

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREDIVAČKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-major
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.
General-potpukovnik
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, 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 ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Pukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

* * *

Glavni i odgovorni urednik

Pukovnik
Miroslav Čojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277)Urednik
Potpukovnik
Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 646-277)Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 642-653)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.
Pretpлата: 645-020, žiro-račun: 40818-637-9-
6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054. Ruko-
pisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija –
Beograd, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

5

GODINA XLVII • SEPTEMBAR–OKTOBAR 1999.

SADRŽAJ

Dr Svetomir Minić, pukovnik, dipl. inž.	PRIMENA „DELAY TIME“ MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA	5
Profesor dr Živan Arsenić, dipl. inž.	ISTRAŽIVANJE UTICAJA RELEVANTNIH FAKTORA NA RASPOLOŽIVOST VOZNOG PARKA	10
Dr Rade Stanković, potpukovnik, dipl. inž.	ODREĐIVANJE TAČKASTIH OCENA PARAMETARA NEGATIVNE BINOMNE RASPODELE	24
Dr Dragoljub M. Brkić, dipl. inž.		
Mr Gordana Šenborn, dipl. inž.		
Mr Gordana Radivojević, dipl. inž.	PRIMENA GIS I GPS TEHNOLOGIJE U VOJNOM PUT- NOM SAOBRAĆAJU	30
Mr Zdravko Radišić, potpukovnik, dipl. inž.	METOD ANALITIČKOG DEFINISANJA PROTIVU- DARNIH VENTILA SA MEMBRANOM ZA REGULA- CIJU NATPRITISKA	43
Dr Dragan M. Knežević, potpukovnik, dipl. inž.		
Dr Rade Filipović, dipl. inž.	BOMBE ZA ZAMRAČIVANJE	62
Dr Vladimir Vujičić, pukovnik, dipl. inž.	UTICAJ KONSTRUKCIONIH I TEHNOLOŠKIH POSTU- PAKA U SMANJENJU KOROZIONOG RAZARANJA PROIZVODA OD METALA	69
Mr Branko Božić, potpukovnik, dipl. inž.	KOORDINATNI SISTEMI, GEODETSKI DATUMI I TRANSFORMACIJA KOORDINATA	79
Dr Branislav Perme, pukovnik, dipl. inž.	ODREĐIVANJE SILE KOJOM SE FLUID SUPROSTAV- LJA KRETANJU KRUTOG TELA	89

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

ISKANDER-E: raketni sistem za 21. vek – M.K.	95
Modernizacija municije za borbena vozila pešadije – M.K. .	97
Borbeno vozilo pešadije DARDO – M.Đ.	100
Ranjivost bombardera B-1B – V.R.	106
Budući francuski borbeni sistem vojnika pešadije – M.K. .	107
Višenamenski lovac MFI – M.K.	109
Modernizovani helikopter Mi-35M – M.K.	110

Savremeni radarski tragači – M.K.	112
Protivpodmornički raketni sistem MEDVEDKA – M.K. ..	113
Raketni brod MUNJA – M.K.	114

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Ojačavanje raketnih snaga u Evropi – V.R.	116
Taktičke rakete TOMAHAWK – V.R.	117
Priprema proizvodnje artiljerijskog sistema CRUSADER – V.R.	117
Tenkovska municija povećanog dometa TERM – V.R. ...	118
Nova protivoklopna oružja – V.R.	119
Protivoklopno oružje pešadije SHIPON – V.R.	119
Lanser raketa TOW sa uzdizanjem – V.R.	120
Sistem za razminiranje MINECAT – V.R.	121
Sistem za savladavanje protivpešadijskih prepreka – V.R. .	122
Dodatna serija sistema TOR-M1 za Kinu – V.R.	122
Razvoj borbenog vozila pešadije CENTAURO – V.R. ...	123
Nove bespilotne letelice – V.R.	124
Problemi sa avionom F-22 RAPTOR – V.R.	125
Modernizacija helikoptera UH-60 BLACK HAWK – V.R. .	126

Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Generalštab VJ,
Beograd

Profesor dr Živan Arsenić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Beograd

PRIMENA „DELAY TIME“ MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.573:681.3.06

Rezime:

Osnovna postavka „delay time“ modela zasniva se na ideji „odlaganja“ postupka održavanja u zavisnosti od konstatovanog stanja tehničkog sistema, tj. od procenjenog „vremena odlaganja otkaza“ („delay time“). Izlazna karakteristika modela je optimalni interval „pregleda stanja“ tehničkog sistema. Imajući to u vidu u radu je, korišćenjem programskog paketa „MO-DE-TI“, analizirana mogućnost primenljivosti osnovnog „delay time“ modela za dobijanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ sistema, uzimajući u obzir optimalne vrednosti vremena zastoja sistema i verovatnoće pojave „funkcionalnog otkaza“ sistema.

Ključne reči: model održavanja, „delay time“, pregled stanja, optimalni interval, simulacija.

THE APPLICATION OF DELAY-TIME MODEL FOR TECHNICAL SYSTEMS PREVENTIVE MAINTENANCE

Summary:

The „delay time“ preventive maintenance model which is based on the condition of a technical system stated during a scheduled checking, i.e., on so estimated „delay time“ to failure, is presented. In this paper, the optimal interval for „condition checking“ of technical systems is obtained by a simulation technique using the original „MO-DE-TI“ software.

Key words: maintenance model, „delay-time“, condition checking, optimal interval, simulation.

Uvod

Suština „delay time“ modela [1, 2, 3, 4] jeste ideja „odlaganja“ postupaka održavanja u zavisnosti od konstatovanog stanja tehničkog sistema, odnosno od tako procenjenog karakterističnog parametra ovog modela – „vremena odlaganja otkaza“ („delay time“). Kao i u slučaju drugih koncepcija preventivnog održavanja prema stanju, „pregledi stanja“ po ovoj koncepciji mogu biti ručni ili automatski, a u vremenskom smislu mogu se

sprovoditi „diskretno“ („on-condition“), tj. u određenim trenucima ili kao „kontinualno praćenje stanja“ („condition monitoring“) elemenata sistema. Međutim, treba istaći da se u svim ovim slučajevima „pregled stanja“ posmatra kao postupak kojim se ne sprečava pojava otkaza, već kao postupak koji ukazuje kada može doći do pojave „funkcionalnog otkaza“ posle kojeg sistem ne može da izvršava svoju funkciju.

„Vreme odlaganja otkaza“ u modelu „delay time“ (h) definiše se kao vreme

koje protekne od trenutka kada je otkaz prvi put mogao biti otkriven do trenutka kada otklanjanje otkaza više nije moguće odlagati zbog neprihvatljivih posledica. Pri tome se podrazumeva da se preduzimanje postupaka održavanja, tj. otklanjanje otkaza, može sprovesti u bilo kom trenutku u periodu vremena h . U operativnom smislu ovaj model je zasnovan na funkciji gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza (h), tj. na funkciji $f(h)$, koja omogućava uspostavljanje veze između intervala pregleda stanja (T) i posledičnih promenljivih – očekivanog vremena zastoja i očekivanih troškova radne snage po jedinici vremena.

Pri sprovođenju „pregleda stanja“ sistema mogu se postaviti sledeća pitanja:

– koliko vremena ranije je otkaz mogao biti prvi put otkriven, bilo pregledom stanja, bilo od rukovaoca sistema (How Long Ago = HLA)?

– ako postupci održavanja, tj. popravka nije sprovedena, koliko se još može odlagati (How Much Longer = HML)?

Konstatuje se da je vreme odlaganja otkaza (h):

$$h = HML + HLA$$

Na taj način, posle dovoljnog broja pregleda, odnosno dovoljnog broja otkaza, može se dobiti prethodna raspodela $f(h)$. Pri tome se pretpostavlja da su otkazi međusobno nezavisni. Ukoliko se ustanovi da postoji međusobna zavisnost između otkaza koji karakterišu rad posmatranog sistema, neophodno je modifikovati osnovni model shodno prirodi ove međuzavisnosti. Međutim, u primerima koji se navode u literaturi [2] za ovaj model uvek je prihvaćena pretpostavka nezavisnosti otkaza.

Teorijske postavke „delay time“ modela

Radi primene „delay time“ modela usvojene su sledeće pretpostavke:

(a) *Pregled stanja se preduzima svakih T jedinica vremena, košta I novčanih jedinica i zahteva d jedinica vremena za njegovo sprovođenje, gde je $d \ll T$.*

(b) *Pregledi stanja su idealni i svaki prisutni otkaz sistema biće otkriven.*

(c) *Otkazi uočeni pri pregledu stanja biće otklonjeni u vremenskom periodu predviđenom za pregled stanja.*

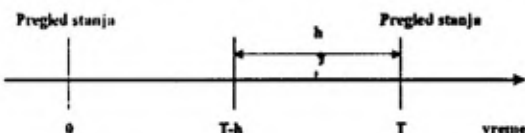
(d) *Početni trenutak za koji se može usvojiti da je trenutak prve pojave otkaza elementa sistema ravnomerno je raspoređen tokom vremena od poslednjeg „pregleda stanja“ i nezavisan je od h . Otkazi se javljaju po stopi k po jedinici vremena.*

(e) *Poznata je funkcija gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza $f(h)$.*

U vezi sa tim treba da se naglasi da pretpostavka (c) zahteva da sve popravke koje slede posle „pregleda stanja“ mogu da se završe u fiksnom periodu d , nezavisno od broja popravki. To je realna pretpostavka ukoliko se raspolaže dovoljnom radnom snagom da se popravke izvode simultano. Pretpostavka (d) omogućava procenu očekivanog broja pojava otkaza u periodu T , tj. kT . Ovom pretpostavkom zanemaruju se zastoji izazvani „funktionalnim otkazima“ sistema tokom kojih se ne pojavljuju drugi otkazi, jer sistem ne radi. Međutim, ako je ovo vreme zastoja kratko u poređenju sa vremenom T , tada će i greška biti mala.

Pretpostavimo da otkaz koji se javlja u periodu $(0, T)$ ima vreme odlaganja otkaza u intervalu $(h, h + dh)$ i verovatnoću pojave ovog događaja $f(h)dh$. Ovaj otkaz će se pojaviti kao „funktionalni“ u periodu $(0, T - h)$ (slika 1), a u ostalim

„slučajevima biće uočen pri redovnom „pregledu stanja“. Verovatnoća pojave otkaza pre vremena (T-h) je (T-h/T). Dakle, verovatnoća b(T) da će se otkaz



Sl. 1 – „Delay time“ proces održavanja:
T – interval pregleda stanja, h – vreme odlaganja otkaza (delay time)

pojaviti kao „funktionalni“ i da će imati vreme odlaganja otkaza u intervalu (h, h + dh) je:

$$b(T) = \frac{T-h}{T} \cdot f(h) \cdot dh.$$

Sumirajući sve moguće vrednosti h, dobijamo da je verovatnoća da se otkaz pojavi kao „funktionalni otkaz“ b(T):

$$b(T) = \int_{h=0}^T \left(\frac{T-h}{T} \right) \cdot f(h) \cdot dh \quad (1)$$

Ukoliko je prosečno vreme zastoja sistema potrebno za otklanjanje „funktionalnog otkaza“ d_b , tada je očekivano vreme zastoja po jedinici vremena rada pri primeni redovnih „pregleda stanja“ svakih T jedinica vremena, obeleženo sa D(T);

$$D(T) = \frac{1}{(T+d)} [k \cdot T \cdot d_b \cdot b(T) + d] \quad (2)$$

gde je k – „stopa nastanka“ – („arrival rate“) otkaza u jedinici vremena.

Ako su prosečni troškovi popravke funkcionalnog otkaza (C_b) i prosečni tro-

škovi popravke otkaza otkrivenog pri pregledu stanja (C_i), tada će očekivani troškovi održavanja sistema po jedinici vremena za „delay time“ model preventivnog održavanja putem „pregleda stanja“ sa intervalom pregleda stanja (T) biti:

$$C(T) = \frac{1}{(T+d)} \{ k \cdot T \cdot [C_b \cdot b(T) + C_i \cdot (1-b(T))] + I \} \quad (3)$$

Jednačine (1), (2) i (3) predstavljaju osnovni „delay time“ model održavanja koji se može modifikovati prema potrebama konkretnog slučaja.

Opis programskog paketa za određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ „MO_DE_TI“

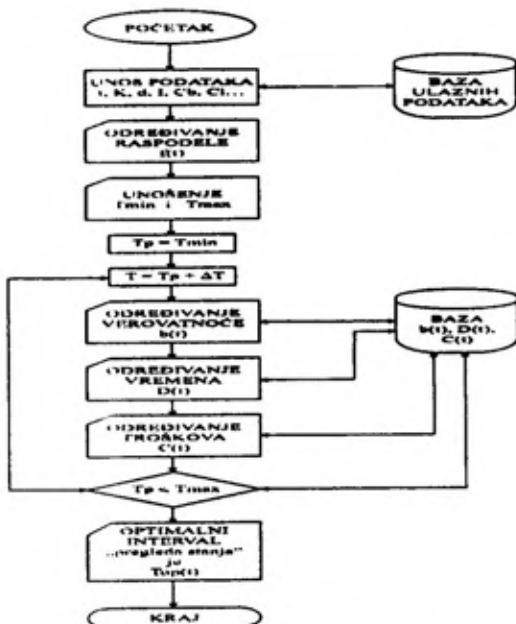
Koristeći osnovne teorijske postavke razvijen je originalni programski paket „MO_DE_TI“ za određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ tehničkog sistema kako je to algoritamski prikazano na slici 2.

Kao što se vidi sa slike, određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“ tehničkog sistema primenom programskog paketa sprovodi se kroz nekoliko faza, i to:

faza 1: definisanje ulaznih podataka (vreme odlaganja otkaza (h), stopa nastanka otkaza (k), prosečno vreme zastoja sistema (d_b), vreme pregleda stanja (d), prosečni troškovi popravke „funktionalnih otkaza“ C_b , prosečni troškovi popravke otkaza otkriveni prilikom pregleda stanja C_i , itd.);

faza 2: određivanje funkcije, raspodele vremena odlaganja otkaza f(h);

faza 3: određivanje verovatnoće da će se otkaz pojaviti kao „funktionalni otkaz“ $b(t)$;



Sl. 2 – Algoritam programskog paketa „MO_DE_TI“

faza 4: određivanje očekivanog vremena zastoja sistema potrebnog za otklanjanje „funktionalnog otkaza“ $D(t)$;

faza 5: određivanje očekivanih troškova;

faza 6: definisanje optimalnog intervala „pregleda stanja“.

Određivanje optimalnog intervala „pregleda stanja“

Praktična primena programskog paketa „MO_DE_TI“ obavljena je na tri uzorka, a kao izlazni rezultati dobijene su vrednosti optimalnog intervala „pregleda stanja“. Pri tome su, pre svega, za svaki od posmatranih uzoraka definisani ulazni podaci onako kako je to opisano

u prethodnoj tački. Na osnovu podataka unetih u računar programski paket je simulacijom modela dao sledeće izlazne karakteristike:

– raspodela vremena odlaganja otkaza $f(h)$ – izrazi (4), (5) i (6), slika 3:

Uzorak A:

$$f(h) = 0,04 \cdot e^{-0,4 \cdot t} \quad (4)$$

Uzorak B:

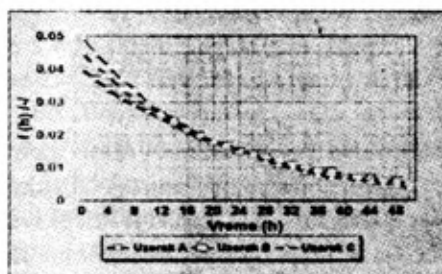
$$f(h) = 0,0455 \cdot e^{-0,455 \cdot t} \quad (5)$$

Uzorak C:

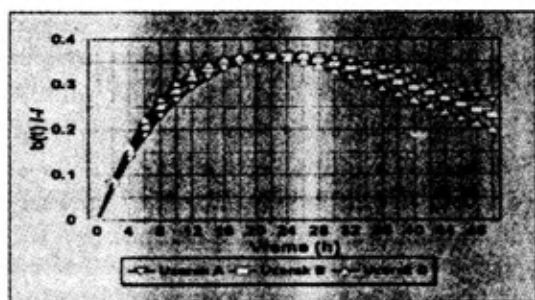
$$f(h) = 0,051 \cdot e^{-0,51 \cdot t} \quad (6)$$

– verovatnoća „funktionalnog otkaza“ $b(t)$ – slika 4,

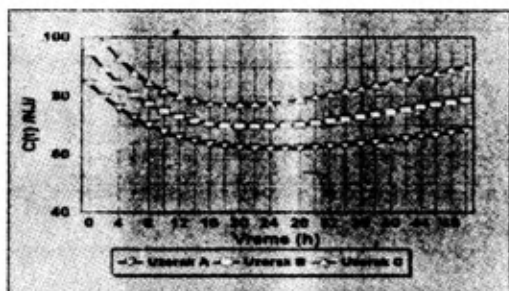
– vreme zastoja sistema radi otklanjanja „funktionalnog otkaza“ $D(t)$ – slika 5,



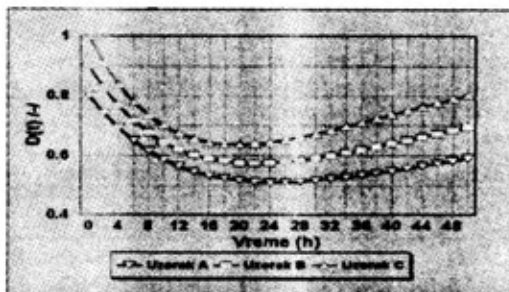
Slika 3



Slika 4



Slika 5



Slika 6

– troškovi za otklanjanje „funkcionalnog otkaza“ $C(t)$ – slika 6

Simulacijom su dobijene sledeće vrednosti:

za Uzorak A: $T_{oA} = 25$ časova

za Uzorak B: $T_{oB} = 23$ časa

za Uzorak C: $T_{oC} = 20$ časova

Zaključak

Može se zaključiti da je primenom programskog paketa za određivanje op-

timalnog intervala „pregleda stanja“ „MO-DE-TI“ moguće uspešno definisati optimalni interval „pregleda stanja“ sistema (T_o) kao parametra za pravovremeno sprovođenje postupka preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju. Kako je za primenu ovog modela neophodno prihvatiti određeni broj pretpostavki koje u principu mogu da predstavljaju ograničenja u smislu verodostojnosti izlaznih karakteristika – optimalnog intervala „pregleda stanja“, nameće se potreba da u budućem radu treba:

– analizirati mogućnosti korigovanja modela radi uključivanja navedenih pretpostavki,

– izvršiti uporednu analizu ovog i korigovanog ili korigovanih modela međusobno u odnosu na dobijene vrednosti optimalnog intervala „pregleda stanja“ na više različitih uzoraka i odabrati „najbolji“ oblik modela,

– analizirati mogućnosti praktične primene odabranog modela u stvarnim uslovima sprovođenja postupka preventivnog održavanja.

Literatura:

- [1] Minić, S., Arsenić, Ž.: Modeli održavanja tehničkih sistema, monografija, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [2] Crister, A.H., Wang W.M.: Delay Time Models of Industrial Inspection Maintenance Problems, J. Operational Research Society, Vol. 35, Great Britain, 1984.
- [3] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [4] Minić, S., Todorović J.: „Delay-time“ model preventivnog održavanja tehničkih sistema, Vojnotehnički glasnik br. 1., Beograd, 1996.

Dr Rade Stanković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

ISTRAŽIVANJE UTICAJA RELEVANTNIH FAKTORA NA RASPOLOŽIVOST VOZNOG PARKA

UDC: 62-7.001.573:623.437.4-7

Rezime:

U radu je prikazana procedura za ocenu asimptotske raspoloživosti tehničkih sistema u funkciji relevantnih faktora. Simulirani su procesi preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja. Data je i procena troškova održavanja.

Ključne reči: raspoloživost voznog parka, simulacija, preventivno održavanje, korektivno obnavljanje.

RESEARCH INTO EFFECTS OF RELEVANT FACTORS ON ROLLING STOCK AVAILABILITY

Summary:

The procedure for evaluating asymptotic availability of technical systems depending on relevant factors is presented in this paper. The processes of preventive maintenance and corrective repair are simulated. The estimation of maintenance costs is given as well.

Key words: rolling stock availability, simulation, preventive maintenance, corrective repair.

Osnovne karakteristike raspoloživosti transportnih sredstava

Međunarodni standard Dependability and Quality of Service IEC 50 (191) od 1990. godine detaljno obrazlaže karakteristike raspoloživosti, kao integrativnog svojstva pouzdanosti (inherentne i realizovane), pogodnosti tehničkih sistema za održavanje i kvaliteta realizacije logističke podrške održavanja, i definiše ga kao sposobnost objekta da može da obavi potrebnu funkciju pri datim uslovima u datom trenutku ili u bilo kojem trenutku datog intervala, podrazumevajući da su obezbeđeni potrebni spoljni resursi [1].

To znači da se raspoloživost ostvaruje kao uslovna verovatnoća, odnosno proizvod verovatnoća spremnosti „instantaneous availability“ za vršenje funkcije transportnih sredstava u datom trenutku ili nekom trenutku datog intervala $A(t)$ i verovatnoće bezotkaznog rada celine sistema tehničke eksploatacije (reliability) u zadatom intervalu $R(t_1, t_2)$:

$$A(t_1, t_2) = A(t) \cdot R(t_1, t_2) \quad (1)$$

U pomenutom standardu [1] definisane su sledeće karakteristike raspoloživosti:

– trenutna raspoloživost (instantaneous availability), $A(t)$;

- trenutna neraspoloživost (instantaneous unavailability), $U(t)$;
- srednja raspoloživost (mean availability), $A(t_1, t_2)$;
- srednja neraspoloživost (mean unavailability), $U(t_1, t_2)$;
- asimptotska (granična) raspoloživost (asymptotic availability), A ;
- asimptotska (granična) neraspoloživost (asymptotic unavailability), U ;
- asimptotska (granična) srednja raspoloživost (asymptotic mean availability), A ;
- asimptotska (granična) srednja neraspoloživost (asymptotic mean unavailability), U ;
- srednje vreme raspoloživosti (mean up time - MUT), SVR;
- srednje vreme neraspoloživosti (mean down time - MDT), SVN i
- srednje ukupno vreme neraspoloživosti (mean accumulated down time - MADT, SUVN).

Kao što se vidi, postoje značajne razlike između pojmova, definisanih u prethodnoj varijanti standarda iz 1984. godine pod nazivom „Pouzdanost, pogodnost za održavanje i upotrebnost kvaliteta“, koji se široko koriste u literaturi i stručnoj javnosti i navedenih, koji su definisani u IEC Rečniku pod nazivom Dependability and Quality of Service IEC 50 (191) pre gotovo devet godina.

Trenutna raspoloživost (spremnost) definiše se kao verovatnoća da neki objekat može obavljati zahtevanu funkciju pod propisanim uslovima u datom trenutku, s tim da se podrazumeva da su obezbeđeni neophodni spoljni resursi. Trenutna raspoloživost je slučajno promenljiva veličina i jednaka je sumi verovatnoća realizacije dva nezavisna događaja [2]:

- objekat u vremenu $(0, t)$ nije otkazivao,

- objekat je otkazivao, obnovljen je i posle poslednje popravke više nije otkazivao.

Verovatnoća pojave prvog događaja jednaka je verovatnoći bezotkaznog rada $R(t)$ objekta u toku vremena $(0, t)$. Za određivanje verovatnoće pojave drugog događaja treba razmotriti mali interval $(\tau, \tau + \Delta\tau)$, koji je prethodio t . Verovatnoća da se na tom intervalu završi poslednja, n -ta popravka i objekat više ne otkaze na preostalom vremenu $(t - \tau)$, jednaka je:

$$f_{on}(\tau)d\tau R(t - \tau) \quad (2)$$

Sumiranjem za sve $n = 1, 2, \dots$, dobija se:

$$\sum_{n=1}^{\infty} f_{on}(\tau)d\tau R(t - \tau) = \omega_0(\tau)d\tau R(t - \tau) \quad (3)$$

gde je $\omega_0(\tau)$ - parametar potoka obnavljanja.

Posle integracije po τ od 0 do t , dobija se:

$$\int_0^t R(t - \tau)\omega_0(\tau)d\tau \quad (4)$$

pa je funkcija trenutne (nestacionarne) raspoloživosti jednaka:

$$A(t) = R(t) + \int_0^t R(t - \tau)\omega_0(\tau)d\tau \quad (5)$$

Očigledno je da realizacije trenutne raspoloživosti u različitim trenucima mogu imati različite vrednosti. Zbog toga se trenutna raspoloživost razmatra kao slučajno promenljiva koja ima odgovarajuću raspodelu verovatnoća sa pripadajućim parametrima, što, pored ostalog, zavisi od intenziteta i uslova eksploatacije, kvaliteta realizacije opsluživanja i održava-

nja, itd. Realizacije trenutne raspoloživosti mogu statistički da se ocene količnikom trenutno raspoloživih i ukupnog broja sredstava za rad. U uslovima informacione podrške koja omogućuje „on line“ upravljanje procesima transporta, ovaj model može se uspešno primeniti.

Trenutna neraspoloživost $U(t)$ jeste verovatnoća da objekat ne može obavljati zahtevanu funkciju pod propisanim uslovima u datom trenutku, pri čemu se podrazumeva da su obezbeđeni neophodni spoljni resursi.

Srednja raspoloživost $A(t_1, t_2)$ jeste srednja vrednost trenutnih raspoloživosti u datom intervalu (t_1, t_2) . Veza između srednje i trenutne raspoloživosti data je izrazom:

$$A(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt \quad (6)$$

Polazeći od činjenice da srednja raspoloživost zavisi od trenutne raspoloživosti (broja spremnih vozila na početku radnog vremena) i verovatnoće bezotkaznog rada u intervalu (t_1, t_2) , koji zbog praktičnih razloga može da bude jednak dnevnom radnom vremenu τ , srednja dnevna raspoloživost za jednu konkretnu transportnu organizaciju koja raspolaže sa N_i transportnih sredstava i koja izvršava k transportnih usluga u toku radnog vremena τ , može da se odredi korišćenjem sledećeg izraza [3]:

$$A(\tau) = A(t) \cdot R(\tau) = \frac{N_s}{N_i} \cdot \frac{\sum_{r=1}^n N_r \cdot K_p + \sum_{j=1}^m N_j \cdot K_{do}}{\sum_{k=1}^{m+n} N_k \cdot K_p}, \quad (7)$$

gde su:

N_k – broj angažovanih vozila u toku dana,
 N_r – vozila koja su u toku dana radila bez otkaza,
 N_j – vozila koja su u toku dana otkazala,
 K_p – planirani broj pređenih kilometara,
 K_{do} – broj pređenih kilometara do otkaza,
 n – broj vozila koja su ispunila plan, i
 m – broj vozila koja su otkazala u toku dana.

Korišćenjem ovog izraza može se odrediti srednja dnevna raspoloživost voznog parka. I ova veličina je slučajno promenljiva za konkretnu homogenu konstrukcijsko-tehnološku-eksploatacionu grupu transportnih sredstava. Broj raspoloživih vozila zavisi od raspoloživosti, bezotkaznosti i proizvodnih mogućnosti podsistema tehničke eksploatacije (usklađenosti intenziteta otkazivanja vozila i intenziteta obnavljanja).

Srednja neraspoloživost $U(t_1, t_2)$ jeste srednja vrednost neraspoloživosti u datom intervalu (t_1, t_2) . Veza između srednje i trenutne neraspoloživosti $U(t)$ data je izrazom:

$$U(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt \quad (8)$$

Asimptotska (granična) raspoloživost A je granična vrednost, ako postoji, trenutne raspoloživosti kada vreme teži beskonačnosti. Ovaj pojam odgovara do sada korišćenom pojmu „operativna raspoloživost“. U uslovima kao što su, na primer, konstantan intenzitet otkaza i konstantan intenzitet obnavljanja, asimptotska raspoloživost može da se izračuna korišćenjem izraza:

$$A = \frac{SVR}{SVR + SVN} \quad (9)$$

Upotrebljene oznake imaju sledeća značenja:

SVR – srednje vreme raspoloživosti (mean up time, MUT) jeste matematičko očekivanje vremena u radno sposobnom stanju objekta;

SVN – srednje vreme nerasploživosti (mean down time, MDT) jeste matematičko očekivanje vremena nerasploživosti. Vreme nerasploživosti sadrži vreme preventivnog održavanja i korektivnog obnavljanja, kao i sva vremena zadržavanja objekta zbog organizacijskih razloga ili neadekvatne logističke podrške održavanja.

Izraz (11) dobija se iz jednačine kojom se određuje verovatnoća da je transportno sredstvo radno sposobno u trenutku t i da će raditi bez otkaza na zadatom intervalu $(t, t + \tau)$ [2]:

$$A(t, t + \tau) = R(t + \tau) + \int_0^t R(t + \tau - x) \cdot \omega_0(x) dx \quad (10)$$

Pri $\tau \rightarrow \infty$, funkcija $A(t, t + \tau)$ prelazi u uslovnu verovatnoću bezotkaznog rada objekta, realizovanu pod pretpostavkom da je u momentu t objekt radno sposoban.

Stacionarno stanje ima izraz:

$$A_{st}(\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t, t + \tau) = \frac{1}{SVR + SVN} \cdot \int_0^\infty R(x) dx = A \cdot \frac{1}{SVN} \int_0^\infty R(x) dx \quad (11)$$

gde je: $A = \frac{SVR}{SVR + SVN}$

Primena formule (11) najčešće je povezana sa nizom teškoća. Konačne formule za konkretnu raspodelu vremena

rada između otkaza mogu se dati samo u nekim specifičnim slučajevima, na primer za eksponencijalnu raspodelu vremena rada između otkaza i vremena obnavljanja:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda)t} \quad (12)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{SVR}{SVR + SVN} \quad (13)$$

Treba napomenuti da se iz izraza (13) može zaključiti da je veličina asimptotske raspoloživosti direktno određena intenzitetom potoka otkaza (λ) i intenzitetom potoka obnavljanja (μ) i da se ista vrednost raspoloživosti može dobiti za različite odnose ova dva faktora. Tako se može dogoditi da transportna sredstva koja imaju iste karakteristike pouzdanosti (vreme u radu i vreme u otkazu) pokazuju visoke vrednosti raspoloživosti u organizacijama (jedinicama) u kojima transportna sredstva imaju relativno mali intenzitet korišćenja, a niske vrednosti raspoloživosti u organizacijama u kojima se sredstva koriste većim intenzitetom. Ovako definisana raspoloživost ne zavisi od režima eksploatacije, pa se ne mogu vršiti komparacije između vozila i još manje između transportnih organizacija (jedinica).

Asimptotska (granična) nerasploživost U je granična vrednost trenutne nerasploživosti kada vreme teži beskonačnosti.

Relevantni uticajni faktori

Nivo raspoloživosti zavisi od realizovanih performansi pouzdanosti, pogodnosti za održavanje i kvaliteta logističke podrške održavanja.

$$A = f[R(t), P_o, LPO] \quad (14)$$

Pouzdanost transportnih sredstava $R(t)$ zavisi od nivoa ugrađenog (inherentnog) kvaliteta, kompleksa uslova eksploatacije i kvaliteta održavanja i opravki.

$$R(t) = f(R_i, U_e, KO), \quad (15)$$

gde su:

R_i – inherentna pouzdanost,

U_e – kompleks uslova eksploatacije,

KO – kvalitet održavanja i obnavljanja.

Uslovi eksploatacije imaju dominantan uticaj na brzinu razvoja degradacionih procesa. Sistem vozač – transportno sredstvo funkcioniše u vrlo složenim uslovima okoline koji se neprestano menjaju u prostoru i vremenu. Režimi rada i opterećenja sklopova (a time i intenziteti promene tehničkog stanja) direktno, u većoj ili manjoj meri, zavise od kvaliteta puteva, opterećenosti vozila, temperature okoline, gustine saobraćaja, veštine vozača, itd.

Pogodnost održavanja P_o , kao svojstvo objekta, definiše se kao sposobnost objekta da pod datim uslovima korišćenja bude zadržan ili vraćen u stanje u kojem može obavljati zahtevanu funkciju, kada se održavanje obavlja pod datim uslovima, odnosno po propisanoj proceduri i uz korišćenje odgovarajućih sredstava. To je svojstvo objekta, definisano u fazi konstrukcije i obezbeđeno u fazi proizvodnje, koje omogućuje realizaciju dijagnostike tehničkog stanja, preventivnog održavanja i opravki za određeno vreme. To je skup konstrukcijskih karakteristika koje utiču na trajanje održavanja, i predstavlja „unutrašnje“ svojstvo objekta. Što su navedena vremena kraća, pogodnost održavanja je bolja. Aktivnosti vezane za

obezbeđenje pogodnosti za održavanje obavljaju se tokom celog životnog ciklusa sistema, uz potrebnu saradnju naručioca, projekatanta, proizvođača, korisnika i službi za održavanje.

Logistička podrška održavanja (LPO) definiše se kao sposobnost sistema održavanja da, pod zadatim uslovima, obezbedi, u slučaju potrebe, potrebna sredstva za održavanje tehničkog sistema, u okviru date politike održavanja [1]. Kvalitet logističke podrške održavanja zavisi od niza faktora:

$$LPO = f(PO; OR, IS, K, O, P, Doc, Rd, Ie...), \quad (16)$$

gde su:

PO – politika održavanja, OR – organizacija rada, IS – informacioni sistem, K – kadar, O – oprema, P – prostor, Rd – snabdevenost rezervnim delovima, kvalitet rezervnih delova, Doc – dokumentacija, Ie – intenzitet eksploatacije, itd.

Svi navedeni faktori utiču na trajanje vremena raspoloživosti (vremena „u radu“) i vremena nerasploživosti (vremena „u otkazu“), čijim odnosom je, kako se vidi iz izraza 9, definisana asimptotska raspoloživost. Standardom [1] definisana su stanja objekta (slika 1), strukture vremena preventivnog održavanja (slika 2) i korektivnog obnavljanja (slika 3).

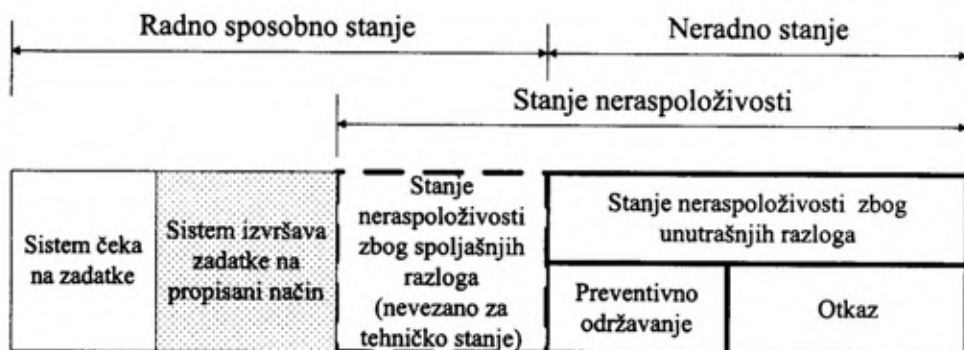
Kao što se vidi, raspoloživost zavisi od velikog broja faktora i zato je integrativan pokazatelj ugrađenih svojstava transportnih sredstava i ostvarenog nivoa kvaliteta eksploatacije i održavanja. Uspostavljanje matematičkih relacija između navedenih faktora je složen problem, za čije rešavanje bi bila nužna značajna pojednostavljenja. U ovom radu

Vreme administrativnog zastoja	Vreme preventivnog održavanja	
	Vreme logističkog zastoja	Vreme aktivnog preventivnog održavanja

Sl. 1 – Klasifikacija stanja objekta

Vreme administrativnog zastoja	Vreme korektivnog obnavljanja				
	Vreme logističkog zastoja	Vreme aktivnog korektivnog obnavljanja			
		Vreme tehničkog zastoja	Vreme popravke		
			Vreme lokalizacije otkaza	Vreme otklanjanja otkaza	Vreme provere funkcionisanja

Sl. 2 – Struktura vremena preventivnog održavanja



Sl. 3 – Struktura vremena korektivnog obnavljanja

nastojalo se naći rešenje primenom metode simulacije (imitacionog modeliranja).

Model za istraživanje uticaja relevantnih parametara na asimptotsku raspoloživost

Model je rađen radi uspostavljanja kompleksnih odnosa između elemenata sistema i istraživanja uticaja navedenih parametara na asimptotsku raspoloživost voznog parka na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja, odnosno iniciranja puteva za usavršavanje postojećeg sistema. U vezi s tim nastojao se obezbediti zadovoljavajući (što verniji) opis relevantnih elemenata stvarnog sistema održavanja tms u VJ.

U radu je razmatran tehnički sistem od pet elemenata. Na svakom elementu vrši se održavanje prema stanju, odnosno, pregledi tehničkog stanja obavljaju se po definisanim procedurama u okviru osnovnog i tehničkog održavanja. Pregledi iz domena osnovnog održavanja obavljaju se pre, za vreme i posle upotrebe i periodično, u pravilu jednom mesečno. Iz domena tehničkog održavanja obavljaju se prvi i drugi tehnički pregledi. Usvojen je faktor (kratnost) između II i I tehničkog pregleda $k = 5$, što znači da se umesto svakog petog I tehničkog pregleda vrši II tehnički pregled koji sadrži i sve radove I tehničkog pregleda. Na primer, ako se prvi tehnički pregled obavlja posle svakih 3 000 km, drugi tehnički pregled se vrši posle svakih 15 000 km. Tehničko stanje svakog elementa prati se uz pomoć odgovarajuće dijagnostičke opreme, diskretnom kontrolom stanja na pomenutim tehničkim pregledima. Na osnovu rezultata dijagnostike tehničkog stanja i poznatog matematičkog očekivanja procesa promene tehničkog stanja,

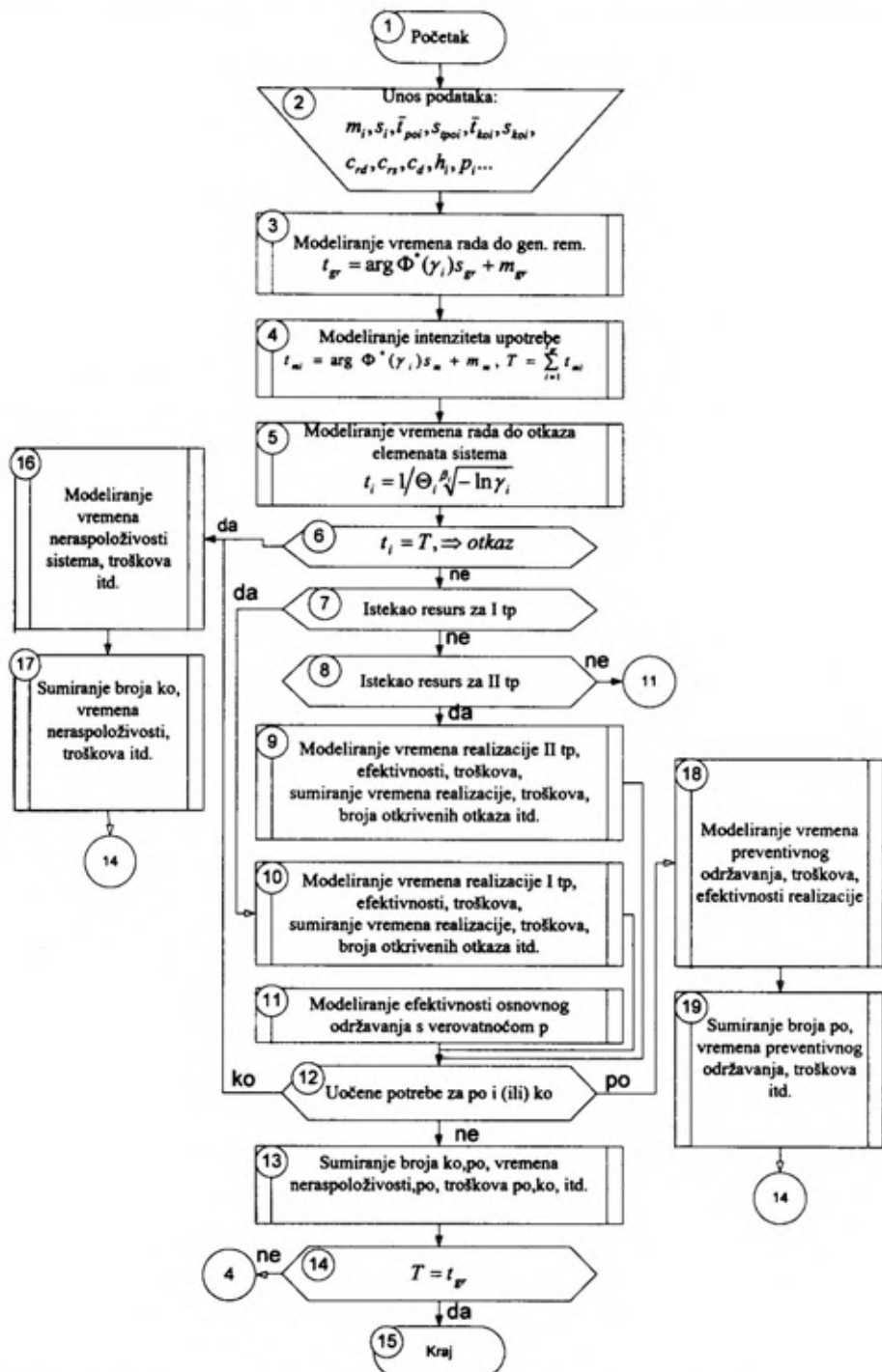
vrši se prognoza preostalog vremena rada elementa do otkaza na intervalu h i s verovatnoćom p . Kontrola stanja obavlja se za određeno vreme t_k i uzrokuje troškove c_k . Pretpostavljeno je da je za svaki element poznata funkcija gustine raspodele vremena rada do otkaza $F(t) = P(t < T)$.

Na osnovu rezultata kontrole tehničkog stanja donosi se odluka o preventivnoj zameni onih elemenata čiji se otkaz očekuje s verovatnoćom p , u intervalu do sledeće kontrole stanja. Preventivna zamena obavlja se za određeno vreme t_{pz} . Kako to vreme zavisi od više uticajnih faktora, tretira se kao slučajna veličina koja ima svoju funkciju raspodele $F(t_{pz}) = P(t_{pz} < t)$. Troškovi, koji nastaju usled preventivne zamene, takođe nisu determinisane vrednosti, odnosno imaju svoju funkciju raspodele $F(c_{pz}) = P(c_{pz} < c)$.

Ako neki od elemenata otkaze između dva tehnička pregleda (dve kontrole stanja), što je posledica nedovoljno tačne dijagnostike i prognoze stanja, vrše se opravke, odnosno vraćanje iz stanja neraspoloživosti u stanje raspoloživosti.

Vreme stanja neraspoloživosti zbog unutrašnjih razloga (stanja „u otkazu“) zavisi od niza faktora (lokacije vozila na zadatku u trenutku pojave otkaza, kapaciteta sistema za održavanje, organizacije rada, snabdevenosti rezervnim delovima, prilagođenosti sredstva za dijagnostiku i održavanje, itd.). Zbog toga je to vreme slučajna veličina koja ima odgovarajuću funkciju raspodele $F(t_{ko}) = P(t_{ko} < t)$. Takođe, i troškovi, uzrokovani opravkama i neraspoloživošću tehničkog sistema za eksploataciju, pokoravaju se zakonu raspodele $F(c_{ko}) = P(c_{ko} < c)$.

Na osnovu ovakvog rezonovanja izrađen je program za simulaciju čiji je uprošćeni blok-dijagram prikazan na slici 4.



Sl. 4 – Uprošćeni blok-dijagram simulacionog modela

Rezultati

Veći broj eksperimenata izveden je sa obrazloženim modelom. Varirane su vrednosti parametara sledećih uticajnih faktora: periodičnost realizacije tehničkih pregleda, širina intervala h s mogućnošću prognoze tehničkog stanja, verovatnoća uspešnosti prognoze tehničkog stanja p u datom intervalu h , verovatnoća otkrivanja simptoma potencijalnog otkaza na dnevnim ili periodičnim pregledima p_0 i preventivno delovanje u okviru osnovnog ili tehničkog održavanja radi sprečavanja pojave otkaza, verovatnoća snabdevenosti rezervnim delovima, intenzitet eksploatacije motornih vozila (km/god.), itd. Deo dobijenih rezultata, za konkretne ulazne podatke prikazane u tabeli, za relevantne faktore, o kojima se govorilo pri opisu modela, prikazan je na slikama 5 do 10.

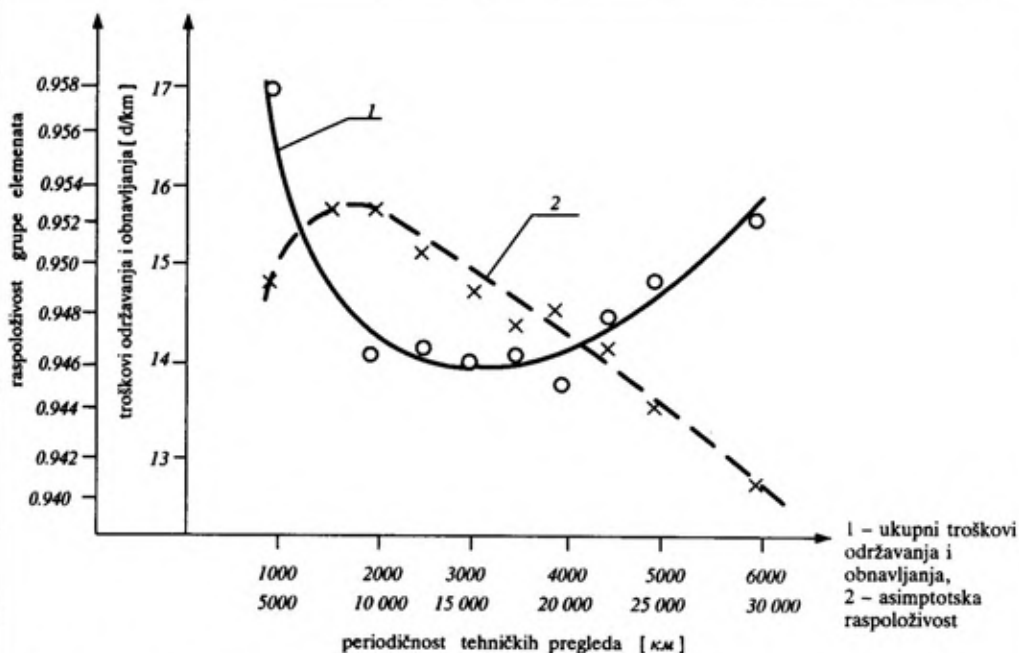
Tabela

Početni podaci za simulaciju

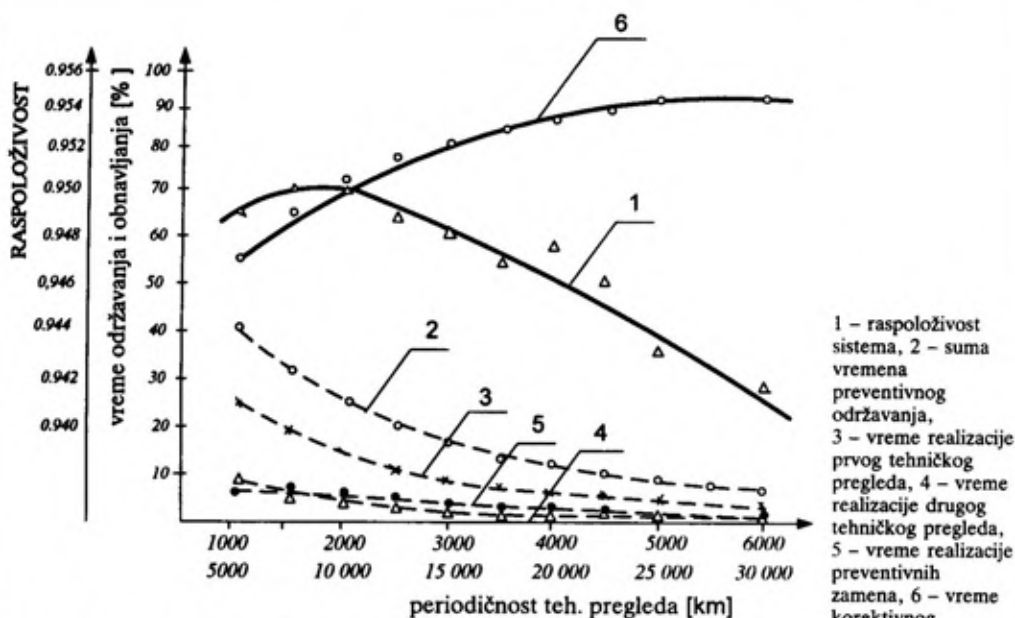
Redni broj elementa	Parametri raspodele		
	Vreme rada do otkaza	Vreme realizacije PO	Vreme neraspoloživosti
1.	$\beta_1 = 1.85$; $\Theta_1 = 28265$ km	$t_{po1} = 5$ h $s_{po1} = 1.5$ h	$t_{ner1} = 120$ h $s_{ner1} = 40$ h
2.	$\beta_2 = 2.30$; $\Theta_2 = 36279$ km	$t_{po2} = 4$ h $s_{po2} = 1.5$ h	$t_{ner2} = 50$ h $s_{ner2} = 8$ h
3.	$\beta_3 = 1.30$; $\Theta_3 = 13405$ km	$t_{po3} = 9$ h $s_{po3} = 2.0$ h	$t_{ner3} = 88$ h $s_{ner3} = 10$ h
4.	$\beta_4 = 1.90$; $\Theta_4 = 20000$ km	$t_{po4} = 8$ h $s_{po4} = 2.0$ h	$t_{ner4} = 100$ h $s_{ner4} = 15$ h
5.	$\beta_5 = 1.20$; $\Theta_5 = 8000$ km	$t_{po5} = 4$ h $s_{po5} = 2$ h	$t_{ner5} = 86$ h $s_{ner5} = 12$ h
Intenzitet upotrebe sistema $t_{up} = 1500$ km; $s_{up} = 300$ km			
Periodičnost I tp $t_I = 3000$ km; $s_I = 200$ km			
Periodičnost II tp $t_{II} = 15000$ km; $s_{II} = 500$ km			
Vreme realizacije I tp $t_{r1} = 12$ h; $s_r = 3$ h			
Vreme realizacije II tp $t_{rII} = 32$ h; $s_{rII} = 5$ h			

Na slici 5 prikazani su sumarni rezultati: asimptotska raspoloživost i ukupni troškovi održavanja sistema za pretpostavljene vrednosti zamenjenih delova, troškova dijagnostike tehničkog stanja, troškova radne snage i sl. Kao što se vidi, postoji interval u kome se mogu izabrati periodičnosti realizacije prvog i drugog tehničkog pregleda kojima se, uz minimalne ukupne troškove, obezbeđuje visok nivo asimptotske raspoloživosti.

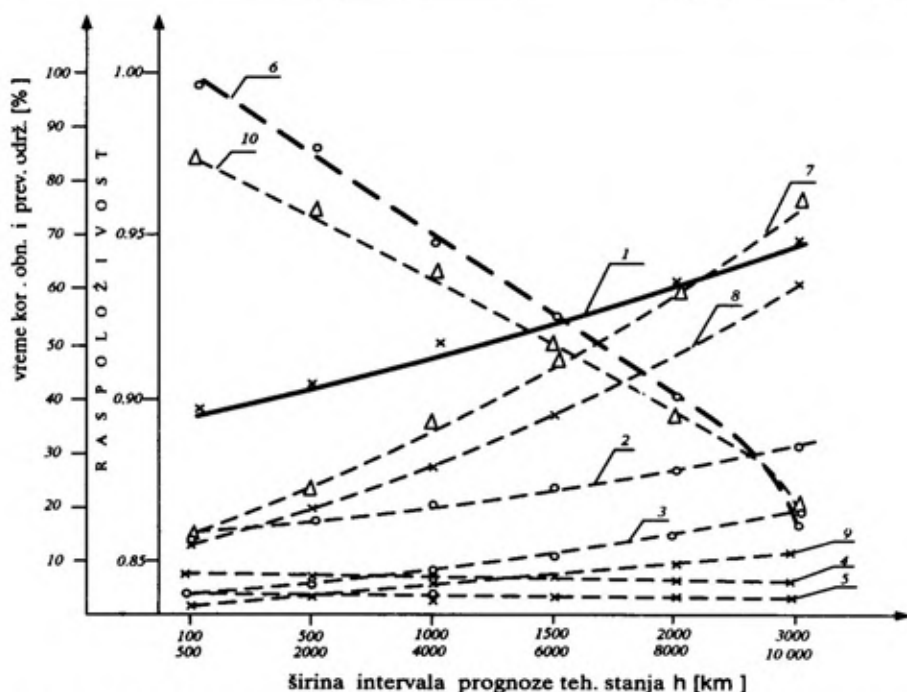
Na slici 6 prikazana je struktura vremena preventivnog održavanja i vremena realizacije korektivnih postupaka uz sva vremena čekanja (vremena neraspoloživosti zbog unutrašnjih razloga ili vremena „u otkazu“) u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda. Uočava se veliki postotak vremena neraspoloživosti vozila zbog otkaza i velikog učešća vremena za realizaciju prvog tehničkog pregleda u vremenu preventivnog održavanja. Očito je da se promenom strukture intervencija odnosi ovih vremena mogu radikalno promeniti. To podrazumeva povećanje broja „sprečenih otkaza“ preventivnim održavanjem, na osnovu rezultata dijagnostike i prognoze tehničkog stanja u narednom intervalu eksploatacije. To je pokazano na slici 7, gde su prikazani uticaji širine intervala s mogućnošću prognoze tehničkog stanja s verovatnoćom p . Sa povećanjem intervala s mogućnošću uspešne prognoze tehničkog stanja, što čini osnovu za donošenje odluke o vremenu i obliku preventivne intervencije, znatno se menjaju procenti sprečenih i realizovanih otkaza, a time i procenti vremena i asimptotske raspoloživosti. Iz toga slede zaključci da su: analiza uzroka i posledica otkaza, izučavanje modela nastanka otkaza svih relevantnih elemenata tehničkog sistema, nabavka odgovarajuće dijagnostičke



Sl. 5 – Krive asimptotske raspoloživosti i ukupnih troškova održavanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda



Sl. 6 – Struktura vremena održavanja i obnavljanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda



Sl. 7 – Uticaj širine intervala s mogućnošću prognoze tehničkog stanja elemenata na raspoloživost sistema:

1 – raspoloživost sistema, 2 – suma vremena preventivnog održavanja [%], 3 – vreme realizacije preventivnih zamena, 4 – vreme realizacije prvog tehničkog pregleda, 5 – vreme realizacije drugog tehničkog pregleda, 6 – vreme korektivnog obnavljanja, 7 – broj otkaza, sprečenih preventivnim održavanjem, 8 – broj otkrivenih otkaza na prvom tehničkom pregledu, 9 – broj otkrivenih otkaza na drugom tehničkom pregledu, 10 – broj otkaza otklonjenih korektivnim obnavljanjem

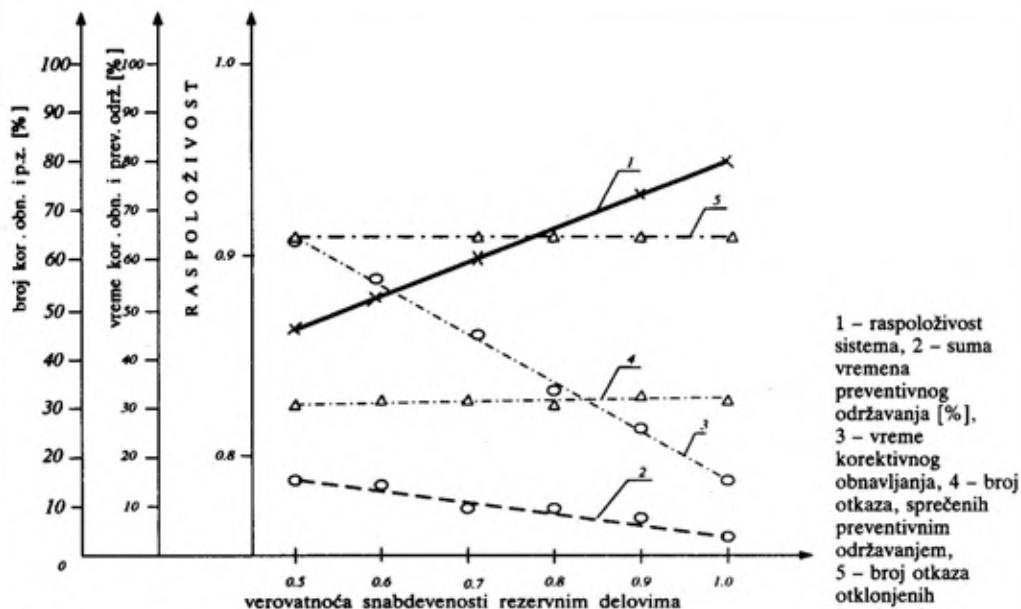
opreme, obuka kadra za njihovu upotrebu i sl. osnovni pravci delovanja u sistemu održavanja koji mogu da doprinesu radikalnim promenama sadašnjeg stanja.

Na slici 8 prikazan je uticaj nivoa snabdevenosti rezervnim delovima na odnose vremena PO i KO, odnosno na asimptotsku raspoloživost razmatrane grupe tehničkih sistema. Kao što se zna, a što je pokazano i rezultatima ove analize, optimiziranje zaliha rezervnih delova prema intenzitetima otkaza elemenata i programima preventivnog održavanja u realnim uslovima eksploatacije (intenzitet eksploatacije, uslovi rada, kvalitet održavanja, kvalitet rada operatora i sl.) jedini

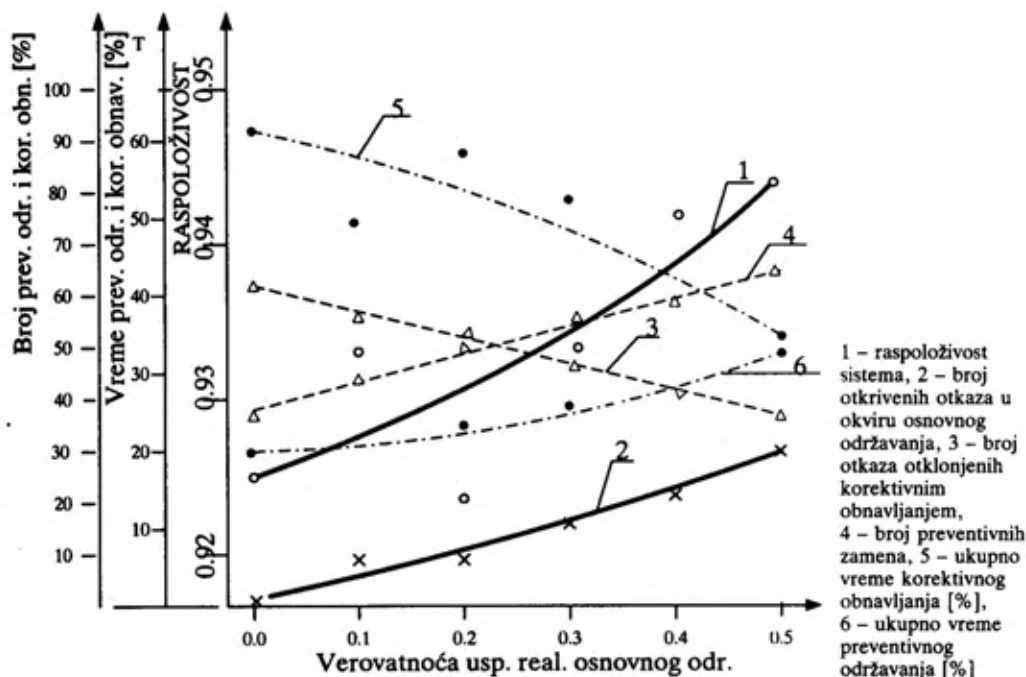
je put kojim se ukupno vreme nerasploživosti može znatno skratiti, a na taj način povećati raspoloživost sistema.

Na slici 9 prikazane su promene nekih od navedenih pokazatelja u funkciji kvaliteta kontinuiranog praćenja stanja elemenata transportnih sredstava u procesima eksploatacije i osnovnog održavanja, izražene kroz verovatnoće pravovremenog otkrivanja poremećaja i realizacije potrebnih aktivnosti preventivnog ili korektivnog karaktera od strane neposrednih korisnika, odnosno pravovremenog upućivanja na održavanje na višem nivou.

Sa slike se uočava da se, s povećanjem verovatnoće detekcije i predviđanja otkaza u procesu upotrebe i osnovnog



Sl. 8 – Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na raspoloživost sistema



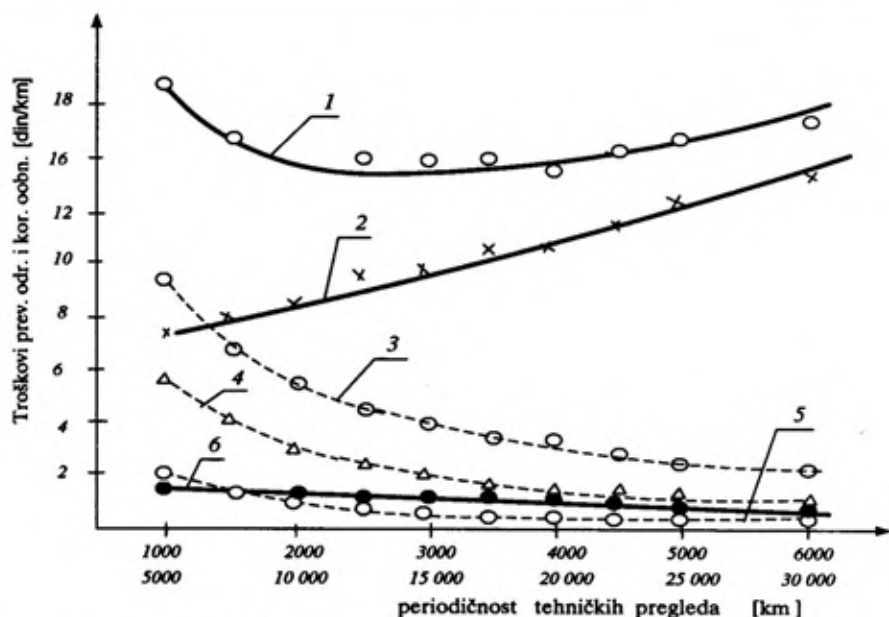
Sl. 9 – Uticaj kvaliteta realizacije osnovnog održavanja na raspoloživost sistema

održavanja, može bitno uticati na strukturu broja i vremena preventivnih i korektivnih intervencija, a na taj način i na vrednosti asimptotske (operativne) raspoloživosti.

Iz navedenog proizilazi da svim aktivnostima eksploatacije i osnovnog održavanja u procesu upotrebe treba posvetiti odgovarajuću pažnju, kako u smislu realizacije u praksi, tako i u smislu kontinuiranog usavršavanja.

Teoretska i praktična dostignuća iz oblasti pouzdanosti, tribologije, dijagnostike, održavanja i sl. ne daju za sada optimalne odgovore na suštinska pitanja: šta, zašto, kada, koliko i kako raditi, što su osnovna ograničenja pri izboru i realizaciji upravljačkih odluka u sistemu eksploatacije i održavanja transportnih sredstava.

Realno, u sadašnjim uslovima, tehnička služba za najveći broj elemenata transportnih sredstava objektivno ne može da da tačnu ocenu trenutnih stanja elemenata, kao ni prognozu stanja na nekom intervalu budućeg rada. Zbog toga je značaj rada neposrednih korisnika veoma izražen i možda, u sadašnjim uslovima, predstavlja jedno od realno mogućih rešenja. Veliki deo problema odgađanja trenutka pojave otkaza (racionalizacijom postupaka upotrebe transportnih sredstava sa aspekta intenziteta razvoja degradacionih procesa, odnosno smanjenjem intenziteta promene tehničkog stanja, opsluživanjem eksploatacionim materijalima po strogo definisanim procedurama, posebno u terenskim uslovima i sl.), sprečavanja pojave otkaza (preventivnim akcijama održavanja ili pravovre-



Sl. 10 – Struktura troškova održavanja i obnavljanja u funkciji periodičnosti realizacije tehničkih pregleda:

1 – ukupni troškovi održavanja i obnavljanja, 2 – ukupni troškovi korektivnog obnavljanja, 3 – ukupni troškovi preventivnog održavanja, 4 – troškovi prvog tehničkog pregleda, 5 – troškovi drugog tehničkog pregleda, 6 – troškovi preventivnih zamena

menim upućivanjem na više nivoe) i vraćanja iz stanja neraspoloživosti (iz stanja „u otkazu“) u raspoloživo stanje (stanje „u radu“) praktično se može rešavati u fazi eksploatacije i osnovnog održavanja.

Kvalitetnom realizacijom navedenih aktivnosti, neposredni korisnici mogu da daju veliki doprinos održavanju zadovoljavajućeg tehničkog stanja transportnih sredstava, smanjenju broja otkaza u toku realizacije zadataka, povećanju bezbednosti transportnih sredstava, putnika i tereta, povećanju proizvodnosti transportnih sredstava, povećanju efektivnosti eksploatacije transportnih sredstava, obezbeđenju potrebnih podataka za informacioni sistem, rasterećenju kapaciteta viših nivoa, pre svega tehničkog održavanja, itd. Kroz realizaciju ovih aktivnosti povećava se i odgovornost vozača kao neposrednih izvršioca transportnih zadataka. Pitanje je, međutim, da li osnovno održavanje, po sadašnjem modelu organizacije i funkcionisanja, može uspešno da realizuje navedene zadatke ili su nužne odgovarajuće promene. Mišljenje autora je da osnovno održavanje po važećem modelu ne može da realizuje navedene zadatke na način koji garantuje iskorišćenje komentarisanih mogućnosti, odnosno ne može da dâ odgovarajući doprinos upravljanju tehničkim stanjem transportnih sredstava. U tom smislu su neophodne radikalne promene sadašnjeg modela.

Struktura troškova održavanja i opravki prikazana je na slici 10. Troškovi neraspoloživosti (opravki i gubitaka zbog neraspoloživosti tehničkog sistema) brzo rastu s povećanjem periodičnosti realizacije tehničkih pregleda, što je uzrokovano povećanjem broja korektivnih intervencija. Očito je da za povećanje periodičnosti kontrole tehničkog stanja moraju da budu

ispunjeni i osnovni uslovi, odnosno da se povećaju intervali h na kojima se može prognozirati stanje s verovatnoćom p .

Zaključak

Asimptotska raspoloživost tehničkih sistema, kao kompleksni pokazatelj inherentnog kvaliteta, kvaliteta eksploatacije, čuvanja, održavanja i opravki, zahteva stalno praćenje i izučavanje stepena uticaja svih relevantnih faktora, radi pravovremenog uočavanja i otklanjanja uzroka smanjenja ispod granica dozvoljenih odstupanja. U vezi s tim neophodno je razviti takav informacioni sistem koji će omogućiti skladištenje i analizu podataka o svim vremenima, definisanim standardom IEC 50(191).

Metoda simulacije može uspešno da se primeni za ocenu asimptotske raspoloživosti i troškova preventivnog održavanja i opravki u funkciji relevantnih uticajnih faktora. Ocenjeni pokazatelji mogu se koristiti u procesu donošenja odluka, odnosno u toku upravljanja procesima eksploatacije, održavanja i obnavljanja tehničkih sistema.

Literatura:

- [1] Internacional standard, Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service, IEC, First edition, 1990–12.
- [2] Družinin, G. V.: Nadežnost avtomatizovanih proizvodstvenih sistem, četvrto prerađeno i dopunjeno izdanje, Energoinvest, Moskva, 1986.
- [3] Bunčić, S.: Prilog definisanju upravljanja tehničkom eksploatacijom u autotransportnom preduzeću, SYM-OP-IS '94, Kotor, 1994.
- [4] Radovanović, V., Filipović, S., Stanković, R.: Primena međunarodnih standarda u sistemskoj analizi kvaliteta transportnih usluga, Tehnika saobraćaj, 1986.
- [5] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993.
- [6] Radovanović, V.: Istraživanje uzajamnih veza između stohastičke funkcije zahteva za tehničkim održavanjem i tekućim opravkama i resursa proizvodno-tehničkih baza – razrada matematičkih modela, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1979.

ODREĐIVANJE TAČKASTIH OCENA PARAMETARA NEGATIVNE BINOMNE RASPODELE

UDC: 519.233:512.14

Rezime:

U članku je prikazana metoda određivanja tačkastih ocena parametara c i p negativne binomne raspodele. To je metoda momenata, jer za ocenu ovih parametara koristi srednju vrednost m , i standardnu devijaciju σ , koje se određuju na osnovu momenata slučajne promenljive X koja ima ovu raspodelu. Dat je i postupak generisanja pseudoslučajnih brojeva koji imaju negativnu binomnu raspodelu. Radi ilustracije praktične primene metode, prikazana su dva primera. U jednom primeru korišćeni su podaci iz prakse, a u drugom pseudoslučajni brojevi generisani pomoću računara, a koji imaju negativnu binomnu raspodelu.

Ključne reči: negativna binomna raspodela, tačkaste ocene parametara, metoda momenata.

DETERMINATION OF POINT ESTIMATES OF NEGATIVE BINOMIAL DISTRIBUTION PARAMETERS

Summary:

A method for determining point estimates of c and p parameters of the negative binomial distribution has been presented in the paper. This is a method of moments because the estimation of these parameters is based on the mean value m and the standard deviation σ which are determined by moments of the random variable X with this type of distribution. The procedure of generating pseudorandom numbers with the negative binomial distribution has been given as well. The application of this method has been illustrated by two examples: data from practice has been used in the first one and, in the second one, computer-generated pseudorandom numbers with the negative binomial distribution.

Key words: negative binomial distribution, point estimates parameters, method of moments.

Uvod

Kada je broj pojava nekog događaja A konstantan u zadatom intervalu vremena $[t_1, t_2]$; $t = t_2 - t_1$, koristi se Poasonova raspodela za određivanje verovatnoća da se u tom intervalu događaj A (na primer, otkaz nekog tehničkog sistema), pojavi tačno $0, 1, 2, \dots k$ -puta, kao i za određivanje drugih statističkih veličina

vezanih za pojavu događaja A . Poasonova raspodela ima sledeći matematički oblik:

$$P(X=k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a}; a > 0; k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Može se uočiti da u Poasonovoj raspodeli figuriše samo jedan parametar koji se obično obeležava sa a i predstavlja mate-

matičko očekivanje broja pojava događaja A u zadatom intervalu vremena. Parametar a ne zavisi od početka intervala vremena, već samo od širine tog intervala, tj.

$$a = \lambda t \quad (2)$$

gde je:

$\lambda = \text{const.}$ – intenzitet pojave događaja A (broj događaja u jedinici vremena),

t – širina vremenskog intervala.

Kada parametar a nije konstantan u zadatom intervalu, već je promenljiv i ima svoj zakon raspodele, onda se Poasonova raspodela ne može primeniti u svom uobičajenom obliku datom izrazom (1). Ako se pretpostavi da parametar a ima dvoparametarsku gama-raspodelu, onda se Poasonova raspodela transformiše u drugu, tzv. negativnu binomnu raspodelu. U radu je prikazan postupak transformisanja Poasonove raspodele u negativnu binomnu raspodelu i izložena je metoda određivanja tačkastih ocena, parametara negativne binomne raspodele i parametara gama-raspodele. Takođe, prikazan je i postupak generisanja pseudoslučajnih brojeva koji imaju negativnu binomnu raspodelu.

Teorijske postavke

Negativna binomna raspodela, čiji je matematički oblik:

$$P(X = k) = (-1)^k \binom{-c}{k} p^k q^c; \quad q = 1 - p; \quad c > 0; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

dobija se iz Poasonove raspodele date izrazom (1), kada parametar Poasonove raspodele a nije konstantan, već ima

dvoparametarsku gama-raspodelu datu sledećim izrazom:

$$f(a) = \frac{1}{b\Gamma(c)} \left(\frac{a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{a}{b}\right)}; \quad a \geq 0; \quad b, c > 0, \quad (4)$$

gde je:

b – parametar razmere,

c – parametar oblika gama-raspodele.

Izraz (3) dobija se integraljenjem, od nule do plus beskonačno, proizvoda funkcija gustine Poasonove i gama-raspodele po parametru a Poasonove raspodele:

$$\begin{aligned} P(X = k) &= \int_0^{+\infty} \frac{a^k}{k!} e^{-a} \frac{1}{b\Gamma(c)} \left(\frac{a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{a}{b}\right)} da \\ &= \frac{1}{b^c k! \Gamma(c)} \int_0^{+\infty} a^{c+k-1} e^{-\left(\frac{b}{1+b}\right)a} da \\ &= \frac{\left(\frac{b}{1+b}\right)^{c+k}}{b^c \Gamma(c) k!} \int_0^{+\infty} u^{c+k-1} e^{-u} du \\ &= \frac{\Gamma(c+k)}{\Gamma(c) k!} \left(\frac{b}{1+b}\right)^k \left(\frac{1}{1+b}\right)^c. \end{aligned} \quad (5)$$

Uvodeći sledeće smene:

$$p = \frac{b}{1+b} \quad (6)$$

$$q = 1 - p = \frac{1}{1+b}, \quad (7)$$

koje daju vezu između parametara p i q negativne binomne raspodele i parametra razmere b dvoparametarske gama-raspodele, i zamenjujući potpune gama-funkcije faktorijelima, dobija se izraz:

$$P(X = k) = \frac{(c + k - 1)!}{(c - 1)!k!} p^k q^c$$

$$= \binom{c + k - 1}{k} p^k q^c. \quad (8)$$

Binomni koeficijent iz izraza (3)

$$\binom{-c}{k} \quad (9)$$

može se napisati u sledećem obliku:

$$\binom{-c}{k} = \frac{-c(-c-1)(-c-2)\dots(-c-k+1)}{k!}$$

$$= (-1)^k \frac{c(c+1)(c+2)\dots(c+k-1)}{k!}$$

$$= (-1)^k \frac{(c-1)!}{(c-1)!} \frac{c(c+1)(c+2)\dots(c+k-1)}{k!}$$

$$= (-1)^k \frac{(c + k - 1)!}{(c - 1)!k!}$$

$$= (-1)^k \binom{c + k - 1}{k}, \quad (10)$$

odakle proizilazi da je

$$\binom{c + k - 1}{k} = (-1)^k \binom{-c}{k}, \quad (11)$$

čime je izraz (3) dokazan.

Srednja vrednost i varijansa negativne binomne raspodele dati su sledećim izrazima:

$$E(X) = m = c \frac{p}{q} \quad (12)$$

$$V(X) = \sigma^2 = c \frac{p}{q} \left(1 + \frac{p}{q} \right), \quad (13)$$

gde su parametri negativne binomne raspodele p i q dati izrazima (6) i (7).

Kada je

$$E(X) = c \frac{p}{q} = \Lambda = \text{const.}; c \rightarrow \infty, \quad (14)$$

tada negativna binomna raspodela prelazi u Poasonovu raspodelu:

$$P(X = k) = \frac{\Lambda^k}{k!} e^{-\Lambda}; k = 0, 1, 2, \dots \quad (15)$$

Generisanje pseudoslučajnih brojeva

Radi provere valjanosti izloženog postupka za određivanje tačkastih ocena parametara raspodele slučajne promenljive X , pogodno je da se, za date vrednosti parametara, generišu pseudoslučajni brojevi koji slede zakon posmatrane raspodele. Na osnovu tih pseudoslučajnih brojeva i predložene metode određuju se tačkaste ocene parametara te raspodele. Upoređenjem vrednosti tačkastih ocena i tačnih vrednosti parametara može se zaključiti koliko je uspešna predložena metoda. Generisanje pseudoslučajnih brojeva koji slede zakon negativne binomne raspodele realizuje se tako da se prvo generiše pseudoslučajni broj β koji pripada intervalu $(0, 1)$, zatim se, za datu vrednost parametara b i c gama-raspodele, odredi gornji kvantil $u_{b; c; \beta}$ ove raspodele. Posle toga, parametru a Poasonove raspodele dodeli se vrednost kvantila, tj.

$$a = u_{b; c; \beta} \quad (16)$$

Zatim se generiše drugi pseudoslučajni broj γ koji pripada intervalu $(0, 1)$, i usvoji da je on jednak kumulativnoj Poasonovoj raspodeli:

$$\gamma = \sum_{k=0}^r \frac{a^k}{k!} e^{-a} \quad (17) \quad \hat{c} = \frac{\hat{m}^2}{\hat{\sigma}^2 - \hat{m}} \quad (22)$$

Izraz (17) se rešava po gornjoj granici r sume. Tako dobijeni broj r predstavlja pseudoslučajni broj X koji sledi zakon negativne binomne raspodele. Ako se ovaj postupak ponovi N puta, onda će se dobiti mnoštvo međusobno jednakih brojeva. Ukupni broj ponavljanja istog broja predstavlja apsolutnu učestanost n_k tog broja k. Količnik n_k i N predstavlja relativnu učestanost f_k pseudoslučajne promenljive $X = k$, tj.

$$f_k = \frac{n_k}{N} \quad (18)$$

Kao što se vidi, generisanje pseudoslučajnih brojeva predstavlja veoma složen postupak koji zahteva primenu računara. U protivnom neophodno je koristiti statističke tablice pomoću kojih se približno određuju pseudoslučajni brojevi.

Određivanje tačkastih ocena parametara raspodele

Rešavanjem izraza (12) i (13) po p i c, dobija se

$$p = 1 - \frac{m}{\sigma^2} \quad (19)$$

$$c = \frac{m^2}{\sigma^2 - m} \quad (20)$$

Dakle, parametri p i c negativne binomne raspodele su funkcije srednje vrednosti m i standardne devijacije σ^2 . Tako se na osnovu određenih tačkastih ocena za m i σ^2 dobijaju i tačkaste ocene za p i c:

$$\hat{p} = 1 - \frac{\hat{m}}{\hat{\sigma}^2} \quad (21)$$

Tačkaste ocene za m i σ^2 dobijaju se pomoću sledećih izraza:

$$\hat{m} = \sum_{k=0}^n k \cdot f_k \quad (23)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \sum_{k=0}^n (k - \hat{m})^2 \cdot f_k, \quad (24)$$

gde je:

f_k – relativna učestalost slučajne promenljive $X = k$,

n – ukupan broj vrednosti od X koje se uzimaju u obzir.

Teorijski posmatrano, slučajna promenljiva X uzima vrednosti od nule do plus beskonačno. Međutim, postoji samo jedan konačan interval vrednosti koji uzima slučajna promenljiva X sa verovatnoćama koje nisu zanemarljive. Zato se i sumiranje obavlja u konačnom, a ne u beskonačnom intervalu vrednosti za X.

Pošto su parametri p i q komplementarni do jedinice, tačkasta ocena za parametar q data je izrazom:

$$\hat{q} = \frac{\hat{m}}{\hat{\sigma}^2} \quad (25)$$

Na osnovu izraza (6) dobija se tačkasta ocena parametra razmere b gama-raspodele:

$$\hat{b} = \frac{\hat{p}}{1 - \hat{p}} \quad (26)$$

Parametar oblika c gama-raspodele isti je kao i parametar c negativne binomne raspodele, pa su iste i njihove tačkaste ocene.

Primer 1:

U toku tri meseca praćena je pojava povređivanja kod 414 radnika – mašinista. Neka je X slučajna promenljiva koja pokazuje koliko se puta mašinista povredi u toku ovog intervala ($X = 0, 1, 2, \dots$). U tabeli 1 data je empirijska verovatnoća ili relativna učestanost da se mašinista ne povredi ($X = 0$), da se povredi samo jedanput ($X = 1$), da se povredi tačno dva puta ($X = 2$), itd.

Pod pretpostavkom da X ima negativnu binomnu raspodelu, određeni su parametri p i c ove raspodele uz korišćenje izraza (21), (22), (23) i (24). Ukupan broj relevantnih vrednosti slučajne promenljive X je $n = 9$ (ukupan broj vrednosti za relativnu učestanost f_i). Za posmatrani primer dobija se da je $\hat{p} = 0,511002$ i $\hat{c} = 0,45933$. Pomoću ovih vrednosti određene su verovatnoće $P(X = k)$ koje su, takođe, navedene u tabeli 1. Kao što se vidi, slaganje empirijskih i teorijskih vrednosti za posmatrane verovatnoće dosta je dobro, što ukazuje da X ima negativnu binomnu raspodelu, odnosno da

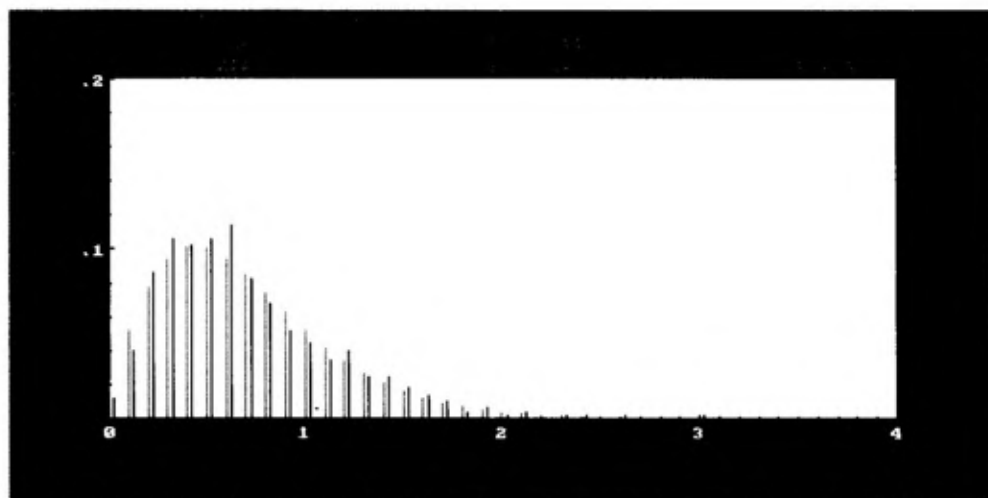
Vrednosti podataka i rezultata

$X = k$	f_i	$P(X = k)$
0	0,715	0,720
1	0,179	0,169
2	0,063	0,063
3	0,019	0,026
4	0,010	0,012
5	0,010	0,005
6	0,002	0,002
7	0,000	0,001
8	0,002	0,001

parametar Poasonove raspodele u toku ova tri meseca nije bio konstantan, već da je imao gama-raspodelu.

Primer 2:

Pomoću računara generisano je $N = 500$ pseudoslučajnih brojeva koji imaju negativnu binomnu raspodelu sa parametrima $c = 3,5$ i $p = 0,6667$, odnosno sa parametrom razmere gama-raspodele, $b = 2$. Na slici je prikazan histogram raspodele slučajne promenljive $X = k = 0, 1, 2, \dots$ dobijen na osnovu



Histogram negativne binomne raspodele

ovih pseudoslučajnih brojeva. Generisanje pseudoslučajnih brojeva izvršeno je primenom prethodno opisanog postupka. Histogram je dobijen pomoću računarskog programa urađenog specijalno za ovu raspodelu.

U tabeli 2 prikazane su vrednosti apsolutnih i relativnih učestanosti n_k i $f_k = n_k/N$, respektivno, kao i odgovarajuće verovatnoće $P(X = k)$. Apsolutna učestanost n_k je broj koji pokazuje koliko je puta pseudoslučajni broj, koji ima ulogu slučajne promenljive X , uzeo vrednost broja $k = 0, 1, 2, \dots$ U tabeli 2 navedeno je samo prvih šesnaest vrednosti broja k i njemu odgovarajućih vrednosti navedenih veličina.

Polazeći od pretpostavke da su vrednosti parametara ove raspodele nepoznate, na osnovu generisanih pseudoslučajnih brojeva i izvedenih relacija u prethodnim tačkama, pomoću računarskog programa, izračunate su tačkaste ocene ovih parametara, koje se mogu pročitati na slici, i one su: $\hat{b} = 1,943$, $\hat{c} = 3,529$ i

$\hat{p} = 0,6603$. Takođe, određene su i tačkaste ocene za srednju vrednost m i standardnu devijaciju σ i one su: $\hat{m} = 6,859$ i $\hat{\sigma} = s = 4,493$.

Vrednosti za m i σ , određene pomoću tačnih vrednosti parametara ove raspodele, iznose: $m = 6,999$ i $\sigma = 4,582$. Upoređujući tačkaste ocene parametara, srednje vrednosti i standardne devijacije sa njima odgovarajućim tačnim vrednostima, može se uočiti da je približnost zadovoljavajuća u statističkom smislu.

Zaključak

Upoređenjem dobijenih vrednosti tačkastih ocena: $\hat{b} = 1,943$, $\hat{c} = 3,529$ i $\hat{p} = 0,6603$ sa usvojenim vrednostima parametara: $b = 2$, $c = 3,5$ i $p = 0,667$, pri kojima su generisani pseudoslučajni brojevi na osnovu kojih su izračunate ove tačkaste ocene, može se zaključiti da je postignuta zadovoljavajuća tačnost. Pomoću računarskog programa realizovana je provera predmetne metode više puta, a dobijeni rezultati, u većini slučajeva, bili su zadovoljavajući. Može se očekivati, sa velikim poverenjem, da će prikazana metoda određivanja tačkastih ocena parametara negativne binomne raspodele biti efikasna i u slučaju njene primene na vrednosti koje slučajna promenljiva X poprimi u toku nekog eksperimenta, naročito ako je broj podataka dovoljno veliki. To je jedan od glavnih uslova efikasnosti metode momenata u određivanju tačkastih ocena parametara neke raspodele.

Tabela 2

Vrednosti učestanosti i odgovarajućih verovatnoća

k	n_k	$f_k = n_k/N$	$P(X = k)$
0	6	0,012	0,022
1	20	0,040	0,052
2	43	0,086	0,077
3	53	0,106	0,094
4	51	0,102	0,101
5	53	0,106	0,101
6	57	0,114	0,094
7	41	0,082	0,085
8	34	0,068	0,074
9	26	0,052	0,062
10	22	0,044	0,052
11	17	0,034	0,042
12	20	0,040	0,034
13	12	0,024	0,026
14	12	0,024	0,021
15	9	0,018	0,016

Literatura:

- [1] Fisz, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1962.
- [2] Haight, A.F.: Handbook of the Poisson Distribution, John Wiley and Sons, INC. New York, London, Sydney, 1967.

Mr Gordana Šenborn,
dipl. inž.,
Mr Gordana Radivojević,
dipl. inž.,

Sistem Institut Mihajlo Pupin,
„IMP – Automatika“ d.o.o.
Beograd

Mr Zdravko Radišić,
potpukovnik, dipl. inž.,
Saobraćajna uprava GŠ VJ,
Beograd

PRIMENA GIS I GPS TEHNOLOGIJE U VOJNOM PUTNOM SAOBRAĆAJU

UDC: 355.691.1.008.2:[629.783:527

Rezime:

GIS (Geografski informacioni sistem) jeste nova tehnologija integrisanja, procesiranja i prikaza (vizuelizacije) geoprostornih podataka, na način koji odgovara korisniku. Geografski podaci i informacije opisuju pojave u realnom svetu, na određenoj lokaciji, u određenom trenutku vremena. GPS (Globalni pozicioni sistem) predstavlja sistem za pozicioniranje stabilnih i pokretnih objekata u prostoru i realnom vremenu. U radu su date osnovne karakteristike i mogućnosti integracije i primene GIS i GPS tehnologije u vojnom putnom saobraćaju. Kod većine razvijenih armija sveta, GIS i GPS tehnologije predstavljaju fundamentalne tehnologije C³I sistema.

Ključne reči: GIS i GPS tehnologije, upravljanje, vojni putni saobraćaj.

APPLICATION OF GIS AND GPS TECHNOLOGIES IN MILITARY HIGHWAY TRANSPORTATION

Summary:

The Geographic Information System (GIS) is a new technology of integration, processing and visualization of geographic data in a users-suitable way. Geographic data and information describe real phenomena at particular locations and in particular periods of time. The Global Positioning System (GPS) is a system for positioning stationary and moving objects in space and real time. The paper gives basic characteristics as well as the possibilities of GIS and GPS integration and application in military highway transportation. In most developed armies the GIS and GPS technologies are fundamental technologies of the C³I system.

Key words: GIS and GPS technologies, control, military highway transportation.

Uvod

Efikasno funkcionisanje saobraćajnog sistema i saobraćajne službe Vojske Jugoslavije od vitalnog je značaja za realizaciju većine funkcija vojne organizacije u miru i ratu. Ne ulazeći detaljnije u analizu karakteristika svih relevantnih faktora koji određuju efikasnost funkcionisanja vojnog saobraćaja i transporta,

treba naglasiti da se njegova efikasnost obezbeđuje, pored ostalog, i kvalitetnim upravljanjem. Ovom funkcijom postavljaju se različiti ciljevi sistema, a jedan od osnovnih jeste da se racionalnim planiranjem, organizacijom, regulisanjem i kontrolom saobraćajno-transportnih procesa obezbedi realizacija ostalih ciljeva i zadataka vojne organizacije u svim uslovima, uz minimalne troškove i utroške resursa.

Upravljanje složenim, dinamičkim i hijerarhijskim organizacionim sistemima, kakav je i vojni saobraćaj, mora se zasnivati na racionalnom odlučivanju. Ovakav pristup i sistem odlučivanja mora se podržati adekvatnim informacionim sistemima, zasnovanim na primeni savremene informatičke tehnologije.

Realizacija osnovnih zadataka na različitim nivoima organizovanja Vojske (saobraćajne službe) i veliki broj odluka (rešenja) u vojnom saobraćaju i transportu zasnovan je na internoj i eksternoj razmeni, integraciji, čuvanju, ažuriranju, obradi (procesiranju, transformaciji) i adekvatnom prikazu (vizuelizacija, prezentaciono mapiranje) selektovanih podataka i informacija o prostoru, putnoj mreži, pripadajućim objektima i raspoloživim resursima. Primena novih tehnologija omogućava praćenje procesa (npr. kretanja) i objekata (npr. saobraćajnih sredstava i vojnih motorizovanih kolona) u realnom vremenu i prostoru.

GIS tehnologije

Geografski informacioni sistem (GIS) predstavlja novu tehnologiju za digitalno procesiranje geoprostornih podataka. Može se definisati kao racionalno organizovan informacioni sistem (skup računarske opreme i programskih paketa), integrisan na način da procesira sa podacima koji su referisani sa prostornim ili geografskim koordinatama. U osnovi GIS je informacioni sistem za podršku odlučivanju, koje se bazira na integraciji, transformaciji i vizuelizaciji prostornih podataka. U funkcionalnom smislu GIS se u osnovi sastoji od dva podsistema:

- hardvera (računarska oprema) i
- programskog paketa (sistemski i aplikacioni programi).

Standardna GIS računarska konfiguracija obuhvata centralnu procesorsku jedinicu, jedinicu za vizuelizaciju i prezentaciju rezultata obrade podataka, jedinicu (diskove) za smeštaj podataka, sistemskog i aplikativnog softvera, digitajzere i skenere za transfer podataka sa mapa i drugih dokumenata u digitalnu formu, plotere, štampače i druge sisteme za dokumentovanje i prikaz rezultata obrade podataka.

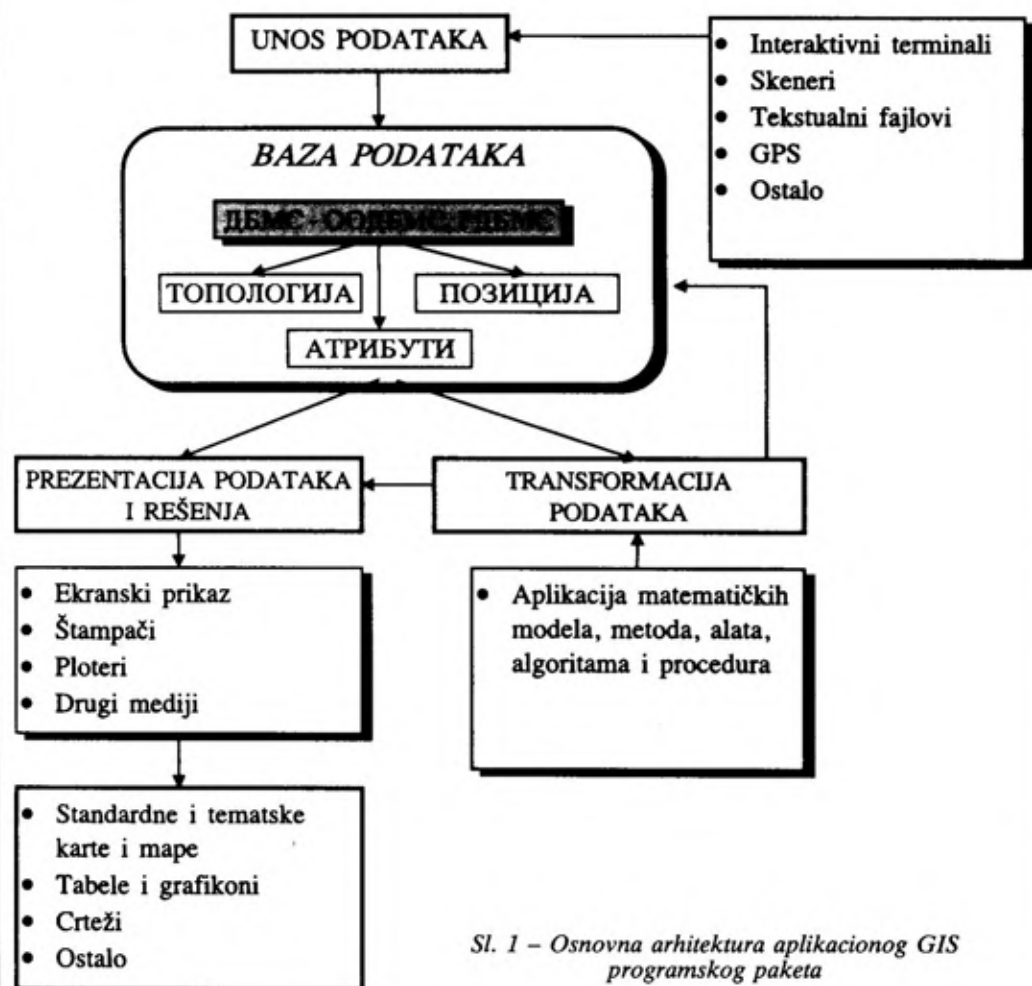
Standardna arhitektura aplikacionog GIS programskog paketa sastoji se od programskih modula (sl. 1), koji obezbeđuju:

- interakciju - komuniciranje korisnika sa GIS programskim paketom,
- unos, verifikaciju podataka i skladištenje podataka,
- upravljanje bazom podataka (Database Management System - DBMS),
- procesiranje - transformaciju podataka, i
- prezentaciju izlaznih podataka i rešenja.

Interakcija korisnika sa GIS programskim paketom obezbeđuje se preko namenskih grafičkih interfejsa i navigatora, koji su dizajnirani da korisnicima na jednostavan i nedvosmislen način obezbede pristup svim modulima i funkcijama programskog paketa.

Programski modul za unos podataka u osnovi predstavlja skup računarskih alata (tools) za transformaciju podataka sa drugih medija. Ovaj modul pokriva sve aspekte transformacije, verifikacije i pripreme podataka, dobijenih sa interaktivnih terminala, skenera, putem tekst-fajlova ili na neki drugi način (GPS uređaji), za unos u bazu podataka u definisanom obliku.

Modul za upravljanje bazom podataka omogućava manipulisanje i održa-



vanje podataka u bazi, povezuje podatke i attribute topologije, pozicije i geografske elemente (tačke, linije i poligone) u jedinstvenu celinu, obezbeđuje strukturnu i organizacionu povezanost inicijalnih i transformisanih podataka, njihovo čuvanje i prezentaciju korisnicima. Za upravljanje bazom podataka GIS programski paketi obično koriste standardne sisteme za upravljanje bazama podataka (DBMS), objektno orijentisane (OODBMS) ili relacione baze podataka

(RDBMS). Redi je slučaj da se postojeći GIS proširuje funkcijama za upravljanje bazama podataka (programski paket GIS SICAD).

Modul za procesiranje – transformaciju podataka u osnovi predstavlja skup sistemskih i aplikativnih matematičkih i logičkih modela, metoda, alata, algoritama i procedura za selektovanje i transformaciju ulaznih podataka i informacija u izlazne i njihovu pripremu za generisanje izveštaja. Radi se o sistemskim i

namenskim računarskim alatima za promenu razmere na kartama, prilagođavanje podataka novim projekcijama, prostorno pretraživanje i sortiranje podataka (definisanje standardnih i specijalnih uslova, upita i njihovo tematsko ili lejersko mapiranje), izračunavanje površina, najkraćih rastojanja, prikaze lociranja izabranih kategorija objekata (sa prikazom njihovih atributa), definisanje zona uticaja – baferisanje, lejersko mapiranje izabranih podataka, analizu sadržaja prostora, statističku analizu podataka i primenu modela i metoda transportnih mreža, kao alata za manipulaciju podataka na mreži (analize povezanosti i dekompozicije putne mreže, rutiranja, kapacitet mreže, lokacijski problemi). Pored sistemskih potprograma za transformaciju podataka, projektant GIS aplikacije može ugraditi i druge alate po izboru korisnika. Najčešće se radi o potrebi definisanja dodatnih specijalnih uslova i upita (Conditional and Queries) za sortiranje i pretraživanje podataka u bazi. GIS aplikacija treba da da odgovore na sledeća pitanja:

- gde se nalazi određeni objekat A,
- kako je objekat A povezan sa objektom B,
- da li i koliko puta se objekat A pojavljuje između objekata B i C,
- kolika je vrednost funkcije Y na poziciji X,
- koliko je velik objekat B (bilo da se pojavljuje kao površina, parametar, broj pojavljivanja i slično),
- kakav je rezultat preseka različitih vrsta podataka,
- koji je najkraći put od tačke A do tačke B (jednokriterijumski ili višekriterijumski),
- koji je sadržaj podataka u tačkama A, B ili zoni Z, tj. šta se nalazi na nekoj lokaciji,

– koji se objekti nalaze pored navedenih ili selektovanih objekata, pod uslovom da ispunjavaju određene kombinacije zahteva,

– pored toga, GIS aplikacija sortira i klasifikuje objekte po određenoj kombinaciji atributa ili uslova, a

– koristeći sistem i bazu podataka, moguće je izvršiti simulaciju procesa P, u vremenu T, po proceduri C, na prostoru Z.

Modul za prezentaciju podataka i rešenja treba da obezbedi prikaz podataka i rešenja prema zahtevima korisnika. Prezentaciono, vizuelno i lejersko mapiranje predstavlja za većinu korisnika najvažniju mogućnost geografskih informacionih sistema. Vizuelna percepcija je najbolji i najtrajniji način poimanja pojmova i podataka. Vizuelnost je princip očiglednog i olakšanog praćenja selektovanih podataka i predviđanja pojava i procesa u vremenu i prostoru. Lejersko mapiranje i prikaz podataka omogućava istovremeni prikaz svih ili samo onih kategorija podataka koji su trenutno značajni za korisnika. Sam korisnik, u interaktivnom radu, formira liste i podliste kategorija podataka i grafički dizajn za njihov prikaz. Na taj način eliminiše se nepreglednost i prezasićenost podacima.

Prema generalnoj klasifikaciji GIS se deli na:

- GIS teritorije (informacioni sistem o prostoru jedne ili više država, republike ili nekog regiona);
- GIS urbanih sredina – UrboGIS (gradovi, naselja, opštine), planiranje razvoja, projektovanje i gazdovanje urbanim prostorom;
- GIS kompleksa (saobraćajnih, industrijskih ili turističkih), GIS kompaktnih specifičnih prostornih struktura sa izraženom monofunkcijom;

– GIS komunalnih sistema (elektroprivreda, vodosnabdevanje, toplifikacija i slično);

– GIS mikrosistema (eksploatacija i održavanje objekata);

– GIS sistema od posebne važnosti (vojska, policija, carina i slično).

Najpoznatiji GIS programski paketi su: ArcInfo, ArcView GIS 3.0, AutoCAD Map, GisPLUS, TransCAD, AtlasGIS, MapInfo i UfosNET. GisPLUS, TransCAD i UfosNET su namenski GIS programski paketi za primenu u saobraćaju i transportu.

GPS tehnologije

Globalni pozicioni sistem (Global Positioning System – GPS) predstavlja sistem za određivanje pozicije stabilnih i mobilnih objekata u realnom vremenu. GPS je razvilo Ministarstvo odbrane SAD i primenjuje se od 1973. godine. Postao je dostupan širokom krugu korisnika od 1993. godine otvaranjem GPS sistema NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging) za komercijalnu upotrebu.

GPS se sastoji od tri podsistema: vasionkog, upravljačkog i korisničkog. *Vasionki podsistem* obuhvata satelite (24 satelita – 21 aktivan i 3 rezervna satelita), koji kruže u svojim orbitama (pojas srednje orbite), na visini od 20 187 km. Raspored satelita u šest orbitalnih ravni obezbeđuje potpunu pokrivenost cele površine Zemlje. Sateliti obiluju Zemlju za 12 časova. Upravljački podsistem čine četiri monitorske stanice. Glavna stanica je u Kolorado Springsu (baza RV SAD – Falkon), a tri su na Atlantiku, Pacifiku i Indijskom okeanu. Korisnički podsistem obuhvata objekte na zemlji, u vodi ili vazдушnom prostoru, koji su oprem-

ljeni GPS prijemnicima. Raspored GPS satelita omogućava korisnicima na bilo kojoj tački na površini Zemlje dobijanje signala sa najmanje četiri satelita, na osnovu kojih GPS prijemnik određuje poziciju. Osnovni podaci, koje određuje GPS prijemnik, jesu geografska širina, dužina, nadmorska visina i tačno vreme (UTC – Universal Time Coordinated).

Podaci o koordinatama mogu imati grešku do 100 metara. U sistem za emitovanje signala ugrađena je funkcija selektivne raspoloživosti, kada se signal sa satelita namerno „kviri“. Odluku o tome donosi Vrhovna komanda SAD. Metodom diferencijalne korekcije postiže se poboljšanje tačnosti (do 1 cm). Diferencijalni GPS zasniva se na činjenici da je greška određivanja rastojanja GPS prijemnika od satelita približno jednaka za sve prijemnike koji se nalaze na relativno velikom prostoru. Uz pomoć prijemnika sa unapred poznatim koordinatama određuje se greška u rastojanju svakog satelita do repnog-korektivnog prijemnika. Izračunata greška koristi se za korigovanje izmerenih rastojanja kod svih prijemnika u okolini. Diferencijalna korekcija može se vršiti naknadnim ili procesiranjem u realnom vremenu, korišćenjem radio-veze. U razvijenim zemljama postoji komunikaciona mreža koja emituje korektivne parametre za diferencijalnu korekciju GPS podataka. Svemirski diferencijalni GPS funkcioniše na istom principu kao i zemaljski diferencijalni GPS, ali se korektivni parametri emituju preko satelita i time se pokriva veća oblast.

GPS ima široku primenu u svim vidovima i granama saobraćaja, kao i u oblastima gde je potrebno pozicioniranje stabilnih ili mobilnih objekata.

Osnovne funkcije većine GPS uređaja, koji se koriste u saobraćaju i transportu, su:

- prikaz raspoloživog broja satelita,
- izbor mernih jedinica za prikaz parametara,
- prikaz datuma i vremena,
- prikaz mape putne mreže,
- memorisanje čvorova na mreži (do 500 čvorova - npr. uređaj GARMIN GPS III),
- memorisanje putnih pravaca na mreži (do 20 putnih pravaca - npr. uređaj GARMIN GPS III),
- prikaz aktivnog putnog pravca,
- 2D i 3D pozicioniranje,
- prikaz trenutne, maksimalne i prosečne brzine kretanja,
- prikaz vremena kretanja i pređenog puta,
- određivanje rastojanja do cilja,
- određivanje očekivanog vremena dolaska na cilj,
- određivanje rastojanja između dve tačke i
- TRACKBACK funkcija (povratak u polaznu tačku istim putem - npr. uređaj GARMIN GPS III).

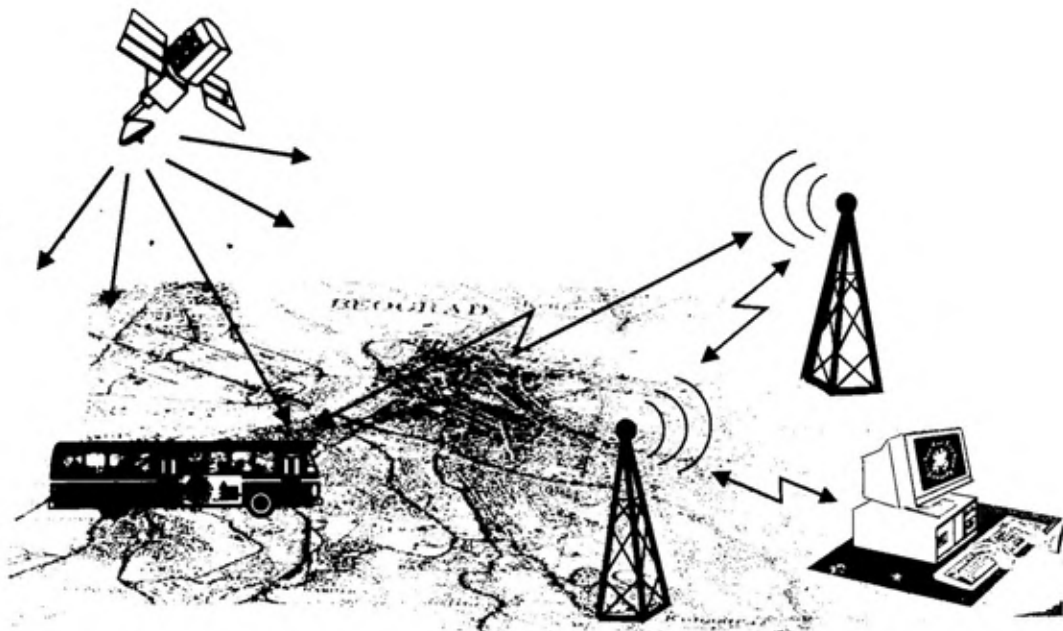
U GPS uređaje mogu se, po zahtevu korisnika, integrisati i elementi kojima se obezbeđuju specijalne funkcije sistema. Najčešće se radi o mikrokamerama za identifikaciju vozača, alarmnim sistemima za dojavu nasilnog ulaska u vozilo i u prostor za teret ili o senzorima koji kontrolišu rad motora, popunjenost vozila putnicima (broj ušlih i izašlih putnika u vozilima JGPP) ili pojedine uređaje na vozilu (npr. senzori za praćenje temperature u hladnjači ili praćenje nivoa goriva u cisterni).

GPS tehnologija primenjena u saobraćaju najčešće je integrisana sa GIS tehnologijom u jedinstven i centralizovan automatizovan informacioni sistem (AIS) za upravljanje voznim parkovima ili pojedinačnim vozilima u realnom vremenu.

GIS tehnologija omogućava prijem - unos, čuvanje, obradu - transformaciju, vizuelni prikaz (npr. lokaciju vozila na mapi putne mreže) i štampanje podataka i informacija prikupljenih GPS tehnologijom. Organizaciona i hardversko-programaska struktura ovakvog informacionog sistema određena je vrstom, opsegom i specifičnostima saobraćajno-transportnih procesa, čije upravljanje se podržava ovim tehnologijama.

Sistem AIS sastoji se od upravljačkog, komunikacionog i mobilnih podсистema (sl. 2).

Upravljački podсистem je centar sistema, gde se prikupljaju svi podaci i informacije i upravlja sistemom i radom voznih jedinica na mreži. Centar je opremljen komunikacionim hardverom za prijem podataka (PC komunikacioni server, GPS kartica sa antenom, modem, radio-stanica, dispečerski PC terminali) i programskom podrškom koja obezbeđuje čuvanje, obradu, prezentaciju podataka prema potrebi korisnika i generisanje upravljačkih informacija. U centru postoji više radnih mesta - dispečera koji prate rad vozila na putnoj mreži i rad sistema. Komunikacioni podсистem predstavlja sistem veza, koji obezbeđuje komunikacije u sistemu PAUK. Mobilni podсистem obuhvata podсистeme mobilnih uređaja u vozilima, koji primaju signale sa satelita i ostvaruju komunikaciju preko komunikacionog podсистema sa dispečerskim centrom. Mobilni uređaji u vozilima sastoje se od elemenata koji obezbeđuju prijem signala sa satelita o poziciji vozila, sakupljanje podataka sa senzora u vozilu, formiranje poruke, koja se prosleđuje dispečerskom centru i prijem upravljačkih poruka iz dispečerskog centra. Mobilni uređaj u vozilu sastoji se od sledećih elemenata:



Sl. 2 – Osnovni elementi informacionog sistema zasnovanog na primeni GIS i GPS tehnologije

- displeja, na kojem se prikazuju poruke iz dispečerskog centra,
- komandnog pulta, preko kojeg vozač komunicira sa dispečerskim centrom,
- senzora za merenje određenih veličina na vozilu,
- GPS kontrolera,
- GPS kartice sa antenom,
- modema,
- radio-stanice i
- PC Lap-top, po potrebi.

Dosadašnja praktična iskustva i rešenja ukazuju na primenu GIS i GPS tehnologije za pozicioniranje, automatsko upravljanje i kontrolu kretanja vozila na putnoj mreži (sistem PAUK), odnosno u realizaciji sledećih funkcija i aktivnosti:

- upravljanje eksploatacijom i održavanjem voznog parka,
- praćenje pozicije vozila na putnoj mreži,
- praćenje rada vozača i vozila na linijama i

- informisanje i davanje uputstava vozaču (komunikacija sa vozačima u realnom vremenu).

Osnovni ciljevi primene GIS i GPS tehnologije su:

- efikasnije iskorišćenje voznog parka;
- smanjenje troškova eksploatacije i održavanja voznog parka;
- mogućnost operativnog usklađivanja prevoznih potreba, uslova i mogućnosti transportnog sistema u realnom vremenu i prostoru;
- viši kvalitet transportnih usluga (minimizacija odstupanja od planiranog režima i reda vožnje, optimizacija broja vozila na linijama i vremenskih intervala sleđenja);
- povećanje raspoloživosti kapaciteta;
- praćenje i prikaz dispozicije vozila u realnom vremenu, jednostavnije i brže preplaniranje upotrebe vozila;

– mogućnost odložene statističke obrade prikupljenih podataka radi unapređenja funkcionisanja transportnog sistema (npr. projektovanje budućih redova vožnje i linija, utvrđivanje potrebnih pokazatelja rada);

– bolja tehnološka i radna disciplina, i

– podizanje nivoa bezbednosti saobraćaja.

Automatizovani informacioni sistemi, zasnovani na integrisanoj primeni GIS i GPS tehnologije, danas se primenjuju u upravljanju radom: vozila javnog gradskog putničkog prevoza, linijskog taksija, Rent-a-car preduzeća, hitne pomoći, vatrogasne službe, policije, vozila za prevoz specijalnih tereta, osoba od posebnog značaja i vojnih vozila.

Informacioni sistemi u vojnom putnom saobraćaju

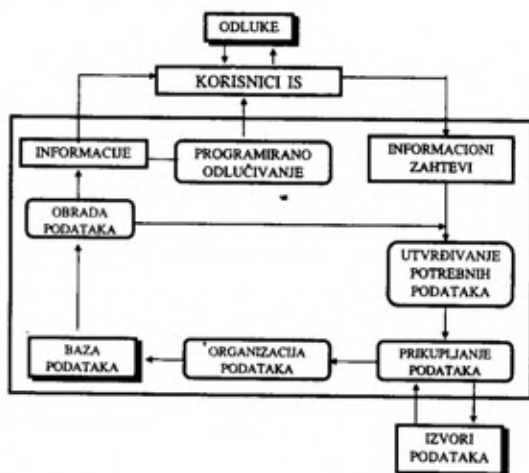
Osnovni cilj razvoja informacionog sistema podržanog računarima jeste da se organizacionim i programskim procedurama, korišćenjem savremenih informatičkih resursa, omogući kvalitetnije upravljanje i odlučivanje, unapredi funkcionisanje sistema u celini, unapredi tehničko-tehnološki nivo funkcionisanja sistema, obezbedi kvalitetnija realizacija operativnih zadataka, ažurno i kvalitetno izvršenje zakonom definisanih obaveza, poveća stepen informisanosti svih korisnika informacionog sistema i obezbedi veća stručnost, ažurnost i preciznost u radu. Informacioni sistem podržanog organizacionog sistema može se definisati kao onaj deo sistema koji po određenoj organizaciji i metodologiji snabdeva sve ovlašćene korisnike, na svim nivoima upravljanja i odlučivanja, potrebnim informacijama, odnosno sistem koji za po-

trebe upravljanja (odlučivanja) prikuplja, obrađuje, ažurira, čuva i dostavlja (distribuiraju) potrebne informacije.

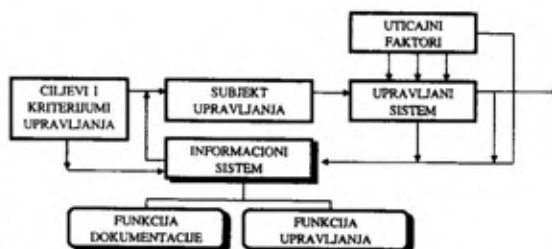
Primena automatizovanih informacionih sistema za podršku upravljanju organizacionim sistemima proizašla je iz potrebe racionalnog odlučivanja, odnosno odlučivanja zasnovanog na pravovremenim, potpunim, tačnim i ekonomski prihvatljivim informacijama. Prikaz informacione osnove i procesa racionalnog odlučivanja dat je na slici 3.

Odnos informacionog i upravljanog sistema prikazan je na slici 4.

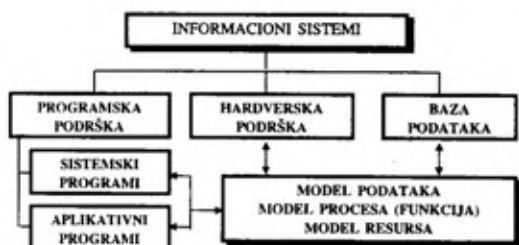
Osnovni strukturni i funkcionalni elementi informacionih sistema prikazani su na slici 5.



Sl. 3 – Prikaz informacione osnove racionalnog odlučivanja



Sl. 4 – Odnos informacionog i upravljanog sistema



Sl. 5 – Osnovni elementi informacionog sistema

GIS i GPS tehnologije u vojnom putnom saobraćaju

Integrirane GIS i GPS tehnologije, uz prethodno navedene hardversko-programске karakteristike i mogućnosti (posebno one koje se odnose na pozicioniranje objekata, integriranje, procesiranje i prikaz – vizuelizaciju geoprostornih podataka), predstavljaju najpovoljnije okruženje za relativno brz razvoj i projektovanje informacionog sistema za operativno upravljanje (planiranje, organizovanje, realizacija i kontrola) vojnim putnim saobraćajem u realnom vremenu. Potreba za razvojem i projektovanjem informacionog sistema za operativno upravljanje vojnim putnim saobraćajem proizilazi, pre svega, iz sadržaja funkcije planiranja vojnog putnog saobraćaja. Ovom funkcijom treba da se stvore preduslovi za aktiviranje svih potencijala za odbranu, za realizaciju najvažnijih aktivnosti iz oblasti odbrane, obezbedi optimalno iskorišćenje putne mreže i transportnih resursa teritorije, projektuju elementi za efikasno kretanje jedinica, pravovremeno izvršenje transportnih zadataka i regulisanje i kontrolu kretanja.

Važnost planiranja vojnog putnog saobraćaja ogleda se u činjenici da organizovan saobraćaj na putevima i pravovremeno izvršenje transportnih zadataka u miru, a posebno u ratu, predstavljaju

važan preduslov za efikasno odvijanje svih ostalih aktivnosti iz oblasti odbrane. Planiranjem vojnog putnog saobraćaja stvaraju se preduslovi za brzo, bezbedno, pouzdano i ekonomično kretanje svih učesnika u saobraćaju, prevoženje jedinica i materijalnih sredstava, uz najpovoljnije iskorišćenje mogućnosti putne mreže, raspoloživih prevoznih resursa teritorije i snaga i sredstava za regulisanje i kontrolu kretanja. Planiranjem vojnog putnog saobraćaja utvrđuju se planske pretpostavke i efikasna organizacija saobraćaja, radi ispunjavanja zahteva učesnika u kretanju (potražnja u saobraćaju) i usklađivanja sa mogućnostima saobraćajnog sistema teritorije (ponuda u saobraćaju). Usklađivanje se obavlja po mestu, vremenu, putnim, saobraćajnim i transportnim resursima teritorije.

Planiranje saobraćaja obuhvata:

- prikupljanje podataka koji reprezentuju potrebe korisnika i mogućnosti saobraćajnog sistema;

- analizu i ocenu mogućnosti putne mreže i ostalih elemenata saobraćajnog sistema;

- planiranje korišćenja putne mreže teritorije i raspodelu puteva na pojedine korisnike;

- uvođenje režima i prioriteta u putnom saobraćaju;

- planiranje i organizaciju različitih prevoženja za potrebe vojske, privrede, stanovništva ili drugih korisnika;

- plansko iskorišćenje transportnih resursa teritorije;

- planiranje regulisanja saobraćaja, i

- planiranje kontrole saobraćaja.

Planiranje se provodi u svim uslovima borbenih dejstava kao stalan zadatak nadležnih komandi i stručnih organa, a za sve potencijalne korisnike putne mreže, u skladu sa karakteristikama

utvrđenih režima saobraćaja i prioriteta u kretanju.

Opravdanost uvođenja automatizovanog autonomnog informacionog sistema, zasnovanog na primeni GIS i GPS tehnologije, u proces operativnog upravljanja, a posebno u proces planiranja vojnog putnog saobraćaja, proizilazi iz sledećih činjenica:

- svaki proces upravljanja složenim organizacionim sistemima, kakav je i vojni putni saobraćaj, karakteriše informativnost, sveobuhvatnost, realnost u planiranju, pravovremenost odluka i visoka upotrebna vrednost planskih dokumenata;

- pravovremenost je posebno aktuelna u složenim uslovima kretanja, kada je potrebno brzo utvrditi skup osnovnih i alternativnih rešenja ili odgovoriti promeni uslova u realnom vremenu;

- osnovu operativnog upravljanja vojnim putnim saobraćajem čini prikupljanje, čuvanje, selekcija, obrada – transformacija i selektivan prikaz velikog broja podataka, informacija i gotovih rešenja;

- osnovni nedostatak klasične metodike upravljanja i planiranja nedopustivo je dug vremenski period utvrđivanja planskih pretpostavki, rešenja i izrade dokumentacije. Klasičnom metodikom upravljanja upravni saobraćajni organi vremenski ne stižu da sagledaju veliki broj relevantnih podataka i informacija i izvrše sve potrebne procene, proračune i izrade obimnu plansku dokumentaciju. Primena odgovarajućih matematičkih modela i metoda svedena je na najmanju meru. Posebno je dovedena u pitanje mogućnost brzog odgovora na česte promene situacije i uslova kretanja. Problem predugog vremena donošenja rešenja i izrade

dokumentacije ne može se rešiti angažovanjem većeg broja ljudi, jer su planske aktivnosti međusobno uslovljene, čime je onemogućen istovremeni rad;

- zbog ograničenog vremena i nemogućnosti primene matematičkih metoda i modela, rešenja do kojih se dolazi klasičnim planiranjem najčešće nisu optimizirana;

- veći deo vremena pri klasičnom planiranju planski organi troše na manuelnu izradu planske dokumentacije.

Navedene činjenice jasno ukazuju na to da klasična metodika upravljanja vojnim putnim saobraćajem ne daje objektivna rešenja u svim uslovima. Rešenje problema treba tražiti u bitno drugačijem pristupu i metodici operativnog upravljanja, posebno planiranja, koja se, pre svega, zasniva na mogućnostima savremenih računarskih sistema, GIS i GPS tehnologija, integrisanih u namenski razvijen informacioni sistem za operativno upravljanje vojnim putnim saobraćajem.

Svrishodnost i krajnji efekti razvoja i primene informacionog sistema za operativno upravljanje vojnim putnim saobraćajem ogledaju se u sledećem:

- znatno se smanjuje vreme trajanja upravljačkih funkcija, posebno planiranja vojnog putnog saobraćaja. Na taj način izvršnim organima se ostavlja više vremena za efikasniju pripremu, organizaciju i realizaciju planiranih aktivnosti;

- automatizovani postupci i procedure transformacije podataka zasnivaju se na primeni različitih matematičkih modela i metoda. Na taj način obezbeđuje se dobijanje optimiziranih rešenja;

- planska dokumentacija se po obliku, sadržaju i formatu može standardizovati i prilagoditi različitim potrebama i korisnicima. Povećava se tajnost planiranja, dokumentacije, prenosa i prijema podataka;

– daleko je manji psihički i fizički napor planskih organa, a mogućnost nastanka grešaka svodi se na najmanju moguću meru. Izbegavaju se vršna opterećenja kod planskih organa;

– jednostavnost u radu. Korisniku se obezbeđuje da u grafičkom okruženju definiše sve ulazne podatke, dobije potrebne grafičke izveštaje i prateću dokumentaciju. Efikasan grafički interfejs i jednostavnost korišćenja obezbeđuju privremenu ili trajnu zamenjivost saobraćajnog planskog organa organima drugih službi;

– obezbeđuje se automatizovana kontrola realizacije najvažnijih aktivnosti kretanja u realnom vremenu;

– obezbeđuje se autonomnost i mobilnost informacionog sistema. Moguće je korišćenje u svim borbenim, vremenskim i terenskim uslovima.

Struktura automatizovanog autonomnog informacionog sistema određena je skupom korisničkih funkcija koje se automatizuju i skupom korisnika kojima se dodeljuju različita prava pristupa podacima i funkcijama. Automatizovani autonomni informacioni sistem za podršku upravljanju vojnim putnim saobraćajem treba da sadrži sledeće globalne elemente:

– hardversku podršku baziranu na mobilnim računarskim sistemima;

– bazu podataka;

– programski paket za realizaciju korisničkih funkcija;

– program za zaštitu programskog paketa, bazu podataka, dodelu prava korisnicima, registraciju korisnika i izmenu statusa korisnika.

Baza podataka treba da sadrži podatke o:

– saobraćajnoj mreži (drumski, železnički i vodni saobraćaj);

– saobraćajnoj infrastrukturi (mostovi, tuneli, podvožnjaci i sl.);

– saobraćajnim terminalima (robni, drumski, železnički terminali, ranžirne stanice, industrijski koloseci, luke, pristaništa, civilni i vojni aerodromi);

– vojnim i drugim servisnim bazama;

– voznom parku (armijski i popisni fond);

– transportnim resursima teritorije (transportna preduzeća);

– jedinicama VJ (operativne, transportne, saobraćajne);

– jedinicama za regulisanje i kontrolu saobraćaja van VJ;

– transportnim resursima u vodnom saobraćaju;

– transportnim resursima u železničkom saobraćaju;

– transportnim resursima u vazдушnom saobraćaju, i

– poslovnim partnerima od interesa za Saobraćajnu upravu GŠ VJ.

Programski paket za realizaciju korisničkih funkcija treba da sadrži osnovne i posebne funkcionalne potprograme:

1. Potprogrami koji obezbeđuju interaktivan rad sa podacima u bazi podataka (unos, ažuriranje, brisanje i arhiviranje).

2. Potprogrami koji obezbeđuju definisanje upita i ispis izveštaja, koji se mogu realizovati nad podacima u bazi.

3. Potprogrami koji obezbeđuju realizaciju upita nad podacima u bazi, prikaz i ispis grafičkih izveštaja i tematskih karata.

4. Potprogrami za automatsko preuzimanje podataka iz drugih baza podataka, koje su razvijene u drugim programskim okruženjima.

5. Potprogrami za operativno utvrđivanje elemenata plana vojnog putnog saobraćaja:

- za vođenje radne karte za potrebe saobraćajne službe;

- za dodavanje i pozicioniranje novih objekata;

- za projektovanje potrebnog broja ruta za kretanje (jednokriterijumski ili višekriterijumski pristup);

- za izradu reda vožnje za izabranu rutu;

- za pronalaženje i lociranje objekta na mreži i objekata od posebnog interesa za korisnika u definisanom koridoru, radijusu i poligonu;

- za izradu daljinara između izabranih lokacija (objekata);

- za definisanje – označavanje objekata, delova deonice, deonice i zona, gde postoje ograničenja ili zabrane kretanja;

- za ocenu stepena dekompozicije putne mreže (u odnosu na izabrane kategorije motornih vozila);

- za resetovanje ograničenja i zabrana kretanja, po redosledu koji odredi korisnik;

- za analizu i ocenu mogućnosti putne mreže;

- za proračun elemenata kretanja vojnih motorizovanih kolona i izradu dokumentacije za kretanje;

- za lociranje baza na putnoj mreži;

- za izbor – promenu razmere karte i pomeranje područja posmatranja.

6. Potprogrami za vizuelizaciju i prezentaciju podataka i rešenja sadrže potprograme za:

- vizuelno pridruživanje – pozicioniranje novih objekata;

- vizuelni izbor starta i cilja kretanja;

- vizuelni prikaz svih ili izabranih ruta za kretanje;

- vizuelni prikaz itinerera kretanja;

- vizuelni izbor, prikaz i lejersko mapiranje izabranih (lociranih) objekata;

- vizuelni izbor, prikaz i lejersko mapiranje zona i objekata, gde postoje ograničenja ili zabrane kretanja;

- vizuelni prikaz i lejersko mapiranje rezultata upita.

7. Potprogrami za: pozicioniranje, praćenje kretanja vozila i vojnih motorizovanih kolona, upravljanje kretanjem vozila i vojnih motorizovanih kolona, prikupljanje podataka o kretanju, komunikaciju između dispečerskih centara, vizuelni prikaz pozicija vozila i kolona, statističku obradu i ispis podataka o upotrebi pojedinačnih vozila i voznog parka.

Zaključak

U radu su prikazane osnovne karakteristike GIS i GPS tehnologija i mogućnost njihove integrisane primene u vojnom putnom saobraćaju. GIS programski paketi predstavljaju najpovoljnije okruženje za relativno brz razvoj i projektovanje informacionog sistema za operativno upravljanje vojnim putnim saobraćajem u realnom vremenu. Hardversko-programске karakteristike (mogućnosti) GIS i GPS tehnologije obezbeđuju nov pristup u razvoju, projektovanju i korišćenju informacionih sistema. Interakcija korisnika sa GIS programskim paketom obezbeđuje se preko namenskih grafičkih interfejsa i navigatora, koji su dizajnirani tako da korisnicima na jednostavan i nedvosmislen način obezbede pristup svim modulima i funkcijama (unos, verifikacija podataka i čuvanje podataka, upravljanje bazom podataka, procesiranje – transformacija podataka, prezentacija i vizuelizacija izlaznih podataka i rešenja) programskog paketa.

Najvažniji efekti korišćenja GIS informacionog sistema za operativno

upravljanje vojnim putnim saobraćajem ogledaju se u znatnom smanjenju vremena trajanja upravljačkih funkcija i racionalnoj preraspodeli vremena za pripremu, organizaciju i realizaciju planiranih aktivnosti. Automatizovani postupci i procedure transformacije podataka zasni- vaju se na primeni različitih matematičkih modela i metoda, čime se obezbeđuje dobijanje optimiziranih rešenja. Psihički i fizički napor planskih organa mnogo je manji a mogućnost nastanka grešaka svodi se na minimum. Korisniku se obezbeđuje da u grafičkom okruženju mani-

puliše podacima, rešenjima i izveštajima. Efikasan grafički interfejs i jednostavnost korišćenja obezbeđuju privremenu ili trajnu zamenjivost saobraćajnog planskog organa organima drugih službi, a obezbeđuje se i autonomnost i mobilnost informacionog sistema. Moguće je korišćenje u svim borbenim, vremenskim i teren- skim uslovima.

Literatura:

- [1] GIS – Stanje i perspektive, Zbornik radova, Geografski institut „Jovan Cvijić“, SANU, Beograd, 1996.

Dr Dragan M. Knežević,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

METOD ANALITIČKOG DEFINISANJA PROTIVUDARNIH VENTILA SA MEMBRANOM ZA REGULACIJU NATPRITISKA

UDC: 621.646.5:623.459.72

Rezime:

U radu je prikazan originalan metod analitičkog definisanja protivudarnih ventila sa membranom, namenjenih za zaštitu od prodora impulsa pritiska direktnog vazdušnoudarnog talasa, nastalog pri nuklearnoj eksploziji, u unutrašnjost objekta. Definisan je analitički izraz vremena zatvaranja ventila u zavisnosti od njegovih radnih i geometrijskih karakteristika. Primenom metoda matematičke statistike prikazan je originalan metod nalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora sličnih konstrukcija ventila, na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka za koeficijente otpora ventila u zavisnosti od karakterističnih veličina (prečnika i protoka vazduha) i metod provere adekvatnosti modela. Izvršen je izbor optimalnih karakteristika ventila.

Ključne reči: nuklearna eksplozija, vazdušnoudarni talas, zaštita, ventili, matematičko modeliranje, metode matematičke statistike, randomizacija, aerodinamičke, dinamičke karakteristike, optimalna rešenja.

METHOD OF ANALYTICAL DEFINITION OF ANTI-BLAST VALVES WITH MEMBRANE FOR OVERPRESSURE REGULATION

Summary:

The paper gives an original method of analytical definition of anti-blast valves with membrane for the protection against pressure penetration due to nuclear explosion direct ABWs (air-blast waves). The analytical expression of valves closing time is defined depending on operational and geometrical valve parameters. Mathematical statistics is applied to describe an original method for determining the analytical expression of resistance coefficients in similarly-designed valves, based on experimentally obtained data for valve resistance coefficients and depending on characteristic valve parameters (diameter and air-flow). The model adequacy has been checked and optimal valve characteristics have been chosen.

Key words: nuclear explosion, air blast wave, shelter, valves, mathematical modeling, mathematical statistics methods, randomization, aerodynamic characteristics, dynamic characteristics, optimal solution.

Uvod

Cilj istraživanja obuhvaćenog ovim radom jeste postavljanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila pod dejstvom direktnog vazdušnoudarnog talasa

(VUT-a) u zavisnosti od radnih i geometrijskih parametara ventila, kao i analitičkih izraza koeficijenta otpora i otpora ventila u zavisnosti od protoka vazduha kroz ventile. Na osnovu analize teorijski definisanog kriterijuma izvršen je izbor

optimalnih i po otpornosti univerzalnih rešenja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, otpornosti 300, 600 i 900 kPa.

Da bi se to ostvarilo potrebno je sprovesti kompleksnu analizu koja obuhvata:

- definisanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila pod direktnim dejstvom VUT-a nuklearne i klasične eksplozije;

- definisanje analitičkih izraza koeficijenata otpora i otpora ventila u zavisnosti od protoka vazduha kroz ventile i prečnika ventila.

Korišćene oznake:

T_z – vreme zatvaranja ventila u slučaju velikih uglova otklona membrane,
 t_z – vreme zatvaranja ventila u slučaju malih uglova otklona membrane ventila,
 J – moment inercije membrane ventila za obrtnu osu,

φ_0 – maksimalni ugao otklona membrane ventila,

φ – ugao otklona membrane ventila u trenutku t ,

J_0 – moment inercije membrane ventila za težišnu osu,

x_t – rastojanje težišta membrane od ose koja prolazi kroz obrtnu tačku,

ω – kružna frekvencija,

$\varphi = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – ugaono ubrzanje pokretnog sklopa ventila,

a, b, c, C_1, C_2 – konstante integracije,

p_f – pritisak u frontu vazdušnoudarnog talasa nastalog pri nuklearnoj eksploziji, VUT – vazdušnoudarni talas,

p_r – reflektovani pritisak VUT-a pri nuklearnoj eksploziji,

τ – vreme trajanja pozitivne faze,

m – masa pokretnog sklopa ventila,

m_D – masa diska ventila,

m_d – masa držača diska ventila,

a_1 – rastojanje težišta držača diska ventila od ose koja prolazi kroz obrtnu tačku pokretnog sklopa ventila,

R_i, R_1, R_2 – odgovarajući poluprečnici ventila,

γ – zapreminska masa materijala pokretnog sklopa ventila,

g – ubrzanje Zemljine teže,

δ – debljina zida diska ventila,

δ_1 – debljina držača diska ventila,

J_d – moment inercije držača diska ventila,

R_3, R_4 – odgovarajući poluprečnici držača ventila,

ξ – koeficijent otpora ventila (pri $\Delta H_i = 0$),

v – brzina strujanja vazduha iza ventila,

p_d – dinamički pritisak,

Q – protok vazduha kroz ventil,

ρ – zapreminska masa vazduha,

D – nazivni prečnik ventila,

ΔH – otpor strujanju vazduha kroz ventile,

N – broj eksperimentalnih jedinica,

a – nivo faktora $D \equiv B$,

b – nivo faktora $Q \equiv A$,

n – broj ponovljenih očitavanja,

$G_{\max}$ – računaska vrednost za Cohrenov kriterijum,

$\max/S_{\xi_i}^2$ – maksimalna vrednost disperzije rezultata,

$S_{\xi_i}^2$ – disperzija eksperimentalnih podataka,

ξ – aritmetička sredina jedne kombinacije nivoa,

G – tabelarna vrednost za Cohrenov kriterijum,

$S_{\xi_i}^2$ – srednja disperzija,

$\Sigma \xi_i$ – zbir jedne kombinacije nivoa koeficijenata otpora ventila,

$\Sigma S_{\xi_i}^2$ – zbir disperzija rezultata,

OS – opšta suma,

OSK – opšta suma kvadrata,

SKF – suma kvadrata za faktor,

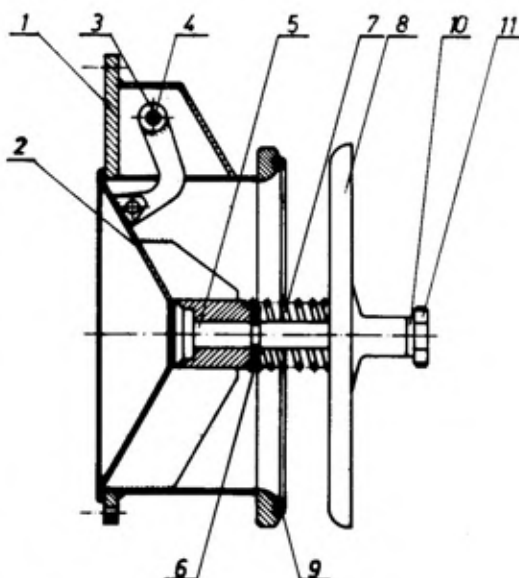
SKAB – suma kvadrata za međudejstvo AB,
 SKG – suma kvadrata za grešku,
 SK – srednji kvadrat,
 ss – stepen slobode odgovarajućeg faktora,
 V_{0A} , V_{0B} – parametar koji definiše odnos srednjeg kvadrata faktora A, odnosno B i srednjeg kvadrata greške,
 F – Fisherov kriterijum,
 V_{01} – koeficijent odnosa disperzija,
 S_{nead}^2 – disperzija neadekvatnosti,
 d_1 – broj članova regresivnog polinoma,
 ΔH_{opt} – optimalni otpor ventila,
 ΔH_n – nominalni otpor ventila,
 Q_n – nominalni protok vazduha kroz ventile,
 ξ_{opt} – optimalni koeficijent otpora ventila,
 RHB – radiološko-hemijsko-biološka kontaminacija.

Namena i funkcionisanje protivudarnog ventila za regulaciju natpritisaka u objektu

U svim uslovima ventilacije potrebno je u objektu održavati natpritisak u odnosu na spoljnu atmosferu. Natpritisak se održava radi sprečavanja prodora RHB-kontaminacije. Potrebno ga je održavati i između pojedinih prostorija u sklopu objekta, radi postizanja posredne ventilacije sporednih prostorija objekta. Upotrebljeni vazduh odvodi se iz objekta u spoljnu atmosferu kroz izduvne kanale. Protok vazduha kroz kanale uslovljen je natpritisakom u objektu. Da bi se natpritisak održavao u propisanim granicama na ovim otvorima postavljaju se ventili za njegovu regulaciju.

Predmet istraživanja su protivudarni ventili za regulaciju natpritisaka, koji se ugrađuju na spoljnim zidovima objekta. Konceptija i konstrukciona rešenja ovih

ventila trebalo bi da obezbede njihovu otpornost i funkcionalnost pri visokim udarnim opterećenjima, tj. njihovo zatvaranje pri dejstvu VUT-a, i otvaranje po prestanku njegovog dejstva. Na slici 1 šematski je prikazan izgled kombinovanog protivudarnog ventila sa membranom za regulaciju natpritisaka.



Sl. 1 – Protivudarni ventil sa membranom za regulaciju natpritisaka:

1 – telo ventila, 2 – disk, 3 – držač diska, 4 – osovinica, 5 – osovinica, 6 – zaptivač, 7 – opruga, 8 – tanjir, 9 – O prsten, 10 – zaptivač, 11 navrtka

Pri nailasku VUT-a na objekat, usmereni talas, kroz kanal ventila za regulaciju natpritisaka, dejstvom pritiska na površinu membrane, naglo zatvara otvor na izlaznom kanalu. Proces zatvaranja ventila odvija se u kratkom vremenskom intervalu zahvaljujući velikom udarnom impulsnom opterećenju i maloj masi pokretnog sklopa ventila. U procesu zatvaranja kroz ventil će proći izvestan impuls pritiska VUT-a. Ventil je zatvoren sve dok u spoljašnjoj atmosferi vlada natpritisak. Kada nastupi negativna faza VUT-

-a pokretni sklop ventila će se pod dejstvom natpritiska naglo pomeriti i prekinuti vezu sa spoljnom atmosferom. Po prestanku VUT-a membrana ventila se, pod dejstvom sile usled isticanja vazduha, dovodi u otvoreni položaj.

Analitički izraz vremena zatvaranja ventila

U eksploataciji ventila mogu da nastupe dva karakteristična slučaja:

- membrana ventila je u otvorenom položaju (za ugao ϕ_0) pod dejstvom sile nastale usled isticanja vazduha,
- membrana ventila je u zatvorenom položaju, u slučaju kada nastane prekid odvoda vazduha, tj. kada u objektu ne vlada natpritisak.

Dalje se razmatra nepovoljniji slučaj, tj. kada je membrana ventila u otvorenom položaju pri nailasku VUT-a nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

Određivanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Mehanički model ventila prikazan je na slici 2. Membrana ventila sa uglom otklona ϕ u trenutku t , pod dejstvom prinudne sile F_p se zatvara. Na membranu deluju momenti intercijalne sile $J\ddot{\phi} = \frac{d^2\phi}{dt^2}$, mase pokretnog sklopa ventila $mgx_t \sin \phi$ i prinudne sile $F_p x_T \cos \phi$. Ako se postavi momentna jednačina za obrtnu tačku pokretnog sklopa ventila mase m (slika 2):

$$J\ddot{\phi} + mgx_T \sin \phi = -F_p x_T \cos \phi \quad (1)$$

nakon sređivanja dobija se diferencijalna jednačina sistema oblika:

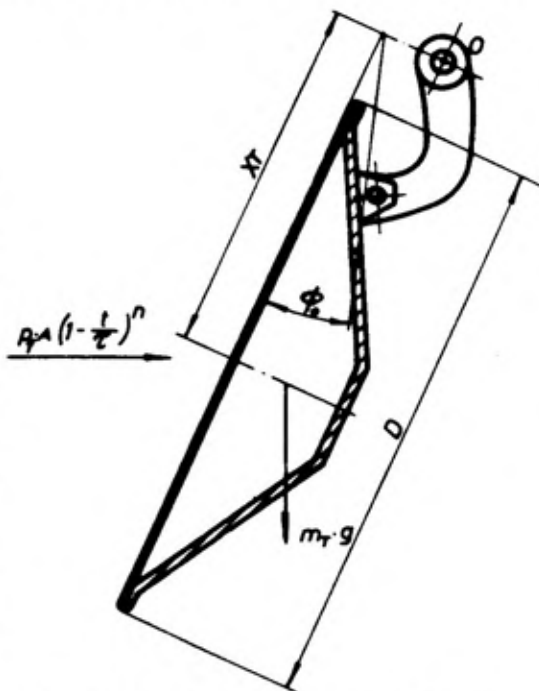
$$\ddot{\phi} + \omega^2 \phi = -\frac{p_t A x_t}{J} \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^n \cos \phi \quad (2)$$

pri čemu analitički izraz za prinudnu silu ima oblik: $F_p = p_t A \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^n$, gde je

$n = 1,9p_t^{0,5}$ – eksponent koji karakteriše tok promene pritiska u frontu direktnog i reflektovanog VUT-a [1–9]. Kvadrat kružne frekvencije ω^2 definisan je izrazom: $\omega^2 = \frac{mgx_T}{J}$. U konkretnom slučaju

eksponentu n dodeljena je vrednost 3, što odgovara reflektovanom pritisku VUT-a $p = 9$ bar, odnosno ventilima otpornosti do 900 kPa. Pošto je $t/\tau \ll 1$, ovaj odnos se može zanemariti u odnosu na jedinicu, te se nameće zaključak da veličina eksponenta n nema uticaja na proces zatvaranja ventila, pa je svedeno koja se vrednost dodeljuje eksponentu n .

Diferencijalna jednačina (2) rešava se za slučajeve malih oscilacija (malih uglova otklona membrana ventila), i ve-



Sl. 2 – Mehanički model pokretnog sklopa protivudarnog ventila

likih oscilacija (velikih uglova otklona membrana ventila).

U slučaju malih oscilacija (malih uglova otklona) membrane ventila može se aproksimativno uzeti da je $\sin \varphi = \varphi$, pa diferencijalna jednačina (2) ima oblik:

$$\ddot{\varphi} + \omega^2 \varphi = -\frac{p_f A x_T}{J} \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)^3 \cos \varphi \quad (3)$$

Opšte rešenje diferencijalne jednačine ima oblik:

$$\varphi = \varphi_h + \varphi_p \quad (4)$$

$$\varphi_h = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \quad (5)$$

$$\varphi_p = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (6)$$

gde je:

φ_h – homogeno rešenje diferencijalne jednačine (3),

φ_p – partikularno rešenje diferencijalne jednačine (3), koja moraju da zadovolje diferencijalnu jednačinu.

Nakon sređivanja dobijaju se konstante integracije:

$$a = -\frac{p_f A x_T}{J \omega^2 \tau^3} \cos \varphi$$

$$b = -3 \frac{p_f A x_T}{J \omega^2 \tau^2} \cos \varphi$$

$$c = 3 \frac{p_f A x_T}{J \omega^2 \tau} \left(\frac{1}{\tau} - \frac{2}{\omega^2 \tau^2}\right) \cos \varphi$$

$$d = \frac{p_f A x_T}{J \omega^2} \left(\frac{6}{\omega^2 \tau^2} - 1\right)$$

Partikularno rešenje diferencijalne jednačine (3) ima oblik:

$$\varphi_p = \frac{p_f A x_T}{J \omega^2} \left(-\frac{t^3}{\tau^3} - 3 \frac{t^2}{\tau^2} + 3 \frac{t}{\tau} - 6 \frac{t}{\omega^2 \tau^2} + \frac{6}{\omega^2 \tau^2} - 1\right) \cos \varphi \quad (7)$$

Opšte rešenje diferencijalne jednačine (3) ima oblik:

$$\varphi = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t + \frac{p_f A x_T}{J \omega^2} \left(-\frac{t^3}{\tau^3} - 3 \frac{t^2}{\tau^2} + 3 \frac{t}{\tau} - 6 \frac{t}{\omega^2 \tau^2} + \frac{6}{\omega^2 \tau^2} - 1\right) \cos \varphi \quad (8)$$

Iz početnih uslova: 1. $t = 0$; $\varphi = \varphi_0$, dobija se konstanta integracije

$$C_1 = \varphi_0 - \frac{p_f A x_T}{J \omega^2} \left(\frac{6}{\omega^2 \tau^2} - 1\right) \cos \varphi$$

2. $t = 0$; $\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = 0$, dobija se $C_2 = 0$

Nakon uvođenja smene

$$\cos \omega t = 1 - \frac{\omega^2 t^2}{2}, \quad \sin \omega t = \omega t - \frac{\omega^3 t^3}{6} \quad \text{i}$$

vrednosti za integracione konstante C_1 i

C_2 , zanemarivanja članova u kojima figurišu veličine $\frac{t_3}{\tau^3}$; $\frac{t_2}{\tau^2}$; $\frac{t}{\tau}$; $\frac{t}{\tau^2} \ll 1$ nižeg reda

veličine, rešenjem dobijene jednačine po t uz granični uslov $\varphi=0$; $t=t_z$, uvođenjem izraza $\omega^2 = \frac{mg x_T}{J}$ u dobijeni izraz,

dobija se analitički izraz vremena zatvaranja ventila u slučaju malih uglova otklona membrane ventila:

$$t_z = \left(\frac{2J\varphi_0}{mg x_T \varphi_0 + p_f A x_T \cos \varphi_0}\right)^{1/2} \quad (9)$$

U izrazu (9) figurišu veličine: J , m , x_T , φ_0 , p_f , koje je potrebno analitički definisati. Moment inercije J pokretnog sklopa određuje se po Steinerovoj teoremi (slika 3):

$$J = J_D + m_D a^2 + J_d + m_d a_1^2 \quad (10)$$

Na slici 3 šematski je prikazan izgled pokretnog sklopa ventila.

Analitički izraz momenta inercije diska ventila

Na slici 4 prikazan je disk membrane ventila.

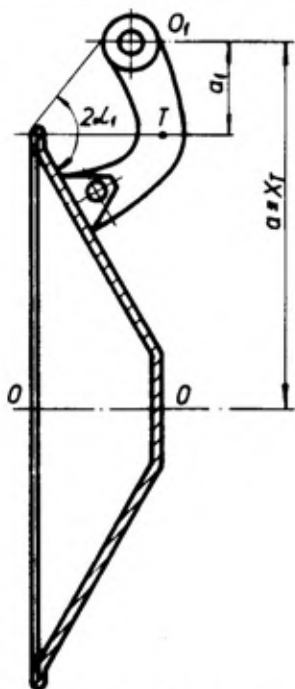
Moment inercije membrane ventila, za osu koja prolazi kroz težište diska, definisan je izrazom na osnovu opšte definicije:

$$J_D = 2\pi\delta\gamma \left(\int_0^R r_1^3 dr_1 + \int_R^{R_1} \frac{1}{\cos\alpha} r_2^2 dr_2 + \int_{R_1}^{R_2} r_3^3 dr_3 \right)$$

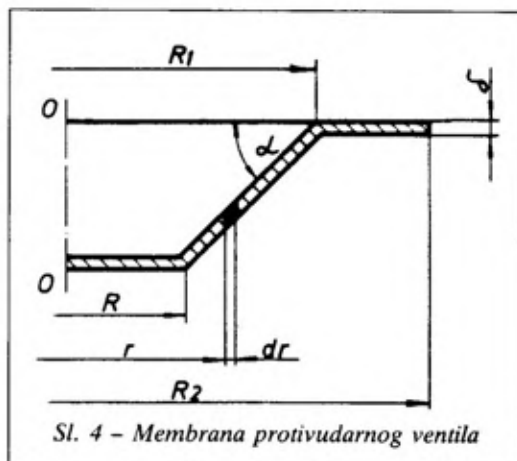
$$J_D = 2\pi\delta\gamma \left[\frac{R^4}{4} + \frac{1}{4\cos\alpha} (R_1^4 - R^4) + \frac{1}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right] \quad (11)$$

Analitički izraz momenta inercije držača diska ventila

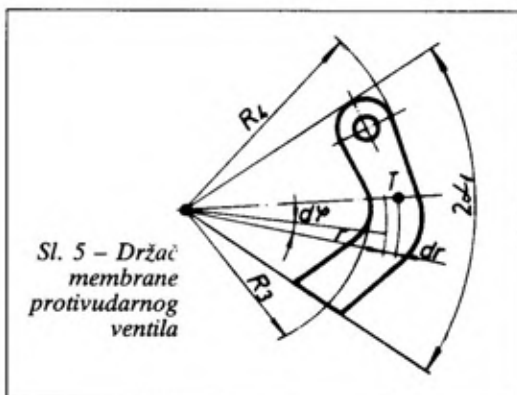
Na slici 5 prikazan je držač diska ventila. Moment inercije držača diska



Sl. 3 – Pokretni sklop protivudarnog ventila



Sl. 4 – Membrana protivudarnog ventila



Sl. 5 – Držač membrane protivudarnog ventila

ventila za težišnu osu određuje se na osnovu opšte definicije izrazom:

$$J_d = \int_m r^2 dm = \gamma \delta_1 \int_{R_3}^{R_1} r^3 dr \int_0^{2\alpha_1} d\varphi_1$$

$$J_d = \frac{\gamma \delta_1 \alpha_1}{2} (R_4^4 - R_3^4) \quad (12)$$

Analitički izraz mase diska ventila

Masa membrane-diska ventila definisana je izrazom:

$$m_D = \pi \delta \gamma \left[R^2 + \frac{1}{\cos \alpha} (R_1^2 - R^2) + (R_2^2 - R_1^2) \right] \quad (13)$$

Analitički izraz mase držača diska ventila

Masa držača diska ventila definisana je izrazom:

$$m_d = \delta \gamma_1 (R_4^2 - R_3^2) \alpha_1 \quad (14)$$

Iz prethodna tri koraka lako je zapaziti sledeće:

- moment inercije držača diska ventila znatno je manji od momenta inercije diska $J_d \ll J_D$, pa se J_d može zanemariti;

- položajni moment inercije držača diska ventila znatno je manji od položajnog momenta inercije diska ventila $m_d a_1^2 \ll m_D a^2$, pa se $m_d a_1^2$ može zanemariti u odnosu na $m_D a^2 = m_D x_T^2$ (gde je $a = x_T$, slika 3);

- pošto je $m_d \ll m_D$, masa početnog sklopa ventila je $m = m_D$.

Nakon sređivanja, moment inercije pokretnog sklopa ventila, za osu koja prolazi kroz obrtnu tačku O_1 , iznosi:

$$J = J_D + m_D x_T^2 \quad (15)$$

Uvođenjem izraza (15) u jednačinu (9) dobija se analitički izraz vremena zatvaranja ventila u slučaju malih uglova otklona membrana ventila:

$$t_z = \left[\frac{2 (J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^2}{m_D g x_T \varphi_0 + p_f \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right]^{1/2} \quad (16)$$

$$\text{pri čemu su } A = \pi R_2^2 \text{ i } \varphi_0^2 = \frac{\pi}{180} \varphi_0^0 \quad (17)$$

Analitički izraz pritiska u frontu direktnog VUT-a

Pritisak u frontu direktnog VUT-a u funkciji reflektovanog pritiska [2,3,6,9] definisan je izrazom:

$$p_r = 2p_f + \frac{6p_f^2}{p_f + 7,2} [\text{bar}] \quad (18)$$

U jednačini (18) p_r je reflektovani pritisak VUT-a, koji u ovom slučaju predstavlja nivo otpornosti ventila. Za uslovljene otpornosti ventila 300, 600 i 900 kPa, prema jednačini (18) nalaze se odgovarajuće vrednosti p_f u frontu direktnog talasa i iznose 108000, 186000 i 253000 N/m², respektivno.

Analitički izraz vremena zatvaranja ventila u slučaju malih oscilacija definisan je analitičkim izrazima (11), (13), (15), (16), (17) i (18).

Definisanje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila u slučaju velikih otklona uglova membrana ventila

Diferencijalna jednačina (2) može da se napiše u obliku:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = (-p_f R_2^2 \pi x_T \cos \varphi - m g x_T \sin \varphi) \cdot \frac{1}{(J_D + m_D x_T^2)} \quad (19)$$

Nakon dvostruke integracije diferencijalne jednačine (19), uvođenjem početnih uslova $t=0$; $\varphi=\varphi_0$ i $t=0$; $\dot{\varphi}=\frac{d\varphi}{dt}=0$,

rešenjem diferencijalne jednačine po t , uz granični uslov $t = T_z$ za $\varphi = 0$, dobija se analitički izraz vremena zatvaranja ventila, oblika:

$$T_z = \left[\frac{2(J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^{\text{rad}}}{m_D g x_T \sin \varphi_0 + p_f \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right]^{1/2} \quad (20)$$

Upoređenjem analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila, pri malim uglovima otklona membrana ventila (9) i analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila pri velikim uglovima otklona (20), može se zapaziti da su vremena zatvaranja računata po (20) duža, pošto $\sin \varphi$ sporije raste pri povećanju ugla od ugla φ .

Uporedna analiza vremena zatvaranja ventila

Pošto momenti $m_D g x_T \sin \varphi_0$, odnosno $m_D g x_T \varphi_0$, nemaju uticaja na vremena zatvaranja ventila, oni se mogu i zanemariti, a greška koja se pri tome čini iznosi 0,018% za ventile nazivnih prečnika 200 mm otpornosti 900 kPa.

Vreme zatvaranja ventila izračunava se po obrascu:

$$T_z = \left[\frac{2(J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^r}{p_f \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right]^{1/2} \quad (21)$$

Analitički izrazi kojima je definisano vreme zatvaranja ventila

Na osnovu sprovedene analize, analitički izraz vremena zatvaranja ventila definisan je izrazom:

$$T_z = \left[\frac{2(J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^r}{p_f \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right]^{1/2} \quad (21)$$

pri čemu su:

$$J_D = 2\pi\delta\gamma \left[\frac{R^4}{4} + \frac{1}{4\cos\alpha} (R_1^4 - R^4) + \frac{1}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right] \quad (11)$$

$$m_D = \pi\delta\gamma \left[R^2 + \frac{1}{\cos\alpha} (R_1^2 - R^2) + (R_2^2 - R_1^2) \right] \quad (13)$$

$$\varphi_0^r = \frac{\pi}{180} \varphi_0^0 \quad (17)$$

$$p_r = 2p_f + \frac{6p_f^2}{p_f + 7,2} [\text{bar}] \quad (18)$$

gde je:

δ [mm] – debljina materijala membrane – diska ventila;

γ [kg/m³] – zapreminska masa materijala diska ventila;

R, R_1 i R_2 [m] – odgovarajući poluprečnici diska ventila;

$\alpha = 30^\circ$ – ugao nagiba diska ventila;

m_D [kg] – masa diska ventila;

p_f [N/m²] – pritisak u frontu direktnog VUT-a;

φ_0 [°] – ugao otklona diska ventila u stepenima;

φ_0^r [rad] – ugao otklona diska ventila u radijanima.

Potrebno je definisati i analitički izraz koeficijenta otpora ventila kako bi se postigao postavljeni cilj.

Metod nalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila sa membranom za regulaciju natpritisaka

Koeficijent otpora ventila je funkcija nekoliko faktora [2,10,11,13,14] oblika:

$$\xi = f(D, Q, \rho, \varphi, k) \quad (22)$$

od kojih najveći uticaj imaju prečnik ventila i protok vazduha. Potrebno je doći do funkcije koja kvantitativno iskazuje uticaj dva pomenuta faktora na koeficijent otpora ventila.

Opis eksperimenta

Pad pritiska u ventilu $\Delta H' = \Delta H - \Delta H_1$ proporcionalan je dinamičkom pritisku ($p_d = \rho v^2/2$):

$$\Delta H - \Delta H_1 = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (23)$$

Tabela 1

Oznake eksperimentalnih jedinica

D [mm]	Q [m ³ /h]	Merenje		
		1	2	3
100	188	1	10	19
	300	2	11	20
	750	3	12	21
150	188	4	13	22
	300	5	14	23
	750	6	15	24
200	188	7	16	25
	300	8	17	26
	750	9	18	27

Tabela 2

Tabela slučajnih brojeva

12	15	3
10	6	5
16	9	14
13	2	24
17	22	23
4	8	26
11	19	20
21	7	18
27	25	1

Ako se u jednačinu (23) brzina vazduha v iza ventila izrazi preko protoka Q i reši po ξ , dobija se:

$$\xi = \frac{\pi D^4 (\Delta H - \Delta H_1)}{8 \rho Q^2} \quad (24)$$

gde je:

ΔH_1 [Pa] – natpritisak pri kome nastupa otvaranje ventila,

ΔH [Pa] – pad pritiska u ventilu,

Q [m³/h] – zapreminski protok vazduha kroz ventil,

ρ [kg/m³] – gustina vazduha,

D [m] – prečnik ventila.

Eksperiment se sastojao u tome da su za tri slična ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, pri fiksnim protocima vazduha, merene odgovarajuće vrednosti otpora i na osnovu jednačine (24) izračunate odgovarajuće vrednosti koeficijenta ξ_i ventila. Ovde se radi o dvofaktornom eksperimentu. Randomizacija, planiranje i izvođenje eksperimenta izvršeno je po principu planiranog eksperimenta. Randomizacija je izvršena odabiranjem brojeva iz tabele slučajnih brojeva. Slučajnim izborom redosleda izvođenja eksperimentalnih jedinica izbegnut je uticaj sistemskih grešaka.

Rezultati eksperimenta

Sređeni rezultati eksperimentalnih istraživanja koeficijenta otpora ventila prikazani su u tabeli 3.

Broj eksperimentalnih jedinica iznosi:

$$N = abn \quad (25)$$

gde je:

a = 3 – nivo faktora Q;

b = 3 – nivo faktora D;

$n = 3$ – broj ponovljenih očitavanja
 $N = abn = 27$ – eksperimentalnih jedinica

Tabela 3

Rezultati merenja koeficijenta ξ_i ventila

Prečnik D [mm]	Protok vazduha Q [m³/h]	Koeficijent otpora ventila ξ_i			Aritme- tička – sredina ξ_i
		merenje			
		1	2	3	
100	188	4,20	4,10	4,20	4,17
	300	2,90	2,85	2,90	2,88
	750	1,40	1,42	1,41	1,41
150	188	7,20	7,20	7,10	7,17
	300	4,98	5,0	5,10	5,03
	750	2,50	2,45	2,44	2,46
200	188	10,70	10,80	10,70	10,73
	300	7,40	7,50	7,40	7,43
	750	3,65	3,65	3,70	3,67

Metode obrade eksperimentalnih podataka

Za nalaženje analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila na osnovu eksperimentalnih podataka datih u tabeli 3 korišćene su metode matematičke statistike:

- provera jednorodnosti disperzija na osnovu Cohrenovog kriterijuma, tj. provera normalnosti raspodele izračunate veličine ξ_i ;

- disperziona analiza, tj. provera da li na koeficijent otpora ventila znatno utiču prečnik ventila i protok vazduha;

- regresiona analiza, pomoću koje se dolazi do analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila metodom najmanjih kvadrata;

- provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila koja se sastoji u poređenju izračunatog koeficijenta odnosa disperzija V_0 sa Fisherovim kriterijumom F.

Ukoliko na koeficijent otpora ventila ξ znatno utiču prečnik ventila D i protok vazduha Q, onda ima smisla pristupiti nalaženju analitičkog izraza:

$$\xi = f_i(D, Q) \quad (26)$$

Da bi pokazali metode matematičke statistike, radi lakše analize, potrebno je uvesti pojam faktora i nivoa faktora.

Pri eksperimentalnom istraživanju odabrana su dva faktora za koje se pretpostavlja da znatno utiču na koeficijent otpora ξ ventila, a to su:

faktor B $\equiv$ D – prečnik ventila sa tri nivoa,

faktor A $\equiv$ Q – protok vazduha kroz ventile sa tri nivoa.

Tabela 4

Nivoi faktora

Faktor B D [mm]	Faktor A Q [m³/h]
100	188
	300
	750
150	188
	300
	750
200	188
	300
	750

Provera jednorodnosti disperzija

Da bi zaključili disperzije i regresione analize bili dobri potrebno je proveriti normalnost raspodele izračunate veličine ξ_i . Normalnost raspodele za ξ_i proverava se preko Cohrenovog kriterijuma o jednorodnosti disperzija. Ukoliko je izračunata vrednost $G_{\max}$ za Cohrenov kriterijum manja od tabelarno dobijene vrednosti G_{tab} , disperzije su jednorodne i

raspodela rezultata za ξ može se smatrati normalnom.

Računska vrednost za Cohrenov kriterijum, na osnovu eksperimentalnih podataka, dobija se po [15,16] obrascu:

$$G_{\max} = \frac{\max |S_{\xi_i}^2|}{\Sigma S_{\xi_i}^2}$$

gde je:

$\max |S_{\xi_i}^2|$ – maksimalna vrednost disperzije rezultata;

$\Sigma S_{\xi_i}^2$ – zbir disperzija eksperimentalnih rezultata;

$S_{\xi_i}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (\xi_i - \bar{\xi})^2$ – disperzija eksperimentalnih rezultata;

$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_1^n \xi_i$ – aritmetička sredina jedne

kombinacije nivoa;

ss = (n - 1) – stepen slobode.

Tabelarna vrednost za Cohrenov kriterijum G_{tab} određuje se iz odgovarajućih tabela [15,16] za stepene slobode: $n_1 = (n - 1) = 3 - 1 = 2$ i $n_2 = ab(n - 1) = 3 \cdot 3(3 - 1) = 18$, pri verovatnoći

95%. Vrednosti aritmetičkih sredina $\bar{\xi}_i$ i disperzija rezultata $S_{\xi_i}^2$ prikazane su u tabeli 5.

Računska vrednost za Cohrenov kriterijum $G_{\max}$ na osnovu eksperimentalnih podataka iznosi:

$$G_{\max} = \frac{\max |S_{\xi_i}^2|}{\Sigma S_{\xi_i}^2} = \frac{6,70 \cdot 10^{-3}}{3,83 \cdot 10^{-2}} = 0,1749$$

Za verovatnoću od 95% Cohrenov kriterijum G_{tab} , prema [15] za stepene slobode $n_1 = (n - 1) = 3 - 1 = 2$ i $n_2 = ab(n - 1) = 3 \cdot 3(3 - 1) = 18$, iznosi $G_{\text{tab}} = 0,477$.

Kako je $G_{\max} < G_{\text{tab}}$ sledi da su disperzije jednorodne pa se može smatrati da je raspodela za koeficijent ξ_i ventila normalna. Dalje se može računati sa srednjom disperzijom ($S_{\xi_{\text{sr}}}^2$), koja je definisana izrazom:

$$S_{\xi_i}^2 = \frac{1}{ab} \Sigma S_{\xi_i}^2 = \frac{1}{3 \cdot 3} 3,83 \cdot 10^{-2} = 4,26 \cdot 10^{-3},$$

i stepenima slobode $n_1 = (n - 1) = 2$ i $n_2 = ab(n - 1) = 18$.

Disperziona analiza

Pomoću disperzione analize ispituje se da li na koeficijent otpora ventila znatno utiču prečnik ventila D (faktor B), protok vazduha Q kroz ventil (faktor A) i međudejstvo DQ (AB). Upoređenjem računskih vrednosti parametara V_{0A} , V_{0B} i V_{0AB} (koji definišu odnose srednjeg kvadrata faktora i srednjeg kvadrata greške) sa Fisherovim kriterijumom F, dobija se zavisnost koeficijenta otpora ventila, prečnika ventila i protoka vazduha kroz ventil.

Da bi se izvršila analiza potrebno je izračunati odgovarajuće sume kvadrata faktora A, B i međudejstva AB, greške,

Tabela 5

Vrednosti aritmetičkih sredina $\bar{\xi}_i$ i disperzija rezultata $S_{\xi_i}^2$

D [mm]	Q [m ³ /h]	$\bar{\xi}_i$	$S_{\xi_i}^2$	Stepen slobode ss
100	188	4,17	$6,70 \cdot 10^{-3}$	2
	300	2,88	$1,70 \cdot 10^{-3}$	2
	750	1,41	$2,0 \cdot 10^{-4}$	2
150	188	7,17	$6,70 \cdot 10^{-3}$	2
	300	5,03	$1,70 \cdot 10^{-3}$	2
	750	2,46	$2,0 \cdot 10^{-4}$	2
200	188	10,76	$6,70 \cdot 10^{-3}$	2
	300	7,43	$1,70 \cdot 10^{-3}$	2
	750	3,67	$2,0 \cdot 10^{-4}$	2
Ukupno:			$3,83 \cdot 10^{-2}$	18

Tabela 6

Vrednosti za $\Sigma \xi_i$

D [mm]	Protok vazduha Q [m ³ /h]			ΣB
	188	300	750	
100	12,5	8,65	4,23	25,38
150	21,5	15,05	7,39	43,97
200	32,5	22,30	11,00	65,50
ΣA	66,20	46,03	22,69	134,85

srednje kvadrata faktora, i vrednosti parametara V_{0A} , V_{0B} i V_{0AB} [15]. U tabeli 6 prikazane su vrednosti za $\Sigma \xi_i$.

Opšta suma OS: $OS = 134,85$ (27)

Suma kvadrata:

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \xi_{ijk}^2 = 882,8285 \quad (28)$$

Opšta suma kvadrata OSK:

$$OSK = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \xi_{ijk}^2 - \frac{(OS)^2}{N} \quad (29)$$

$$OSK = 205,68528$$

Suma kvadrata za faktor A, SKA:

$$SKA = \sum_{i=1}^a \frac{(SA)^2}{nb} - \frac{(OS)^2}{nab} \quad (30)$$

$$SKA = 105,70642, \text{ sa stepenom slobode } (a-1) = 3-1 = 2$$

Suma kvadrata za faktor B, SKB:

$$SKB = \sum_{j=1}^b \frac{(SB)^2}{na} - \frac{(OS)^2}{nab} \quad (31)$$

$$SKB = 89,583088, \text{ sa stepenom slobode } (b-1) = 3-1 = 2$$

Suma kvadrata za međudejstvo AB, SKAB:

$$SKAB = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{SAB}{n} - \left[SKA + SKB + \frac{(OS)^2}{nab} \right] \quad (32)$$

$$SKAB = 13,997627, \text{ sa stepenom slobode } (a-1)(b-1) = 4$$

Suma kvadrata za grešku SKG:

$$SKG = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \xi_{ijk}^2 - \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{SAB}{n} \quad (33)$$

$$SKG = 882,8285 - 882,78796 = 0,04543, \text{ sa stepenom slobode } ab(n-1) = 18$$

Srednji kvadrat SK:

$$SK = \frac{SK \text{ Faktora}}{ss-1} \quad (34)$$

Parametar V_0 :

$$V_0 = \frac{(\text{srednji kvadrat}) SK}{SKG} \quad (35)$$

Izračunate sume kvadrata za faktore A, B, međudejstvo AB, srednji kvadrati faktora, greške, parametar V_0 , Fisherov kriterijum F pri verovatnoći od 99% date su u tabeli 7.

F je vrednost parametra iz Fisherove raspodele. Visherovi kriterijumi iz tabele za verovatnoću $V = 0,99$ i stepene slobode 2 i 18, odnosno 4 i 18 iznose: $F_1 = 6,01$ i $F_2 = 4,58$, pri čemu su: $n_1 = 2$ – stepen slobode faktora A i B; $n_2 = 4$ – stepen slobode međudejstva faktora AB; $n_3 = 18$ – stepen slobode greške.

Pošto su kriterijumi V_{0A} , V_{0B} i V_{0AB} mnogo veći od Fisherovih kriterijuma, faktori A i B i međudejstvo AB faktora

Disperziona analiza

Izvor promene	Stepen slobode	Suma kvadrata	Srednji kvadrat	Parametar V_0	F za $V = 0,99$
Faktor A	2	105,70642	105,70642	2607,4404	6,01
Faktor B	2	89,583088	89,583088	2209,7292	6,01
Međudejstvo AB	4	13,997627	13,997627	115,09228	4,58
Greška	18	0,0638667	0,0638667	–	–
Suma	27	–	–	–	–

A i B znatno utiču na koeficijent otpora ξ ventila sa membranom za regulaciju natpritisaka. To znači da ima smisla pristupiti nalaženju analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila ξ u funkciji prečnika ventila D i protoka vazduha Q kroz ventil.

Regresiona analiza

Pošto je disperzionom analizom dokazano da na koeficijent otpora ventila ξ znatno utiču prečnik ventila i protok vazduha kroz ventil, regresionom analizom pokušaćemo se naći analitički izraz koeficijenta otpora ventila ξ u zavisnosti od D i Q , koristeći eksperimentalne rezultate za ξ date u tabeli 3.

Pogodna analitička pretpostavka [2,10] za ξ bila bi:

$$\xi = K_1 D^e Q^f \quad (36)$$

Određivanje konstanti (K_1 , e , f) vrši se numeričkom obradom eksperimentalnih rezultata, metodom najmanjih kvadrata. Ova metoda sastoji se u tome da se minimiziraju odstupanja eksperimentalnih rezultata od regresionog polinoma:

$$|\varepsilon(Y_i - a_0 - a_1 X_{1i} - a_2 X_{2i})|_{\min} = (\varepsilon^2)_{\min} \quad (37)$$

pri čemu su:

$$Y_i = \ln \xi; a_0 = \ln K_1; a_1 = e; X_{1i} = \ln D; a_f = f; X_{2i} = \ln Q_i \quad (38)$$

Minimalna odstupanja nalaze se diferenciranjem regresivnog polinoma po traženim parametrima i izjednačavanjem izvoda sa nulom:

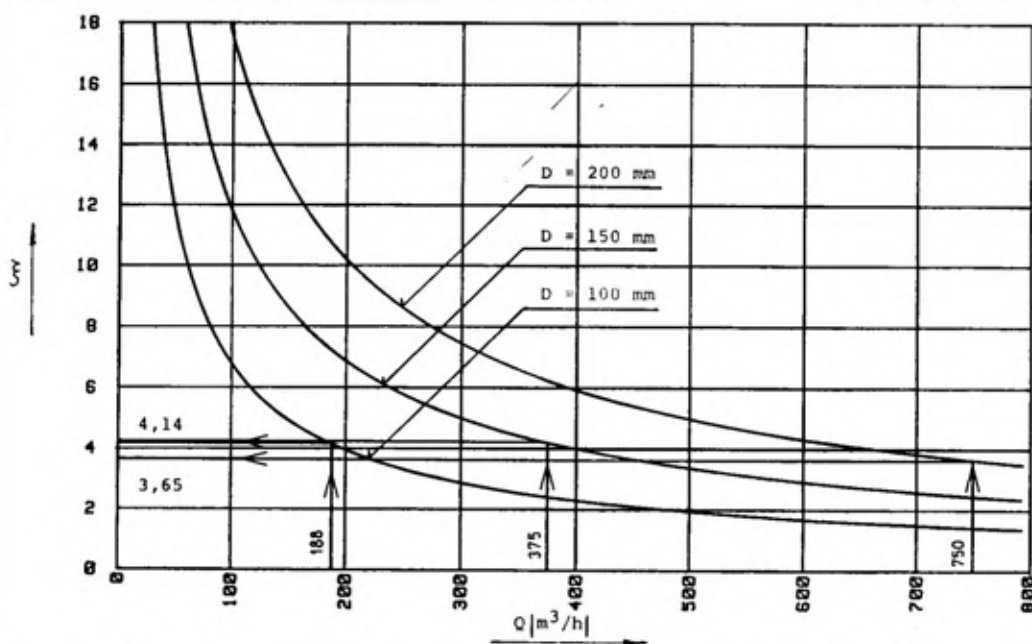
$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_0} &= -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 X_{1i} - a_2 X_{2i}) = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_1} &= -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 X_{1i} - a_2 X_{2i}) X_{1i} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_2} &= -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 X_{1i} - a_2 X_{2i}) X_{2i} = 0 \end{aligned} \quad (39)$$

Nakon sređivanja dobija se sistem jednačina:

$$\begin{aligned} Na_0 + a_1 \sum X_{1i} + a_2 \sum X_{2i} &= \sum Y_i \\ a_0 \sum X_{1i} + a_1 \sum X_{1i}^2 + a_2 \sum X_{2i} X_{1i} &= \sum X_{1i} Y_i \\ a_0 \sum X_{2i} + a_1 \sum X_{1i} X_{2i} + a_2 \sum X_{2i}^2 &= \sum X_{2i} Y_i \end{aligned} \quad (40)$$

Nakon obrade eksperimentalnih podataka i rešenja sistema jednačina dobija se analitički izraz koeficijenta otpora ventila oblika:

$$\xi = 0,442 \frac{D^{1,36952}}{Q^{0,777025}} \quad (41)$$



Sl. 6 – Zavisnost koeficijenta otpora ventila ξ od prečnika ventila i protoka vazduha

Analitički izraz koeficijenta otpora ventila (41) prikazan je grafički na slici 6. Potrebno je izvršiti proveru adekvatnosti analitičkog izraza (41).

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila vrši se upoređenjem koeficijenta odnosa disperzija V_{01} sa Fisherovim kriterijumom F.

Koeficijent odnosa disperzija V_{01} definisan je [2,11,12,15,17] izrazom

$$V_{01} = \frac{S_{\text{nead}}^2}{S_{\xi_{\text{rac}}}^2}$$

Disperzija neadekvatnosti S_{nead}^2 definisana je izrazom

$$S_{\text{nead}}^2 = \frac{1}{N - d_1} (\bar{\xi} - \xi_{\text{rac}})^2$$

Stepen slobode za disperziju neadekvatnosti je: $N - d_1 = 27 - 3 = 24$, pri čemu je N – broj eksperimentalnih jedinica, d_1 – broj članova regresionog polinoma, ξ_{rac} – vrednost koeficijenta otpora ventila računata na osnovu analitičkog izraza (41).

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ξ ventila izvršena je u tabeli 8.

Disperzija neadekvatnosti iznosi:

$$S_{\text{nead}}^2 = \frac{1}{27 - 3} 0,003733 = 1,5554 \cdot 10^{-4}$$

Koeficijent odnosa disperzija V_{01} iznosi:

$$V_{01} = \frac{S_{\text{nead}}^2}{S_{\xi_{\text{rac}}}^2} = \frac{1,5554 \cdot 10^{-4}}{2,461 \cdot 10^{-4}} = 0,60$$

Fisherov kriterijum F za verovatnoću od 99% i stepene slobode: $n_1 = N -$

Tabela 8

Provera adekvatnosti analitičkog izraza (41)

D [mm]	Q [m ³ /h]	$\bar{\xi}$	$\bar{\xi}_{\text{rac}}$	$\bar{\xi} - \bar{\xi}_{\text{rac}}$
100	188	4,17	4,17	0,0
	300	2,88	2,88	0,0
	750	1,41	1,41	0,0
150	188	7,17	7,22	0,0026
	300	5,03	5,02	0,0001
	750	2,46	2,46	0,0
200	188	10,76	10,71	0,000484
	300	7,43	7,45	0,000303
	750	3,67	3,65	0,000260
Ukupno:				0,003733

$d_1 = 24$, i $n_2 = ab(n - 1) = 18$, iz tabele, prema [15], iznosi $F = 3,02$. Pošto je koeficijent $V_{01} = 0,60 < 3,02 = F$ znatno manji od Fisherovog kriterijuma, znači da je dobijeni analitički izraz koeficijenta otpora ventila adekvatan sa verovatnoćom od 99%.

Protivudarni ventili sa membranom za regulaciju natpritisaka u objektu definisani su analitičkim izrazima: (11), (13), (17), (18), (21) i (41).

Kriterijum za izbor rešenja

Cilj analize je da se predlože – propišu kriterijumi za izbor rešenja protivudarnih ventila sa membranom za regulaciju natpritisaka u objektu. Analiza bi trebalo da pokaže da li su primenljivi isti kriterijumi za izbor univerzalnih rešenja ovih ventila kao kod protivudarnih ventila za dovod svežeg i odvod vazduha iz objekta. Da bi se to ostvarilo potrebno je za ventile nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm na osnovu analitičkih izraza kojima su definisani slični ventili, i postavljenog kriterijuma vremena zatvaranja od 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa izvršiti proveru postavljene pretpostavke.

Tabelarni prikaz dimenzija i drugih podataka o ventilima nazivnih prečnika dat je u tabeli 9. Na osnovu analitičkih izraza (11), (13), (17), (18), (21) i (41), kojima su definisani ventili sa membranom za regulaciju natpritisaka, i ulaznih podataka za ventile, prikazanih u tabeli 9, konstruisani su:

Ulazni podaci za ventile

Tabela 9

Oznaka i veličina		Oznaka i nazivni prečnik ventila		
		PUVRN100	PUVRN150	PUVRN200
Poluprečnik diska ventila	R [m]	0,0125	0,0210	0,0250
Poluprečnik diska ventila	R_1 [m]	0,0525	0,0775	0,100
Poluprečnik diska ventila	R_2 [m]	0,060	0,0875	0,112
Ugao nagiba diska	α [°]	30	30	30
Rastojanje težišta diska ventila od obrtne tačke	x_T [m]	0,078	0,105	0,148
Zapreminska masa diska ventila	ρ [kg/m ³]	2600	2600	2600
Debljina diska ventila	δ [mm]	2,50	2,50	2,0
Vreme zatvaranja ventila, otpornosti 900 kPa	T_z [s]	0,0020	0,0020	0,0020
Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za otpornost ventila od 900 kPa)	P_f [N/m ²]	253 000	253 000	253 000
Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za otpornost ventila od 600 kPa)	P_f [N/m ²]	186 000	186 000	186 000
Pritisak u frontu direktnog VUT-a (za otpornost ventila od 300 kPa)	P_f [N/m ²]	108 000	108 000	108 000
Ugao otklona membrane ventila	φ_0 [°]	40	30	30

– dijagram zavisnosti koeficijenta otpora ventila ξ od prečnika i protoka vazduha, prikazan na slici 6;

– dijagram zavisnosti vremena zatvaranja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska u frontu direktnog VUT-a, prikazan na slici 7.

Dijagram na slici 7 predstavlja zakon zatvaranja sličnih ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm pri dejstvu VUT-a nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

Kriterijumi za izbor rešenja ventila su:

- otpori strujanju vazduha kroz ventile, tj. otpori ventila ($H \leq 200$ Pa);
- dinamički parametar – vreme zatvaranja ventila pri dejstvu VUT-a;
- nivo natpritiska pri kojem se ventil otvara,
- protok vazduha [18,19] kroz ventil ($Q \leq Q_{\text{nom}}$).

Analički izrazi otpora ventila u funkciji protoka vazduha

Opšti analitički izraz otpora ventila ima oblik:

$$\Delta H - \Delta H_i = \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} \cdot \frac{Q^2}{3600^2} \xi \quad (42)$$

gde je:

ΔH [Pa] – otpor ventila;

D [m] – nazivni prečnik ventila;

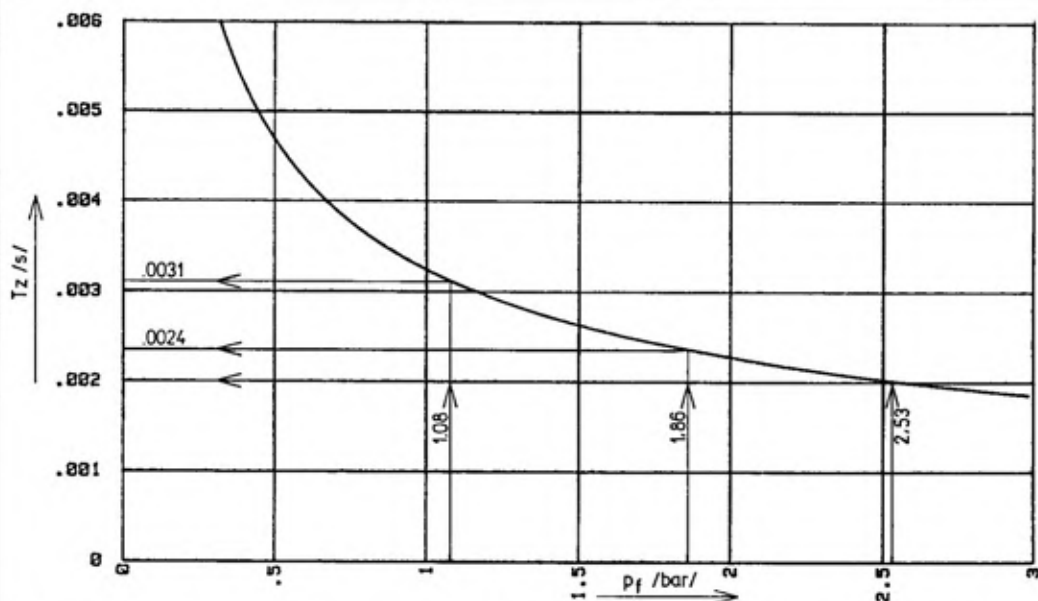
ρ [kg/m³] – gustina vazduha koji protiče kroz ventil;

ΔH_i [Pa] – otpor ventila pri kom nastupa otvaranje;

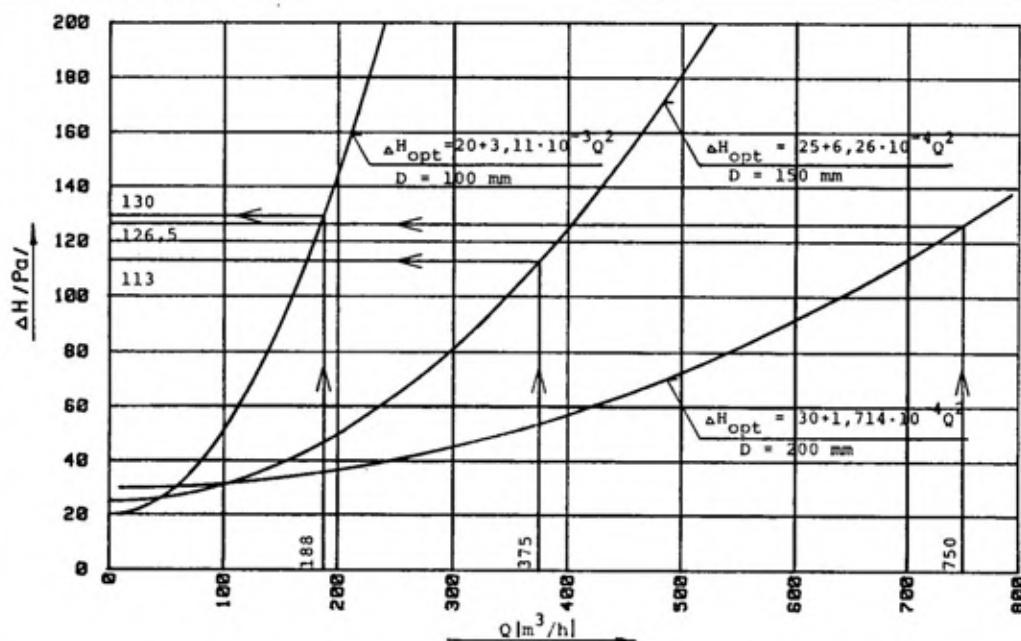
Q [m³/h] – protok vazduha kroz ventil;

ξ – koeficijent otpora ventila.

Vrednost otpora ventila pri kojem nastupa trenutak njegovog otvaranja može da se izmeri eksperimentalno. Na osnovu tako izmerenih približnih vrednosti za otpor ΔH_i mogu da se postavje



Sl. 7 – Zavisnost vremena zatvaranja protivudarnih ventila t_z , T_z nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska u frontu direktnog VUT-a



Sl. 8 – Zavisnost otpora ventila ΔH od prečnika i protoka vazduha Q

analitički izrazi otpora ventila u funkciji prečnika ventila i protoka vazduha.

Analitički izrazi optimalnih otpora ventila ΔH_{opt} dobijaju se uvođenjem odgovarajućih koeficijenata otpora ventila $\xi = \xi_{\text{opt}}$ (slika 6 i jednačina (41)). Analitički izrazi optimalnih otpora ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm glase:

$$\Delta H_{\text{opt}|100} = 3,110 \cdot 10^{-3} Q^2 + 20 \quad (43)$$

$$\Delta H_{\text{opt}|150} = 6,2598 \cdot 10^{-4} Q^2 + 25 \quad (44)$$

$$\Delta H_{\text{opt}|200} = 1,7139736 \cdot 10^{-4} Q^2 + 30 \quad (45)$$

Analitički izrazi (43), (44) i (45) prikazani su na slici (8).

Prema [18] nominalni protoci vazduha kroz ventile iznose:

$Q_{\text{nom}} = 188 \text{ [m}^3/\text{h]}$ – za ventile nazivnog prečnika 100 mm,

$Q_{\text{nom}} = 375 \text{ [m}^3/\text{h]}$ – za ventile nazivnog prečnika 150 mm,

$Q_{\text{nom}} = 750 \text{ [m}^3/\text{h]}$ – za ventile nazivnog prečnika 200 mm.

Kriterijumi za izbor optimalnih karakteristika ventila

Do optimalnih karakteristika (rešenja) protivudarnih ventila sa membranom za regulaciju natpritiska dolazi se iz uslova:

- da vreme zatvaranja ventila otpornosti 900 kPa bude 2 ms;
- da protok vazduha kroz ventil bude nominalan, tj. $Q = Q_{\text{nom}}$;
- za nominalne protoke vazduha kroz ventile, koeficijent otpora ventila je optimalan, tj. $\xi = \xi_{\text{opt}}$.

Analitički izrazi kojima su definisane karakteristike ventila, glase:

$$T_z = \left[\frac{2(J_D + m_D x_T^2) \varphi_0^2}{p_f \pi R_2^2 x_T \cos \varphi_0} \right]^{1/2} \quad (21)$$

$$J_D = 2\pi\delta\gamma \left[\frac{R^4}{4} + \frac{1}{4\cos\alpha} (R_1^4 - R^4) + \frac{1}{4} (R_2^4 - R_1^4) \right] \quad (11)$$

$$m_D = \pi\delta\gamma \left[R^2 + \frac{1}{\cos\alpha} (R_1^2 - R^2) + (R_2^2 - R_1^2) \right] \quad (13)$$

$$\varphi_0^r = \frac{\pi}{180} \varphi_0^0 \quad (17)$$

$$\xi = 0,442 \frac{D^{1,36952}}{Q^{0,777025}} \quad (41)$$

$$\Delta H_{opt|100} = 3,110 \cdot 10^{-3} Q^2 + 20 \quad (43)$$

$$\Delta H_{opt|150} = 6,2598 \cdot 10^{-4} Q^2 + 25 \quad (44)$$

$$\Delta H_{opt|200} = 1,7139736 \cdot 10^{-4} Q^2 + 30 \quad (45)$$

gde je:

δ [mm] – debljina membrane ventila;

γ [kg/m³] – zapreminska masa materijala membrane ventila;

R, R_1 i R_2 [m] – odgovarajući prečnici membrane ventila;

α [°] – ugao nagiba membrane ventila;

m_D [kg] – masa pokretnog sloja ventila;

p_f [N/m²] – pritisak u frontu direktnog VUT-a;

φ_0 [°] – ugao otklona membrane – diska ventila.

Zaključak

U radu je prikazan originalan metod analitičkog definisanja sličnih protivudarnih ventila sa membranom, namenjenih za zaštitu od prodora impulsa pritiska direktnog VUT-a nastalog pri nuklearnoj

eksploziji u unutrašnjost objekta za regulaciju natpritiska u objektu i odvod korisnog vazduha iz objekta.

Postavljen je analitički izraz vremena zatvaranja ventila pod neposrednim dejstvom direktnog VUT-a nuklearne eksplozije u zavisnosti od radnih i geometrijskih karakteristika ventila.

Primenom metoda matematičke statistike dat je originalan metod nalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora sličnih konstrukcija ventila na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka za koeficijente otpora ventila u zavisnosti od karakterističnih veličina ventila (prečnika i protoka vazduha) i metod provere adekvatnosti analitički dobijenog izraza koeficijenta otpora ventila.

Modeli ventila su uopšteni, pa su primenljivi za familiju sličnih ventila.

Kao dinamički kriterijum o oceni valjanosti ventila usvojeno je vreme zatvaranja ventila. Izražen u opštem obliku, a zatim primenjen na ventile nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm otpornosti 300, 600 i 900 kPa.

Iz uslova vremena zatvaranja ventila od 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa došlo se do optimalnih karakteristika ventila.

Analitički izrazi optimalnih otpora ventila ΔH_{opt} dobijeni su uvođenjem optimalnih vrednosti koeficijenata otpora ventila za normalne protoke vazduha, u opšti analitički izraz otpora ventila.

Kriterijumi za izbor optimalnih vremena zatvaranja protivudarnih ventila sa aksijalno pomičnim pokretnim sklopom, primenljivi su za protivudarne ventile sa membranom za regulaciju natpritiska, i to: $T_z = 2,0$ ms – za ventile otpornosti 900 kPa, $T_z = 2,4$ ms – za ventile otpornosti 600 kPa, $T_z = 3,2$ ms – za ventile otpornosti 300 kPa.

Postavljeni su novi, stroži kriterijumi – nova vremena zatvaranja ventila za ocenu valjanosti ventila umesto još uvek važećih, široko postavljenih [18]: $T_z = 3,0$ ms – za ventile otpornosti 600 kPa, $T_z = 5,0$ ms – za ventile otpornosti 300 kPa.

Literatura:

- [1] Knežević, D.: Metod analitičkog definisanja reprezentativnih ventila mehaničkih sistema za zaštitu od prodora udarnog talasa u unutrašnjost objekta, Vojnotehnički glasnik, 1999, br. 3-4, str. 60.
- [2] Knežević, M. D.: Prilog analitičkom definisanju pneumatičkih karakteristika sistema ventila specijalne namene, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [3] Knežević, D.: Istraživanje optimalnih rešenja ventila za zaštitu od vazdušnouđarnih talasa nuklearne eksplozije u vazduhu i uporedna analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata, magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 1983.
- [4] Knežević, D.: Analitički metod definisanja kombinovanog protivudarnog ventila za regulaciju nadpritiska, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXVI, 1986, br. 9, str. 13-24.
- [5] Mandić, J.: Simulatori impulsa pritiska, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 1974.
- [6] Mandić, J.: Ostvarivanje udarnog kratkotrajnog impulsa pritiska u udarnim cevima izjednačavajućeg pritiska, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 1976.
- [7] Oertel, H.: Stosshohre, Springer, Wien, 1966.
- [8] Rahmatulin, H., A., Semenov, S., S.: Udarnie trubi, Izdanje inostrane literature, Moskva, 1962.
- [9] Schardin, H.: Simulierung von Druckstossen beliebig langer Dauer in einem Stosswellenrohr, Wehrtechnische Monatschrift, 1966, 4.
- [10] Gurevič, A.: Proračun regulacijskih ventila, Lenjingrad, MAŠGIZ, Moskva, 1968.
- [11] Knežević, D.: Analitički metod definisanja ventila za regulaciju protoka vazduha, izgradnja skloništa i drugih zaštitnih objekata, Savez inženjera i tehničara Srbije, Zbornik radova, Beograd, 1985, str. 261-270.
- [12] Knežević, D.: Nalaženje analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila metodom potpunog eksperimenta, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, 1985, 7-8, str. 21-26.
- [13] Šikoparija, V.: Teorija sličnih modela, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 1980.
- [14] Voronjec, K., Obradović, N.: Mehanika fluida, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- [15] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radnički univerzitet „Radivoj Čirpanov“, Novi Sad, 1986.
- [16] Vukadinović, V.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, drugo izmenjeno izdanje, Privredni pregled, Beograd, 1978.
- [17] Knežević, D.: Metod iznalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora protivudarnih ventila, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, 1985, br. 10, str. 37-45.
- [18] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju skloništa (Sl. list SFRJ br. 11/1976)
- [19] Švajcarski propisi federalne službe za civilnu zaštitu od 15. oktobra 1966.

Dr Rade Filipović,
dipl. inž.
Zajednica jugoslovenske
elektroprivrede,
Beograd

BOMBE ZA ZAMRAČIVANJE*

UDC: 621.316; 621.311

Rezime:

Za vreme agresije NATO na SR Jugoslaviju korišćene su bombe za zamračivanje, odnosno „meke“ bombe. U prvom delu članka prikazane su osobine ovih bombi i njihov uticaj na kapacitete elektroprivrede, u drugom delu daje se pregled rezultata istraživanja, uključujući hemijske, fizičke i električne karakteristike vlakana, korišćenih u novoj generaciji bombi za zamračivanje, a u trećem su prezentirani najuspešniji načini za otklanjanje vlakana i njihovo sigurno deponovanje.

Ključne reči: bombe za zamračivanje, karakteristike vlakana, novi materijali, čišćenje vlakana.

BLACKOUT BOMBS

Summary:

The paper gives a short review of the Blackout Bombs and Soft Bombs used during the NATO aggression in FR Yugoslavia. The first part deals with the general characteristics of these bombs and their effects on the capacities of power utilities. The second part gives a review on research results, including the chemical, physical and electrical characteristics of fibers, used in the new generation of blackout bombs. The last part suggests the most successful ways for cleaning an safe deposit of fibers.

Key words: blackout bombs, characteristics of fibers, new materials, cleaning of fibers.

Uvod

Jedan od posebnih ciljeva u okviru agresije NATO na našu zemlju bio je elektroenergetski sistem Savezne Republike Jugoslavije. Agresor je nekoliko puta izazvao raspad elektroenergetskog sistema i prekid ukupnog napajanja električnom energijom. Pri tome je koristio projekte specijalne namene, koji su proizvod visoke tehnologije, a do sada je ova vrsta oružja držana u strogoj tajnosti. Iako su u Iraku korišćeni projektili koji

izazivaju slične posledice, ovi koji su korišćeni u agresiji na našu zemlju su drugog sastava i primenjeni su prvi put.

Raspad elektroenergetskog sistema i potpuni prekid napajanja trebalo je, po koncepciji agresora, da predstavlja i poseban psihološki udar na stanovništvo. Vojni stručnjaci, takođe, ukazuju i na postojanje još jednog razloga. Naime, posle raspada elektroenergetskog sistema i prekida napajanja, ako se u vojnim sedištim uključuje agregati, agresor vizuelnim, laserskim i termovizijskim osmatranjem, uz pomoć špijunskih bespilotnih

* Članak je preuzet iz časopisa Elektroprivreda 2/99.

letilica, otkriva lokaciju ovih vojnih sedišta.

Velike socijalne i ekonomske posledice, u tim slučajevima, agresora nisu zanimale. Ali, ove tzv. bombe za zamračivanje nisu ostvarile svoj cilj, a posledice na humanitarnom planu su znatno redukovane, zahvaljujući neverovatnoj vitalnosti, snalažljivosti i zalaganju Elektroprivrede Srbije.

Način delovanja bombi za zamračivanje

Tehnički posmatrano, agresor bombardovanjem izbacuje provodne materijale na elektroenergetska postrojenja. Oni pri padu formiraju mrežu slučajno raspoređenih provodnih vlakana, koja pri dospeću na kritična rastojanja u odnosu na elemente postrojenja na različitim potencijalima, izazivaju zemne i međufazne kratke spojeve. U oba slučaja, kratki spoj je indirektni kratki spoj preko luka izazvanog probojnim naponom zbog nastajanja kritičnog rastojanja. Delovanje luka je praćeno jonizovanjem vazduha i intenzivnom svetlošću, a traje do isključenja postrojenja ili dalekovoda usled delovanja zaštite.

Mreža provodnih vlakana definitivno se razmešta po elementima postrojenja ili po dalekovodu i dovodi ih u stanje trajno kratkospojenih elemenata, tako da su oni onesposobljeni za rad sve dok se ne odstrane sva provodna vlakna, pa i elementarne niti od kojih su ona sačinjena.

Proizilazi da se tehnički problem rešava uklanjanjem vlakana do nivoa elementarnih niti postupcima koji ne iziskuju mnogo vremena, a garantuju bezbednost angažovanoj radnoj snazi.

Istorijat korišćenja

Sa ciljem da privremeno onesposobi elektroenergetska postrojenja u Iraku, agresor je u toku akcije „Pustinjska oluja“ koristio tzv. grafitne bombe. O ovim projektilima specijalne namene, koji su bili predviđeni za dejstvovanje na elektroenergetsku infrastrukturu, veoma se malo znalo, a ova vrsta oružja držana je u strogoj tajnosti. Projektili su bili namenjeni disperziji velike količine hemijski tretiranih grafitnih vlakana, koja, padom na transformatore i rasklopna postrojenja, izazivaju kratke spojeve. Ovi projektili dobili su naziv i „soft bomba“, pošto im je dejstvo bilo usmereno i ograničeno na ciljana elektroenergetska postrojenja.

U Iraku su korišćene kasete napunjene špulnama od grafitnih vlakana, pa se za njih odomaćio naziv „grafitna bomba“. Kao nosači kasete tada su korišćene rakete „tomahavk“. Napadi su izvršeni 18. 19. i 20. januara 1991. godine na centralu „AL Rašid“ u Južnom Bagdadu i na energetske kompleks Beji, kada je privremeno onesposobljeno 85% elektroenergetskih kapaciteta Iraka. Grafitna vlakna bila su mnogo većeg preseka od vlakana upotrebljenih u SR Jugoslaviji, pa su relativno lako uklonjena ručno uz upotrebu usisivača, bez korišćenja hemijskih sredstava. Oznaka ovog oružja je CBU-94 „Blackout Bomb“ (bomba za zamračivanje).

Napadi na elektroenergetska postrojenja u SR Jugoslaviji, od kojih je prvi bio 2. maja 1999. godine, bili su, na neki način, najavljeni. U okviru aktivnosti svog psihološkog rata, agresor je razbacivao letke sa zloslutnom najavom da „neće biti struje“. Širenjem liste ciljeva u SR Jugoslaviji i elektroenergetski sistem je unet u spisak meta.

Pošto je poučen relativno lošim iskustvom pri korišćenju grafitnih bombi, agresor je razvijao slično oružje novije generacije. Primenjeni su rezultati istraživanja najsavremenijih tehnologija, kako bi oružje namenjeno privremenom onesposobljavanju elektroenergetskog sistema bilo efikasnije.

Napad na elektroenergetska postrojenja u SR Jugoslaviji izvršen je kasetama napunjenim špulnama od provodnih vlakana u kojima nema grafita. Ova provodna vlakna su mnogo manjeg preseka, pa je otežano čišćenje energetskih postrojenja, posebno u uslovima povećanog strujanja vazduha. Kao nosač kasete, upotrebljene su bombe izbacivane iz „nevidljivih“ bombardera F-117A STEALTH, a oznaka oružja je BLU-114/B „Soft Bomb“. Ove bombe sa elektroprovodnim materijalima agresor klasifikuje kao „Soft Bombs“, odnosno „meke“, „humane“ ili „nesmrtonosne“ bombe.

Agresor, naravno, ovde ne potencira „kolateralne“, ali teške i rizične efekte, prouzrokovane raspadom elektroenergetskog sistema. Potpuni prekid napajanja svih potrošača, uključujući bolnice, vodovod, pekare, rashladna postrojenja za hranu, saobraćaj u gradovima i, naravno, domaćinstva i sve oblike industrije, ima zaista velike posledice. Ljudi ostaju bez hitne medicinske pomoći, vode, hleba, gradskog prevoza. Uticaj ovih prekida napajanja u industriji prouzrokuje veoma različita oštećenja i ekološke efekte. Naši građani, cela nacija, tako su žrtve kompletne humanitarne katastrofe, prouzrokovane napadima ovim „humanim“ bombama na nacionalni sistem snabdevanja električnom energijom.

Karakteristike bombi korišćenih u SR Jugoslaviji

Bombe za zamračivanje, korišćene u okviru agresije NATO na SR Jugoslaviju, jesu kasetne bombe snabdevene tempiranim upaljačem sa visinomerom, koji na zadatoj visini od tla aktivira detonaciono sečivo. Ovim sečivom odseca se vrh i zadnji deo sa stabilizatorom, a telo bombe (kontejner) raseca se u tri meridijalne ravni pod uglom od 120 stepeni. Po otvaranju kontejnera, oslobođene kasete razleću se u okolni prostor. Svaka kasete snabdevena je tempiranim upaljačem sa satnim mehanizmom, koji, posle odabranog vremena kašnjenja, odbravljuje poklopac na čelu kasete. Snažna konusna spiralna opruga izbacuje iz kasete špulne elektroprovodnih vlakana. Vlakna se razmotavaju, formirajući mrežu i padaju preko postrojenja.

Uzorke kasete i ostataka kontejnera kasetnih bombi bačenih na razvodno postrojenje TE „Obrenovac“ analizirali su naši instituti. Na osnovu ovih analiza došlo se do konkretnih podataka o korišćenim bombama. Masa bombe je oko 304 kg, proizvedena je 1994. godine, sa garantnim rokom upotrebe do 2004. godine. U bombi se nalazi 202 kasete, sa oznakom BLU-114/B mase oko 1 kg, svaka kasete sadrži 133 špulne mase od 2 g, dužina vlakna u špulni je do 150 m, broj monofilamenata je do 30, s tim što je njihov materijal staklena nit prečnika 6–10 mikrometara.

Rezultat hemijskih analiza pokazuje da je u pitanju vlaknasti kompozitni materijal sa vrlo specifičnim svojstvima i načinom delovanja. Stereološke analize i kvalitativne hemijske analize ukazuju na jak spoj dve kontinualne niti prečnika desetak mikrometara, pri čemu je jedna

aluminijumska, verovatno legirana veoma malim sadržajem legirajućih elemenata, a druga staklena, na bazi SiO_2 , sa učešćem faze aluminijum-oksida, kalcijum-oksida, magnezijum-oksida i natrijum-oksida. Po sastavu staklene niti to je E staklena nit, koja se najviše primenjuje u elektronici i elektrotehnici (sastava SiO_2 52–56%, Al_2O_3 12–16%, CaO 16–25%, MgO 0–5%, Na_2O 0–2% i dr.). Takva staklena nit odlikuje se dobrim električnim osobinama, visokom jačinom, zadržavanjem 75% jačine na 340°C , malom apsorpcijom vode, visokom dimenzionom stabilnošću i dobrom otpornošću na mnoge kiseline, rastvarače, svetlost i dr. Ona je izuzetno pravilnog oblika i ravnomernog, mada promenljivog prečnika u različitim nitima od 6 do 15 mikrometara, dok je aluminijumska nit rapava i neravnomernog prečnika oko 6–10 mikrometara. Kontakt između njih je relativno dobar, a međupovršina sadrži znatnu poroznost, pa se može zaključiti da je u pitanju čisto fizički kontakt nastao, verovatno, mehaničkim spajanjem prethodno dobijenih niti. To će biti predmet daljih analiza, radi razjašnjavanja postupka njihovog dobijanja. Postojanje prekida kontinuiteta niti nije primećeno. Par koji čini aluminijumska i staklena nit,

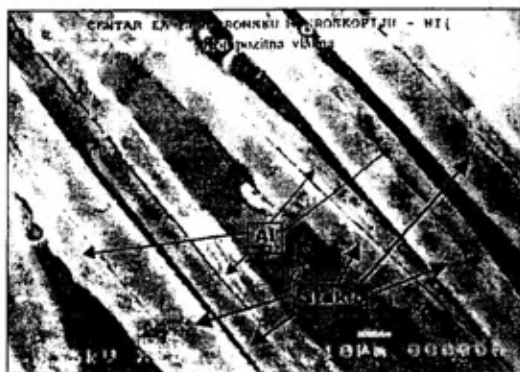


Sl. 2 – Mikrostrukturalna površina dve niti u vlaknu

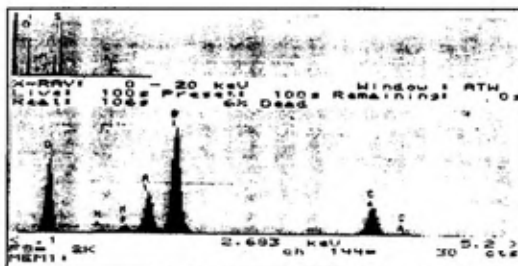
ugrađen je u vlakna koja su prečnika nekoliko stotina mikrometara. Rezultati ispitivanja prikazani su na slikama 1, 2, i 3.

Sve to ukazuje na to da prisustvo grafita nije utvrđeno, pa ne treba upotrebljavati naziv „grafitna bomba“, koji se odnosi samo na prvu generaciju ovakvih oružja korišćenih u Iraku. Inače, niti vlakana izrađene su od samogasivih materijala i ne pomažu pojavu požara i eksplozija.

Ispitivanja fizičkih karakteristika vlakana pokazala su da je sila kidanja u granicama od 1 do 1,3 N (od 0,1 do 0,13 kg). Ova sila kidanja je dovoljno velika da ne dođe do kidanja vlakana usled sopstvene težine. Sa druge strane, sila kidanja je dovoljno mala da se mreža



Sl. 1 – Mikrostrukturalna površina vlakana



Sl. 3 – Kvalitativan hemijski sastav u dve različite razmere

vlakana relativno lako može kidati i uklanjati iz postrojenja ili sa dalekovoda.

Posebno su značajni rezultati ispitivanja električnih karakteristika vlakana, pošto je samo vlakno uzročnik nastajanja svih problema. Kako su vlakna u elektroenergetskom postrojenju izložena naizmjeničnom naponu, sva ispitivanja su vršena pri naizmjeničnom naponu na jednom vlaknu. Ova ispitivanja obuhvatila su merenja struje pri kojima vlakno pregoreva. Korišćen je slučajan uzorak vlakana jedinične dužine od 1 m, vlakno je zatezano u stegu namenskog uređaja za merenje električnog otpora žice, a za merenje su korišćeni instrumenti klase tačnosti 0,5. Rezultati merenja za deset epruveta pokazali su da je najmanja struja pregorevanja 0,42 A. Zatim je zaključeno da će, pri struji od oko 50% najmanje dobijene struje pregorevanja biti zamearljiv uticaj temperature vlakna na vrednost njegovog električnog otpora, pa je električni otpor vlakna određen pri podešenoj vrednosti struje od 0,2 A i merenjem pada napona na epruveti dužine 1 m. Rezultati merenja za deset epruveta iz iste špulne ukazuju na to da se otpori naizmjeničnoj struji znatno razlikuju (do 30%), što se može objasniti nejednakim presekom provodnog materijala, odnosno aluminijuma. Uticaj neujednačenosti preseka manji je na većim dužinama, tako da se na dužinama faznih i međufaznih rastojanja može govoriti o galvanskim spojevima skoro ujednačenog električnog otpora. To objašnjava i zašto se proizvođač vlakna nije trudio da aluminijumska komponenta bude strogo određenog preseka po celoj dužini.

Radi daljih ispitivanja pregorevanja napon je podizan stupnjevito (u intervalima po 2 V). Zaključeno je da se povećanjem napona povećava i struja koja

zagreva aluminijum, te se vlakno prvo isteže zbog izduženja aluminijuma. U daljem toku na vlaknu (na jednom ili više mesta) počinje žarenje koje prelazi u crveno usijanje, da bi konačno nastao prekid provodnog materijala i struja opala na 0 A. Prva pregorevanja vlakna dužine 1 m nastajala su pri naponima manjim od 35 V/m.

Ispitivanja su obavljena i u visokonaponskoj laboratoriji sa komadima vlakna dužine 5 i 10 cm. Dve lančane jedinice (porcelanska i staklena) prekrivene su po gornjoj površini komadima vlakana i svaka jedinica je izložena naizmjeničnom naponu, koji je postepeno podizan do preskoka. Preskok je nastajao već iznad 60 kV (na čistoj jedinici preskok nastaje na oko 80 kV) i izazivao topljenje aluminijumske niti, a otopina je ostala na površini lančane jedinice na mestu gde je vlakno bilo postavljeno. Pri skidanju otopine ona se lako otklanja mehanički sa površine staklene lančane jedinice, dok je njeno skidanje sa porcelanske jedinice veoma teško. Uticaj ove otopine, koja ostaje na površini lančane jedinice, dalje će se ispitivati u odgovarajućim laboratorijama visokog napona.

Po električnim karakteristikama može se zaključiti da se materijali, upotrebljeni za privremeno onesposobljavanje elektroenergetskih postrojenja pri agresiji NATO, svrstavaju u provodne materijale. Uticaj aluminijumskih otopina na izolacione materijale potrebno je dalje istražiti.

Rešavanje tehničkog problema otklanjanjem provodnog materijala

Niz istraživanja, radi iznalaženja najefikasnijih postupaka za uklanjanje elektroprovodnih vlakana, uključilo je pri-

menu rastvora natrijumhidroksida i vodenog stakla. Takođe, u ovim opitima radilo se na različitim terenima i tretirani su različiti elementi elektroenergetskih postrojenja. Na osnovu rezultata istraživanja doneti su zaključci, koji upućuju na najefikasnije načine otklanjanja vlakana.

Apsolutna prednost daje se mehaničkim postupcima, uz primenu prikladnih alata i eventualno usisavača.

Korišćenje hemijskih sredstava za eliminisanje provodne komponente, odnosno aluminijuma, ne preporučuje se iz tri razloga: štetno delovanje hemijskih sredstava na materijale u postrojenju je nepoznato, produžava se vreme osposobljavanja postrojenja, jer se prvo deluje hemijskim putem, a tek posle toga se mehanički odstranjuju ostaci, a sa ostatkom koji je hemijski tretiran dolaze u kontakt ljudi koji ih mehanički uklanjaju.

Sav provodni materijal, koji je mehanički skinut sa postrojenja, treba pažljivo prikupiti i deponovati tako da ne može da se povrati u prostor postrojenja (preporučuje se zatvoreno deponovanje da stakleno-aluminijumske niti ne ugroze zdravlje ljudi i stočnog fonda kroz udisanje ili preko hrane). Nije svrsishodno uništavanje aluminijumske komponente hemijskim putem pre deponovanja, jer se opasnost od niti ne uklanja u potpunosti, pošto staklene niti ostaju neuništene.

Ostaci provodnog materijala, koji se sa tla postrojenja ne može prikupiti, a sastoje se od malih niti dužine od nekoliko santimetara, realno ne mogu izazvati ponovno isključenje postrojenja, osim ako ne dospeju u komandne ormane prekidača i rastavljača. Za svaku sigurnost, preporučuje se ili uništavanje njihove provodnosti ili njihovo vezivanje za tlo postrojenja. Uništavanje provodnosti može se postići razgrađivanjem aluminijumske

komponente prskanjem zemljišta sa 5-to postotnim rastvorom natrijumhidroksida. Prema prvim iskustvima, to se može ostvariti sa količinom od maksimalno 0,5 l/m². Procenjuje se da je za potpunu regeneraciju zemljišta potrebno oko godinu dana. Sa druge strane, privremeno vezivanje ovih ostataka za tlo može se realizovati rastvorom „vodenog stakla“, ali je možda prihvatljivije da se ono izvrši emulzijom skroba (brašna), što je jednostavnije, s tim što predstoji dokazivanje efikasnosti ove metode.

Opasnost po zdravlje

Pošto je aluminijum toksičan materijal kojem su ljudi često izloženi, najčešće se koriste podaci dobijeni medicinskim ispitivanjima kojima su podvrgnuti radnici u industriji aluminijuma. Osnovna respiratorna bolest je astma, a zapaženi su simptomi bronhitisa i hronične obstruktivne bolesti. U ovakvim stanjima pušenje daje aditivni efekat. Zaštita radnika je lakša kada su u pitanju aluminijumska vlakna, s tim što se sitnije čestice dobijaju lomljenjem vlakana pri njihovom skidanju sa elektroinstalacija. Medicinska ispitivanja radnika u industriji aluminijuma i proizvodnji aluminijumskih konzervi ukazuju na brojne imunološke poremećaje i povećanje simptoma neuroloških bolesti. Nadalje, istraživanja vezana za prisustvo aluminijuma u pijaćoj vodi, za korišćenje aluminijumskih injekcionih igli i za terapiju aluminijumskom solju, ukazuju na različita štetna dejstva aluminijuma.

Što se tiče štetnog uticaja silicijuma, istraživanja vezana za praćenje zdravlja industrijskih radnika u livnicama, kame-nolomima i sl. manifestacije su brojne na respiratornim organima. Silicijum ima

posebno štetno delovanje na ćelijskom nivou (uticaj na faktor rasta), a utiče na stvaranje predispozicije i za druge bolesti, pa je neophodno korišćenje osnovne HTZ opreme.

U celini gledano, kada su u pitanju vlakna primenjena u bombama za zamračivanje, može se zaključiti da provodni materijal nije otrovan i nije radioaktivan. Međutim, pri degradaciji niti nastaju produkti opasni za disajne organe, oči i kožu (efekat „staklene vune“). Treba izbegavati hranu iz samog kontaminiranog prostora, kako za ljude tako i za stoku. Kod osoblja angažovanog na otklanjanju provodnih materijala preporučuje se obavezna periodična kontrola zdravlja u najbližim zdravstvenim ustanovama.

Zaključak

Sva dosadašnja istraživanja bila su prvenstveno usmerena na potpunije upoznavanje sredstava za privremeno onesposobljavanje elektroenergetskih postrojenja korišćenih u agresiji NATO na SR Jugoslaviju, kao i na što brže eliminisanje, odnosno otklanjanje njihovog delovanja. Predstoji dalje istraživanje, kako dugoročnih efekata na postrojenjima (posebno uticaj otopina aluminijuma na izolatorima), tako i uticaja na životnu sredinu u najširem smislu.

Bombe za zamračivanje izazvale su onesposobljavanje elektroenergetskog si-

stema. Međutim, NATO agresor, i pored delovanja ovim bombama na elektroenergetska postrojenja, u više navrata, delovao je kasnije i razornim projektilima, kako bi posledice bile veće, a vreme otklanjanja kvarova mnogo duže i skuplje. U oba slučaja, i kada su bila u pitanju dejstva usmerena na privremeno onesposobljavanje, a i pri korišćenju razornih projektila, odabrane su mete koje su od vitalnog značaja za elektroenergetski sistem.

Rezultati razvoja novih vrhunskih tehnologija, umesto za razvoj i blagostanje, primenjeni su prvi put protiv nas, sa ciljem da izazovu raspad ukupnog nacionalnog elektroenergetskog sistema i psihološki šok kod stanovništva. I pored brojnih međunarodnih konvencija koje se odnose kako na elektroenergetski sistem, tako i na humanitarna pitanja, a čiji su potpisnici i zemlje koje su razvile i primenile bombe za zamračivanje, agresor je pri izboru ciljeva i načina dejstovanja potpuno ignorisao međunarodno pravo. Tokovi evropske integracije u sektoru energetike, odgovarajuća zakonska infrastruktura i nadležne institucije treba da posvete pažnju ovom tragičnom iskustvu u SR Jugoslaviji, kako bi se u budućnosti sprečile eventualne slične pojave.

Literatura:

- [1] Elaborat Održavanje elektroenergetskih postrojenja u ratnim uslovima, Beograd, 1999.

Dr Vladimir Vujičić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ KONSTRUKCIONIH I TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA U SMANJENJU KOROZIONOG RAZARANJA PROIZVODA OD METALA

UDC: 620.193

Rezime:

U radu su prikazani uticaji nekih konstrukcionih i tehnoloških postupaka na brzinu odvijanja korozije opreme od metala, kao i metalnih konstrukcija. Opisani su: izbor konstrukcionih metala, oblici konstrukcije, položaj i raspored elemenata u konstrukciji, tehnologija izrade, postupak spajanja i tehnologija zaštite elemenata u konstrukcijama.

Ključne reči: korozija, brzina korozije, koroziona sredina, korozioni spreg, kontaktna korozija, konstrukcioni materijali, tehnologija izrade, oblik konstrukcije, zaštita od korozije.

EFFECTS OF CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGICAL PROCEDURES ON CORROSION REDUCTION IN METAL PRODUCTS

Summary:

Effects of some construction parameters and technological procedures on corrosion rate in metal equipment and metal constructions have been given in the paper, i.e. effects of construction metals, shapes of constructions, element position in constructions, production technology, connecting procedures and technology of protection of elements in constructions.

Key words: corrosion, corrosion rate, corrosive medium, corrosion cell, contact corrosion, construction metals, production technology, corrosion protection.

Uvod

Jedan od nedostataka najvažnijih tehničkih metala je, upravo, njihova podložnost koroziji na vazduhu, vodi ili nekoj drugoj korozionoj sredini, pa je u većini slučajeva potrebno primeniti neki od postupaka zaštite od korozije.

Brzina korozije metala zavisi od više činilaca kao što su: priroda metala, oblik konstrukcije (predmeta), spojevi u konstrukciji, mehanička naprezanja, sastav, pritisak, temperatura i brzina kretanja korozione sredine.

Zbog loših konstrukcionih rešenja i neodgovarajućeg načina zaštite dolazi do ubrzane korozije, pa mnogi proizvodi od metala ispadaju iz upotrebe znatno ranije od predviđenog vremena trajanja. Nepravilno konstruisanje uzrokuje:

- duže zadržavanje vlage na pojedinim elementima konstrukcije;
- povećanje koncentracije elektroлита na pojedinim delovima opreme i konstrukcije;
- pojavu termogalvanskih spregova zbog nejednakog zagrevanja konstrukcije.

Problem zaštite metala postaje svakim danom sve veći, jer su u upotrebi aparati, oprema i konstrukcije izrađeni od metala neotpornih na koroziju. Zato, ako se želi produžiti njihov vek i istovremeno smanjiti troškovi njihovog održavanja, na koroziju se mora misliti već pri projektovanju i pre tehnološke izrade.

Postupci zaštite zasnivaju se na potpunom ili delimičnom smanjenju aktivnosti faktora koji određuju razvoj korozionih procesa. Ta aktivnost može se smanjiti smanjenjem površine objekta u kontaktu s agresivnom sredinom, izborom najpovoljnijeg oblika konstrukcije, kompatibilnim spojem raznorodnih metala, eliminisanjem temperaturne razlike i pojave termokorozionog sprega, eliminisanjem naprezanja u elementima konstrukcije i zaštitnim prevlakama.

Uloga konstruktora i tehnologa u smanjenju korozije metala

Veliku ulogu u povećanju otpornosti mašina, aparata, uređaja i opreme prema dejstvu korozione sredine imaju postupci preduzeti u fazi projektovanja, odnosno konstruisanja.

Konstruktor, pre svega, vrši optimizaciju konstrukcije i određuje preventivne postupke zaštite od korozije. Tehnolog ostvaruje zamisli konstruktora. On detaljno razrađuje postupke izrade (livnje, kovanje, kaljenje, peskarenje, poliranje, itd.), kao i postupke spajanja i zaštite elemenata konstrukcije. Tehnolog svojim primedbama često povratno utiče na zamisli konstruktora, iznoseći najpovoljnija rešenja.

Za ostvarivanje što duže eksploatacije metalne opreme konstruktor i tehnolog treba da poznaju ne samo statičke i dinamičke karakteristike konstrukcije –

opreme već i fizičko-mehaničke i hemijske osobine konstrukcionih materijala, tehnologiju zaštite metala, karakter i agresivnost korozione sredine, ponašanje pojedinih metala u korozionim sredinama, u kontaktu sa drugim materijalima ili bez njih, kao i uticaj oblika konstrukcije na razvoj korozije.

Na osnovu iznetog može se reći da korozija počinje za projektantskim stolom, jer se tu obavlja:

- izbor konstrukcionog metala;
- iznalaženje najpovoljnijeg oblika konstrukcije;
- iznalaženje najpovoljnijeg načina izrade elemenata konstrukcije;
- određivanje načina sklapanja i spajanja elemenata konstrukcije;
- određivanje postupka zaštite od korozije.

Izbor konstrukcionog metala

Pri projektovanju, odnosno konstruisanju, mora se voditi računa ne samo o ekonomskim faktorima, već i o mehaničkim i korozionim svojstvima metala. Za pravilno projektovanje i što duži vek trajanja bilo koje opreme potrebno je poznavati konstrukcioni metal, njegove fizičko-hemijske karakteristike i ponašanje u uslovima eksploatacije, kako samostalno, tako i u spoju sa drugim metalom.

Na izbor konstrukcionog metala utiču sledeći faktori:

- sastav korozione sredine i koncentracija korozionih agensa;
- spoj sa drugim metalom;
- maksimalna radna temperatura;
- unutrašnja naprezanja u metalu;
- spoljna mehanička dejstva na metal (statičko opterećenje, vibracije i sl.).

Pravilan izbor metala i legura određen je njihovim fizičko-hemijskim osobi-

nama u uslovima eksploatacije. Zato se pri izboru konstrukcionih metala, pored ekonomskih i mehaničkih kriterijuma, moraju uzeti u obzir i koroziona svojstva, i to na osnovu podataka iz literature, laboratorijskih rezultata, terenskih i pogonskih ispitivanja i praktičnih iskustava.

Tehnički metali se različito ponašaju u rastvorima različite pH vrednosti. Prema korozionom ponašanju u elektrolitima metali se mogu svrstati u pet grupa (slika 1).

Zlato, platina i srebro čine grupu metala, postojanih kako u kiselim tako i u baznim rastvorima (kriva 1, slika 1a). Njihova postojanost uslovljena je visokom potencijalnom i termodinamičkom stabilnošću.

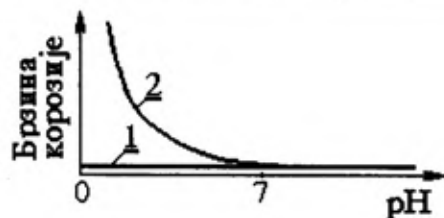
U drugu grupu spadaju neplemeniti metali: kadmijum, nikal, kobalt, nerđajući čelici i ferosilicijum (kriva 2 na slici 1a). Ovi metali korodiraju u jako kiselim rastvorima uz vodoničnu depolarizaciju, a u slabo kiselim, neutralnim i alkalnim rastvorima stvaraju sloj nerastvorljivih hidroksida ili oksida. Prema postojanosti u

kiselim sredinama ovoj grupi pripada i bakar, odnosno njegove legure.

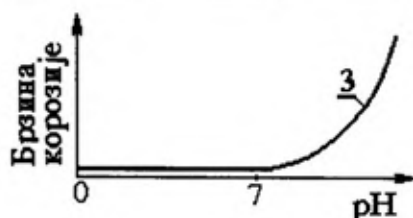
Trećoj grupi pripadaju tantal, molibden i volfram (kriva 3, slika 1b), koji su postojani u kiselim, a nepostojani u baznim rastvorima.

Četvrtu grupu čine tzv. amfoterni metali, čiji su tipični predstavnici aluminijum, kalaj, cink i olovo, a u određenim uslovima i bakar, odnosno njegove legure (kriva 4, slika 1v). Ovi metali podležu intenzivnoj koroziji u kiselim rastvorima. Njihova brzina korozije se smanjuje sa povećanjem pH rastvora, tako da je u neutralnom području neznatna. Daljim povećanjem pH, tj. u baznom području, brzina korozije ovih metala ponovo raste.

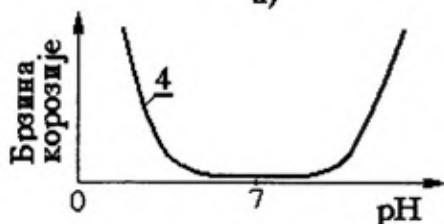
Petoj grupi pripadaju gvožđe, magnezijum i mangan (kriva 5, slika 1g), koji intenzivno korodiraju u kiselim sredinama, dok se sa porastom pH brzina korozije smanjuje. Svoju nepostojanost pokazuju i u slabo kiselim, neutralnim i slabo alkalnim rastvorima. Postojani su jedino u jako baznim rastvorima, jer na površini stvaraju sloj koji je nerastvorljiv u tim sredinama.



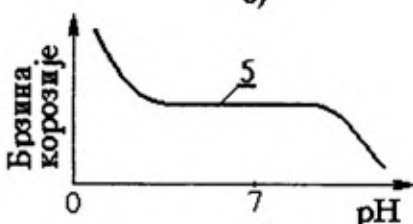
a)



b)



v)



г)

Sl. 1 – Uticaj promene pH rastvora na brzinu korozije tehničkih metala

Navedena podela je globalna, jer za svaki metal postoje izuzeci u ponašanju prema korozionoj sredini. Tako, na primer, zlato i platina su nepostojani u rastvorima u kojima nastaje elementarni hlor (carska voda), dok je gvožđe postojano u koncentrovanoj azotnoj kiselini i primenjuje se za izradu posuda za čuvanje i transport takve kiseline.

U atmosferskim uslovima, postojanost metala je različita. Gvožđe je nepostojano u vlažnoj atmosferi, a brzina njegove korozije zavisi od vlažnosti i zagađenosti vazduha (slika 2) [5].



Sl. 2 – Uticaj relativne vlažnosti i zagađenosti vazduha na brzinu korozije gvožđa:

1 – vazduh bez SO₂, 2 – vazduh sa 0,01% SO₂

Kontakt različitih metala

U praksi se često susreće kontakt različitih metala, odnosno legura, koji u prisustvu elektrolita formiraju korozioni spreg. Međusobni kontakt metala utiče na koroziju svakog od njih. Kontakt ubrzava koroziju manje plemenitog, a usporava koroziju plemenitijeg metala [1–5].

Koroziona struja stvorenog korozionog sprega, a time i oblik korozionog razaranja, zavise od elektromotorne sile

galvanskog sprega i provodljivosti elektrolita:

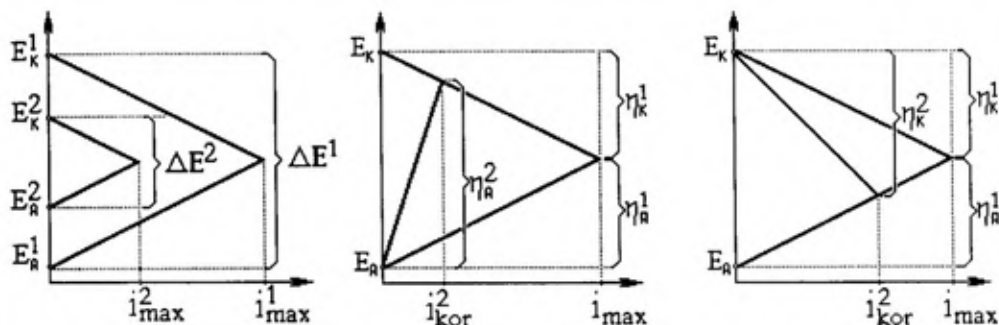
$$i_{kor} = \frac{\Delta E_R}{R_m + R_e} = \frac{E_{R,K} - E_{R,A}}{R_m + R_e} = \frac{\Delta E^0 - \eta_K - \eta_A}{R_m + R_e} \quad (1)$$

gde je:

- i_{kor} – gustina struje korozionog sprega;
- ΔE_R – radni napon sprega;
- ΔE^0 – elektromotorna sila sprega;
- R_m – otpornost metalnog dela strujnog kruga;
- R_e – otpornost elektrolita;
- $E_{R,K}$ – radni potencijal katode;
- $E_{R,A}$ – radni potencijal anode;
- η_K – polarizacija katode;
- η_A – polarizacija anode.

Iz jednačine (1) proizilazi da je struja korozije manja ako je manja razlika ravnotežnih potencijala (slika 3a), ako su manje anodne i katodne polarizacije (slika 3b i v) i ako su manji otpori metalnog i elektrolitičkog dela strujnog kruga. Maksimalna struja se postiže kada otpor strujnog kola padne na nulu. Takve su okolnosti približno ostvarene pri koroziji mikrosprega i submikrosprega u elektrolitima visoke provodljivosti. Pri toj maksimalnoj brzini korozije katodni i anodni potencijali su jednaki. Uticaji nekih faktora na brzinu elektrohemijske korozije prikazani su na slici 3.

Brzina korozije je veća ako je veća razlika ravnotežnih potencijala, a manja otpornost elektrolita. Ako elektrolit ima dobru provodljivost onda će manje plemenitiji metal ravnomernije korodirati po čitavoj površini. Nasuprot tome, u slučaju elektrolita slabe provodljivosti otpor elektrolita raste od mesta kontakta



Sl. 3 – Dijagram potencijal-struja korozionog sprega

dva metala, pa manje plemenitiji metal najintenzivnije korodira na mestu dodira.

Ukoliko se na nekoj konstrukciji ili opremi moraju kombinovati razni metali, odnosno legure koje će biti u kontaktu s elektrolitom, treba odabrati optimalan sastav u korozionom pogledu. Pre svega, treba izbegavati kontakt metala s velikom međusobnom razlikom potencijala; na primer, kontakt anodnog cinka, aluminijuma i ugljeničnog čelika s katodnim bakrom ili mesingom. Ako je takav kontakt neizbežan, treba birati katodne metale na kojima je velika prenapetost za izdavanje vodonika ili redukciju kiseonika ili birati anodne metale koji se pod istim okolnostima pasiviraju. Ukoliko dva metala u nekom elektrolitu imaju isti potencijal, za spajanje sa plemenitijim metalom povoljniji je onaj metal koji je skloniji polarizaciji.

Konstruktor, takođe, mora voditi računa o odnosu anodnih i katodnih površina u korozionom spregu, jer se korozija odvija samo na anodnim (manje plemenitim) površinama. Zato su opasni korozioni spregovi malih anodnih, a velikih katodnih površina, kao u slučaju limenih konstrukcija koje su spojene zavarivanjem neplemenitijim elektrodama,

zakivanjem ili vijcima od neplemenitog metala.

Uticaj oblika konstrukcije i položaja elemenata u konstrukciji

Oblik konstrukcije bitno utiče na njenu korozionu postojanost. Koroziji su manje podložne jednostavne konstrukcije čiji oblik isključuje mogućnost sakupljanja i zadržavanja vlage, čestica soli, prašine i drugih nečistoća. U tom pogledu su najpovoljnije konstrukcije koje se sastoje od profila kružnog preseka. Takvi profili ravnomernije korodiraju, imaju najmanju dodirnu površinu s elektrolitom, jednostavni su za održavanje i omogućuju bolju zaštitu od korozije. U atmosferskim uslovima površine takvih konstrukcija se brže suše i zato manje korodiraju.

Konstrukcije se teže održavaju ako su kutijastog preseka i imaju puno uglova, šupljina i zazora ili delova sa spojevima metal-drvo, metal-tekstil i metal-koža. Takvi delovi omogućuju duže zadržavanje vlage i nečistoća na svojoj površini, pa zato i brže podležu koroziji.

Oblik konstrukcije utiče i na zaštitna svojstva stvorenog premaza. Naime, u

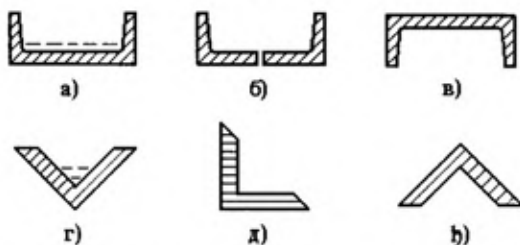
procesu obrazovanja premaza, za vreme sušenja, u premazu se javljaju unutrašnja naprezanja, koja uzrokuju smanjenu debljinu premaza na oštrim ivicama. Zato se, radi dobijanja premaza ravnomernije debljine, pre premazivanja oštre ivice na predmetima obaraju, a pregibi ublažavaju.

Pored oblika na korozionu postojanost konstrukcije utiče i položaj elemenata u konstrukciji.

Položaj elemenata u konstrukciji treba da bude takav da sprečava zadržavanje vlage, prašine i ostale nečistoće, kao i da omogući lako održavanje. Ukoliko se na nekom elementu konstrukcije iz konstrukcionih razloga ne može sprečiti zadržavanje vode, treba napraviti specijalne otvore i kanale za oticanje vode ili promeniti njegov položaj (slika 4).

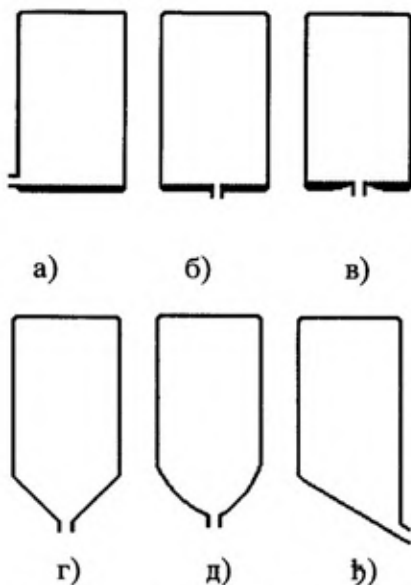
Kod rezervoara i drugih posuda za agresivne elektrolite koroziona postojanost se poboljšava pogodnim oblikovanjem unutrašnjih površina i položajem ventila radi lakšeg oticanja rastvora i čišćenja posuda (slika 5). Posude i otvori za ispuštanje tečnosti iz posuda moraju imati takav oblik i položaj da omogućuju potpuno pražnjenje posude, jer preostali elektrolit, pogotovo ako je agresivan, uzrokuje ubrzanu koroziju [4, 5].

Izmenjivači toplote i drugi prenosnici toplote treba da budu tako konstruisani



Sl. 4 – Loša i dobra rešenja za vodoravne čelične nosače:

a, g – loša zbog zadržavanja vode;
b, v, d, d – dobra, nakon postavljanja otvora ili promene položaja



Sl. 5 – Loša (a, b, v) i dobra (g, d, d) rešenja položaja otvora na rezervoarima

da obezbede podjednake gradijente temperature. Nejednaka raspodela temperature dovodi do pojave termogalvanskog sprega u kojem korodiraju delovi koji su na višoj temperaturi. Nadalje, na pregrejanim mestima može doći i do naponske korozije.

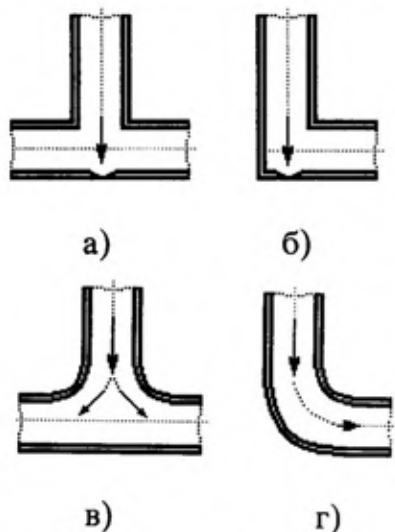
Izborom oblika i položaja elemenata potrebno je, u što većoj meri, omogućiti pristupačnost svim površinama radi lakšeg:

- oticanja vode i sušenja površina vizuelnog pregleda i drugih vrsta kontrole;
- nanošenja i obnove premaza i drugih prevlaka;
- čišćenja i podmazivanja;
- popravljanja i zamene delova.

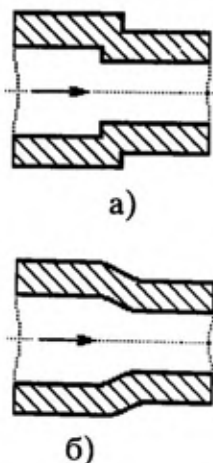
Koroziona postojanost protočnih sistema zavisi od načina kretanja agresivnog fluida i rasporeda elemenata u konstrukciji. Laminarni tok fluida omogućuje ravnomernu koroziju i stvaranje zaštitnog

sloja, a turbulentno kretanje dovodi do razaranja sloja čvrstog produkta korozije i bržeg razaranja metala.

Pri konstruisanju protočnih sistema treba poznavati brzinu kretanja fluida, koja se mora smanjiti na mestima dotoka i sužavanja protočnog sistema. Kod cevovoda treba izbegavati naglu promenu smeru kretanja fluida i promenu pritiska (slika 6), kao i pojavu turbulencije, što



Sl. 6 – Loša (a, b) i dobra (v, g) rešenja delova protočnih sistema



Sl. 7 – Loše (a) i dobro (b) rešenje pri smanjenju preseka cevi

uzrokuje eroziju i kavitaciju. Pri velikim brzinama promena pravca kretanja dovodi do korozije. Radi toga treba izbegavati upotrebu T-priključaka kod cevi, a isto tako i upotrebu cevi sa malim radijusom krivine [4, 5].

Pri spajanju cevi treba izbegavati naglo smanjenje preseka cevi, jer to može dovesti do turbulencije i udarnog napada (erozione korozije) na mestu naglog smanjenja preseka (slika 7).

Oblikovanje delova, njihovo spajanje i montažu u velikoj meri otežava povećanje dimenzija konstrukcija zbog pojave korozije. Konstruktori to obično čine zbog nepoznavanja brzine procesa korozije i zbog nepoverenja u kvalitetno izvođenje zaštite. Povećanjem dimenzija, tj. predimenzioniranjem konstrukcije troši se mnogo više materijala. Racionalnim konstruisanjem može se uštedeti i do 30% konstrukcionog materijala, smanjiti troškovi održavanja, povećati brzina i kapacitet transportnih sredstava, što je sa ekonomske strane i te kako važno.

Korozija se može pojaviti i naknadno, iako su pri projektovanju preduzete sve mere sigurnosti. Na primer, do korozije može doći usled preopterećenosti postrojenja radi boljeg iskorišćenja kapaciteta i povećanja rentabilnosti. Takođe, i razne rekonstrukcije mogu ubrzati proces korozije.

Uticao tehnologije izrade

Tehnologija izrade u mnogim slučajevima utiče na korozionu postojanost elemenata i čitave konstrukcije. Od tehnologije izrade (livenje, plastična deformacija) zavisi struktura, tekstura i stanje površine metala, a potrebno je birati onaj tehnološki proces izrade koji daje proizvode homogenije strukture i teksture, sa što manje napetosti i hrapavosti površine.

Na korozionu postojanost, takođe, deluju i postupci toplotne obrade (kaljenje i žarenje), kao i postupci površinske obrade (peskarenje, brušenje i poliranje) kojima se podvrgavaju već oblikovani delovi i sklopovi.

Toplotnom obradom vrši se plastična deformacija i menjaju fizičko-mehaničke karakteristike metala zbog promene strukture i hemijskog sastava. Zato se nakon obrade kod nekih materijala pogoršava koroziona postojanost, koja se najčešće manifestuje kao naponska ili interkristalna korozija. Tako, na primer, pri zagrevanju duraluminijuma u temperaturnom području između 100 i 480°C dolazi do intergranularnog izlučivanja CuAl_2 , koje uzrokuje sklonost prema interkristalnom razaranju. Međutim, ova pojava se ne opaža ako se zagrevanje vrši do 100°C. I u ovom slučaju stvara se, takođe, intergranularno jedinjenje CuAl_2 , ali se ono izlučuje veoma sporo i ravnomerno raspoređuje u zrnima legure povećavajući čvrstoću i tvrdoću duraluminijuma.

Interkristalnoj koroziji podložni su i nerđajući čelici kod kojih dolazi do izlučivanja hrom-gvožđa karbida sa 70–90% hroma i pojave područja osiromašenih hromom.

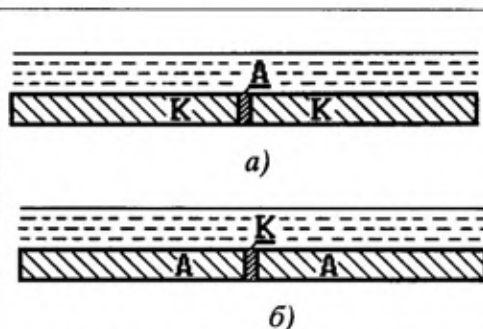
Znatne napetosti u metalima nastaju pri oblikovanju deformacijom, pri zavarivanju i pri izvođenju nekih vrsta površinske obrade. U prisustvu odgovarajućeg korozionog agensa stvorene napetosti se manifestuju u obliku pukotina. Kod mesinganih predmeta naponska korozija se pojavljuje na hladno vučenom i neodžarenom materijalu sa zaostalim napetostima. Ove napetosti mogu se ukloniti zagrevanjem predmeta na 275–350°C u trajanju od jednog sata ili nekim postupcima mehaničke obrade (udaranjem čekićima,

obrada u rotacionim bubnjevima za sitne predmete, itd.).

Uticaj postupka spajanja elemenata

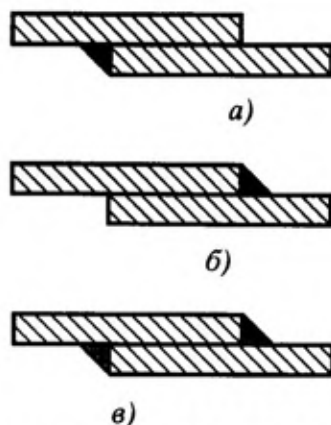
Na korozionu postojanost utiče i način spajanja delova. Najčešći postupak je zavarivanje koje treba izvesti elektrodom koja ima elektropozitivniji potencijal od metala koji se spaja. U takvom slučaju zavareno mesto neće korodirati pri kontaktu konstrukcije sa elektrolitom (slika 8).

Zavarivanje treba izvesti pažljivo, da ne bi nastala porozna mesta ili površin-



Sl. 8 – Loše (a) i dobro (b) rešenje spajanja metala zavarivanjem:

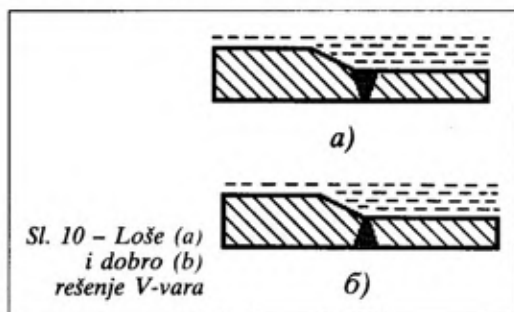
A – anodni deo površine; K – katodni deo površine



Sl. 9 – Loša (a, b) i dobra (v) rešenja preklapnog zavarivanja

ske promene materijala. Zavarena mesta moraju biti što ravnije izvedena. Potrebno je izbegavati tačkasto i jednostrano preklopno zavarivanje, jer se na tim mestima ne mogu izbeći procepi (slika 9).

Zavarivanje treba da bude neprekidno, a ne isprekidano. Ako je u pitanju V var bolje je da on bude okrenut korenom, tj. užom stranom prema korozionoju sredini, jer je na širem delu vara veća heterogenost materijala (slika 10).



Propisivanje tehnologije zaštite od korozije

Gotovo svi konstrukcioni materijali podložni su koroziji na vazduhu, vodi ili nekoj drugoj korozionoju sredini. Zato je zadatak projektanta da pored optimizacije projektovanog objekta odredi i preventivne mere zaštite metala od korozije, koje moraju biti i ekonomski opravdane.

Postupak zaštite od korozije prvenstveno zavisi od vrste konstrukcionog materijala i karaktera korozione sredine.

Metalne površine mogu se zaštititi od atmosfarske korozije primenom zaštitnih prevlaka (metalne i nemetalne) i obradom korozione sredine, a koja se sastoji u uklanjanju agensa korozije iz korozione sredine.

Za zaštitu u vodi i zemlji primenjuje se elektrohemijska zaštita u kombinaciji sa organskim premazima.

Zaštita metala slojem nekog drugog materijala najpoznatiji je i najrašireniji metod zaštite od korozije. Za sve prevlake je karakteristično da štite metal od korozije na taj način što ga izoluju od agresivnog dejstva okoline, što se postiže pomoću prevlaka koje nisu porozne i koje potpuno prekrivaju metal.

U odnosu na osnovni metal prevlaka u elektrolitu može biti katodnog ili anodnog karaktera.

Za dobijanje katodnih prevlaka koriste se metali koji se u elektrolitu ponašaju kao katode prema osnovnom metalu. To su, najčešće, prevlake na bazi plemenitijih metala ili onih koji se lako pasiviraju. Katodne prevlake koriste se za zaštitu od korozije osnovnog metala ako su kompaktne. U protivnom, katodne prevlake ne pružaju sigurnu zaštitu na oštećenim mestima ili na mestima gde se nalaze pore. Poroznost je osnovni nedostatak nekih metalnih prevlaka, jer ima za posledicu stvaranje mikrokorozionih spregova, koji zbog kombinacije velike katodne površine s mikroskopski malim anodnim površinama dovodi do koncentrisanog korozionog napada na osnovni metal (slika 11). Praktičan primer korozije u porama susreće se kod čeličnih predmeta zaštićenih prevlakom od hroma. Na površinama takvih predmeta javljaju se tačkice rđe koje kvare izgled i potkapaju tanak zaštitni sloj hroma. Kao posledica korozionog napada javlja se ljuštenje prevlake. Zaštitna moć katodnih prevlaka



Sl. 11 – Šematski prikaz korozije gvožđa ispod hromne prevlake

može se povećati primenom višeslojnih prevlaka metala različitih fizičko-mehaničkih osobina. Kod zaštite čelika najčešće se prvo nanosi sloj bakra, zatim nikla i na kraju hroma.

Anodne prevlake su sigurnije od katodnih, jer njihova poroznost ili oštećenje ne izazivaju koroziju osnovnog metala. Primer takvog ponašanja susreće se kod čelika zaštićenog prevlakom od cinka. Cink je elektronegativniji od gvožđa i zato, pri atmosferskom dejstvu ili pri uranjanju u vodu korodira, dok je gvožđe zaštićeno. Umerena poroznost pocinkovane prevlake može se tolerisati, jer je metal na dnu pora elektropozitivniji (slika 12).



Sl. 12 – Šematski prikaz korozije anodne prevlake

Pored prirode metala, i koroziona sredina određuje da li će neka prevlaka biti katodna ili anodna. Na primer, olovo se u rastvorima neorganskih kiselina i soli ponaša kao katoda prema gvožđu, a u rastvorima organskih kiselina kao anoda.

I kalajna prevlaka može biti anodna ili katodna prema čeliku. Njen polaritet zavisi od prisustva kiseonika i koncentracije metalnih jona u rastvoru.

Zaključak

Za obezbeđenje otpornosti mašina, uređaja, aparata i opreme od dejstva korozione sredine važnu ulogu imaju postupci zaštite od korozije preduzeti u fazi projektovanja, odnosno konstruisanja.

Korozija se može usporiti ili potpuno sprečiti raznim konstrukcionim i tehnološkim merama. Te mere se moraju uskladiti s funkcionalnim, estetskim i ekonomskim zahtevima.

Koroziona otpornost proizvoda od metala može se ostvariti na sledeće načine:

- pravilnim izborom konstrukcionih materijala i postupaka njihove zaštite od korozije. Pri primeni različitih metala njihov izbor mora biti povoljan i u korozionom pogledu. Potrebno je izbegavati kontakt metala koji se znatno razlikuju po ravnotežnim potencijalima, ukoliko se ne polarizuju u dotičnoj sredini;

- iznalaženjem najpogodnijeg konstruktivnog oblika elemenata i konstrukcije. Oblik i položaj pojedinih elemenata podesiti tako da se smanji njihov afinitet za koroziju ili olakša sprovođenje postupka zaštite;

- pogodnim spajanjem raznorodnih metala na način koji isključuje kontaktnu koroziju, pojavu korozije u zazorima i tačkastu koroziju;

- obradom površine metala tako da imaju malu hrapavost;

- nanošenjem premaznog sredstva ili izolacionog materijala između metala različite plemenitosti;

- stvaranjem kompaktnog zaštitnog sloja od drugog materijala.

Literatura:

- [1] Mladenović, S.: Korozija materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1978.
- [2] Sebenji, F., Hakl, L.: Korozija metala, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
- [3] Esih, I., Dugi, Z.: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [4] Mladenović, S.: Dopustivi i nedopustivi kontakti, Zaštita materijala organskim, metalnim i konverzionim prevlakama, 15. savetovanje, Savez inženjera i tehničara za zaštitu materijala Srbije, 1997.
- [5] Zrunek, M.: Protivkorozionaja zaštita metaličeskih konstrukcij, Mašinstroenie, Moskva, 1984.

Mr Branko Božić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnogeografski institut VJ,
Beograd

KOORDINATNI SISTEMI, GEODETSKI DATUMI I TRANSFORMACIJA KOORDINATA

UDC: 528.236:623.647

Rezime:

Rad se bavi problemom definisanja koordinatnih sistema i geodetskih datuma dela Zemljine površi. Posebno se ističe značaj problema definisanja odnosa između lokalnog datuma u kojem su prikazane karte državne teritorije i geocentričnog globalnog datuma u kojem se obavljaju GPS merenja, s obzirom na to da je u Vojski Jugoslavije ovaj sistem pozicioniranja sve značajniji.

Ključne reči: koordinatni sistem, geodetski datum, transformacija.

COORDINATE SYSTEMS, GEODETIC DATUMS AND COORDINATE TRANSFORMATION

Summary:

This article makes an effort to define some types of coordinate systems and geodetic datums. Also it points out the importance of making connection between the local datum in which all state maps are prepared and the geocentric datum in which GPS works.

Key words: coordinate system, geodetic datum, transformation.

Uvod

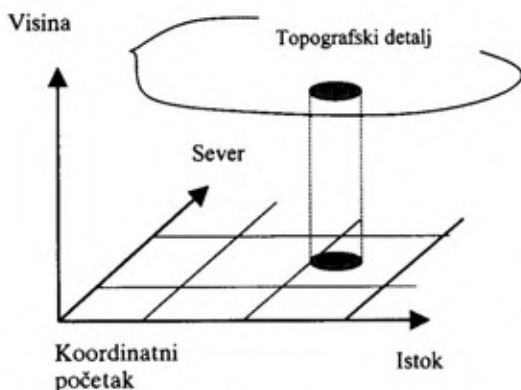
Zemljina površ ima veoma kompleksnu strukturu. Čine je i visoki planinski venci, i duboka okeanska prostranstva. Prikaz takve jedne složene površi zahteva definisanje referentnog modela koji bi bio u stanju da uvaži sve postojeće neregularnosti takve topografske površi. Ujedno, takav model morao bi biti i dovoljno jednostavan i lak za primenu. Osim toga, referentni model mora da zadovolji i sledeća dva uslova: mora uključiti koordinatni sistem koji će omogućiti jednoznačno pozicioniranje elementa geografskog prostora i mora biti

povezan sa fizičkom realnošću, tako da je njegova upotreba logična.

Zemlja kao ravna površ

Ukoliko je ravan kartiranja malih dimenzija (na primer 10 km^2), kao pogodan referentni model koristi se trodimenzionalni (3D) sistem. Horizontalne ose 3D modela usmerene su u pravac severa i istoka, horizontalnu ravan definiše nivo mora (fizički prepoznatljiva ravan), dok je visina (Z) upravna na horizontalnu ravan i poklapa se sa pravcem gravitacione sile.

Položaji pojedinih elemenata ortogonalno se projektuju na horizontalnu ra-

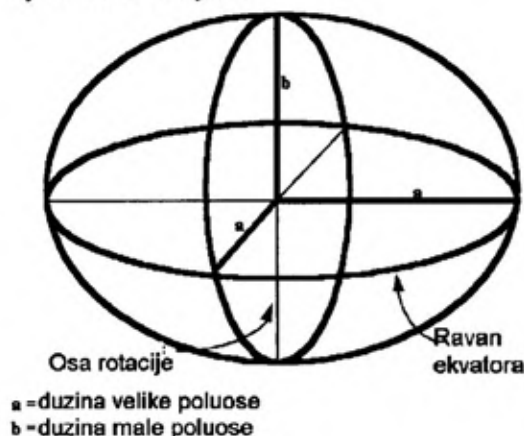


Slika 1

van, omogućujući jednoznačnu matematičku identifikaciju njihovih međusobnih položaja. Visina svakog topografskog detalja definisana je vertikalnim rastojanjem u odnosu na horizontalnu ravan. Orijentacija sistema u odnosu na pravac severa i prihvatanje nivoa mora za horizontalnu ravan čini ovaj sistem fizički logičnim.

Zemlja kao zakrivljena površ

Sa povećanjem površi premera, model ravne Zemlje ne bi bio adekvatan, zbog zakrivljenosti Zemlje i strukture njene unutrašnjosti.

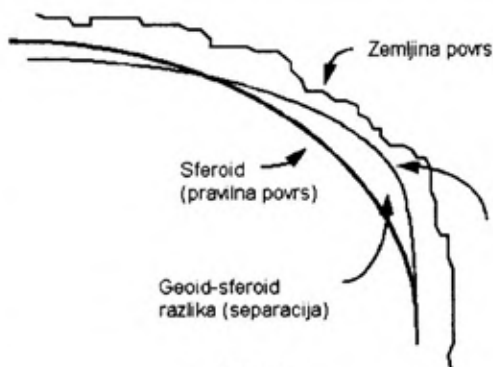


Slika 2

Zakrivljenost Zemlje predstavlja poseban problem koji direktno utiče na promenu modela. Izbor modela sa zakrivljenom površi je važan i mora ispuniti dva kriterijuma: mora biti prilagođen stvarnom obliku Zemlje i jednostavan za upotrebu.

Najpovoljnija figura koja bi adekvatno služila postavljenim zahtevima jeste sferoid (elipsoid), koji predstavlja figuru koja se dobija rotiranjem elipse oko svoje male ose (slika 2).

Drugi važan problem vezan je za Zemljinu unutrašnjost i nije toliko očigledan kao prvi. Zemljina unutrašnjost nije homogena i varira od mesta do mesta.



Slika 3

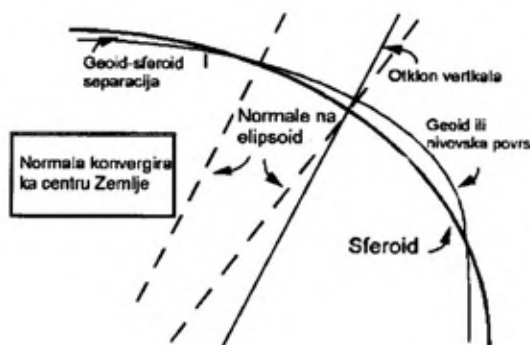
Varijacije u gustini i rasporedu Zemljinih masa su značajne. Takođe, značajne su i neregularnosti izazvane visinskim razlikama (planina i dubina mora). Takve varijacije vode ka anomalijama unutar Zemljinog gravitacionog polja.

Model površi nivoa mora moguće je matematički definisati. Međutim, takav model je vrlo kompleksan i nije pogodan za prikazivanje geografskih položaja detalja. Treba naglasiti, da nivo mora ne koincidira sa matematički definisanom površi sferoida (slika 3).

Na površima malih dimenzija, horizontalnu ravan koja sadrži ose usmerene

ka severu i istoku moguće je pozicionirati tako da koincidira sa površi mora. Kod zakrivljenog modela to nije moguće postići upravo zbog neregularnosti morske nivovske površi. Radi toga se površ elipsoida postavlja tako da najbolje reprezentuje nivovsku površ mora. Međutim, nije moguće idealno poklopiti dve površi, što izaziva i određene posledice (ilustrovane na slici 4).

Jedna od glavnih razlika izazvana je nepoklapanjem normale i pravca vertikalne (upravna na nivovsku površ). Pravac vertikalne koincidira sa pravcem gravita-



Slika 4

cione sile u tački posmatranja. To je linija duž koje predmet pada pri ispuštanju sa neke visine. Vertikalna je veoma važna pri merenju sa konvencionalnim geodetskim instrumentima (teodoliti, niveliri). Ti instrumenti se postavljaju tako da njihova osa rotacije koincidira sa ili je upravna na pravac vertikalne, što ima za posledicu da se svi uglovi mere u odnosu na pravac vertikalne.

Sa druge strane, normala na elipsoid predstavlja liniju duž koje se projektuju topografski detalji na sferu. To je linija koja se koristi pri obradi opažanja izvedenih na nekoj tački terena. Kod modela kod kojih se Zemlja zamenjuje sa ravni

ove dve linije se poklapaju. Kod modela gde se uzima u obzir zakrivljenost Zemlje, one se očigledno ne poklapaju, pa se mereni uglovi moraju korigovati za taj uticaj.

Kao referentne površi za izražavanje visina tačaka koriste se površ nivoa mora (uslovno rečeno geoid) i sferoid. Kada se zanemaruje zakrivljenost Zemlje, dve površi koincidiraju, u suprotnom, ukoliko se zakrivljenost uzima u obzir, one su razdvojene, tj. ne poklapaju se.

U većini zemalja kao referentna površ za visine uzima se srednji nivo mora, jer se površ može fizički identifikovati.

Jugoslovenski vertikalni datum (JVD) jeste primer takvog visinskog sistema.¹ Sferoidne visine (visine koje se odnose na površ sferoida) u današnje vreme, pojavom GPS, postaju sve popularnije. Do skoro, njihovo određivanje je bilo komplikovanije u odnosu na visine čija je referentna površ morska.

Dužina između površi sferoida i geoida naziva se geoid-sferoidnom razlikom ili separacijom, odnosno geoidnom undulacijom. Ukoliko je ona poznata, nadmorska visina se može pretvoriti u sferoidnu i obrnuto. Postoji nekoliko načina da se izračuna vrednost undulacije, a svi su matematički veoma složeni i mogu se naći u geodetskoj literaturi.

Kod modela gde se zanemaruje zakrivljenost Zemlje, projekcione linije su međusobno paralelne. Kod modela gde se zakrivljenost mora uzeti u obzir, normale konvergiraju ka centru sferoida (slika 4), pa dužinu merenu na površi Zemlje treba skratiti (pre njenog korišćenja) pri računanjima na sferoidu. Vrednost skraćivanja zavisi od visine merene

¹ JVD se uslovno može tako nazvati, jer visine tačaka koje su u upotrebi kod nas nisu korigovane za uticaj gravitacije, a nisu ni usklađene u okviru jedinstvenog sistema.

linije iznad sferoida i iznosi približno oko 1 mm po kilometru za svakih 6,3 m visine.

Geodetski datum

Referentni model kod kojeg se uzima u obzir zakrivljenost Zemlje služi kao geodetski datum. Karakteristike geodetskog datuma su:

- predstavlja pojednostavljeni matematički prikaz veličine i oblika Zemlje,
- ima formu sferoida koji je dobijen rotacijom elipse oko svoje kraće ose,
- ima univerzalni značaj, u premeru i navigaciji, a služi kao osnova za kartiranje i izgradnju geografskog informacionog sistema (GIS). Površ sferoida postavljena je tako da najbolje aproksimira nivo mora („geoid“). Izohipse na kartama obično pokazuju nadmorske visine. Međutim, njihov položaj mora poštovati zakone kartiranja na površ sferoida.

Geodetski datumi mogu biti lokalni i geocentrični.

Lokalni geodetski datum jeste datum koji najbolje aproksimira veličinu i oblik jednog dela Zemljine kugle (nivovske površi). Centar takvog sferoida ne poklapa se sa centrom mase Zemlje (slika 5). Do nedavno, većina prostornih sistema pojedinih zemalja odnosila se na lokalne geodetske datume.

Jugoslovenski geodetski datum² (JGD) jeste primer lokalnog datuma. Primenjeni sferoid (čini ga elipsoid Besela iz 1841. godine) približno aproksimira nivovsku površ naše teritorije (bolje rečeno teritorije SFRJ).

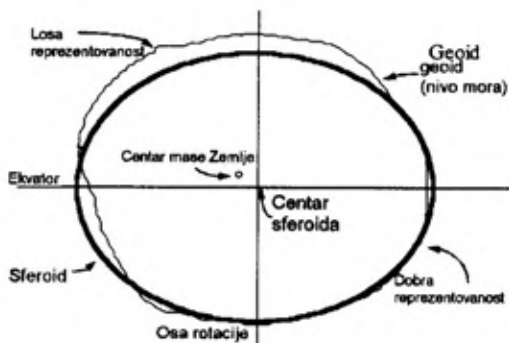
Geocentričnim datumom naziva se onaj datum koji najbolje aproksimira veličinu i oblik Zemlje u celini. Centar

sferoida koincidira sa centrom mase Zemlje (slika 6).

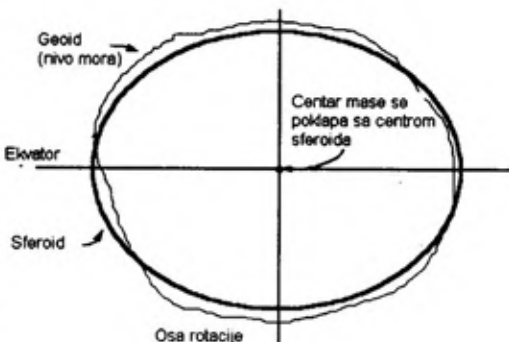
Od geocentričnih datuma ne zahteva se da dobro aproksimiraju pojedine delove Zemljine površi. Njihova je primena globalne prirode, pa se koriste u projektima globalnog karaktera. Jedan od takvih projekata jeste i Sistem globalnog pozicioniranja (GPS – Global Positioning System), koji koristi geocentrični datum radi izražavanja položaja. Nasuprot datumu koji koristi GPS u Rusiji se pri korišćenju njihovog sistema GLONASS (pandam GPS) koristi sasvim različit geocentrični datum.

U svakom geodetskom datumu mogu se identifikovati dva koordinatna sistema: geodetski i prostorni.

Geodetski koordinatni sistem jeste sistem koji je prirodno vezan za sferoid.

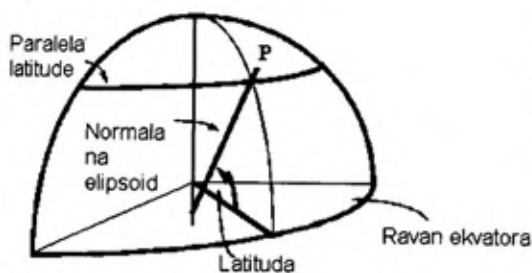


Slika 5

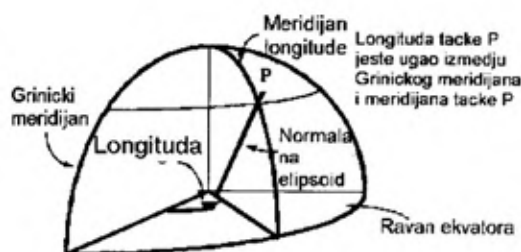


Slika 6

² Kao i kod visinskog datuma, mora se istaći da je JGD definisan sa neadekvatnom tačnošću i kao takav je sve manje upotrebljiv u kombinaciji sa geocentričnim datumom koji je preciznije definisan.

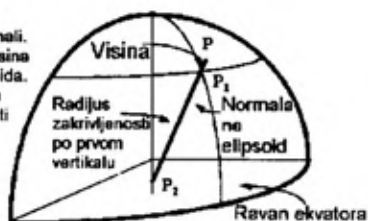


Slika 7

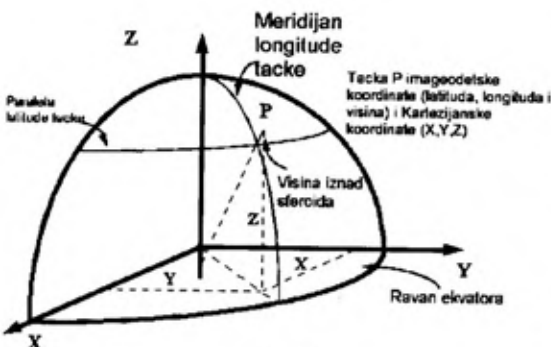


Slika 8

Tačke P1 i P2 leže na elipsoidnoj normalni. Dužina PP1 jeste visina tačke P iznad sferoida. Dužina P1-P2 jeste radius zakrivljenosti po prvom vertikalu



Slika 9



Slika 10

U njemu se položaji tačaka opisuju latitudom (geodetskom širinom – ugao između normale u tački P i ravni ekvatora),

longitudom (geodetskom dužinom – ugao između griničkog meridijana i meridijana tačke P) i sferoidnom visinom (rastojanje od površi sferoida do tačke P (slike 7, 8 i 9).

Za datum je moguće vezati i prostorni (Dekartov 3D ili 2D pravougli – Kartezijanski) koordinatni sistem. Osa X leži u ravni ekvatora i usmerena je u pravcu griničkog meridijana (longituda = 0), Y osa se nalazi u ravni ekvatora i usmerena je u pravcu istoka (longituda = 90°), dok je Z osa paralelna sa osom Zemljine rotacije (latituda = 90°), (slika 10).

Konverzija iz geodetskih koordinata u pravouglo koordinatne izvodi se uz pomoć sledećih izraza:

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \\ Y &= (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda \\ Z &= ((b^2/a^2) \cdot N + h) \cdot \sin\varphi \end{aligned} \quad (1)$$

gde je:

X, Y, Z – pravouglo koordinatne tačke,

φ , λ – latituda i longituda tačke,

h – sferoidna visina tačke,

a, b – dužina velike i male poluose sferoida,

N – radius zakrivljenosti po prvoj vertikali u datoj tački, iznosi:

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi}} \quad (2)$$

Konverzija iz pravouglih koordinata u geodetske koordinatne izvodi se po sledećim izrazima:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctan((Z + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3\theta)/(p - e'^2 \cdot a \cdot \cos^3\theta)) \\ \lambda &= \arctan(Y/X) \\ h &= (p/\cos\varphi) - N \end{aligned} \quad (3)$$

gde je:

e^2 – prvi brojni ekcentricitet,

e'^2 – drugi brojni ekcentricitet oblika

$$\begin{aligned} e^2 &= (a^2 - b^2)/a^2 \\ e'^2 &= (a^2 - b^2)/b^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \theta &= \arctan(Z \cdot a/p \cdot b) \\ p &= \sqrt{X^2 + Y^2} \end{aligned} \quad (5)$$

Koordinate u ravni projekcije

Treći koordinatni sistem definiše se u okviru kartografske projekcije, koja se koristi radi preslikavanja zakrivljene površi sferoida u ravan, odnosno kartu. Pri preslikavanju dolazi do određenih deformacija koje se mogu izračunati. U zavisnosti od karaktera deformacija postoji nekoliko vrsta projekcija. Svaka od postojećih projekcija može se implementirati na bilo kom elipsoidu. Jedna od najčešće primenjivanih je Poprečna Merkatorova projekcija, koja se naziva i Gaus-Krugerovom projekcijom. (Opširnije o formulama vezanim za navedene projekcije videti u literaturi [1].)

Lokalni i geocentrični geodetski datumi

Definisanje geodetskog datuma zahteva izvršavanje značajnih geodetskih terenskih merenja. Mereni podaci moraju obuhvatiti satelitska, gravimetrijska i astronomska merenja, kao i merenja uglova (triangulacija) i dužina (trilateracija).

LOKALNI DATUM SAVEZNE REPUBLIKE JUGOSLAVIJE

Do pre nekoliko godina definisanje lokalnih datuma uveliko je zavisilo od astronomske opažanja. Ona su bila nuž-

na radi određivanja latituda i longituda određenog broja trigonometrijskih tačaka raspoređenih na teritoriji premera. Latituda i longitude ostalih tačaka mreže računane su pomoću uglovnih i dužinskih merenja, uz uvažavanje odabranog sferoida, polazeći od neke početne tačke koja se naziva ishodištem. Dva skupa koordinata neće biti identična, zbog neregularnosti Zemljinog gravitacionog polja (otklon vertikalala). Dobijene razlike služe za analizu i računanje popravljenih vrednosti koordinata, a iteracija se nastavlja sve dok razlike ne budu u željenim granicama, a otkloni vertikalala minimalni. Nakon toga, definisanjem latituda, longituda i sferoidne visine ishodišne tačke, kao i parametara elipsoida, uspostavlja se lokalni datum.

Geodetski datum je matematički koncept a na jednoj površi moguće je definisati više datuma. Idealno, unutar jedne države poželjno bi bilo definisati samo jedan datum, tako da se svi podaci odnose na jedan koordinatni sistem. Međutim, u praksi se retko sreće samo jedan datum. Važno je shvatiti da koordinatne vrednosti neke tačke zavise od odabranog datuma. One su različite u dva različita datuma i zavise od:

- parametara odabranog elipsoida,
 - položaja centara dva elipsoida,
 - neparalelnosti koordinatnih osa
- dva datuma, kao i različito definisanih razmera između tačaka unutar njih.

Položajna mreža

Zainteresovani korisnik podataka geografskog prostora u SRJ mora da se susretne sa položajnim određenjem detalja tog prostora, unutar nekog koordinatnog sistema. U smislu prethodnih definicija, neupućeni korisnik bi pomislio da je naš lokalni datum definisan, a da je

pitanje globalnog, geocentričnog, samo stvar vremena. Nažalost, stvari ne stoje tako, odnosno, teško da će se u stručnoj geodetskoj literaturi neko usuditi da upotrebi izraz jugoslovenski datum. On ima obeležja lokalnog datuma, ali je, na nesreću, njegovo uspostavljanje trajalo suviše dugo, uz neadekvatan broj i kvalitet informacija (merenja) kojima bi se strogo odredio. Naša mreža je oslonjena na staru austrougarsku mrežu, odnosno njenu ishodišnu tačku (nedaleko od Beča) čija je tačnost određivanja dovedena u pitanje. Pri obradi merenja nisu uzeta u obzir gravimetrijska merenja (otkloni vertikalna), tako da je čitava mreža pomerenjena više od 19 sekundi (oko 600 m) ka istoku i neravnomerno. Osim nedoslednosti u definisanju datuma, mreža je razvijana u nedopustivo dugom periodu (1900–1951), a merenja su izvedena sa instrumentima koji odavno pripadaju istoriji. Međutim, iako je još pedesetih godina ukazano na sve njene slabosti i uprkos stabilizaciji tačaka i izvršenom merenju u novoj astrogeodetskoj mreži, ni do danas merenja nisu obrađena, a mi se i dalje koristimo koordinatama koje su izračunate dvadesetih godina ovog veka, zahvaljujući ponajviše generalu Stevanu P. Boškoviću, kasnije i akademiku i načelniku Vojnogeografskog instituta.

Analiza tačnosti trigonometrijske mreže 1. reda pokazala je da prosečne položajne greške koordinata tačaka iznose oko 1 m, dok maksimalne vrednosti grešaka idu i do 3 m (Građevinski fakultet, 1995).

Visinska mreža

Radovi na uspostavljanju visinske mreže (vertikalni datum) na ovim prostorima započeti su 1871. godine, kada je bečkom Vojnogeografskom institutu po-

vereno da sprovede precizni nivelman na teritoriji Austro-Ugarske. Nešto kasnije (1899) dva repera na teritoriji Kraljevine Srbije (na Savskom mostu i u Zvorniku) dobijaju visine u odnosu na srednji nivo Jadranskog mora, koji je reprezentovao reper na zgradi finansijske straže u Trstu na molu Sortarijo. Od tog vremena do danas nivelmanska merenja su obavljana u više vremenskih epoha. Tako, od 1905. do 1931. godine, Geografsko odeljenje Glavnog Đeneralštaba srpske vojske izvršava precizni nivelman na teritoriji tadašnje Srbije. Kasnije, od 1931. do 1963. godine, urađen je Prvi nivelman visoke tačnosti (NVT I), a od 1970. do 1973. godine i Drugi nivelman visoke tačnosti (NVT II). Iako su merenja u NVT II završena, zbog raspada Savezne geodetske uprave, sredinom osamdesetih godina, do danas nisu zvanično publikovani rezultati njegove obrade.

Kao i za trigonometrijsku mrežu, na Institutu za geodeziju Građevinskog fakulteta u Beogradu napravljena je analiza visinske mreže u upotrebi, upoređujući je sa preliminarim rezultatima obrade NVT II. Konstatovana je sistematska visinska razlika između dva sistema visina u iznosu od oko 30 cm. Takođe, konstatovano je da su gravimetrijska merenja bila neadekvatna, i da nisu korektno uzete u obzir sve neophodne popravke.

Gravimetrijska mreža

Gravimetrijska merenja se u geodeziji koriste za rešavanje zadataka vezanih za izučavanje oblika i veličine Zemlje, kao i njenog gravitacionog polja (određivanje otklona vertikalna, geoid-sferoidne razlike i sl.). Ovim se merenjima omogućuje redukcija merenih veličina sa fizičke površi Zemlje na određenu referentnu površ (na primer sferoid). Posle niza

pokušaja, tek krajem 1951. godine, najviše zahvaljujući Vojnogeografskom institutu (tadašnji Geografski institut JNA) i Glavnoj geodetskoj upravi FNRJ, otpočeo je sistemski gravimetrijski premer. Uspostavljene su gravimetrijske mreže 1. i 2. reda, osnovna gravimetrijska mreža i određeni broj lokalnih gravimetrijskih mreža. Merenja su započeta 1952. godine i trajala su do osamdesetih godina. Pored toga, mreža je sa četiri tačke (tri u Beogradu i jedna u Zagrebu) povezana u Međunarodnu standardnu gravimetrijsku mrežu – IGSN71 (International Gravity Standardization Network).

GEOCENTRIČNI DATUM SAVEZNE REPUBLIKE JUGOSLAVIJE

Definisanje geocentričnog datuma još je kompleksniji poduhvat i zahteva merenja na svim delovima Zemlje.

Što se tiče geocentričnog datuma SRJ učinjeni su prvi značajni koraci ka tome. Naime, od 2. do 9. septembra 1998. godine, u okviru međunarodne GPS kampanje, na 8 tačaka postojeće državne mreže, sa 8 GPS prijemnika Trimble serije 4400 (prijemnici su vlasništvo VGI i Uprave artiljerije), izvršena su petodnevna dvadesetčetvoročasovna merenja, radi definisanja geocentričnog okvira (okvir = frame – skup tačaka kojima je definisan referentni sistem), kojim se definiše naš geocentrični datum. Merenja su prosledjena međunarodnom centru za obradu GPS rezultata merenja te vrste (Nemačka), a podaci obrade još nisu objavljeni (septembar 1999).

Transformacioni parametri i vrste transformacija

Transformacija koordinata iz jednog datuma u drugi lako se može izvršiti

ukoliko je uspostavljena veza između njih. Pod vezom se podrazumevaju izrazi kojima je opisan model i skup parametara transformacije.

Na osnovu raspoloživih, nezvaničnih i približnih pokazatelja, između lokalnog i geocentričnog SRJ datuma³ postoji znatna razlika (od 200 m do 700 m, u zavisnosti od koordinate). Na osnovu 15 tačaka čije su koordinate bile poznate u oba datuma (jedna četvrtog reda, dve drugog reda i 12 tačaka prvog reda), ocenjeni su transformacioni parametri za prelazak iz geocentričnog datuma ETRS89 (Evropski terestrički referentni sistem za epohu 1989) u lokalni državni koordinatni sistem (lokalni datum) i oni iznose:

– tri translacije:

$$\Delta X = -693,668 \text{ m sa } s = 0,1562 \text{ m}$$

$$\Delta Y = 197,925 \text{ m sa } s = 0,1562 \text{ m}$$

$$\Delta Z = -484,235 \text{ m sa } s = 0,1562 \text{ m}$$

– tri rotacije: (5)

$$\varepsilon(x) = 4,802274'' \text{ sa } s = 0,2923''$$

$$\varepsilon(y) = -1,103256'' \text{ sa } s = 0,4102''$$

$$\varepsilon(z) = -12,755873'' \text{ sa } s = 0,3621''$$

– razmer:

$$f = -9,465992 \text{ ppm sa } s = 1,1136 \text{ ppm}$$

Iako je na osnovu ocene tačnosti parametara transformacije utvrđeno da

³ „SRJ geocentrični datum“ „dobijen“ je na osnovu merenja i obrade Artiljerijske GPS mreže (21 tačka, slika 11) i rezultata merenja na pet permanentnih stanica: Zimmerwald, Wettzell, Graz, Penz i Matera, čije su koordinate definisane u okviru Internacionalnog terestričkog referentnog sistema – ITRF. Nakon obrade izvršena je ocena tačnosti i delimična kontrola pouzdanosti dobijenih podataka (dve dodatne tačke imale su ranije nezavisno određene koordinate u ITRF sistemu). Na osnovu pokazatelja (minimalnih) mogao se izvesti zaključak da je izvršenim merenjima definisan geocentrični datum sa tačnošću od oko 10 cm (Radojčić, 1998).

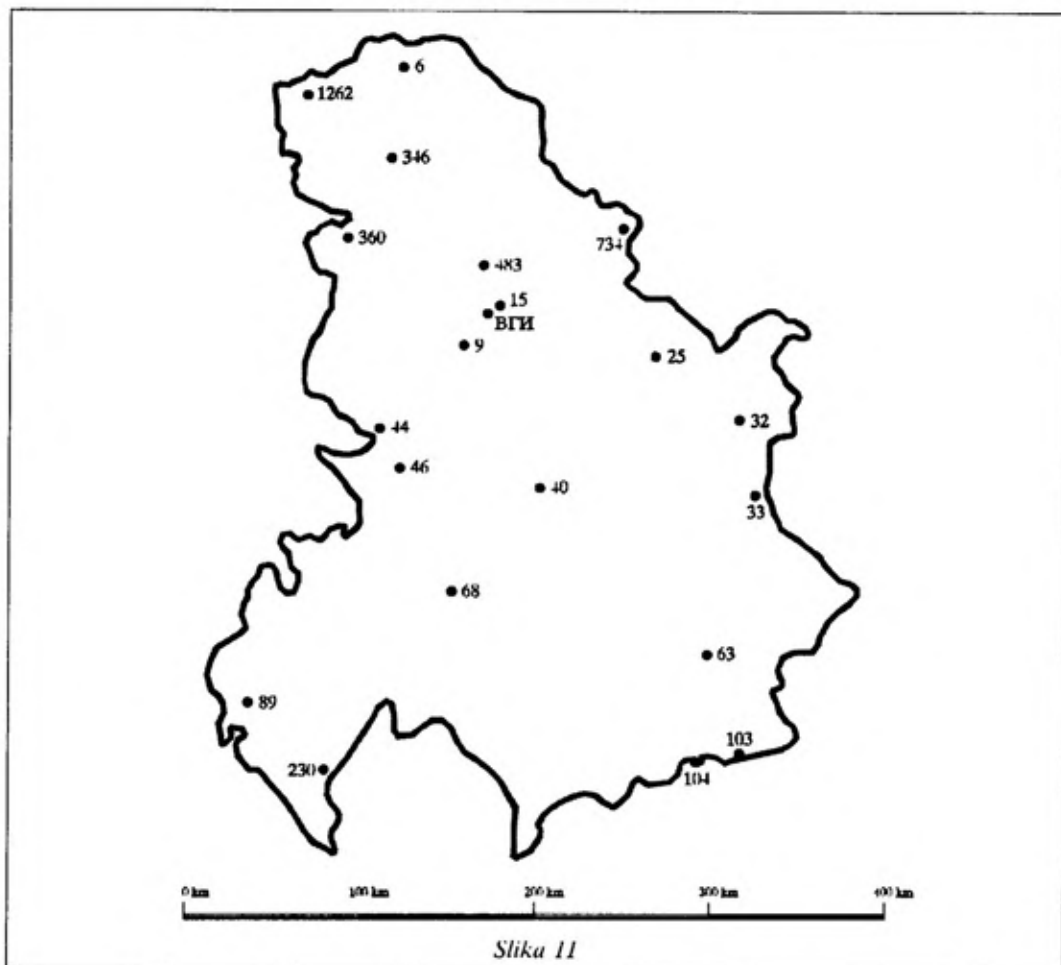
su ocenjeni sa tačnošću do 1 m, analizom jednog ograničenog skupa tačaka, čije su koordinate bile poznate u ETRS89 (4 tačke Artiljerijske mreže i 6 tačaka na makedonskoj teritoriji), utvrđene su vrednosti razlika transformisanih koordinata i koordinata državne mreže u iznosu od oko 2,5 m na našoj, odnosno oko 4 do 6 m na makedonskoj teritoriji. Navedeni pokazatelji jasno ukazuju na slabu definisanost tačaka državne mreže unutar lokalnog datuma, kao i njegovo loše definisanje. Posebno se ističe da su izračunati parametri nezvanični. Zvanične vrednosti mogu se očekivati nakon

obrade rezultata GPS merenja u okviru pomenute mreže od osam tačaka.

Ukoliko su X, Y, Z ose dva datuma paralelne, a faktor razmere identičan, veza između dva datuma reprezentuje se sa tri transformaciona parametra (slika 12).

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta X \\ Y_2 &= Y_1 + \Delta Y \\ Z_2 &= Z_1 + \Delta Z \end{aligned} \quad (6)$$

Ukoliko koordinatne ose nisu paralelne, a razmere različite, obavezno se primenjuje tzv. sedmoparametarska transformacija oblika (slika 13):



$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + f_c \cdot \begin{bmatrix} 1 & e(z) & -e(y) \\ -e(z) & 1 & e(x) \\ e(y) & -e(x) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

gde je:

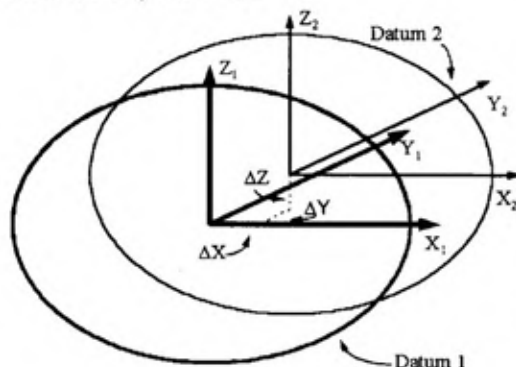
f_c – razlika razmera dva koordinatna sistema,

$e(x)$, $e(y)$ i $e(z)$ – uglovi rotacije koji su pozitivni ukoliko su suprotni od kretanja kazaljke na satu, gledajući ka ishodištu iz pravca pozitivnog smera osa.

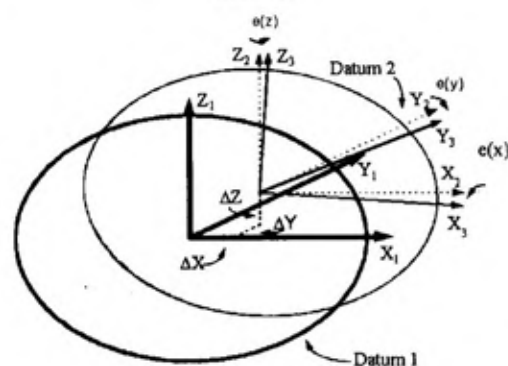
Transformacija koordinata između geocentričnog i lokalnog datuma SRJ

Transformacija koordinata iz datuma 1 (geocentrični) u datum 2 (lokalni) obavlja se po sledećoj proceduri:

– konvertovati geodetske koordinate u datumu 1 u XYZ koordinate u datumu 1 (izrazi 1),



Slika 12



Slika 13

– konvertovati XYZ prostorne koordinate u datumu 1 u XYZ prostorne koordinate u datumu 2 (izraz 7), koristeći parametre transformacije (5),

– konvertovati XYZ prostorne koordinate u datumu 2 u geodetske koordinate u datumu 2 (izrazi 3),

– konvertovati geodetske koordinate u datumu 2 u koordinate u projekciji u datumu 2.

Obrnuta transformacija vrši se promenom znaka transformacionih parametara.

Zaključak

Cilj rada je da korisnicima GPS opreme ukaže na probleme u korišćenju GPS prijemnika i povezivanju rezultata GPS merenja sa postojećim grafičkim ili digitalnim topografskim podlogama. Posebno je istaknuta veza između koordinata tačke u različitim datumima i različitim koordinatnim sistemima. Merenja sa GPS prijemnicima moraju biti svedena na datum na koji se transformacioni parametri odnose. Svako odstupanje od tog principa izaziva greške u računanju i interpretaciji rezultata merenja, što može znatno uticati na realizaciju postavljenih ciljeva. Kod korisnika koji postavljaju visoke zahteve tačnosti, merenje u jedinjenom datumu predstavlja osnov pouzdanosti i garanciju efikasnosti realizacije zadataka.

Literatura:

- [1] Borčić, B.: Gaus-Krigerova projekcija, teorija i primena u državnom sistemu, Geografski institut JNA, 1955.
- [2] Jones, A.: Where in the World are We, department for Environment, heritage and Aboriginal Affairs, Adelaide, South Australia, March 1998.
- [3] Radojčić, S.: Tehnički izveštaj o obradi merenja u artiljerijskoj GPS mreži, Vojnogografski institut, Beograd, 1998.
- [4] Savezna geodetska uprava: Osnovni geodetski radovi u FNR Jugoslaviji, Beograd, 1953.
- [5] Univerzitet u Beogradu: Geodetske referentne mreže, Građevinski fakultet – Institut za geodeziju, 1995.

ODREĐIVANJE SILE KOJOM SE FLUID SUPROTSTAVLJA KRETANJU KRUTOG TELA

UDC: 532

Rezime:

U radu se istražuje veličina pridružene mase ili, kako se još naziva, moment inercije fluida kojom se on suprotstavlja promeni svoje brzine. Fluid, kao i svaka druga kruta materija, protivi se promeni brzine svog kretanja. Kod krute materije mera tog otpora jednaka je masi krutog tela, dok se u fluidu ta masa ne može unapred znati već se mora odrediti. Njeno određivanje povezano je sa određenim poteškoćama čije se poreklo nalazi u veličini fluidne mase, njenim fizičkim i hemijskim osobinama, kao i obliku i zakonu promene brzine krutog tela dok se ono kreće kroz prostor ispunjen fluidom.

Ključne reči: fluid, kruto telo, pridružena masa, otpor fluida, eksperimentalno određivanje.

DETERMINATION OF FLUID FORCE RESISTING TO RIGID BODY MOTION

Summary:

The paper investigates added mass quantity or, in other words, fluid inertia moment by which fluid resists to the change of its velocity. Fluid, as any other rigid substance, resists to the change of its velocity. In rigid substances the resistance equals the mass of rigid body while in fluids that mass cannot be known in advance, it has to be determined. Its determination is accompanied by certain difficulties due to fluid mass quantity, its physical and chemical properties as well as to the form and the law of rigid body velocity change while the body is moving through space filled with fluid.

Key words: fluid, rigid body, added mass, fluid resistance, experimental determination.

Uvod

Pri svakom kretanju krutog tela kroz masu fluida, u fluidu dolazi do pojave sile kojom se on opire tom kretanju, jer se narušava njegova do tada postignuta ravnoteža. Radi savladavanja tog otpora kruto telo mora da utroši deo svoje kinetičke energije da bi u fluidu savladalo rad viskoznih sila, a pomeranjem fluida napravilo mesta za svoje dalje kretanje kroz prostor fluida. Ovaj otpor kretanju mani-

festuje se kroz pojavu sile koja se naziva silom otpora ili hidrodinamičkom silom. Može se zaključiti da je ta sila složena, a njena složenost se ogleda u tome što je ona, najčešće, sastavljena od dve komponente.

Jedna komponenta je sila otpora u fluidu koja nastaje usled viskoznih osobina fluida koji se pokreće. Ta sila se naziva viskoznom silom, a pojavljuje se na onim mestima fluidnog prostora na kojima dolazi do pojave relativnih brzina

između slojeva samog fluida. Ta mesta se nalaze u okolini krute materije, i to počev od površine njenog omotača, gde čestice fluida imaju brzinu jednaku brzini krute materije, pa prema unutrašnjosti fluidne mase gde se još oseća uticaj kretanja. Rad ove viskozne sile prevodi energiju kretanja fluidne mase, koju je prouzrokovala kruta materija svojim kretanjem, u toplotnu energiju fluida. Na taj način deo kinetičke energije krutog tela prevodi se na niži stepen energije, ocenjujući toplotnu energiju kao energiju nižeg stepena, jer se, obrnutim postupkom, iz tako stvorene toplotne energije nikada više ne može dobiti ona količina kinetičke energije koja je proizvela tu toplotnu energiju.

Druga komponenta sile nastaje usled predaje kinetičke energije masi fluida, radi čega nastaje promena brzine mase fluida. Po drugom Njutnovom zakonu svako telo se protivi promeni brzine proporcionalno svojoj masi. Upravo ovaj zakon objašnjava prirodu ove druge sile: ta sila je sila inercije mase fluida i direktno je proporcionalna masi fluida kojoj je telo svojim kretanjem poremetilo ravnotežno stanje.

Navedene sile se javljaju pri svakom kretanju krute materije kroz fluid, ali uticaj njihovog rada nije u svakom fluidu isti. Zbog toga se, u zavisnosti od slučaja, jedna od sila može zanemariti u odnosu na drugu kao mala veličina višeg reda. Na primer, takav je slučaj kada se kruto telo – projektil kreće kroz vazdušni prostor. Zbog male gustine vazdušne mase inercione sile koje se javljaju u vazdušnoj masi mogu se bez veće pogreške zanemariti, što se u praksi i čini, a da ostanu uticajne samo sile viskoznog trenja. Međutim, kada se kruto telo kreće kroz vodu, kao što je, na primer, kretanje

vesla, pokrenuta masa vode je velika, pa je i njena inercijalna sila velika. Ova inercijalna sila se ne može više zanemariti, a u zavisnosti od temperature, njenog fizičkog i hemijskog sastava može se odlučiti o tome da li se uticaj viskozne sile može ili ne može zanemariti.

Matematički model definicije hidrodinamičke sile otpora

U teoriji mehanike fluida razrađena je metoda određivanja inercijalne sile za slučaj kada se brzina pokrenute mase fluida može izraziti potencijalom brzine. Međutim, problem određivanja ove sile postaje složeniji kada kretanje tela kroz fluid nije unapred poznato ili definisano. Radi toga se i u ovom pristupu, radi lakšeg definisanja sile, razmatra poznat slučaj, kada je kretanje tela kroz fluid unapred poznato. Radi toga razmatra se harmonijsko kretanje krutog tela u beskonačnoj masi fluida, koje prouzrokuje, takođe, harmonijsko kretanje fluida.

Polazi se od toga da se ukupna sila hidrodinamičkih otpora, koja se javlja pri nestacionarnom kretanju krutog tela kroz fluidnu masu, može definisati izrazom:

$$F = -m \frac{dv}{dt} - \frac{1}{2} c_b \rho A |v|v \quad (1)$$

gde je:

m – ukupna masa fluida koja se pokrenula kao posledica kretanja krutog tela kroz fluid;

c_b – koeficijent otpora krutog tela;

A – površina poprečnog preseka krutog tela u ravni normalnoj na pravac kretanja krutog tela;

ρ – gustina fluida;

v – brzina pokrenutog fluida.

U ovom slučaju uveden je proizvod intenziteta brzine i same brzine fluida da

bi se ukazalo na to da ima slučajeva kada sila otpora pomaže kretanju krute materije. Takav slučaj nastaje kada se fluid počne kretati u istom pravcu u kome se kreće i kruto telo. Takvo kretanje nastaje kada fluid teži da ispuni prazninu nastalu pomeranjem krutog tela, i krene za telom većom brzinom od brzine tela.

Umesto veličine m često je povoljnije uvesti bezdimenzionalnu veličinu definisanu u obliku:

$$c_m = \frac{4m}{\pi \rho l A} \quad (2)$$

koja se naziva koeficijent pridružene mase, odnosno koeficijent momenta inercije fluida.

U ovom izrazu veličina l predstavlja karakterističnu dužinu, kao što je, na primer, širina vesla.

Koeficijenti c_m i c_b veoma su složene funkcije parametara celokupnog sistema – fluida i krute materije. Izraz (1) može se lakše analizirati kada se pretpostavi da se brzina fluida menja po nekom poznatom harmonijskom zakonu, što je u praksi češći slučaj [1]. Kada se uvede brzina, kao harmonijska funkcija $v = v_0 \cos \theta$, gde je $\theta = \omega t$, izraz za hidrodinamičku silu (1) može se prevesti u bezdimenzionalni oblik tako što se navedena jednačina podeli izrazom koji karakteriše sile. Tako jednačina (1) poprima oblik:

$$\frac{F}{\rho v_0^2 A} = \frac{\pi}{4} c_m \frac{b\omega}{v_0} \sin \theta - \frac{1}{2} c_b |\cos \theta| \cos \theta \quad (3)$$

U slučaju kada se posmatra pojava koja se dešava u bezgraničnoj tečnosti, koeficijenti c_m i c_b zavise, u opštem slučaju, od parametara: $\theta = \omega t$, $S = \frac{2\pi v_0}{b\omega}$ i

$Re = \frac{v_0 l}{\nu}$, gde je ν – kinematska viskoznost.

Bezdimenzionalni brojevi S i Re ekvivalentni su brojevima Struhala i Reynoldsa. U širokom dijapazonu Reynoldsovog broja, uticaj ovog broja na koeficijente c_m i c_b praktično je beznačajan. Prema tome, ti koeficijenti mogu se praktično posmatrati samo kao funkcije parametara θ i S .

Kada se hidrodinamička sila (3) razvije u Furijeov red dobija se:

$$\frac{F}{\rho v_0^2 A} = A_1 \sin \theta + A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + \dots + B_1 \cos \theta + B_3 \cos 3\theta + B_5 \cos 5\theta + \dots \quad (4)$$

U ovom redu nema parnih harmonika jer je zbog simetrije toka ispunjen uslov:

$$F(\theta) = -F(\theta + \pi) \quad (5)$$

Koeficijenti $A_1, A_3, \dots$ i $B_1, B_3, \dots$ zavise samo od bezdimenzionalnog parametra S , a mogu se odrediti prema izrazima:

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{F \sin n\theta}{\rho v_0^2 A} d\theta \quad \text{i} \quad B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{F \cos n\theta}{\rho v_0^2 A} d\theta \quad (6)$$

Radi prikladnijeg upoređenja jednačine (3) sa jednačinom (4) koristi se proizvod $\cos \theta$ razložen u red:

$$|\cos \theta| \cos \theta = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + a_3 \cos 3\theta + \dots \quad (7)$$

gde je $a_n = 0$ za sve parne brojeve a

$$a_n = (-1)^{\frac{n+1}{2}} \frac{8}{n(n^2 - 4)\pi}, \quad (8)$$

za sve neparne brojeve.

Korišćenjem izraza (7) i uvodeći novu oznaku za količnik:

$$B'_1 = \frac{B_1}{a_1}, \quad B'_3 = B_3 - \frac{a_3}{a_1} B_1, \quad B'_5 = B_5 - \frac{a_5}{a_1} B_1, \dots \quad (9)$$

dobija se:

$$\frac{F}{\rho v_0^2 A} = A_1 \sin \theta + B'_1 \cos \theta |\cos \theta| + \Delta R \quad (10)$$

gde je:

$$\Delta R = A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + \dots + B'_3 \cos 3\theta + B'_5 \cos 5\theta + \dots$$

Upoređivanjem jednačina (3) i (10) dobija se:

$$\frac{\pi}{4} c_m(\theta) \frac{l\omega}{v_0} = A_1 + A_3 \frac{\sin 3\theta}{\sin \theta} + A_5 \frac{\sin 5\theta}{\sin \theta} + \dots \quad (11)$$

$$\frac{1}{2} c_b(\theta) = -B'_1 - B'_3 \frac{\cos 3\theta}{\cos \theta} - B'_5 \frac{\cos 5\theta}{\cos \theta} - \dots \quad (12)$$

Ili,

$$c_m(\theta) = \frac{4 v_0}{\pi l \omega} [A_1 + A_3 + A_5 + \dots + 2(A_3 + A_5 + \dots) \cos 2\theta + 2(A_5 + A_1 + \dots) \cos 4\theta + \dots] \quad (13)$$

$$c_b(\theta) = -2B'_1 + \frac{2}{|\cos \theta|} [B'_3 - B'_5 + \dots - 2(B'_3 - B'_5 + \dots) \cos 2\theta - 2(B'_5 - B'_7) \cos 4\theta - \dots] \quad (14)$$

U izrazu (10) viši harmonici mogu se zanemariti kao male veličine višeg reda, tako da je približno $A_3 = A_5 = \dots B_3 = B_5 = \dots = 0$, pa se koeficijent pridružene mase i koeficijent otpora mogu odrediti po jednostavnijim formulama:

$$c_m = \frac{4 v_0}{\pi l \omega} A_1 = \frac{4 v_0}{\pi l \omega} \int_0^{2\pi} \frac{F \sin \theta}{\rho v_0^2 A} d\theta \quad (15)$$

$$c_b = -2B'_1 = -\frac{3}{4} \int_0^{2\pi} \frac{F \cos \theta}{\rho v_0^2 A} d\theta \quad (16)$$

Kada se već zanemaruju viši harmonici, koeficijent pridružene mase i koeficijent otpora mogu se iskazati, bez veće pogreške, kao veličine koje imaju konstantne srednje vrednosti. Te srednje vrednosti mogu se naći kao:

$$c_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} c_m(\theta) \sin^2 \theta d\theta \quad (17)$$

$$c_b = \frac{3}{4} \int_0^{2\pi} c_b(\theta) |\cos \theta| \cos^2 \theta d\theta \quad (18)$$

Primenom ovih usrednjenih vrednosti, izraz za hidrodinamičku silu otpora (3) dobija oblik:

$$\frac{F}{\rho v_0^2 A} = \frac{\pi}{4} c_m \frac{l\omega}{v_0} \sin \theta - \frac{1}{2} c_b |\cos \theta| \cos \theta + \Delta R \quad (19)$$

Koeficijenti c_m i c_b za razliku od koeficijenata u izrazu (3), zavise samo od bezdimenzionalnog parametra S . Njihova vrednost se lako može odrediti na osnovu izraza (15) i (16), kada su poznati osnovni harmonici po kojima je razložena hidrodinamička sila. Funkcija ΔR takođe se može odrediti, ali u većini praktičnih slučajeva ona se može i zanemariti. Za $\Delta R = 0$ izraz za hidrodinamičku silu, po formuli (3), glasi:

$$\frac{F}{\rho v_0 A} = \frac{\pi}{4} c_m \frac{b\omega}{v_0} \sin \theta - \frac{1}{2} c_b |\cos \theta| \cos \theta \quad (20)$$

Primenom ekvivalentne linearizacije dobija se još jednostavniji oblik hidrodinamičkih sila. Nelinearan član u jednačini (20), odnosno odgovarajuća sila otpora

$$F_c = -\frac{1}{2} c_b \rho v_0^2 A |\cos \theta| \cos \theta,$$

zamenjuje se ekvivalentnim linearnim članom:

$$\frac{F'_c}{\rho v_0^2 A} = -\varepsilon_0 c_b \cos \theta$$

Koeficijent ε_0 određuje se iz uslova jednakosti disipacije energije oscilovanja, za period pri linearnom i nelinearnom zakonu oscilovanja. Koristeći zakon za disipaciju energije

$$\Delta E = \int_0^{2\pi/\omega} F_c |v| dt$$

dobija se

$$\varepsilon_0 \int_0^{2\pi} \cos^2 \theta d\theta = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} |\cos \theta| \cos^2 \theta d\theta.$$

Iz tog uslova proizilazi da je $\varepsilon_0 = \frac{4}{3\pi}$.

Primenom ovih linearizovanih članova dobija se i izraz za linearizovanu hidrodinamičku silu:

$$\frac{F}{\rho v_0 A} = \frac{\pi}{4} c_m \frac{l\omega}{v_0} \sin \theta - \frac{3}{4\pi} c_b \cos \theta \quad (21)$$

Izraz (20), kao i izraz (21) koriste se pri rešavanju različitih zadataka. Treba napomenuti da je rešenje dobijeno za slučaj poznatog harmonijskog kretanja fluida prouzrokovanog istim takvim kretanjem krutog tela kroz beskonačnu masu fluida.

Principi eksperimentalnih metoda za određivanje pridružene mase i koeficijenta otpora

Matematičke metode, ma koliko bile precizne u opisivanju hidrodinamičkih procesa u interakciji fluida i krute materije ponekad je teško iskoristiti zbog komplikovanih odnosa između parametara. Radi toga je preporučljivo da se proračuni

provere eksperimentalnim putem ili da se samo eksperimentalnim putem nađe tražena veličina. Teškoće nastaju kada kretanje tela nije unapred poznato, već je proizvoljno, poprečni presek krutog tela je nepravilnog oblika, a sve se odigrava u konačnoj masi fluida. To ukazuje da prisustvo površine dodira fluida sa sredinom manje gustine, kao i površine krutih materija koje ograničavaju fluidni prostor utiče na količinu pokrenute tečnosti, odnosno na veličinu pridružene mase.

U praksi se za određivanje pridružene mase, odnosno momenta inercije fluida, koriste tri metode.

Prva metoda određivanja pridružene mase sastoji se u tome da se upoređuju oscilovanja tela u dve različite sredine od kojih je, obično, jedna sredina vazduh, a druga fluid u čijoj se masi očekuje kretanje krutog tela.

Druga metoda određivanja pridružene mase sastoji se u tome da se odredi koeficijent prigušenja slobodnih oscilacija krutog tela u konkretnom fluidu.

Treća metoda određivanja pridružene mase i koeficijenta otpora sastoji se u tome da se meri promena hidrodinamičke sile kada telo stacionarno prinudno osciluje.

Za prve dve metode primenjuju se isti postupci ispitivanja. Telo se pričvrsti, ili se postavi kao klatno, tako da može savršeno da osciluje u tečnosti i sa zadatim stepenima slobode.

Proces određivanja pridružene mase tečnosti po principu oscilovanja u dve sredine određuje se na sledeći način: najpre se utvrdi masa tela koje treba da osciluje m_0 i nalaze njegove slobodne frekvencije u dve različite sredine: u vazduhu f_0 i f u vodi, odnosno tečnosti kod koje se traži pridružena masa. Na osnovu tih podataka pridružena masa tečnosti izračunava se po formuli:

$$m = m_0 \left(\frac{t_0^2}{t^2} - 1 \right).$$

Ova metoda je već dugo poznata i dosta se, zbog svoje jednostavnosti, koristi za određivanje pridruženih masa, odnosno, momenta inercije fluida pri kretanju različitih tela.

Druga metoda zasniva se na određivanju koeficijenta prigušenja slobodnih oscilacija tela u tečnosti iz koga se onda računaju odgovarajući koeficijenti otpora i pridružene mase. Koeficijenti dobijeni na taj način predstavljaju srednje vrednosti koeficijenata.

Trećom metodom određuje se pridružena masa i otpor pomoću harmonijskog analizatora krivih koje prikazuju promenu hidrodinamičke sile koja deluje na telo pri njegovom oscilovanju u tečnosti po harmonijskom zakonu.

Zaključak

Pri kretanju krutog tela kroz masu fluida koji karakteriše veća vrednost gustine, kao što su na primer tečnosti, deo energije krutog tela prenosi se na fluid,

što se u njemu manifestuje kao promena brzine kretanja. Kako se svaka materija protivi promeni brzine, i to proporcionalno pokrenutoj masi, i u fluidu se javlja inercioni otpor kretanju. Problem koji se u ovom slučaju javlja je određivanje mase fluida koja je pokrenuta. Ta masa naziva se pridružena masa. Poznavanje veličine pridružene mase važno je za praksu, jer se time određuje i deo energije koju je kruta materija predala fluidu.

Pridružena masa fluida može se odrediti za slučajeve poznatog zakona kretanja krute materije i kretanja fluida. Međutim, mnogo češće se kruta materija proizvoljno kreće, tj. kreće se po proizvoljnom zakonu. U tom slučaju jedino je moguće pridruženu masu odrediti eksperimentalnim putem, i to jednom od navedenih metoda.

Literatura:

- [1] Keulegan G. H. and Carpenter L. H.: Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid, J. of research of national bureau of standards, 1956. vol. 60, № 5.
- [2] К. К. Федяевский, Я. И. Войткунский, Ю. Фадеев: Гидромеханика, Судостроение, Ленинград, 1968.
- [3] Г. Н. Микишев, Б. И. Рабинович: Динамика танко-стенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость, Машиностроение, Москва 1971.
- [4] Б. Т. Емцов: Техническая гидромеханика, Машиностроение, 1978.



prikazi iz inostranih časopisa

ISKANDER-E: RAKETNI SISTEM ZA 21. VEK*

ISKANDER-E je raketni sistem KoV velike preciznosti, namenjen za prikrivene pripreme i iznenadne efikasne udare po kritičnim tačkastim ciljevima i površinskim objektima. Ovaj sistem je nastao kao rezultat zajedničkih napora brojnih istraživačkih instituta, projektantskih biroa i preduzeća pod vodstvom Inženjerskog projektnog biroa KBM, poznatog po razvoju raketnih sistema TOŠKA (SS-21), OKA (SS-23) i TOŠKA-U. Institut KBM je vodeći u razvoju precizno vođenih taktičkih i balističkih raketa za potrebe KoV.

TOŠKA (SS-21) je raketni sistem dometa do 70 km, predviđen za divizijski nivo, TOŠKA-U namenjena je za nivo korpusa a domet joj je do 120 km, a OKA (SS-23), dometa do 400 km, predviđena je za armijski nivo. Svi ovi sistemi uvedeni su kao zamena za prvu generaciju raketnih sistema KoV 9K72 i 9K52.

Glavna obeležja spomenutih sistema su: visoka preciznost gađanja, kratko vreme gotovosti za lansiranje, nezavisnost od osnovnih sredstava, visok stepen automatizacije radnji pre lansiranja i dovoljno visoka efikasnost konvencionalnih bojnih glava.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1999.

To je bio dovoljan razlog da se raketni sistem OKA uključi u sovjetsko-američke pregovore o eliminaciji raketa srednjeg i kratkog dometa, mada je njihov garantovani maksimalni domet bio samo 400 km. Zaključivanje 1987. godine INF ugovora, i odluka da se ne koristi balističko nuklearno oružje (nivo ratišta), postavilo je brojne, principijelno nove zahteve za savremene raketne sisteme, kao što je:

- upotreba samo nenuklearnih bojnih glava;
- preciznost i tačnost vatre;
- upravljanje na celoj putanji leta;
- veliki domet i efikasnost bojnih glava;
- valjanost automatizacije borbenog upravljanja i informacione systemske podrške, uključujući pripreme standardnih informacija za korekciju i granične sisteme vođenja;
- mogućnost integracije u globalne satelitske navigacione sisteme (GSNS), kao što su GLONASS i NAVSTAR;
- sposobnost da uništi ojačane ciljeve;
- povećanje broja uništenih ciljeva u jedinici vremena;
- sposobnost proboja protivvazdušne i protivraketne odbrane;
- sposobnost za uništavanje pokretnih ciljeva.

Komplet sistema	- rakete s različitim bojnim glavama - samohodni lanser - vozilo za transport i popunu
Sredstva za održavanje i remont	- vozilo za redovno i rutinsko održavanje - pokretna stanica za kontrolu i remont
Borbeno upravljanje, informaciona podrška i sredstva za životne potrebe posade	- komandno-štabno vozilo - stanica za pripremu podataka - vozilo za životne potrebe
Trenažna sredstva	ima
Garniture razne opreme	ima
Maksimalni domet (km)	280
Masa lansirane rakete (kg)	3800
Motor rakete	na čvrsto gorivo
Sistem vođenja	- nezavisan, inercijalni, integrisan sa GSNS i razni tragači
Šasija borbenog vozila	- visokoprohodni točkaš
Broj raketa na lanseru	2
Posada (članova)	3
Temperaturni radni interval (°C)	50

Da bi se zadovoljili navedeni zahtevi, biro KBM je razvio raketni sistem ISKANDER-E, koji povezuje najbolja naučno-tehnička i projektna dostignuća u oblasti balističkih raketnih sistema. Po svojim karakteristikama to je sasvim nova generacija, koja nadmašuje postojeće raketne sisteme SCUD-B, TOŠKA-U, LANCE, ATACMS, PLUTO i dr. ISKANDER-E je projektovan za uništavanje:

- protivničkih vatrenih sistema i raketnih baterija;
- aviona i helikoptera na stajankama;
- objekata protivvazdušne i raketne odbrane;
- komandnih mesta i čvorova veze;
- vitalnih tačkastih i površinskih ciljeva;
- kritičnih civilnih objekata.

Radi implementacije graničnih metoda upravljanja i vođenja, upravljanja

na celoj putanji leta, širokog spektra dejstva snažnih bojnih glava, integracije u spoljašnje upravljačke sisteme, kao i povećane sposobnosti izvršavanja zadataka u uslovima protivničkog ometanja, postignuto je da se izabrani cilj može uništiti sa jednom ili dve rakete ISKANDER-E, koje su po pokazateljima efikasnosti ekvivalentne upotrebi nuklearne municije.

Prvi put ostvareno je da raketni sistem sa vatrenim dometom koji ne prelazi 300 km može da izvrši sve borbene zadatke, koristeći konvencionalne bojne glave i dve rakete na lanseru, što suštinski povećava vatrenu moć raketne jedinice.

Raketni sistem ISKANDER-E obezbeđuje:

- vrlo precizno i efikasno uništenje različitih vrsta ciljeva;
- mogućnost prikrivenih priprema, borbenih radnji i izvršenje efikasnih raketnih udara;

– automatsku obradu podataka potrebnih za let rakete;

– veliku verovatnoću izvršenja borbenih zadataka u uslovima ometanja protivnika;

– siguran rad rakete u fazi pripreme za lansiranje i u toku leta;

– visoku sposobnost taktičkog manevra zbog velike prohodnosti nosećih vozila, i strategijsku pokretljivost zbog mogućnosti transporta svim vidovima transportnih sredstava, uključujući i transportne avione;

– automatizaciju borbenog upravljanja raketnom jedinicom, brzu obradu podataka i njihovu raspodelu do odgovarajućih komandnih mesta;

– dug vek upotrebe i lako rukovanje.

Prema svojim karakteristikama to može biti oružje za odvracanje u lokalnim sukobima i strategijsko oružje za zemlje sa ograničenim prostorom. Veliki vatreni domet, koji dozvoljava upotrebu sistema iz dubine sopstvene teritorije, i kratko vreme zadržavanja na lanseru, čine ovaj sistem praktično neranjivim za konvencionalno naoružanje. Odnos efikasnost / cena ovih raketnih sistema pokazuje da je cena za 5 do 8 puta veća od sličnih sistema u svetu.

M. Krbavac

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA MUNICIJE ZA BORBENA VOZILA PEŠADIJE*

Borbena vozila pešadije su osnovna borbeni i transportna sredstva motorizovane pešadije, pa su i njihove karakteristike i udovoljavanje savremenim zahtevima od fundamentalnog značaja.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust 1999.

U Rusiji je za proteklih 15 godina ostvaren razvoj treće generacije borbenih vozila pešadije (BVP) sa oznakom BMP-3, čije naoružanje obezbeđuje izvršavanje svih zadataka sa kojima se susreću jedinice motorizovane pešadije. U isto vreme postoje mogućnosti i za proširenje postojećeg potencijala i poboljšanje borbenih karakteristika. U proteklih pet godina razvojni rad bio je usmeren u pravcu realizacije sledećih aktivnosti:

– modernizacija municije;

– zajednička modernizacija municije i sistema za upravljanje vatrom;

– potpuna modernizacija i razvoj novog borbenog odeljenja sa novom municijom i sistemom za upravljanje vatrom.

Mogućnost povećanja efikasnosti BMP-3 putem razvoja nove municije uključuje:

– vođene rakete sa pojačanom ubojnošću i povećanim vatrenim dometom;

– metak 100 mm s nevođenim trenutnofugasnim rasprskavajućim projektilom pojačane ubojnosti i povećanog vatrene dometa;

– projektil 30 mm HVAP povećane ubojnosti i dograđeni sistem za upravljanje (digitalni balistički računar i najnoviji nišan).

Ovi putem obezbeđuje se apsolutno povećanje efikasnosti, bez obzira na karakteristike drugih sistema, a može se primeniti na sva postojeća vozila BMP-3.

Vođena raketa 9M117M1 ARKAN, ugrađena u sistem naoružanja BMP-3, razvijena je u skladu sa zahtevima za protivtenkovsko naoružanje koji su bili aktuelni u periodu razvoja. Danas ovaj sistem obezbeđuje efikasnu borbu sa tenkovima iz 1. i 2. grupe (tabela 1) i borbenim vozilima pešadije, a značajna mu je prednost velika efikasnost pri gađanju iz pokreta. Kako je prošlo prilično

vremena od razvoja prvih raketa, do sada su suštinski poboljšane njene osnovne karakteristike.

Karakteristike zaštite većine tenkova u savremenim armijama su: frontalna zaštita ekvivalentna je čeliku debljine od 600 do 700 mm, dok noviji, snažniji tenkovi imaju zaštitni oklop ekvivalenta od 800 mm i više, a koriste potkalibarnu i pancirnu municiju dometa 3 do 3,4 km. Tenkovi iz 1. i 2. grupe preovladavaju još najmanje 15 do 20 godina.

Za uspješnu borbu sa današnjim tenkovima potrebno je:

- povećati sposobnost proboja oklopa za osnovne bojne glave;
- obezbediti probojnost eksplozivnog reaktivnog oklopa;
- povećati vatreni domet.

Sve ove zahteve zadovoljava vođena raketa ARKAN. Osnovne komparativne karakteristike raketa ARKAN i 9M117 prikazane su u tabeli 2. Raketa ARKAN zasnovana je na najnovijim istraživačkim i tehnološkim dostignućima. U njenom razvoju vođeno je računa o smanjenju kalibra, mase i dimenzija i, svakako, o vozilima na koja će se ugrađivati. Može se lansirati na daljinu do 4000 m sa svih nosača raketa 9M117 bez njihove modifikacije. Lansiranje na rastojanja 5000 do 5500 m zahteva minimalne prepravke standardne opreme za nišanje – vođenje radi povećanja vremena emitovanja.

Metak 100 mm trenutno-fugasni rasprskavajući (parčadni), kojim se vrši popuna BMP-3, sadrži projektil dometa do 4000 m. Projektil je razvijen za balistički top, koji zahteva upotrebu tela s debljom košuljicom i malim odnosom punjenje/masa, što daje nedovoljan fragmentacioni efekat i veći broj širokih parčadi.

Povećanje efikasnosti sistema naoružanja ostvareno je razvojem novih projek-

tila 100 mm povećane ubojnosti, sa boljim pokazateljem odnosa punjenje/masa. To je poboljšalo karakteristike fragmentacionog efekta projektila i obezbedilo visoku stabilnost.

U tabeli 4 prikazane su eksperimentalno potvrđene osnovne karakteristike novog projektila 100 mm (3UOF17) u poređenju sa standardnim. Analize pokazuju da novi projektil ima veću početnu brzinu (1,3 puta) i stvara veći broj parčadi (1,7 puta) koji imaju 1,1 puta širi ugao disperzije. U celini, to znatno povećava zonu uništenja za 2,2 do 2,3 puta i smanjuje broj projektila potrebnih za uništenje cilja. Treba naglasiti da nova municija uništava ciljeve na rastojanju do 7000 m, što obezbeđuje upotrebu BMP-3 i za vreme artiljerijske vatrene pripreme. Vatrene ispitivanja pokazala su i znatne prednosti ovih projektila u parametrima tačnosti i grupisanju pogodaka.

Drugi vitalni problem jeste usavršavanje municije malog kalibra, namenjene za uništavanje lakih vozila. U tabeli 5 prikazane su uporedne karakteristike standardne pancirne municije (AP-T) i pancirne municije s tvrdim jezgrom (HVAP) koja se predlaže za zamenu. Kako se vidi, projektil HVAP ima za 25% manju masu, dok mu je sposobnost proboja za 80% veća.

Prednost zamene projektila AP-T s projektilima HVAP manifestuje se u povećanoj verovatnoći uništenja cilja i efikasnom vatenom dometu. Ukupne mogućnosti projektila HVAP pokazuju da on nadmašuje standardni projektil AP-T za 2,5 do 3 puta.

Za realizaciju svih mogućnosti municije, za vozilo BMP-3 je razvijen digitalni kompjuter koji omogućava brzo menjanje balističkih podataka i modernizaciju softvera. On koristi poboljšani algoritam

koji povećava tačnost računskih korekcija za otvaranje vatre sa standardnom i novom municijom.

Razvoj novih svojstava municije omogućio je:

- uspešnu borbu BMP-3 sa tenkovima sa oklopom ERA, koristeći rakete 9M117M1;

- povećanje ubojnosti novih HEF projektila za 1,8 puta i vatrenog dometa do 7 km, što omogućava korišćenje BMP-3 i za vatrenu podršku;

- povećanje probojnosti novog projektila 30 mm HVAP širi skalu lako oklopljenih ciljeva koji se mogu uništiti i povećava rastojanje na kojem se mogu uništiti.

Tabela 1

Osnovne karakteristike tenkova

Podaci	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3
Zaštita čeonog oklopa (mm čelika)	250–500	600–700	800–900
Tip tenka	M60A3, T-55 T-62, Merkava-1	M1A1, T-72 Merkava-3	M1A2, Leklerk Čelendžer-2
Godina proizvodnje	pre 1985.	1975–1995.	posle 1995.
Efikasni vatreni domet sa projektilima HVAP (km) (iz pokreta/iz mesta)	1,6–1,8/2,5–2,8	2,0–2,2/2,7–3,0	2,3–3,0/3,0–3,4
ERA (ekspl. reakt. oklop)	primena	primena	primena ili ugradnja
Ukupan broj (bez Rusije)	67000 (75%)	21000 (23,5%)	1470 (1,5%)
Južna Afrika i Sr. istok	15200 (77%)	4000 (20%)	630 (3%)

Tabela 2

Osnovne karakteristike raketa ARKAN i 9M117

Podaci	ARKAN	9M117
Vatreni domet (m)		
– minimalni	100	100
– maksimalni	5000–5500	4000
Vreme leta do 4000 m (s)	13,5	13,5
Dubina prodiranja (mm)	700–750	550
Probojnost oklopa ERA	nije garantovana	nije garantovana
Dužina metka (mm)	1185	1200
Masa metka (kg)	21,5	22

Tabela 3

Verovatnoće uništenja tenkova raketama 9M117 i 9M117M1 ARKAN u funkciji ugla kursa cilja

Tenkovi	Grupa 1	Grupa 2	Grupa 3
Ugao kursa (°):			
0	0,90/0,14 (0,85)	0,50/0,06 (0,17)	0,28/0,04 (0,10)
30	0,90/0,34 (0,80)	0,63/0,08 (0,19)	0,37/0,05 (0,10)
45	0,92/0,45 (0,86)	0,77/0,16 (0,50)	0,68/0,14 (0,48)
60	0,95/0,55 (0,90)	0,88/0,32 (0,82)	0,85/0,30 (0,80)
90 (prosek)	0,93/0,35 (0,85)	0,65/0,18 (0,37)	0,55/0,12 (0,33)

Brojilac pokazuje vrednosti za raketu 9M117M1 ARKAN, imenilac za 9M117, a u zagradi su podaci za tenkove bez oklopa ERA

Tip	3UOF19 Standard	3UOF17
Masa (kg):		
- metka	15,8	18,1
- projektila	13,2	15,6
- eksploziva	2,3	1,69
Vatreni domet (m)	7000	4000
Broj parčadi (većih od 0,5 g)	3393	1993
Prosečna masa parčadi (g)	2,73	6,20
Prosečna brzina parčadi (m/s)	1420	1080
Redukovana ubojna površina (m ²)	360	160

Osnovne karakteristike metka 30 mm HVAP i AP-T

Tabela 5

Tip municije	HVAP	AP-T
Masa (kg):		
- čaura	0,765	0,858
- projektil	0,304	0,400
Brzina projektila (m/s):		
- na ustima cevi	1120	970
- na udaljenosti 1000 m	960	750
- na udaljenosti 2000 m	810	550
- na udaljenosti 3000 m	660	360
Maksimalni pritisak barutnih gasova (kg/cm ²)	3600	
Dubina probijanja (pri uglu od 60°) (mm):		
- na udaljenosti 500 m	29	22
- na udaljenosti 1000 m	27	18
- na udaljenosti 1500 m	25	14
- na udaljenosti 2000 m	22	11
- na udaljenosti 3000 m	17	6
- na udaljenosti 4000 m	12	3

M. Krbavac



BORBENO VOZILO PEŠADIJE DARDO*

U skladu sa opštom modernizacijom oklopnih vozila italijanska armija nastavlja sa ugovaranjem nabavke novog borbenog vozila pešadije (BVP) – DARDO. Program modernizacije BVP spreman je da prati druga dva nova oklopna vozila.

Prvo vozilo je lovac tenkova – izviđački oklopni automobil B-1 CEN-

TAURO 8×8, čija je proizvodnja započeta 1989. godine (IVECO/FIAT odgovoran za šasiju, OTO-Breda za sistem naoružanja). Prvobitna narudžbina italijanske armije od 450 vozila CENTAURO korigovana je na 400 vozila, koja su kompletirana do kraja 1996. godine. Pored toga, novo BVP – točkaš, VCC (Vicolo Corazzato da Combattimento), razvijeno na bazi B-1 CENTAURO, nedavno je ugovoreno za italijansku armiju (tri prototipska vozila za opitovanje).

Drugi rezultat programa modernizacije je osnovni borbeni tenk C-1 ARIETE

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 7/1999.

MBT (konzorcijum OTO-Breda i IVECO/FIAT su razvili projekat). Proizvodnja tenkova C-1 ARIETE započeta je 1995. godine, a 200 tenkova trebalo bi da bude kompletirano do 2002 godine.

Osim vozila B-1 CENTAURO, C-1 ARIETE i VCC DARDO, italijanska armija planira nabavku novog lakog oklopnog vozila točkaša PUMA u dve varijante pogona, 4×4 i 6×6. Prvih pet prototipova kompletirano je još 1988. godine, a probna serija od pet vozila završena je 1990. godine. Uspešni testovi i trupna ispitivanja deset vozila doprineli su da se ugovori isporuka oko 330 vozila pogona 4×4 (do kraja 1996. godine kompletirano je 150 vozila) i 250 6×6. Vozila PUMA ispunjavaju zahteve i britanske armije za buduća komandna i vozila veze, a nedavno je najavljen i zahtev belgijske armije za ovim vozilom.

Slično prethodnim vozilima iz programa modernizacije, prve studije na projektu VCC DARDO započete su sredinom osamdesetih godina. Sprovedene su u kompaniji OTO-Melara (sada odeljenje OTO-Breda u grupaciji Alenia Difesa), koja je bila odgovorna za razvoj i proizvodnju svih italijanskih oklopnih vozila, a sarađivala je sa odeljenjem za vojna vozila u IVECO, Defence Vehicles Division – DVD.

Razvojni put VCC DARDO

Kompanija OTO-Melara preuzela je vođstvo u razvoju guseničnih borbenih vozila i bila je odgovorna za sistem naoružanja, dok je firma DVD predvodila razvoj vozila točkaša i bila odgovorna za komponente pogonskog sistema.

Studije projekata vozila u OTO-Melara oslanjale su se na iskustva u razvoju

i proizvodnji guseničnih BVP. Između 1964. i 1985. godine ova kompanija je proizvela 5486 oklopnih transportera (OT) M113 (po licenci) i njegovih modifikacija: M113A1, vozila za PO borbu M901, ITOW i za PVO SIDAM-25, čime je u tom periodu postala najveći proizvođač lakih oklopnih guseničnih borbenih vozila u zapadnoj Evropi.

Na osnovu američkog transportera M113 APC u OTO-Melara je razvijeno BVP VCC-1 sa boljom oklopnom zaštitom, zahvaljujući primeni dodatnog čeličnog oklopa visoke tvrdoće preko osnovnog aluminijumskog oklopa, nagibima oklopnih ploča i ugrađenim puškarnicama za lično naoružanje posade, tako da je poboljšana i vatrena moć. Nakon proizvodnje VCC-1 za italijansku armiju (562 vozila) i oko 200 VCC-2 u varijanti M901 ITOW za saudijsku armiju, kao i modifikacije jednog broja VCC-1 u VCC-2 za italijansku armiju, OTO-Melara je započela projekat razvoja BVP oznake C-13 AIFV (Armoured Infantry Fighting Vehicle). Zajedničkim razvojem sa nemačkom firmom MaK Systems Gesellschaft, C-13 AIFV je preimenovano u novo borbeno vozilo – euro AV-90 (Armoured Vehicle-90), i intenzivno testirano dve godine (1989–1991) u Italiji i Nemačkoj, sa namerom da bude osnovno BVP za kraj 20. i prve decenije 21. veka. Premda je AV-90 ispunjavalo tehničke zahteve postavljene u idejnom projektu, Nemci ga nisu prihvatili kao buduće vozilo i već tada su skrenuli pažnju na drugo vozilo univerzalne namene proisteklom iz dogovora sa Francuskom, kojem se priključila i Velika Britanija – program GTK/VBM/MRAV (Gepanzerte Transport-Kraftfahrzeug – oklopno transportno vozilo / Véhicule Blindé Modulaire – modularno oklopno vozilo / Multi-Role

Armoured Vehicle – višenamensko oklopno vozilo). Ovo vozilo trebalo je da se proizvodi prema osnovnom zajedničkom konceptu, uz određene razlike nacionalnog prilaza, a serijska proizvodnja treba da započne između 2002. i 2004. godine. Uprkos prekida rada na projektu AV-90, prethodna iskustva sa C-13 i novija stečena sa AV-90 pomogla su OTO-Melari da uspešno startuje sa programom razvoja VCC Dardo.

Prvi korak na tom putu bio je poslednji projekat razvoja BVP, VCC-80, savremeno vozilo sa dvočlanom kupolom OTO-Melara T-25 i topom OERLIKON KBA kalibra 25 mm. Jedan prototip je bio kompletiran još 1985. godine, a ubrzo su usledila još dva. Međutim, dalji napredak u razvoju VCC-80 usporen je sve do sredine devedesetih godina zbog prednosti koja je data drugim projektima: lovcu tenkova B-1 CENTAURO i tenku C-1 ARIETE. Tako je i program VCC-80 transformisan u projekat VCC Dardo, sa kojim se želeo premostiti period izvesne stagnacije.

Nova kupola HITFIST

Osnovno polazište u transformaciji VCC-80 u VCC Dardo (označava se i kao IFV) jeste adaptacija na novu kupolu HITFIST razvijenu u OTO-Breda. Nasuprot konstrukciji kupole od aluminijumske legure, kupola HITFIST izrađena je od kombinacije oklopnog materijala – osnovni oklop je aluminijumska legura, a spoljašnji sloj oklopa od čeličnih ploča visoke tvrdoće. Ipak, osnovno oruđe – top OERLIKON KBA 25 mm i mitraljez RHEINMETALL MG 42/59, 7,62 mm zadržani su kao u kupoli T-25 za VCC-80, tako da se prazne čaure izbacuju iz kupole kroz otvor na levoj strani. Za top su

razvijena dva tipa metaka: klasični APDS (probija oko 60 mm RHA oklopa na 1000 m), početne brzine projektila 1335 m/s i razorni HE sa parčadnim dejstvom. U kupoli je smešteno 200 metaka spremnih za brzu upotrebu, dok je drugih 200 u rezervi. Za mitraljez se u kupoli nalazi 700 metaka 7,62 mm, a ostalih 500 je u rezervi. Sa obe strane topa na kupoli se nalaze četiri bacača dimnih kutija WEGMANN 76 mm (16 kutija je u rezervi).

Najznačajniju novinu kupole HITFIST predstavljaju dva lansera za POVR TOW montirana na obe strane kupole (6 raketa je u rezervi). Iz lansera se mogu ispaljivati kako stariji modeli TOW, tako i najnoviji TOW 2B (proizvođač Raytheon). Međutim, nije predviđeno da svako vozilo IFV Dardo ima lansere za POVR, pošto se procenjuje da neće svako vozilo u sastavu mehanizovane čete u borbi biti ugroženo od tenkova protivnika. Ovo rešenje dovodi Dardo na viši nivo efikasnosti, kako protiv OT i BVP, tako i protiv savremenih tenkova (daljina lansiranja je 4000 m, TOW 2B 5000 m, a probojnost oklopa od 800 do 1200 mm, zavisno od generacije POVR), uključujući i efikasno dejstvo protiv tenkova sa oklopom ERA.

Integrirani digitalni SUV kupole HITFIST

Kupola se navodi po pravcu (360°), a top i mitraljez po visini (od -10° do +60°) sa novim digitalnim električnim uređajem za pokretanje, brzinom od 45°/s, horizontalno i vertikalno, a minimalna brzina praćenja cilja je 0,5 rad/s. Lanseri POVR pokreću se po azimutu zajedno sa kupolom, a po visini (od -7,7° do +30°) samostalno. Komandir i nišandžija imaju zaseban komandni blok za navođenje,

posebno panele i ručice, slično kao kod B-1 CENTAURO i C-1 ARIETE, čime se udovoljilo zahtevu za što više zajedničkih elemenata podsistema u sva tri vozila. Komandni blok je izometričkog tipa, slično rešenjima u savremenim borbenim avionima, koji omogućava davanje pravca i nagiba oruđu pritiskom na određeni prekidač, bez pomeranja ruke nišandžije ili komandira, odnosno rukohvata. Na taj način komfornije se rukuje, manje je naprezanje strelca i veća preciznost navođenja, što ima veliki uticaj na gađanje iz pokreta. Komandir i nišandžija mogu da gađaju sa svoga mesta, s tim da komandir ima prioritet.

Nišanski uređaji kod vozila DARDO pojednostavljeni su u odnosu na VCC-80, kod kojeg su primenjeni isti uređaji kao kod B-1 i C-1 (periskopski nišan GALILEO sa laserskim daljinomerom Nd-YAG, uvećanjem u dnevnom kanalu $10\times$ a u termalnom režimu rada $12\times$ i $4\times$; komandirova panoramska sprava SFIM VS 580 proizvedena u Officine Galileo kao SP-T-694, sa uvećanjem $10\times$ i $2,5\times$ nezavisno stabilisana). Izvesnim reduciraњem elemenata koji se ne smatraju bitnim, posebno ukoliko se odustane od panoramske sprave, smanjiće cenu kupole HITFIST za 25 do 30%. Komandir ima pet periskopa za kružno osmatranje, a nišandžija i u kupoli HITFIST ima nišansku spravu sa laserskim daljinomerom i IC termalnim kanalom za ograničene uslove vidljivosti.

Iako, za sada, nije deo programa DARDO, kupola HITFIST može da se naoruža i drugim sistemima topova 25 mm, kao što su BOEING M242 ili GIAT M811, topom BUSHMASTER II kalibra 30 mm, a računa se i na mogućnost primene transformisanog topa BUSHMASTER II u top 30/40 mm Mk44,

sposobnog da ispaljuje 40-milimetarsku „Super Forty“ municiju, pripremljenu za novo amfibijsko jurišno-desantno vozilo AAHV za korpus mornaričke pešadije (USMC). Kupola HITFIST je eksperimentalno montirana sa topom BUSHMASTER II 30 mm i na prototip lakog tenka STORMER 30 (firma Alvis). U tom slučaju vraćena je panoramska nišanska sprava komandira, kakva je i u kupoli T-25 VCC-80.

DARDO sa kupolom OTO T60/70A

Prototipska šasija vozila DARDO, opremljena je i kupolom za dva člana posade OTO T60/70A boljih performansi. U kupolu je ugrađen top OTOBREDA HVGS 60/70, kalibra 60 mm (High Velocity Gun System), dužine 70 kalibara (4,2 m), koji ispaljuje projektele velike početne brzine. Cev je ožlebljena, ima odvodnik barutnih gasova, izrađena je autofretovanjem i može da podnosi visoke pritiske barutnih gasova. Dužina trzanja je 270 mm, a sila trzanja oko 90 kN, zbog čega je top podesan za ugrađivanje na vozila mase 10 000 kg i veće. Top se puni automatski iz okvira (dva spojena sa kolevkom) sa po 8 metaka. Ostalih 16 metaka je u rezervi. Gađanje je moguće rafalnom paljbom po 2 do 3 metka (brzina paljbe 100 met/min) i jedinačnom. Razvijena su dva tipa metaka – potkalibarni sa repnom stabilizacijom APFSDS-T i trenutno-rasprskavajući HE-T,* oba sa traserom. APFSDS-T je mase 6 kg – projektila 1,35 kg a jezgro (penetrator) 0,87 kg. Početna brzina projektila od 1680 m/s omogućava precizno gađanje i efikasno dejstvo protiv oklopnih ciljeva. Probija 120 mm RHA oklopa pod

* Metak HE-T je mase 7,4 kg, projektil 3,07 kg, efikasan je protiv žive sile na površini od 660 m².



Vozilo DARDO sa kupolom OTO T60/70, topom 60 mm, dodatnim čeličnim oklopom na kupoli i panoramskim nišanom

uglom 60° na 2000 m, što podrazumeva da je efikasan protiv svih aktuelnih BVP i projektovanih za blisku budućnost, ali i protiv starijih tenkova II generacije (LEOPARD-1, AMX-30, T-62, M-60A3 i drugih), delimično i protiv tenkova III generacije pri gađanju u bočne strane. Sa topom je spregnut mitraljez RHEINMETALL MG 42/59 sa 200 metaka spremnih za upotrebu i 1000 metaka u rezervi (u korpi kupole).

Slično kupoli HITFIST, kupola OTO T60/70A je osnovne konstrukcije od Al-legure, ali je ojačana čeličnim modulima visoke tvrdoće, tako da je obezbeđena balistička zaštita od projektila kalibra 14,5 mm, a sa čeonu strane od AP projektila 35 mm. Prečnik venca kupole od 1,5 m omogućava udoban smeštaj dva člana posade i uređaja. Kao mogućnost predviđa se montiranje lančera **POVR** i na ovoj kupoli, ali ne **standardno**, pošto je top vrlo efikasan. Kupola se može montirati i na druga borbena vozila, točkaše i guseničare: PI-

RANHA 6×6 i 8×8, BMR-600PP 6×6, WARRIOR, M113A1 BMP-1.

Oklopno telo

Za razliku od kupole, oklopno telo vozila DARDO je iste konstrukcije kao kod VCC-80. Dobro je oblikovano i male visine (1,75 m). Opšta forma je konvencionalna, slična drugim savremenim BVP, ali sa boljim proporcijama i većom unutrašnjom zapreminom (dimenzije prostora za ukrčni deo posade su 1,90 m × 1,70 m × 1,20 m = 3,87 m³ ili 0,64 m³ po članu posade, što se smatra optimalnim). Prednji deo tela zauzima pogonska grupa.

Srednji deo oklopnog tela zauzima korpa kupole. Gorivo je smešteno u tri rezervoara (ukupno 620 l), ispod korpe kupole i u zadnjim uglovima tela vozila. Vozilo ima uređaj za NHB zaštitu, kao i uređaj za gašenje požara na bazi halona 1301. Klima-uređaj omogućava boravak posade u vozilu pri spoljnim temperaturama vazduha od +44°C do -19°C.

Taktičko-tehničke karakteristike BVP DARDO

Posada: 3 + 6 vojnika
Borbena masa: 23 000 kg (bazni model)
Dužina (ukupna): 6,71 m
Širina: 3,0 m
Visina (ukupna): 2,25 m
Visina tela: 1,75 m
Klirens: 400 mm
Širina gusenica: 396,5 mm
Naleganje gusenica: 3,92 m
Motor: IVECO V-6 MTCA turboprehranjivani dizel, snage 382 kW
Transmisija: ZF LSG 1500, automatska sa 4+2 stepena prenosa
Upravljanje: ZF 9000 hidrostatičko sa dvojnim diferencijalima
Oslanjanje: torziono sa hidrauličnim amortizerima
Specifična snaga: 16,6 (17,3) kW/t
Maksimalna brzina kretanja: 70 km/h
Autonomija: 500 km (620 l goriva)
Nominalni pritisak na tlo: 73 Pa
Vertikalna prepreka: 0,85 m
Širina rova: 2,5 m
Gaz vode: 1,5 m
Naoružanje: 1 × 25 mm OERLIKON KBA ili: 1 × 30 mm BUSHMASTER II, 1 × 60 mm OTO HV GS 60/70; mitraljez Rh MG 42/59 7,62 mm
Dodatno naoružanje: 2 × 1 lanser TOW i 2 × 4 BDK WEGMANN 76 mm
Municija: 400 metaka 25 mm, 500 + 700 × 7,62 mm, 2 + 6 POVR i 8 + 16 dimnih kutija
Navođenje kupole i topa: električno i sa stabilizatorom za obe ravni
Elevacija/depresija: -10°/+60° (za lansere TOW -7,5°/+30°)
Nišanske sprave: GALILEO SP-T-694 panoramska za komandira (uvećanje 2,5× i 10×), periskopska GALILEO za nišandžiju (uvećanje 10×), pasivni ili IC termalni kanal za noć (uvećanje 4× i 12×)
Daljinomer: laserski Nd-YAG
Periskopi za osmatranje: 2 za nišandžiju, 5 za komandira, 3 za vozača (noću pasivni) i 3 × 2 za iskrcnu posadu
Balistički računar: digitalni
Oklop: Al-legura 5083 i 7020 osnovni, čelične ploče visoke tvrdoće spolja, zaštita od AP projektila 14,5 mm i 35 mm (napred)
Specijalni uređaji: za gašenje požara (halon 1301), za NHB zaštitu, klima-uređaj

Prateći iskustva sa poligonskih ispitivanja na VCC-1, telo vozila DARDO izrađeno je od aluminijumskog oklopa na koji su spolja pričvršćene čelične ploče visoke tvrdoće (napred i na bočnim stranama). Takvom konstrukcijom iskorišćeno je svojstvo aluminijumskog oklopa, podesnog za zaštitu od običnih projektila, parčadi granata manje brzine i elastičnosti u apsorbovanju kinetičke energije, što rezultira i u manjoj masi vozila. Čelik visoke tvrdoće je podesniji za zaštitu od AP projektila velike početne brzine (manjih kalibara), a osloncem na osnovni oklop njegove karakteristike su izražene. Korišćena je Al-legura tipa 5083 (Al-Mg-Mn) i 7020 (Al-Zn-Mg) tvrdoće oko 75 HB, ali ne i Al-legure tipa 7039 i 7017, iako su tvrdoće oko 170 HB, zbog njihove osetljivosti na koroziju, skuplje proizvodnje, kao i komplikovanije tehnologije mehaničkih radova u proizvodnji. Unutrašnjost oklopa je obložena specijalnom masom za zaštitu od krhotina i parčadi eksplozivnih artiljerijskih projektila. Zanimljivo je da se ne pominje primena aktivne zaštite vozila, zaštita od elektronskog osmatranja, radarske i laserske detekcije, IC vođenih POVR i aktivnog ometanja tih opasnosti, što je postala standardna mera kod BVP poslednje generacije, pogotovo budućih vozila, kakvo bi trebalo da bude IFV DARDO.

Pogon i prenos snage

Motor je dizel 6-cilindrični četverotaktni, turboprehranjivani IVECO MTCA V-6 (FIAT 8260), maksimalne snage 382 kW, isti kao kod B-1 CEN-TAURO. Motor ima iste elemente kao i motor MTCA V-12 ugrađen u tenku C-1 ARIETE (cilindri i klipovi). Motor obebeđuje specifičnu snagu vozila od 16,6

do 17,36 kW/t (zavisno od varijante kupole, tj. mase vozila).

Hidromehanička automatska transmisija ZF LSG 1500, u bloku sa hidrodinamičkim prenosnikom obrtnog momenta i zaobilaznom spojnicom na ulazu u transmisiju, obezbeđuje kontinualnu promenu stepena prenosa bez prekida toka snage. Sa transmisijom je integrisan hidrostatički prenosnik ZF 9000 sa dvojnim planetarnim sklopovima za upravljanje. Uređaj obezbeđuje kontinualnu promenu radijusa zaokreta vozila. U sastavu transmisije nalazi se retarder, a zaustavljanje se obavlja pomoću disk-kočnica.

Hodni deo je karakterističan kao kod većine savremenih BVP. Nezavisno torziono oslanjanje osigurava veliki dinamički hod oslonih točkova od 367,5 mm (230 mm pri opterećenju i 137,5 mm od

statičkog položaja do punog odskoka). Na pozicijama prva dva i zadnja dva para oslonih točkova nalaze se hidraulični amortizeri i gumeni odbojnici.

Osim baznog modela IFV DARDO sa topom 25 mm, 30 mm ili 60 mm, planira se razvoj četiri namenske varijante: sa topom 25 mm i dva lansera TOW, slično baznom modelu, namenjeno za PO borbu; vozilo za vatrenu podršku sa minobacačem 120 mm; komandno vozilo i vozilo za evakuaciju ranjenika iz borbe.

Konzorcijum IVECO/FIAT/OTO-Melara odlučio je da razvije po jedan prototip vozila za sve četiri varijante, od kojih bi prvi bio predat na ispitivanje u zadnjem kvartalu 1999. godine. Serijska proizvodnja vozila predviđa se za sredinu 2000. godine (oko 200 vozila).

M. Đorđević



RANJIVOST BOMBARDERA B-1B*

U agresiji NATO na SRJ učestvovalo je na hiljade aviona koji su imali nekoliko desetina hiljada naleta tokom 78 dana, a mnogi od njih predstavljaju poslednju reč tehnike. To je trebalo da ostvari negativne psihološke efekte na stanovništvo koje je, prenatrpano mnogobrojnim podacima o superiornosti naoružanja i opreme, trebalo da klone duhom.

Međutim, u vreme agresije, posle određenih faza koje su proklamovali čelnici NATO, pojavile su se izvesne sumnje u neke od performansi najpoznatijih i najskupljih aviona. To se posebno odnosi na skupi projekat bombardera velikog dometa B-1B.

Ispitivanja tog aviona pokazala su da sada nepoznatu osetljivost (ranjivost)

ovog aviona u odnosu na protivničku protivavionsku vatru. Poverljivi izveštaj postao je otvoren za javnost početkom aprila 1999. godine, (prve nedelje od početka agresije). To, naravno, govori da se vojni establišment, udružen sa proizvođačima naoružanja i vojne opreme, našao u pogodnom (ratnom) trenutku na svom terenu – proizvoditi što više i skuplje.

Kao posledica ispitivanja „živom“ vatrom (realnim oružjem) otkriveno je da ovaj avion može biti posebno osetljiv na velikom delu strukture. Pouzdane informacije dobijene su posle testova u kojima su ispitivani rezervoari za gorivo i hidrodinamički efekti. Međutim, suočeni sa istinom o izraženoj osetljivosti aviona, koji košta milijarde dolara, stručnjaci u Ministarstvu odbrane SAD su saopštili da postoje praktična rešenja za eliminisanje uočenih slabosti.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 7. april 1999.

Kada su slabe strane nekih delova konstrukcije aviona obelodanjene, pet aviona B-1B iz vazduhoplovne baze Ellsworth (J. Dakota) već se nalazilo iznad Evrope. Ovi avioni su, inače, namenjeni za uništavanje tenkova, artiljerijskih oruđa i ostalih snaga na zemlji. U tom cilju koriste kasetnu municiju CBU-87, CBU-89 i CBU-97. Avion može da se koristi na visinama visokog rizika, kao što je to u toku agresije bilo nad teritorijom SR Jugoslavije.

Testovi za utvrđivanje ranjivosti aviona nisu vršeni na avionima prirodne veličine, već su izvršeni na delovima aviona B-1B № 1, koji je demontiran prema stratezijskom sporazumu o kontroli naoružanja START I.

Testovi su izvršeni u oblasti rezervoara za gorivo (oštećenje vatrom ili eksplozijom), a konstatovana su strukturna oštećenja na krilima prouzrokovana hidrodinamičkim efektima pogađanja projektilima. Ustanovljeno je da pogađanje oružjem oštećuje napadne ivice i trup aviona u blizini rezervoara za gorivo prilikom udara projektila. Takođe odvojenost redundantnog hidrauličkog i sistema za kontrolu leta pokazala se neefikasnom. Sistem za spasavanje posade aviona ima četiri opcije koje obezbeđuju sigurno spasavanje posade, osim u slučaju direktnog pogotka. Otporne tačke u avionu treba da spreče isticanje goriva iz balistički oštećenih rezervoara za gorivo i obezbede dovoljno snage za povratak aviona u bazu sa oštećenjem čak tri motora.

Program modernizovanih konvencionalnih zadataka (CMUP) podrazumeva da se avion B-1B opremi globalnim sistemom za pozicioniranje (GPS), koji će zameniti inercijalni navigacioni sistem, omogućujući izbacivanje satelitski vođene

municije. Mada neki avioni B-1B imaju GPS i nose JDAM (Joint Direct Attack Munition) municiju, glavnina flote tih aviona još uvek nosi i izbacuje kasetnu municiju i nevođene bombe.

Sve ovo navodi na konstataciju kako su svi sistemi (posebno vazduhoplovni), čiji programi razvoja nisu okončani ili je njihovo nastavljanje uslovljeno finansiranjem na duže staze, ciljano upotrebljavani u agresiji NATO na SRJ i da se tek očekuje procena njihovog realnog učinka. Na stranu političke konsekvence upotrebe flote NATO, vojni aspekti su mnogo značajniji jer oni reprodukuju novu svest o političkim tendencijama, pojavama i stanjima. Slični primeri preuveličavanja superiornosti naoružanja SAD u operaciji „Pustinjska oluja“ doveli su, donekle, do otrežnjenja u megalomanskim planovima kompanija za proizvodnju naoružanja.

V. Radić

<<<◇>>>

BUĐUĆI FRANCUSKI BORBENI SISTEM VOJNIKA PEŠADIJE

Prvi integrisani sistem naoružanja i opreme za vojnika pešadije, proizveden za potrebe francuske vojske, urađen je kao pokazni program. Iskustva stečena sa kompletom, za koji su započeta ergonomska ispitivanja u januaru, biće ugrađena u projekat i konstrukciju 11 narednih kompleta (jedan kao referentni sistem, jedan rezervni i 9 opremljenih za vojnike) radi potpune demonstracije ove opreme na nivou odeljenja.

Naredni kompleti, koji će uključiti specijalne uređaje za potrebe komandira odeljenja (stabilizovani sistem za osma-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1999.

tranje i namenski programirani kompjuter) i snajper sa nišanskim sistemom velikog dometa, kao i oprema za kolektivnu podršku (sistem punjećih baterija i grupni sistem za upravljanje situacijama) biće kompletirani u oktobru.

Uvežbavanje odeljenja, koje će se obavljati uz formacijska odeljenja pešadije, počće u novembru, a konačan izveštaj planiran je za juli 2000. godine. Konačan, potpuno oblikovani sistem, mogao bi biti prikazan javnosti 2005. godine.

Početni program, V1-1, proizvođač se dve godine, počevši od 2006. i biće zamenjen verzijom V1-2 u 2009. i 2011. godini. Proizvodnja modela FELIN/V2 planirana je za period 2012. do 2013. godine.

Konzorcijum za razvoj ovog sistema čine:

Thomson – CSF servisna industrija (nosilac ugovora, elektronska i komunikacijska oprema, kompjuterski sistemi);

– GIAT industrija (upravljanje ljudskim faktorom, upravljanje energijom, NBH zaštita, razvoj oružja);

– Sextant avionika (displej i kamera na glavi i zvučne veze);

– CGF Gallet (sklopovi montirani za glavu, NBH zaštita, balistička zaštita);

– VTN industrija (sklopovi za nošenje i smeštaj, odeća za velike hladnoće, čizme i rukavice);

– Paul Boye (NBH zaštitna odeća, pododelo, balistička zaštita);

– Aero (softverski sistemi);

– Bertin (prenosni generator).

Pojedinačni komplet za vojnika ima masu 28 kg (objektivno bi trebalo da bude 25 kg) i ima 5 podsistema, uključujući okvir za nošenje, borbenu garnituru, opremu za glavu, elektroniku i naoružanje.

Oprema za glavu sadrži naočari pričvršćene za šlem koje štite oči od laserskog zračenja i parčadi, zvučnu zaštitu i opremu za sistem osmatranja, držač na bradi ili licu za pričvršćivanje kamere za noćno osmatranje, NBH respiratore, i zaštitu lica.

Integrisana elektronika obuhvata: sistemsko i energetske upravljanje, komunikacije, navigacionu opremu za globalni pozicioni sistem (GPS), sistem za osmatranje, veze čovek–tehnika.

Radio-uređaj ugrađen u paket elektronike sadrži kombinovani primopredajnik koji radi na 2,45 GHz, i posebni video predajni sistem na 400 MHz, pri čemu samo komandir odeljenja može primati video slike i odobriti njihovo prenošenje.

Podsistem naoružanja sadrži: pušku FAMAS opremljenu elektronskim sistemom, uključujući senzor položaja i interfejs za sistem upravljanja; pomagala za otkrivanje cilja, uključujući kameru za dnevni nišan sa svetlosnim pojačivačem za noćno osmatranje, laserski pokazivač i sistem za identifikaciju snaga.

Modelovana pogodnost prvi put je ispitivana u Armiji SAD, u Istraživačkoj laboratoriji u Aberdinu, na stazi od 500 metara, sa 20 prepreka i platformom za ocenu stanja. U svaku prepreku ugrađeni su senzori za objedinjavanje podataka, uz istovremeno registrovanje brzine napredovanja do drugog objekta, kao i opšti učinak, otkucaje srca, brzinu i smer vetra, temperaturu. Kamera za snimanje u realnom vremenu i glasovne veze sa subjektom i proceniteljem takođe su predviđene za ove potrebe.

M. Krbavac



VIŠENAMENSKI LOVAC MFI*

Istraživački i proizvodni sistem MIG je januara 1999. godine završio prototip novog lovačkog aviona pete generacije. Taj događaj ujedno je obeležio i jedan prelazni period u razvoju, koji je trajao 15 godina. Naime, lovci MiG-29 i MiG-31 već su bili u fazi testiranja kada je projektni biro formulisao koncept i preporučio strategiju razvoja novog aviona. U toku 1983. godine, sa Istraživačkim institutom vazduhoplovnih snaga i institutima avionske i elektronske industrije, započet je rad na „Programu namenski orijentisanog kompleksa“ sa odobrenim taktičkim i tehničkim uslovima projektnog predloga.

Lovac MFI je trebalo da ispuni zahteve kao što su:

- velika manevarska sposobnost (da leti sa superkritičnim napadnim uglovima, sa povećanim nivoom trajnog i mogućeg g-opterećenja i visokog pokazatelja ugla okretanja, što zahteva veći odnos potisak/težina i povećanu aerodinamičku efikasnost krila);
- supersoničnost leta uz mogućnost samouništenja;
- niska radarska i IC osetljivost;
- kratko uzletanje i sletanje;
- znatno smanjenje cene časa letenja, posade za opsluživanje na zemlji, veličine i mase nestandardne opreme za podršku na zemlji;
- novi izgled ugrađene opreme i novo uređenje pilotske kabine i kontrolnih instrumenata;
- visok nivo integracije.

To su uslovi po kojima bi novi avion ne samo nadmašio sve lovce prethodnih generacija, već i onih koji su bili u fazi razvoja u približno istom periodu u SAD.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj-jun, 1999.

Program MFI naziva se i „lokomotivom“ u pristupu za projektovanje i razvoj tehnologija primenljivih na nove tipove aviona.

Druge verzije projekta MFI zamišljene su kao izviđački avioni, transportni ili neke jeftinije i manje složene „lake“ verzije. Pokazalo se da je prema pokazateljima efikasnosti i cene, kombinovanje snaga „teških“ i „lakih“ lovaca, u odnosu 1 : 2, najpovoljnije za ruske vazduhoplovne snage.

U koncepcijskoj i preliminarnoj fazi (1987. i 1991. godine), sledeći mnoge aerodinamičke testove, proračune i analize raznih aerodinamičkih konfiguracija, uključujući i napred usmerena krila, odabrana je konfiguracija i adaptivno krilo, sa velikim refleksivnim površinama, koje obezbeđuju visoku aerodinamičku efikasnost pri podzvučnim i nadzvučnim brzinama i superkritičke uglove napada. Bilo je jasno da ostvarenje tog koncepta iziskuje razvoj odgovarajućeg usavršenog sistema za upravljanje letom, kao i upravljanja vektorom potiska.

Testirano je nekoliko desetina motora u ispitnim stanicama i podzvučnim laboratorijama. Leteća laboratorija izrađena je na bazi MiG-25, i korišćena je za testiranje motora A1-41F za brzine oko 2 Maha. Mnogo je učinjeno na razvoju nove opreme i naoružanja, kao i novih tehnologija i materijala za avion i sisteme aviona. Preduzete su mere za smanjenje mase, uključujući i primenu kompozitnih materijala. Konstrukcija prototipa lovca počela je ranih devedesetih godina. Prvi prototip urađen je radi testiranja aerodinamičke konfiguracije, automatskog upravljanja, sistema opšte namene, motora i drugih vitalnih sklopova letelice, bitnih za ispitivanje strukturne čvrstoće. Takođe, planirana je izgradnja leteće la-

laboratorije za testiranje opreme i sistema oružja, prototip za finalne faze testova leta, kao i standardna izrada modela.

Za potrebe daljeg razvoja trebalo je savladati još neke probleme. Projektni biro MiG nije kompletirao prvi prototip aviona naoružanjem pre realizacije testova leta i zahteva performansi motora. Za testiranje avioopreme i naoružanja poželjnije je korišćenje određene leteće laboratorije, npr. one izrađene na bazi aviona MiG-31. Takvu praksu koriste gotovo svi glavni svetski proizvođači aviona. Takođe, niko prva tri prototipa ne smatra originalnim modelom ukoliko ne odgovaraju osnovnom konceptu. Originalni modeli se pojavljuju na avio smotrama, ali se smatraju samo modelima. Takav model je urađen i za lovački avion MFI.



Prototip lovca MFI (MiG)

Osim toga, trebalo je razviti specijalne tehnike radi povećanja avionske nevidljivosti (stealthiness). Danas zapadne kompanije mnogo ulažu u razvoj pete i četvrte + generacije lovačkih aviona. Na primer, francusko vazduhoplovstvo dobija novi lovac RAFALE za njihove operativne jedinice već ove godine. Nekoliko prototipova aviona testirano je u SAD (F-22), Velikoj Britaniji i Nemačkoj (EFA) i Švedskoj (Gripen).

Prvi prototip ruskog aviona MFI dugo je bio na testiranju i podešavanju u

migovoj ispitnoj stanici, i učinjena su probna ispitivanja pri velikim brzinama. Mnogo vremena i napora tražio je razvoj i podešavanje integralnog sistema upravljanja. Ipak, sve pripreme za promotivni let završene su, pa se može uskoro i očekivati.

M. Krbavac

<<<◇>>>

MODERNIZOVANI HELIKOPTER Mi-35M*

U svetu se mnogo pažnje posvećuje modernizaciji helikoptera radi dostizanja najsavremenijih karakteristika, uz minimum finansijskih troškova. Moskovski helikopterski zavod Mil, zajedno sa kompanijom Rostvertol, radi na celovitoj modernizaciji helikoptera Mi-35, koji je i razvio.

Prema državnom programu ispitivanja, marta 1999. godine izveden je prvi kvalifikacioni let helikoptera Mi-24VM (osnovne verzije helikoptera Mi-35 namenjenog za izvoz). Treba napomenuti da se izvozna verzija Mi-35 prilično razlikuje od Mi-24VM koji je razvijen za ruske oružane snage.

Od 1978. godine Rostvertol je izveo oko 600 helikoptera Mi-35 raznih modifikacija u više od 25 zemalja sveta. Danas je oko 1000 helikoptera, razvijenih na bazi Mi-24, u upotrebi u ruskim vazduhoplovnim snagama.

Potpuno modernizovani helikopter Mi-35 prvi put je prikazan na Vazduhoplovnoj izložbi u Buržeu 1995. godine. Glavni ciljevi modernizacije helikoptera su:

- znatno produženje veka trajanja,
- poboljšanje karakteristika,
- povećanje borbene efikasnosti,

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj-jun, 1999.

– obezbeđenje dnevno-noćne borbene upotrebe,

– poboljšanje pogodnosti za remont.

Navedeni ciljevi mogu se postići uz primenu brojnih modernizacija, kao što su:

– produženje planiranog i procenjenog životnog ciklusa korpusa, sistemskih jedinica i opreme;

– smanjenje mase praznog helikoptera i povećanje pouzdanosti i otpornosti sistema na borbena oštećenja (remont planera i mehaničkih sistema);

– povećanje borbene efikasnosti sistema naoružanja, uključujući protivtenkovski raketni sistem ATAKA i ATAKA-M povećane efikasnosti i nevođene avio-rakete,

– obezbeđenje dnevno-noćne upotrebe helikoptera opremanjem posade noćnim naočarima i adaptacijom osvetljenja kabine, kao i opremanje helikoptera stanicom za osmatranje i upravljanje vatrom,

– modernizacija vatrenog sistema helikoptera, povećanje njegove aerodinamičke efikasnosti i smanjenje mase korišćenjem glavnog i repnog rotora razvijenih za helikopter Mi-28. To je dovelo do smanjenja ukupne mase za 300 kg i povećanje efikasnog potiska glavnog rotora,

– dalje povećanje borbene efikasnosti sistema naoružanja (opremanje helikoptera novim uređajima za vezu, uvođenje raketnih sistema vazduh-vazduh IGLA-V s toplotnim samonavođenjem, zamena zastarelih analognih kompjutera helikopterskim jedinstvenim kompjuterskim sistemom BUK-24 koji omogućava rešavanje problema navigacije u vazdušnom prostoru, zamena zastarele opreme za radio-vezu),

– omogućavanje dnevno-noćne upotrebe ugrađenog naoružanja zamenom

dosadašnjeg novim žiroskopski stabilizovanim sistemom za izviđanje i upravljanje vatrom.

U skladu sa zahtevima nudi se nekoliko varijanti modernizacije, a jedna od najboljih je ona koja se sprovodi u sklopu generalnog remonta. Ona bi obuhvatala:

– *modernizaciju korpusa:*

– ugradnju neuvlačećeg stajnog trapa, što smanjuje masu i povećava sigurnost niskog leta i vanredno prizemljenje;

– reparaciju krila, ugradnju lansirnih uređaja s efikasnijom popunom municijom;

– *modernizaciju sistema naoružanja:*

– prilagođavanje za primenu raketa S-13 na raketni kontejner 130 mm (B-13L1);

– opremanje helikoptera vođenim raketnim sistemom ŠTURM-VM (9K113M);

– *modernizaciju rotornog sistema helikoptera* i demontažu sekundarnog hidrauličnog sistema radi smanjenja mase, poboljšanja performansi leta i povećanja borbene sigurnosti;

– *opremanje sistemima za noćno osmatranje:*

– NVIS-kompatibilno osvetljenje instrumenata u kabini posade i adaptacija opreme za naočari, koje omogućavaju sigurno uzletanje i sletanje noću i pod ograničenim uslovima vidljivosti, kao i let na ekstremno malim visinama i brzinama;

– ugradnja stanice za osmatranje i upravljanje vatrom, opremljene IC, TV i laserskim kanalima za otkrivanje cilja i identifikaciju na velikim rastojanjima noću, upotrebu nevođenih raketa u uslovima ograničene vidljivosti i noću, kao i sprovođenje pretražnih operacija i izviđanja u svim uslovima.

M. Krbavac

<<<◇>>>

SAVREMENI RADARSKI TRAGAČI*

Moskovski istraživački institut Agat vodeća je institucija u Rusiji u oblasti razvoja radarskih tragača za rakete vazduh-vazduh i površina-vazduh, namenjenih za borbu sa sredstvima za napad iz vazdušnog prostora. Njihova sredstva uvek su izazivala interesovanje vojnih eksperata na međunarodnim izložbama.

Na razvoju radarskih tragača Institut je angažovan od 1958. i do sada je već razvijeno i proizvedeno nekoliko generacija radarskih tragača. Tu spadaju radarski tragači za sisteme PVO KUB i BUK i njihove verzije za sisteme KVADRAT, GANG i URAL, kao i verzija za brodski sistem PVO SHTIL. Osim toga, ovaj institut je projektovao sve radarske tragače za rakete na lovcima MiG-23, MiG-25, MiG-29, MiG-31, Su-27 i njihovim modifikacijama.

Proteklih godina razvoj radarskih tragača kretao se u dva pravca. Prvi pravac bilo je dalje usavršavanje prethodno razvijenih poluaktivnih radarskih tragača, uz korišćenje novih komponenta i digitalizacije signala, kao i smanjenja njihove mase i dimenzija. Logika funkcionisanja radarskog tragača je, takođe, popravljena za uslove ometanja i raznovrsnu borbenu upotrebu raketa. Po-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1999.

seбно je uspešno razrešen problem uništenja ciljeva na vodi i nekih zemaljskih ciljeva, za radarski tragač raketnog sistema PVO BUK-M1. Drugi pravac aktivnosti bio je razvoj novih aktivnih radarskih tragača, koji po svojim karakteristikama obezbeđuju upotrebu i u 21. veku.

Jedan od takvih je usavršeni radarski tragač 9B-1103M koji je bio predstavljen i na vazduhoplovnoj izložbi MAKŠ '99.

Radarski tragač ima prečnik 200 mm, masu do 10 kg i obezbeđuje daljinu otkrivanja ciljeva najmanje 25 km, ukoliko im je efektivna površina refleksije 5 m². Razvojem radarskog tragača 9B-1103M razrešeni su mnogi tehnološki problemi, a kao rezultat dobijeni su minijaturni uređaji i sklopovi koji služe kao osnova za taj i druge radarske tragače. Tu spadaju:

- minijaturni SHF odašiljač i SHF prijemnik s ubrzanim režimom rada i TWT grejanjem;

- antena radarskog tragača, čiju osnovu čine dva fiber-optička žiroskopa umesto jednog mehaničkog;

- digitalni signal-procesor i računar velike brzine (preko 50 mln operacija u sekundi) sa velikom memorijom, koji omogućava obradu signala u nekoliko paralelnih kanala.

Upotreba ovih uređaja znatno poboljšava performanse radarskog tragača, a posebno:

- smanjenje vremena gotovosti za lansiranje rakete (7 do 8 s za hladno

Tip	Domet otkrivanja cilja (km)	Prečnik (mm)	Masa (kg)	Vreme gotovosti (s)
Usavršeni 9B-1103M	25 (efekt. površina cilja = 5 m ²)	200	10	1 (posle zagrevanja)
9B-1103M	25 "	200	14,5	1,5 "
9B-1348E	16 "	200	16	1 "
9B-1388	obezbeđuje otkrivanje raketa vazduh-vazduh velikog i supervelikog dometa	380	40	5 "
9E50M1E	40 (efekt. površina cilja = 1 m ²)	310	28,5	14 "

stanje ili do 1 s pri delimičnoj zagrejanosti u „stand-baj“ režimu);

– povećanje sposobnosti radarskog tragača, zbog znatnog poboljšanja otpornosti rakete na ometanje i tačnosti vođenja.

Osnovne karakteristike tragača date su u tabeli.

M. Krbavac

<<<◇>>>

PROTIVPODMORNIČKI RAKETNI SISTEM MEDVEDKA*

Protivpodmornički malogabaritni raketni sistem MEDVEDKA uspešnim lansiranjem rakete sa malog protivpodmorničkog broda s podvodnim krilima, i sa obalskog lansirnog položaja na poligonu Crnomorske flote, u potpunosti je potvrdio zahtevane kvalitete.

Sistem MEDVEDKA ima u svom sastavu malogabaritni protivpodmornički torpedo kalibra 324 mm, koji je razvio CNII „Hidropribor“ iz Sankt Petersburga. Uz jednostavnost i tradicionalni oblik, raketa MEDVEDKA je po načinu dejstva višefunkcionalni leteći aparat, pri čijem je stvaranju rešen niz novih zadataka spoljne balistike i upravljanja letom, unutrašnje balistike višerežimskog raketnog motora na čvrsto gorivo, projektovanja i optimizacije vuče motora, sklopova za spajanje i razdvajanje glave i motora, torpeda s glavom, parašutiranja i dr. Potvrđena je, takođe, izdržljivost višegorivnog lansirnog uređaja, čije su cevi izrađene od lakih legura. Kao rezultat stvoren je raketni sistem minimalne mase i dimenzija, pogodan za smeštaj na svim brodovima, što garantuje visok nivo efikasnosti brodske protivpodmorničke borbe u bliskoj zoni.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj–jun 1999.

Poznato je da oruđa na brodu moraju biti ne samo brza i tačna, da nalaze i unište cilj, da imaju zahtevanu pouzdanost i resurse, već i da su potpuno bezbedna pri eksploataciji u uslovima raznovrsnih standardnih i vanrednih situacija. Razrada, realizacija i praktična provera efikasnosti mera bezbednosti obično je težak i mukotrpan proces, koji zahteva neophodne naučno-tehničke, materijalne, finansijske i druge oblike podrške.

Jedna od takvih radnji, koja je prema posebnom zahtevu izvedena u završnoj fazi eksploatacionih ispitivanja sistema MEDVEDKA, bila je provera bezbednosti rakete u uslovima broskog požara kao nestandardne havarijske situacije. „Opasnim“ elementima rakete, koji pri toplotnom uticaju moraju sačuvati „neutralnost“ u zadatom vremenu, smatraju se čvrsto gorivo za motor, delovi za početno paljenje, pirotehnička sredstva sklopova za razdvajanje rakete, kao i eksplozivno punjenje bojne glave, motor i pirotehnička sredstva torpeda.

Sprovedene konstrukciono-tehničke analize omogućile su, za potrebe toplotne zaštite, izbor specijalnog vatro-stalnog premaza, koji se nanosi na spoljašnju površinu sredstva raspršivačem ili četkom u nekoliko slojeva, sve do postizanja zahtevane debljine sloja. Posle sušenja zaštita je gotova.

Pri toplotnom uticaju, usled visoke temperature, zaštitni sloj nabubri i prekriva celi objekat omotačem koji smanjuje 10 do 20 puta intenzitet prolazećeg toplotnog toka. Sastav premaza i tehnologija nanošenja provereni su na nizu sredstava. Ispitivanja ove metode zaštite za raketu MEDVEDKA sprovedena su na specijalno pripremljenom uzorku, opremljenom temperaturnim senzorima postavljenim na osetljivim mestima rakete, a na

kontejner je bio nanesen zaštitni vatro-stalni sloj debljine 2 do 2,5 mm.

Posle eksperimenta koji je trajao četiri časa činilo se da će pod kontejnerom ostati samo ugljenisana glava rakete. Međutim, sredstvo je potpuno sačuvano, a vrednosti koje su registrovali senzori temperature na svim opasnim tačkama rakete bile su daleko od kritičnih. Ispitivanjima osetljivosti na požar praktično je potvrđeno da sistem MEDVEDKA poseduje zahtevane karakteristike eksploatacione bezbednosti.

Tokom proizvodnje suštinski su se menjali i programi izgradnje brodova i broskog naoružanja, a zaoštravali su se i finansijski uslovi. Tako se i pred sistem protivpodmorničke borbe, a time i sistem MEDVEDKA, postavio zadatak šire oblasti primene. Reč je, pre svega, o mogućnosti razmeštaja rakete na uređajima brodova za vertikalno lansiranje i startovanje raketa iz njih.

Danas je u ponudi raketa za vertikalno lansiranje u kojoj se praktično koriste svi sklopovi rakete MEDVEDKA. Dodaje se novi autonomni odeljak sistema za upravljanje u kojem su smešteni blok komandnih pribora, kompjuter sistema, upravljačke komande i drugi elementi, slični onima koji se koriste na drugim sredstvima koja se već nalaze u serijskoj proizvodnji.

Lansiranje rakete ostvaruje se po tzv. „minobacačkom“ principu, uz pomoć barutnog generatora pritiska iz transportno-lansirnog kontejnera. Primena ovakvog principa startovanja omogućava smanjenje gasnodinamičkog uticaja na brodsku konstrukciju pri startu rakete. Posle vertikalnog izbacivanja iz kontejnera raketa ostvaruje zaokret u pravcu cilja, nakon čega se uključuje raketni motor i počinje upravljanje let ka cilju.

Elementi primenjeni u raketnom sistemu omogućavaju, uz manja ulaganja, stvaranje raketnih sistema za potrebe borbe flote i kopnenih snaga protiv raznovrsnih ciljeva na moru i na zemlji.

Osnovne karakteristike rakete MEDVEDKA

Startna masa	800 kg
Dužina	5,5 m
Prečnik	0,4 m
Domet	1,5–20 km
Motor	sa čvrstim gorivom

M. Krbavac



RAKETNI BROD MUNJA*

Raketni brod MUNJA (projekat 12421) namenjen je za uništavanje borbenih površinskih brodova, transportnih i desantnih sredstava protivnika u priobalnom pojasu i na otvorenim morima.

To je jedinstveni primer savremenog borbenog broda treće generacije, koji je naoružan udarnim raketnim sredstvima, raketnim sredstvima PVO i artiljerijskim naoružanjem. Za sada nema sličnog primera u toj klasi. Uz relativno mali deplasman naoružan je sa četiri nadzvučne rakete MOSKIT (protivbrodske) i opremljen je radarskim sistemom za upravljanje raketama HARPUN-BAL.

Rakete broda MUNJA imaju visoke taktičko-tehničke karakteristike, a radarski sistem uz rakete predstavlja najnovije dostignuće u razvoju radio-elektronskih sistema te namene.

Osim udarnog raketnog naoružanja, brod je opremljen raketnim oružjem PVO i automatskim artiljerijskim oruđima. Predviđeno je da se na brodu čuva 12 prenosnih raketnih sistema PVO

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj–jun, 1999.

IGLA, namenjenih za uništavanje ciljeva u vazдушnom prostoru u uslovima vizuelne vidljivosti. Za uništavanje nadvodnih obalskih i ciljeva u vazдушnom prostoru na prednjem delu broda postavljeno je artiljerijsko oruđe AK-176 kalibra 76,2 mm, a na krmenom delu dva brzometna automatska oruđa 30 mm AK-630, koja se mogu upotrebiti za uništavanje plovećih mina.

Dobre plovne performanse broda MUNJA omogućavaju upotrebu oružja pri stanju mora 5 stepeni po Boforovoj skali a bezbedan boravak na moru pri stanju mora od 8 stepeni.

MUNJA je opremljena sredstvima za zaštitu od NHB oružja, kao i od nekontaktnog minskog oružja.

Pri tropskim klimatskim uslovima maksimalna brzina broda, pri normalnom deplasmanu i stanju mora 2 stepena, iznosi 35 čvorova, a 38 čvorova pri normalnim klimatskim uslovima i temperaturi vazduha 15°C.

Daljina plovidbe u normalnim uslovima, pri kretanju ekonomičnom brzinom i sa punom zalihom goriva, iznosi oko 1700 milja, a pri maksimalnoj popuni cisterni za gorivo i ulje, i pri brzini od 12 do 13 čvorova – do 2000 milja.

Brod ima 44 člana posade. Opremljen je savremenim radio-tehničkim sredstvima. Aktivno-pasivni sistem HARPUN-BAL ima dobru zaštitu od ometanja, ostvaruje istovremeno osmatranje 15 ciljeva i daje istovremeno podatke o 6 ciljeva. Sistem ima domet u aktivnom režimu do 120 km, a u pasivnom do 500 km.

Radi povećanja verovatnoće otkrivanja ciljeva u vazдушnom prostoru, po-

vršinskih ciljeva, davanja podataka o cilju radarskom sistemu za upravljanje artiljerijskim oruđima i stanici za aktivna ometanja, na brodu je ugrađen radarski sistem POZITIV – E.

Za zaštitu od protivbrodskog oružja sa različitim sistemima navođenja, postoji sistem za ometanje bliske granice koji se sastoji od dva lansirna uređaja i projektila za kombinovane smetnje.

Naoružanje broda je izuzetno pouzdano, lako za rukovanje i efikasno u izvršavanju borbenih zadataka. Zahvaljujući korišćenju savremenih sistema naoružanja, visokim plovnim karakteristikama, posedovanju savremene elektronske navigacione opreme, ovim brodom može se kontrolisati morska akvatorija ukupne površine do 5000 kvadratnih morskih milja.

Glavni motor na brodu je gasnoturbinski agregat sastavljen od dva automatizovana sklopa, od kojih svaki pogoni elise na svojoj strani broda, na svim režimima kretanja napred i nazad.

Na brodu postoji savremena oprema za efikasnu dvostranu vezu u dijapazonima PV/KV, UKV, a ugrađen je i integrisani navigacioni sistem NAVY-BRIDGE 2000. Spasilačka oprema broda sastoji se od 5 spasilačkih naduvavajućih splavova, svaki za po 10 ljudi.

Osnovne taktičko-tehničke karakteristike broda

– puni deplasman	550 t
– ukupna dužina	56,9 m
– najveća širina	13 m
– visina na sredini broda	5,31 m
– dubina gaza	2,65 m

M. Krbavac





tehničke novosti i zanimljivosti

OJAČAVANJE RAKETNIH SNAGA U EVROPI*

Kopnena vojska SAD poslala je višecjevne raketne lansere (MLRS) za podršku helikopterima APACHE, koji su bazirani u Albaniji, kao deo rastućeg potencijala municije velikog dometa.

Izvori u KoV SAD ukazuju da je nekoliko stotina raketa velikog dometa i više od 24 rakete povećanog dometa upućeno u taj region početkom maja 1999. godine. Obe vrste municije su deo taktičke opcije isporuke unutar familije municije za MLRS.

Prema dostupnim podacima 30 kompleta municije povećanog dometa ER-MLRS (Extended Range MLRS) upućeno je u Albaniju. U poređenju sa osnovnim MLRS M26, koji nosi 644 bombe M77 poboljšane konvencionalne municije dvostruke namene (DPICM) maksimalnog dometa 31,6 km, ER-MLRS, koja je uvedena u naoružanje 1998. godine, nosi 518 bombica M77 maksimalnog dometa 45,5 km.

Takođe, isporučena su i 32 taktička raketna sistema Block IA (ATACMS), sa 48 dodatnih raketa Block I u kasnijoj isporuci. Raketa ATACMS Block IA razvijena je na osnovu iskustava stečenih u ratu u Zalivu 1990–1991. godine. Dok

raketa ATACMS Block I može da „isporučiti“ 950 protivpešadijskih – protivmaterijalnih bombica (APAM) maksimalnog dometa 124 km, raketa Block IA ima mogućnost da nosi 300 APAM do cilja na daljini od 300 km. Da bi se izvršilo tačno dejstvo po cilju, raketa Block IA i sledeće rakete Block II i Block IIA su snabdevene sa GPS umesto inercijalnog navigacionog sistema.

Isporučka raketa Block IA pokazala je da će neki od MLRS biti opremljeni poboljšanim sistemom za pozicioniranje (IPDS), koji će omogućiti raketi Block IA da izvrši potrebnu inicijalizaciju pre lansiranja.

Tokom 1993. godine određeno je da ATACMS rakete Block IA dobijaju GPS inicijalizaciju direktno sa lansera. Mada će ta sposobnost biti ugrađena u sve lansere M270A1, program opremanja neće biti spreman za operativna ispitivanja sve do septembra 1999. sa uvođenjem u serijsku proizvodnju lansera M270A1. Kao privremeno rešenje, u februaru 1998. godine počelo je lansiranje paketa IPDS u odabrane lansere. Nova jedinica omogućava lanseru i raketi tačnost navigacije, sve dok se zadrže prethodna rešenja. Ostale komponente IPDS uključuju: elektronsku jedinicu (EU) sa 4 MB memorije za zamenu postojeće elektronske jedinice sa 2 MB, što će obezbediti po-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. maj 1999.

trebnu memoriju; dodatnu GPS antenu, sredstvo za transfer podataka i pripadajuće kablove.

V. R.

<<<◇>>>

TAKTIČKE RAKETE TOMAHAWK*

Mornarica SAD planira da nabavi oko pet puta više taktičkih krstarećih raketa TOMAHAWK u odnosu na plan do 2003. godine.

Posle ispaljenja stotina raketa TOMAHAWK tokom napada na Avganistan, Irak, Sudan i Jugoslaviju, mornarica SAD je obelodanila da joj je za buduće operacije potrebno još taktičkih raketa. Ubrzana nabavka taktičkih raketa TOMAHAWK sledi tendenciju mornarice SAD da modernizuje postojeće i nabavi nove rakete koje će biti u upotrebi do 2000. godine i kasnije.

U aprilu 1999. godine odlučeno je da se modernizuju 624 starije rakete TOMAHAWK najmodernijom verzijom BLOCK III, koja koristi sistem za globalno pozicioniranje. Primena GPS povećaće tačnost i mogućnost gađanja u svim vremenskim uslovima. Rakete BLOCK III pružaju bolju kontrolu vremena dolaska i imaju poboljšane kompjutere za vođenje, sistem propulzije i bojne glave.

Taktička raketa TOMAHAWK, koja košta oko 500 000 dolara (što je polovina cene sadašnje rakete), treba da obuhvati sve prednosti rakete BLOCK III. Očekuje se da ova raketa bude sposobna da izvrši reprogramiranje ciljeva u toku leta i da leti iznad bojišta više od dva sata, pružajući komandantima šansu za bolju selekciju ciljeva.

Takođe, taktički TOMAHAWK će imati mnogo snažniju bojnu glavu, po-

seбно sa mogućnostima probijanja bunkera. Očekuje se da će četiri taktičke rakete biti opremljene „pametnim upaljačem“ za otporne ciljeve firme Alliant Techsystems koji će im omogućiti prodiranje i njihovo uništavanje iako su duboko ukopani. Tri testa za uništavanje bunkera koji simuliraju skladišta nuklearnog, hemijskog i biološkog oružja izvešće se tokom 2002. godine. Do 2001. godine očekuje se da će biti završen kompletan razvoj i inženjering taktičke rakete TOMAHAWK. Proizvodnja modernizovane rakete treba da počne 2002. godine, a prva isporuka se očekuje početkom 2003. godine.

V. R.

<<<◇>>>

PRIPREMA PROIZVODNJE ARTILJERIJSKOG SISTEMA CRUSADER*

Kompanija United Defence LP namjerava da pripremi konačnu montažu i ispitivanje samohodnog artiljerijskog sistema 155 mm Crusader, za kopnenu vojsku SAD, u novoj fabrici koja će se izgraditi u Elginu u Oklahomi. Lokacija je izabrana zbog artiljerijskog poligona u blizini Fort Sill u kojem se nalazi artiljerijski centar KoV SAD.

Planira se da će proizvodnja haubice XM2001 CRUSADER i vozila za snabdevanje XM2002 početi u novoj fabrici 2004. godine.

Nova fabrika u Elginu treba da zaposli 150 ljudi koji će biti angažovani na konačnoj montaži i ispitivanju sistema Crusader.

Testiranje pokretljivosti haubice izvedeno je jula 1999. godine, na jednom

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. jun 1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 30. jun 1999.

od četiri hardverska prototipa koji su izrađeni i isporučeni u okviru programa definisanja i smanjenja rizika, čija je faza započeta januara 1995. godine. Sledeći prototip haubice treba da demonstrira vatrenu moć, zahteve za snabdevanje, upravljanje, komandovanje i komunikaciju, kao i zahteve za posadu. Testiranje ovog prototipa planirano je da se izvede u januaru 2000. godine. Nakon toga treba da usledi novi test u avgustu 2000. godine, koji treba da demonstrira ključne performanse i izlazne karakteristike sistema CRUSADER. Istovremeno biće testiran prvi prototip vozila za snabdevanje municijom. Obe platforme biće korišćene u eksperimentima radi ocene operativnih zahteva.

Navodi se da je program CRUSADER finansijski potpuno zatvoren i da predstavlja prioritetni oružani sistem za 21. vek. Sa permanentnom podrškom očekuje se da će prve jedinice biti opremljene sistemom CRUSADER 2005. godine.

V. R.

<<<◇>>>

TENKOVSKA MUNICIJA POVEĆANOG DOMETA TERM*

Kopnena vojska SAD očekuje da će planirana nabavka tenkovske municije povećanog dometa TERM (Tank Extended Range Munition) obezbediti tenkovskim jedinicama dominaciju na bojištu. Tenkovi naoružani municijom TERM dejstvovaće u sadejstvu sa budućim izviđačkim sistemom FSCS (Future SCOUT and Cavalry System), izviđačkim helikopterima, kao što je RAH-66 COMANCHE ili bespilotnim letelicama. Sa muni-

cijom TERM moći će se izvoditi napadi na daljinama oko 6 km na ravnom terenu, odnosno na više od 8 km u indirektnom modu gađanja.

Izvršena su početna ispitivanja konstrukcije municije TERM, koja je sadržavala različite vrste bojnih glava – sa penetratorom velike dužine, eksplozivno oblikovanim penetratorom i kumulativnom bojnog glavom. Slično tome, za upotrebu će se odabrati i tri vrste senzora (poluaktivni laserski, IC i radarski u milimetarskom talasnom opsegu). Izbor projekta i njegovo finansiranje treba da počne od kraja 2000. ili početka 2001. godine. Očekuje se, ukoliko sve programske aktivnosti proteknu bez značajnijih promena, uvođenje municije TERM u naoružanje oko 2010. godine.

Uvođenje municije TERM u naoružanje povezano je sa detekcijom cilja, sistemima za upravljanje vatrom i sistemima za komunikaciju i prenos podataka. S tim u vezi, razvijaju se mnogobrojni uređaji i sistemi koji treba da obezbede efikasnost primene ove municije u oklopnim jedinicama. Poboljšani taktički sistem za prenos podataka (AFATDS) treba da omogući vezu između komande brigade i potčinjenih jedinica (FBCB2), koje snabdeva informacijama kao što je lokacija tenkova, raspoloživost za otvaranje vatre, nagib cevi oruđa, i količina municije (od toga TERM čini, oko 20%). Ovi podaci prenose se do tenka u kojem se nalazi nišandžija koji osmatra cilj.

Ovakav način interakcije između nišandžije, laserskog označavanja cilja, gađanja i korekcije vatre (ukoliko je potrebna), primenjen je u sistemu AFADATS, koji predstavlja vrlo složen deo sistema komandovanja i upravljanja vatrom. Zbog složenosti i velikog broja komponenti sistema čije performanse treba uve-

* Prema podacima iz časopisa Jane's International Defence Review, 7/1999.

zati u skladnu celinu, njegovo uvođenje u naoružanje povezano je ne samo sa rokovima u kojima se vrši ispitivanje, nego i stalnim finansiranjem.

U tipičnom angažovanju očekuje se da će maksimalni domet biti dostignut za 85 sekundi od inicijalne detekcije cilja.

Kompanija Boeing je zajedno sa Alliant Techsystems promovisala novu municiju TERM-TA (top attack) za napad iz gornje polusfere na oklopna vozila, koja nosi tragač sa dvostrukim modom – poluaktivni laserski i radarski u milimetarskom području i bojnu glavu sa fragmentima koji se odlikuju eksplozijom. S druge strane, firma Alliant Techsystems samostalno je izradila municiju TERM-KE (kinetic energy) zasnovanu na dugačkom penetratoru.

V. R.



NOVA PROTIVOKLOPNA ORUŽJA*

U agresiji NATO na SRJ korišćeno je i novo oružje – SFW (Senzor-Fuzed Weapon) – protivoklopna municija CBU-97 opremljena sa senzorima. Ono je prvi put upotrebljeno na teritoriji SRJ i namenjeno je za uništavanje tenkova i ostalih borbenih vozila.

Svako SFW nosi po 10 potprojektila BLU-108 mase 3,86 kg, svaki sa po 4 nezavisne bojne glave SKEET, koje koriste pasivne IC senzore za navođenje na oklopna vozila. Oni se mogu nositi kao podvesni teret na različitim avionima, uključujući bombardere velikog dometa B-1, B-2, B-52, kao i avione A-10, F-15 i F-16.

Za nošenje i izbacivanje oružja SFW odabran je avion B-1B Lancer, pružajući

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 7. april 1999.

moгуćnost da svaki od 5 planiranih aviona iz vazduhoplovne baze Fairford (V. Britanija) prenese po 30 SFW, sa ukupno 1200 individualnih kasetnih bombi. Avioni kao što su A-10 i F-16 mogu da ponesu po 4 SFW.

Sredstvo za smeštaj oružja SFW ima masu 454 kg, a mogu se izbacivati sa visina od 600 m do 6000 m. Mogu da se koriste u svim vremenskim uslovima i da pri izbacivanju pokriju teren površine 6 hektara.

SFW municija projektovana je tako da svaki od 10 potprojektila može da razbaca svoje SKEET bojne glave kako bi oštetile protivnička oklopna sredstva korišćenjem eksplozijom oblikovanih penetratora (EFP) od bakra mase 1 kg, koji rotiraju brzinom od 1600 o/min.

Do kraja 1999. godine RV SAD i firma Textron planiraju da započnu probno ispitivanje SFW po posebnom programu. Projekat podrazumeva ugradnju aktivnog laserskog profilometra (merač neravnina) u potprojektilu BLU-108. U kombinaciji sa pasivnim IC senzorom, profilometar će poboljšati nišansku tačku (tačku navođenja) omogućavajući povećanu ubojnu moć. Sa poboljšanim radarskim visinomerom bojna glava SKEET će pokrivati dvostruko veću teritoriju, tako da će SFW pokrivati više od 12 hektara.

Planirano je da RV SAD do 2004. godine kupi više od 5000 SFW.

V. R.



PROTIVOKLOPNO ORUŽJE PEŠADIJE SHIPON*

Odeljak izraelske vojne industrije Rocket Systems Division (RSD) izvršio je inicijalne testove protivoklopnog peša-

* Prema podacima iz časopisa Jane's defence Weekly, 21. jul 1999.

dijskog lansera za gađanje sa ramena SHIPON (Shoulder Launched Infantry Weapon). Deklariše se kao oružani sistem male mase, sa tandem-kumulativnom protivtenkovskom bojnom glavom sposobnom da probije 800 mm konvencionalnog čeličnog oklopa zaštićenog eksplozivnim reaktivnim oklopom (ERA). On popunjava prazninu između nevođenih protivtenkovskih oružja kratkog dometa i protivtenkovskih vođenih raketa. Otkriveno je i nekoliko detalja vezanih za oružje SHIPON. Sastoji se iz dva osnovna dela: stabilisane nevođene rakete u njenoj kompozitnoj lansirnoj cevi i sistema za upravljanje vatrom koji će se razviti u firmi Elop.

Čitav sistem, uključujući i elemente za upravljanje vatrom, ima masu 9 kg. Zajedno sa lansirnom cevi, dužina mu je 1 m, a prečnik 106 mm, dok je sama raketa prečnika 100 mm.

Automatski modernizovani sistem za upravljanje vatrom, postavljen na vrh lansirne cevi, uključuje dnevni nišanski sistem sa šestostrukim uvećanjem, daljinomer, temperaturni senzor i senzor za merenje brzine vetra i nagiba, a omogućava automatsko procesiranje (obradu) podataka. Domet sistema iznosi 600 metara, a verovatnoća pogađanja pokretnih ciljeva prvom raketom veća je od 50%. Može se ugraditi i noćni nišan.

Municija koju koristi SHIPON sastoji se od bojne glave i sistema propulzije sa otvorenim stabilizatorima. Sistem propulzije zasnovan je na poznatom sistemu B300/SAW (Shoulder-launched Multipurpose Assault Weapon), koji je proizveden za američke pomorsko-desantne jedinice u više od 300 000 primeraka.

SHIPON može da gađa sa tri vrste municije: vežbovnom, za dejstvo po bunkerima i za dejstvo protiv žive sile. Vež-

bovna municija koristi se za gađanja na poligonima i ima inertnu bojnu glavu. Municija za dejstvo po bunkerima ima tandem-kumulativnu bojnu glavu, ali je optimizirana da eksplodira unutar cilja kada prvo punjenje probije zid bunkera. Bojna glava za dejstvo protiv žive sile nosi tri potprojektila, koji predstavljaju dalji razvoj municije M85 bantam, a snabdevene su mehanizmom za samouništenje.

Nakon uspešnih statičkih ispitivanja tandem-kumulativne bojne glave, očekuje se da će sistem SHIPON biti kompletiran u toku 2001. godine.

V. R.

<<<◇>>>

LANSER RAKETA TOW SA UZDIZANJEM*

Sistem TOW sa uzdizanjem, razvijen u firmi Falck Schmidt A/S iz Danske i Delco iz SAD, kompletiran je i izvršena su uspešna gađanja u Danskoj. Taj sistem, koji lansira protivoklopne rakete TOW, projektovan je za ugradnju na laka gusenična ili točkaška borbena vozila pešadije. Prvi prototip ugrađen je na oklopni transporter M113. Tokom ispitivanja svih devet vođenih protivoklopnih raketa TOW pogodile su cilj.

Sistem sa uzdizanjem montiran je na krov oklopnog vozila sa operatorom unutar oklopnog tela tako da je potpuno zaštićen. To je kombinovana platforma za osmatranje i oružani sistem TOW, koji se može izdići do visine 6,5 m, sa dva lansera sa svake strane i raketama TOW dometa 3750 m. Stabilisani senzorski oslonac instaliran je između raketa i ima dnevnu, termalnu i kolor-optiku, kao i laserski daljinomer.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. jun 1999.

Tipičan sistem ima posadu od tri člana (vozač, komandir i nišandžija). Komandir i nišandžija imaju displeje i električni sistem kupole koji nišandžija potpuno kontroliše. Nišanski sistem je stabilisan, vozilo može da obavlja izviđačke zadatke dok je u pokretu, a lanser je spreman za trenutne akcije. Pored toga, četiri rakete TOW uvek su spremne za dejstvo, dok je ostalih 16 raketa smešteno na spoljašnjoj strani vozila a pune se iz zadnjeg dela vozila. Sistem je tako koncipiran da može koristiti sve verzije raketa TOW.

Razvoj i testiranja sistema su završeni, a proizvodnja može da otpočne za najmanje 20 sistema.

V. R.

<<<◇>>>

SISTEM ZA RAZMINIRANJE MINECAT*

Norveški odbrambeni konzorcijum (NoDeCo) izvršio je ispitivanja prototipa modela sistema za razminiranje COM-PACT 230 MINECAT, koji je razvijen u saradnji sa britanskom kompanijom Lockheed Beck Ltd. koja je imala učešće u projektovanju, razvoju i marketingu. MINECAT je marketinški predstavljen kao sistem pogodan za upotrebu na svim terenima i oblastima u kojima je primena skupljih, većih i težih sistema nepodesna. Predstavlja višenamensku platformu podjednako pogodnu za vojne i humanitarne primene.

Seriya ispitivanja u Norveškoj izvedena je da bi se demonstrirala izdržljivost od dejstva brizantnog eksploziva, što uključuje detonaciju 250 do 500 grama, 1 kg i 3 kg brizantnog eksploziva ispod dela rotora. Pri tome nisu zabeležena nikakva oštećenja.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 21. jul 1999.

Pri eksploziji 5 kg brizantnog eksploziva izgubljen je jedan lanac, a kada je detoniralo 10 kg eksploziva ispod rotora izgubljena su dva lanca. Kada je ispitivano dejstvo 7 kg eksploziva koji je detonirao ispod kabine operatora, nije bilo oštećenja na oklopu spolja i iznutra, uključujući i prozore.

Sistem MINECAT opremljen je sa udaračkim sistemom montiranim na prednjem delu, koji je sposoban da brzo razminira protivtenkovske ili protivpešađijske mine. Sistemom se može upravljati daljinski, a može se opremiti i dodatnom opremom, kao što je dozerski nož za razminiranje koji je sada u fazi rekonstrukcije, kako bi se povećala sposobnost i kapacitet razminiranja.

Sa masom od 5 tona MINECAT je mnogo lakši nego ostali udarački sistemi, pa nema potrebu da koristi specijalna transportna sredstva kako bi se dopremio do operativne oblasti. Može se prenositi vazдушnim putem, i u tu svrhu koristi se helikopter CHINOOK CH-47. Takođe, dovoljno je malih dimenzija da se može postaviti na kamion, prikolicu ili u standardni kontejner (ISO standard) za prevoz brodom ili železnicom.

Sistem MINECAT izveden je na komercijalnoj šasiji BOBCAT 863, koja je u velikom broju proizvedena za civilno tržište i laka je za rad i održavanje. Modifikacije ove šasije uključuju ugradnju sistema za razminiranje tipa udaračkih elemenata, štitnik od udarnog talasa eksplozije koji je direktno iza udaračkih elemenata kao i dizel motor Perkins, snage 150 kW i hidrostatički sistem pogona udarača. Sistem za razminiranje koristi dva različita motora za vozilo i udarače, što osigurava maksimalno raspoloživu snagu za svaku funkciju.

Udarači rotiraju brzinom od 300 do 350 o/min, a širina razminiranja je 2,3 m.

Osnovni dizel motor omogućava vozilu maksimalnu brzinu po putu od 12 km/h. Potpuno zatvorena kabina izrađena je od čeličnih oklopnih ploča debljine 13 mm, koje štite operatora od dejstva pancirnih metaka 7,62 mm. Armirano staklo je debljine 72 mm i omogućava sličan nivo zaštite.

Niži deo kabine oblikovan je tako da omogućí skretanje udarnog talasa. Takođe, moguća je i primena keramičkog „applique“ oklopa kojim se ostvaruje viši nivo zaštite kabine.

Podizanjem kabine moguće je povećati klirens vozila na gotovo 1 m, radi povećanja mogućnosti preživljavanja pri dejstvu mina. Kabina operatora može se brzo spustiti radi transporta.

Sistem MINECAT može da se opremi radarom za osmatranje terena ili da koristi platformu za specifične zadatke na bojištu.

Konzorcijum NoDeCo i Lockwood Beck sada rade na sistemima za razminiranje zasnovanim na sličnim šasijama, a biće pogodni za upotrebu na zatvorenijim (ograničenim) prostorima.

V. R.

<<<◇>>>

SISTEM ZA SAVLADAVANJE PROTIVPEŠADIJSKIH PREPREKA*

Kompanija Ensign Bickford snabdeće mornaričke snage SAD sa 100 ispitnih jedinica novog sistema za savladavanje protivpešadijskih prepreka APOBS (Antipersonel Obstacle Breaching System) Mk7 Model 1, za inicijalnu cenu od 8,6 miliona dolara.

APOBS je sistem koji na leđima nose dva vojnika i kojim se može stvoriti prolaz kroz minsko polje sa protivpešadij-

skim minama i žičanim preprekama, dužine 45 m i širine 60 cm. Raniju opremu postavljali su timovi u napadu, izlažući se duži period dejstvu protivničke vatre i udarnog talasa aktiviranih mina. Sa sistemom APOBS oni su izloženi dejstvu samo 60 sekundi, a mogu da rade sa sistemom na rastojanju od 35 metara.

Sistem APOBS ima masu oko 55 kg, u poređenju sa skoro 180 kg koliko je težio prethodni sistem M1A2 koji će se zameniti. Sistem koristi raketni motor za ispaljivanje 108 fragmentacionih granata povezanih detonacionim štapinom dužine 45 metara, a koje se automatski aktiviraju posle prizemljenja. Ukupna masa bojne glave iznosi 45 kg, a koristi eksplozive PBXN-8 i -9. Tokom ispitivanja APOBS je izdržao penetraciju 20 pancirnih zrna bez eksplozije.

V. R.

<<<◇>>>

DODATNA SERIJA SISTEMA TOR-M1 ZA KINU*

Objavljeno je da je Kina septembra 1998. godine naručila drugu seriju od 20 samohodnih ruskih sistema zemlja-vazduh Tor-M1 (NATO oznaka SA-15 GAUNTLET), sa rokom isporuke do kraja 1999. godine.

Kina je prvi kupac ovih sistema od Rusije, a prva serija od 15 sistema već je ugrađena u operativne sastave vojske. Pre nego što je izvršena isporuka prve serije sistema Tor-M1 (januara 1998. godine), ljudstvo iz sastava kineske PVO bilo je na šestomesečnoj obuci u Rusiji.

Grčka je drugi naručilac i kupac ovih sistema, i već je odobren ugovor vredan 524 miliona dolara za kupovinu 21 sistema, raketa, rezervnih delova i pomoćne

* Prema podacima iz časopisa International Defence Review, 6/1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 21. jul 1999.

opreme. Prva baterija trebalo je da se isporuči Grčkoj transportnim avionom ANTONOV An-124 u avgustu 1999. godine, a konačna isporuka sistema Tor-M1 treba da se obavi do kraja 2000. godine. Tor-M1 je potpuno kompatibilan sa NATO standardima u pogledu sistema identifikacije.

Sistem TOR-M1 razvijen je 1989. godine radi zamene starijeg sistema 9K33 OSA (NATO oznaka SA-8 GECKO), a od 1991. godine uvodi se poboljšani sistem Tor-M1.

Lansirno vozilo ima osam vertikalnih lansera raketa zemlja-vazduh 9M331 u poziciji spremnoj za dejstvo, 3D radar za osmatranje, fazni radar za praćenje i televizijsko sredstvo za praćenje ciljeva. Može lansirati dve rakete simultano na dva različita cilja. Raketa 9M311 je sa fragmentacionom bojnomo glavom od 15 kg brizantnog eksploziva. Sposobna je da dejstvuje po ciljevima koji se kreću brzinom do 700 m/s na maksimalnoj visini 6 km i na maksimalnoj daljini 12 km. Maksimalna brzina leta rakete je 850 m/s, a prosečna (srednja) brzina iznosi 650 m/s.

Sistem Tor-M1 sačinjava lansirno vozilo 9A331, raketni modul 9M334 sa četiri rakete 9M331, transporter – punjač 9T244, transportno vozilo 9T245, vozila za održavanje 9V887M i 9V887-1M, grupni set vozila 9F399-1M i set dodatne opreme 9F116. Tipična baterija sastoji se od četiri sistema Tor-M1, komandnog mesta na modifikovanoj oklopnoj guseničnoj šasi i vozila za snabdevanje.

Ostale verzije sistema Tor-M1 namenjene su za izvoz. Prva verzija ima kupolu Tor-M1 ugrađenu na kamion 6 × 6, druga verzija ima iste elemente ugrađene na prikolicu, dok je treća ugrađena na ravnoj platformi. Navodi se da su ove verzije za 72%, 70% i 66% jeftinije u

odnosu na sadašnju varijantu sistema Tor-M1, koja je namenjena za zaštitu mehanizovanih snaga.

V. R.

<<<◇>>>

RAZVOJ BORBENOG VOZILA PEŠADIJE CENTAURO*

Italijanski konzorcijum Iveco/OTO Breda sklopio je ugovor vredan oko 11 miliona dolara za razvoj nove varijante borbenog vozila pešadije CENTAURO 8 × 8. Tri prototipa će se izraditi u protivtenkovskoj varijanti, komandnoj varijanti i sa minobacačem, a moguće su i druge verzije, kao što je npr. ambulantna. Ukupni zahtevi armije Italije iskazani su za 240 vozila u svim varijantama.

Oklopno telo vozila i pogonski agregat projektovani su i proizvedeni u fabrici Iveco – DVD, gde se proizvodi i oklopno vozilo naoružano topom 105 mm. Kupola će se razvijati u firmi OTO Breda.

Prototip verzije borbenog vozila pešadije sa kupolom za dva člana OTO Breda TC25, sa topom 25 mm, prikazan je 1997. godine. Vozilo karakteriše razmaknuti oklop koji obezbeđuje visok nivo zaštite koja je prioritarna.

Protivtenkovsko vozilo koristi dvočlanu kupolu OTO Breda HITFIST adaptiranu sa vozila DARDO. Ona je naoružana topom 25 mm OERLIKON CONTRAVES, koaksijalnim mitraljezom 7,62 mm i sa dva lansera optički praćene žično vođene rakete TOW dometa 3750 m. Vozilo je slično prototipu proizvedenom 1997. godine, mada sa nekim izmenama. Visina mu je smanjena sa 3,25 m na 3 m, posle teškoća i loših iskustava italijanskog mirovnog kontingenta u Bosni sa vozilima višim od 3 m. Prostor između eleme-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. jun 1999.

nata razmaknutog oklopa je smanjen, pa je zbog toga smanjena i otpornost prema dejstvu kumulativnih projektila. Ovakav način oklopne zaštite štiti od pancirnih projektila 14,5 mm.

Pogonski agregat je baziran na turbo-dizel motoru IVECO 6V koji obezbeđuje 382 kW, a moguća su i njegova poboljšanja naknadnim izmenama u konstrukciji.

Buduće vozilo će imati masu 30 t, veće pneumatike, veće rastojanje između točkova i podignut donji deo oklopnog tela radi povećanja otpornosti na dejstvo mina postavljenih na komunikacijama.

Posadu će sačinjavati 11 članova (vozač, nišandžija, komandir i 8 vojnika).

Varijanta komandnog vozila imaće telo slično protivtenkovskoj borbenoj verziji, ali će visina vozila biti smanjena sa 2,1 m na 1,98 m.

Minobacačka verzija ima ugrađen minobacač 120 mm TDA, koji ima mo-



Borbeno vozilo pešadije CENTAURO

gućnost elevacije od 84° i rotacije za 360°. Posadu ovakvog vozila čine vozač, komandir i četiri člana posluge minobacača.

Buduće verzije vozila CENTAURO koristiće dizel motore nove familije koja je u fazi razvoja. Oni će omogućavati snagu od 440 do 475–515 kW, što će znatno uticati na povećanje odnosa snaga/masa.

V. R.

<<<◇>>>

NOVE BESPILOTNE LETELICE

Potreba nekih zemalja za boljim informacijama i izviđanjem bojišta (ciljeva), kao i situacija u operaciji vazdušne kampanje protiv SR Jugoslavije, doveli su do povećanog interesa za bespilotne letelice, a na Pariskom vazduhoplovnom sajmu prikazani su neki novi sistemi.

Francuska kompanija Aerospatiale Matra otkrila je ambiciozne planove za razvoj bespilotne letelice HALE koja će leteti na velikim visinama i biti vrlo izdržljiva, a biće rival bespilotnoj letelici GLOBAL HAWK, firme Teledyne Ryan, i bespilotnoj letelici EAGLE, koja leti na srednjim visinama i ima veliku izdržljivost.

Takođe, po prvi put u Evropi prikazan je avion PROTEUS, firme Scaled Composites, koji je promovisan za uloge sa ljudskom posadom ili kao bespilotna letelica za izviđanje i komunikaciju.

Bespilotna letelica HALE je, za sada, sistem na papiru, koji će izvršavati operacije na daljinama 2500 km od baze, biti sposoban da leti 8 sati i dostizati maksimalnu visinu od 18000 m. Planirano je da letelica bude dugačka 12 m sa rasponom krila od 27 m. Dvostruki pogon motorom omogućiće da bespilotna letelica krstari 45 minuta i leti brzinom od 600 km/h.

Aerospatiale Matra je, takođe, prikazala bespilotnu letelicu EAGLE, čija je dužina 11 m, raspon krila 20 m i masa 2500 kg, uključujući i spoljašnje opterećenje od 300 kg. Maksimalna visina leta ove letelice je 15000 m a ima mogućnost da leti 20 sati.

PROTEUS je avion koji je komercijalno namenjen telekomunikacionim kompanijama, ali može da ima mnogo-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. jun 1999.

struke namene. Razvijen je u firmi Scaled Composites, a finansiranje 14-mesečnog programa stajalo je 57 miliona dolara. Uloga u osmatranju i izviđanju svodi se na upotrebu tereta mase veće od 2500 kg, plafon leta je 19200 m, a ukupno trajanje leta iznosi 22 sata pri brzini od oko 900 km/h. Konstrukcija aviona fokusirana je na obezbeđenje kontinualne misije gde god je moguće izvršiti zamenu drugih aviona. Očekuje se da će PROTEUS moći da nosi sisteme za rano otkrivanje i kontrolu operacija sa 5 do 10% sadašnjih troškova, verovatno uz mogućnost da se poveća dolet i brzina.

V. R.

<<<◇>>>

PROBLEMI SA AVIONOM F-22 RAPTOR*

Postoje indicije da osnova strukture najnovijeg američkog aviona F-22 RAPTOR možda neće biti sposobna da izdrži velike brzine leta i agresivne manevre. Zvaničnici RV SAD i proizvođača identifikovali su moguće solucije za letenje i izjavili da problem neće značajnije uticati na program ispitivanja, isporuku aviona i njegovu cenu.

Ispitivanja i analize čvrstoće i operativnih restrikcija ukazale su na to da dva prednja rezervoara za gorivo u trupu aviona mogu da se ugibaju pri velikim brzinama leta ili kada se izvode nagli zaokreti sa velikim G opterećenjem. Oni formiraju interfejs između motora i strukture krila, a predstavljaju i tačku za spajanje sa vertikalnim delovima. Nema indikacija da je problem uočen u više od 200 sati do sada izvedenih testova letenja. Ipak, RV SAD je propisalo momentalnu zabranu, ograničilo letenje na dva ispitna

aviona u bazi Edwards u Kaliforniji, sve dok se ne izvrše popravke u konstrukciji.

Planovi za rešenje problema su predstavljeni, a počeli su sa realizacijom u junu 1999. godine na dva opitna aviona i sedam dopunskih aviona koji služe za razvoj inženjeringa i proizvodnje. Boeing, proizvođač prednjih rezervoara izvršio je redizajn konstrukcije za 339 modela F-22 koji će se proizvesti. Po svakom avionu biće potrebno oko 80 ukrućenja (ojačanja), a u toku proizvodnje će se povećati i debljina zida panela. Smatra se da ove promene neće značajnije uticati na cenu aviona, ali će biti potrebna veća količina materijala za ostvarenje eliminacije uočenih problema. Planirana dinamika modifikacija neće bitnije poremetiti testove letenja, kao ni isporuku gotovih aviona. Tim za F-22 razvio je i kratkoročne planove ispitivanja sa operativnim ograničenjima.

U vazduhoplovnu bazu Edwards Boeing će poslati svoj tim da modifikuje dve opitne letelice. Očekuje se da će taj zadatak biti okončan za dve sedmice. Sve što se dešava u vezi s avionom F-22 ove godine značajno je za projekat u celini zbog serije drugih planova. Naime, ovog leta testira se i sprema za ugradnju u avion Boeing 757 avionika Block I; Lockheed Martin će isporučiti prvu konfiguraciju rakete vazduh-vazduh AIM-9 SIDEWINDER za lansiranje sa šina za F-22 u toku 2000. godine, a ispituje se i avionika Block II. Krajem 1999. godine očekuje se potpisivanje ugovora sa RV SAD o prvoj seriji aviona i predugovorom za drugu seriju – ukupno 10 aviona i 25 motora.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 12. maj 1999.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA HELIKOPTERA UH-60 BLACK HAWK*

Armija SAD preduzeće program modernizacije više od 1500 helikoptera UH-60 BLACK HAWK. Planovi za modernizaciju finalizirani su zajedno sa proizvođačem, firmom Sikorsky Aircraft, a obuhvataju uvođenje novih konfiguracija – UN-60+ i UH-60X, za koje se očekuje da budu u upotrebi sledećih 20 do 30 godina.

Osnovni plan modernizacije ne znači da će doći do zamene helikoptera BLACK HAWK. Međutim, zahtevi upotrebe idu za povećanim doletom i opterećenjem za njihov model UH-60A koji je uveden u naoružanje 1978. godine. Takođe, zahteva se uvođenje serije poboljšanja informacionih tehnologija kako bi helikopter mogao da se koristi u uslovima budućeg digitalnog bojišta.

Prema informacijama dobijenim na Pariskom vazduhoplovnom sajmu 1999. godine, helikopter UH-60+ imaće:

- kompozitni rotor;

- digitalizovani cockpit (kabinu) i novu avioniku;
- novi dijagnostički monitoring sistem;
- ojačani trup;
- veće rezervoare za gorivo,
- povećane IC mogućnosti.

Modernizacija će, takođe, obuhvatiti i motor T700-GE-701C. Konfiguracija UH-60+ obuhvatiće starije modele UH-60, a uvođenje novije konfiguracije obaviće se 2002. godine. UH-60X imaće iste karakteristike kao i UH-60+, ali će se primeniti rotorski sistem koji se ugrađuje u novi helikopter S-92, razvijen za vojno i komercijalno tržište.

Model X imaće novi motor koji će se razvijati kao deo programa CEP (Common Engine Program), čiji je cilj zamena postojećih motora novim, snage 3000 KS na helikopterima BLACK HAWK i SH-60 SEAHAWK. Navodi se da će helikopter UH-60X imati dvostruko veći dolet i korisno opterećenje, povećanu brzinu leta i smanjene troškove održavanja za 50%.

V. R.



* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 23. jun 1999.

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

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

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

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

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

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

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

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Branko Marković

Lektor
Dobriła Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 20,00 dinara
Tiraž 1300 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)