograd, 1979.
- [4] Peković, T., Todorović, J.: Optimal Block replacement strategy, Proceedings of the 3rd Balkan Conference on Operational Research, Thessaloniki, 1996.
- [5] Peković, T.: Određivanje optimalnog perioda kombinovane preventivne zamene, Vojnotehnički glasnik, 1/1994.
- [6] Peković, T.: Određivanje optimalnog perioda grupne preventivne zamene, Vojnotehnički glasnik, 3—4/1994.
- [7] Peković, T.: Optimalna strategija preventivne zamene, Vojnotehnički glasnik, 5/1994.
- [8] Minić, S., Arsenić, Z., Todorović, J.: "Trade off" model preventivnog održavanja tehničkih sistema, Vojnotehnički glasnik, 6/1996.
- [9] Spravočnik u 10 tomova, Nadežnost i efektivnost v tehnike, tom 8: Eksploatacija i remont, Mašinopostrenie, Moskva, 1980.

Se Momčilo Đorović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 4954 Danilovgrad

SIMULATOR TEKUĆEG PRIJEMNOG SIGNALA RADARSKOG SENZORA PREPREKA ZA NISKOLETEĆE PLATFORME

UDC: 629.735.052:621.396.963

Nastavak iz broja 4/97.

Rezime:

U radu je predložen matematički model simulatora tekućeg prijemnog signala radarskog senzora prepreka (RSP) za niskoleteće platforme (NLP). Odbirci tekućeg prijemnog signala nastaju sumiranjem anvelopa elementarnih signala — svih elementarnih doprinosa po rezolucionim ćelijama. Zbog kretanja NLP i skeniranja snopa zračenja antene, odbirci tekućeg prijemnog signala izračunavaju se za svaki impuls predajnog signala. Vreme se eksplicitno uzima u obzir kroz računanje trenutnog preseka DMT i snopa zračenja antene, odnosno selekciju vidljivih elementarnih površina. Produkt simulacije su odbirci anvelope VF video-signala u različitim trenucima i odgovarajućim odmercima po rastojanju, koji sadrže sve relevantne podatke o: preprekama na trajektoriji leta NLP, parametrima RSP, i omogućavaju formiranje kompletne slike o sistemu u celini. Ovakav simulator smanjuje potrebu za eksperimentalnim merenjima reflektovanih signala od površine terena, što donosi znatne materijalne uštede.

Ključne reči: radarski senzor prepreka, niskoleteće platforme, matematički model, simulator prijemnog signala, odbirak tekućeg prijemnog signala.

COMPUTER SIMULATION MODEL OBSTACLE RADAR SENSORS FOR LOW-FLYING PLATFORMS

Summary:

A mathematical model simulation current receiving signal obstacle radar sensors for low-flying platforms in this paper is presented. Sample current receiving signal formed by reflection/scattering of electromagnetic waves from all visual surfaces/scatters inside the resolutionary cells. Because of the moving of low-flying platform and antenna scanning, samples of the current receiving signal are determined for ever impulse of the current transmitting signal. Time is explicitly taken into account through the selection of the visual elementary surfaces/scatters inside the resolutionary cells. Product of this simulation are samples envelops of high-frequency, video signal in different moments and corresponding in distance samples, which contain all important about: obstacles on the fluent track of the flight of low-flying platform, parameters of the obstacle radar sensors, and they give a complete picture of the whole system. This kind of simulator decreases the need for experimental measurements of the clutter returns that are reflected from the surface and leads to big material saving.

Key words: obstacle radar sensor, low-flying platform, mathematical model, computer simulator received signal, sample of current receiving signal.

Simulacioni model radarskog senzora prepreka za niskoletuće platforme

Fenomenološka razmatranja pokazala su da se formiranje odbiraka tekućeg prijemnog signala $\dot{u}_{pr}(t_{vm})$ vrši sumiranjem (1) parcijalnih signala $\dot{u}_s(t_{vm})$ i šuma $\dot{u}_n(t_{vm})$:

$$\dot{u}_{pr}(t_{vm}) = \dot{u}_s(t_{vm}) + \dot{u}_n(t_{vm}) \quad (36)$$

gde je:

$$t_{vm} = vT_1 + \tau_{m+1},$$

U svakom momentu vremena t_{vm} nastaje m odbiraka tekućeg prijemnog signala, pri čemu u formiranju svakog od njih učestvuje n elementarnih površina. Sve vidljive elementarne površine koje se nalaze u osvetljenoj oblasti, formiraju m jedinstvenih raspršnih površina ΔS_m — radarskih rezolucioni ćelija, dimenzija Δr po dužini i H_m po širini (4).

Trenutna vrednost m -tog odbirka (od m -te rezolucione ćelije), prijemnog signala $\dot{u}_m(t_{vm})$, nastaje sumiranjem n elementarnih signala $\dot{u}_{mn}(t_{vm})$ raspršenih u diskretnim momentima vremena t_{vm} . Broj rezolucioni ćelija

je $m=0, 1, 2, \dots, N_{r-1}$ i svaka od njih ima $n=0, 1, 2, \dots, N_m$ elementarnih površina/raspršivača. Raspored elementarnih površina u ravni $O_0X_zY_z$ u trenutku $t=0$ ($v=0$) prikazan je na slici 6. Indeks m je diskretna koordinata m -te rezolucione ćelije.

Dakle, važan je iznos odbiraka tekućeg prijemnog signala $\dot{u}_{mn}(t_{vm})$ u diskretnim trenucima vremena:

$$t_{vm} = vT_1 + \tau_k + (m + k_r) \cdot \Delta\tau;$$

$$\tau_k = \sqrt{x_0^2 + h_0^2}/c, \quad (37)$$

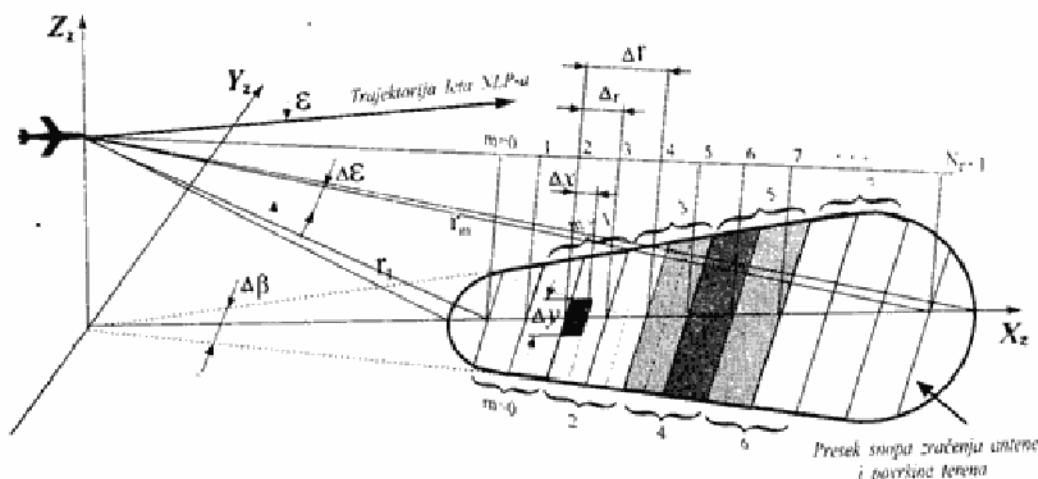
gde je:

x_0 — početna koordinata posmatrane rezolucione ćelije (na slici 6 $m=0$);

$\Delta\tau$ — korak diskretizacije prijemnog signala, povezane sa korakom diskretizacije po daljini $\Delta r = \Delta r/k_r$ relacijom $\Delta r = \Delta\tau c / (2 \cdot \sin \epsilon)$;

k_r — koeficijent odmeravanja signala po daljini, koji predstavlja broj odmeraka signala od jedne rezolucione ćelije;

ϵ — ugao između ose snopa zračenja antene i ose O_0Z_z .



Sl. 6 — Presek snopa zračenja antene i površine terena i odnos elementarnih površina i rezolucioni ćelija

U suštini, odbirci prijemnog signala po koordinati x i po kosoj daljini r svode se na odmerke po vremenu. Razlika je u tome što odbirci po koordinati x odgovaraju periodu ponavljanja predajnog impulsa i vezani su sa impulsnim radom RSP, a odbirci po kosoj daljini odgovaraju odmercima po vremenu unutar impulsnog perioda s korakom $\Delta\tau = 1/f_r$ i vezani su za A/D konverziju signala.

Na slici 6 prikazan je uzajamni položaj NLP i osvetljenog dela površine terena, koji je podeljen po daljini na rezolucione površine. Na njoj se vidi i veza broja rezolucioni ćelija s brojem odbiraka signala po daljini.

Ovde je:

$$m = \text{int}\{(r - r_1)/\Delta_r\} = 0, 1, 2, \dots, N_r - 1 \quad (38)$$

— redni broj odbirka prijemnog signala po daljini, a:

$$N_r = \text{int}\{(r_m - r_1)/\Delta_r\} + 1 \quad (39)$$

— ukupan broj odbiraka prijemnog signala po daljini.

Ilustracija na slici 6 pokazuje slučaj kada se od svake rezolucione ćelije uzimaju po dva odbirka signala ($k_r = 2$). Šusedne površine se prekrivaju po pola, pa proizilazi da svaka elementarna površina/raspršivač ima svoj udeo i učestvuje komponentama elementarnog signala u formiranju dva susedna odbirka signala po daljini.

U diskretnim momentima vremena t_{vm} dolazi do raspršenja od $N_r - 1$ rezolucioni ćelija s centralnim elementarnim površinama $A_m, A_{m+1}, \dots$ raspoređenih duž ose O_0X_1 . Na primer, za elementarnu površinu s koordinatom $m = 0$ (za $k_r = 2, v = 0$), $u_0 = (t_{\infty})$ predstavlja vrednost odbirka tekućeg prijemnog signala u trenutku $t_{\infty} = \tau_k + 2 \cdot \Delta\tau$, koji odgovara početku prijema signala, raspršenog od elementarnih površina s diskretnom koordinatom $x = 0$.

Na osnovu navedenog, serija diskretnih odbiraka prijemnog signala $u_{pr}(t_{vm})$ može se izraziti u obliku diskretnog signala kao funkcija celobrojnih argumenata v, m i n :

$$u_{pr}[v, m] = \sum_{m=0}^{N_r-1} \sum_{n=1}^{N_r-1} u_{n(m+1)} [vT_1 + \tau_k + (m + k_r) \cdot \Delta\tau], \quad v = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (40)$$

gde je:

N_m — broj osvetljenih i vidljivih elementarnih površina u m -toj rezoluciono ćeliji, koji se proračunava za svaki period T_1 , jer se vremenom stalna tačka NLP, kao i položaj snopa zračenja antene, zbog skaniranja, menja.

Vidljive elementarne površine u rezolucioni ćelijama $m = 4$ i 5 na slici 6 šrafirane su različitim gustinom. Posmatra se prijemni signal u nultom periodu ponavljanja predajnog impulsa ($v = 0$) i od svake rezolucione ćelije uzimaju se dva odbirka prijemnog signala ($k_r = 2$).

Na osnovu izraza (11) do (14) i (23) diskretni odbirci $u_{mn}(t_{vm})$ mogu se napisati kao:

$$\dot{u}_{mn}(t_{vm}) = \dot{U}_{mn}(t_{vm}) \cdot \dot{\eta}_{mn}(t_{vm}) \quad (41)$$

$$\dot{U}_{mn}(t_{vm}) = U \cdot \sigma_{mn} \cdot G_{mn}^2(t_{vm}) \cdot \exp[j\varphi_{mn}(t_{vm})] \quad (42)$$

$$U = \sqrt{(P_1 \cdot G_0^2 \cdot \lambda^2 \cdot a_r) / 4\pi^3} \quad (43)$$

$$\varphi_{nm}(t_{vm}) = t_{vm} \cdot \omega_{vm} = -4 \cdot \pi \cdot V_1^2 [t_{vm} + (n - N_v) \cdot \Delta r / V_1]^2 / \lambda \quad (44)$$

$$N_v = \text{int}\{[v \cdot T_1 \cdot V_1 / \Delta r] + \text{sign}v\}, \quad (45)$$

gde je:

N_v — celobrojana diskretna promenljiva koja karakteriše skaniranje snopa zračenja ante-

- ne po koordinati x u sled kretanja NLP;
- $\dot{\eta}_{mn}(t_{vm})$ — odabirak slučajnog normiranog procesa s jednačinom disperzije (16), uzimajući u obzir slučajnu fazu prijemnog signala;
- $G_{mn}(t)$ — iznos normiranog snopa zračenja antene u pravcu n -te elementarne površine m -te rezolucione ćelije u trenutku t ;
- $\sigma_{mn} = \Delta s \cdot \sigma_x(x, y, \alpha, \beta, P)$ — efektivna radarska površina n -te elementarne površine, gde je $\Delta s = \Delta x \cdot \Delta y$, a $\sigma_x(x, y, \alpha, \beta, P)$ — specifična radarska površina n -te elementarne površine, koja zavisi od koordinata (x, y) , upadnih uglova elektromagnetskih talasa (α, β) i vrste vegetacije/raspršivača na njoj (P);
- $\varphi_{mn}(t)$ — funkcija promene faze reflektovanog signala od elementarne površine A_{nm} , ne uzimajući u obzir $\Phi_{mn}(t)$;
- P_i — impulsna snaga predajnog signala;
- a_r — koeficijent slabljenja signala na trasi prostiranja. Indeksi n i m odnose se na n -tu elementarnu površinu i m -te rezolucione ćelije (ΔS_m).

Kako se funkcije $\dot{\eta}_{mn}(t_{vm})$ i $G_{mn}(t)$ sasvim malo menjaju za vreme kašnjenja signala $\tau_m = \tau_k + (m + k_r) \cdot \Delta \tau$, mogu se napisati u obliku:

$$\begin{aligned}\dot{\eta}_{mn}(t_{vm}) &\approx \dot{\eta}_{mn}(vT_1) \\ G_{mn}(t_{vm}) &\approx G_{mn}(vT_1)\end{aligned}\quad (46)$$

Koristeći izraze (41 do 46) i (37) tekući prijemni signal (36) može se izraziti u obliku kvadrturnih komponenta u funkciji diskretnih argumenata v , n i m :

$$\begin{aligned}\dot{u}_{pr}[v, m] &= \dot{u}_{pr}[v, m] + j\dot{u}_{pri}[v, m]; \\ \dot{u}_{pr}[v, m] &= U \sum_{\mu=0}^{N_r-1} \sum_{n=1}^{N_m} \sqrt{\sigma_{mn}} \cdot G_{mn}[v] \cdot \\ &\cdot \{ \xi_{n(m+\mu)r}[v] \cdot \cos \varphi_{mn}[v, m] - \\ &- \xi_{n(m+\mu)i}[v] \cdot \sin \varphi_{mn}[v, m] \}; \\ \dot{u}_{pri}[v, m] &= U \sum_{\mu=0}^{N_r-1} \sum_{n=1}^{N_m} \sqrt{\sigma_{mn}} \cdot G_{mn}[v] \cdot \\ &\cdot \{ \xi_{n(m+\mu)i}[v] \cdot \cos \varphi_{mn}[v, m] - \\ &- \xi_{n(m+\mu)r}[v] \cdot \sin \varphi_{mn}[v, m] \};\end{aligned}\quad (47)$$

gde je:

$\xi_{nmr}[v]$ i $\xi_{nmi}[v]$ — realna i imaginarna komponenta odbirka slučajnog procesa $\xi_{nm}[v]$.

Algoritam simulacionog modela

Osnovu algoritma za simulaciju diskretnih odbiraka tekućeg prijemnog signala, raspršenog od površine terena, čine izrazi (15) i (16). Polazi se od nalaženja preseka snopa zračenja antene i elektrodinamičkog DMT, odnosno selekcije vidljivih elementarnih površina i određivanja upadnih uglova elektromagnetskih talasa na njih. Zatim se sve vidljive elementarne površine grupišu po rezolucionim ćelijama za svaki impuls predajnog signala. Odmerak tekućeg prijemnog signala nastaje sumiranjem elementarnih signala reflektovanih/raspršenih od vidljivih elementarnih površina unutar rezolucione ćelije.

Algoritam je razvijen za simulaciju odbiraka tekućeg prijemnog signala RSP u modu automatskog praćenja terena. Malim promenama on može da posluži i za simulaciju odbiraka teku-

ćeg prijemnog signala RSP u modu ručnog izbegavanja prepreka. Na strukturnoj šemi algoritma, prikazanoj na slici 7, to nije naznačeno. Razlika je samo u bloku (potprogramu) koji simulira skaniranje snopa zračenja antene [9], i to u: modu automatskog praćenja terena snop zračenja antene skanira po elevaciji u granicama (ϵ_d , ϵ_p) oko horizontalnog pravca leta ϵ_o , dok u modu ručnog izbegavanja prepreka snop zračenja antene skanira po azimutu u sektoru u odnosu na pravac leta β .

Algoritam je razvijen uz već navedena ograničenja o trajektoriji kretanja NLP, tehničkim karakteristikama RSP, osobinama elektrodinamičkog DMT, i za predajni impulsni signal s kompleksnom anvelopom oblika (6).

Na samom početku, odmah iza starta programa (blok 1), iz datoteke početnih parametara koja je ranije kreirana i napunjena, učitavaju se podaci (blok 2), koji karakterišu:

— elementarne površine DMT: Δx , Δy , x , y , $h(x,y)$, α , β , P ;

— kretanje NLP: brzina ($\vec{V}_i$) i relativna visina (h_o);

— snop zračenja antene: širina ($\Delta\epsilon$, $\Delta\beta$), početni položaj snopa (ϵ_o , β_o), sektor i brzina skaniranja.

Izborom dela elektrodinamičkog DMT (blok 3), iznad kojeg NLP leti, iz datoteke se preuzimaju osnovni podaci modela: Δx , Δy , x_{max} , y_{max} . Izbor željene trajektorije leta NLP (blok 4), vrši se zadavanjem početne (x_{ol} , y_{ol}) i krajnje (x_{kl} , y_{kl}) tačke trajektorije.

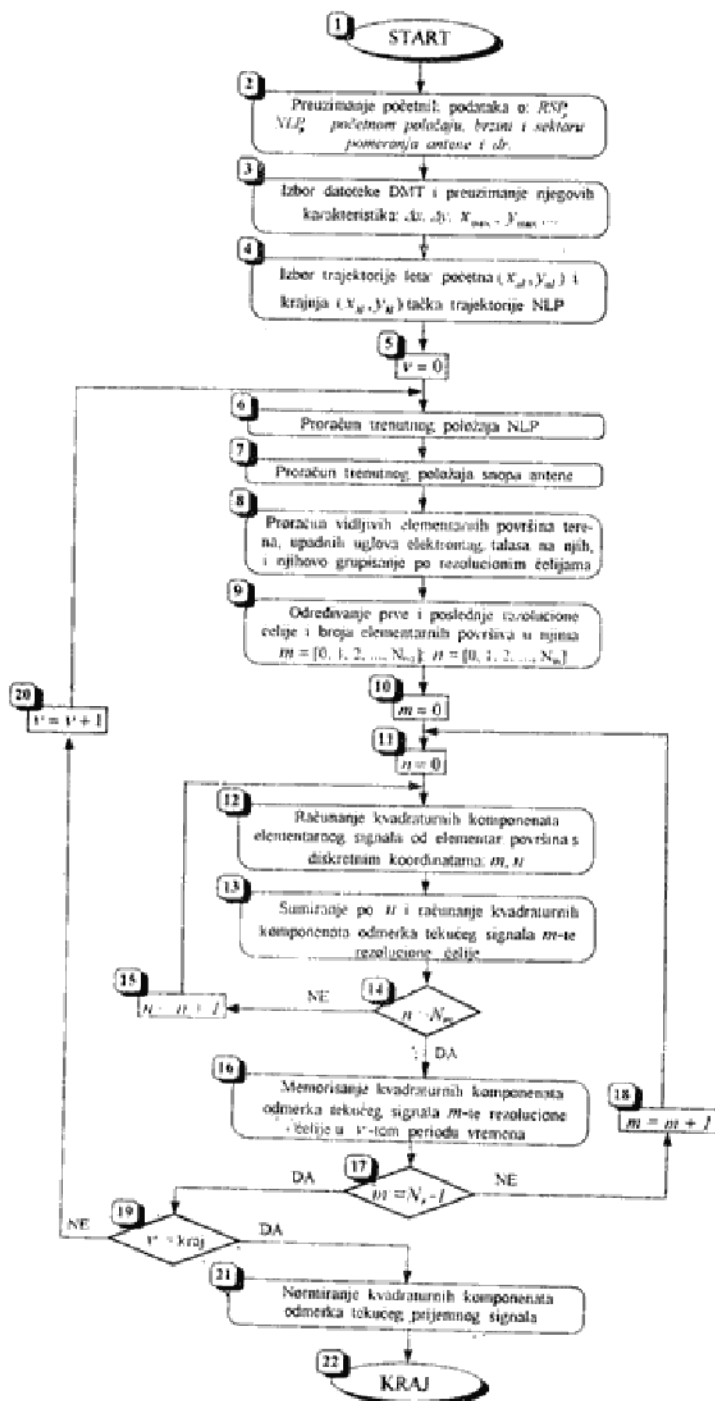
Simulacioni proces počinje postavljanjem generatora vremena na nulu (blok 5). Pošto u prvom ciklusu nema vremenskih pomaka ($v=0$) položaj NLP (blok 6) i snopa zračenja antene (blok 7), bez obzira na mod izbegavanja prepreke, ostaje nepromenjen.

Na osnovu pravca snopa zračenja antene (ϵ_o , β_o), njegove širine na nivou pola snage ($\Delta\epsilon$, $\Delta\beta$), izdvajaju se vidljive elementarne površine terena (blok

8). Istovremeno se proračunavaju upadni uglovi elektromagnetskih talasa na svaku elementarnu površinu i vrši njihovo svrstavanje u odgovarajuće rezolucione ćelije. Naravno, pre toga se pomoću izraza (38) i (39) određuju granice rezolucioni ćelija, njihov ukupan i redni broj m (blok 9). Najbliža vidljiva elementarna površina svrstava se u prvu rezolucionu ćeliju ($m=0$). Istovremeno, određuje se i ukupan broj vidljivih elementarnih površina u svakoj rezoluciono ćeliji n . Vidljive elementarne ćelije grupišu se po rezolucionim ćelijama, na ovom nivou, tako što se pamte njihove adrese i upadni uglovi.

Kvadraturne komponente tekućeg prijemnog signala za prvu elementarnu površinu ($n=1$) prve rezolucione ćelije ($m=1$) izračunavaju se pomoću izraza (40 do 44) (blokovi 10 i 11). Pri tome, za svaku vidljivu elementarnu površinu, koja se nalazi u m -toj rezoluciono ćeliji, na osnovu adrese, dolazi se do njihovih podataka (x , y , h , α , β , P). Na osnovu njih prvo se izračuna daljina do elementarne površine, zatim vrednosti $\varphi_{nm}(t_{vm})$, $G_{mn}(vT_i)$, generišu slučajni brojevi $\xi_{nmr}[v]$ i $\xi_{nmi}[v]$ s proračunatim doprinosom radarske površine σ_{nm} . Sumiranje se obavlja na osnovu izraza (47) po indeksu n (blok 12 i 13). Ova procedura se ponavlja $N_r - 1$ puta (za sve rezolucione ćelije — intervale daljine). Na kraju procedure dobijaju se kvadraturne komponente tekućeg prijemnog signala u v periodu. Dobijeni odbirci spremaju se u memoriju računara (blok 16).

Nakon $N_m \cdot N_r - 1$ ciklusa izvršavanja algoritma dobijaju se odbirci kvadraturnih komponenata tekućeg prijemnog signala $\dot{u}_{pr}[v,m]$ i $\dot{u}_{pi}[v,m]$ za vremenski trenutak v u intervalu simulacije RSP. Dobijene kvadraturne komponente formiraju skupove digitalnih podataka, koji se normiraju (blok 21) radi njihovog dovođenja u vezu s dinamikom procesa koji se simulira.

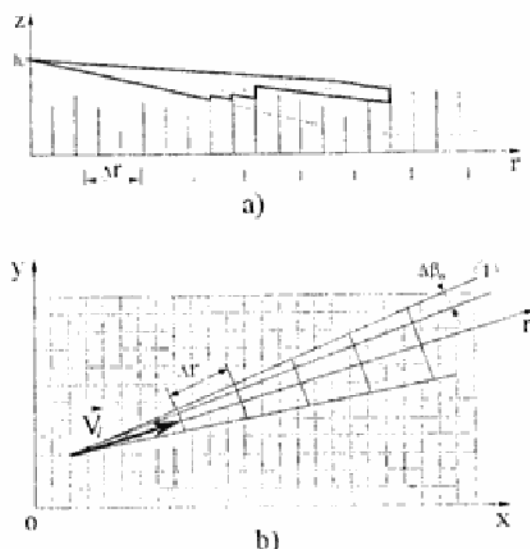


Sl. 7 — Strukturna šema algoritma simulacionog modela tekućeg prijemnog signala

Princip selekcije vidljivih elementarnih površina

Ključna operacija u algoritmu, prikazanom na slici 7, jeste selekcija vidljivih elementarnih površina. Program funkcioniše po algoritmu ilustrovanom na slici 8.

Sličan problem rešavan je u [10] za stacionaran osmatrački radar. Međutim, program koji je razvijen za ovu namenu originalan je s obzirom na to da se radi o drugačijem snopu zračenja antene i da je RSP na NLP. Kriterijum vidljivosti je isti — kriterijum maksimalnog tangensa.



Sl. 8 — Izdvajanje vidljivih elementarnih površina iz stajne tačke RSP:
a) duž pravca leta r ; b) u horizontalnoj ravni terena xOy

Selekcija vidljivih elementarnih signala obavlja se tako što se ispituje vidljivost svake elementarne površine po azimutalnom pravcu ($\beta_0 - \Delta\beta/2$). S obzirom na nominalnu visinu leta NLP od $h_0 \approx 100$ m, ispitivanje vidljivosti elementarnih površina počinje od te daljine. Dakle, na tom pravcu, na daljini trenutne relativne visine, pronalazi se najbliža elementarna površina. Iz dimenzija snopa zračenja antene izra-

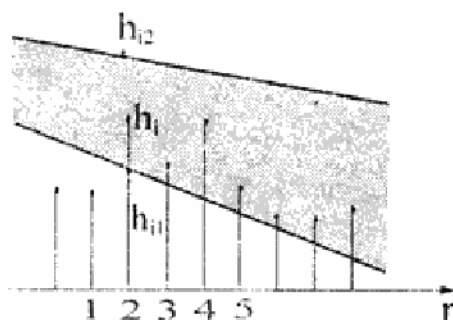
čunavaju se vrednosti donje i gornje visine h_{11} i h_{12} na toj lokaciji, kao što je to prikazano na slici 9.

Elementarna površina je vidljiva ako su zadovoljeni sledeći uslovi:

- ako je osvetljena, tj. upada u snop zračenja antene $h_1 > h_{11}$,
- ako ima veći tangens upadnog ugla od elementarne površine neposredno ispred nje.

Na slici 9 prikazan je primer kada je elementarna površina: 1 — nevidljiva zbog toga što se ne nalazi u snopu zračenja antene (nije ispunjen prvi uslov), 2 — vidljiva, 3 i 5 — nevidljive, jer se nalaze u senci (nije zadovoljen drugi uslov) i 4 — vidljiva. Kada se zadovolji uslov $h_{11} > h_{12}$ prestaje ispitivanje vidljivosti elementarnih površina na tom pravcu. Uzima se sledeći pravac ($\beta_0 - \Delta\beta/2 + \Delta\beta_p$), pomaknut za $\Delta\beta_p$ udesno. $\Delta\beta_p$ se određuje tako da sve elementarne površine na krajnjim udaljenostima (u modelu je za krajnje daljine uzeta vrednost od 5 km), budu obuhvaćene ispitivanjem. Sve vidljive tačke svrstavaju se u odgovarajuće rezolucione ćelije, po kriterijumu udaljenosti od RSP.

Zbog veće gustine elementarnih površina na bližim daljinama, vidljivost jedne iste elementarne površine ispituje se više puta. Zato se pre uvr-



Sl. 9 — Princip selekcije vidljivih elementarnih površina na jednom pravcu posmatranja

štavanja elementarne površine u odgovarajuću rezolucionu ćeliju uvek ispituje da li je ona u nju već uvrštena. Ukoliko jeste, prelazi se na ispitivanje vidljivosti sledeće tačke na istom pravcu.

Zaključak

Zahvaljujući razvoju matematičkih modela, koji opisuju fenomene iz oblasti radarske teorije, i brzom razvoju računara opšte namene metode matematičkog modelovanja i simulacije na računaru postale su dominantne u oblasti analiza i sinteza RS [1 do 7].

U radu je opisan simulacioni model RSP za NLP koji je zasnovan na mehanizmu njegovog funkcionisanja. Kako je odabirak tekućeg prijemnog signala RSP na NLP određen trenutnim uzajamnim položajem snopa zračenja antene i elementarnih raspršivača/površina terena, to se u svakom momentu vremena t_{vm} formira m odbiraka tekućeg prijemnog signala, pri čemu u formiranju svakog od njih učestvuje n elementarnih površina. Sve vidljive elementarne površine iz osvetljene oblasti formiraju m jedinstvenih raspršivih površina ΔS_m — radarskih rezolucionih ćelija. Vrednosti elementarnih signala dobijaju se na osnovu podataka sadržanih u elektrodinamičkom

DMT — bazi podataka o raspršnim karakteristikama pojedinih pokrivača i proračunatih upadnih uglova.

Simulator odbirka tekućeg prijemnog signala realizovan je implementacijom matematičkog modela RSP za NLP i elektrodinamičkog DMT na računaru. Rad počinje preuzimanjem početnih podataka o RSP, NLP, izborom datoteke DMT i trajektorije leta NLP. Na osnovu trenutnog položaja NLP i snopa zračenja antene, određuje se njegov presek sa elektrodinamičkim DMT, odnosno vrši selekcija vidljivih elementarnih površina, koje se grupišu u m jedinstvenih raspršnih površina ΔS_m — radarskih rezolucionih ćelija. Dakle, u svakom momentu vremena t_{vm} nastaje m odbiraka tekućeg prijemnog signala, pri čemu u formiranju svakog od njih učestvuje n elementarnih raspršivača/površina. Kvadraturne komponente elementarnih signala dobijaju se na osnovu podataka sadržanih u elektrodinamičkom DMT, bazi podataka o raspršnim karakteristikama pojedinih raspršivača/pokrivača i izračunatih upadnih uglova elektromagnetskih talasa. Kvadraturne komponente svakog od m odbiraka dobijaju se sumiranjem n kvadraturnih komponenta elementarnih signala koji ga formiraju onoliko puta koliko se puta ponavlja i procedura izračunavanja elementarnih signala.

Literatura:

- [1] Blake, I. V.: Fortran computer program to calculate range of a pulse radar, NRL Report — 7448, August 28, 1972.
- [2] Mitchell, R. L.: Radar signal simulations, Artech House, Dedham, 1976.
- [3] Леонов, А. И.: Моделирование в радиолокации, Совjetsкоје радио, Москва, 1979.
- [4] Suresh-Babu, B. N.: Simulation of correlated clutter environment, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 246—250.
- [5] Cynemen, J. J.: Radar computer simulation architecture & organization, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 241—245.
- [6] Potter, K. E.: Experimental desing study of an airborne interferometer for terrain avoidance, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 508—512.
- [7] Kostić, A., Kovačević, B., Radosavljević, Lj., Stanković, S., Živojinović, V.: Funkcionalna simulacija radara, Naučno-tehnički pregled, №7—8, 1991, str. 49—59.
- [8] Rigel, M. B.: An advanced computer calculation of ground clutter in airborne pulse-doppler radar, Proceedings of the IEEE NAECON-77, Dayton, 1981, pp 921—928.
- [9] Đorović, M.: Digitalni model terena za modeliranje radarskih senzora prepreka na niskelećim platformama, Naučno-tehnički pregled, №7—8, 1991, str. 56—63.
- [10] Salapura, V.: Analiza dijagrama pokrivača radara na temelju digitalnog modela reljefa, NIR zadatak 516F, CVTŠ KoV, Zagreb, 1986.

PRIOLOG PRORAČUNU PRINUDNIH PRIGUŠENIH VIBRACIJA PONTONSKOG MOSTA SA JEDINSTVENIM GORNJIM STROJEM NA MIRNOJ VODI

UDC: 624.87.042.3

Rezime:

U radu su obrađeni efekti dejstva pokretnog opterećenja na pontonskom mostu sa jedinstvenim gornjim strojem. Efekti dejstva analizirani su preko uticajnih parametara, sa stanovišta dinamičkog koeficijenta. Pokretno opterećenje je aproksimirano koncentrisanom silom konstantnog intenziteta, koje se kreće po mostu konstantnom brzinom. Vrednost dinamičkog koeficijenta analizirana je u funkciji brzine kretanja sile, prigušenja i dr. Rezultati su pokazali da je vrednost dinamičkog koeficijenta reda veličine koja je usvojena u NATO.

Ključne reči: pontonski most, vibracije, prinudne vibracije, prigušene vibracije, dinamički koeficijent.

CONTRIBUTION TO THE CALCULATION OF FORCED DAMPED VIBRATIONS OF A FLOATING BRIDGE WITH THE UNIFORM SUPERSTRUCTURE ON STILL WATER

Summary:

Dynamic load effects on a floating bridge with uniform superstructure have been discussed in the paper. The effects have been analyzed through influencing parameters from the dynamic coefficient point of view. The dynamic load has been approximated by constant intensity concentrated force crossing the bridge by constant speed. The dynamic coefficient value has been analyzed in relation to force motion speed, damping, etc. The results have shown that the dynamic coefficient value corresponds with NATO requirements.

Key words: floating bridge, vibrations, forced vibrations, damped vibrations, dynamic coefficient.

Uvod

Problem dinamičkog efekta dejstva saobraćajnog opterećenja na mosne konstrukcije, kako civilnih tako i mostova za vanredne uslove korišćenja, svodi se na uvećanje odgovarajućih statičkih veličina (uticaja). Ovo uvećanje sastoji se u množenju tih veličina sa odgovarajućim dinamičkim koeficijentom. Vrednosti, odnosno obrasci za izračunavanje dinamičkog ko-

eficijenta, definisani su propisima. S obzirom na strogo kontrolisanje režima prelaska vozila preko mostova za vanredne uslove, za razliku od mostova za javni saobraćaj, kod ovih mostova limitirane su maksimalne vrednosti dinamičkog koeficijenta i one zavise od tipa mosta i vrste vozila.

Za mostove u vanrednim uslovima, kao specijalnih konstrukcija, ovakav pristup razmatranja dinamičkog efekta vozila ima određenih ne-

dostataka. To se, pre svega, reflektuje kroz nepoznavanje uticaja pojedinih parametara — karakteristika mostova od kojih zavisi njihovo dinamičko ponašanje. Pored tehničkih zahteva, pre svega nosivosti, ovi mostovi moraju da ispune i taktičke zahteve, a to su: da se više (mnogo) puta mogu montirati i demontirati; da su male mase (odnos mase mosta i mase vozila na njemu je približno jednak jedinici), i dr. Posledica ovih karakteristika jeste da ovaj tip mostova ima manju krutost u odnosu na civilne. S obzirom na značaj ovih parametara potreba za širom — kompleksnijom analizom dinamičkog ponašanja mosne konstrukcije realna je činjenica.

Na jednom tipu pontonskog mosta su analizirani dinamički efekti pojedinih merodavnih parametara, uz korišćenje podataka obrađenih u radu [1].

Dispozicija mosta

Osnovna podela pontonskih mostova, sa stanovišta kolovoza, tj. noseće grede — glavnog nosača, je:

— noseće grede i elementi kolovoza (podužni i poprečni nosači) povezani su međusobno odgovarajućim vezama u jedinstveni sistem gornjeg dela mosta (donji deo su plovni oslonci — pontoni);

— noseće grede i kolovozne nosače čine jedinstveni elementi — mosnice (mosnica).

U ovom radu razmatraće se drugi tip mostova, s obzirom na to da je to savremenija koncepcija u razvoju pontonskih mostova.

Osnovne karakteristike ovog tipa mosta su:

— noseća greda je kontinualna greda oslonjena na nepomerljive (krajnje — obalne) i pomerljive (srednje) oslonce;

— u sklopu statičkog, tj. dinamičkog reagovanja mosta izdvajaju se kao dominantne veličine ugibi grede, odnosno tonjenje pontona;

— torzione deformacije, s obzirom na bočnu stabilnost mosta, horizontalne deformacije i vrstu opterećenja, i uz usvojenu pretpostavku da je mirna voda, mogu se zanemariti;

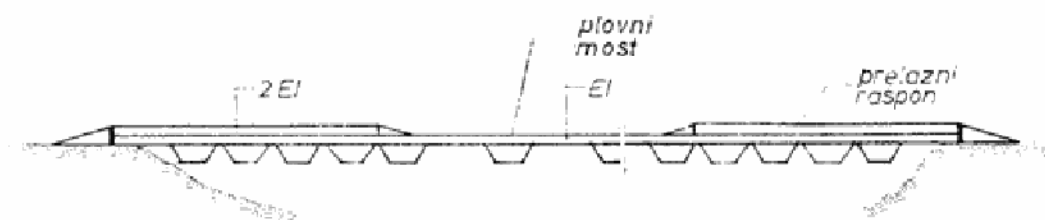
— ugib u svim tačkama poprečnog preseka je isti;

— tonjenje pontona je linearno zavisno od opterećenja;

— uticaj horizontalne sile može se zanemariti.

Na slici 1 prikazana je dispozicija mosta koji čine prilazni i plovni deo. Na prilaznom delu noseća greda je ojačana, jer je slobodni deo grede l_0 duži od slobodnog dela grede u plovnom delu.

U radu je usvojena pretpostavka da se most nalazi na mirnoj vodi.



Sl. 1 — Dispozicija pontonskog mosta

Teorijska analiza

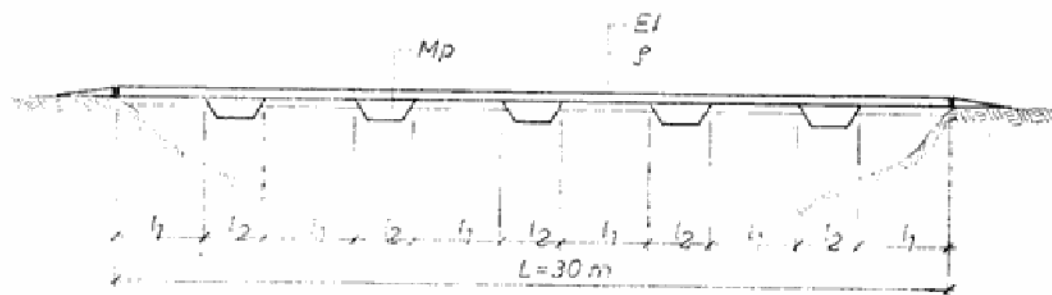
Dinamički model mosta i opterećenje

Na osnovu rezultata istraživanja, datih u radu [1], kao i teorijske analize — računskog modela, pri statičkom ponašanju, definisan je računski dinamički model mosta.

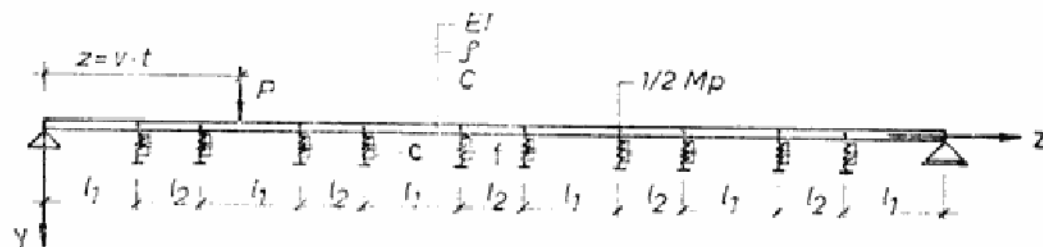
Iz statičke analize [2] proističe da se statički uticaji od pojedinačnog vozila gube na oko 15 m ispred i iza vozila. Maksimalna tonjenja pontona su na plovnom delu mosta. Na osnovu toga usvojena je dužina mosta od 30 m. Krutost grede, EI je konstantna i odgovara krutosti grede plovnog dela. U usvojenoj dispoziciji mosta (slika 2) prelazni deo grede ima istu dužinu kao što je i dužina slobodnog dela između dva pontona (l_1), što je značajno sa stanovišta usvojene vrednosti krutosti.

Masa noseće grede, ρ , po jedinici dužine mosta je konstantna. Masa pontona, M_p , ne može se zanemariti jer je

masa noseće grede koja »pripada« odgovarajućem pontonu — $\rho(l_1 + l_2)$, približno jednaka masi pontona. Pretpostavlja se da mase pontona deluju u osi grede. Noseća greda oslanja se u dve tačke na ponton. Kako je i l_1 približno jednako l_2 , ponton se predstavlja sa dva elastična oslonca. Karakteristika elastičnog oslonca — opruge, ista je za sve pontone i jednaka je polovini recipročne vrednosti deplasmana pontona (P/u ; P — sila, u — tonjenje pontona). U tački oslanjanja grede na elastične oslonce, pridružena je polovina mase pontona, $1/2 M_p$. U definisanju statičkog modela poseban je problem određivanje prigušenja. S obzirom na to da se ne raspolaže tim podatkom, kao i da prigušenje C , za građevinske konstrukcije ne prelazi vrednost 0,20 [3], proračun će se zasnivati na pretpostavci o ovoj vrednosti prigušenja. Na osnovu iznetog, kao i usvojenih pretpostavki, definisan je dinamički model (slika 3).



Sl. 2 — Računska dispozicija mosta



Sl. 3 — Dinamički model mosta

Za pontonske mostove karakteristična su sledeća dinamička opterećenja:

- pokretno opterećenje,
- uticaj kretanja vode — vodeni tok.

Pošto se analiziraju uticaji mirne vode, proizilazi da je uticaj kretanja vode zanemarljiv.

Vozilo na mostu modelirano je sa pokretnom koncentrisanom silom, P , konstantnog intenziteta, a brzina kretanja sile po gredi, v , konstantna je.

Na osnovu ovog i stvarnog režima saobraćaja na pontonskim mostovima, aproksimirano opterećenje se definiše prema slici 3, tj. na sledeći način:

$$F(z,t) = \begin{cases} P \cdot H(t) \cdot \delta(z - v \cdot t) & 0 \leq v \cdot t \leq L \\ 0 & v \cdot t > L \end{cases} \quad (1)$$

gde je:

- z — koordinata tačke na gredi u kojoj se nalazi opterećenje,
- v — brzina kretanja sile preko mosta,
- P — intenzitet poremećaja sile,
- $H(t)$ — Hevisijadova funkcija,
- $\delta(z - v \cdot t)$ — Kronekerov simbol.

Vibracije modela mosta

Formulacija jednačine kretanja

Na osnovu rada [1] proračun konstrukcije — modela obavljen je primenom metode konačnih elemenata (MKE). Sistem modela je diskretizovan na konačne elemente koji su izloženi savijanju u vertikalnoj ravni sa ograničenim vertikalnim pomeranjima na mestima oslanjanja. Svaki linijski element grede ima četiri stepena slobode, obrtanje i vertikalno pomeranje u čvoru. Vertikalno pomeranje čvorova, u kojim su elastični oslonci, definišano je vezom:

$$y_i = R_i \cdot f \quad (2)$$

gde je:

- y_i — pomeranje elastičnog oslonca,
- R_i — reakcija u pomerljivom osloncu,
- f — recipročna vrednost koeficijenta krutosti opruge.

Matrična formulacija sistema kretanja glasi:

$$M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = P \quad (3)$$

gde je:

- M — matrica mase sistema,
- C — matrica prigušenja sistema,
- K — matrica krutosti sistema,
- P — vektor generisanih sila,
- $Y(\dot{Y}, \ddot{Y})$ — vektor vertikalnog pomeranja (brzine, ubrzanja) čvorova.

Jednačina kretanja konačnog elementa glasi:

$$m\ddot{y}_e + c\dot{y}_e + ky_e = P_e \quad (4)$$

gde je:

- m — matrica mase elementa,
- c — matrica prigušenja elementa,
- k — matrica krutosti elementa,
- P_e — vektor generisanih sila u čvorovima elementa,
- $y_e(\dot{y}_e, \ddot{y}_e)$ — vektor vertikalnog pomeranja čvorova elementa.

Formiranje matrica masa, krutosti i prigušenja, odnosno vektora generisanih sila, pomeranja, brzina i ubrzanja, izvršeno je prema osnovnim principima MKE [3] i radu [1].

Rešavanje diferencijalnih jednačina kretanja sistema

Rešavanje diferencijalnih jednačina kretanja sistema zahtevalo je primenu računara. S obzirom na to da je sistem ovih jednačina linearan, primenjen je program IDIAS, koji ima široku primenu u oblasti konstrukcija, kako za statičku, tako i za dinamičku analizu. O tačnosti ovog programa, sa

stanovišta proračuna za usvojeni tip mosta, videti detaljnije u radu [1].

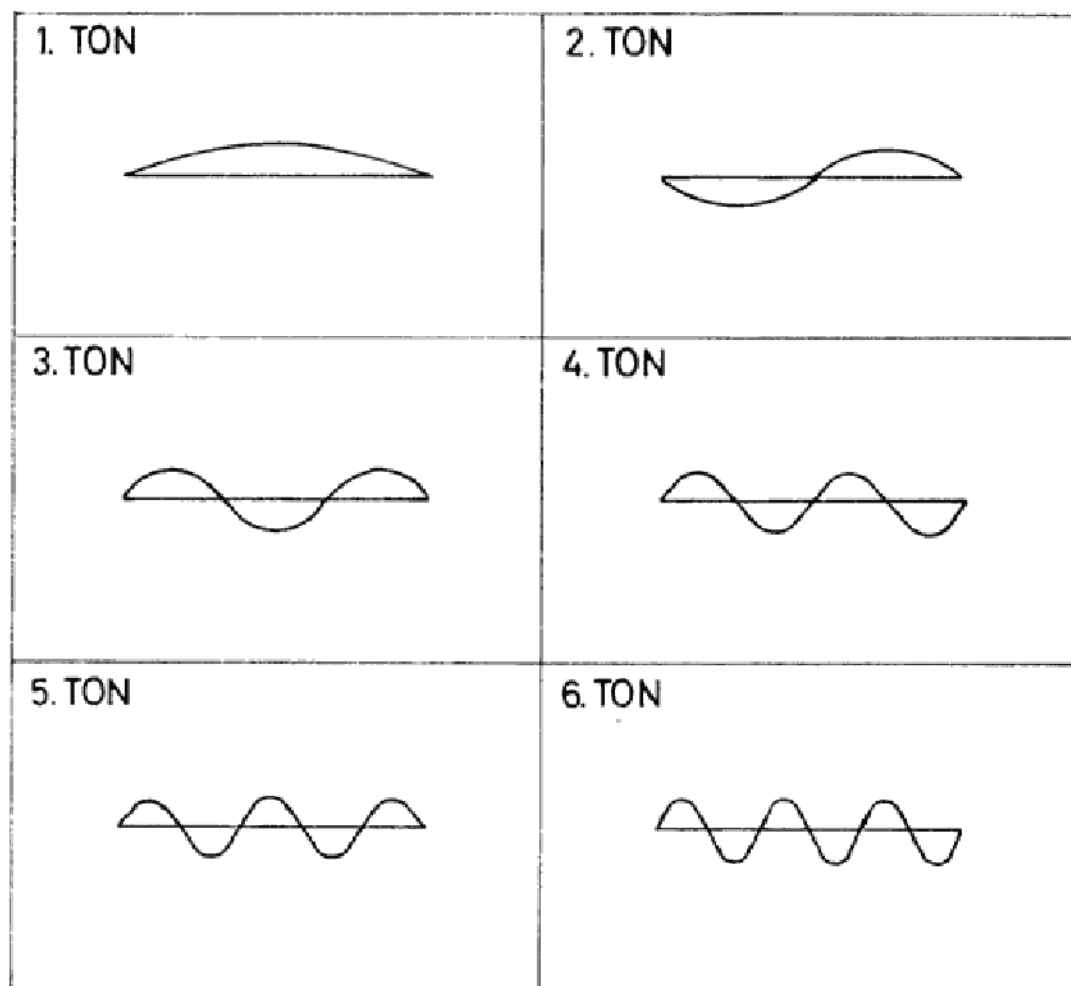
Formiranje odgovarajućih matrica masa, krutosti i prigušenja i formiranje vektora sila, korišćenjem ovog programa izvršeno je prema principima datim u radu [1].

Slobodne neprigušene vibracije

Za usvojene vrednosti geometrijskih i fizičkih veličina, koje odgovaraju realnim vrednostima usvojenog tipa mosta, određene su svojstvene frekvencije, tj. svojstvene vrednosti i odgovarajući svojstveni oblici. Dobijeni podaci prikazani su u tabeli 1 i na slici 4, i to za prvih šest tonova.

Tabela 1

Broj tona	Svojstvena frekvencija (Hz)	Svojstvena vrednost (rad/s)
1	1,12	7,04
2	1,75	11,00
3	3,31	20,08
4	5,78	35,80
5	8,80	55,30
6	14,30	89,70



Sl. 4 — Svojstveni oblici

Prinudne neprigušene vibracije

Pri određivanju nosivosti pontonskih mostova bitni parametri su naprezanja noseće grede i tonjenje pontona. Maksimalno tonjenje pontona ne može — ne sme biti veće od dozvoljenog. Nosivost grede najčešće nije iskorišćena, jer je nosivost mosta uslovljena vrednošću dozvoljenog tonjenja pontona. Za takve analize merodavno je tonjenje srednjih pontona u mostu, s obzirom na to da je za ove pontone uticaj čvrstih oslonaca mosta manje izražen.

S obzirom na ove činjenice, analiza uticaja opterećenja na dinamičke veličine izvršena je preko uticaja na tonjenje srednjeg pontona, odnosno tačke A, prema slici 5.

Efekat dinamičkog dejstva opterećenja sagledan je preko dva parametra; brzine kretanja sile i njenog intenziteta.

Početni uslovi za sve slučajeve su:

$$y(z,0)=0$$

$$\dot{y}(z,0)=0 \quad (5)$$

gde je:

$y(z,0)$ — vertikalno pomeranje grede u trenutku nailaska opterećenja na most — model,

$\dot{y}(z,0)$ — brzina vertikalnog pomeranja grede u trenutku nailaska opterećenja na most — model.

Uticaj brzine kretanja

Na dijagramu na slici 6 prikazana je promena ugiba u tački A u funkciji položaja sile i njene brzine, i to za tri brzine. Brzine su usvojene na osnovu realnih brzina kretanja vozila na mostu (od 10 km/h do 20 km/h).

Dobijeni podaci pokazuju da je uvedena pretpostavka da veličina brzine kretanja sile preko mosta utiče na veličinu dinamičkih uticaja, odnosno na tonjenje pontona, realna.

Dinamički koeficijent iznosi:

$$\phi = \frac{2 \cdot y_{\max}}{y_{\max} + y_{\min}} \quad (6)$$

gde je:

$y_{\max}$ — maksimalno tonjenje pontona — kaiša,

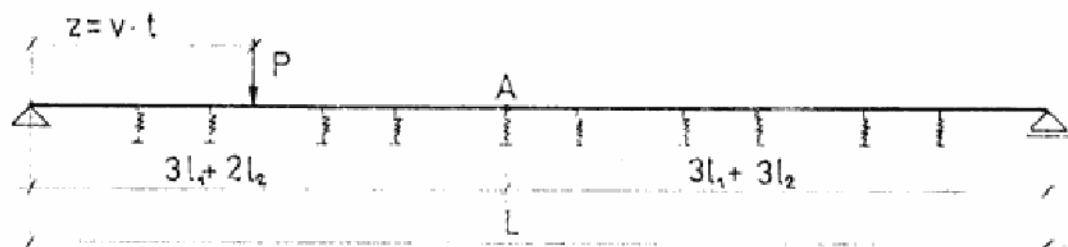
$y_{\min}$ — minimalno tonjenje pontona — kaiša.

Važno je istaći da $y_{\max}$ i $y_{\min}$ pripadaju istom talasu.

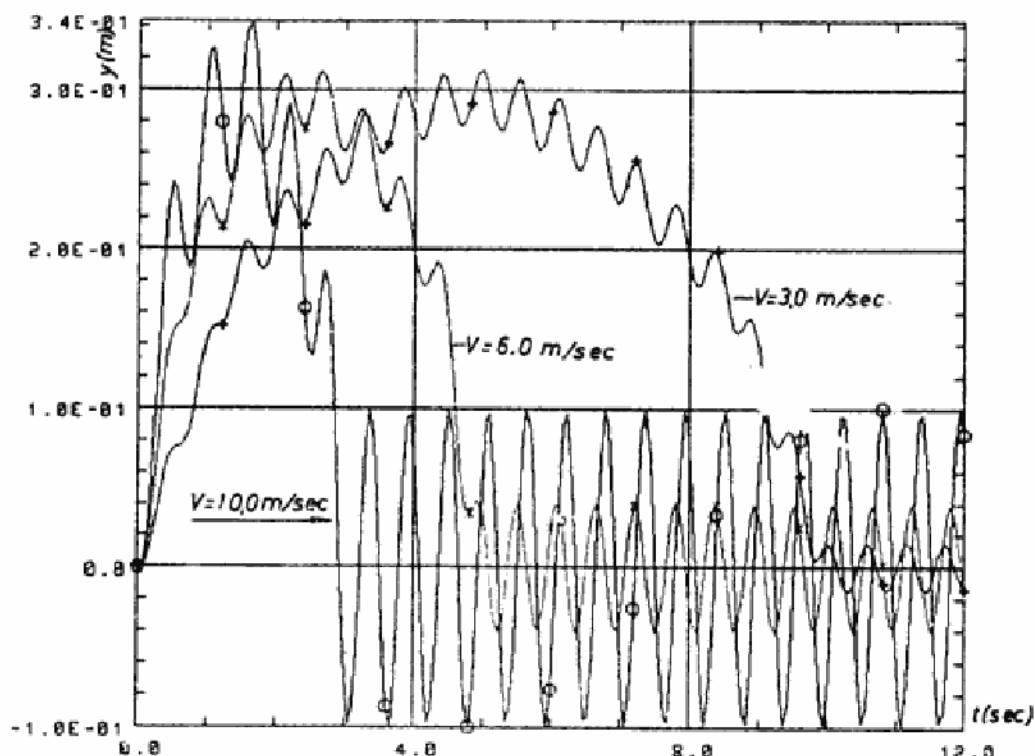
U tabeli 2 prikazane su odgovarajuće vrednosti dinamičkih koeficijenata.

Tabela 2

Brzina kretanja sile od 200 kN (m/s)	Dinamički koeficijent ϕ
3,0	1,068
6,0	1,093
10,0	1,172



Sl. 5 — Dispozicija položaja usvojene tačke, merodavne za ocenu dinamičkog uticaja opterećenja



Sl. 6 — Dijagram tonjenja — vertikalnog pomeranja tačke A na srednjem pontonu, u funkciji brzine kretanja sile

Prinudne prigušene vibracije

U prethodnoj tački sagledani su, preko vertikalnog pomeranja srednjeg pontona, tačka A, i efekti dinamičkog dejstva sile konstantnog intenziteta koja se kreće po mostu konstantnom brzinom, bez obuhvatanja otporne sile. Da bi se došlo do realnijih podataka, s obzirom na to da postoji prigušenje, efekat dejstva pokretnog opterećenja će se sagledati uključivanjem prigušenja.

Ovo sagledavanje izvršeno je uz pretpostavku o veličinama relativnog prigušenja. Analizirani su uticaji prigušenja na veličinu dinamičkog faktora, i to za različite brzine kretanja.

U dijagramima datim na slikama 7, 8 i 9 prikazana su pomeranja u funkciji vremena i to za $P=100; 200; 300$

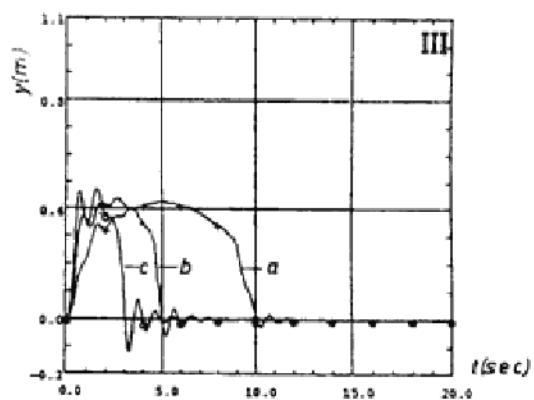
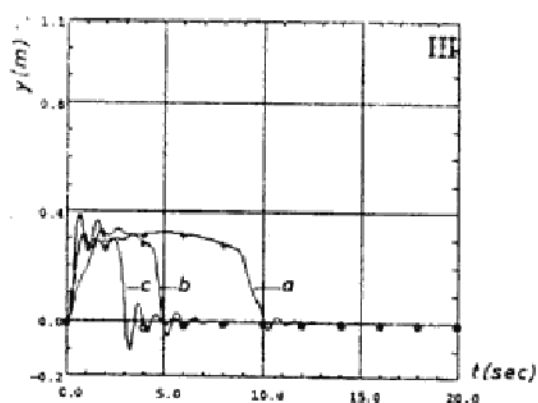
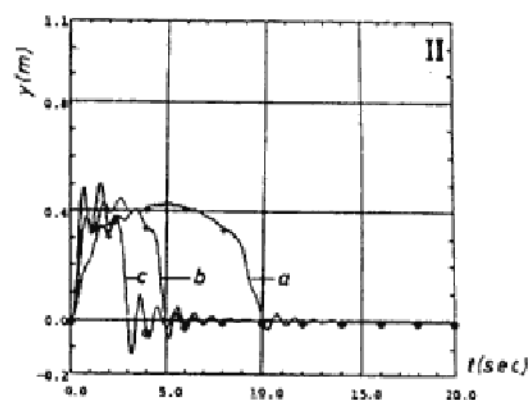
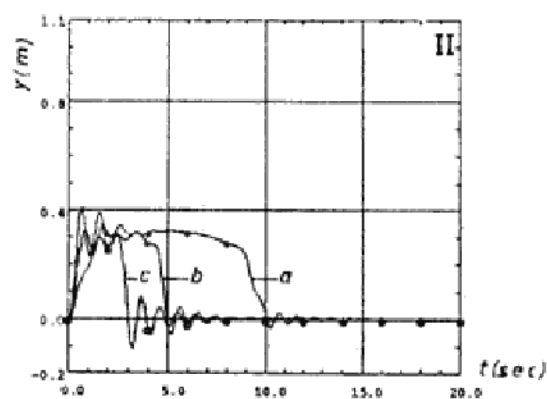
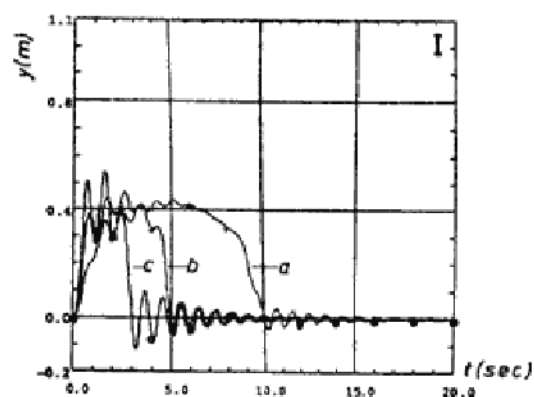
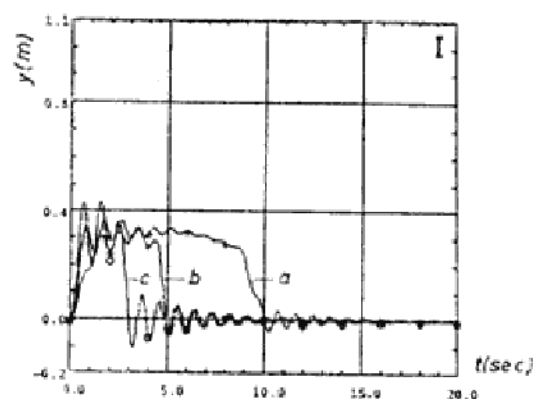
kN, pri brzinama $v=3; 6; 10$ m/s. Relativno prigušenje pridruženo je prvom tonu i varirano od 0,05 do 0,15. U tabeli 3 prikazane su vrednosti dinamičkog koeficijenta u funkciji ova tri parametra.

Iz dobijenih podataka proizilazi:

1. Efekat dejstva prigušenja na veličinu maksimalne amplitude vertikalnog pomeranja je izražen. To se vidi iz odnosa veličine dinamičkog faktora pri različitim veličinama prigušenja s istim brzinama kretanja sile. Na primer, pri kretanju sile od 100 kN brzinom od 10 m/s dinamički faktori za data prigušenja su u odnosima:

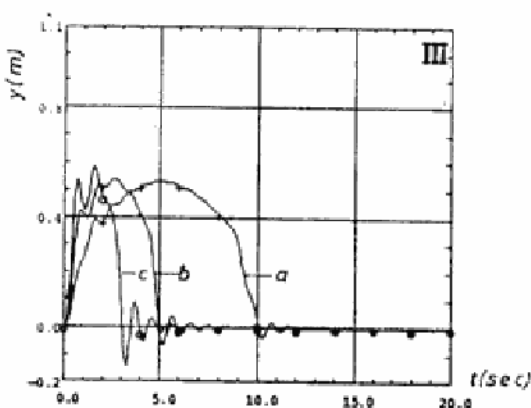
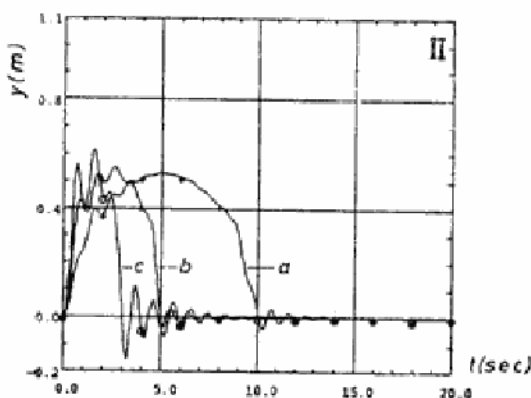
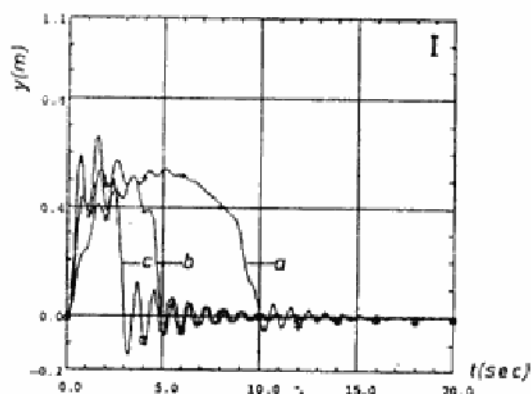
$$1,20:1,28:1,33=1,0:1,07:1,11$$

Tako je maksimalna amplituda vertikalnog pomeranja pontona za vrednost relativnog prigušenja 0,15 manja za oko 11% u odnosu na odgovarajuću



Sl. 7 — Vertikalno pomeranje tačke A za $P=100$ kN

Sl. 8 — Vertikalno pomeranje tačke A za $P=200$ kN



Sl. 9 — Vertikalno pomeranje tačke A za $P=300 \text{ kN}$

amplitudu pri prigušenju od 0,05.

2. Efekat dejstva prigušenja pri istoj vrednosti sile izraženiji je za veće brzine. Na ovo ukazuje, na primer, odnos veličina maksimalne amplitude pri prigušenju 0,15 i 0,05 za silu od 100 kN, i on iznosi:

$$1,00:1,03 \quad \text{za } v=3,0 \text{ m/s}$$

$$1,20:1,33=1,00:1,11 \quad \text{za } v=10,0 \text{ m/s}$$

Sa teorijskog stanovišta ovi efekti su realna posledica funkcionalne zavisnosti veličine amplitude pomeranja i prigušenja i, u tom smislu, ova analiza ne daje ništa novo. Međutim, veličine tog efekta ukazuju koliko je, s obzirom na koncepciju projektovanja pontonskih mostova, lakša konstrukcija i istovremeno veća njena nosivost, za šta je značajno poznavanje efekta prigušenja.

3. Iz dijagrama vertikalnog pomeranja u tački A, koje se odnosi na pomeranje izazvano silama različitog intenziteta, ali pri istoj veličini prigušenja i istoj brzini kretanja, vidi se da efekat istog prigušenja na veličinu pomeranja nije isti.

4. Pored iznetog, interesantan je i podatak o efektu dejstva prigušenja sagledanog sa stanovišta veličine amplitude u funkciji vremena. Iz dijagrama se vidi da efekat prigušenja na veličinu pomeranja nije isti tokom vremena, što se odnosi na vreme kada je vozilo — sila na mostu. Taj efekat je izraženiji u drugoj polovini vremena, tj. nakon što je sila prešla preko tačke A. Iz toga proizilazi da i dinamički faktor nema istu vrednost tokom vremena.

5. Efekat prigušenja i brzine kretanja sile po mostu značajni su i za definisanje razmaka pokretnog opterećenja na mostu. Pod uslovom da prethodna sila ne utiče na faktore koje izaziva sledeća sila, razmak između dve sile je:

— za različite brzine, pri istom prigušenju, veći za manje brzine;

Relativno prigušenje 1. tona	Dinamički koeficijent ϕ								
	Intenzitet sile (kN)								
	100,0			200,0			300,0		
	v (m/s)			v (m/s)			v (m/s)		
	3,0	6,0	10,0	3,0	6,0	10,0	3,0	6,0	10,0
0,05	1,03	1,14	1,33	1,02	1,13	1,30	1,02	1,11	1,29
0,10	1,02	1,08	1,28	1,04	1,04	1,19	1,00	1,05	1,18
0,15	1,00	1,06	1,20	1,01	1,01	1,13	1,00	1,03	1,11

— razlika između dve vrednosti razmaka, koji odgovaraju istom prigušenju a različitim brzinama, veća ako je prigušenje manje;

— razlika između dve vrednosti razmaka, koji odgovaraju istom prigušenju, a različitim brzinama, veća je što je prigušenje manje.

6. Pored ovih podataka interesantan je i uticaj intenziteta sile na vreme trajanja slobodnih prigušenih vibracija izazvanih pod uslovima da je relativno prigušenje isto i da je brzina kretanja svih sila ista. Iz datih dijagrama vidi se da vreme trajanja slobodnih prigušenih vibracija zavisi od intenziteta sile.

7. Na osnovu dobijenih pokazatelja uticaja pojedinih parametara (brzina kretanja, veličina prigušenja, intenzitet sile) na rastojanje sila (vozila) proizilazi da se pri definisanju tog rastojanja moraju ravnopravno razmatrati svi parametri.

Zaključak

Dinamički efekat dejstva saobraćajnog opterećenja sagledan je kroz uticaj pojedinih parametara (intenzitet sile, brzina kretanja sile po mostu, prigušenja) na vrednost dinamičkog koeficijenta.

Uticaj intenziteta sile na dinamički koeficijent ima smisla analizirati pri obuhvatanju i drugih faktora brzine kretanja i prigušenja.

Veličina prigušenja u konstrukciji mosta bitno utiče na vertikalno pomeranje konstrukcije (tonjenje pontona), kao i na dinamički koeficijent.

Brzina kretanja je faktor koji ima znatan uticaj na veličinu dinamičkog faktora.

Vrednosti dinamičkog koeficijenta kreću se oko vrednosti koju je usvojio NATO, a ona iznosi 1,10. To pokazuje da je dinamički model mosta, odnosno matematički model opterećenja, kao i uvedena pretpostavka o vrednosti prigušenja, korektno sprovedena.

Literatura:

- [1] Mašić, V.: Prilog proračunu prinudnih prigušenih vibracija pontonskih mostova na mirnim vodama, magistarski rad, Beograd, 1993.
- [2] Hiba, Z.: Teorija pontonskih mostova i skela sa gornjim strojem posebnog tipa, Naučno-tehnički pregled, br. 5 1978.
- [3] Sekulović, M.: Metoda konačnih elemenata, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [4] Brčić, V.: Dinamika konstrukcije, Građevinska knjiga, Beograd, 1978.
- [5] Timošenko S.: Vibration Problems in Engineering, D. Van Nostrand Company.

ULOGA SERVOMECHANIZAMA U SISTEMU UPRAVLJANJA LETOM AVIONA

UDC: 629.735.3.05-526

Rezime:

U okviru sistema upravljanja letom aviona razmotrena je funkcija servomehanizama. Detaljno je analizirano funkcionisanje hidrauličko-mehaničkog sistema za upravljanje komandom visine. Posebno je predstavljena uloga pilota u sistemu komandi leta.

Ključne reči: komande leta, servomehanizam, servopokretač.

SERVOMECHANISMS ROLL IN AIRCRAFT FLIGHT CONTROL

Summary:

In frame of the system for aircraft flight control a function of servomechanisms is considered. A functional analysis of hydraulic-mechanical system for elevator control is presented in detailed. A pilot roll in commands flight is specially presented.

Key words: commands flight, servomechanism, actuator.

Uvod

U praktičnoj realizaciji upravljanja letom koristi se pilotirani i automatski let. U prvom slučaju pilot obavlja izbor putanje, njeno praćenje, stabilizaciju aviona, kompenzaciju uticaja spoljašnjih poremećaja, kao i niz pomoćnih radnji koje su u vezi s funkcijom upravljanja [3]. Pri tome pilot koristi svoje intelektualne, kreativne i adaptivne sposobnosti za nalaženje rešenja u situacijama koje nisu unapred predviđene. Ovaj vid upravljanja ima i svoje nedostatke koji se ogledaju u subjektivnosti izbora tzv. »optimalne« putanje, podložnosti pilota greškama i neposrednog izlaganja opasnostima, pogotovo usled zamora pri dugotrajnom letu. Zbog toga je bila opravdana težnja da se što veći broj

funkcija upravljanja automatizuje. Kod automatskog leta sistem upravljanja, ili tzv. autopilot, preuzima sve funkcije upravljanja. Sistem upravljanja automatski obezbeđuje ograničenja dozvoljenih vrednosti napadnog ugla, ugaonih brzina, otklone upravljačkih površina i onemogućava dovodenje aviona u neupravljiva i opasna stanja pri dejstvu spoljnog poremećaja ili greške pilota. Za uvođenje automatskih sistema upravljanja postoji više razloga, kao što su: nedovoljna snaga pilota za pokretanje upravljačkih organa kod nekih kategorija aviona, održavanje određenog režima leta sa što manjim odstupanjem, zamor pilota i potreba da se on rastereti nekih akcija upravljanja.

Komande leta aviona

Komande leta, zajedno sa komandama motora, omogućuju pilotu da upravlja avionom, odnosno da ga dovede u željenu poziciju i režim leta unutar propisane anvelope leta.

Od primarnog značaja za upravljanje letom aviona su komande: visine (uzdužna komanda), valjanja (poprečna komanda) i skretanja (komanda pravca). To su ručne komande, koje se obično realizuju preko pilotske palice dijagonalno pokretljive u dve ravni, i nožne komande (pedale). Dejstvom na pilotsku palicu u uzdužnoj ravni pilot otklanja upravljačku površinu komande visine — krmilo visine ili pokretni (obrtni) horizontalni stabilizator, a dejstvom na pilotsku palicu u poprečnoj (bočnoj) ravni otklanjaju se krilca (simetrični otklon gore-dole). Pritiskom na pedale otklanja se krmilo pravca (levo-desno). Potrebno pomeranje pilotske palice ili pedala, da bi se izazvao željeni otklon upravljačke površine, zavisi, u najvećoj meri, od tipa mehaničke konstrukcije komandnog sistema i konstrukcije hidrauličkih sistema za pokretanje upravljačkih površina. Kod savremenih borbenih aviona često se sreće automatsko upravljanje efektivnim otklonom upravljačke površine koja deluje na uzdužno kretanje, zavisno od trenutnih uslova leta. Za iste hodove pilotske komande upravljačka površina se različito otklanja, čime se obezbeđuje zahtevana upravljivost i stabilnost letelice prema trenutnim uslovima leta [2].

Sekundarne komande leta ostvaruju se putem izvršnih organa upravljačkih površina kao što su: pretkrilca i zakrilca, aerodinamičke kočnice, spojleri, itd. Kod sekundarnih površina i izvršnih organa komanda je tipa prekidača, što je uobičajena komanda

pretkrilaca i stajnog trapa ili tipa tastera, kod nekih tipova aerodinamičkih kočnica.

Komande mogu biti reverzibilne i ireverzibilne. Kod reverzibilnih postoji direktna veza između pokreta pilota — pomeranjem pilotske palice i (ili) pedala i pomeranja upravljačkih površina. Moment aerodinamičkih sila u odnosu na obrtnu osu krmila visine, na primer, direktno se prenosi na pilotsku palicu, što pilot oseća na rukohvatu. Na primer, ako pilot u toku provere u avionu na stajanci pokreće palicu, otklanjaće se krmilo visine, odnosno ako se rukom spolja obrće krmilo visine, pokretaće se palica. Kod ovih sistema, pilot ostvaruje sve potrebne sile za savladavanje obrtnog momenta na upravljačkim površinama. Reverzibilni sistemi upravljanja, pored mehaničkih, sadrže i hidrauličke komponente pomoću kojih se pojačava sila koju ostvaruje pilot.

Kod ireverzibilnih komandi pilot u kabini, pokretom pilotske palice i pedala, aktivira hidrauličke ili električne uređaje koji pokreću aerodinamičke upravljačke površine. Pri tome se aerodinamički obrtni momenti ne prenose na palicu i pedale. Da bi se obezbedio potreban osećaj sile—otpora pri pilotiranju, ovim sistemima se mora dodati uređaj za simulaciju opterećenja na palici (sl. 1). Na taj način pilot dobija osećaj otpora, kao pri letu sa dobrim reverzibilnim komandama.

Zazor u upravljačkom sistemu krmila negativno utiče na tehniku pilotiranja. Ako postoji zazor u mehanizmu ili razvodu servouređaja, onda se sa otklonom palice javlja otklon krmila, tek pošto se savlada zazor, a ovo kašnjenje izaziva nelagodan osećaj pri pilotiranju. Sve to nesumnjivo ukazuje na značaj smanjivanja sile trenja i zazora u upravljačkim sistemima krmila savremenih konstrukcija aviona, kao i drugih letelica.

Komanda leta za ostvarivanje otklona krmila visine

Iz šematskog prikaza principa rada komande leta za ostvarivanje otklona krmila visine jednog borbenog aviona (sl. 1) očigledno je da se radi o elektro-mehaničkom i hidrauličkom sistemu koji omogućava da se signal sa pilotske palice (1) prenese na izvršni servopokretač (7) koji zaokreće krmilo visine (8).

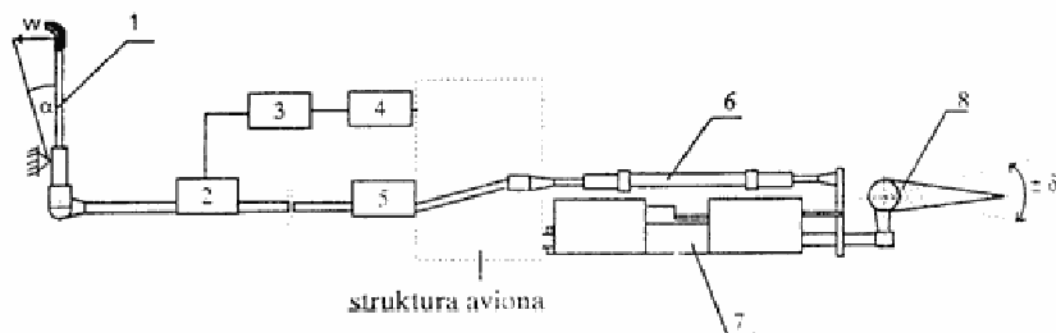
Simulator opterećenja (3) predstavlja uređaj za stvaranje veštačkog opterećenja na palici i omogućava pilotu, preko izvršnog mehanizma-uređaja za promenu osećaja sile (2), osećaj aerodinamičkih sila na palici. Elektropokretač (4) u sistemu komandi ima ulogu unutrašnjeg pokretača trimera. Ograničavač sile (6) predstavlja opružni mehanizam koji štiti hidraulički pokretač (7) u slučajevima kada su ulazna opterećenja do palice veća od unapred propisane vrednosti. Propisana vrednost sile definisana je prednaponom opruge. Nelinearnim mehanizmom (5) omogućava da se pri većim hodovima palice dobije manji otklon upravljačke površine. Na taj način može se ostvariti linearni i nelinearni gradijent sila na palici u funkciji njenog pomeranja, odnosno zahtevana osetljivost komandovanja.

Ostali elementi sistema koji nisu posebno specificirani predstavljaju polužne mehanizme preko kojih se vrši prenos opterećenja sa palice do upravljačke površine.

Hidraulički servopokretač (7), kao izvršni mehanizam, predstavlja osnovnu komponentu sistema. Napaja se iz glavnog hidrauličkog sistema aviona. U slučaju otkaza glavnog sistema servopokretač nastavlja rad napajanjem iz komandnog sistema, samo sa smanjenom mogućnošću opterećenja. U slučaju otkaza i glavnog i komandnog sistema napajanje se vrši pomoćnim sistemima.

Uprošćeni uzdužni presek servopokretača prikazan je na sl. 2.

Servopokretač se sastoji od dva hidraulička klipa (1) koji se nalaze na zajedničkoj klipnjači (4). Njihovo pomeranje je posledica pokretanja poluge (5), odnosno pomeranja klipa (8) razvodnika iz statičkog (neutralnog) u dinamički (radni) položaj, kao odgovor na pilotovu ulaznu komandu. Ulazna komanda se prenosi do razvodnika preko sistema poluga (5 i 6) i klackalice (7). Usled pomeranja klipa (8) razvodnika hidrauličko ulje pod pritiskom, preko ulaznih otvora P, prolazi kroz filter (9), otvara nepovratni ventil (10) i usmerava se, preko razvodnih kanala, do komora (ispred čela klipa). Is-



Sl. 1 — Šematski prikaz komande visine

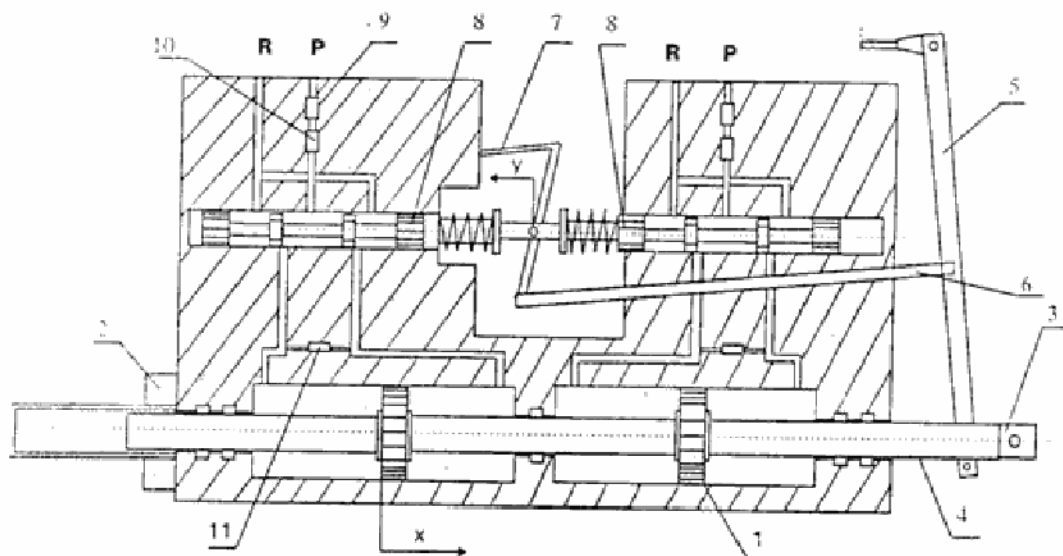
1 — pilotska palica, 2 — uređaj za promenu osećaja otpora, 3 — simulator opterećenja, 4 — elektropokretač, 5 — nelinearni mehanizam, 6 — ograničavač sile, 7 — servopokretač, 8 — krmilo visine

tovremeno, hidrauličko ulje iza klipova potiskuje se u povratne vodove R. Usled toga dolazi do izvlačenja klipnjače (4) servopokretača, a kretanje donje tačke (5), preko poluge (6) dovodi klipove razvodnika (8) u početni položaj, pri čemu se zatvaraju ventili (10) razvodnika. Stanje mirovanja održava se zahvaljujući ravnoteži pritiska u četiri komore cilindra, koja se ostvaruje putem prigušnika (11). Na taj način prestaje rad servopokretača sve dok se ne dobije naredna komanda.

Neka w predstavlja pomeranje pilotske palice (α je njeno ugaono pomeranje), y — translatorno pomeranje klipa razvodnika, $\dot{x}$ — brzinu klipa razvodnika, x — pomeranje klipa servopokretača, a δ — ugaono pomeranje (zaokretanje) krmila.

Očigledno je da se komanda pilota, kao vodeća veličina w , može predstaviti u obliku odskočne funkcije i da pilotska palica predstavlja proporcionalni element, u literaturi poznat kao element nultog reda. Komandni signal

sa pilotske palice prenosi se na klip razvodnika preko sistema poluga. Pri aktiviranju klipa razvodnika vrlo brze promene pritiska u komorama razvodnika i njima ekvivalentno pomeranje klipa servopokretača manifestuju se u obliku brzih prelaznih procesa. Najjednostavnija aproksimacija servopokretača jeste kada se on posmatra kao integralna komponenta prvog reda (pomeranje klipa x servopokretača predstavlja se nagibnom funkcijom u blok-šemi na sl. 3). Ovakva aproksimacija ima smisla kod relativno sporih servopokretača i pri njegovom jednosmernom kretanju [10]. U slučaju kada se klip servopokretača kreće oscilatorno pojavljuju se efekti direktnog i povratnog dejstva spoljašnjeg opterećenja, koji su posledica relativnog menjanja smera dejstva spoljašnjeg opterećenja u odnosu na smer kretanja klipa radnog cilindra servopokretača. Ovakvi efekti dovode do nelinearnog ponašanja servopokretača. Uporedna analiza nelinearnog i linearizovanog modela servopokretača, pri čemu su zanemareni efekti stišljivosti

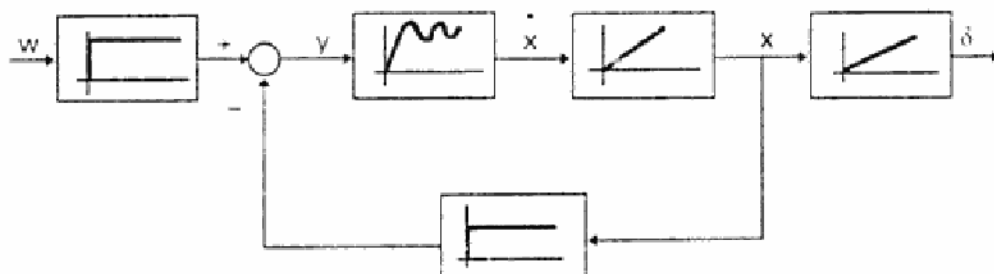


Sl. 2 — Uzdužni presek servopokretača komande visine

1 — klip servopokretača, 2 — veza sa strukturom, 3 — veza sa krmilom visine, 4 — klipnjača servopokretača, 5 — poluga, 6 — prenosna poluga, 7 — klackalica, 8 — klip razvodnika, 9 — filter, 10 — nepovratni ventil, 11 — prigušnica servopokretača

i curenja radnog fluida, data je u [10]. Uzimanjem u obzir ovih efekata i njihovim uključivanjem u dinamički model obuhvaćeni su prelazni procesi koji nastaju pri uključivanju servopokretača. Rezultati simulacije ponašanja servopokretača, sa efektima stišljivosti i curenja radnog fluida, prikazani su u [11]. Dakle, servopokretač predstavlja integralni element, jer je brzina promene izlazne veličine proporcionalna ulaznoj veličini. Kao što je poznato iz teorije [5], kada se na ulaz integralnog elementa dovede odskočna funkcija onda se kao prelazna funkcija dobija linearna nagibna funkcija x , koja u ovom slučaju predstavlja pomeranje klipa radnog cilindra servopokretača.

jih izlazna veličina prati ulaznu, nazivaju se i »pratećim« sistemima. U sistem upravljanja uključen je pilot ili autopilot koji stalno vrši korekciju izlazne veličine, pa je to onda sistem sa zatvorenim kolom ili sistem sa povratnom spregom. Da bi se dobio odziv aviona, pilot daje određeni ulazni signal u sistem komandi leta, a zatim se isključuje iz zatvorenog kola upravljanja i posmatra rezultujuće kretanje aviona. Naime, pilot koji upravlja avionom stalno prati, vizuelno i preko instrumenata, željene uglove nagiba i propinjanja, zatim brzinu, kurs, visinu, itd., i upoređuje te veličine sa željenim. Ako je potrebno, vrši korekciju ulazne veličine (X_{ul}) delovanjem na



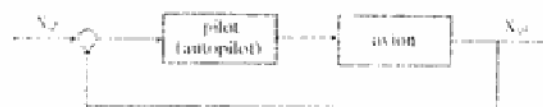
Sl. 3 — Blok šema hidraulično-mehaničkog sistema za upravljanje komandom visine

Na kraju, pomeranje klipa radnog cilindra servopokretača je ulazna veličina za otklon krmila visine δ . Otklon krmila visine predstavlja prelaznu karakteristiku, kao odziv na zadati odskočni ulaz. Na slici 3 prikazana je blok-šema funkcionisanja hidraulično-mehaničkog sistema za upravljanje komandom visine.

Karakteristike servomehanizama

Na osnovu teorije automatskog upravljanja, sistem za upravljanje komandama leta predstavlja klasičan primer servomehanizma, gde je ulazna veličina mehanički položaj (na primer, otklon komande). Ovi sistemi, kod ko-

komande leta dok se ne postigne željena izlazna veličina (X_{izl}). Prema tome, i najjednostavniji sistem komandi leta, zajedno sa pilotom, može se predstaviti blok-dijagramom sa zatvorenim kolom (sl. 4).

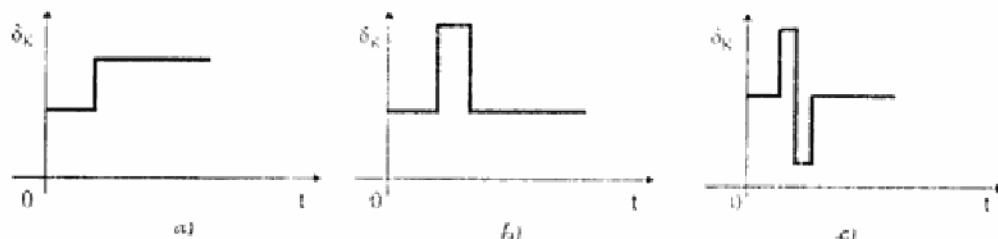


Sl. 4 — Sistem upravljanja komandama leta

Postoje tri načina za pokretanje komandi leta koje izvodi pilot i to: stepenasti (odskočni) ulaz, impulsni ili dvostruko impulsni ulaz (sl. 5) [2]. U prvom slučaju, komanda leta se naglo

pokrene do zadatog položaja i čvrsto zadrži u tom novom položaju, a u drugom — komanda se naglo pokrene do željenog položaja, zatim malo zadrži i naglo vrati u prvobitni položaj. Treći slučaj predstavlja dvostruki impuls-

turno vremensko kašnjenje u reagovanju od 0,1 do 0,16 sekundi. Te konstantne karakteristike osnovna su ograničenja pilota kao dela servomehanizma unutar zatvorenog kola upravljanja.



Sl. 5 — Ulazni signal za pokretanje komande leta
a — stepenasti, b — impulsni, c — dvostruko impulsni

ni ulaz, kod kojeg su impulsi simetrični u odnosu na smer pokretanja komandi i vremenski pomereni. Navedeni modovi koriste se pri ispitivanju dinamičke stabilnosti aviona.

U analizi ovih sistema se pretpostavlja da se pomeranje komandi izvodi za tzv. »nulto« vreme, iako se zna da je to, zbog prirode samog procesa, fizički nemoguće. Analiza odziva aviona za slučaj naglog pomeranja pilotske palice izvršena je u literaturi [2].

Pilot ima ograničenja koja se mogu usvojiti kao konstante. To su, pre svega vreme reagovanja, koje iznosi oko 0,2 do 0,3 sekunde i neuromuskula-

Zaključak

Komande leta, zajedno sa komandama motora, omogućuju dovođenje aviona u željenu poziciju unutar propisane anvelope leta. Sa stanovišta teorije automatskog upravljanja sistem za upravljanje komandama leta predstavlja klasičan primer servomehanizma i može se predstaviti blok-dijagramom sa zatvorenim kolom. U sistem upravljanja uključen je pilot (autopilot) koji daje ulazni signal komandama leta, prati parametre leta i, ako je potrebno, delovanjem na komande leta, vrši korekciju ulazne veličine dok se ne postigne željena izlazna veličina.

Literatura:

- [1] Nenadović, M.: Stabilnost i upravljivost letelica (drugi deo), SSNO, Beograd, 1984.
- [2] Rendulić, Z.: Mehanika leta, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
- [3] Vukobratović, M., Stojić, R.: Automatsko upravljanje letom aviona (teorija i primena), Institut »Mihajlo Pupin«, Beograd, 1985.
- [4] Vukobratović, M., Cvetković, V., Stokić, D.: Dinamika leta aviona i njena primena (deo prvi), SSNO, Beograd, 1980.
- [5] Sekulić, M.: Osnovi teorije automatskog upravljanja-servomehanizmi, Naučna knjiga, Beograd, 1982.
- [6] Gligorić, B., Vujić, D.: Prilog izučavanju elektrohidrauličkih servosistema, HIPNEF '96, Vrnjačka Banja, 1986.
- [7] Opis i održavanje komandi aviona H-52, SSNO, 1991.
- [8] Denić, N., Đilas, M., Milić, M.: Praćenje i ispitivanje funkcionalnih primarnih komandi leta aviona u ciklusu remonta, Zbornik radova Vazduhoplovstvo '95, Sava Centar-Beograd, 1995.
- [9] Backe, W.: Servohydraulik, 4. Auflage, RWTH, Aachen, 1984.
- [10] Janković, J.: Uticaj dinamike brzohodnih hidrauličkih aktuatora na sintezu upravljanja aviona, Zbornik radova Vazduhoplovstvo '95, Sava Centar-Beograd, decembar 1995.
- [11] Janković, J.: Računarska simulacija ponašanja digitalno upravljanih hidrauličkih servopokretača, Zbornik radova Vazduhoplovstvo '95, Centar Sava, Beograd, decembar 1995.

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

POSTOJEĆI MOBILNI RADIO-KOMUNIKACIONI SISTEMI I POGODNOST ZA NJIHOVO KORIŠĆENJE U VJ

UDC: 621.396.61:623.615

Rezime:

U članku su opisane karakteristike postojećih mobilnih komunikacionih sistema koji se koriste u svetu, a tek su počeli da se primenjuju i u našoj zemlji. Dat je tabelarni pregled sa osvrtom na pogodnost primene navedenih sistema u vojnim vezama.

Ključne reči: mobilni komunikacioni sistemi, mobilni telefon, pejdžing sistem, radio-telefon, ćelija, bazna stanica.

EXISTING MOBILE RADIO-COMMUNICATIONS SYSTEMS AND THE SUITABILITY FOR THEIR APPLICATION IN THE YUGOSLAV ARMY

Summary:

The article describes characteristics of existing mobile communications systems widely used throughout the world whereas such systems are only beginning to be used in our country. The survey is given in a table form with special attention to the possibility of their application in military communications networks.

Key words: mobile communications systems, mobile telephone, paging system, radiotelephone, cell, base station.

Uvod

Mobilni komunikacioni sistemi za razliku od stacionarnih sistema, a posebno žičnih veza, imali su specifičan razvoj. Razlog je, svakako, u karakteru mobilnosti koji se dozvoljava korisnicima i koji podrazumeva njihovu bežičnu vezu, odnosno vezu posredstvom elektromagnetskog (EM) talasa.

U toku postepenog tehnološko-tehničkog razvoja elektronike razvijali su se i komunikacioni sistemi, a mobilni radio-sistemi sve brže iz generacije u generaciju. Rešavajući pitanje kapaciteta i kvaliteta veza i što većih mogućnosti za korisnike, sistemi

su se razvijali od manuelnih, malog kapaciteta i jednostavnih usluga, do potpuno automatskih, velikog kapaciteta i složenih usluga.

Rešenja su se, uglavnom, nalazila u pomeranju ka višim frekvencijskim opsezima, većoj širini zauzetog opsega, boljem iskorišćenju opsega i većem broju kanala.

Sa stanovišta primene u vojne svrhe, interesantno je uporediti jednosmerni prenos poruka radio-vezom, takozvani pejdžing sistem, sistem mobilne telefonije, kao i već postojeći radio-telefonski sistem, po pitanju frekvencija, načina rada i pogodnosti upotrebe.

Pejdžing sistem i sistem mobilne telefonije su u poslednje vreme doživeli vrlo brz razvoj, pa je korisno da se principi njihovog rada detaljnije opišu.

Oba sistema imaju za cilj da opslužuju veliki broj korisnika i to sa velikim kvalitetom (približan ili jednak kvalitetu žičnih veza) a da pri tome cena bude pristupačna. Namenjeni su gusto naseljenim urbanim sredinama, gde su uticaji šumova i smetnji na kvalitet prijemnih signala veliki.

Ovi sistemi rade po principu pokrivanja određene teritorije primopredajnicima (bazna stanica), koja se kod mobilne telefonije naziva ćelija (Cell), a kod pejdžing sistema baza. Za sada baznu stanicu kod pejdžing sistema sačinjava samo predajnik, ali od nedavno Američka korporacija »Motorola« propagira dvosmerni pejdžing, takozvani refleksi.

Bazne stanice svih ćelija kod mobilne telefonije međusobno povezuje i kontroliše glavna mobilno-telefonska centrala (GMTC), koja je žično vezana na postojeću TT mrežu, a sve bazne stanice pejdžing sistema su direktno povezane sa jedinstvenom pejdžing centralom.

U principu, raspored primopredajnika ne mora biti pravilan, niti ćelije odnosno baze moraju imati neki specifičan oblik.

Sistem mobilne telefonije

Osnovu sistema mobilne telefonije čini centralni procesor u GMTC. Mobilno-telefonska centrala povezana je sa svakom ćelijskom baznom stanicom snopom spojnih linija rezervisanih za radio-kanale i sa po dve ili više linija za podatke, preko kojih GMTC i ćelijske stanice razmenjuju informacije neophodne za obradu poziva.

Ćelijska bazna stanica sadrži primopredajnik za sve kanale koji su joj dodeljeni, opremu za praćenje nivoa signala i opremu za uspostavljanje poziva (setup). Mobilna stanica sastoji se od upravljačke jedinice, primopredajnika, logičke jedinice i antene. Upravljačku jedinicu čine slušalica, tastatura, svetlosni i zvučni indikatori. Primopredajnik, pored pojačavača, filtera i ostalih sklopova sadrži frekvenzijski sintezator. Logička jedinica kontroliše rad primopredajnika i upravljačke jedinice, i prenosi poruke korisnika preko komandi sistema. Da bi mogla da obavlja ove funkcije, mobilna stanica sadrži mikroprocesor.

Kada je mobilna stanica uključena, a korisnik ne razgovara, njena uloga je da prati i pronalazi kanal za uspostavljanje poziva. Mobilna stanica se uključuje u kanal sa kojeg je dobijen najjači signal, sinhronizuje se sa nizom podataka koje prema njoj emituje ćelijska bazna stanica, da bi najčešće ostala na ovom kanalu, ali može se desiti da primljeni podaci upućuju na to da mobilna jedinica treba da odmeri snagu signala sa bazne stanice druge ćelije. Nizovi podataka po kanalu za uspostavljanje poziva, uključuju identifikacione brojeve mobilnih stanica do kojih se trenutno šalju pozivi. Kada mobilna stanica detektuje da je pozvana, još jednom odmeri snagu signala na svim kanalima za uspostavljanje poziva, da bi mogla da se odazove preko ćelijske bazne stanice koja nudi najjači signal na njenoj trenutnoj lokaciji.

Mobilna stanica prima signal odabranog kanala za uspostavljanje poziva i emituje svoj odgovor. Odabrana ćelijska bazna stanica šalje informaciju o tome koji je zvučni kanal dodeljen mobilnoj stanici na koji se uključuje.

čuje, te prima naredbu da zvučnim signalom obavesti korisnika o pozivu.

Svaka ćelija ima svoju grupu frekvencijskih kanala. Susedne ćelije moraju imati različite grupe frekvencijskih kanala da bi se izbeglo međusobno ometanje. Ćelije koje su dovoljno udaljene jedna od druge mogu da koriste istu grupu kanala. Samim tim ćelija predstavlja zonu u kojoj je verovatnoća korišćenja njene grupe kanala najveća.

S obzirom na način prenosa signala u radio-delu, od bazne do mobilne stanice, u Evropi su trenutno najzastupljenija dva sistema javne mobilne telefonije, i to:

— NMT 900 (Nordic Mobile Telephone na 900 MHz),

— GSM (Global System for Mobile Communications).

Sistem NMT 900 spada u analogne sisteme s frekvencijskom raspodelom kanala FDMA (Frequency Division Multiple Access), gde se za prenos signalizacionih reči koristi brza digitalna modulacija sa frekvencijskim pomeranjem FFSK (Fast Frequency Shift Keying), pri čemu je binarna jedinica predstavljena sinusoidom od 1200 Hz, a binarna nula sinusoidom od 1800 Hz [1].

GSM, koji je najzastupljeniji u većini evropskih zemalja, spada u digitalne sisteme u kojima se koristi kombinovana tehnika frekvencijske raspodele kanala FDMA i vremenske raspodele kanala TDMA (Time Division Multiple Access), u kombinaciji sa frekvencijskim skakanjem. Njegove bitne karakteristike su da se primenjuje digitalna frekvencijska modulacija sa minimalnim frekvencijskim pomakom i Gausovim uobličavanjem impulsa GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), sa indeksom modulacije 0,3 i brzinom prenosa od 271 kbit/s. Tehnika frekvencijskog skakanja koristi se zbog smanjenja efekta degradacije signala, usled višeputnog prostiranja. Brzina skakanja, kojom se menja frekvencija nosioca, iznosi 217 skokova u sekundi. Sistem mobil-

ne telefonije u Evropi, za prenos signala koristi DMA tehniku [2].

S obzirom na to da ovakav prenos može izazvati prekid veze sa baznom stanicom kod prelaska iz jedne ćelije u drugu, jer baš u tom vremenskom trenutku kanal može biti zauzet, tendencija je da se koristi kodna raspodela kanala CDMA (Code Division Multiple Access). Nova tehnika omogućuje povećanje kapaciteta za 4 do 7 puta, u zavisnosti od toga da li se radi o analognom ili digitalnom sistemu, a pružace još neke prednosti.

Trenutno je kod nas mobilnost ograničena zonom pokrivanja GSM mreže, ali upotrebom satelita poprimiće evropske razmere.

Pejdžing sistem

Pejdžing sistem predstavlja sistem za jednosmernu komunikaciju, koja pruža mogućnost prenosa poruke radio-putem prema radio-prijemniku, pejdžeru. Mobilnost korisnika omogućava mreža predajnika u baznim stanicama. Radi smanjenja mogućnosti pojava oblasti sa istokanalnom interferencijom, što znatno degradira prijemni signal, pristupa se formiranju radio-mreža na principu vremenske, frekvencijske ili vremensko-frekvencijske raspodele operacija u mreži.

Vremenska raspodela može biti na bazi sekvencijalnog emitovanja poruka sa svih predajnika ili uspostavljanjem kvazisinhronizma, podešavanjem internog kašnjenja signala na baznim stanicama, takozvani simultast režim rada. Pri ovakvoj raspodeli operacija u mreži, prenos signala se realizuje na istoj frekvenciji.

Kod frekvencijski raspodeljene mreže, susedne zone radio-pokrivanja koriste različite frekvencije.

Ako se prenos poruka u radio-mreži realizuje na osnovu kombinovane raspodele rada, mora se strogo definisati raspodela vremenskih i frekvencijskih ciklusa u susednim zonama.

Tendencija je da se postojeće nacionalne mreže u Evropi, sa već prihvaćenim POCSAG (Post Office Code Standardisation Advisory Group) standardom za pejdzing sisteme, integrišu sa sistemom ERMES (European Radio MESaging System).

Evropski digitalni pejdzing sistem ERMES ima mogućnost prebrisavanja (skeniranja) 16 radio-kanala, radi čega pejdzjer ima ugrađen sintezator frekvencija.

Poruke mogu biti:

- tonske (do 8 različitih zvučnih signala),

- numeričke (do 20 karaktera po poruci),

- alfanumeričke (do 400 karaktera).

Pored ovih osnovnih poruka postoji i širok spektar dodatnih, kao što su:

- grupni poziv;

- sprečavanje gubljenja poziva (ponavljanje, brojanje, memorisanje, ponovno emitovanje poruka);

- formiranje prioriternih nivoa poziva (urgentni, normalni, sa nekritičnim vremenom prosleđivanja);

- indikacija da je korisnik van zone pokrivanja, itd.

Na području SRJ i Srbije uglavnom su zastupljena dva komercijalna pejdzing sistema. Jednu od nacionalnih pejdzing mreža izgradilo je Javno preduzeće PTT saobraćaja »Srbija« (sada Telekom Srbija), koja sa 31 baznom stanicom pokriva šira područja gradova, magistralne pravce, kao i sve glavne saobraćajnice. Planirani kapacitet pejdzing sistema Srbije je 50.000 pretplatnika, uz mogućnost proširenja kapaciteta u već izgrađenoj mreži [3]. Drugu mrežu osnovalo je privatno preduzeće »Bel Pagette«, koje, uglavnom, pokriva područje Beograda i Novog Sada.

Sa korisničke tačke gledišta mala cena aparata i usluga, te jednostavno korišćenje, čine pejdzing sistem i dalje atraktivnim. S obzirom na to da

se u Evropi sve više radi na uvođenju satelitskog pejdzing sistema, upotrebom INMARST-a (International Maritime Satellite), pejdzing ima realne izgleda da u narednim godinama i dalje egzistira u vrlo oštroj konkurenciji mobilnih komunikacija. Predviđa se da pejdzing prijemnici primaju do 128 karaktera, numeričkih i alfanumeričkih poruka i moći će da se, pomoću specijalnog adaptera, ugrade u automobil.

Radio-telefon

Radio-telefon predstavlja uređaj preko kojeg korisnik ostvaruje pristup radio-telefonskoj mreži. U komercijalne svrhe koriste se radio-telefoni koji, pored sklopova za prenos signala u RF (radio frekvencijskom) opsegu, imaju i sklop za proces signalizacije. Osnova uređaja je mikroprocesor, najčešće malog kapaciteta, sa osnovnom funkcijom da u procesu signalizacije mobilnom korisniku u svakom trenutku obezbedi pristup mreži i odgovor korisnika na poziv iz mreže [5].

Da bi se odazvao pozivu ili zvao, korisnik najpre mora da se identifikuje. Podatak o svom identitetu korisnik ima na kartici sa integrisanim čipom, koja se ugrađuje u radio-telefon. Time je postignuta potpuna zaštita od zloupotrebe.

Radio-telefoni UKT FM-66 i FM-13i, koji se koriste u vojnim komunikacionim sistemima, nemaju ugrađen sistem automatske identifikacije već se koriste takozvani pozivni znaci korisnika.

Radio-telefon, za razliku od mobilnog telefona, koristi vezu sa bazom koja je direktno priključena na paricu, a preko parice na centralu. Kod većine komercijalnih radio-telefonskih uređaja pristup bazi je kodiran, ali postoje i jednostavniji uređaji, kod kojih to nije izvedeno, pa je lako moguća zloupotreba korisničkog broja.

Uporedni prikaz karakteristika opisanih sistema

Radi lakšeg uočavanja pojedinih karakteristika navedenih sistema, dat je tabelarni pregled, s osvrtom na pogodnost upotrebe u vojnim komunikacijama.

	Frekvencijski opseg	Snaga	Širina kanala	Modulacija	Broj kanala pretraživanja	Pogodnost upotrebe
Pejdžing sistem	138—174 MHz 169,4—169,8	25—250 W održ. baza	25 kHz	4 PAM/FM	16	mala
Mobilna telefonija	890—960 MHz savr. 1,8 GHz	ručne, 1W prev., 20W	200 kHz	FH/GMSK TDMA	124	velika kao i telefona
Radio-telefonski uređaji	civ. 46—49 MHz voj. 153—155 MHz	max. do 10 W	25 ili 50 kHz	FM	podesiv na 1 voj. 18+4	manja od mobilnog

Pejdžing sistem nije potpuno automatizovan već iziskuje posrednika na pejdžing centrali i telefon kao dodatno sredstvo za vezu sa posrednikom. Za sada je ograničen samo na alfanumeričke poruke (brojeve i slova), a od novijih se očekuju i glasovne poruke.

Upotreba radio-telefona ograničena je dometom (direktnom vezom ili preko repetitora), a upotrebom radio-telefonske centrale postoji mogućnost ulaska u postojeću telefonsku mrežu na kojoj je priključena radio-telefonska centrala.

Zaključak

Sagledavajući publikovane i ostale raspoložive podatke o novim i planiranim mobilnim komunikacionim sistemima, kao i njihovu upotrebu u skorijim ratovima, pa i ratu u prethodnoj Jugoslaviji, moguće je predvideti razvoj i način upotrebe mobilnih komunikacionih sistema. Mobilne veze našle su primenu na svim nivoima komandovanja. Tendencija je da se, uz

korišćenje komunikacionih satelita, mobilne veze stave na raspolaganje i nižim taktičkim jedinicama, borbenim sistemima, avionima i brodovima [4]. Snage UNPROFOR-a su ih na prostoru prethodne Jugoslavije masovno koristile preko komercijalnog satelitskog sistema INMARST.

S obzirom na definiciju Vojske Jugoslavije, kao oružane snage koja brani teritoriju SRJ, to se i mobilnost njenih komunikacionih sistema može ograničiti na zonu pokrivanja teritorije SRJ. Pejdžing sistem očigledno nije prihvatljiv za uvođenje u sistem veza VJ, ali je upotrebljiv u internim sistemima veza (skladišta, bolnice, ustanove).

Iako je mobilna telefonija napredniji način komuniciranja na daljinu, nije zaustavila širenje pejdžing sistema, prvenstveno zbog znatne razlike u ceni. Uvođenje mobilne telefonije sa prenosom signala u proširenom spektru svakako je perspektiva razvoja vojnih komunikacija, radi boljeg kvaliteta veza, kao i otežanog ometanja. Zbog velikih materijalnih ulaganja, potrebnih za uvođenje mobilne telefonije, ne može se očekivati da će u komunikacionim sistemima VJ tako brzo zaživeti.

Za potrebe mirnodopskih mobilnih komunikacija, najmanje ulaganje za VJ bilo bi adaptiranje i dogradnja postojećih radio-telefonskih sistema. U tom smislu trebalo bi povećati broj repetitora i radio-telefonskih centrala

za šira područja gradova, duž magistralnih pravaca, kao i duž svih glavnih saobraćajnica i ugraditi sistem automatske identifikacije. Postojeći jednokanalni sistem može se zaštititi od prisluškivanja šifrovanjem, ali je vrlo ranjiv na ometanje, pa treba imati u vidu da je nepouzdan za ratne uslove. Svakako, vojne komunikacione sisteme treba organizovati kao komplementarne, pa bi bilo potrebno razvijati i radio-relejne i posebno žične

sisteme veza, radi veće pouzdanosti i bolje zaštite informacija.

Zbog nepovoljne materijalne situacije prelazak na nove sisteme mobilnih radio-komunikacija obavlja se evolutivno, radi maksimalnog iskorišćenja kapaciteta svih postojećih sistema. Poznavanje mogućnosti postojećih komunikacionih sistema, kao i njegovo širenje uvođenjem savremenijih, doprinosi bržoj i pouzdanijoj razmeni informacija na svim nivoima.

Literatura:

- [1] Sošić, D., Stojanović, J.: Prikaz i uporedna analiza radio-interfejsa kod NMT 900 i GSM sistema javne mobilne telefonije, TELFOR 96, Beograd, 1996.
- [2] Simić, R., Đaković, I.: Budućí javni mobilni radio-komunikacioni sistemi, Telekomunikacije br. 1/90.
- [3] Radovanović, S. i ost.: Tehničko rešenje i usluge pejdžing sistema Srbije, TELFOR 95, Beograd, 1995.
- [4] Sušnjevarić, M., Ponoš, Z.: Satelitski telekomunikacioni sistemi u vojnoj primeni, Vojnotehnički glasnik 6/93.
- [5] Balević, M.: Prenos podataka u mobilnoj radio-telefonskoj mreži, VTA VJ, diplomski rad, Beograd, 1995.

Dr Ratko Radošević,
dipl. inž.

OTPORNE FUNKCIONALNE TELEKOMUNIKACIONE MREŽE

UDC: 621.391.1.001

Rezime:

Pojedini korisnici, kao što je vojska, postavljaju određene zahteve koje telekomunikacione mreže treba da zadovolje, a razlikuju se od zahteva kojima treba da odgovore javne telekomunikacione mreže (JTM). U ovom radu je analizirana razlika između JTM i mreža prema posebnim zahtevima korisnika, i utvrđeno je da JTM za sada ne mogu da ispune te zahteve. Jedan od najznačajnijih posebnih zahteva jeste otpornost, čije su najbitnije komponente sigurnost, pouzdanost i mobilnost mreže. Mreže sa pojačanom komponentom otpornosti čine potklasu mreža pod nazivom otporne funkcionalne telekomunikacione mreže, za koje je predložena konceptijska i sistemska arhitektura.

Ključne reči: telekomunikacione mreže, otporne funkcionalne telekomunikacione mreže, otpornost mreže, sigurnost mreže, koncepcija mreže, sistemska arhitektura mreže.

RESISTING FUNCTIONAL TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

Summary:

Some users of telecommunications networks, army forces for example, have requirements which differ from the requirements for public telecommunications networks (PTNs). The difference between PTNs and special requirements networks is analyzed and, for the time being, PTNs cannot fulfill these special requirements. One of the most important of them is resistance of which basic components are network security, reliability and mobility. Networks with greater resistance form a subclass named the resisting functional telecommunications networks for which design and system architectures are proposed in the paper.

Key words: telecommunications networks, resisting functional telecommunications networks, network resistance, network security, network design, network system architecture.

Uvod

Nacionalna telekomunikaciona mreža (TM) predstavlja stratejski sistem i spada u klasu najsloženijih sistema koje jedna zemlja poseduje. Zbog toga je razvoj mreže i njenih elemenata vrlo složen i, u principu, dugotrajan proces. Globalno gledano, to je neprekidan proces koji obuhvata stalno usavršavanje mreže i modifikaciju njenih elemenata.

Sa aspekta primenjenih tehnologija, koje odlučujuće utiču na performanse i mogućnosti mreže, razvoj mreže se deli na etape koje sadrže razne tehnološke generacije elemenata mreže. U principu, razvoj telekomunikacionih mreža grubo se deli na tri etape, od kojih prva obuhvata elektromehaničke tehnologije sa osnovnim uslugama koje pruža mreža, druga sisteme sa procesorskim upravljanjem elektromehaničke periferije i proširenjem

skupa i kvaliteta usluga, a u trećoj etapi uvode se visokointeligentni sistemi primenom procesora sa visokim procesorskim mogućnostima, pri čemu postoji široki izbor usluga visokog kvaliteta, kao i mogućnosti za njihovo dalje proširivanje.

Pošto se ove tri etape međusobno preklapaju, tj. vek trajanja sistema sa elektromehaničkim tehnologijama zadire čak u treću etapu, nužna je saradnja modernih i postojećih telekomunikacionih mreža.

Trend razvoja javne telekomunikacione mreže (JTM) je takav da se, sa stanovišta njene funkcionalnosti može podeliti u tri nivoa [1, 2, 3]:

- osnovni nivo telekomunikacione mreže, koji osigurava osnovne telekomunikacione usluge (uspostavljanje lokalnih, odlaznih, dolaznih i tranzitnih veza za govorne i negovorne pozive i dr.) i otkriva da li će poziv biti upućen u inteligentni nivo telekomunikacione mreže;

- nivo inteligentne telekomunikacione mreže, koji upravlja inteligentnim telekomunikacionim uslugama i obuhvata specijalne telekomunikacione funkcije, kao što su raspodela resursa mreže, prepoznavanje glasa, zaštita, i dr.;

- mreža za upravljanje telekomunikacijama, koja, kao najnoviji segment, za sada upravlja osnovnom inteligentnom telekomunikacionom mrežom, a u perspektivi će se njene funkcije proširiti na formiranje i pripremanje usluga, upravljanje uslugama i sl.

Neki specifični korisnici (velike privredne organizacije, državni organi, policija, vojska i dr.) postavljaju posebne uslove koji bi taj sistem veza morao da zadovolji. Rezultati istraživanja ukazuju na to da JTM, i pored trenda razvoja za sada ne mogu ispuniti neke bitne zahteve ovih korisnika, pa je nužna realizacija posebnih mreža za njih. U radu je analizirana razlika između JTM i mreža za

specifične korisnike, koncepcija i sistemska arhitektura tih mreža i mera kvaliteta usluge za njih.

Ovi rezultati predlažu se kao prilog razmatranju i daljim odlukama o istraživanju i razvoju DISK-a.

Razlike između javnih i funkcionalnih telekomunikacionih mreža

Da bi se sagledala potreba izgradnje funkcionalnih telekomunikacionih mreža (FTM) prvo treba sagledati posebnost uslova u kojima se one koriste, zatim zahteve koji se pred njih postavljaju i na osnovu toga analizirati opšte telekomunikacione karakteristike mreže po kojima se FTM razlikuju od JTM (resursi, funkcije, i uslovi eksploatacije). Razlika u resursima odnosi se na manji broj elemenata mreže u konfiguraciji i manji broj korisnika, što proizilazi iz namene FTM.

Posebni zahtevi koji se postavljaju pred FTM odnose se na funkciju (veliki broj usluga, zaštita) i uslove eksploatacije koji se razlikuju od uslova JTM. Ovi uslovi mogu se svrstati u sledeće tri grupe:

- nepredvidive, nenormalne i stresne situacije u dužem periodu eksploatacije što se nepovoljno odražava na rad elemenata mreže (nepredvidiv pojačani saobraćaj u celoj mreži ili u pojedinim delovima) i svih učesnika u radu mreže (korisnici, operateri, osoblje za održavanje), zbog zamora i panike;

- FTM je izložena, posebno u ratnim uslovima, organizovanim dejstvima radi fizičkog i funkcionalnog uništenja i narušavanja vitalnih funkcija, kako kroz otvorene napade, tako i kroz akcije i napade koje je teško otkriti i boriti se protiv njihovih efekata. Sve to ima za posledicu promenu topologije i konfiguracije mreže.

- Za većinu elemenata FTM predviđa se da rade u klimomehničkim uslovima koji se po temperaturi, vlaži, mehaničkim karakteristikama (rad

u pokretu, transport po lošim terenima i putevima) znatno razlikuju od uslova rada elemenata JTM.

Neki od ovih uslova postoje i u JTM, ali u znatno manjoj meri. Na primer, do nepredvidivog saobraćaja dolazi u vanrednim situacijama (požari, zemljotresi, poplave, nemiri stanovništva). Osnovni uzrok povećanog saobraćaja kod FTM u uslovima ratnih dejstava u odnosu na uzroke kod JTM jeste što su vreme, mesto i trajanje ratnih dejstava i njihovih efekata na integritet i rad mreže daleko dinamičniji, manje predvidivi i štetniji.

Omogućavanje rada u ovako postavljenim uslovima eksploatacije postiže se dodavanjem FTM pojačane dimenzije *otpornosti* na izmenjene i otežane uslove eksploatacije. Na taj način se iz TM formira potklasa FTM koja se naziva otporne FTM (OFTM).

Zavisno od korisnika, uslova koje on postavlja i stepena realizacije tih uslova elementi potklase OFTM smeštaju se po kriterijumu *otpornosti* između FTM koje nemaju neke posebne mehanizme *otpornosti* (na primer za neke privredne organizacije) i ekstremno otpornih FTM (na primer za vojsku).

Veliki uticaj na obim i kvalitet ispunjavanja pojedinih zahteva za OFTM ima tehnologija. Uvođenjem novih tehnologija u realizaciji mreža može se podići kvalitet ispunjenja zahteva i omogućiti realizacija novih zahteva.

Može se zaključiti da je stepen *otpornosti* mreže najbitnija karakteristika po kojoj se OFTM razlikuju od JTM. Zavisno od zahteva, tehnoloških i ekonomskih mogućnosti i u JTM se ugrađuju elementi *otpornosti* čiji se efekti projektuju u skladu sa potrebama i ekonomskim mogućnostima. Ekonomska dimenzija je dominantna za projektovanje, razvoj i eksploataciju JTM.

Radi daljih razmatranja usvojiće se definicije pojmova koji se odnose na *otpornost* OFTM.

Otpornost mreže je sposobnost da mreža obezbedi prihvatljiv kvalitet usluge korisnicima, iako degradiran usled delovanja smetnji, otkaza elemenata mreže ili promena saobraćaja u mreži [5].

Zavisno od intenziteta porasta delovanja smetnji, otkaza i saobraćajnih promena raste degradacija kvaliteta usluge, a zavisno od rešenja *otpornosti* mreže kvalitet usluge se drži u granicama prihvatljivim za korisnika.

Ova sposobnost mreže se ostvaruje preko tri komponente *otpornosti*: pouzdanosti, sigurnosti i mobilnosti.

Smetnja je neispravnost (neispravnost i ispad modula, blokova, sklopova, komponenti, programske neispravnosti, propusti operatera i korisnika i dr.) koja dovodi do greške u sistemu koja može u ekstremnim slučajevima dovesti do ulaska u nedozvoljeno stanje ili ispada sistema [6], [7]. Greška je manifestacija smetnje koja dovodi do neuspešnog procesiranja u sistemu, odnosno do procesiranja u sistemu koji ne odgovara propisanim funkcijama sistema.

Pouzdanost se definiše kao stepen tolerisanja smetnji i neregularnosti (neregularnih promena), čime se obezbeđuje sposobnost mreže da ostvaruje kvalitet usluga ispod unapred definisanog prihvatljivog nivoa degradacije [8].

Sigurnost je sposobnost sistema da minimizira ranjivost i ugroženost imovine i resursa sistema [9]. Imovina sistema je sve ono što ima neku vrednost definisanu za taj sistem. Ranjivost je slabost koja može biti iskorišćena da se napadne sistem ili informacija koju on poseduje.

Drugim rečima, sigurnost sistema čini skup karakteristika koje definišu stanje sistema u kojem on može, sa predvidivim stepenom izvesnosti, da izvršava unapred zadate funkcije i obezbedi kontrolisan pristup informacijama koje se u njemu nalaze.

Mobilnost ima dve komponente:

- mogućnost rada u pokretu, i
- mogućnost rada na zastanku.

Rad u pokretu ostvaruje se obično kod radio-terminala.

Mogućnost rada na zastanku podrazumeva mobilne verzije elemenata mreže instalirane u vozila, njihov transport na celoj teritoriji i jednostavno uključivanje u sistem. Teži se da svi elementi mreže imaju i mobilne verzije, makar sa smanjenim kapacitetima i resursima.

Zaštita sistema je skup mera i mehanizama kojima se ostvaruje određeni stepen sigurnosti sistema.

Da bi OFTM mogla da radi u navedenim uslovima i obezbedi ispunjenje zahteva korisnika za uslugama, treba da poseduje karakteristike koje mogu da posluže kao osnova za postizanje željene otpornosti. Te karakteristike mogu se sistematizovati na sledeći način:

- skoro potpuna ili potpuna digitalizacija mreže kao osnova za realizaciju velikog broja usluga, savremenih rešenja obrade poziva, signalizacije, kvaliteta i brzine prenosa, upravljanja, zaštite i dr.;

- integracija vrste informacija i usluga, čime se obezbeđuje da se razne vrste informacija, koje se generišu u terminalima, svedu na isti oblik i format na ulazu u mrežu, što omogućava njihovu efikasniju obradu u postupcima komutacije i prenosa i pružanje potrebnih usluga korisnicima;

- kompatibilnost sa JTM koja treba da omogući delimično oslanjanje na resurse JTM, u slučaju potrebe, i mogućnosti komuniciranja sa korisnicima JTM;

- učesnički priključak više vrsta terminala, što je veoma značajno za korisnike kao što je vojska, koja ima u upotrebi praktično sve vrste terminala od kojih neki (LB telefon) nije u upotrebi u JTM;

- savremena rešenja obrade poziva i signalizacije koja treba da omoguću da se, pored komutiranja kanala kao sada dominantnog načina komutiranja, mogu uvesti komutiranje poruka i paketa kao i perspektivni, savremeni, efikasni i pouzdani protokoli obrade poziva, elementi nadgledavanja ispravnosti prenosa (npr. signalizacija CCS i dr.);

- visok stepen autonomije pojedinih elemenata mreže koji treba, pored ostalog, da omogući visoku sposobnost efikasnog oporavka i rekonfiguracije nakon ispada ili uništenja pojedinih elemenata mreže;

- fleksibilnost strukture mreže koja treba da omogući jednostavnu i brzu izmenu topologije mreže i njeno prilagođavanje nastalim promenama i novim zahtevima u toku eksploatacije;

- efikasan mehanizam nadzora i upravljanja koji treba da omogući optimizaciju korišćenja resursa mreže;

- kvalitetna zaštita informacija i resursa mreže;

- visok stepen pouzdanosti elemenata mreže za rad u posebnim klimomehaničkim uslovima i efikasno i kvalitetno održavanje.

Uzimajući u obzir navedene zahteve koji OFTM treba da ispuni i karakteristike koje treba da poseduje, mogu se ustanoviti osnovni razlozi zbog kojih je nužno izgraditi posebne OFTM za korisnike čiji se zahtevi ne mogu ostvariti u JTM:

- nemogućnost da se u JTM ostvari dovoljno kvalitetna i sveobuhvatna zaštita informacija i resursa mreže za deo korisnika mreže. Ukoliko bi se ostvarila željena zaštita to bi podrazumevalo da skoro svi resursi mreže i podaci u njoj treba da budu pod kontrolom toga skupa korisnika koji je vlasnik zaštite. Kako u JTM ima mnogo više ostalih korisnika ovaj zahtev je nemoguće ostvariti. Formiranjem posebne mreže za ovaj skup korisnika omogućava se da investitor, korisnik i vlasnik mreže bude jedan subjekat;

— postojeće JTM su zatvorene ili nedovoljno otvorene za dogradnju nekih operativnih i eksploatacionih funkcija koje su specifične ili nužne za određene korisnike (savremena signalizacija, nove usluge, posebna pravila prioriteta poziva, potpuni digitalni prenos i sl.);

— realizacija zahteva za modularnost izvedbe, mogućnost transporta u otežanim uslovima i rad u posebnom klimomehničkom okruženju znatno povećavaju cenu proizvodnje. Elementi JTM su, u većini slučajeva, po ovim karakteristikama u kategoriji komercijalnih uređaja, za koje se obezbeđuju odgovarajući klimomehnički uslovi eksploatacije. Ukoliko bi se zahtevala robusnost elemenata za rad u drugim klimomehničkim uslovima, troškove povećanja robusnosti treba da snosi samo deo korisnika zbog koga se ona vrši. Zbog toga je za njega ekonomski opravdanije da razvije posebne elemente mreže i izgradi posebnu manju mrežu;

— za neke korisnike (vojska, policija) pokretni učesnici (radio-veze) imaju značajan, a u nekim slučajevima dominantan udeo u saobraćaju sa posebnim zahtevima za protokole uspostave veze i komunikaciju (frekventno skakanje, zaštita). Ti zahtevi su za JTM neuobičajeni, za njihovo ispunjenje potrebna je dogradnja koja je uslojava i neprihvatljivo povećava cenu. Analize savremenih ratnih dejstava pokazuju da je za sistem veza nužna pokretljivost i brza zamena uništenih elemenata mreže;

— u nekim slučajevima korisnicima je potrebna brža izgradnja ili dogradnja JTM nego što je to predviđeno i što dozvoljava njena organizacija izgradnje, dogradnje i usavršavanja. Osim toga, u nekim slučajevima je potrebno izgraditi mrežu ili delove mreže na područjima koja nisu atraktivna ili se ne uklapaju u postojeće planove izgradnje JTM. Naime, postojeća JTM na nekim područjima nema resurse koji bi zadovoljili te korisnike,

a nema ekonomskih opravdanja za njihovu dogradnju;

— mogućnost i karakteristike JTM se projektuju i realizuju tako da budu ekonomski preko tarife prihvatljive za korisnike, ali i da prinod ostvaren na taj način bude prihvatljiv za vlasnika mreže. Jedan od uslova za obezbeđenje ekonomske prihvatljivosti i za korisnike i za vlasnike mreže je veliki broj korisnika i velika upotreba mreže. Za korisnike OFTM je primaran doprinos mreže uspešnom poslovanju, a ekonomski elementi su u drugom planu. Na OFTM se postavljaju zahtevi kao što su posebne usluge, veća brzina prenosa, velika pouzdanost prenosa, sigurnost usluge i druge koje JTM ne može ispuniti. Za te korisnike je primarno ispunjenje specifičnih zahteva, dok je cena izgradnje i eksploatacije mreže u drugom planu;

— sa tehnološkim napretkom proširuju se mogućnosti povećanja otpornosti JTM. Međutim, stepen planirane i realizovane otpornosti JTM je u direktnoj srazmeri sa ekonomskim mogućnostima zemlje, odnosno kupovnom moći (iznosa tarife) korisnika mreže. OFTM, posebno za vojsku, moraju se projektovati tako da obezbede zahteve funkcionalnosti u uslovima stalnog organizovanog napada radi fizičkog uništavanja, uništenja ili ugrožavanja funkcionalnog integriteta mreže ili njenih delova, uništenja ili izmene podataka u njoj i sl. Realizacija ovakvih zahteva može znatno da poskupi izgradnju mreže, što je za JTM neprihvatljivo, a kod već realizovanih mreža dogradnja je ili nemoguća ili je delimično moguća.

I pored toga što JTM poseduju određene karakteristike i spunjavaju neke zahteve koje specifični korisnici postavljaju, za neke od takvih korisnika je nužno ili ekonomski opravdanije izgraditi posebne OFTM.

Da bi se utvrdila potreba za izgradnju OFTM njenom projektu treba da prethodi utvrđivanje zahteva funkcio-

nalnosti i kvaliteta, u kojima je sadržan i stepen otpornosti, na osnovu kojih se utvrđuju karakteristike koje ta mreža treba da poseduje i razlike tih karakterata u odnosu na JTM. Na osnovu toga se utvrđuje opravdanost za izgradnju OFTM traženog stepena otpornosti.

U radu je problematika otpornosti FTM razmatrana, pre svega, u odnosu na komponentu sigurnosti. Pouzdanost se nije razmatrala, jer JTM ima za cilj, pre svega, očuvanje kvaliteta usluge radi postizanja ekonomskih efekata. U OFTM to je komponenta otpornosti koja ima za cilj očuvanje kvaliteta usluge za rad u posebnim klimomehaničkim uslovima, pri čemu ekonomski efekti u proizvodnji i eksploataciji nisu presudni.

Prema tome, potreba izgradnje FTM postoji zbog toga što JTM ne može da ispuni sve bitne zahteve nekih korisnika. Svakako da se razlikuju zahtevi za mrežu za razne korisnike. To znači da JTM može, zavisno od korisnika, odnosno namene FTM, u manjoj ili većoj meri da ispuni zahteve koji se za nju postavljaju.

Vojska postavlja posebne zahteve koji se, pre svega, odnose na otpornost mreže, posebno na njenu komponentnu sigurnost, tako da je za njene potrebe nužna realizacija posebne mreže.

Koncepcija i sistemska arhitektura OFTM

Telekomunikaciona mreža kao deo globalnog sistema za razmenu informacija i podataka

Pretpostavlja se da je jedna od bitnih funkcija koja je svojstvena OFTM funkcija sigurnosti i da je za njenu realizaciju moguća primena savremenih tehnologija. Posmatraćemo OFTM kao deo jednog globalnog sistema u kojem se razmatraju informacije i podaci, a zatim utvrditi koncepciju i sistemska arhitekturu.

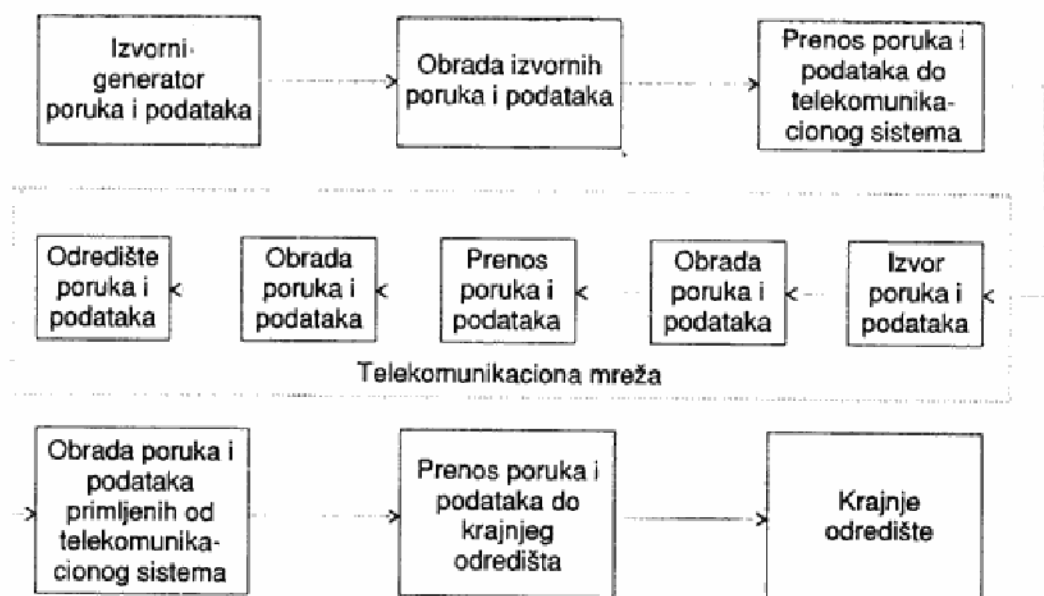
Ukupni globalni sistem za razmenu informacija organizacije koja je njegov vlasnik i korisnik i mesto OFTM u njemu (prikazani na slici 1), za potrebe našeg razmatranja podeljen je u dva dela. Jedan deo čini skup elemenata za izvorno generisanje poruka i podataka (poruka napisana na papiru u rukopisu ili na drugi način saopštena, izgovorena i sl.), za razne obrade izvornih poruka i podataka (kucanje, snimanje, bušenje papirne trake, obradu signala i dr.), za prenos do ulaza u telekomunikacioni sistem (diskete, papir, traka, kasetofon, skener, čitač papirne trake i dr.), za obradu poruka nakon prijema od telekomunikacionog sistema (štampanje, čitač papirne trake, obradu signala, snimanje magnetofonske trake i dr.) i prenos do krajnjeg odredišta koje je korisnik poruka ili podataka.

Drugi deo čine elementi telekomunikacionog sistema (mreže) koji imaju funkciju prenosa poruka i podataka kada su oni u obliku i na medijumu koji se može prenositi telekomunikacionim sredstvima. Elementi telekomunikacione mreže mogu se, s obzirom na obradu poruka i podataka, svrstati u četiri grupe: izvori (formiranje izvorne poruke za mrežu od poruka dobijenih od prvog dela globalnog sistema), obrada poruke za potrebe prenosa u raznim medijima za prenos, prenos i odredište mreže u kojem se poruka obrađuje i priprema za predaju prvom delu globalnog sistema.

Pregledni nacrt, (na slici 1), jeste opšti. U praksi je moguće da se ceo globalni sistem svede na telekomunikacioni sistem. To je slučaj kada se izvor i odredište svih informacija i podataka nalazi u elementima telekomunikacionog sistema.

Sa aspekta funkcija telekomunikacione mreže kao sistema, njeni elementi mogu se svrstati u sledeća četiri podsistema:

— pristupni podsistem koji obuhvata krajnje centrale sa učesničkim prenosnim putevima i u našem slučaju terminale;



Sl. 1 — Blok šema globalnog sistema za razmenu podataka i informacija

— komutacioni podsistem koji obuhvata skup komutacionih čvorišta sa pripadnim funkcijama koji realizuje usmeravanje informacionih tokova u datoj konfiguraciji mreže;

— podsistem prenosa koji obuhvata skup prenosnih puteva koji međusobno povezuju čvorove i čvorove sa elementima pristupnog podsistema i realizuje fizičke veze »od kraja do kraja«;

— upravljački podsistem koji obuhvata skup fizičko-programskih modula koji obezbeđuju optimalno korišćenje resursa mreže u realizaciji usluga korisnicima mreže za unapred zadate kriterijume optimalnosti.

Svrstavanje elemenata mreže u navedena četiri podsistema je poznato iz šire literature i dovoljno je uopšteno da vredi i za JTM i za OFTM. Nakon konkretizacije funkcija elemenata pojedinih podsistema, uzimajući u obzir zahteve funkcionalnosti OFTM, može se doći do konkretnih razlika između JTM i OFTM.

Koncepcija i sistemska arhitektura OFTM

Problematika otpornosti OFTM je relativno nova i nije sveobuhvatno razmatrana u literaturi, a o sigurnosti mreže kao bitnom elementu otpornosti se uopšte ne govori.

Iznalaženje mehanizama otpornosti mreže, analiza njihovih pozicija u mreži i doprinosa otpornosti izvršice se nakon postavljanja opšte podloge na kojoj je moguće tražiti odgovarajuća rešenja za mehanizme otpornosti i za postizanje željenog stepena otpornosti.

Za opštu podlogu uzeće se koncepcija i sistemska arhitektura OFTM. Treba ih postaviti tako da omoguće da sigurnost i upravljanje daju dominantan doprinos otpornosti mreže.

Koncepcija mreže sadrži osnovne postavke koje treba uvažavati u toku sinteze mreže. Te postavke treba da budu dovoljno opšte da omogućavaju izbor i dogradnju mehanizama

za povećanje otpornosti i da garantuju postizanje željenog nivoa otpornosti.

Osnovne konceptijske postavke su:

- što veći stepen raspodele resursa, funkcija podataka i upravljanja, uz uklanjanje ili smanjenje loših efekata prevelikog stepena raspodeljenosti;

- što veća prilagodljivost mreže u realnom vremenu;

- što veća modularnost fizičkih i programskih elemenata;

- što veća autonomnost, ali i međusobna kooperativnost sistemskih elemenata fizičkih i programskih modula;

- što veća fizička povezanost elemenata sistema i mogućnost međusobnog komuniciranja;

- sveobuhvatnost mehanizama zaštite.

Od navedenih postavki, ključni uticaj na stepen otpornosti ima stepen raspodeljenosti.

Sistemska arhitektura čine sistemski elementi mreže, njihovi međusobni odnosi i njihov odnos prema korisnicima.

Za sistemska arhitektura OFTM može se usvojiti arhitektura prikazana na slici 2 koja je formirana polazeći od opšte sistemske arhitekture ISDN prema CCITT preporukama i jednog viđenja sistemske arhitekture OFTM datog u [11]. Ovako integrisana arhitektura dopunjena je sa dva izuzetno značajna elementa, centrom za upravljanje radio-podsistemom i centrom za realizaciju i upravljanje zaštitom.

Osnova sistemske arhitekture na slici 2 je nehijerarhijska rešetka koju sačinjavaju mrežna čvorišta (NN), čiji način međusobnog povezivanja zavisi od procene saobraćaja i drugih zahteva (upravljanje, zaštita, signalizacija, prenosni sistem).

U mrežna čvorišta integrisane su signalne tačke (SP) za sistem signalizacije SS7 koji je pogodan za ugradnju elemenata otpornosti. Jedna od nužnih pretpostavki za korišćenje signalizacije SS7 jeste realizacija mrežnih čvorišta sa savremenim procesorskim tehnologijama.

Pristup rešetki mreže, odnosno mrežnim čvorištima, ostvaruje se pomoću lokalne centrale (LC) za stacionarne učesnike i radio-telefonskog koncentratora (RTK) za pokretne učesnike.

Preko pristupnih, lokalnih centrala usluge mreže koriste učesnici preko učesničkih terminala: digitalni telefon (DT), radio-telefon (RTF), univerzalni negovorni terminal (UNT) koji može biti familija terminala, digitalni faksimil (DF) i računar (R). Osim njih, to mogu biti i sve vrste terminala starije tehnološke generacije (LB telefon, analogni telefon, teleprinter i dr.).

Podsistem nadgledavanja i upravljanja mreže ima tri tipa elemenata: centar za nadzor i upravljanje (NCC), elemente i module za nadzor i upravljanje raspodeljene i integrisane u elemente mreže (DEC) i centar za upravljanje radio-podsistemom (CCR).

Zaštita se realizuje preko programskih modula i elemenata: centra za zaštitu i upravljanje zaštitom (SCC) i elementima i modulima za zaštitu i upravljanje zaštitom (DESC) koji su raspodeljeni u elemente mreže. Preko pristupnih centrala OFTM može se povezivati sa drugim FTM i JTM.

Učesnički priključak za računar (R) ujedno je i pristupna tačka za računarske sisteme i računarske mreže. To znači da se OFTM može koristiti kao telekomunikaciona podloga za povezivanje računara i računarskih mreža u najširem smislu.

Da bi se arhitektura kompletirala svakom elementu treba pridružiti poziciju u mreži, funkcije, povezanost sa ostalim elementima i sl., i to tako

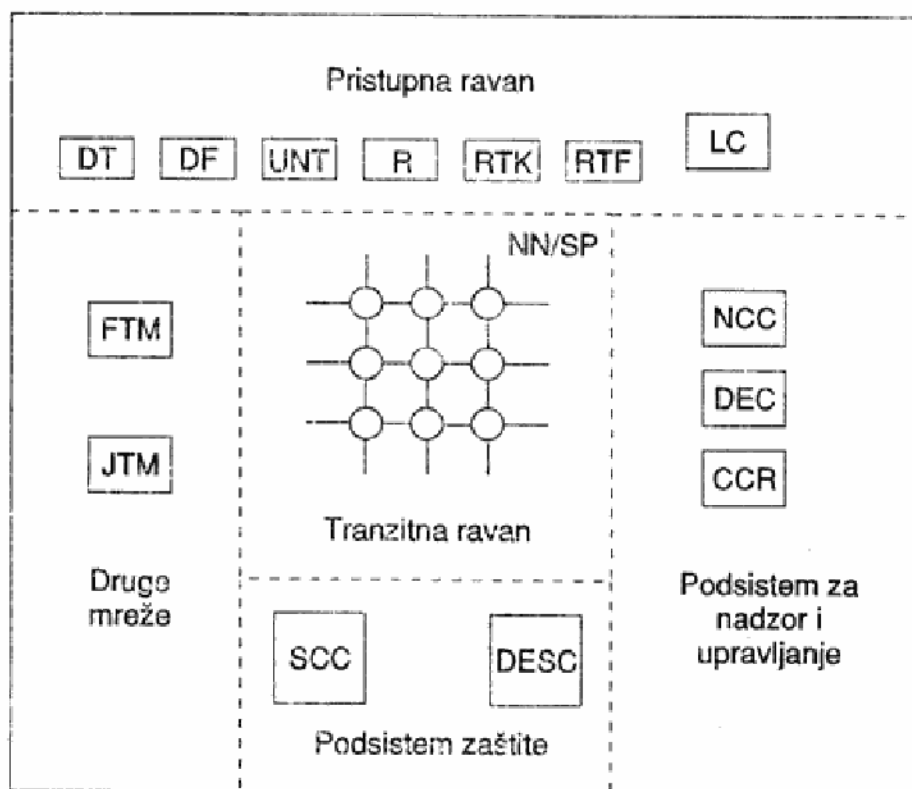
da se omogući realizacija rešenja upravljanja i zaštite koje će dati što veći doprinos otpornosti mreže.

Rešetka mreže, koja se u ovom slučaju može smatrati tranzitnom ravni mreže, osnova je mreže i najviše može doprineti ostvarivanju željenih karakteristika, samim tim i otpornosti mreže.

Prema tome, ključnu ulogu u ostvarivanju otpornosti FTM treba da ima tranzitna ravan. Funkcije i resursi mreže su tako raspoređeni da se najveći deo zahteva otpornosti OFTM re-

alizuje u tranzitnoj ravni u *mrežnom čvorištu*. U njemu se realizuju u celini ili u najvećem delu:

- komutiranje kanala i paketa;
- funkcije signalne mreže SS7, što je ujedno i signalna tačka i signalna transfer-tačka (STP) te mreže;
- specijalne usluge (npr. konferencija);
- funkcije nadzora i upravljanja u mreži i u njemu;
- funkcije zaštite sistema (mreže).



Sl. 2 — Sistemska arhitektura OFTM:

NN — mrežna čvorišta, SP — signalna tačka SS7, LC — lokalne centrale, DF — digitalni faksimil, DT — digitalni telefon, UNT — univerzalni govorni terminal, R — računar, RTK — radiotelefonski koncentrator, RTF — radio telefon, NCC — centar za nadzor upravljanja mrežom, DEC — raspodeljeni elementi i moduli upravljanja, CCR — centar za upravljanje radio vezama, SCC — centar za realizaciju i upravljanje zaštitom u sistemu, DESC — raspodeljeni elementi i moduli za realizaciju i upravljanje zaštitom, FTM — funkcionalna telekomunikaciona mreža, JTM — javna telekomunikaciona mreža

Sva mrežna čvorišta međusobno se povezuju informacionim i signalnim kanalima prema topologiji koja se odabira tako da se postigne željeni stepen otpornosti i efikasnosti mreže.

Doprinos otpornosti mreže postiže se:

- posedovanjem u mrežnom čvorištu funkcija mrežne i lokalne centrale. Kapacitet u odnosu na centrale JTM je znatno manji, ali se ugrađuje znatno jača procesorska snaga;

- visokim stepenom pouzdanosti svih elemenata, posebno vitalnih (procesori, komutacioni blok, napajanje i dr.);

- međusobnom povezanošću mrežnih čvorišta i mogućnošću preuzimanja određenih funkcija drugih mrežnih čvorišta (prenosa i smeštanja baze podataka o učesnicima, upravljanju, zaštiti i dr.);

- posedovanjem DEC i DESC i visokim stepenom autonomnosti u upravljanju i zaštiti nad učesnicima i uređajima za koje je po hijerarhiji nadležan;

- realizacijom pokretnih izvedbi sa mogućnostima jednostavne promene lokacije i priključivanja na mrežu (spajanje, registracija, punjenje podacima o učesnicima, upravljanje i zaštita).

Kod lokalne centrale, saglasno njenom mestu i ulozi u mreži, očekuje se manji udeo otpornosti nego kod mrežnog čvorišta, a doprinos otpornosti ostvaruje se:

- visokim stepenom autonomnosti u davanju usluga korisnicima orijentisanim na lokalnu komutaciju;

- mogućnošću lakog i jednostavnog priključenja na bilo koji mrežni čvor;

- pouzdanošću ugrađenih elemenata;

- delimičnom kontrolom intenziteta poziva;

— posedovanjem DEC i realizacijom funkcija nadzora i upravljanja i u dovoljnoj meri autonomnost u odnosu na ostale elemente podsistema nadzora i upravljanja.

Radio-telefonski koncentrator predstavlja baznu stanicu za priključak (vezu) pokretnih učesnika na mrežu. Osim toga, obezbeđuje lokalnu komutaciju pokretnih učesnika. U svom kompletu može imati i opremu za radio-izviđanje i prikupljanje podataka za podsistem za nadzor i upravljanje radio-saobraćaja.

Doprinos RTK otpornosti mreže sastoji se, pre svega u ukupnoj ulozi podsistema pokretnih učesnika u razmeni poruka u mreži.

Podsistem pokretnih učesnika OFTM poseduje sledeće tri funkcije preko kojih ostvaruje doprinos otpornosti:

- komuniciranje primenom frekventnog skakanja kojim se ostvaruje visoka otpornost na ometanje;

- zaštita prenosa u eteru;

- posedovanje DESC i autonomnost u realizaciji funkcija zaštite u održavanju veze sa pokretnim učesnicima i lokalnoj komutaciji.

Ove funkcije ne poseduje podsistem pokretnih učesnika JTM i one predstavljaju jednu od osnovnih razlika između JTM i OFTM.

Centar za nadzor i upravljanje mrežom (NCC), koji se u literaturi naziva i operativni centar mreže, realizuje funkcije nadzora, upravljanja i administracije u mreži.

Zbog relativno dugog vremena potrebnog za obradu podataka i veličinu memorijskog prostora potrebnog za smeštanje podataka o mreži opravdano je funkcije nadgledanja, upravljanja i operativno vođenje realizovati u NCC, jer nije svrsishodno da ostali elementi upravljanja poseduju te resurse.

Osnovne funkcije centra za nadzor i upravljanje mrežom su:

- nadgledanje rada cele mreže,
- prikupljanje podataka u okviru funkcije operativno vođenje,
- upravljanje mrežom nakon obrade podataka prikupljenih nadgledanjem.

NCC obavlja sve funkcije u saradnji sa DEC, SCC i DESC.

Doprinos otpornosti mreže ostvaruje se upravljanjem resursima mreže na osnovu podataka o celoj mreži. Posedovanje relevantnih podataka o celoj mreži omogućava određivanje prirode i težine nastalih problema i preduzimanje, na nivou mreže, optimalnih akcija upravljanja.

Međutim, NCC, u ratnim uslovima sa velikom verovatnoćom može biti uništen. Zbog toga je nužna raspodeljenost što većeg dela funkcija NCC na DEC, u slučaju njegovog otkaza ili uništenja, posebno za rad u ratnim uslovima.

Kod većih mreža, posebno JTM, problem raspodeljenosti svodi se na više NCC [12], i smanjenje uloge DEC. Moguća su takva rešenja i kod OFTM. Pozitivni efekti takvih rešenja su optimizacija saobraćaja prema NCC, smanjenje posledica uništenja NCC i njihova međusobna zamenjivost. Međutim, većom raspodelom na DEC još više se smanjuje saobraćaj potreban za upravljanje i, uz nalaženje adekvatnih algoritama upravljanja, postižu se veći efekti otpornosti, bez značajnijeg povećanja cene fizičkih modula, odnosno održavanja.

Distribuirani elementi upravljanja (DEC) mogu preuzeti sve lokalne funkcije upravljanja, nadgledavanja i administracije, ali i neke na nivou mreže. Njegov doprinos otpornosti mreže zavisi, pre svega, od toga koliko mrežnih funkcija nadgledanja i upravljanja se raspodeljuje od NCC na DEC, jer ove funkcije treba da se ostvaruju i nakon ispada NCC.

Centar za upravljanje radio-vezama (CCR) ima funkcije prikupljanja podataka radio-izviđanja za potrebe upravljanja radio-vezama, određivanja elemenata potrebnih za razmeštaj radio-uređaja i radnih frekvencija radio-uređaja. Od kvaliteta rešavanja ovih problema zavisi i doprinos CCR otpornosti mreže koji može biti značajan u podsistemu pokretnih učesnika.

Centar za realizaciju i upravljanje zaštitom u sistemu (SCC) može biti fizički uz NCC ili integrisan u njega. Sa aspekta otpornosti je bolje da je izdvojen iz NCC, jer za njegov rad nije nužan NCC i funkcionalno može biti autonoman. Fizički izdvojen SCC bitno više doprinosi otpornosti mreže nego u slučaju da je integrisan u elemente podistema za nadzor i upravljanje, jer nije vezan za lokaciju, može biti pokretljiv, a u mrežu se može uključiti na bilo kom mestu.

Stepen funkcionalne integracije SCC sa funkcijama PNU treba odrediti, pre svega, optimizacijom efikasnosti ukupnog upravljanja sistemom, cene, resursa za smeštaj podataka i doprinosa otpornosti. U literaturi su grubo definisane funkcije upravljanja zaštitom i predlaže se [13] centar za upravljanje ključevima, a ostalo upravljanje u sistemu posmatra se integralno.

Ukoliko se koristi simetričan sistem zaštite, neracionalno je imati poseban centar za upravljanje ključevima već se ta funkcija može raspodeliti u ostale elemente upravljanja sistemom i u centar za upravljanje zaštitom. Međutim, treba težiti, u određenoj meri, funkcionalnoj integraciji zaštite u podsystem za nadzor i upravljanje (PNU), posebno funkcija upravljanja zaštitom, što u realizaciji izdvojenog SCC treba uzeti u obzir.

Osnovne funkcije SCC su:

- prikupljanje podataka o stanju i realizaciji funkcija zaštite u mreži;

— administracija podataka veza-
nih za zaštitu u celoj mreži;

— upravljanje funkcijama zaštite
na nivou mreže;

— generisanje i dostavljanje po-
dataka potrebnih za funkcije zaštite
u mreži.

Najveći deo doprinosa otpornosti
mreže se ostvaruje kroz integraciju sa
funkcijama PNU i to, pre svega, koje
se odnose na:

— kontrolu pristupa mreži,

— kontrolu integriteta poruke i
saobraćaja,

• — zaštitu saobraćaja u okviru
PNU,

— funkciju i podatke potrebne za
komunikaciju u radio saobraćaju sa
frekventnim skakanjem.

Raspodeljeni elementi za realiza-
ciju i upravljanje zaštitom (DESC) re-
alizuju raspodeljene funkcije zaštite u
mreži i u lokalnu. U slučaju ispada SCC,
deo njegovih funkcija koje obezbeđu-
ju realizaciju svih funkcija zaštite, pri-
vremeno do uključanja rezervnog SCC,
preuzimaju DESC, tako da se, uz po-
većanje složenosti organizacije poslu-
živanja uređaja i povećanje vremena
za neke funkcije, omogućava izvršenje
svih funkcija zaštite, što je glavni do-
prinos DESC otpornosti mreže.

OFTM moraju imati mogućnost
komuniciranja sa drugim FTM i JTM,
ali pod uslovom da njihov priključak
ne smanjuje znatno postignutu otpor-
nost. Jedan deo navedenih zahteva i
pristupa za obezbeđenje otpornosti
FTM realizovan je u postojećim ino-
stranim rešenjima FTM (PTARMIN-
GAN, RITA, DELTAMOBILE, STK i
dr.).

Zaključak

Neki korisnici, kao što su državni
organi, veliki industrijski kompleksi,
banke, posebno vojska, postavljaju
pred telekomunikacione mreže bitne
zahteve koji se ne postavljaju pred ja-
vne telekomunikacione mreže. Javne
telekomunikacione mreže, i pored tre-
nda razvoja koji uključuje savremene
telekomunikacione tehnologije, sada i
u doglednoj perspektivi ne mogu is-
puniti te specifične zahteve.

Zbog toga je za takve korisnike,
posebno za vojsku, čiji su zahtevi naj-
složeniji, nužno realizovati posebne te-
lekomunikacione mreže, tzv. funkcio-
nalne telekomunikacione mreže. Jedna
od specifičnih komponenti koju zahte-
va vojska jeste otpornost (žilavost)
mreže, što javne telekomunikacione
mreže ne mogu ostvariti u odgovara-
jućem stepenu, čak ni dogradnjom.

Dominantan doprinos postizanju
visokog stepena otpornosti u uslovima
korišćenja u vojsci ostvaruje se preko
komponenata sigurnosti i upravljanja.
Zahtevi za obe komponente koje voj-
ska postavlja ne mogu se ostvariti u
javnoj telekomunikacionoj mreži.

Poseban elemenat za postizanje
otpornosti jeste mobilnost elemenata
mreže. Poslednja ratna dejstva na pro-
storima prethodne Jugoslavije nedvo-
smisleno potvrđuju da u današnjim
uslovima ratovanja očuvanje sistema
veza ima izgleda samo ako se u njega
ugrade jake komponente mobilnosti i
sigurnosti.

Javne telekomunikacione mreže
mogu se u određenim uslovima i seg-
mentima koristiti kao podrška ili te-
lekomunikaciona infrastruktura za ot-
porne funkcionalne telekomunikacione
mreže.

Literatura:

- [1] Sable, E. G., Kettler, H. W.: Intelligent network directions, AT&T Technical Journal, vol. 70, No 3-4, 1991.
- [2] Wyatt, G. T.: The Evaluation of Global Intelligent network architecture, AT&T, Technical Journal, vol. 70, No 3-4, 1991.
- [3] Russo, E. G., ... Intelligent network platforms in the U.S., AT&T Technical Journal, vol. 70, No 3-4, 1991.
- [4] Dudnika, B.: Nadežnost i živuće sistem svjazi, Moskva, Radio i svjaz, 1984.
- [5] McCarty, E. J.: Setting a Bloking Standard for Designing Survivable Networks, ITC-12, Torino, 1988.
- [6] Anderson, T., Kright, C.: A Framework for software Fault Tolerance in Real Time systems, IEEE Trans. on Software Engineering, vol. SE-9, may, 1983.
- [7] Ossfeld, E.: Maintaing Permanent and Temporary Faults in a Communications Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-4, No 4, oct. 1986.
- [8] Stanković, J.: A Perspective on Distributed Computer Systems, IEEE Trans. on Computers, vol. C-33, No 12, Dec. 1984.
- [9] International Standard ISO-7498-2, Security Arctecture.
- [10] Pavlić, M.: Sistem analiza i modelliranje podataka, Naučna knjiga, 1990.
- [11] Strelec, B.: Arhitektura otpornih funkcijskih telekomunikacionih mreža, JUTEL 88, Ljubljana.
- [12] Medden, R. W.: Operating a network management centre, Telecommunication Journal, vol. 51, mart 1984.
- [13] Bennett, C. K.: The Secure Data Network System, Defense Electronics, june, 1983.

Mr Milorad Opsenica,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

PRETICANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE

UDC: 656.13.052.48

Rezime:

Vojnu motorizovanu kolonu na putnoj mreži gotovo redovno pretiču ostala vozila u saobraćaju. U ovom radu sagledan je proces preticanja kolone pojedinačnim vozilom. Izložen je uprošćen matematički model za utvrđivanje vremenskih gubitaka u toku preticanja. Posebno je istaknut značaj odgovarajuće brzine kretanja kolone za efikasno preticanje.

Ključne reči: preticanje, vojna motorizovana kolona, vremenski gubici.

OVERTAKING A MILITARY MOTORIZED COLUMN

Summary:

The problem of overtaking a military motorized column on roads occurs as a rule. An appear military queue motorized on road network it to comes in sight ordinarily overtaking problem the same of the others vehicles in traffic flow. The overtaking of a military motorized column by an individual vehicle is presented in the paper. The simplified mathematical model for time delay during overtaking period is discussed. The importance of column speed for the effective overtaking is particularly stressed.

Key words: overtaking, military motorized column, delay.

Uvod

Veliki broj transportnih potreba oružanih snaga u mirnodopskom periodu obavlja se organizovanjem kolonskog saobraćaja. Vojne motorizovane kolone u uslovima otvorenog saobraćaja svojim prisustvom na određenoj mreži znatno utiču na stanje saobraćajnih tokova. Za razliku od slobodnog saobraćajnog toka, kretanje vojne motorizovane kolone uglavnom je određeno relativno fiksnim parametrima. To je određena brzina kretanja kolone, odnosno odstojanje među vozilima ili marševskim formacijama. S obzirom na to da su planske brzine kreta-

nja vojnih motorizovanih kolona, za date uslove puta i saobraćaja, redovno niže od brzina kretanja vozila u slobodnom toku, javlja se potreba za preticanjem vojne motorizovane kolone.

Ovaj rad temelji se na determinističkom pristupu problemu preticanja, primenjenom na specifične uslove, tj. pojavu kolone u saobraćaju.

S obzirom na to da se i u uslovima slobodnog saobraćajnog toka ponekad formiraju kolonski oblici kretanja, rezultati ovog rada mogu se, uz odgovarajuće modifikacije, iskoristiti i u tu svrhu. Konkretno, u radu su sagledani opšti uslovi preticanja vojne

motorizovane kolone, analizirani su preticanje kolone pojedinačnim vozilom i vremenski gubici u toku procesa preticanja.

Opšti uslovi preticanja kolone vozila

Vojnu motorizovanu kolonu u toku kretanja posebno karakteriše relativno nepromenjena brzina kretanja i međusobno odstojanje između vozila, odnosno formacija ukoliko se radi o diskontinualnoj vojnoj motorizovanoj koloni. U poređenju sa istim karakteristikama slobodnog saobraćajnog toka, brzina kretanja je manja, a odstojanja među vozilima u koloni su određena dok su u slučaju slobodnog toka obe veličine stohastičkog karaktera. Prema tome, pojava vojne motorizovane kolone na putnoj mreži znatno će uticati na uslove kretanja ostalih učesnika, a naročito na tok vozila koji se kreće u istom smeru.

Na proces preticanja kolone pored putnih, vremenskih i ostalih saobraćajnih uslova naročito utiču sledeći faktori:

- brzina kretanja kolone V_k ,
- dužina kolone D_k ,
- obim saobraćaja iz suprotnog smera q_s .

Pod brzinom kretanja kolone u ovom radu se podrazumeva brzina kretanja vojne motorizovane kolone (V_k) koja je regulisana pravilom za određene uslove (tabela 1).

Kolona svojom dužinom utiče na proces preticanja tako što u određenom vremenu zauzima odsečak puta u smeru kretanja, prisiljavajući vozila koja je pretiču na korišćenje druge saobraćajne površine (uglavnom se radi o traci za kretanje iz suprotnog smera). Dužina kolone zavisi od broja vozila (N), dužine vozila u koloni (l_v), odstojanja između vozila (l_n), organizacije kolone (kontinualna-diskontinualna), odnosno stepena diskontinuiteta.

Tabela 1

Pregled orijentacionih planskih brzina kretanja vojne motorizovane kolone (km/h)

Vrsta puta	Danju		Noću			
			Sa svetlima		Bez svetala	
	Točkaši	Gusenič.	Točkaši	Gusenič.	Točkaši	Gusenič.
Auto-put i put rezervisan za automobilski saobraćaj	50	—	40	—	25	—
Put sa savremenom podlogom	40	—	30	—	20	—
Put sa osavremenjenom podlogom	30	—	20	—	15	—
Šljunčani put	25	20	20	15	10	12
Zemljani put	15	12	15	12	12	10

ta (jednostepena, dvostepena ili trostepena).

Za kontinualnu kolonu dužina D_k iznosi:

$$D_k = (N-1)l_p + l_v \quad (1)$$

gde je:

D_k — dužina kolone (m),

N — broj vozila u koloni,

l_p — proračunsko odstojanje između vozila ($l_p = l_n + l_v$) (m),

l_n — neto odstojanje između vozila (m),

l_v — prosečna dužina vozila (m).

• Za diskontinualnu n -stepenu kolonu sa identičnim marševskim formacijama, dužina je:

$$D_k = Nl_v + (N-m)l_n + (m-p)L_m + (p-e)L_p + (e-l)L_e \quad (2)$$

gde je:

m — broj marševskih elemenata,

p — broj podešelona,

e — broj ešelona,

L_m — odstojanje između marševskih elemenata (m),

L_p — odstojanje između podešelona (m),

L_e — odstojanje između ešelona (m),

l_n — odstojanje između vozila u formaciji (m).

Sastav kolone se na proces preticanja prvenstveno odražava kroz brzinu kretanja (dinamičke karakteristike vozila), ali i kroz druge specifične uticaje, kao što su gabaritne karakteristike vozila i sl.

Veličina protoka iz suprotnog smera uslovljava proces preticanja kolone, što se konačno odražava na broj odustajanja od preticanja, broj ulazaka u kolonu za vreme preticanja, odnosno kretanje iza kolone.

Put sa svojim karakteristikama i specifičnim objektima i u uslovima nekolonskog kretanja na pojedinim odsečcima onemogućuje preticanje, što se pojavom vojne motorizovane kolone znatno usložava. Isto tako, specifični vremenski uslovi (doba dana, atmosfere pojave, i sl.), u sprezi sa pojavom kolone, izrazitije utiču na proces preticanja.

Ostali saobraćajni uslovi, najčešće u vidu raznih normativnih rešenja, kao što su zabrane preticanja, prioriteta, i sl. takođe značajno utiču na mogućnost, odnosno proces preticanja vojne motorizovane kolone.

Analiza preticanja kolone pojedinačnim vozilom

Radi sagledavanja preticanja kolone pojedinačnim vozilom koje sustiže kolonu, dopustivo je poslužiti se sledećim pretpostavkama:

— vozilo sustiže kolonu brzinom V_o ,

— kolona se kreće brzinom V_k ,

— protok iz suprotnog smera je q ,

— putni, vremenski i ostali saobraćajni uslovi omogućuju preticanje,

— put je dvosmerni sa dve saobraćajne trake širine B .

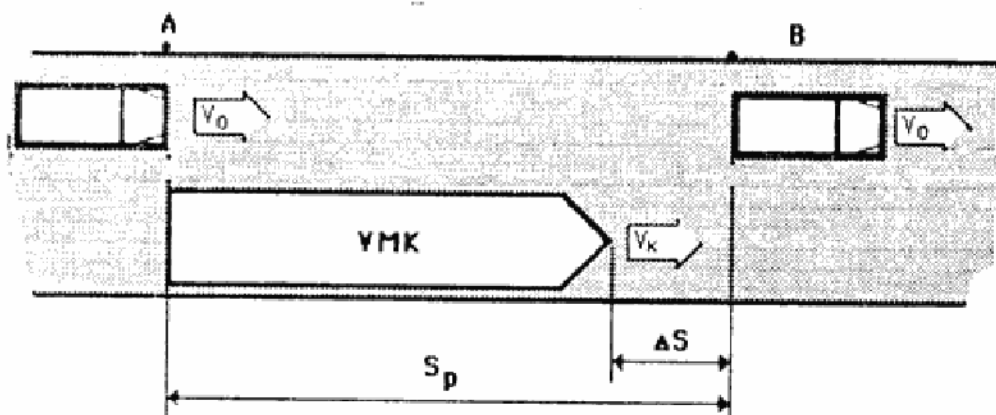
Radi li se o kontinualnoj koloni i uvažavajući uvedene pretpostavke, može se posmatrati preticanje kolone u vremenu (sl. 1).

Pogodno je odrediti vreme Δt za koje će vozilo preteći celu kolonu pod pretpostavkom nepostojanja protoka iz suprotnog smera ($q=0$).

Iz uslova $\Delta t = S_p/V_o$ i

$\Delta t = \Delta S/V_k$ sledi da je

$S_p/V_o = \Delta S/V_k$.



Sl. 1 — Preticanje kontinualne kolone

Prema slici 1, očito da je

$$S_p = D_k + \Delta S.$$

Proizilazi da je

$$D_k/V_0 = \Delta S(1/V_k + 1/V_0). \quad (3)$$

Kako je $\Delta S = V_k \Delta t$, dobije se:

$$D_k/V_0 = V_k \Delta t(1/V_k + 1/V_0) \quad (4)$$

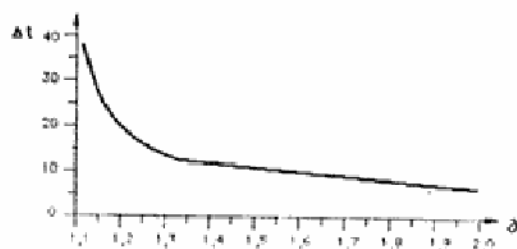
odakle sledi da je:

$$\Delta t = D_k/(V_0 - V_k) \text{ (s) za } V_0 > V_k \quad (5)$$

Definiše li se odnos $V_0/V_k = \delta$, tada je

$$\Delta t = [D_k/V_k] [1/(\delta - 1)]. \quad (6)$$

Ilustracija prethodnog obrasca prikazana je na slici 2, gde je odgovarajućim dijagramom data zavisnost vremena preticanja kolone od odnosa brzina V_0 i V_k , korišćenjem realnih vrednosti za pomenute veličine.



Sl. 2 — Dijagram zavisnosti vremena preticanja kolone od odnosa brzina V_0 i V_k

Sa dijagrama na slici 2 vidi se da je vreme preticanja kolone eksponencijalno raspodeljeno u zavisnosti od odnosa brzina preticanja i brzine kretanja kolone. Uočava se da najbrže opada vreme preticanja u području odnosa brzina $\delta = 1,1$ do $2,0$. To ukazuje da dalje povećanje tog odnosa ne donosi vremensku korist dok se istovremeno znatno ugrožava bezbednost kretanja.

Postojanjem saobraćajnog toka iz suprotnog smera (q_s) skraćuje se raspoloživo vreme za preticanje, pa je vozilo primorano da nakon izvesnog vremena (Δt) uđe u kolonu i propusti vozila iz suprotnog smera. To vreme Δt , uz uslov da je ono veće od vremena potrebnog za preticanje bar jednog vozila iz kolone, može se matematički uprostiti na:

$$\Delta t = 1/q_s \text{ (s)}. \quad (7)$$

Prema tome, deo dužine kolone koji vozilo pretekne u tom raspoloživom vremenu iznosi:

$$\Delta D_k = (V_0 - V_k) \Delta t \text{ (m)} \quad (8)$$

odnosno

$$\Delta D_k = (V_0 - V_k)/q_s \text{ (m)}. \quad (9)$$

Iz prethodnog obrasca dobija se broj potrebnih parcijalnih preticanja da bi se pretekla cela kolona:

$$n_p = D_k / \Delta D_k = (D_k q_s) / (V_o - V_k) \quad (10)$$

S obzirom na to da je dužina kolone u funkciji brzine kretanja kolone (preko odstojanja među vozilima), to je $D_k = (N-1) l_p + l_v$, a odstojanje između vozila l_n , koje, prema modelu realnog bezbednosnog odstojanja, iznosi:

$$l_n = V_{kt} + V_k^2 / [2 g (\mu \cos \beta + \sin \beta)] + l_{ks} \text{ (m)}, \quad (11)$$

gde je:

- V_k — planska brzina kretanja kolone (ms^{-1}),
- t_r — vreme reakcije sistema vozač-vozilo (s),
- g — gravitaciono ubrzanje (ms^{-2}),
- μ — koeficijent prijanjanja oboda točka o podlogu,
- β — uzdužni nagib puta (rad),
- l_{ks} — bezbedno odstojanje vozila u mestu (m).

Prema tome, potreban broj parcijalnih preticanja iznosi:

$$n_p = q_s [(N-1)(l_n + l_v) + l_v] / (V_o - V_k) \quad (12)$$

Broj vozila iz kolone koji se pretekne u jednom parcijalnom preticanju određen je sledećim relacijama:

$$\Delta N = \Delta D_k g_k = g_k [(V_o - V_k) / q_s] \quad (13)$$

gde je:

- g_k — gustina vozila u koloni (voz. m^{-1}),
- q_s — protok vozila iz suprotnog smeru (voz. s^{-1}),

Uvođenjem zamena:

$q_k = g_k V_k$ i $V_o / V_k = \partial$, dobije se:

$$\Delta N = (q_k / q_s) (\partial - 1) \quad (14)$$

gde je:

- q_k — protok vozila kolone (voz. s^{-1}),
- q_s — protok vozila iz suprotnog smeru (voz. s^{-1}),
- ∂ — odnos brzina V_o i V_k .

Izraz za broj vozila koja se preteknu u jednom parcijalnom preticanju može se napisati i kao:

$$\begin{aligned} \Delta N &= (V_k g_k / q_s) [(V_o / V_k) - 1] = \\ &= (V_o g_k / q_s) - (V_k g_k / q_s), \text{ odnosno,} \\ \Delta N &= (l / q_s) [(V_o g_k) - (V_k g_k)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Za specijalne slučajeve dobije se:

$V_k = 0$, $\Delta N = V_o g_k / q_s$ — kolona stoji, tj. preticanje postaje obilaženje,

$V_k = V_o$, $\Delta N = 0$ — vozilo se kreće istom brzinom kao i kolona.

Analiza vremenskih gubitaka u toku preticanja

U toku procesa preticanja vojne motorizovane kolone, vozila koja pretiču, u više navrata (tj. n_p -navrata) kreću se brzinom kretanja kolone V_k . To dovodi do većeg utroška vremena po jedinici puta, odnosno smanjuje prosečnu brzinu kretanja, a ima i odgovarajuću troškovnu, odnosno ekonomsku posledicu.

Pogodno je razmotriti elementarni događaj preticanja u vremenu, uz realno dopustiva pojednostavljenja:

— kolona se kreće konstantnom brzinom ($V_k = \text{const.}$),

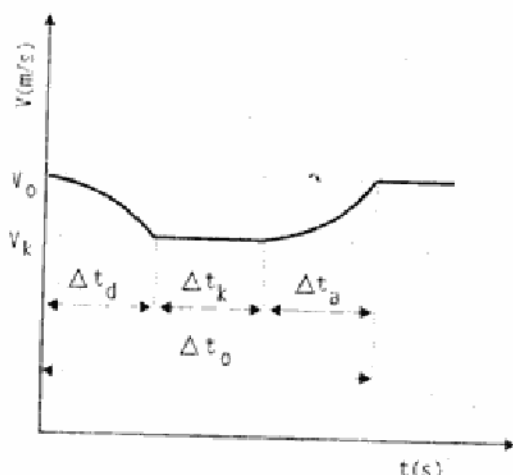
— ubrzanje (usporenje) pri promenama brzine pretičućeg vozila su konstantna ($a = \text{const.}$),

— pretičuće vozilo efektivno pretiće brzinom V_o .

Uz ovako definisane uslove, pri jednom parcijalnom preticanju pretičućeg vozila, prema slici 3, raspoloži-

vo vreme za preticanje sadrži sledeća parcijalna vremena:

Δt_0 — ukupno vreme za koje se pretičuće vozilo kreće brzinom $V < V_0$,



Sl. 3 — Promena brzine pretičuće vozila

Δt_d — vreme usporenja sa vrednosti V_0 na V_k ,

Δt_k — vreme kretanja brzinom V_k (kretanje u koloni),

Δt_a — vreme ubrzanja sa vrednosti V_k na V_0 .

Očito vredi da je

$$\Delta t_0 = \Delta t_d + \Delta t_k + \Delta t_a \quad (16)$$

S obzirom na to da pretičuće vozilo pri svakom parcijalnom preticanju vreme Δt_0 ne koristi za efektivno preticanje, potrebno ga je oduzeti od raspoloživog vremena za parcijalno preticanje (Δt). Tako se dobija stvarno raspoloživo vreme za parcijalno preticanje (Δt_s):

$$\Delta t_s = \Delta t - \Delta t_0 = (l/q_s) - \Delta t_0 \quad (17)$$

Deo dužine kolone, koji se može preteći za stvarno raspoloživo vreme, ΔD_{ks} je:

$$\Delta D_{ks} = (V_0 - V_k) \Delta t_s = (V_0 - V_k) [(l/q_s) - \Delta t_0] \quad (18)$$

Ovaj deo dužine kolone može se izraziti i brojem vozila i gustinom vozila u koloni:

$$\Delta N_s = \Delta D_{ks} g_k \quad (\text{pretečenih vozila}). \quad (19)$$

Sada potreban broj parcijalnih preticanja, da bi se pretekla cela vojna motorizovana kolona, iznosi:

$$n_{ps} = N / \Delta N_s. \quad (20)$$

Ukupno vreme koje vozilo pri procesu preticanja kolone ne koristi za efektivno preticanje, iznosi:

$$T_u = n_{ps} \Delta t_0 \quad (s). \quad (21)$$

Sukcesivnim zamenama iz obraza 17, 18, 19 i 20 i uvažavajući relaciju da je dubina kolone definisana kao $D_k = (N-1) l_p + l_v$, dobija se pogodan obrazac za izračunavanje ukupno »izgubljenog« vremena. Za specijalne slučajeve dobija se:

— $V_k = 0$ (kolona stoji, preticanje postaje obilaženje):

$$T_u = [\Delta t_0 N (l_k + l_v)] / V_0 [(l/q_s) - \Delta t]$$

— $V_0 = V_k$ (iste brzine pretičuće i vozila iz kolone):

$$T_u = \infty$$

— $l/q_s = \Delta t_0$ (interval sleđenja vozila toka iz suprotnog smera jednak je raspoloživom vremenu za preticanje):

$$T_u = \infty$$

Pogodno je analizirati zavisnost izgubljenog vremena T_u i međusobnog odnosa brzina V_0 i V_k . Na slici 4 prikazan je dijagram izrađen na osnovu sledećih uslova:

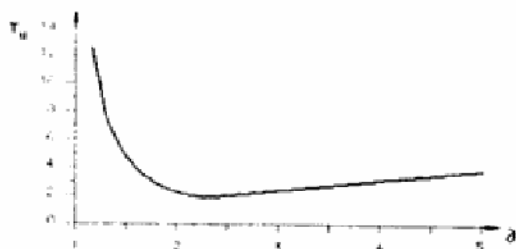
$N = 60$ vozila u koloni,

$V_k = 10 \text{ ms}^{-1}$ (36 km/h), zadata brzina kretanja kolone,

$l_v = 7 \text{ m}$, prosečna dužina vozila iz sastava kolone,

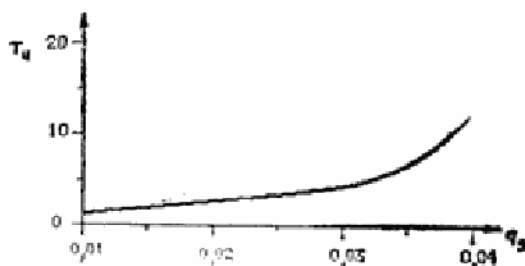
$q_s = 0,02 \text{ voz. s}^{-1}$ (72 voz/h), protok iz suprotnog smera.

Sa dijagrama na slici 4 uočava se područje minimalnih vremenskih gubitaka u procesu preticanja vojne motorizovane kolone. Ono se kreće od $\delta = 2$ do $\delta = 3$.



Sl. 4 — Dijagram zavisnosti vremena T_u od odnosa brzina V_o i V_k

Dakle, uz minimalne vremenske gubitke, odnosno najpovoljniji odnos brzina V_o i V_k , koji se kreće oko 2,5 zanimljivo je uočiti zavisnost gubitaka od veličine protoka iz suprotnog smera. Na slici 5 ta zavisnost je prikazana za realno pretpostavljene veličine protoka.



Sl. 5 — Dijagram zavisnosti vremena T_u od veličine protoka iz suprotnog smera u slučaju najpovoljnijeg odnosa brzina V_o i V_k

Očigledan je znatan porast vremena T_u sa porastom veličine protoka iz suprotnog smera, što ukazuje na potrebu usklađivanja vremena kretanja vojnih motorizovanih kolona (uvek kada je to moguće) sa vremenskim neravnomernostima ostalog saobraćaja na mreži.

Zaključak

Spoznaje do kojih se došlo u ovom radu korisne su za učesnike u slobodnom saobraćajnom toku i za organizatore, odnosno realizatore vojnog kolonskog saobraćaja.

S obzirom na to da strukture koje planiraju i organizuju vojno kolonsko kretanje određuju parametre kretanja vojnih motorizovanih kolona, naročito brzinu kretanja vojne motorizovane kolone V_k , a nemaju uticaja na stanje slobodnog saobraćajnog toka, to se vremenske, a time i materijalne uštede mogu ostvariti adekvatnim odabirom brzina kretanja vojne motorizovane kolone u konkretnim uslovima.

Kao što je pokazano, minimalni vremenski gubici u procesu preticanja vojne motorizovane kolone ostvaruju se pri određenom odnosu brzina slobodnog saobraćajnog toka i brzine vojne motorizovane kolone ($\delta = 2-3$), što može biti jedan od važnih kriterijuma pri izboru brzina kretanja vojne motorizovane kolone.

S druge strane, vremenski gubici rastu sa porastom protoka iz suprotnog smera, što ukazuje na obavezu struktura koje planiraju i organizuju vojna kolonska kretanja da posvete dužnu pažnju vremenskim neravnomernostima u saobraćaju karakterističnim za konkretnu putnu mrežu.

Literatura:

- [1] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učešćem vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTS KoV, Zagreb, 1988.
- [2] Jovanović, G.: Putni saobraćaj, lekcija, CVTS KoV, Zagreb, 1986.
- [3] Dragač, R.: Bezbednost saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1983.
- [4] Begma, I. V., Gavrilov, E. V., Kaluškiy, J. A.: Uticaj psihofiziologije vozača na projektiranje cesta, prevod, TSC KoV, Zagreb, 1979.

Mr Mirko Borisov,
major, dipl. inž.
Vojnogeografski institut VJ,
Beograd

PRVA DIGITALNA GEOGRAFSKA KARTA IZRAĐENA U VOJNOGEOGRAFSKOM INSTITUTU

UDC: 528.921(497.1):65.011.56

Rezime:

U ovom radu prikazana je prva digitalna geografska karta koja je izrađena u Vojnogeografskom institutu. Ona pokriva teritoriju Savezne Republike Jugoslavije i bliže okruženje. Projekat je zaokružen na nivou geometrijskih i kartografskih primitiva razvrstanih u niz zasebnih datoteka u skladu sa tematikom koju prikazuje. U radu su iznete neke osnovne karakteristike karte i perspektive daljeg razvoja.

Ključne reči: digitalna karta, baza podataka, vektorski i rasterski podaci.

THE FIRST DIGITAL GEOGRAPHY MAP

Summary:

This paper presents the first digital geography map which has been made in the Military Geographic Institute. It covers territory of the Federal Republic Yugoslavia and near environment. The project has been finished to the level of geometric and cartographic primitives which are separated in several files depending on thematic information. The text gives some basic characteristics of the map and the perspective of the future development.

Key words: digital map, database, vector and raster data.

Uvod

Razvojem računarske tehnologije na području izrade geografskih karata čine se temeljni zaokreti. Primena automatizacije u kartografiji naročito je važna, jer je proces izrade karte složen i vrlo dug, pa su mnoge karte u trenutku izlaženja iz štampe već zastarele. Pored toga, u današnje vreme postoje sve veće potrebe da grafički podaci u analognom obliku dobiju tzv. digitalnu formu. Računarska grafika, u principu, podržava dva osnovna sistema: rasterski i vektorski. Kod rasterskog sistema ćelija je osnovna jedinica kojom se predstavlja

položajni podaci. Za razliku od tačke kao osnovne jedinice vektorskog sistema, ćelija predstavlja površinsku jedinicu. Neke operacije i mogućnosti pri obradi i upotrebi podataka mogu biti jednostavnije i efikasnije na rasterskom (skenirana karta), a druge na vektorskom nivou (digitalna karta).

Jedna takva karta iz grupe digitalnih, preciznije vektorskih proizvoda, upravo je napravljena u Vojnogeografskom institutu. To je opšta geografska karta Savezne Republike Jugoslavije razmere 1:1 000 000.

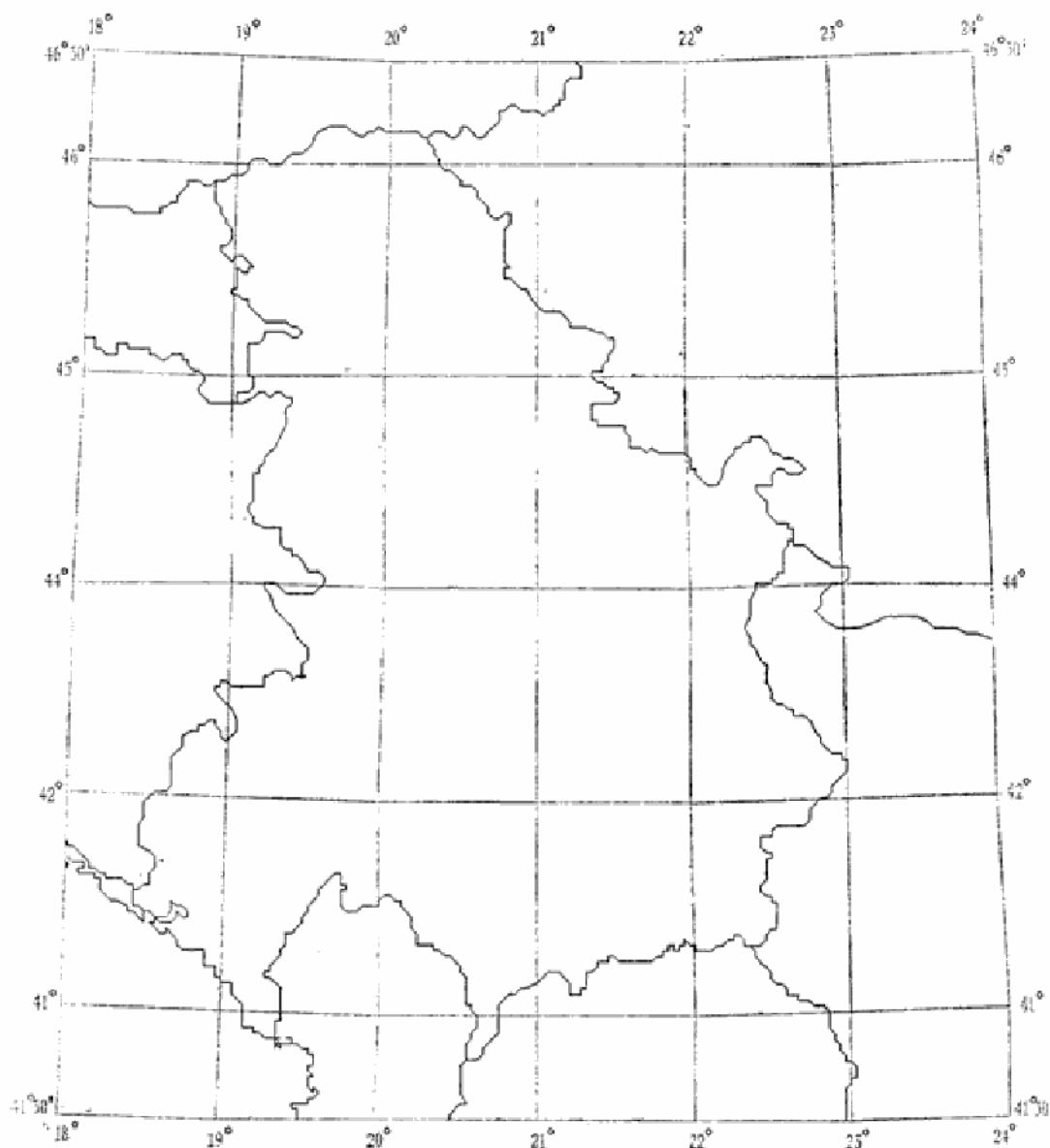
Cilj rada je da predoči neke mogućnosti korišćenja digitalne karte u rešavanju mnogobrojnih i raznovrsnih zadataka.

Komponente i elementi geografske karte

Pri izradi projekta geografske karte pošlo se od osnovnih faktora koji najviše utiču na njenu strukturu, a to su: namena karte, razmera i teritorija kartiranja.

Na osnovu specifičnosti sadržaja geografska karta Savezne Republike

Jugoslavije, razmere 1:1 000 000, spada u grupu opštegeografskih karata, a namenjena je širem krugu korisnika. Izabrana razmera karte pruža dobru osnovu za planiranje razvoja zemlje na globalnom nivou. Istovremeno, ona zadovoljava strategijski nivo komandovanja oružanim snagama. Teritorija kartiranja obuhvata od 18° do 24° istočne geografske dužine i od 41°30'



Geografska teritorija kartiranja SR Jugoslavije

do 46°30' severne geografske širine, što čini 6° po geografskoj dužini i 5° po geografskoj širini. Time je pokrivena celokupna državna teritorija i bliže okruženje.

Polazeći od pojma geografske karte, kao matematički konstruisane i grafički uopštene slike Zemljine površine u ravni, očigledno je da se karta može posmatrati kroz dve osnovne komponente: matematičku i geografsku.

Matematički postupak za prikaz fizičke površi Zemlje na ravan karte ima dve faze. U prvoj se fizička površ Zemlje projektuje ortogonalno na geoid, koji je nešto jednostavnijeg oblika od fizičkog oblika Zemlje. Kako se geoid ne može smatrati analitički određenim geometrijskim telom, zamenjuje se elipsoidom kao matematički definisanom površi (Beselov elipsoid). U drugoj fazi obavlja se preslikavanje dela površi elipsoida na ravan. Taj prelaz se izvodi odgovarajućom kartografskom projekcijom. U slučaju karte 1:1 000 000 to je Lambertova konformna konusna projekcija. Tako se utvrđuje funkcionalna zavisnost između tačaka na elipsoidu i odgovarajućih tačaka na listu karte.

Pored razmere, elipsoida i projekcije, matematičku komponentu geografske karte Savezne Republike Jugoslavije, čine sledeći elementi:

- mreža meridijana i paralela,
- početni meridijan (Grinič),
- okvir lista karte.

Geografsku komponentu karte čini geografski sadržaj, koji je skup svih podataka izloženih na karti i predstavlja geografsku stvarnost zahvaćene teritorije. Da bi se bolje ilustrovala transformacija geografske stvarnosti u geografski sadržaj karte, može se iskoristiti odgovarajuća terminologija iz matematičke analize. Geografska stvarnost teritorije je izučavana i izvršena je »diferencijacija« sadržaja na pojedine činioce koji su nazvani geo-

grafskim elementima. Geografski elementi karte Savezne Republike Jugoslavije su:

- hidrografija,
- reljef,
- naselja,
- komunikacije i objekti na njima,
- granice,
- značajniji objekti van naselja i komunikacija,
- geografski nazivi, natpisi i brojčano-slovni podaci.

Proučavanjem geografskih elemenata, zatim njihovim klasifikovanjem, odabiranjem, uopštavanjem i unošenjem na kartu u vidu uslovnih znakova dobijen je geografski sadržaj karte. »Integracijom« geografskih elemenata nije postignut ekvivalent geografske stvarnosti već samo njena bliža aproksimacija.

Način izrade digitalne karte

Za izradu geografske karte na raspolaganju je bila računarska oprema i softver firme »INTERGRAPH«, pod operativnim sistemom UNIX. Hardversku osnovu je činila lokalna računarska mreža koja povezuje grafičke radne stanice i ulazno-izlazne uređaje (skener-fotoploter, digitajzer, elektrostatički ploter, laserski i kolor štampač).

Pri obradi informacija u digitalnom obliku korišćeni su softveri za:

- grafičku obradu (MicroStation 32),
- obradu rasterskih i vektorskih podataka (IRAS32 i IVEC),
- kartografsko izdavaštvo (Map-Publisher).

S obzirom na to da nije postojao kvalitetan i ažuran kartografski materijal u izabranoj razmeri (1:1 000 000) podatke je trebalo preuzeti sa kartografskih izvora krupnije razmere (pre-

glednotopografska karta 1:500 000), što je predstavljalo odrađivanje kompletne procedure kartografskog generalisanja.

Izdavački originali kartografskih izvora podataka su skenirani, a zatim su tako dobijeni rasterski podaci preslikani finom transformacijom u matematičku osnovu karte. Tim postupkom dobijena je rasterska podloga koja je omogućila generisanje sadržaja u vektorskom obliku.

Vektorski podaci dobijeni su metodom digitalizovanja na ekranu (ON SCREEN) preko rasterske podloge. Ovaj metod je izabran, jer se, s obzirom na već pomenutu potrebu kartografskog generalisanja, pokazao kao najekonomičniji. Poseban način interaktivnog rada je generisanje sadržaja karte korišćenjem specijalno kreiranih ili već gotovih kartografskih znakova i simbola, koji se prethodno smeštaju u posebne biblioteke, a po potrebi se pozivaju i postavljaju na tačno određeno mesto.

Po završenom iscertavanju sadržaja u vektorskom obliku dobijen je proizvod na nivou geometrijskih i kartografskih primitiva koji definišu izgled prostora. Podaci su organizovani u datoteke prema tematskim celinama (hidrografija, naseljena mesta, saobraćajnice i dr.). U okviru svake datoteke podaci su dalje razvrstani po nivoima koji se mogu, po potrebi, kombinovati. Oni su maksimalno rasloženi, čime su ostvarene široke mogućnosti njihovog kasnijeg objedinjavanja.

Mogućnosti korišćenja digitalne karte

Realno je očekivati da će u bliskoj budućnosti zahtev za digitalnim podacima minimizirati potražnju za klasičnim analognim kartografskim proizvodima. Međutim, dalju upotrebu digitalne geografske karte treba po-

smatrati sa aspekta prikaza i korišćenja grafičkih podataka u analognom i digitalnom obliku.

Nova tehnologija izrade karte u tradicionalnom obliku zahteva drugačiji format podataka. Zbog toga se pristupa prevođenju vektora u raster, odnosno vrši rasterizacija, čime se rešava definitivno grafičko oblikovanje (debljina linije, stil, maskiranje i dr.). Zatim se obavlja litografska obrada koja omogućava izradu reprodukcij-skih originala karte foto-plotiranjem. Suština procesa foto-plotiranja je u konverziji digitalnog u analogni signal i registrovanju tog analognog signala na nekom foto-materijalu. Na kraju, karta se štampa tehnikom ofset-štampe metodom kvadrihromatske reprodukcije i može se koristiti kao:

- sredstvo za orijentaciju i istraživanje, nastavno i obrazovno sredstvo,
- podloga za projektovanje i izradu različitih tematskih karata,
- kartografski izvor za izradu karata sitnijih razmera i dr.

Perspektiva korišćenja grafičkih podataka u digitalnom (vektorskom) obliku je velika. Na primer, stvaranje digitalnih podataka o prostoru u formi baza geokodiranih podataka je značajan, ali i kompleksan zadatak. To je način da se podaci bolje, racionalnije i efikasnije koriste. Sama vektorska grafika sastoji se od tačkastih, linijskih i površinskih elemenata. Za te elemente postoje x, y, z koordinate i jednostavna simbologija koja definiše boju, debljinu i vrstu linije. Međutim, ona ne sadrži attribute, elemente hijerarhije i prostorne odnose. Potrebno je stvoriti topološku grafiku koja je »inteligentnija« vrsta grafike za razliku od vektorske. Dodavanjem određenih tabela atributa i vezivanjem za topološku grafiku grade se baze geokodiranih podataka. Izgradnjom baze geokodiranih podataka stvoreni su uslovi za razvoj informacionih, pre svega, geografskih informacionih sistema.

Elementi digitalne karte u vektorskom obliku mogu se upotrebiti i za izradu digitalnog modela terena. Na taj način mogu se zadovoljiti praktične i mnoge druge potrebe, kao što su:

- uočavanje geomorfoloških oblika i međusobna vidljivost tačaka na terenu,

- očitavanje visina,

- izračunavanje uglova nagiba terena,

- generisanje poprečnih i uzdužnih profila,

- senčenje reljefa automatizovanim postupkom,

- izrada karte tenkoprohodnosti, i dr.

Zaključak

Geografska karta razmere 1:1 000 000 urađena je kao izvedena karta primenom računarske tehnologije. Na njoj je pregledno prikazan sadržaj za-

hvaćene teritorije kartiranja. Podaci su grupisani po elementima, izdvojeni nijansama boja na karti i organizovani po datotekama i nivoima (levelima) u digitalnom zapisu.

Najznačajnija karakteristika digitalne karte je njena široka upotrebna vrednost. Kao analogna karta ona je ograničena određenom količinom informacija. Međutim, treba imati u vidu mogućnost stvaranja baza geokodiranih podataka, digitalnog modela terena, prostornih, pre svega, geografskih i komandno-informacionih sistema. To su oblici koji daju bogatiji i kvalitetniji sadržaj, mogućnost analize i podršku procesu donošenja odluka.

To znači da informacije o prostoru treba prikupljati, organizovati, smeštati i koristiti efikasnije i drugačije nego do sada, tj. prevoditi ih u digitalni oblik.

Literatura:

- [1] Borisov, M.: Opšta geografska karta SR Jugoslavije 1:1 000 000, magistarski rad, Građevinski fakultet, Beograd, 1996.
- [2] Horg, M., Borisov, M.: Digitalna geografska karta Savezne Republike Jugoslavije u razmeri 1:1 000 000, I jugoslovenski skup o GIS tehnologijama, Beograd, 1996.

- [3] Milosavljević, S.: Pojam kvaliteta geografske karte, Savetovanje o kartografiji, Beograd, 1971.
- [4] Marković, D.: Razvoj konceptualnog modela izgradnje geokodiranih baza podataka pregledno-topografske karte razmera 1:300 000 korišćenjem GIS tehnologije, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 1996.

Radenko Višnjić,
major
Vojna akademija VJ,
Beograd

DIGITALNI MODEL RELJEFA

UDC: 528.2+528.932:681.32.004

Rezime:

Digitalni model reljefa (DMR) jeste skup podataka o prostornostrukturnom modelu kopna Zemljine površi, izražen u digitalnom obliku. Predstavlja podskup prostornih i geoinformacionih sistema i jedan je od modela digitalnog modela terena (DMT), koji obuhvata različite digitalne modele Zemljine kore i atmosfere. DMR se koristi za određivanje, proučavanje i procenjivanje osobina Zemljine površi — za civilne i vojne potrebe. U geodeziji ima višestruku primjenu, a najznačajnija je za određivanje geoida: fizičku »realnost« gravitacionog polja Zemlje i referentnu površ za nadmorske (ortometrijske) visine — altitude. Nadmorske visine imaju isključivu primjenu pri korišćenju globalnog sistema pozicioniranja (GPS) i geocentričnog opšteg Zemljinog elipsoida (npr. WGS 84). Primjenom DMR i tehnike brzih Fourierovih transformacija računaska efikasnost određivanja geoida je desetostruko veća, u odnosu na klasične postupke numeričke integracije, uz mogućnost korišćenja velikog skupa podataka, sa višestrukom namjenom. Članak prezentira osnovne pojmove o digitalnom modelu reljefa, njegovom formiranju, analizi i mogućnostima primjene.

Ključne riječi: digitalni model reljefa, metode prikupljanja podataka, raspored referentnih tačaka, veličina DMR, analiza i predstavljanje DMR.

DIGITAL MODEL OF RELIEF

Summary:

Digital Model of Relief (DMR) is a data set of space-structural model of the continental part of the Earth surface, presented in a digital form. It is a subset of spatial and geoinformation systems and presents one of the models of Digital Terrain Model (DTM) which includes different digital models of the Earth crust and the atmosphere. DMR is used for determining, studying (researching) and estimating features of the Earth surface for both military and civilian purposes. It has a multiple application in geodesy amongst which determination of geoid; physical »reality« of gravity Earth field and determination of the reference surface for orthometric heights-altitudes are of the greatest significance. Orthometric heights are mainly used for applying GPS as well as the common Geocentric Earth Ellipsoid (WGS-84). By applying DMR and Fast Fourier Transform Technique (FFTT) it is possible to determine geoid ten times more efficient with regard to classical approaches of numerical integration, with possibility of using a large group of data that have broad application. Fundamental terms of DMR, its composition, analysis and the possibility of its application are treated in the paper.

Key words: digital model of relief, methods of collecting data, distribution of referent points, size of DMR, analysis and presentation of DMR.

Uvod

Reljef kopnenog dijela Zemljine kore je odstupanje fizičke Zemljine površi od površi geoida.

Geoid je ekvipotencijalna površ polja sile Zemljine teže, koji se može aproksimirati srednjim nivoom svjetskog mora. Formira referentnu površ za ortometrijske (nadmorske) visine (altitude), koje su metrički ekvivalent razlike geopotencijala geoida i nivoske površi tačke na fizičkoj Zemljinoj površi. Nadmorske visine se koriste gotovo isključivo za primjenu globalnog sistema pozicioniranja (Global Positioning System — GPS).

GPS ima sve veći značaj za civilne i vojne potrebe, i uključen je u gotovo sve oblasti mjerenja položaja tačaka u odnosu na svjetski geocentrički referentni elipsoid (WGS 84 — World Geodetic System 1984), zbog čega je povećan značaj tačnog određivanja geoida i primjene ortometrijskih visina. Tačno određivanje geoida, za datu vremensku epohu, može se izvršiti: astro-geodetskom i gravimetrijskom metodom, kombinovanjem geopotencijalnog modela (GPM) Zemlje, anomalija sile teže, digitalnog mode-

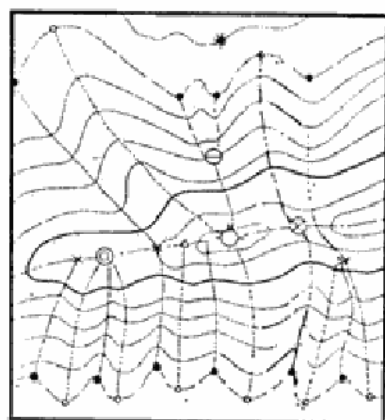
la reljefa i digitalnog 2D ili 3D modela gustina Zemljine kore. DMR ima veliki značaj za određivanje geoida, jer je moguća, najmanje, trostruka primjena: za određivanje anomalija sile teže; za određivanje lokalnog uticaja mase Zemljine kore na mjerene vrijednosti, i u kombinaciji sa digitalnim modelom gustina, za geološku redukciju mjerenih vrijednosti ubrzanja sile teže po intenzitetu i pravcu [3].

Primjena DMR u vojsci jeste kombinacija svih ostalih oblasti primjene [8].

Zemljište je jedna od najvažnijih komponenti vojnog okruženja, na lokalnom i regionalnom nivou. Primjena DMR u vojsci uključuje analizu teritorije izvođenja planiranih borbenih dejstava, sličnom metodologijom kao u civilnom inženjerstvu. Analiza teritorije pomoću DMR je višenamjenska i obuhvata analizu: međusobnog dogledanja, mogućnosti korišćenja borbene i neborbene tehnike, mogućnost razvijanja sistema veze, i sl.

DMR je važan geotopografski materijal (GTM) za potrebe Vojske Jugoslavije [10], i značajan dio prostornih informacionih sistema (PIS) i komandno-informacionih sistema (KIS).

Strukturne tačke i linije



- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| ○ vrh | — — — — — vododjelnica prvog reda |
| ⊗ sedlo | — — — — — vododjelnica drugog reda |
| ⊙ čvorna tačka | — — — — — vodoslivnica prvog reda |
| ⊖ razvodno-vodosliv. | — — — — — vodoslivnica drugog reda |
| * dolinska tačka | — — — — — linija podnožja |
| △ vododjelnička tačka | |
| × vododjelničko-vodoslivnička | |
| • podnožno-vodoslivnička | |
| ◊ podnožno-vododjelnička | |

Sl. 1 — Prostorno-strukturni model reljefa

Skup podataka o prostornoj strukturi Zemljine površi (slika 1), izražen u digitalnom obliku jeste digitalni model reljefa (DMR). Na Zapadu je više u upotrebi termin digitalni model terena (DMT) (Digital Terrain Model — DTM) koji ima šire značenje [8] ili digitalni model visina (DEM) — Digital Elevation Model), dok se u ruskoj literaturi upotrebljava termin numeričko predstavljanje reljefa (ЦПР — Цифрованное представление рельефа [5]).

Po svom sadržaju DMR predstavlja dio prostornih informacionih i geoinformacionih sistema (GIS) i odlučujuće utiče na njihovu upotrebljivost i efikasnost primjene za opšte, naučne, praktične i vojne potrebe. Zbog toga se DMR ubraja u podsisteme PIS i GIS, i obuhvata: prikupljanje, uređivanje-organizovanje, modelovanje, memorisanje, analiziranje, korišćenje i grafičko i alfanumeričko — klasično i savremeno — predstavljanje podataka o reljefu, ili podataka — funkcionala dobijenih na osnovu njihovog korišćenja: automatizovano računanje površina i zapremina reljefa; automatizovano sjenčenje predstavljenog reljefa; automatizovana izrada modela za reljefne karte; izrada karata nagiba terena; interpolacija izohipsi; određivanje podužnih i poprečnih profila; određivanje i popravke putanje vođenih i samonavođenih raketa; dobijanje perspektivnih trodimenzionalnih (3D) prikaza reljefa, i sl.

DMR je organizovan sistem podataka o reljefu Zemljine površi, odnosno površi Zemljine kore (litosfere).

Tipovi podataka DMR su:

- geometrijski podaci (vektorski, rasterski),

- grafički podaci (vektorski, rasterski),

- sintaksičko-semantički podaci (opisni atributi, sistem uslovnih znakova za reljefne oblike, i sl.).

Metode prikupljanja podataka o reljefu

DMR se generiše iz raznovrsnih podataka: skenirani podaci; ručno, poluautomatski ili automatski digitalizovani podaci; postojeći DMR; koordinate geodetskih tačaka — položajne i visinske, tj. njihove baze podataka, datoteke, itd.

To je skup digitalizovanih vrijednosti, koje predstavljaju prostornu raspodjelu karakteristika strukturnog modela reljefa — karakterističnih tačaka i linija fizičke Zemljine površi. Uobičajeno je da su prostorno-strukturne karakteristike izražene koordinatama u ravni kartografske projekcije i visinama u odnosu na opštu ili nacionalnu — referentnu visinsku površ, npr. »srednji nivo Jadranskog mora«. Istovremeno, položaj tačke u prostoru može biti definisan u različitim koordinatnim sistemima — nezavisno ili zavisno od vremenske koordinate, kao npr. geodetskim koordinatama — geodetskom širinom, dužinom i visinom — na izabranom računskom (referentnom) Zemljinom elipsoidu.

Prikupljanje podataka o reljefu obuhvata skup metoda, radnji, postupaka i uređaja, od kojih se zahtijeva da podaci budu tačni, potpuni, pravovremeni — aktuelni, jednoznačni, svrshodni i upotrebljivi.

Metode prikupljanja podataka za formiranje DMR mogu biti primarne i sekundarne.

Primarne metode prikupljanja podataka o reljefu

Primarne metode prikupljanja podataka o reljefu, za formiranje DMR, jesu:

- mjerenja na terenu, tzv. teren-ska mjerenja (tahimetrija, numerička ortogonalna metoda, nivelman, topografski premjer, inženjerijski premjer, premjer satelitskim prijemnicima — globalni sistem pozicioniranja tačaka, tzv. GPS premjer, itd.);

— fotogrametrijska metoda (steorestitucija terestričkih, aerofoto i satelitskih snimaka, daljinska detekcija, i sl.);

— elektronska metoda (radarska altimetrija, satelitsko snimanje, daljinska detekcija, lasersko mjerenje rastojanja, GPS premjer, totalne elektronske stanice, elektronski teodoliti i niveliri, itd.).

Uređaji za primarno prikupljanje podataka o reljefu, uslovno, mogu se podijeliti prema različitim kriterijumima, npr.: klasični, savremeni; terestrički, aerofoto, satelitski; fotografski, fotogrametrijski; itd. ali zbog sistematičnosti, najčešća je podjela u tri osnovne grupe:

— uređaji za terestričko prikupljanje podataka,

— uređaji za fotogrametrijsko prikupljanje podataka,

— uređaji za elektronsko prikupljanje podataka o reljefu Zemljine površi.

Sekundarne metode prikupljanja podataka o reljefu

Sekundarne metode prikupljanja podataka, za formiranje DMR, obuhvataju:

— digitalizaciju analognih podataka o reljefu (ručno, poluautomatski, automatski; izohipse, visinske tačke, sintaksičko-semantički podaci, itd.);

— derivaciju postojećih digitalnih podataka o reljefu (postojeći DMR, »geokodirane« baze podataka, datoteke položajnih i visinskih koordinata astronomskih i geodetskih tačaka, i sl.);

— unošenje alfanumeričkih podataka.

Uređaji za sekundarno prikupljanje podataka o reljefu najčešće su:

— digitajzer, koji služi za konverziju različitih analognih podataka o

reljefu u digitalne vrijednosti (izohipse, visinske tačke, itd., prevodi u digitalne vrijednosti — koordinate, piksele, alfanumeričke podatke);

— skener, koji prevodi analogne podatke o reljefu u rasterske digitalne podatke na osnovu izmjerene reflektovane količine svjetlosti svakog piksela — dodeljujući pikselu određenu numeričku vrijednost (prema veličini piksela, skeneri mogu biti: niske rezolucije, manje od 155 000 Pixela/cm², srednje rezolucije — oko 155 000 Pixela/cm², visoke rezolucije — oko 620 000 Pixela/cm²);

— skener-fotoploter, koji skenira sve boje i tonove i obavlja plotiranje na fotomaterijal (npr., skener-fotoploter »Optronics 5040«, koji karakteriše: rotirajući cilindar, sa maksimalnom radnom površinom 127 cm x 100 cm; skenira boje i sive tonove sa providnih i neprovidnih podloga; plotira sadržaj na fotomaterijal; rezolucija skeniranja 12,50; 25,00; 50,00; 100,00 i 200,00 mikrometara; rezolucija fotoplotiranja je 12,50; 25,00; 50,00 i 100,00 mikrometara; skenira i iscertava linijske elemente i politonske slike; brzina prenosa podataka 1 MB u sekundi; komprimuje podatke, čime se smanjuje prostor za arhiviranje i povećava brzina prenosa podataka, itd.).

Izvori podataka o reljefu

Uobičajeno je da se izvori podataka o reljefu Zemljine površi vezuju za sekundarne metode prikupljanja podataka, u koje se ubrajaju: grafički, numerički, alfanumerički, opisni i digitalni podaci (DMR, baze podataka, datoteke).

Dva osnovna kriterijuma za podjelu izvora podataka su:

— sadržaj i tip podataka,

— značaj i nivo primjenjivosti podataka.

Prema *sadržaju i tipu podataka* može se izvršiti podjela izvora podataka na:

- astronomsko-geodetske izvore podataka: spiskovi i katalozi koordinata tačaka nacionalne geodetske osnove, podaci dobijeni astronomskim, triangulacijskim, poligonometrijskim, nivelmanskim i satelitskim metodama mjerenja i obrade rezultata mjerenja, itd.,

- kartografsko-reprodukcijske izvore podataka; kartografski i reprodukcijски originali i odštampani listovi planova, karata, kao i baze podataka i datoteke planova i karata (za koje su formirane), itd.;

- statističke izvore podataka: geografski i topografski opisi, publikacije, tehnički izvještaji o gradnji inženjerskih objekata, itd.;

- digitalne izvore podataka: postojeći DMR, baze podataka, datoteke, i sl.

Prema *značaju i nivou primjenjivosti izvora podataka* o reljefu može se izvršiti podjela na:

- osnovne izvore podataka. U fazi formiranja DMR služe kao osnova za objedinjavanje svih ostalih raspoloživih (upotrebljivih) podataka o reljefu — tako da se u ovu grupu izvora podataka mogu svrstati: reprodukcijски originali izohipsi i visinskih tačaka planova i karata različitih razmjera, katalozi i datoteke tačaka nacionalne geodetske osnove, odštampani listovi planova i karata, foto-stereoparovi, itd.;

- dopunske izvore podataka. Namjenjeni su za upotpunjavanje sadržaja DMR, kao što su npr. geomorfološke karte i karto-reprodukcijски originali, foto-cjeline, karte srednjih visina, karte promjena reljefa, evidencije promjena, i sl.;

- pomoćne izvore podataka. Služe za detaljnije izučavanje pojedinih

dijelova Zemljine površi, koji su pod dejstvom intenzivnijih specifičnih promjena — rejonu izgradnje antropogenih objekata, lesne zaravni, pješćare, itd.

Kao osnova za podjelu izvora podataka o reljefu primjenjuje se morfometrijski kriterijum za formiranje DMR, i njegova konkretna planirana namjena koja može biti raznovrsna i višekorisnička:

- automatizovana izrada planova i karata, sa predstavljanjem reljefa izohipsama, visinskim tačkama i kartografskim uslovnim znacima (za jame, vrtače, pećine, stjenjake, usjeke i sl.);

- određivanje visina i visinskih referentnih tačaka DMR;

- izračunavanje površine i zapremine odabranog dijela reljefnog oblika;

- izračunavanje površina i zapremine po uzdužnim i poprečnim profilima;

- analiza nagiba i izrada karata nagiba terena;

- određivanje dogledanja i prekrivanja, između referentnih ili proizvoljno odabranih tačaka DMR;

- automatizovano analitičko sjenčenje predstavljenog reljefa;

- automatizovana izrada modela za reljefne karte, itd.

Metode prikupljanja i izvori podataka o reljefu Zemljine površi daju specifičan oblik prostorne organizacije podataka koji određuje izbor optimalnih metoda interpolacije u prvoj fazi formiranja DMR, odnosno na osnovu ulaznih podataka, dobijanje podataka o referentnim tačkama DMR.

Uobičajeni su sljedeći oblici rasporeda tačaka ulaznih podataka:

- slučajni raspored (*Random*),

- djelimično određen raspored (*Semi-Ordered*),

— potpuno određen raspored (*Fully-Ordered*).

Postoje i drugačije podjele rasporeda tačaka ulaznih podataka, npr.: tačke kao tjemena kvadrata (regularno raspoređeni podaci), djelimično regularni raspored tačaka, ravnomjerno raspoređeni podaci, podaci u »rasutom« rasporedu, podaci sa djelimičnim grupisanjem tačaka, podaci grupisani po pravcima ili odabranim profilima, itd., pri čemu se može zaključiti da se ostale podjele mogu svesti na navedena tri oblika rasporeda tačaka ulaznih podataka o reljefu Zemljine površi.

Obrada podataka o reljefu

Obrada (*Management*) podataka o reljefu Zemljine površi, u računarski čitljivom obliku, obuhvata postupke organizacije, modelovanja i memorisanja digitalnih podataka (vektorskih, rasterskih, opisnih) o prostornoj strukturi reljefa.

Pri formiranju DMR mogu se izdvojiti dvije karakteristične faze obrade podataka:

I faza: obuhvata pripremu i komprimovanje ulaznih podataka i informacija sa relativno malom »gustinom«.

II faza: obuhvata organizaciju i interpolaciju (po potrebi i ekstrapolaciju) ulaznih podataka, formirajući uređene skupove podataka o referentnim tačkama DMR.

Prema rasporedu referentnih tačaka, tj. prema obliku organizacije referentnih tačaka DMR mogu biti:

— pravilne kvadratne mreže pravilnog rastera, ili tzv. grid DMR;

— mreže nepravilnih trouglova, tzv. TIN DMR (*TIN-Triangulated Irregular Network*);

— pravilne kvadratne mreže i nepravilnih trouglova, tzv. univerzalni DMR ili »Grid-TIN« DMR.

Grid DMR (*»regularni« DMR*)

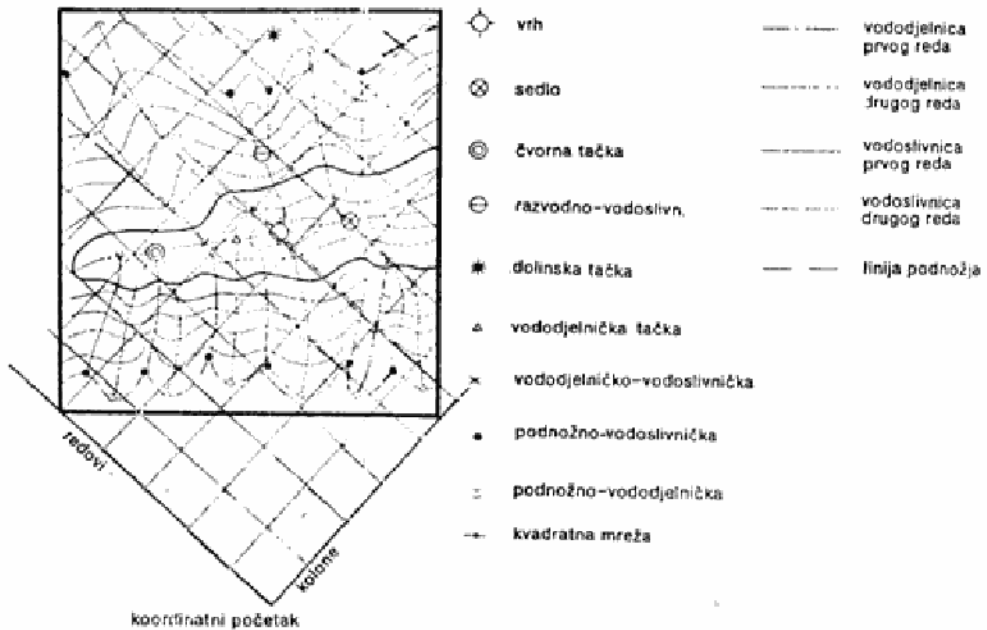
Grid DMR je regularna matrica vrijednosti visina tačaka, koje se nalaze na jednakim rastojanjima i odstojanjima, tj. tačke predstavljaju tjemena kvadrata. Može se dobiti direktno na osnovu potpuno određenog rasporeda ulaznih podataka, ili indirektno određivanjem visina referentnih tačaka odabranom metodom interpolacije krivih linija po pravcima i profilima ili interpolacijom površi određenog dijela Zemljine površi.

Grid DMR može se formirati i konverzijom TIN DMR, u okviru određenih programskih paketa, npr. TIGRIS Modeler, INTERGRAPH Co., 1989. [11]. Ovakvi DMR omogućavaju brzu obradu različitih funkcija, zbog pravilnog kvadratnog rasporeda referentnih tačaka, ali uz pojavu često nerješivih problema; kada se strukturne tačke prostorno-strukturnog modela reljefa nalaze izvan referentnih tačaka DMR dolazi do »gubljenja« podataka o njima, što je veoma česta pojava (npr. vrh uzvišenja, prevojna tačka, tačka zaravnjenja, i sl.).

TIN DMR (*»strukturni« DMR*)

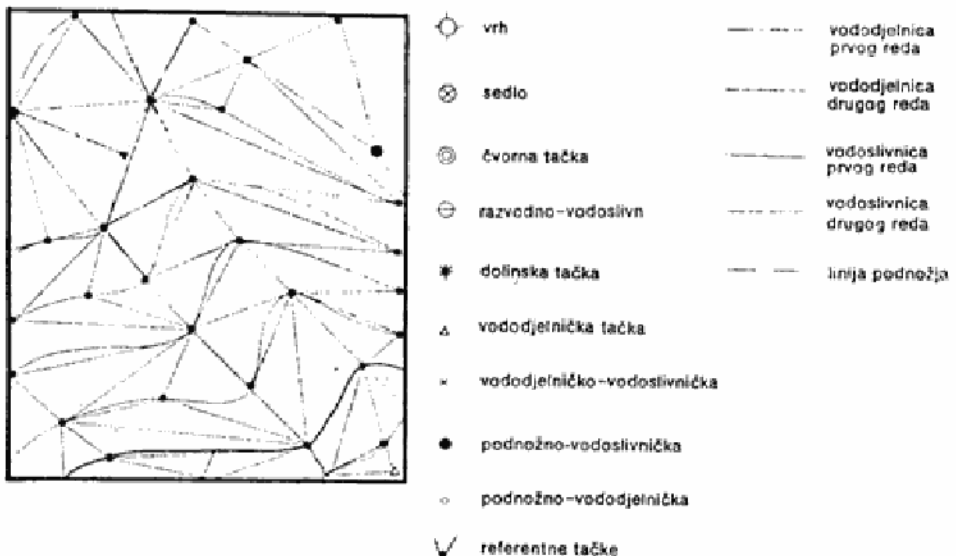
TIN DMR sačinjavaju trougaone površi nepravilnog oblika, formirane na osnovu podataka o tačkama, linijama i površinskim elementima reljefnih oblika. Vjernije predstavlja prostornu strukturu reljefa i reljefnih oblika, nego grid DMR, ali i dalje ostaje problem određivanja visina karakterističnih strukturnih tačaka i linija prostornog modela reljefa — vrh, dno, sedlo, prevoj, dolina, podnožje, i sl.

Strukturne tačke i linije



SL. 2 — Grid DMR

Strukturne tačke i linije



SL. 3 — TIN DMR

Univerzalni DMR (»regularno-strukturni« DMR)

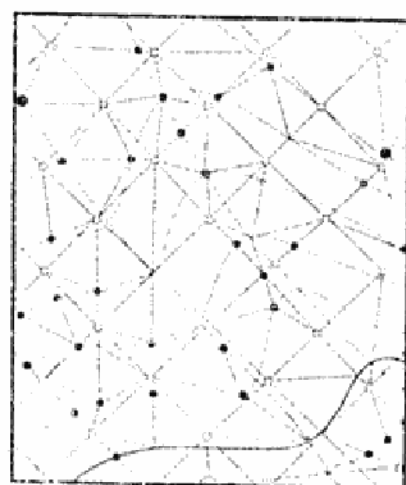
Univerzalni DMR, ili »Grid-TIN« DMR, definisan je kao regularna matrica vrijednosti visina tačaka pravilnog rastera (kvadratića) i tačaka prostorno-strukturnog modela reljefa. Uslovno se može reći — univerzalni DMR se ostvaruje »preklapanjem« sadržaja grid i TIN DMR. Formira se na osnovu referentnih tačaka pravilnog rastera (rasporeda tačaka), dopunjavanjem podacima o tačkama i linijama prostorno-strukturnog modela reljefa.

Interpolacija, u fazi formiranja i obrade DMR, prvenstveno zavisi od namjene modela, a problem gustine podataka može se rješavati na dva osnovna načina:

— mijenjanjem gustine tačaka pravilnog rastera — gdje to prostorna struktura reljefa omogućava — primjenjujući metodu progresivnog uzorkovanja (*progressive sampling*), sa ili bez korišćenja strukture podataka u obliku kvadratnog stabla (kvad-stablo);

— dopunjavanjem sadržaja DMR podacima o prostornoj strukturi reljefa, čime se usložava korišćenje DMR,

Strukturne tačke i linije



◊	vrh	— · — · —	vododjelnica prvog reda
⊗	sedlo	— · — · —	vododjelnica drugog reda
⊙	švarna tačka	— · — · —	vodoslivnica prvog reda
⊖	sazvodno-vodoslivn	— · — · —	vodoslivnica drugog reda
*	dolinska tačka	— · — · —	linija podnožja
Δ	vododjelnička tačka		
x	vododjelničko-vodoslivnička		
●	podnožno-vodoslivnička		
○	podnožno-vododjelnička		
△	referentna tačka		

Sl. 4 — Univerzalni DMR

Dimenzije pravilnog rastera — redova i kolona — biraju se prema potrebi i izvoru podataka, tako da između referentnih tačaka DMR može biti primjenjena linearna ili bilinearna interpolacija. Broj podataka, odnosno broj referentnih tačaka DMR (gustina) zavisi od vrste zadatka koji će se rješavati primjenom DMR.

ali smanjuje gustina tačaka pravilnog rastera — grida.

Za višekorisničku namjenu, optimalno rješenje je formiranje univerzalnog DMR, za što postoje povoljni tehnološki i kadrovski uslovi u našoj zemlji (Vojnogeografski institut VJ, republičke geodetske uprave, Institut za geodeziju, itd.).

Računarska obrada podataka o reljefu zavisi i od veličine površine zahvatanja podataka, odnosno od veličine DMR. Prema teritorijalnom zahvatu, DMR se mogu podijeliti u tri osnovne grupe:

- lokalni DMR — formira se za izučavanje i metričko definisanje reljefa manjih površina i za korišćenje u radovima veće tačnosti, npr. DMR Kopaonik;

- regionalni DMR — formira se za višekorisničko, kompleksno, interdisciplinarno izučavanje većih površina Zemljine površi, npr. DMR SRJ;

- globalni DMR — formira se za globalne praktične i naučne potrebe međunarodnog značaja, npr. DMR Zapadne Evrope.

Veličina DMR odlučujuće utiče na izbor ostalih parametara, metoda i postupaka formiranja i korišćenja DMR, kao što su: metoda prikupljanja podataka; izbor izvora podataka; raspored ulaznih i referentnih podataka; način održavanja i dopunjavanja podataka; raspolaganje računarskom podrškom i izvorima podataka; itd. (npr. regionalni DMR, načelno, regularnog je tipa — grid DMR).

Analiza i predstavljanje podataka o reljefu

Analiza i predstavljanje podataka o reljefu Zemljine kore najvažnije su komponente DMR, imajući u vidu da DMR nije »prost« skup visina tačaka već sistem sljedećih osobina:

- definisana je prostorna organizacija referentnih tačaka modela,

- sadrži podatke o položajnim i visinskim koordinatama referentnih tačaka modela,

- obuhvata metode pristupa potrebnim podacima za interpolaciju visina proizvoljno odabranih tačaka modela,

- definiše metode prikupljanja podataka i njihov uticaj na formiranje modela,

- obuhvata metode obrade podataka, tzv. rutinske programe na skupu podataka modela,

- ocjenjuje se kvalitet modela,

- obuhvata izbor referentnog položajnog i visinskog sistema, itd.

Analizom sadržaja DMR dobijaju se nove informacije o reljefu Zemljine površi, o njegovim kvalitativnim i kvantitativnim osobinama.

Predstavljanje (prezentacija) sadržaja DMR i funkcija tog sadržaja (površina, zapremina, nagib, izohipsa, itd.) obavlja se metodama kartografskog oblikovanja (izohipse, visinske tačke, uslovni znaci, sjenke reljefnih oblika, model reljefa zemljišta, izrada reljefnih karata ili u obliku numeričkih i alfanumeričkih podataka).

Zaključak

U članku su obrađeni osnovni i opšti pojmovi vezani za digitalni model reljefa kopnenog dijela površi Zemljine kore.

Opisane su metode i uređaji za prikupljanje podataka, izvori podataka, tipovi DMR, analiza, primjena i predstavljanje.

DMR predstavlja »opis« Zemljine površi, ili njenog dijela, pri čemu se svakoj tački može dodijeliti odgovarajući podatak o položaju i visini, izborom odgovarajuće metode interpolacije linija i površi. Na osnovu DMR mogu se izvršavati mnogobrojne operacije neophodne za proučavanje i procjenu prostorne strukture reljefa i karakteristika zemljišta uopšte.

DMR ima opšti, naučni i praktični značaj za potrebe Vojske Jugoslavije i vojne geodetske službe, kao i

geonauke u cjelini. Predstavlja pod-sistem PIS i GIS kao i komandnog-informacionog sistema (KIS) VJ. Nje-govom primjenom može se ubrzati po-stupak određivanja i ispitivanja geo-ida, kao preduslova za savremeno uk-ljučivanje naše zemlje u Svjetski geo-

detski sistem, npr. WGS 84 i primjenu globalnog sistema pozicioniranja tača-ka (GPS) na fizičkoj Zemljinoj površi, koji se uključuje u različite oblasti mjerenja. Značaj DMR se sve više po-većava naročito u oblasti inženjerstva, geonauke i za potrebe vojske.

Literatura:

- [1] Bilajbegović, A. i drugi (1991): Osnovni geo-detski radovi, Savremene metode, GPS, »Teh-nička knjiga« Zagreb, Zagreb, 1991.
- [2] Denker, H. H., Wenzel, G. (1987): Lokal geoid determination and comparasion with GPS re-sults, Bull. Geod. 81, 1987, pp. 349-366.
- [3] Gerstbach, G. (1990): Ein Weg zum Zentime-ter-Geoid in Österreich, OZfVuPh, Heft 1, 1990, pp. 14-38.
- [4] Petrović, D. (1988): Izrada Digitalnog modela reljefa, stručni izveštaj, CAOP VGI, Beograd, 1988.
- [5] Радионов, В. А. (1996): О точности цифрового представление рельефа, Аерофотопопграфия, 1996, III, 34-37.
- [6] Sideris, G. M. (1990): The role of the geoid in one-, two-, and three dimensional Network adjutments, CISM JOURNAL ACSGC Vol. 44, No 1, 1990, pp. 9-18.
- [7] Višnjić, R. (1989): Geotopografsko obezbeđenje oružanih snaga SFRJ, Zbornik radova VGI, Beograd, 1989.
- [8] Višnjić, R. (1997): Digitalni model reljefa-ana-liza primjene za gravimetrijsku metodu odre-đivanja geoida, magistarski rad, u rukopisu, Građevinski fakultet — Institut za geodeziju Beograd, Beograd, 1997.
- [9] Wiebi, R., Heller, M. (1993): Digital terrain modelling, GIS, Principles and Applications, 1993, pp. 269-297.
- [10] Pravilo Geodetske službe Vojske Jugoslavije (privremeno), GS VJ, SOŠP, Geodetska služ-ba, Beograd, 1996.
- [11] Reference: TIGRIS Modeler, Reference Manu-al, INTERGRAPH Co., Alabama, USA, 1989.



prikazi iz inostranih časopisa

VIŠEKANALNI RAKETNO- ARTILJERIJSKI SISTEM PVO »KLINOK«*

Danas se brodovi u zoni odbrane mogu napadati raznim sredstvima iz vazdušnog prostora: protivbrodskim raketama koje se kreću prema brodu pravolinijski na malim visinama ili uz primenu raznih oblika manevra, vođenim i nevođenim avio-bombama, protivradarskim raketama, kao i avionima i helikopterima koji su se probili kroz ešeloniranu odbranu grupe brodova. Pri tome, sredstva za napad iz vazdušnog prostora, a posebno protivbrodske rakete, mogu brod napadati grupno. Grupa se može sastojati od više raketa koje se kreću u intervalima od nekoliko sekundi. Tako, na primer, ako se brod napada raketnim čamcem, on može lansirati četiri protivbrodske rakete u intervalima od nekoliko sekundi. Ako se sastav brodova napada grupom aviona ili brodova, tada napadač, prema podacima koje dobija od sistema tipa AVAKS, lansirira veliku količinu raketa sa većih rastojanja, koja prevazilaze domet sredstava PVO brodova. Rakete, po pravilu, izlaze na marševski deo putanje

leta na malim visinama, kako bi se otežalo da ih otkrije napadnuti brod. Kao rezultat toga, zbog uticaja »radio-horizonta« (tj. udaljenosti koja je uslovljena daljinom direktne vidljivosti radara zbog zakrivljenosti Zemlje) sve protivbrodske rakete će se pojaviti u zoni dejstva samo raketnog sistema PVO broda koji se napada. Takav napad savremena brodska jednokanalna protivavionska sredstva (koja mogu pratiti i osvetljavati samo jedan cilj) nisu sposobna da odbiju, čak ako im je verovatnoća pogađanja cilja bliska 1. Takav napad ne mogu odbiti ni višekanalna raketna sredstva PVO, koja koriste lansirne uređaje koji zahtevaju ponovno punjenje posle opaljenja.

Nemogućnost ovih sredstava da odbiju masovne nalete objašnjava se sledećim faktorima:

— jednokanalni radari ostvaruju elektro-mehaničko prenošenje signala na drugi cilj uz postupni zahvat cilja, zbog čega je potrebno vreme, koje je, po pravilu, veće od mogućeg intervala nailaska cilja;

— lansirnim uređajima koji se navode i ponovo pune takođe je potrebno vreme za ponovno nišanje i popunu, koje je znatno duže od intervala nailaska cilja ka brodu.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust, 1997.

Za odbijanje masovnog naleta raketa brodovi se mogu opreмати sa nekoliko jednodanalnih protivavionskih sredstava. Međutim, to je otežano zbog ograničenih gabarita broda, a maksimalni broj gađanih ciljeva biće jednak broju jednodanalnih raketnih sistema zbog prisutnih ograničenja za jednodanalne sisteme.

Zbog svega ovoga protivavionski sistem za samoodbranu broda trebalo bi da odgovara sledećim zahtevima:

— da bude višekanalni, tj. sposoban da prati nekoliko ciljeva jednovremeno i navodi na njih dovoljan broj protivavionskih vođenih raketa;

— da prenosi nišanje na sledeće (nove) ciljeve odmah posle opaljenja;

— da lansira rakete u intervalu koji obezbeđuje gađanje svih sredstava za napad iz vazdušnog prostora

borbenim kompletom i bez ponovnih popuna lansirnih uređaja;

— da u zoni odbrane uništava ciljeve malih i velikih brzina, bilo da se kreću na malim visinama ili pikiraju ka brodu;

— da imaju visok stepen zaštite od ometanja.

Sva ova svojstva poseduje raketno-artiljerijski sistem PVO za samoodbranu brodova KLINOK. To je višekanalni, autonomni raketni sistem PVO, za sve vremenske uslove, koji može da odbije masovni nalet niskoletećih protivbrodskih i protivradarskih raketa, vođenih i nevođenih bombi, aviona, helikoptera i sl., kako protivavionskim raketama, tako i artiljerijskim oruđima kalibra 30 mm. Raketni sistem KLINOK, uz dovoljno nisku cenu, vrlo efikasno uništava ciljeve.

Osnovne tehničke karakteristike sistema KLINOK

Daljina uništenja cilja (km)	1,5—12 (od 200 m s oruđem kalibra 30 mm)
Visina uništenja ciljeva (m)	10—6000
Brzina ciljeva (m/s)	0—700
Broj jednovremeno gađanih ciljeva u prostornom sektoru 60°x60°	do 4
Broj jednovremeno navođenih raketa	do 8
Način navođenja raketa	televizijski
Daljina otkrivanja ciljeva na visini 3,5 km (sopstvenim sredstvima) (km)	45
Radni dijapazon	K (X,1)
Režim rada (osnovni)	automatski
Vreme reakcije (po NLC) (s)	8
Brzina gađanja (s)	3
Vreme dovođenja sistema u borbenu gotovost:	
— iz hladnog stanja (min)	3
— iz dežurnog režima (s)	15
Borbeni komplet raketa (kom.)	24—64 (može se uvećati do 128)
Masa rakete (kg)	165
Masa bojne glave (kg)	15
Masa sistema (t)	41
Posada (članova)	13

Sopstvena radarska sredstva za otkrivanje ciljeva, kružnog dejstva, o-bezbeđuju sistemu potpunu nezavisnost i operativnost i u najsloženijoj situaciji.

Raketni sistem KLINOK može da koristi informacije i od bilo kojih drugih sistema za otkrivanje ciljeva.

Osnovu višekanalnosti sistema čine fazirane antenske rešetke sa elektronskim upravljanjem svetlosnog zra-ka i brzog računarskog sistema sa razvijenom programskom podrškom.

Raketni sistem KLINOK ima visoki stepen automatizacije borbenih radnji od otkrivanja cilja do njihovog uništenja, kratko vreme reakcije i visok tempo gađanja.

Osnovni režim rada je automatski (čak bez učešća ličnog sastava), zasnovan na principima veštačke inteligencije.

Algoritmi, na kojima se zasniva sistem, automatski određuju stepen opasnosti i redosled gađanja ciljeva, režim paljbe, slučaj uništenja cilja, momenat za oslobađanje kanala za praćenje uništenog cilja i zahvat sledećih ciljeva.

U sistemu je predviđena i mogućnost da se komandir uključi u automatski režim rada radi eventualne korekcije u skladu sa borbenom situacijom.

Svi algoritmi u sistemu KLINOK potpuno su zaštićeni od prodora kompjuterskih virusa. Sistem ima automatsku funkcionalnu kontrolu i, ukoliko lični sastav (posluga) ispunjava sve zahteve iz uputstva o eksploataciji, siguran je u radu.

Televizijsko-optička sredstva za otkrivanje ciljeva, ugrađena u antensku stanicu, ne samo da povećavaju njenu zaštitu od ometanja, već i dozvoljavaju da lični sastav vizuelno ocenjuje karakter praćenja i uništenja cilja.

U sistemu se koristi televizijsko vođenje protivavionske rakete, unificirane s raketom kopnenog sistema TOP-M1.

Sistem koristi vertikalni start rakete, pod dejstvom katapulta (tj. bez rada motora), koji isključuje povrede ličnog sastava i brodske konstrukcije od plamena motora. Gasnodinamički sistem usmerava raketu ka cilju.

Eksplozija bojne glave, koja je parčadno-tugasnog tipa, sa veuikom probojnom moći, odvija se po komandi impulsnog radio-upaljača u neposrednoj blizini cilja. Radio-upaljač je zaštićen od ometanja i podešava se pri prilazu ka vodenoj površini.

Rakete su smeštene u transportno-lansirnim kontejnerima, što obezbeđuje njihovo čuvanje, stalnu borbenu gotovost, pogodnost transporta, bezbednost pri utovaru u uslovima lansiranja i ne zahtevaju provere.

Transportno-lansirni kontejneri nalaze se u kompaktnim, veoma pouzdanim potpalubnim lansernim uređajima sa po 3 do 4 lansirna modula tipa bubnja, od kojih svaki ima po 8 transportno-lansirnih kontejnera s raketama. Rezerva municije određuje se brojem lansirnih uređaja na brodu.

Za vreme odbijanja napada lansirni uređaj ne zahteva ponovne popune i može izbaciti ceo borbeni komplet sa intervalom između lansiranja ne većim od tri sekunde.

Raketni sistem KLINOK ugrađuje se na brodove raznih klasa, može se koristiti u raznim klimatskim zonama i pri uzburkanosti mora s amplitudom ljuljanja broda do 20°. Može se razmestiti i na obali, a za razliku od kopnenih sistema kod njega su predviđeni specijalni načini uništenja ciljeva koji lete nad površinom vode.

Sistem je projektovan tako da se lako može modernizovati direktno na mestu gradnje.

Za sada raketni sistem KLINOK, po svojim karakteristikama, prevazilazi višekanalne sisteme za samoodbranu iz familije FEMS na bazi raketa ASTER-15.

M. Krbavac

SISTEM ARTILJERIJSKOG NAORUŽANJA VOĐENIH PROJEKTILA »KRASNOPOLJ«*

Razvoj artiljerijskih vođenih projektila bio je u planu mnogih država još šezdesetih godina. Međutim, zbog problema u iznalaženju tehničkih rešenja, ovaj zadatak je rešen samo u dve zemlje. U SAD je razrađen vođeni artiljerijski projektil 155 mm KOPERHED i u Rusiji 152 mm vođeni projektil KRASNOPOLJ.

Vođeni artiljerijski projektil KRASNOPOLJ namenjen je za uništavanje:

- tenkova, borbenih vozila pešadije i artiljerijskih oruđa, koja se kreću brzinom do 36 km/h kao i nepokretnih; otkrivenih i ciljeva u zaklonu;

- bunkera, mostova i drugih utvrđenja i prepreka,

- ciljeva na vodi (borbenih, desantnih i transportnih brodova).

Uništavanje navedenih ciljeva postiže se projektilom KRASNOPOLJ na daljini od 3 do 20 km, bez korektura gađanja.

Posle opaljenja projektil se kreće po balističkoj putanji. Na silaznom delu putanje projektil prelazi sa balističke putanje u režim inercijalnog vođenja — kretanje sa stalnim uglom otklona putanje u odnosu na zemlju. U momentu opaljenja, glasom (telefonom ili radio-vezom) ili pomoću sredstava sinhronizacije (radiovezom) na komandno-izviđački punkt prenosi se signal o izvršenom opaljenju. Nakon toga, na laserskom pokazivaču cilja — daljinomeru (LCD) počinje odbrojavanje vremena. Za 6—12 s do doletanja projektila do cilja (vreme se određuje prema tablicama gađanja), daljinomer (LCD) automatski uključuje režim osvetljenja cilja, posle čega se, pomoću laserske glave navođenja, projektil samonaviđa na cilj.

Vođeni artiljerijski projektil KRASNOPOLJ pomoću specijalnog sistema

* Prema podacima iz prospektnog materijala ROSOVOOROUZHENIE.

navođenja obezbeđuje »pikirajuću« putanju doleta na cilj tako što na nje ga pada sa gornje strane koja je najmanje zaštićena. Imajući u vidu i jako razorno dejstvo projektila omogućeno je uništavanje širokog spektra ciljeva sa jakim oklopom, računajući i tenkove sa dinamičkom zaštitom, a takođe i ciljeve u zaklonu kao npr. »tenk u zaklonu«. Pri laserskom osvetljenju grudobrana rovova može se uništavati i živa sila protivnika.

Princip dejstva artiljerijskog vođenog projektila zavisi od ugrađenih elemenata kao što su: laserska poluaktivna glava samonavođenja, aerodinamički autopilot, količina eksploziva, blok stabilizatora i pogonski motor. Pogonski motor deluje na silaznom delu balističke putanje pri čemu povećava daljinu gađanja za 3,5 do 4 km.

Svi elementi koji su ugrađeni na projektil zaštićeni su od uticaja atmosfere (prašine, vlage i dr.). Zbog toga, pri pripremi projektila za gađanje, nema vremenskog ograničenja za njegov smeštaj i čuvanje van kontejnera u poljskim uslovima.

Za zaštitu optičke glave samonavođenja od prljavštine i oštećenja, na vrhu projektila ugrađen je zaštitni blok koji se u toku leta odvaja.

Konstrukcija projektila KRASNOPOLJ obezbeđuje pogodnost u eksploataciji, kao što je razmeštaj u borbenom odeljenju, priprema za gađanje i samo izvršenje opaljenja.

Radi obezbeđenja mogućnosti smeštaja projektila u propisana ležišta u borbenom odeljenju, projektil je podeljen u dva dela. Prvi deo sačinjavaju telo projektila sa eksplozivom, pogonski motor i blok stabilizatora. Drugi deo se sastoji od bloka autopilota, glave za samonavođenje i zaštitnog bloka. Oba dela se veoma brzo spajaju pred samo izvršenje gađanja.

Primena sistema KRASNOPOLJ realizuje se u artiljerijskim jedinicama i ne iziskuje dopunske zahteve za vatrene položaje oruđa niti za koman-

dno-osmatrački punkt. Gađanje vođenim projektilom KRASNOPOLJ može se izvršiti, kako iz vučnih oruđa, tako i iz samohodnih haubica kalibra 152 mm, sa otvorenih ili zaklonjenih položaja.

Radi proširenja mogućnosti upotrebe vođenih artiljerijskih projektila KRASNOPOLJ izvršena je modifikacija projektila tako da omogućuje gađanje i iz artiljerijskih sistema 155 mm.

Primenom vođenih artiljerijskih projektila KRASNOPOLJ artiljerija dobija visoko precizno sredstvo za uništavanje ciljeva, uključujući i pokretne, i omogućava njihovo uništavanje vatrom iz zaklona uz ograničeni utrošak projektila. Tako, na primer, za uništenje tenka u pokretu potrebno je, u proseku, 1,1 do 1,2 projektila KRASNOPOLJ.

Pri rešavanju klasičnih zadataka artiljerije (uništavanje vodnih i četnih otpornih tačaka, desantnih jedinica i dr.) moguća je upotreba projektila KRASNOPOLJ; naročito ako te jedinice nastoje da zauzmu rastresit raspored. Za ovaj slučaj primena klasične artiljerije zahtevala bi daleko veći utrošak municije.

Tako je u toku obuke u primeni projektila KRASNOPOLJ uništen veći deo ukopanih oklopnih ciljeva. Pri tome je srednji utrošak vođenih artiljerijskih projektila KRASNOPOLJ za uništenje jednog cilja iznosio 1,3 projektila.

Visoke borbene mogućnosti projektila KRASNOPOLJ omogućavaju:

- uništavanje pojedinačnih i grupnih ciljeva prvim projektilom;

- gađanje po grupnim ciljevima, redom bez izmene elemenata gađanja u intervalima 15—20 s između opaljenja i to samo nišanjem laserskim daljinomerom (pokazivačem cilja) sa jednog na drugi cilj;

- gađanje plotunom iz nekoliko oruđa po jednom cilju, označavajući taj cilj pomoću jednog laserskog daljinomera;

- gađanje po bliskim ciljevima koji su osvetljeni sa nekoliko laserskih daljinomera na različitim frekvencijama;

- mogućnost gađanja sa skraćenom meteobalističkom pripremom, a na daljinama oko 10 do 12 km i bez meteobalističke pripreme.

Upotrebom projektila KRASNOPOLJ artiljerijske jedinice mogu da rešavaju većinu zadataka u kratkim intervalima (2 do 3 min), čime onemogućavaju protivnika da odgovori protivudarom.

Jedino se sistem artiljerijskih vođenih projektila KOPERHED može uporediti sa sistemom artiljerijskih vođenih projektila KRASNOPOLJ. Uporedni pregled taktičko-tehničkih karakteristika prikazan je u tabeli 1.

Analizom taktičko-tehničkih i eksploatacionih karakteristika dolazimo do zaključka da sistem KRASNOPOLJ ima preimućstvo nad sistemom KOPERHED. To se, pre svega, odnosi na daljinu gađanja, mogućnosti gađanja više ciljeva i mogućnost uništavanja ciljeva sa gornje strane »pikirajućom« balističkom putanjom. Značajno je, takođe, i preimućstvo eksploatacionih karakteristika.

Pri pripremi projektila KRASNOPOLJ za gađanje moraju se, u odnosu na klasične artiljerijske projekte, izvršiti dodatne radnje:

- određivanje režima rada bloka autopilota, pogonskog motora i frekvencije laserskog osvetljavanja cilja i to pomoću tri preklopnika;

- sastavljanje dva odvojena dela projektila koji će čuvaju u odgovarajućim ležištima, u hermetičkim frotrolama.

Pri gađanju iz vučnih oruđa delovi projektila mogu biti i ranije sklopjeni, tj. pripremljeni za lansiranje.

Karakteristika	KOPERHED	KRASNOPOLJ
1	2	3
Kalibar (mm)	155	152 ili 155
Daljina gađanja (km)	16	20
Način navođenja	inercijalno + samonavođenje	inercijalno + samonavođenje
Masa projektila (kg)	62,6	50
Masa: bojne glave/ eksploziv (kg)	22,5/6,7	20,5/6,5
Tip bojne glave	kumulativno - trenutna	Trenutno-fugasna
Ciljevi koje uništava	Oklopna tehnika	Oklopna tehnika i inženjerska sredstva
Verovatnoća pogađanja cilja	0,82	0,9
Metod samonavođenja	Proporcionalna navigacija sa kompenzacijom sile teže	Proporcionalna navigacija sa preuravnoteženjem sile teže («pikirajuća putanja»)
Način padanja na cilj	U tački osvetljenja	Na gornju projekciju cilja
Razmeštaj u ležišta	Nije obezbeđen smeštaj zbog veće dužine projektila (1372 mm) od ležišta	Obezbeđen smeštaj na račun podele projektila na dva dela
Vreme čuvanja projektila u poljskim uslovima bez kontejnera	Ne više od 72 časa u polietilenskoj vreći	Nema ograničenja
Zaštićenost optike GSN pri rukovanju projektilom	Nije zaštićena	Zaštićena je zaštitnom kapom
Priprema za gađanje	Pre punjenja potreban je pregled površina i žlebova od nečistoće i povreda	Isto kao kod klasičnog metka
Zahtevi pri rukovanju projektilom pri punjenju	Čuvanje projektila od udara, peska, prašine i vlage	Isto kao kod klasičnog metka

Ostali postupci u rukovanju projektilima KRASNOPOLJ u potpunosti odgovaraju postupcima kod klasičnih nevođenih projektila.

Upotreba projektila KOPERHED suštinski se razlikuje od upotrebe klasičnog metka.

Osnovne karakteristike koje usložavaju rukovanje projektilom KOPERHED u borbenim uslovima su:

— neophodnost upotrebe specijalnog transportnog kontejnera za čuvanje projektila;

— neophodnost kontrole vlažnosti u kontejneru;

— mogućnost čuvanja projektila uz oruđe samo u specijalnoj zaštitnoj vreći i ne više od 72 časa. Posle toga projektil se mora vratiti na uslovno mesto čuvanja;

— režim rada se određuje pomoću pet preklopnika;

— mogućnost prljanja i oštećenja zaštitnog stakla glave za samonavođenje i potrebe za čestom kontrolom;

— zahteva odgovarajuću orijentaciju projektila pri njegovom stavljanju u ležište za kontrolu zaštitnog stakla glave za samonavođenje;

— neophodnost čišćenja zadnjeg konusa posle dužeg stajanja projektila u zagrejanoj cevi.

Prema tome, rukovanje projektilom KRASNOPOLJ u realnim borbenim uslovima je jednostavnije i sigurnije nego projektilom KOPERHED.

Ocena borbene efikasnosti projektila KRASNOPOLJ data za dva borbeno zadatka:

a) uništenje (na nivou 60%) vodne otporne tačke sastava tri tenka, četiri borbena vozila pešadije, dva bunkera, dva lansera PT vođenih raketa i žive sile u rovovima;

b) uništenje (na nivou 60%) čete tenkova (8 od 13).

Ocena je data upoređivanjem ispunjenja istih zadataka klasične artiljerije (sa nevođenim projektilima) i artiljerije koja koristi i projektele KOPERHED.

Rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2

Kriterijum	Klasična artiljerija	Klasična artiljerija + KOPERHED	Klasična artiljerija + KRASNOPOLJ
1	2	3	4
Uništenje vodne otporne tačke			
Jedinica	Divizion	Baterija	Baterija
Utrošak projektila (kom.)			
— nevođenih	800	100	50
— vođenih	—	20	16
Vreme ispunjenja borbenog zadatka (min)	8,0	4,0	2,5
Sopstveni gubici (%)	18	5	3
Cena ispunjenja borbenog zadatka (hilj. \$)	5408	1200	930
Uništavanje tenkovske čete			
Jedinica	Zadatak ne može da reši	Baterija	Baterija
Utrošak projektila (kom.)			
— nevođenih		—	—
— vođenih		18	12
Vreme ispunjenja borbenog zadatka (min)		3,5	2
Sopstveni gubici (%)		4	1
Cena ispunjenja borbenog zadatka (hilj. \$)		950	600

Navedeni rezultati borbene efikasnosti pokazuju da se primenom sistema KRASNOPOLJ pri ispunjavanju osnovnih borbenih zadataka smanjuje:

- broj oruđa za 2 do 3 puta,
- utrošak municije za 10 do 15 puta,
- cena ispunjenja
 borbenog zadatka za 5 do 10 puta.

T. Antić

AVIONSKA PROTIVTENKOVSKA MUNICIJA*

Kopnena vojska za zaštitu svojih objekata od sistema oruđa visoke tačnosti koristi individualna i grupna sredstva radio-elektronskog protivdejstva. Na primer, blagovremeno i značajno postavljanje aerosolnih zavesa sa municijom za pasivno ometanje tipa PURGA na desetine puta umanjuje verovatnoću pogađanja cilja vođenim raketama. To je dovelo do toga da, uprkos prognozama, nevođeno oružje, kao i do sada, zadržava svoje mesto u sistemu avionskog naoružanja. Za nanošenje udara po grupisanoj oklopnoj tehnici iz aviona i helikoptera široko se primenjuju nevođene avionske rakete i avionske bombe. Bojne glave municije, koje nose kumulativni projektili, probijaju oklop kumulativnim mlazom koji se obrazuje pri eksploziji projektila. Povećanje probojnosti oklopa je predmet intenzivnih ispitivanja. Pri projektovanju municije zadatak se usložava zbog protivrečnih zahteva za obezbeđenje visoke pouzdanosti proboja oklopa velike daljine i mogućnosti masovne proizvodnje municije od nedeficitnih

materijala. Zato se od početka razvoja kumulativne municije osnovna pažnja poklanja:

— matematičkom i prirodnom eksperimentu pri izboru i utvrđivanju parametara kumulativnog metka;

— istraživanju uticaja elementa konstrukcije kumulativnog metka, tehnoloških tolerancija i strukture materijala obloge na stabilnost probojnosti oklopa;

— tehnologijama izrade obloga i punjenja bojnih glava eksplozivnom materijom u uslovima proizvodnje velikih serija.

Kao rezultat toga usvojene su u naoružanje protivtenkovske avionske bombe, u početku PTAB-1, a zatim PTAB-1M, koje su se primenjivale za punjenje jednokratnih kasetnih bombi i kontejnera za malogabaritne tere-te.

Karakteristična osobina kumulativnog metka ovih bombi je u tome što je dovoljno visok nivo probojnosti dostignut na kratkim fokusnim rastojanjima. PTAB-1M je efikasna pri uništavanju tenkova sa strane kupole. Ojačanje oklopne zaštite tenkova sa čela i bočnih strana, uključujući i elemente dinamičke zaštite, dovelo je do potrebe opremanja bojnih glava nevođenih avionskih raketa tandemskim kumulativnim mecima. Moguće su razne konstrukcije, uključujući i netradicionalne.

Kumulativna bojna glava nevođene avio-rakete S-8T izrađena je po šemi »tandem«. Probijajući homogeni oklop, kao i rakete S-8KOM, raketa S-8T je sposobna da efikasno uništi tenkove koji su opremljeni dinamičkom zaštitom. Osobenost konstrukcije bojne glave S-8T je u tome što kumulativni metak, koji je smešten u nosnom delu, ima kalibar jednak kalibru rakete. To omogućava uništenje elemenata dinamičke zaštite koji su zaštićeni oklopnom pločom od dejstva metaka i parčadi.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust 1997.

Proizvedena municija obezbeđuje rešenje zadatka za efikasno uništenje savremene oklopne tehnike. Ipak, mnogovrsnost razvoja savremenog i perspektivnog oklopa sa različitim šemama dopunske i ugrađene dinamičke zaštite doveli su do toga da je jedna vrsta municije efikasna za jedan oklop, a nije efikasna za drugi. Rešenje ovog problema je osnovni pravac usavršavanja kumulativne municije i iziskuje znatne intelektualne napore, kao i eksperimentalnu obradu velikog obima.

Osnovne karakteristike avionske protivtenkovske municije

Naziv	PTAB- -IM	S-8 KOM	S-8 T
Kalibar (mm)	42	80	80
Dužina (mm)	260	1570	1700
Masa (kg)	0,94	11,3	15,00
Masa ekspl. punj. (kg)	0,12	0,9	1,6
Probojnost oklopa (mm)	min. 200	min. 400	min. 400
Kumulativni metak	klasični	klasični	tandem

M. Krbavac

kasni (veliki gubici u pojedinim lokalnim sukobima), nemaju budućnost u očekivanim uslovima borbenih dejstava. Bolje rešenje, po njihovom mišljenju, predstavljala bi »nulta« varijanta tenkova koja bi bila kombinacija »inteligentnog« oružja velike preciznosti i dometa i dovoljno efikasnih snaga za brza dejstva.

Nema sumnje da je usavršavanje i povećanje snaga za brza dejstva neophodno, imajući u vidu njihovu osposobljenost da za veoma kratko vreme stignu do bojišta, ma koliko bilo udaljeno. One treba da budu ojačane lakim oklopnim naoružanjem (13-20 t) koje se može transportovati vazдушnim putem. Očigledno je da snage za brza dejstva nemaju dovoljan broj helikoptera (kao vazдушnih transportera pešadije) i desantne pešadije nema dovoljno.

Radi održavanja postignutog odnosa snaga između Zapada i Istoka neophodno je osloniti se na razvoj oružanih snaga opšte namene koje obezbeđuju odbrambene sposobnosti države. Očigledno je da je samo kombinovanje »inteligentnog« naoružanja velikog dometa i snaga za brza dejstva u tom smislu nedovoljno.

Naravno, u budućim borbenim dejstvima, oružja za borbu na daljinu naći će svoje mesto, a odnos između tih sredstava i oružja za bliska dejstva će se izmeniti. Međutim, oružja za bliska dejstva sačuvace svoj značaj sve dok postoje oružane snage. Konačno razbijanje oružanih snaga protivnika, zauzimanje njegovih vitalnih objekata i ovladavanje teritorijom (a bez toga se ne može slomiti otpor) moguće je samo snagama opšte namene. U njihovom sastavu, nezavisno od nivoa (divizija, korpus, armija), tenkovi i oklopno naoružanje čine osnovu borbenih mogućnosti.

Nova tehnička rešenja, kao i nove tehnologije, opravdavaju dalje usavršavanje tenkova i poboljšanje njihovih borbenih mogućnosti. I mada

OKLOPNO NAORUŽANJE NA PRAGU 21. VEKA*

U današnje vreme tenkovi i oklopno naoružanje prolaze kroz prelomni period svog razvoja. Predstoji revizija i nova ocena njihove uloge i mesta u sistemu naoružanja kopnene vojske. Neki specijalisti smatraju da tenkovi, koji su oružje napada u bliskoj borbi i nedovoljno efi-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—juni 1997.

odluku donosi čovek i neposredno učestvuje u borbi, tenk, zahvaljujući visokom stepenu kompjuterizacije i automatizacije, takođe se može smatrati »inteligentnim« oružjem — jer dejstvuje u svako doba dana i noći, po svakom vremenu, upravljivo je, snabdeveno potrebnim informacijama i sposobno da pouzdano uništi (na osnovu mogućnosti otkrivanja, tačnosti gađanja i veličine dejstva) ciljeve malih dimenzija do daljina direktne vidljivosti (do 5 km). Korišćenjem različitih »inteligentnih« sistema povećava se njihova zaštićenost i pokretljivost.

Tendencije daljeg usavršavanja tenkova i povećanje komponente oklopnog naoružanja u snagama opšte namene mogu se uočiti u svim razvijenim zemljama. Pri tome, njihova brojnost, određena Pariskim dogovorom 1990. godine, ostaje i dalje velika. Posle obostranih smanjenja u NATO i Rusiji ostaće po oko 20 000 tenkova.

Glavna prednost tenkova nije u stepenu njihove kompjuterizacije i automatizacije, već u njihovoj koncepciji koja će u doglednoj budućnosti ostati neizmenjena, mada se tehnički oblik može suštinski izmeniti. Kombinovanje vatrene moći, zaštićenosti i pokretljivosti daje im principijelno nove mogućnosti. U tom smislu, tenkovi se ne mogu zameniti drugim sredstvima ni njihovim kombinacijama. Bez njih nisu moguća aktivna dejstva na kopnu i ne može se obezbediti dovoljna odbrana.

Tenkovi su oružje za blisku borbu i glavna prednost im je što su, zahvaljujući pouzdanoj zaštiti, u stanju da dejstvuje na prednjoj liniji pod jakim vatrom protivnika i da uništavaju različite ciljeve napredujući bez zastoja. Glavni zadaci su im borba sa protivničkim tenkovima, uništenje drugih oklopljenih objekata, uništenje važnih neoklopljenih ciljeva koje zahteva jako vatreno dejstvo i borba sa preostalom pešadijom, masovno opremljenom protivtenkovskim sredstvima.

Treba napomenuti da, pored toga što im je protivtenkovska funkcija najvažnija, tenkovi treba da budu višenamensko oružje, a ne lovci na tenkove. Pošto se ne može realizovati apsolutno neuništiv tenk, imaće veće gubitke nego u ranijim ratovima, što je posledica većeg uništavajućeg dejstva savremenih sredstava. Mada, tenkovi će ostati najzaštićenija sredstva, jer će gubici drugih sredstava biti još veći.

Tenkovi su taktičko operativno oružje. Njihova visoka zaštićenost i efikasna vatrene moć omogućavaju, dejstvujući na prednjoj liniji, ostvarivanje proboja, a velika pokretljivost i sposobnost dugotrajnog funkcionisanja u neposrednom dodiru sa protivnikom omogućavaju sprovođenje operacija u velikoj dubini visokim tempom. To je efikasno sredstvo rešavanja ne samo zadataka u napadu (proboj odbrane, širenje uspeha) već i formiranja aktivne, stabilne i ekonomske (u odnosu na ljudske resurse) odbrane.

Te mogućnosti su i učinile da tenkovi postanu osnovni elementi strukture i osnove borbenih mogućnosti onštevoinih jedinica svih nivoa. Može se reći da su oni prevazišli svoju prvobitnu namenu kao oružje roda i postali osnovno sredstvo kopnene vojske u borbi.

Konstrukcija tenkova, uslovljena obezbeđivanjem visokog nivoa zaštite od običnih sredstava uništenja, omogućava, uz preduzimanje dopunskih mera, veoma efikasnu zaštitu i od nuklearnog naoružanja (u poređenju sa drugim borbenim sredstvima). Ali, osnovni zadatak je neophodni nivo vatrene moći, zaštita od običnih sredstava uništenja i pokretljivost.

Tenkovi su i univerzalno sredstvo naoružanja, ali njihove mogućnosti na savremenom ratištu u tom pogledu nisu neograničene. Oni nisu pogodni za izvršavanje zadataka po okončanju borbenih dejstava — uništavanje os-

tatka protivnika i ovladavanje teritorijom. Raspolažući moćnim, ali jednokanalnim naoružanjem, tenkovi ne rešavaju na najbolji način zadatak borbe sa živom silom koja predstavlja opasnost za tenkove (strelci masovno opremljeni lakim protivtenkovskim sredstvima koji koriste skloništa, zaklone i sl.). Borbeni komplet im je relativno mali i zato ne mogu uspešno izvršavati zadatke artiljerijskog karaktera (uništavanje površinskih ciljeva).

Postaje očigledno da tenkovi zahtevaju dopunu i sadejstvo drugih borbenih vozila, obrazujući sa njima prednju liniju. Pošto svi dejstvuju u jedinstvenom borbenom poretku i u istim uslovima, pod jakom vatrom protivnika, potrebno je da imaju i visoki nivo zaštite kao i tenk.

Prvi od »nezgodnih« zadataka za tenk uspešno rešava pešadija. Samo ona može da uništi ostatke protivnika, jer se spušta u rovove, ulazi u zgrade i dr. Pored toga, brzom paljbom sa grubim nišanjem pešadija pouzdano uništava živu silu koja predstavlja opasnost za tenkove i, samim tim, štiti tenkove.

Međutim, na savremenom bojištu pešadija ne može uspešno da izvršava borbene zadatke zbog znatno veće ranjivosti od novih protivpešadijskih sredstava i nedovoljne pokretljivosti. Potrebno je sredstvo koje bi joj dalo potrebnu zaštićenost i pokretljivost, povećalo vatrenu moć, omogućilo stalno i tesno sadejstvo sa tenkovima i, u isto vreme, sačuvalo njene borbene mogućnosti. Takvo sredstvo je borbeno vozilo pešadije (BVP) ili »tenk strelaca« — blizak i važan saradnik tenka na prednjoj liniji. Glavna osobina BVP je višekanalnost naoružanja. Strelci treba da budu razmešteni tako da u toku osnovnih vidova borbe dejstvuju iz vozila, a osnovno naoružanje treba da dopunjuje tenk (spoj malokalibarskog automatskog topa i protivtenkovski vođeni projektil). Pored tih zadataka, BVP uspešno uništava lakooklopljena vozila, a može da-

ti i doprinos u borbi sa tenkovima i vazдушnim ciljevima. Pokušaji da se na prednjoj liniji sa tenkovima koriste laka BVP (a to se, na žalost, radi), osuđeni su na neuspeh i mogu dovesti do nedozvoljivih gubitaka i BVP i tenkova, jer ostaju bez podrške pešadije.

Namena borbenog vozila (BV) PVO (ili »PVO tenka«) u ešelonu prednje linije je očigledna. Borbeno vozilo neposredne vatrene podrške (BV NVP — ili »artiljerijski tenk«) predstavlja artiljeriju na prednjoj liniji, koja može da dejstvuje pod protivničkom vatom, neposrednim osmatranjem da otkriva pozicije opasnih daljih vatrenih sredstava i bez čekanja (»ugledam-gadam«) ih uništava direktnim nišanjem sa preticanjem po daljini (5000—6000 m). Takvo vozilo mora imati znatno veći borbeni komplet od tenka (80—90 projektila) i odgovarajuća punjenja povećanog dejstva. To zahteva povećanje kalibra i odustajanje od obrtne kupole.

Pošto savremeni tenkovi imaju vođene rakete, specijalno protivtenkovsko vozilo sa raketnim naoružanjem (»lovac tenkova«) u prvoj liniji nije neophodno. Ono se može pojaviti ako se u »čisto« raketnom oružju realizuju principijelno nove mogućnosti, koje nemaju tenkovi sa postojećim topovsko-raketnim naoružanjem.

Uporedo sa kompleksom borbenih vozila ešelona prednje linije, za uspešno izvršavanje zadataka na savremenom bojištu neophodan je kompleks vozila mobilnog ešelona — lakih (12—20 t), plovecih, vazdušnotransportnih i povećane pokretljivosti (laki tenk, BVP i dr.). Jasno je da ta vozila mogu imati samo laku zaštitu (protiv metaka, protiv narčadi), i njihova vatrena moć je u određenoj meri ograničena. Vozila tog ešelona namenjena su za korišćenje u snagama za brza dejstva (uključujući i vazdušnodesantne snage), u mobilnim delovima snaga opšte namene (izviđačke jedinice, operativno-manevarske grupe i sl.), u morna-

ričkoj pešadiji i na specijalnom bojištu (dubok sneg, pirinčana polja i sl.). Veoma je važno da bude isti kompleks borbenih vozila, samo sa manjim modifikacijama za vazdušnodesantne snage i mornaričku pešadiju.

Na taj način se oko tenkova, koji su duže vreme funkcionisali praktično u »čistom« obliku, formirao sistem oklopnog naoružanja koji čine dve vrste: osnovno (ešelon prednje linije) i lako (mobilni ešelon). U skladu sa tim, treba razmotriti i dva tipa tenkova — osnovni (koji je zahvaljujući novim tehničkim rešenjima nasledio i objedinio sve prednosti prethodnih srednjih i teških tenkova — masovnost i performanse) i laki (ploveći, vazdušno-transportni).

Može se zaključiti da će u dalekoj budućnosti efikasnost i umešna primena avijacije, »inteligentnog« oružja za borbu na daljinu i tenkova (oklopnog naoružanja) određivati tok i rešavati ishod budućih operacija na kopnu. U centru dejstva na kopnu biće borba tenkova jedne strane u napadu sa tenkovima i protivtenkovskim sredstvima druge strane u uslovima dejstva avijacije, protivvazdušne odbrane i »inteligentnog« oružja za dejstvo sa daljine.

Završetak hladnog rata daje određeni vremenski predah, trka u naoružanju nije potpuno prekinuta i, umesto nagomilavanja naoružanja, pretvorila se u takmičenje na polju tehničkih unapređenja i razvoja tehnologija za usavršavanje postojećih i razvoj principijelno novih sredstava naoružanja (radi se o istraživačko-razvojnog radu, a ne o serijskoj proizvodnji). Ukoliko Rusija ne posveti potrebnu pažnju razvoju tenkova, pre svega realizaciji perspektivnih prototipova, kroz izvesno vreme njeni konkurenti učiniće takav napredak (npr. SAD su za program razvoja oklopnog naoružanja ASM izdvojile 59 milijardi USD) da će rusko nuklearno naoru-

žanje prestati da bude faktor odvraćanja, a Rusija — velika država. Faktor nuklearnog odvraćanja mora se oslanjati na principe strategije elastičnog reagovanja, za šta su potrebne efikasne snage opšte namene, u kojima centralno mesto zauzima oklopno naoružanje.

D. Bogdanović

IMITATOR VAZDUŠNOG CILJA »SOMAN«*

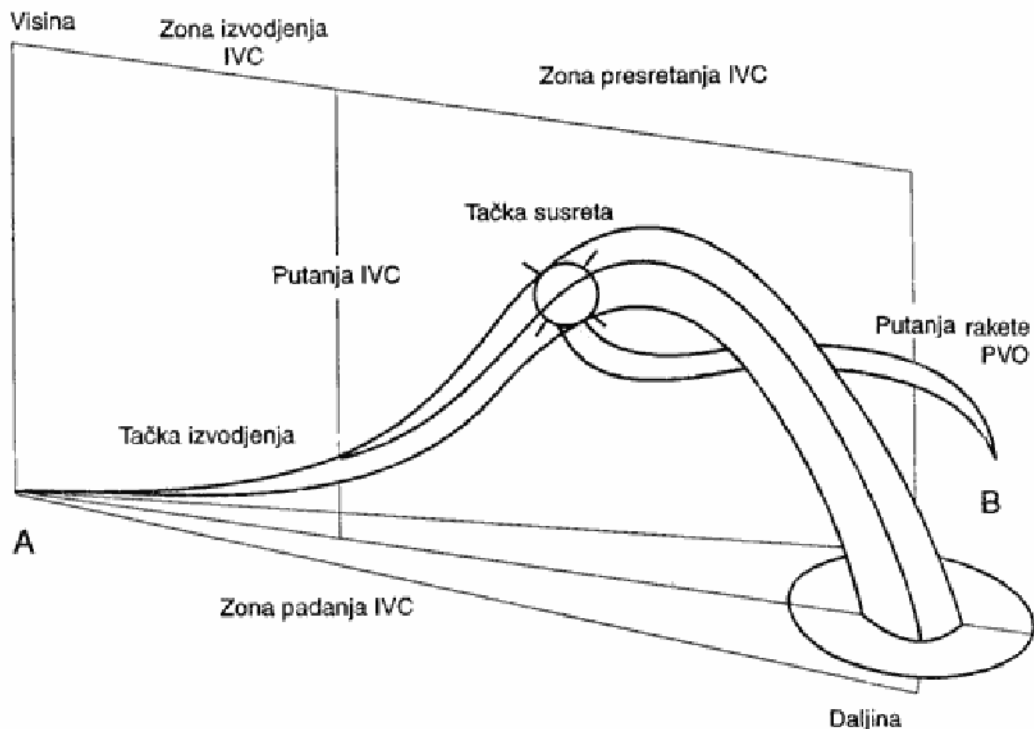
Borbena efikasnost sredstava protivvazdušne odbrane umnogome se određuje obučenošću i profesionalnošću borbenih posada. Proces obuke članova posada obavezno uključuje uvežbavanje u uslovima najpribližijim borbenim. Realna situacija u vazdušnom prostoru, za sisteme koji gađaju, stvara se primenom raznih tipova imitatora vazdušnih ciljeva.

Jedan od takvih je imitator vazdušnog cilja (IVC) SOMAN (9F841) konstruisan na bazi protivavionske vođene rakete OSA-AKM, koji je po svojim geometrijskim, balističkim i radarskim karakteristikama analogan savremenim sredstvima velike tačnosti, namenjenim za ofanzivna taktička dejstva.

Za lansiranje i upravljanje letom imitatora vazdušnog cilja koristi se formacijsko borbeno vozilo 9A33BM2 raketnog sistema PVO OSA-AKM, koje ne zahteva nikakve dorade, kao i pripadajuća formacijska oprema.

Po potrebi, moguća je prinudna likvidacija IVC na upravljanoj putanje leta na udaljenosti do 11 km.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust 1997.

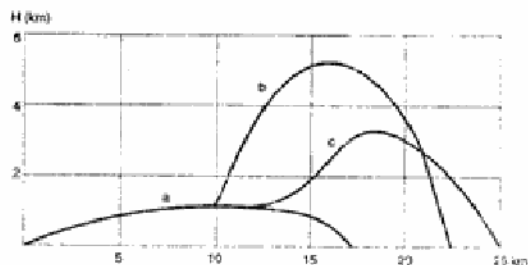


Sl. 1 — Sema korišćenja IVC 9F841 u sklopu mete 9F691:
A — startna pozicija IVC 9F841, B — startna pozicija raketnog sistema PVO

Imitator vazdušnog cilja SOMAN predstavlja nesumnjivo veliki interes za zemlje koje u naoružanju svojih jedinica imaju PVO sisteme OSA-AKM, kao i zainteresovanih za korišćenje savremenih imitatora sredstava za vazdušni napad taktičke namene.

Tehničke karakteristike i borbene mogućnosti IVC 9F841:

- postavlja se u hermetičkom transportno-lansirnom kontejneru i ne zahteva provere i održavanje;
- koristi se sa standardnim borbenim vozilom 9A33BM2 (9A33BM3), bez dorade;
- primenjuje se formacijski komplet opreme na zemlji;
- u borbenom kompletu mete nalazi se 6 imitatora;
- gotovost za borbenu upotrebu iznosi 1 minut;



Sl. 2 — Tipične putanje IVC 9F841:
a — bez manevara, b — manevar na 28 s,
c — manevar na 40 s

- brzina u zoni presretanja — 250 do 150 m/s;
- maksimalna daljina leta — 22 km;
- efektivna površina rasturanja — do 0,6 m na frekvenciji 15 GHz;
- obezbeđuje mogućnost vizuelnog osmatranja i vidljivost u infracrve-

- nom dijapazonu frekvencija za sve vreme trajanja leta;
- putem radio-komandi ima vođeni deo leta do tačke izlaza na daljinu 11 km u intervalu visina od 50 do 5000 m;
 - automatska samolikvidacija pri gubljenju radio-upravljanja u zoni izvođenja ili ispadom upravljanja iz borbenog vozila;
 - mogućnost izbora tipa autonomnog dela putanje (bez manevra i sa manevrom »kabrirovanje«);
 - manevar u trajanju 5,5 s na 28 s ili 40 s leta obezbeđuje pretovar IVC 8 — 3 jedinice;
 - pikanje sa uglom nagiba putanje od 5° do 70° ;
 - imitacija dvostrukog cilja lansiranjem dva IVC u intervalu 5 s.

M. Krbavac



tehničke novosti i zanimljivosti

RAZVOJ TENKOVSKOG TOPA KALIBRA 140 mm*

Tri evropske kompanije formirale su zajednički konzorcijum za razvoj topa kalibra 140 mm sa glatkom cevi, kao budućeg osnovnog naoružanja tenka. RGR Armament formirale su kompanije Giat Industries (Francuska), Rheinmetall Industrie (Nemačka) i Royal Ordnance (Velika Britanija).

Zajednički konzorcijum lociran je u Ratingenu u Nemačkoj i odgovoran je za razvoj, marketing i eventualnu proizvodnju naoružanja kalibra 140 mm, pripadajuće municije (projektili sa kinetičkom energijom) i sistema punjenja.

Mada se glatkom cevi kalibra 140 mm i posebnim punjenjem municije može opreмати budući evropski tenk, nemačka armija je jedina u Evropi koja je iskazala zvanične zahteve za novim osnovnim borbenim tenkom.

Top 120 mm sa glatkom cevi najveći je kalibar tenkovskog topa u upotrebi u Francuskoj (LEKLERK), Nemačkoj (LEOPARD 2) i SAD (M1A1 i

M1A2 ABRAMS). Velika Britanija koristi top kalibra 120 mm sa izolacionom cevi na svojim osnovnim tenkovima ČELENĐER 1 i 2.

Trenutno ne postoje proizvodne aplikacije za top 140 mm i može se očekivati da nemačka i američka armija zamene topove kalibra 120 mm sa glatkom cevi novim dužim cevima istog kalibra, kako bi bili sposobni da ispaljuju municiju većom početnom brzinom i većom penetracijom oklopa.

Tri kompanije RGR Armament su, takođe, investirale novac i u druge programe. Na primer, Royal Ordnance radi na aspektima sistema punjenja.

Kalibar topa 140 mm sa glatkom cevi zahtevaće automatski sistem punjenja, što podrazumeva da će se projektovati i izraditi novi kupolni sistem. RGR Armament će formirati osnovu za ostale kooperacije u budućim tehnologijama za tenkovsko naoružanje i municiju, što podrazumeva razmatranje uključivanja naprednijih sistema oruđa, kao što je, na primer, elektrotermalno osnovno naoružanje.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, april 97.

USAVRŠAVANJE ČEŠKOG TENKA T-72*

Izraelska kompanija »Nimda« isporučuje tenkovske kompaktne pogonske blokove za češkog partnera VOP 025 (Vojni remontni zavod) koji realizuje modernizaciju tenkova T-72 češke vojske na nivo standarda M4. Prvi kompaktni pogonski blok za dinamička ispitivanja isporučen je u maju 1997. godine. Ovaj blok, zajedno sa nemačkim sistemom za upravljanje vatrom TURMS, predstavljao je prototip na kojem su, u okviru ispitivanja pouzdanosti, sprovedeni potrebni testovi u julu 1997. godine. U sastav kompaktnog pogonskog bloka ulaze poprečno postavljeni dizel motor CV12-1000TCA od 746 kW (1000 KS) firme »Varitij Perkins« i transmisija XTG 411-6 firme »Allison«. Montaža ovih agregata obavljaće se u češkim firmama »ČKD« i »Praga«.

M. S.

PROTOTIP EGIPATSKOG BORBENOG VOZILA PEŠADIJE**

Ispitivanja prototipa egipatskog borbenog vozila pešadije, koji je razvila kompanija United Defence LP (SAD) i egipatsko ministarstvo za vojnu proizvodnju, izvršena su u Egiptu. Projek-

tovano je da se koristi širom Egipta u sadejstvu sa osnovnim borbenim tenkom, a do kraja sledeće godine biće isporučeno u količini od 555 komada.

Šasija BVP zasnovana je na lakom taktičkom mobilnom vozilu koje, inače, proizvodi kompanija United Defence, unapređenog u odnosu na brojne serije oklopnog vozila pešadije M113. Ovo vozilo ima šest točkova i poboljšano elastično oslanjanje sa većim dinamičkim hodom oslonih točkova.

Pogonski agregat čini dizel motor DETROIT 6V-53TA koji razvija 400 KS i povezan je sa hidrodinamičkom transmisijom ALLISON X200.

Borbena masa vozila iznosi 17690 kg, a odnos snaga—masa je 22,62 KS/t, što je bolje nego kod američkog BVP M2A2 BRADLEY.

Čeoni deo oklopnog tela, bočne strane, gornji i zadnji deo preuzeti su sa vozila M113A3, ali je telo duže i opremljeno je slojem titanovog oklopa koji povećava nivo zaštite od pancirnih projektila kalibra 14,5 mm.

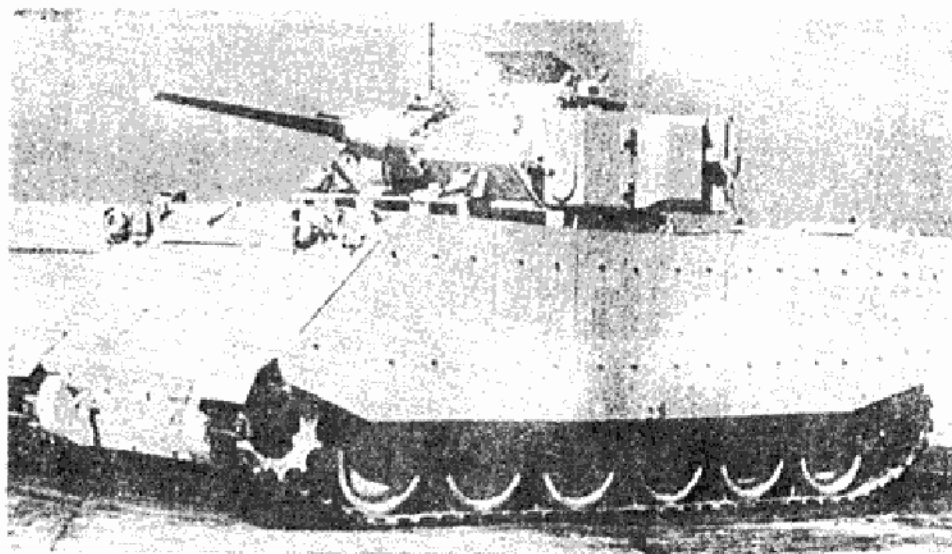
Kupola je ista kao kod BVP M2A2 BRADLEY. Opremljena je potpuno stabilisanim topom kalibra 25 mm M242, koaksijalnim mitraljezom kalibra 7,62 mm M240 i sa dva lansera protivtenkovskih raketa TOW Hughes Missile Systems, dometa 3750 m.

Očekuje se da će se sva planirana ispitivanja završiti do kraja iduće godine i da će se BVP uvesti u serijsku proizvodnju, uz eventualni transfer tehnologije u Egipt.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, septembar 1997.

** Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, april 97.



BVP egipatske armije

USAVRŠAVANJE IZRAELSKOG OKLOPNOG TRANSPORTERA X3A1*

Izraelska firma »Nimda« radi na razvoju poboljšane verzije oklopnog transportera X3A1 ACHZARIT, mase 44 tone, za potrebe svojih oružanih snaga. Varijanta Mk2 imaće poboljšan oklop, amortizirajući elastični sistem firme »Merkava« umesto sadašnjeg sistema sa torzionim polugama preuzetog sa tenka T-55 i dizel motor GM 8V92T od 549 kW (736 KS) umesto dosadašnjeg motora 8V71 od 466 kW (625 KS).

Naoružanje će biti smešteno u kupolu OWS25, firme Rafael, sa daljinski upravljanim topom M242 od 25 mm firme »Buchmaster«. Pored toga, na kupolu će sa spoljne strane biti montirani i lanseri za protivtenkovsku raketu SPIKE, firme »Rafael«, dometa 4 km.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, septembar 1997.

UVODENJE NATO KALIBRA 155 mm U SLOVAČKU ARMIJU*

Slovačka armija je, zvanično prihvatajući samohodni 45 kalibarski top-haubicu 155 mm ZUZANA 8x8, postala prvi član bivšeg Varšavskog ugovora koja je uvela NATO kalibar 155 mm u svoje artiljerijske sisteme.

Prva narudžbina čini 8 sistema ZUZANA, pod oznakom model 2000, a očekuje se da sledeći sistemi budu kupljeni kada se obezbeđe dodatna sredstva iz budžeta. Slovačkoj je, sporazumima o ograničenju naoružanja, dozvoljeno da ima 373 artiljerijska sistema, a veruje se da će oruđa kalibra 152 mm biti zamenjena sistemima 155 mm.

Top-haubica ZUZANA razvijena je na osnovu samohodnog sistema 152 mm DANA, koji se pojavio sedamdesetih godina kako bi ispunio zahteve tadašnje čehoslovačke armije. Ukupna proizvodnja sistema DANA iznosi-

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, april 97.

la je oko 750 komada, sa izvozom u Libiju, Poljsku i Rusiju.

Top-haubica ZUZANA postavljena je na oklopljenoj šasiji kamiona TATRA 8x8 serije 815. Ispaljuje projektele povećanog dometa sa generatorom gasa na daljine do 39,6 km. Automatski sistem punjenja omogućava brzinu gađanja od 6 metaka u minuti, a može da nosi 40 projektila.



Samohodni top-haubica 155 mm ZUZANA

ZUZANA je demonstrirana u mnogim zemljama, a proizvođači navode da su četiri zemlje zainteresovane za nabavku sistema. One uključuju neke istočnoevropske zemlje i dve sa Bliskog istoka, koje su već nabavile znatan broj kamiona TATRA 8x8 ili 6x6.

Cena jednog oruđa je od 3,4 do 3,6 miliona dolara. U poređenju sa vučnim, samohodni artiljerijski sistem ima veću strategijsku mobilnost (maksimalna brzina van puta je 80 km/h) i nižu cenu održavanja. Posadu čine četiri člana.

V. R.

RAZVOJ ČEŠKOG SAMOHODNOG PA TOPA 35 mm*

Češka kompanija Škoda nosilac je razvoja novog samohodnog protivavionskog topa 35 mm. Novi sistem postavljen je na okloпној šasiji kamiona TATRA 8x8, koji ima dobru mobilnost van puteva i sistem centralne regulacije pritiska u pneumaticima. Novi PA top imaće potpuno oklopljen prostor za posadu i mašinski odeljak. Posadu čine komandir, operator (nišandžija) i vozač. Ovom sistemu pripada i simulator za trening — obuku koji će biti standardni deo opreme. Dva hidraulička stabilizatora biće postavljena sa strane vozila kako bi obezbedili veću stabilnost platforme prilikom gađanja.

Top 35 mm ima brzinu gađanja od 1000 metaka u minuti. Može ispaljivati različite tipove municije, uključujući novu AHEAD municiju (početna brzina oko 1050 m/s) i FAPDS municiju (početna brzina oko 1440 m/s). Top može da ponese 452 projektila, od kojih je 228 spremno za upotrebu, a ostatak se puni ručno.

Sistem za upravljanje vatrom sastoji se od računara, video procesora, termalnog modula za sliku, laserskog daljinomera i automatskog pratioca cilja. TV kamera, pasivni radar i modifikovani laserski označivač moguće su opcije. Trema naglasiti da samohodni top može primati informacije o cilju i od drugih senzorskih sistema, kao što je izviđački radar koji može locirati ciljeve za dva topa.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, april 97.

VERZIJE LANSERA PA RAKETNOG SISTEMA »STINGER«*

Firma »LFK« koja posluje u sastavu »Daimler-Benz Aerospace«, prvi licencni proizvođač u Evropi PA raketnog sistema malog dometa STINGER, američke firme »Hughes«, razvila je familiju lansirnih uređaja za borbene letelice, brodove i zemaljske lansirne stanice.

Opitovanje standardne lansirne stanice za rakete STINGER, koja u svom sastavu ima dva lansera i prateći elektronički interfejs, započeto je u okviru ispitivanja zajedničkog evropskog helikoptera TIGAR u aprilu 1997. godine.

Modularna adaptirana stanica za STINGER, namenjena za nemačko ratno vazduhoplovstvo, dobila je rukohvat za upravljanje, termalni pretvarač slike i interfejs prema sistemu za upravljanje vatrom. Ista firma razvila je i kombinovanu lansirnu stanicu koja, sa brodova ili kopnenih vozila, može da lansira raketu STINGER kao i ostale rakete vrlo malog dometa, kao što je ruska raketa IGLA.

Rešenje obuhvata dva projektila, bocu sa gasom pod pritiskom, upravljačku elektroniku i konzolu operatora.

Montažno postolje rakete STINGER, namenjeno za terenska vozila kao što je MERCEDES GD 250, može da ima do četiri standardne lansirne stanice rakete STINGER sa ukupno 8 raketa ili dve kombinovane lansirne stanice sa ukupno četiri rakete. Montažnim postoljem može da se upravlja iz kabine vozila ili daljinski sa distance do 50 m.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, septembar 1997.

FAMILIJA OKLOPNIH VOZILA ZUBR*

ZUBR je familija višenamenskih oklopnih vozila točkaša, češke firme PSP, konstruisanih u različitim verzijama — 6x6, 8x8, 10x10. Ova vozila koriste, uglavnom, iste međusobno zamenljive komponente, što znatno pojednostavljuje i olakšava logističku podršku i obuku posada. S druge

Osnovne taktičko-tehničke karakteristike

Vozilo	6x6	8x8
Posada (članova)	3—8	3—11
Minimalna masa (kg)	10500	11500
Maksimalna masa (kg)	16000	20000
Snaga motora (kW)	380	
Specifična snaga (kW/t)	23,8	19,0
Menjač	automatski	
Maksimalna brzina (km/h)	115	
Akcioni radijus (km)	950	
Maksimalni uspon (%)	70	
Maksimalni bočni nagib (%)	30	
Maksimalna visina prepreke (m)	0,5	
Maksimalna širina rova (m)	1,8	2,5
Brzina plovljenja (km/h)	9	
ABH zaštita	da	
Sistem veza i komunikacija	prema standardima NATO	
PP sistem	automatski	

* Prema podacima iz časopisa IDET NEWS 1/97.

strane, verzije sa različitim brojem pogonskih točkova nude mogućnost izbora vozila različite nosivosti, u zavisnosti od vrste nadgradnje, tj. oružnog sistema, u rasponu od mitraljeza 7,62 mm do topa kalibra 105 mm.

Osnovne karakteristike vozila su:

- univerzalna platforma za modularno građeno vozilo (većina vozila ima modularnu konstrukciju tela i šasije);

- velika mehanička čvrstoća tela sa nekoliko nivoa balističke otpornosti koja se obezbeđuje korišćenjem dodatnog oklopa;

- specifičan koncept šasije: primena samo jedne vrste nezavisno ovesanih točkova za celu familiju vozila, raspored tipa H uz opciju redukcije radijusa zaokreta laganim kočenjem, pogon svih točkova i centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima;

- pripremljenost za različite tipove oružnih sistema nadogradnjom blokova;

- velika pokretljivost, kao i mogućnost prevoženja železnicom i vazдушnim transportom (uključuje se i parašutiranje).

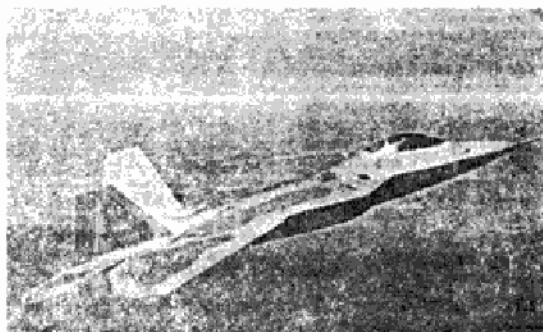
M. S.

AMERIČKI LOVAC F-22*

Posle tri meseca kašnjenja i odgađanja poleteo je novi avion američkog ratnog vazduhoplovstva F-22 RAPTOR. Ovaj superiorni lovac sledeće generacije poleteo je iz avio-baze Dobbins. Avion je dostigao visinu od 4600 metara u toku prvog trominutnog leta i izveo seriju naglih manevara kako bi se ispitala karakteristike upravljivosti i performanse pogonskog motora Pratt&Whitney F119. Takođe, leteo

je zajedno sa eskadrilom lovaca F-16 kako bi se proverile dodatne karakteristike upravljivosti.

Avion će biti prebačen u vazduhoplovni centar za ispitivanje letelica u bazi Edwards (Kalifornija), iduće godine kako bi se podvrgao svim zahtevanim režimima letenja. Prvi avion, označen kao avion 4001, biće ispitivan u okviru 50 letova pre isporuke drugog aviona 1998. godine. Avion 4002 je u završnoj fazi montaže u firmi Lockheed Martin Aeronautical Systems u Marietti (Džordžija), i biće kompletno u toku 1998. godine.



Američki lovac F-22 RAPTOR

Namenjen da zameni lovac F-15 u sledećoj deceniji, superlovac F-22 ima usavršene mogućnosti, kao što su osmatranje, integrisana avionika i sposobnost da leti supersoničnom brzinom bez korišćenja komore za naknadno sagorevanje.

Program razvoja ovog aviona je najskuplji od svih programa u vojsci SAD. Mada su procene da će posle završetka avion koštati 100 miliona dolara, zvaničnici RV SAD ostaju pri svom zahtevu da to bude 71 milion dolara. To se, međutim, može promeniti, ali se takozvanim QDR pregledom (Quadrennial Defence Review) iznalaže mogućnosti da se posle svih ispitivanja i procena utiče na cenu. Taj pregled je restriktivan i već je uticao na smanjenje prvobitne nabavke od 438 na 339 aviona, što je usporilo planiranu brzinu godišnje proizvodnje.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar 1997.

BESPILOTNI HELIKOPTER DP-4*

Koristeći novac privatnih investitora, američka firma »Dragonfly Pictures« razvila je svoj bespilotni helikopter DP-4. Helikopter je namenjen za izvršenje različitih vojnih i paravojnih zadataka, kao i znatnog broja komercijalnih čiji broj svakim danom sve više raste.

Prilikom promotivnog leta, sredinom 1996. godine, helikopter je leteo oko 30 časova, uglavnom lebdeći ili se krećući malom brzinom napred, a bio je podvrgnut i ne naročito zahtevnim testovima sletanja. Navedena firma sada je izradila drugi prototip koji, zapravo, predstavlja i proizvodni standard. Isporuka novih letelica moguća je 6 meseci nakon naručivanja. Planirana cena za ovu letelicu iznosi oko 100 000 USD, bez senzorskog korisnog tereta, a firma za sada nudi kupcima izvan vojske upotrebu letelica na lizing. Navedena firma ponudila je letelicu Birou za zajedničke projekte bespilotnih letelica pri američkom Ministarstvu odbrane, kao i australijskoj Kraljevskoj mornarici i veruje da će ova mala letelica naći svoje mesto u operacijama koje se izvođe sa površinskih brodova.

Letelica, pri čijem razvoju se naročito vodilo računa o pouzdanosti, zahteva sistemsko održavanje svakih 125 časova. Glavni rotor ima relativno malu brzinu od 190 m/s koji se pokreće dvotaktnim motorom firme »Quadra-Arrow« QA200 od 200 cm³ sa 7200 min⁻¹ koji stvara relativno male vibracije. Letelica ima konstrukciju koja omogućava prilagođavanje zadatku koji se pred nju postavlja tako što joj se, na primer, može menjati nosivost povećanjem veličine rotora, bočno uvlačiti saonice za prizemljenje i na taj način pokrivati ugao prizemljenja od 360° u odnosu na montirani senzor.

Standardna letelica može da lebdi iznad zemlje sa korisnim teretom mase 29 kg. Standardno punjenje goriva od 2,7 kg omogućava letnu izdržljivost od 1,5 časova pri letu napred i 1 čas pri lebdenju. Letelica DP-4 u svom sastavu ima i pomoćni sistem za stabilizaciju, a uprkos malim dimenzijama, u slučaju otkaza motora, može da radi u režimu koji joj omogućava prizemljenje. Dužina letelice je 3 m, maksimalna masa 64 kg, od čega 29 kg otpada na korisni teret, a leti brzinom od 160 km/h.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, septembar 1997.

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Birčaninova 5
Telefoni: (011) 645-020 i 656-122, lokal: 22-584
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

NARUDŽBENICA

Pretplaćujem(o) se na časopise za 1998. godinu

primeraka

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 60,00 dinara, polugodišnja pretplata 30,00 dinara.
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9238.
2. VOJNO DELO (opštevojni teorijski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 80,00 dinara, polugodišnja pretplata 40,00 dinara.
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9235.
3. NOVI GLASNIK (vojnostručni intervidovski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 100,00 dinara, polugodišnja pretplata 60,00 dinara.
Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9237.

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun NIU »VOJSKA«: 40823-849-0-2393 (sa pozivom na broj za svaki časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Časopise slati na adresu:

Kupac
(prezime i ime, naziv ustanove i broj telefona)

Mesto ul. br.

Dana: 199..... god.

M.P.

Potpis naručioca

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, 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, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, 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 do-teran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. 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 tušem na paus-papiru. 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 na njima.

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, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

LEKTOR

Dobriša Miletić, profesor

KORICE

Milijko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž: 1400 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: Jugoslovenski bibliografsko-informacijski institut