

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

DIREKCIJA

ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

DIREKTOR

Pukovnik

Milan Crnoglavac

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Potpukovnik

mr *Aleksandar* Bukvić, dipl. inž.

GLAVNI UREDNIK REDAKCIJE VOJNIH ČASOPISA

Potpukovnik

Dragan Hajduković

e-mail: dragan.hajdukovic@mod.gov.rs

ODGOVORNI UREDNIK VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA

Potpukovnik

mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž.

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

tel.: 3006-023, vojni: 23-493

UREĐIVAČKI ODBOR

Brigadni general dr *Danko* Jovanović, dipl. inž. (predsednik Odbora); brigadni general dr *Mladen* Vuruna, dipl. inž.; potpukovnik dr *Slobodan* Ilić, dipl. inž. (zamenik predsednika Odbora); pukovnik dr *Branislav* Jakić, dipl. inž.; pukovnik dr *Mladen* Pantić, dipl. inž.; pukovnik dr *Miljko* Erić, dipl. inž.; pukovnik dr *Miljko* Popović, dipl. inž.; pukovnik dr *Marko* Andrejić, dipl. inž.; pukovnik dr *Goran* Dikić, dipl. inž.; pukovnik dr *Bojan* Zrnić, dipl. inž.; pukovnik dr *Željko* Ranković, dipl. inž.; pukovnik *Zoran* Patić, dipl. inž.; pukovnik dr *Zoran* Filipović, dipl. inž.; pukovnik dr *Jugoslav* Radulović, dipl. inž.; dr *Dragoljub* Vujić, dipl. inž.; dr *Slobodan* Jaramaz, dipl. inž.; potpukovnik mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž. (sekretar Odbora)

Sekretar redakcije

Zora Pavličević

tel.: 3201-497, vojni: 23-497

Adresa redakcije:

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,

Balkanska 53, Beograd

www.dibid.mod.gov.rs

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

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

Rukopisi se ne vraćaju.

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b

SADRŽAJ

<i>Aleksandar Viličić</i> , dipl. inž., potpukovnik mr <i>Mirko Jezdimirović</i> , dipl. inž. Digitalni servo sistem za upravljanje infracrvenim (IC) lokatorom	5
Dr <i>Mirko Kozić</i> , dipl.inž Poređenje snage za jednu i dve kontrarotirajuće hidro turbine u Venturijevoj cevi – prvi deo	16
Potpukovnik sc <i>Rade Guberinić</i> , dipl. inž., major <i>Ivan Milojević</i> , dipl. inž. Određivanje funkcije pouzdanosti motornih vozila kao složenog tehničkog sistema	31
Major mr <i>Sreten Perić</i> , dipl. inž. Analiza stepena kritičnosti tehničkog sistema	46
Dr <i>Dragan Ljamić</i> , dipl. inž. Određivanje intervala pouzdanosti elemenata složenog sistema za poznatu funkciju kriterijuma pri projektovanju.....	61
Pukovnik dr <i>Miroslav Radosavljević</i> , dipl. inž. Sile i momenti koji deluju na podvodni projektil pri kretanju	70
Dr <i>Mirjana Anđelković-Lukić</i> , dipl.inž. Sinteza i fizičko-hemijske karakteristike eksploziva HNIW (CL-20)	86
Mr <i>Stevan Jovičić</i> , dipl. inž. Primena sredstava za zaštitu od korozije – put ka ekonomičnijem održavanju.....	94
Potpukovnik mr <i>Srećko Kuzmanović</i> , Simulacioni model rešavanja taktičkih situacija i etičkih izazova u toku marševanja jedinice	101
Dr <i>Radomir S. Gordić</i> , dipl. inž. Vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona	122
Dr <i>Slavko Pokorni</i> , dipl. inž. Obrazovanje na daljinu	138
Potpukovnik mr <i>Nebojša Gaćeša</i> , dipl. inž. 16. telekomunikacioni forum TELFOR 2008 – prikaz naučno-stručnog skupa,	147
Drugo savetovanje iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu „Razvoj sistema bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji – tri godine posle donošenja zakona“	151
IN MEMORIAM Pukovnik docent dr <i>Miljko Popović</i> 1956–2009	154

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Modernizovana francuska oklopna vozila	155
Prototip novog britanskog oklopnog transportera	156

DIGITALNI SERVO SISTEM ZA UPRAVLJANJE INFRACRVENIM LOKATOROM

Aleksandar Viličić, dipl. inž.
potpukovnik mr Mirko Jezdimirović, dipl. inž.,
Vojnotehnički institut

Rezime:

U radu je predstavljen digitalni servo sistem sa pogonskim elektromotorom koji zamenjuje postojeći elektrohidraulički servo pogon na uređaju za upravljanje IC lokatorom, koji obezbeđuje zahtevanu tačnost pozicioniranja i praćenja sa minimalnim brzinama.

Ključne reči: digitalni servo sistem, digitalni regulator, upravljanje, infracrveni lokator, automatsko upravljanje.

DIGITAL SERVO SYSTEM FOR THE INFRARED (IR) DETECTION DEVICE

Summary:

This paper describes a digital servo-system with a driving electromotor which substitutes the existing electrohydraulic servo-system on an IR localizer control device. Thus realized, a digital electrical servo-system provides requested accuracy of positioning and tracking with minimal velocities.

Key words: digital servo-system, digital regulator, control, IR localizer, automatic control.

Uvod

Raznovrsna primena servo sistema u sistemima naoružanja i vojne opreme uslovljena je njihovom namenom. Zavisno od namene sistema naoružanja definišu se i različiti zahtevi u pogledu servo sistema. Jedna od karakterističnih primena servosistema u sistemima naoružanja i vojne opreme jeste da servo sistem tačno zauzme željeni položaj i dovoljno dugo i stabilno drži taj položaj ili vrši praćenje sa minimalnom brzinom, što je karakteristično za servo sisteme kod: nišanskih uređaja, protivoklopnih vođenih raketa, laserskih obeleživača cilja i sl.

U radu je prikazan primer primene servo sistema kod uređaja za upravljanje infracrvenog detektora rakete (IC lokator). Dosadašnji elektrohidraulični servo sistem zamenjen je električnim servo sistemom sa digitalnim regulatorom koji pokreće jednosmerni elektromotor. U radu je opisan električni servo sistem sa digitalnim regulatorom za upravljanje uređajem za infracrvenu detekciju rakete (IC lokator). Prikazan je matematički model digitalnog servo sistema. Na funkcionalnom modelu izvršeno je snimanje karakteristika servo sistema, obrađeni su dobijeni rezultati i upoređeni sa rezultatima dobijenim na osnovu ispitivanja dosadašnjeg elektrohidrauličkog servo sistema.

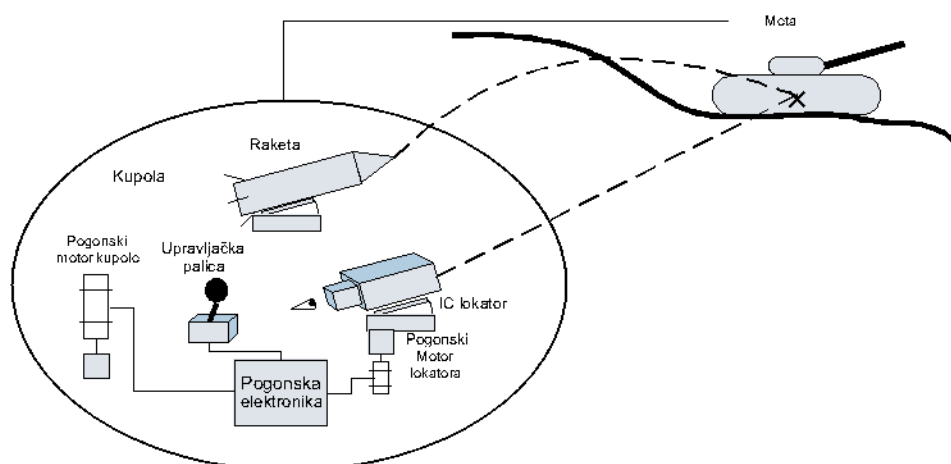
Pregled oznaka

V_t	Napon na motoru
T_{em}	Momenat motora
R_a	Otpornost namotaja rotora
i_{mot}	Prenosni odnos planetarnog prenosa
i_{red}	Prenosni odnos reduktora
i_{po}	Prenosni odnos reduktora potencijometra
K_p	Proporcionalni koeficijent pojačanja
K_i	Integralni koeficijent pojačanja
e_a	Indukovana elektromotorna sila
i_a	Struja rotora
T	Vreme odabiranja (sample time)
L	Induktivnost namotaja motora
K_E	Električna konstanta motora
ω_m	Ugaona brzina motora
T_{em}	Elektromehanička konstanta motora
B_{em}	Momenat viskoznog trenja u ležajevima motora
J_{em}	Momenat inercije rotora motora
J	Ukupni momenat inercije sveden na rotor motora
B	Ukupni momenat viskoznog trenja sveden na rotor motora
K_T	Mehanička konstanta motora
T_m	Mehanička vremenska konstanta
T_{mf}	Električna vremenska konstanta motora
s	Operator laplasove transformacije
z	Operator z-transformacije
K_h	Skal faktor D/A konverzije
K_h	Skal faktor inkrementalnog enkodera

Opis sistema

Servo sistem za pokretanje IC lokatora treba da zadovolji opšte taktičko-tehničke zahteve za vođenje i upravljanje protivoklopnih vođenih raketa, da obezbedi zahvat cilja i nišanjenje na izabranu tačku na cilju. Na osnovu podataka sa IC davača formira se razlika položaja rakete (njenog trasera) i ose nišanjenja. Na osnovu toga vrši se popravka putanje rakete i, shodno algoritmu praćenja, ostvaruje navođenje rakete na cilj.

Pokretanje i upravljanje IC lokatora po pravcu vrši se preko servo sistema pravca koji najčešće služi za pokretanje i upravljanje obrtne platforme po pravcu na kojoj se nalaze i ostali uređaji pored IC lokatora, dok se za pokretanje i upravljanje po visini koristi servo sistem samo za pokretanje IC lokatora po visini. Servo sistem treba da omogući operateru mogućnost nišanjenja na stacionarni ili pokretni cilj. Komande za zauzimanje pozicije i praćenje cilja zadaju se putem upravljačke palice. Funkcionalna šema sistema sa IC vođenim raketnim sistemom za protivoklopnu borbu prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Funkcionalna šema sistema za protivoklopnu borbu sa protivoklopnim raketama sa IC navođenjem

Prethodno realizovan servo sistem za pokretanje IC lokatora po visini bio je sa elektrohidrauličkim pogonom, gde upravljački signal zakreće elektrohidraulički servo razvodnik. Radi modernizacije ovog sistema postavljeni su novi projektni zahtevi da se pokretanje IC lokatora ostvari pomoću elektromotora, a da karakteristike servo sistema ostanu iste ili budu nešto bolje.

Iz namene servo sistema proističu zahtevi za servo sistem:

- nema „drifta“ izlazne osovine pri nultom komandnom signalu brzine,
- minimalna ugaona brzina 0,3 mrad/s,
- maksimalna ugaona brzina 80 mrad/s,
- polje pokretanja po elevaciji -10° do $+15^\circ$.

(1)

Matematički model servo sistema za upravljanje IC lokatorom cilja

Za pokretanje IC lokatora po elevaciji koristi se jednosmerni (DC) motor upravljani strujom rotora. DC motor sa permanentnim magnetom, upravljani strujom rotora, na koji je preko reduktora vezano inercijalno opterećenje, može se predstaviti sledećim matematičkim jednačinama [1]:

$$V_t(t) = e_a(t) + R_a i_a(t) + \frac{L di_a(t)}{dt} \quad (2)$$

$$e_a(t) = K_E \omega_m(t) \quad (3)$$

$$T_{em}(t) - (B_{em} + B_{WL})\omega_m(t) + (J_{em} + J_{WL})\frac{d\omega_m(t)}{dt} - B\omega_m(t) + J\frac{d\omega_m(t)}{dt} \quad (4)$$

$$T_{em}(t) - K_T i_a(t). \quad (5)$$

Koristeći Laplasovu transformaciju, sa pretpostavkom da je električna vremenska konstanta znatno manja od mehaničke vremenske konstante, prenosne funkcije DC motora mogu se izraziti u sledećem obliku:

$$\omega_m(s) = \frac{K_T}{B} \frac{1}{1 + \tau_m s} I_a(s), \quad (6)$$

$$I_a(s) = K_2 \frac{1 + \tau_m s}{1 + \tau_{m1} s} V_t(s), \quad (7)$$

gde je:

$$K_2 = \frac{B}{K_E K_T + R_a B}, \quad (8)$$

$$\tau_m = \frac{J}{B}, \quad (9)$$

$$\tau_{m1} = \frac{R_a B}{K_E K_T + R_a B} \tau_m \quad (10)$$

Za linearizovani matematički model potrebno je podesiti parametre regulatora tako da odziv sistema zadovolji zahteve (1) u svim uslovima rada sistema.

Linearizovane prenosne funkcije objekta upravljanja korišćene pri simulaciji imaju oblik:

$$\frac{I_m}{V_t(s)} = \frac{K_2(1 + \tau_m s)}{(1 + \tau_{m1}s)} = G_1(s) \quad \text{ i } \quad (11)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{I_m(s)} = \frac{K}{(1 + \tau_m s)} = G_2(s). \quad (12)$$

Praktična realizacija digitalnog regulatora pogona IC lokatora

Pogonski motor preko reduktora i ozubljenog sektora pokreće IC lokator po visini. Prenosni odnos (redukcija) reduktora i ozubljenog sektora je $i_{red} = 127$. Na osovini motora povezan je planetarni reduktor prenosnog odnosa $i_{mot} = 128$. Ugrađen je DC motor Maxon A-max 32 snage 15 W sledećih karakteristika:

- nominalni napon 24 V,
- nominalna snaga 15 W,
- nominalna brzina 5860 o/min,
- nominalni momenat 129 mNm,
- konstanta momenta 38,2 mNm/A,
- konstanta brzine 25 o/min/V,
- mehanička vremenska konstanta 20 ms i
- otpornost namotaja 7,13 Ω .

Na osovini motora ugrađen je optički inkrementalni enkoder HEDS 5540 sa tri izvoda i 500 zareza po krugu. Elektronskim brojačem se broj podela po obrtu rotora elektromotora pretvara u 2000.

Na osovini IC lokatora preko ozubljenog sektora prenosnog odnosa $i_{pot} = 468/36 = 13$ povezan je žičani potencijometar OHMAG sa 1000 namotaja, koji se koristi za određivanje ugaone pozicije IC lokatora. Ovaj potencijometar i njegov reduktor nije menjan u odnosu na originalni sistem.

Razlika u očitavanju položaja između dva navoja potencijometra je

$$\Delta\alpha_{pot} = \frac{2\pi}{1000 * i_{pot}} = 0,483 \text{ mrad}.$$

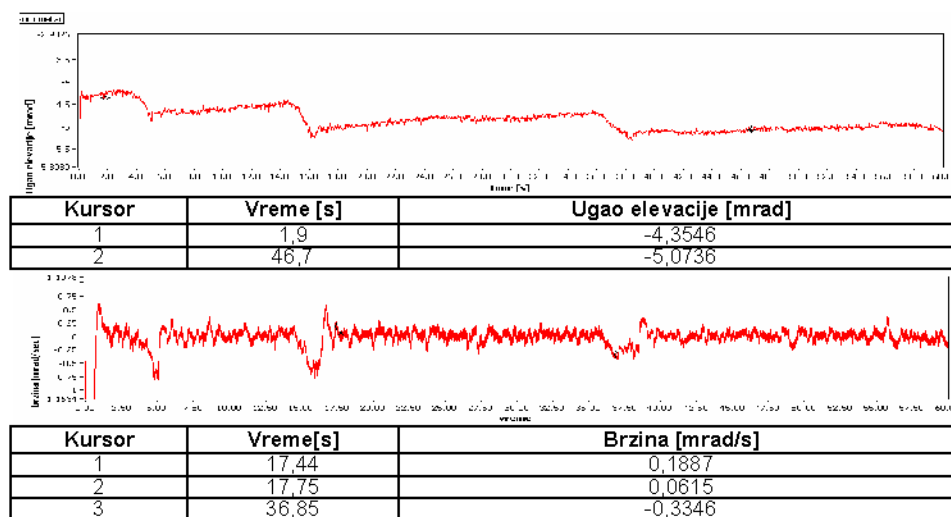
gde su:

$$K = K_h K_A K_n K_m \text{ i } A = e^{-T/t_m}$$

Navedeni koeficijenti zavise od parametara sistema i pojačanja regulatora, pa je moguće podesiti parametre regulatora da bi se dobile zah-tevane dinamičke i statičke karakteristike sistema.

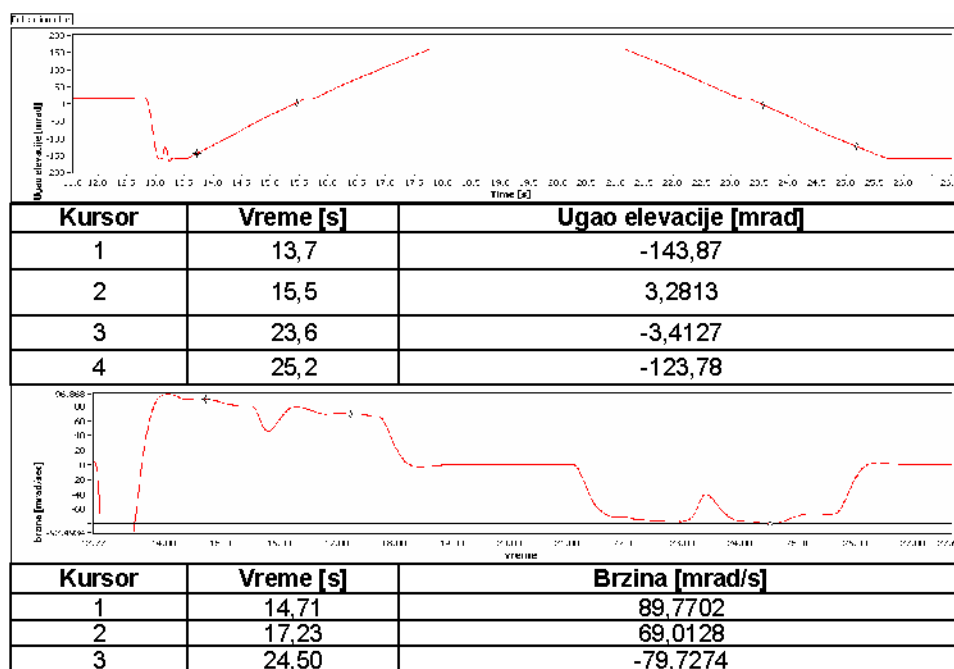
Rezultati merenja karakteristika realizovanog servo sistema sa digitalnim regulatorom za upravljanje IC lokatorom cilja

Na funkcionalnom modelu IC lokatora izvršena je ugradnja servo sistema, kao i merenja parametara servo sistema za upravljanje po elevaciji. Za akviziciju i obradu podataka korišćen je programski paket LabVIEW. Merenja su vršena na bazi iskustava na realizaciji drugih servo sistema sa digitalnim regulatorom [3]. Merena je vrednost naponskog signala na potencijometru pozicije, a brzina se dobija diferenciranjem pozicije. Treba napomenuti da je na elektrohidrauličnom sistemu za pokretanje IC lokatora brzina lokatora po elevaciji računata na isti način (analognim diferencijatorom) i korišćena u povratnoj sprezi kao signal brzine. Zahvaljujući upotrebi istih davača za merenje signala oba pogona moguće je direktno poređenje izmerenih podataka na oba sistema. Zbog diskretnog broja namotaja žičanog potencijometra javljaju se skokovi naponske veličine izmerenog ugla, pa je vršena filtracija ovog signala niskopropusnim filterom 3. reda propusne učestanosti 8 Hz. Izmerena je minimalna brzina pokretanja od 0,0615 mrad/s. Rezultati merenja minimalne brzine IC lokatora sa električnim servo sistemom prikazani su na slici 3.



Slika 3 – Dijagram minimalne brzine servo sistema za pokretanje IC lokatora po visini

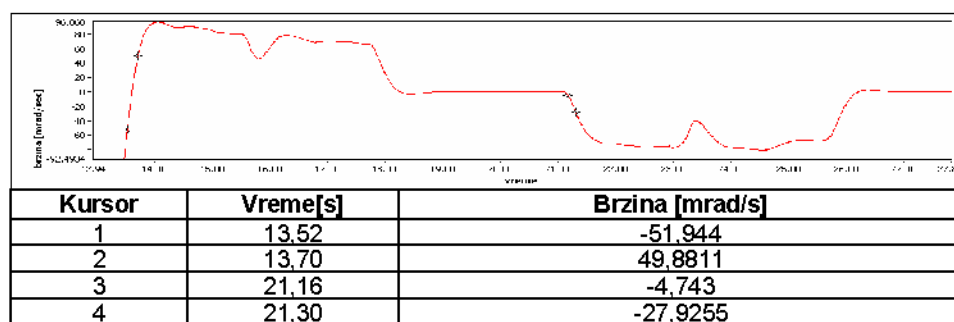
Izmerena je maksimalna brzina od 89,77 mrad/s, odnosno -79,72 mrad/s za pokretanje IC lokatora nagore i nadole, respektivno. Dijagram maksimalne brzine prikazan je na sl. 4.



Slika 4 – Dijagram maksimalne brzine servo sistema za pokretanje IC lokatora po visini

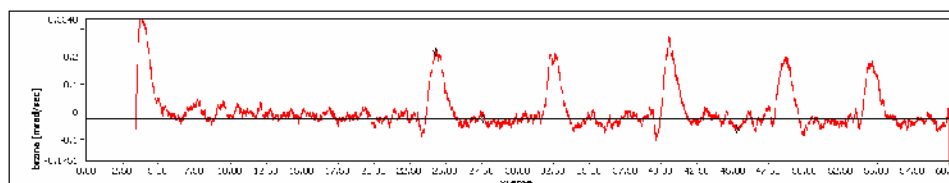
Maksimalno ubrzanje servo sistema određuje se iz dijagrama na sl. 5 i iznosi:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{49,88 + 51,99}{13,7 - 13,52} = 565,7 \text{ mrad/s}^2$$



Slika 5 – Dijagram maksimalnog ubrzanja servo sistema za pokretanje IC lokatora po visini

Iz zahteva za pogon IC lokatora po visini potrebno je da pri nultoj komandi brzine objekat upravljanja drži poziciju bar 30 s. Rezultati ovih merenja prikazani su na slici 6.



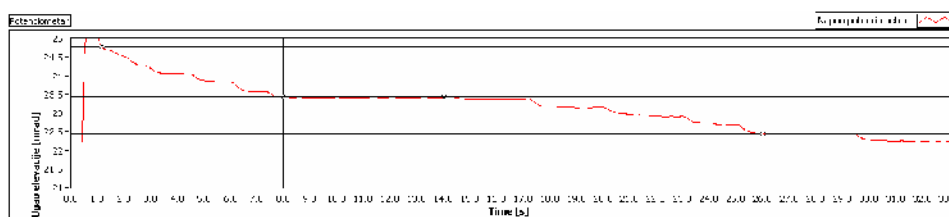
Kursor	Vreme [s]	Brzina [mrad/s]
1	24,26	0,2134
2	27,58	-0,0261
3	45,26	-0,0594

Slika 6 – Dijagram držanja zadatog (željenog) položaja servo sistema za IC lokator po visini

Na sistemu za pokretanje IC lokatora sa elektrohidrauličkim pogonom rezultati merenja minimalne brzine su snimljeni i prikazani na slici 7. Minimalna brzina pokretanja IC lokatora, nadole (ε), $\varepsilon = \frac{\Delta U [\text{mrad}]}{\Delta T [\text{s}]}$,

$$\varepsilon_1 = \frac{23,41 - 24,76}{8 - 1,2} = -\frac{1,35}{6,8} = -0,1985 [\text{mrad} / \text{s}],$$

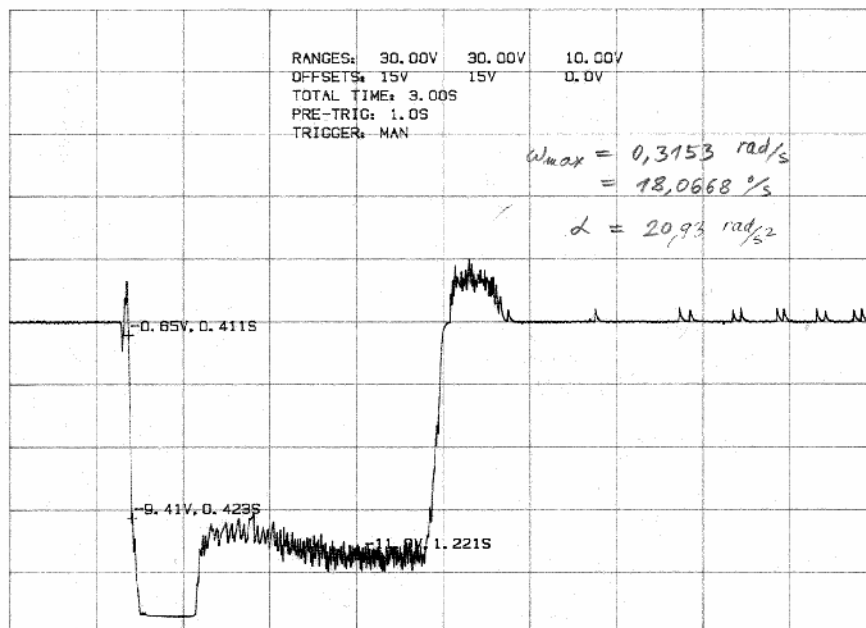
$$\varepsilon_2 = \frac{22,44 - 23,41}{26 - 14} = -\frac{0,97}{12} = -0,08 [\text{mrad} / \text{s}].$$



Kursor	Vreme [s]	Ugao elevacije [mrad]
1	1,2	24,7654
2	8,0	23,4185
3	14,0	23,4163
4	26,0	22,4492

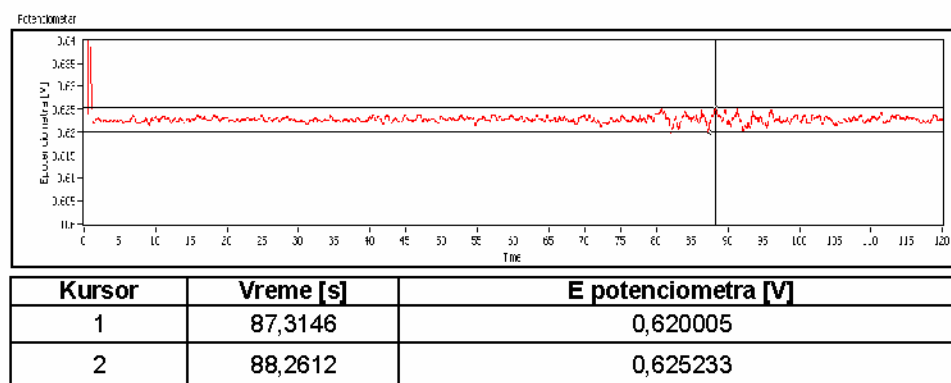
Slika 7 – Dijagram minimalne brzine elektrohidrauličkog servo sistema za pogon IC lokatora po visini

Maksimalna brzina i ubrzanje izmereni su na elektrohidrauličkom pogonu IC lokatora po elevaciji, a rezultati su prikazani na slici 8.



Slika 8 – Dijagram maksimalne brzine i ubrzanja elektrohidrauličkog servo sistema za pogon IC lokatora po visini

Rezultati merenja držanja zadate pozicije za elektrohidraulički pogon IC lokatora po elevaciji prikazani su na slici 9.



Ugao IC lokatora je između 38,82 i 39,15 mrad.

Slika 9 – Dijagram držanja zadatog (željenog) položaja elektrohidrauličkog servo sistema za pogon IC lokatora po visini

Zaključak

U radu je prikazan realizovan električni servo sistem sa digitalnim regulatorom, primenjen na podsistemu za upravljanje IC lokatora cilja za vođenje jedne protivoklopne rakete. Karakteristika ovog servo sistema je da tačno i u dovoljno dugom periodu (za sve vreme leta IC navođene protivoklopne rakete) stabilno zadržava željeni položaj ili prati cilj sa minimalnom brzinom kretanja. Na ovaj način se, na osnovu podataka sa IC davača, formira signal razlike položaja rakete (njenog trasera) i ose nišanja shodno algoritmu vođenja i ostvaruje navođenje rakete na označeni i izabrani cilj.

U radu su korišćene klasične metode matematičkog modeliranja servo sistema, dok je akvizicija i obrada podataka merenja pojedinih karakteristika servo sistema obavljena upotrebom programskog paketa LabVIEW. Dobijeni rezultati merenja karakteristika servo sistema na funkcionalnom modelu ukazuju na to da su na ovaj način ostvarene sve željene karakteristike, te da se ovako realizovan sistem može primeniti na konkretnom rešenju, a to je zamena elektrohidrauličkog servo sistema analognim regulatorom. Time se postojeći sistem zamenjuje savremenim rešenjem i unapređuje jednim novim sistemom sa prelaskom celokupnog upravljanja sa elektrohidrauličkog na električno, bez devastacije karakteristika pogona IC lokatora.

Iz odnosa maksimalnih i minimalnih brzina $80 \text{ [mrad/s]}/0,08 \text{ [mrad/s]}$ vidi se da je opseg regulacije brzina 1000. Dobijena ubrzanja su manja nego sa elektrohidrauličkim sistemom (EHSS) pokretanja, što se može objasniti činjenicom da ubrzanje EHSS zavisi od karakteristika hidrauličnog pogona, koji je projektovan za mnogo veću snagu (300 W). Iz namene sistema vidi se da nije neophodno da ima tako velike vrednosti ubrzanja. Pri držanju zadatog položaja dobijene su iste ili bolje karakteristike kao za pogon elektrohidrauličkim servo sistemom.

Na osnovu izmerenih karakteristika pogona IC lokatora po visini, realizovanog pomoću elektromotora i digitalnog servo regulatora, zaključuje se da je u potpunosti moguće izvršiti supstituciju EHSS ovako realizovanim pogonom, pri čemu su sve zahtevane statičke i dinamičke karakteristike pogona ostvarene na istom ili još boljem nivou nego pri pogonu IC lokatora pomoću EHSS.

Ovakva supstitucija postojećih servo pogona može se izvršiti i na nišanskim spravama, laserskim obeleživačima cilja i drugim sličnim sistemima.

Literatura

- [1] Milić, S., *Kontinualni sistemi automatskog upravljanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [2] Milić, S., *Digitalni sistemi upravljanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [3] Viličić, A., *Daljinski upravljani BGA 30 mm*, Report SDPR, Beograd, decembar 2007.

POREĐENJE SNAGE ZA JEDNU I DVE KONTRAROTIRAJUĆE HIDRO TURBINE U VENTURIJEVOJ CEVI (prvi deo)

Dr Mirko Kozić, dipl. inž.
Vojnotehnički institut

Rezime:

U radu su prikazani rezultati istraživanja koje je obuhvatilo poređenje snage koju daju jedna i dve kontrarotirajuće hidro turbine u Venturijevoj cevi, za zadati broj obrtaja i brzinu vode na ulazu u cev. Rezultati su dobijeni komercijalnim softverom za numeričku dinamiku fluida. Numeričke simulacije za dve turbine koje se obrću u suprotnim smerovima sa jednakim ugaonim brzinama pokazale su da se javlja znatan pad snage na prednjoj turbini, dok je ukupna snaga nešto veća nego za jednu turbinu.

Ključne reči: kontrarotirajuća hidro turbina, Venturijeva cev, numerička dinamika fluida.

COMPARISON OF POWER IN ONE AND TWO CONTRA-ROTATING HYDRO TURBINES IN A VENTURI TUBE – PART ONE

Summary:

This paper presents the results of research into the comparison of power obtained with one and two contra-rotating hydro turbines in a Venturi tube for the given number of revolutions per minute and the given water velocity at the tube entry. The results were obtained with commercial software for numerical fluid dynamics. The numerical simulations for two turbines rotating in opposite directions with equal angular velocities showed that a considerable power drop occurred in the front turbine, whereas the total power is somewhat larger than that for one turbine.

Key words: contra-rotating hydro turbine, Venturi tube, numerical fluid dynamics.

Uvod

S obzirom na izuzetno ozbiljne ekološke probleme, kao što su globalno zagrevanje i zagađenje vazduha, a istovremeno sve veće potrebe za energijom, nastojanja su u većoj ili manjoj meri usmerena ka dobijanju energije iz obnovljivih, ekološki prihvatljivih izvora. Najčešće korišćeni obnovljivi izvori

energije su energija mora i okeana (energija talasa, energija plime i oseke, energija dobijena usled razlike temperature vode), energija kopnenih vodotokova, geotermalna energija, energija vetra i Sunčeva energija.

Energija mora, okeana i kopnenih vodotokova obuhvaćena je pod zajedničkim imenom: hidroenergija. Za razliku od energije kopnenih vodotokova koja se intenzivno koristi preko jedan vek, korišćenje energije plime i oseke pomoću podvodnih turbina postavljenih u priobalnim područjima tek je u samom začetku. Ovaj način za dobijanje energije ima veliki potencijal, zbog ogromnih površina mora i okeana na kojima se može iskoristiti. Jedna od prednosti u odnosu na energiju vetra i energiju Sunca sastoji se u tome što se energija od podvodnih turbina dobija neprekidno, pri čemu njihova ugradnja ne remeti izgled okoline.

U svetu je nedavno konstruisana nova vrsta turbine, koja ima zadatak da omogućući efikasno korišćenje energije reka, morskih i okeanskih struja, a koja, u stvari, predstavlja „vetrenjaču“ postavljenu u Venturijevoj cevi. Prednosti korišćenja nove vrste turbine su mnogobrojne. Jedna od njih jeste u činjenici da voda ima preko 800 puta veću gustinu od vazduha, pa turbina u Venturijevoj cevi ima znatno manji prečnik za istu snagu. Takođe, brzina i smer kretanja vode se vrlo malo menjaju, za razliku od vetrenjače, pa turbina najveći deo vremena radi pri optimalnim uslovima.

Na osnovu navedenog rešenja, u našoj zemlji patentirano je rešenje sa dve kontrarotirajuće turbine u Venturijevoj cevi, u kojoj dve turbine rotiraju u suprotnim smerovima sa istim ugaonim brzinama, a smeštene su neposredno jedna iza druge. Prednosti ovakvog rešenja sastoje se u povećanoj snazi u odnosu na jednu turbinu i eliminisanju rotacije fluida iza zadnje turbine, kao i obrtnog momenta koji deluje na noseću strukturu. Nedostatak predstavlja znatno složenija konstrukcija rotora.

U radu je izvršeno poređenje dobijenih snaga za jednu i dve kontrarotirajuće turbine, numeričkom simulacijom strujanja na računaru softverom za rešavanje usrednjenih Navije–Stoksovih jednačina. Sam postupak sastojao se od nekoliko koraka.

Prvo se na osnovu zadatog broja obrtaja turbine i vrednosti brzine na ulazu u cilindrični deo Venturijeve cevi, u čijem središtu je postavljena turbina, određuje parametar koji predstavlja odnos brzine rotacije krajeva lopatica turbinskog kola i aksijalne brzine fluida u ravni ispred turbine. Maksimalna snaga turbine najviše zavisi od ovog parametra, a zatim od broja lopatica i maksimalne finese aeroprofila preseka lopatice.

Zatim je određen oblik lopatice optimalnog rotora, na osnovu analitičkih izraza datih u [1], kojima je obuhvaćena rotacija vrtložnog traga, a zanemareni otpor aeroprofila preseka lopatice i gubici na kraju lopatice. Takođe je, na osnovu vrednosti parametra brzine kraja lopatice, određen i opseg broja lopatica. Analitički izrazi daju vrednosti aerodinamičkog ugla nagiba i tetive aeroprofila preseka duž razmaha lopatice. Da bi se

dobila najveća snaga, aeroprofil preseka duž razmaha moraju da budu pod napadnim uglom za koji je finesa maksimalna, pa se iz ovog uslova određuje konstruktivni ugao nagiba aeroprofila preseka u korenu lopatice i ugao uvijanja lopatice duž razmaha.

Ovakom definisanom geometrijom rotora izvršena je numerička simulacija i dobijen obrtni moment, odnosno snaga. Menjanjem konstruktivnog ugla nagiba aeroprofila preseka u korenu lopatice za $\pm 2^\circ$ izvršena je provera da li optimalni rotor daje najveću snagu. Pokazalo se da daje, pa je njegova geometrija predstavljala polaznu tačku za numeričko modeliranje strujanja u Venturijevoj cevi sa dve turbine koje se okreću u suprotnim smerovima istim ugaonim brzinama. Uzeto je da su broj lopatica i tetive duž razmaha za zadnju turbinu isti kao za prednju, a konstruktivni ugao nagiba u korenu i ugao uvijanja duž razmaha, za prvu simulaciju, određeni su na osnovu polja vektora brzine iza prednje turbine kada ona radi sama. To je bila prilično gruba aproksimacija, zbog međusobnog uticaja turbina. U nekoliko sledećih numeričkih simulacija, menjajući konstruktivni ugao nagiba u korenu i ugao uvijanja duž razmaha, a vodeći pri tome računa da ne dođe do kavitacije i otcepljenja struje, dobijena je najveća ukupna snaga.

Teorijske osnove numeričke dinamike fluida

Numerička simulacija strujanja u turbini izvršena je pomoću softvera za numeričku dinamiku fluida, poznatiju kao CFD (Computational Fluid Dynamics), gde se vrši simulacija na računaru, pojava koje uključuju jednofazna i višefazna strujanja fluida, prenos toplote i hemijske reakcije. Ovaj pristup daje pouzdane rezultate za širok spektar problema, kao što su aerodinamika letelica, hidrodinamika brodova, turbomašine, građevinarstvo, hemijsko inženjerstvo, meteorologija, okeanografija i biomedicina.

Stalno rastuće performanse računara i sve efikasniji algoritmi za generisanje numeričkih mreža i rešavanje jednačina, omogućili su široku upotrebu CFD kodova u zadacima istraživanja, razvoja i konstruisanja. CFD kodovi su moćan alat, ali njihova upotreba zahteva od korisnika visok nivo veštine, posebno pri modeliranju složenih pojava. Kritične tačke u numeričkom modeliranju su generisanje numeričke mreže i izbor modela turbulencije.

Osnovne jednačine koje opisuju strujanje fluida predstavljaju matematički oblik fizičkih zakona održanja mase, količine kretanja i energije. Ove jednačine napisane u konzervativnom obliku za Dekartove koordinate imaju oblik:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

gde je U vektor rešenja, a F, G i H su komponente tenzora fluksa u pravcima osa x, y i z .

Vektor rešenja ima oblik:

$$U = (\rho, \rho u, \rho v, \rho w, e)^T \quad (2)$$

gde ρ označava gustinu, u , v i w su komponente brzine u pravcima osa x , y i z , dok je totalna energija po jedinici zapremine, koja predstavlja zbir unutrašnje i kinetičke energije, označena sa e . Izrazi za komponente tenzora fluksa dati su u [2].

Sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina (1) zatvoren je jednačinom stanja idealnog gasa:

$$p = (\gamma - 1) \left[e - \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2 + w^2) \right] \quad (3)$$

gde je p pritisak, a γ predstavlja odnos specifičnih toplota pri konstantnom pritisku i konstantnoj zapremini.

Za numeričko rešavanje jednačina koje opisuju strujanje viskoznog fluida koristi se metod konačnih zapremina u kojem se polazi od integralnog oblika zakona održanja mase, količine kretanja i energije. Numerički domen deli se na veliki broj zapreminskih elemenata na koje se primenjuje integralni oblik održanja mase, količine kretanja i energije. Na taj način dobija se sistem algebarskih jednačina, čijim rešavanjem se određuju veličine strujnog polja unutar svakog elementa.

Za simulaciju turbulentnog strujanja korišćene su Reynoldsove jednačine, dobijene vremenskim usrednjavanjem Navije-Stoksovih jednačina. Vremensko usrednjavanje ovih jednačina daje šest dodatnih veličina, takozvanih Reynoldsovih napona koji se javljaju usled razmene količine kretanja fluidnih delića makroskopske veličine. Zbog ovih dodatnih veličina sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina nije zatvoren, pa se turbulentni naponi modelira u zavisnosti od poznatih karakteristika usrednjelog strujanja. Izbor turbulentnog modela najviše zavisi od njegove mogućnosti da obuhvati bitne karakteristike strujanja. Korišćeni CFD softver koristi različite turbulentne modele, od najprostijih (algebarske jednačine), pa do najsloženijih (sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina koje opisuju Reynoldsove napone).

Oblik lopatice za optimalan rotor

Turbine koje koriste energiju plime i oseke funkcionišu na istom principu kao vetrenjače, ali imaju znatno manje prečnike za dobijanje iste snage, zbog mnogo veće gustine vode u poređenju sa vazduhom. Maksimalna raspoloživa snaga turbine predstavlja snagu koju bi dala turbina kada bi uspela

da iskoristi svu kinetičku energiju vode, koja prolazi kroz njenu ravan obrtanja. Raspoloživa snaga izražena je preko gustine vode ρ , protočnog preseka u ravni obrtanja A , i brzine neporemećenog fluida ispred nje V_1 , u obliku:

$$P_{raspol.} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (4)$$

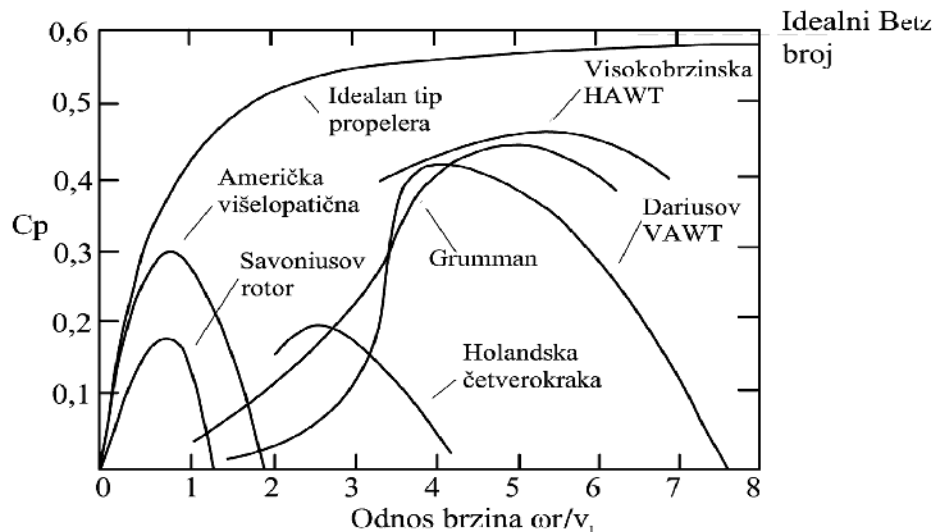
Međutim, turbina može da iskoristi samo deo maksimalne raspoložive snage vode, a ta stvarna snaga na vratilu turbine izražava se preko koeficijenta snage:

$$P_{stvarno} = C_P \cdot P_{raspol.} = C_P \cdot \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (5)$$

Koeficijent snage C_P zavisi od konstrukcije turbine (broja lopatica, njihovog konstruktivnog ugla nagiba i ugla uvijanja, kao i položaja ose obrtanja) i parametra pod nazivom odnos brzine vrha lopatice, koji predstavlja odnos obimne brzine vrha lopatice ωR i aksijalne brzine fluida ispred turbine V_1 , i koji je dat kao:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_1} \quad (6)$$

Zavisnost koeficijenta snage u funkciji odnosa brzine vrha lopatice, za različite konstrukcije [3], prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Koeficijent snage vetrenjače u zavisnosti od odnosa brzina kraja lopatice za različite konstrukcije, Ref. [3]

Za analiziranu turbinu kao ulazni podaci dati su poluprečnik kola $R = 0,65$ m i brzina vode na ulazu u Venturijevu cev $V = 2$ m/s. Međutim, dijagram na slici 1 važi za turbinu u slobodnoj struji, gde V_1 označava neporemećenu brzinu ispred turbine. U našem slučaju vrednost odnosa brzine vrha lopatice dobija se kada se za brzinu V_1 uzme vrednost na ulazu u cilindrični deo Venturijeve cevi. Njena vrednost dobijena je iz jednačine kontinuiteta, i za date dimenzije Venturijeve cevi iznosi 6,14 m/s.

Za broj obrtaja usvojena je vrednost 50 o/min, s obzirom na to da sve do sada izvedene turbine, koje rade kao vetrenjače u vodi, imaju brojeve obrtaja između 20 i 70 o/min zbog zaštite životinjskog sveta i sprečavanja kavitacije. Takođe, usvojeni broj obrtaja omogućuje direktno sprezanje turbine sa generatorom električne struje. Za usvojeni broj obrtaja turbine, odnos brzine vrha lopatice ima vrednost:

$$\lambda = \frac{5,23 \cdot 0,65}{6,14} = 0,55$$

Sa slike 1 vidi se da ovoj maloj vrednosti odnosa brzine vrha lopatice odgovara mala vrednost koeficijenta snage, i da u toj oblasti najveću snagu daju turbine sa više lopatica.

Aeroprofil preseka lopatice je sledeći važan element od koga zavisi snaga koju turbina daje. Maksimalna snaga dobija se ako su aeroprofil preseka duž lopatice pod napadnim uglom koji daje najveći odnos koeficijenta uzgona i koeficijenta otpora, odnosno najveću finesu. Kako se usled rotacije lopatice menja obimna komponenta brzine duž lopatice, to je potrebno da lopatica ima uvijanje duž kraka da bi aeroprofil svih preseka bili pod uglom najveće finese. Pored vrednosti maksimalne finese, važna je i odgovarajuća vrednost koeficijenta uzgona, jer od njegove vrednosti zavise dužine tetiva aeroprofila lokalnih preseka. Takođe treba voditi računa da aeroprofil ima veliku relativnu debljinu, blizu korena lopatice da bi radni naponi bili što manji, a otpornost na zamor što veća. Zbog svega navedenog izabran je 17%-ni aeroprofil NASA LS (1)-0417 poznat i pod oznakom GA (W) –1, čija vrednost maksimalne finese iznosi 88,9.

Treći element, čiji se uticaj na snagu turbine mora uzeti u obzir, jeste broj lopatica. Koeficijent snage turbine, za fiksni odnos brzine vrha lopatice λ , i izabrani aeroprofil preseka duž lopatice, zavisi od broja lopatica. Snaga raste sa povećanjem broja lopatica, i taj uticaj je najizraženiji za male vrednosti λ .

U tabeli 1 iz [1] dat je preporučen broj lopatica B , u zavisnosti od odnosa brzine vrha lopatice λ . Iz priložene tabele vidi se da za manje vrednosti odnosa brzine vrha lopatice λ treba uzeti veći broj lopatica. Za broj obrtaja, odnosno odnos brzine vrha lopatice za koji je vršena analiza odgovarao bi broj lopatica od 8 do 24, tako da je numerička simulacija rađena za turbinu sa 8, 16 i 24 lopatice.

Korišćeni analitički izrazi za maksimalni koeficijent snage idealnog rotora uzimaju u obzir rotaciju vrtložnog traga iza turbine, dok je zanemaren koeficijent otpora aeroprofila lokalnih preseka i gubici na krajevima lopatica. Izrazi za lokalni odnos brzine vrha λ , aerodinamički ugao nagiba lokalnog preseka φ , i dužinu tetive lokalnog preseka c dati su sledećim izrazima:

$$\lambda_{r,i} = \lambda \frac{r_i}{R} \quad (8)$$

$$\varphi_i = \frac{2}{3} \tan^{-1} \left(\frac{1}{\lambda_{r,i}} \right) \quad (9)$$

$$c_i = \frac{8\pi r_i}{BC_z} (1 - \cos \varphi_i) \quad (10)$$

Parametri geometrije optimalne lopatice određeni su u 12 preseka, a rezultati su izloženi u tabeli 2.

Tabela 2

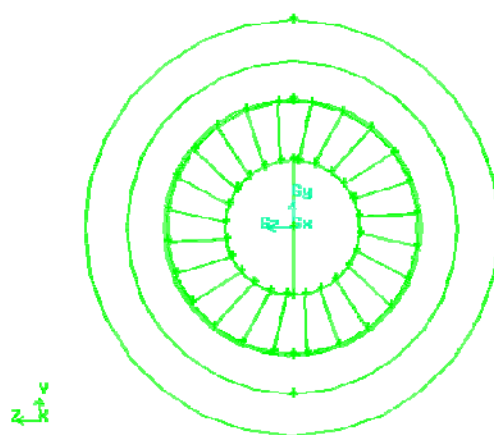
Geometrija optimalne lopatice

n = 50 o/min $\lambda = 0,55$ R = 0,65 m						
r/R	φ	θ_P	θ_T	c (m)		
				B = 24	B = 16	B = 8
1	40,78	36,00	-0,38	0,165	0,248	0,495
0,977	41,16	36,76	0	0,164	0,246	0,492
0,931	41,92	37,52	0,76	0,162	0,243	0,486
0,884	42,71	38,31	1,55	0,160	0,240	0,480
0,838	43,50	39,10	2,34	0,157	0,235	0,471
0,792	44,31	39,91	3,15	0,153	0,229	0,459
0,746	45,12	40,72	3,96	0,149	0,223	0,447
0,700	45,96	41,56	4,80	0,145	0,217	0,435
0,653	46,82	42,42	5,66	0,140	0,210	0,420
0,608	47,67	43,21	6,51	0,135	0,202	0,405
0,562	48,54	44,14	7,38	0,129	0,194	0,387
0,538	48,98	44,57	7,81	0,126	0,189	0,378

Za fiksni broj lopatica B vidi se da je promena dužine tetiva aeroprofila lokalnih preseka duž razmaha lopatice mala, pa je u numeričkoj simulaciji rađeno sa tetivom konstantne dužine, a uzeta je najveća vrednost iz tabele. Takođe, iz tabele se vidi da je promena ugla uvijanja duž razmaha lopatice skoro linearna, pa je u numeričkoj simulaciji rađeno sa linearnom promenom ugla uvijanja duž razmaha. Ovde može da se uoči da dužina tetive aeroprofila raste ka vrhu lopatice, a uzrok leži u maloj vrednosti odnosa brzine vrha λ .

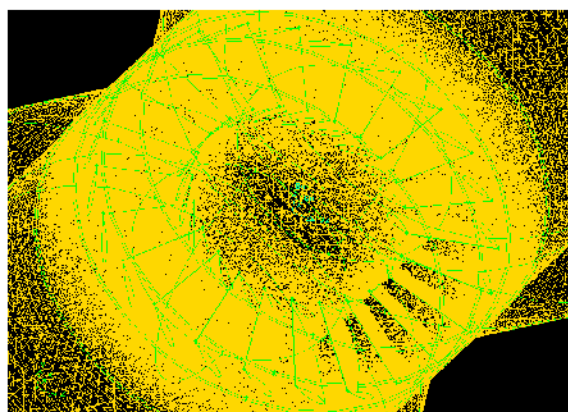
Numerička simulacija strujanja sa jednom turbinom

U numeričkoj simulaciji strujanja pošlo se od geometrije lopatice optimalnog rotora, sa malo modifikovanim vrednostima ugla uvijanja i tetiva aeroprofila lokalnih preseka duž kraka lopatice. Modifikovana geometrija lopatice poslužila je za generisanje geometrije cele turbine u Venturijevoj cevi. Na slici 3 dat je pogled prednje strane rotora sa 24 lopatice.



Slika 3 – Pogled spreda geometrije turbine sa 24 lopatice i Venturijeve cevi

Nakon generisanja geometrije napravljena je nestrukturisana zapreminska mreža sa približno 2,5 miliona tetraedara. Vrlo veliki broj elemenata bio je potreban da bi se obuhvatila interakcija kako između samih lopatica, tako i između rotora i Venturijeve cevi. Na slici 4 vidi se zapreminska mreža u okolini rotora.



Slika 4 – Zapreminska mreža u okolini rotora

Nakon generisanja mreže urađena je neposredna priprema za numeričku simulaciju u softveru za rešavanje usrednjenih Navije–Stoksovih jednačina. Priprema je obuhvatila definisanje graničnih uslova koji obuhvataju brzinu strujanja na ulazu u Venturijevu cev, pritisak na izlazu iz cevi, vektor ugaone brzine rotora i uslov da nema klizanja na čvrstoj površini. Uključuje se i jedan od turbulentnih modela, bira tip solvera (eksplicitan ili implicitan) i postavljaju parametri za ubrzavanje konvergencije rešenja. Tokom numeričke simulacije prate se reziduali, odnosno greške na desnim stranama jednačina strujanja, kao i vrednost obrtnog momenta. Kada vrednosti reziduala padnu ispod neke vrednosti (oko 10^{-3}), ili je promena obrtnog momenta u dve uzastopne iteracije manja od 0,5%, numerička simulacija se završava.

Obrtni moment i snaga za 8, 16 i 24 lopatice dati su u tabeli 3. Vidi se da najveću snagu daje turbina sa 24 lopatice, i dalje numeričke simulacije vršene su samo sa ovim brojem lopatica.

Tabela 3

Snaga za različit broj lopatica

Konstruktivni ugao nagiba u korenu $\theta_p = 44,57^\circ$	Broj lopatica B		
	8	16	24
P (W)	78053	69147	113039

S obzirom na to da je numerička simulacija rađena za lopatice čiji oblik je određen iz analitičkih izraza izvedenih sa određenim uprošćenjima, izvršena je provera da li se sa promenom konstruktivnog ugla nagiba lopatice može dobiti veća snaga. Zbog toga je konstruktivni ugao nagiba lopatice u korenu u jednom slučaju povećan, a u drugom smanjen za 2° , pri čemu je ugao uvijanja duž lopatice ostao nepromenjen. Rezultati za ta dva slučaja prikazani su u tabeli 4, uz osnovni slučaj označen kao nominalni.

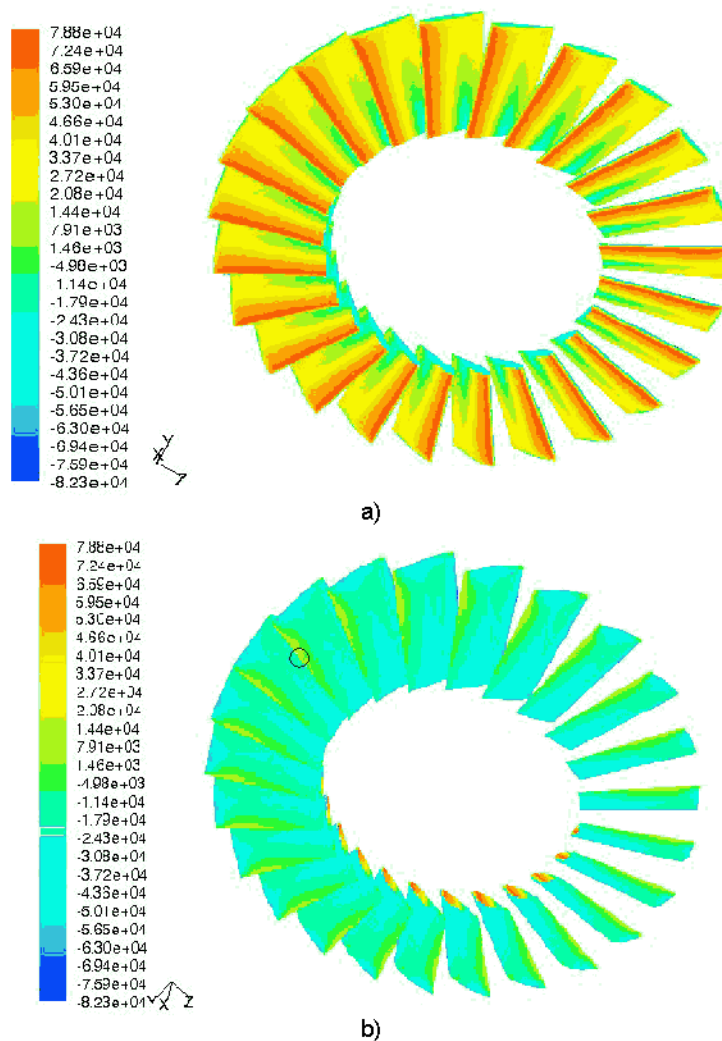
Tabela 4

Snaga za promenu konstruktivnog ugla nagiba oko nominalnog

Broj lopatica B = 24	Konstruktivni ugao nagiba u korenu θ_p	-2°	Nominalan	$+2^\circ$
		$42,57^\circ$	$44,57^\circ$	$46,57^\circ$
	Snaga P (W)	92048	113039	76315

Vidi se da najveću snagu daje turbina sa lopaticama pod nominalnim konstruktivnim uglom nagiba, što znači da uprošćenja uvedena pri određivanju lopatice optimalnog rotora imaju zanemarljiv uticaj.

Na slikama 5a i 5b prikazana je raspodela pritiska na lopaticama za nominalni konstruktivni ugao nagiba. Uočava se da je raspodela pritiska na donjaci praktično identična za sve lopatice, a isto važi i za gornjaku. Takođe, primećuje se izražen natpritisak (crvena boja) na donjaci, a na gornjaci potpritisak (plava boja), što znači da je njihova razlika velika, kao i sila uzgona čija obimna komponenta daje obrtni moment.

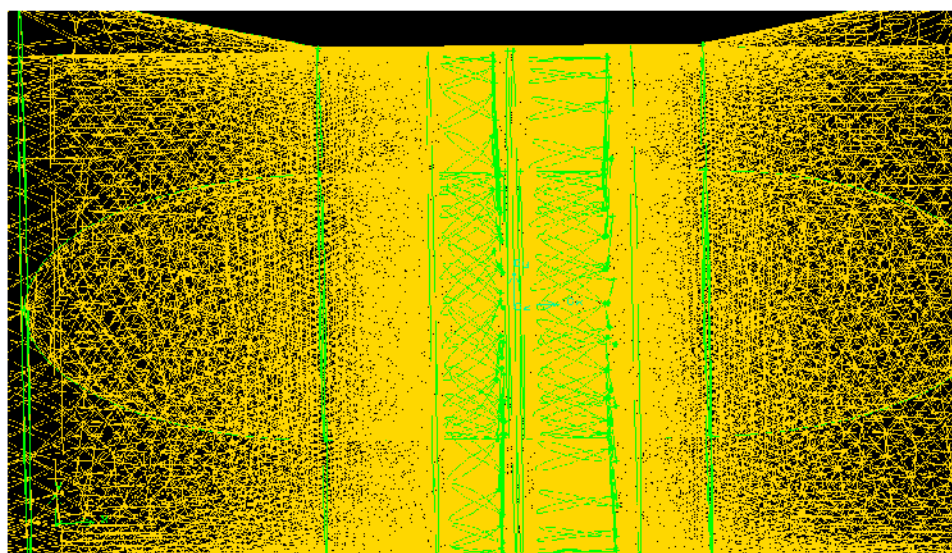


Slika 5 – Raspodela pritiska na lopaticama turbine za nominalni konstruktivni ugao nagiba u korenu lopatice: a) donjaka, b) gornjaka lopatica

Numerička simulacija sa dve kontrarotirajuće turbine

U sledećoj fazi istraživanja rađena je numerička simulacija strujanja za dve turbine u Venturijevoj cevi, koje se obrću u suprotnim smerovima sa istim brojem obrtaja $n = 50$ o/min, a nalaze se jedna neposredno iza druge. Pri tome je geometrija prve turbine ostala nepromenjena, dok je

za drugu turbinu uzet isti broj lopatica i ista dužina tetive kao i za prvu. Cilj ovog dela istraživanja bio je da se odrede konstruktivni ugao nagiba u korenu i ugao uvijanja lopatice druge turbine, tako da se dobije najveća zbirna snaga, uz uslov da ne dođe do otcepljenja struje na lopatici druge turbine. Postupak se sastojao u tome da se početne vrednosti konstruktivnog ugla nagiba u korenu i ugla uvijanja lopatice druge turbine, koje su bile potrebne za prvu numeričku simulaciju, procene na osnovu polja vektora brzine iza prve turbine kada ona radi sama. Na osnovu strujne slike oko lopatice druge turbine menjani su spomenuti uglovi, sve dok nije dobijena najveća snaga koju zajedno daju obe turbine, a da pri tome nigde na lopatici nije došlo do otcepljenja struje. Na slici 6 prikazana je numerička mreža za dve kontrarotirajuće turbine.



Slika 6 – Zapreminska mreža za dve kontrarotirajuće turbine

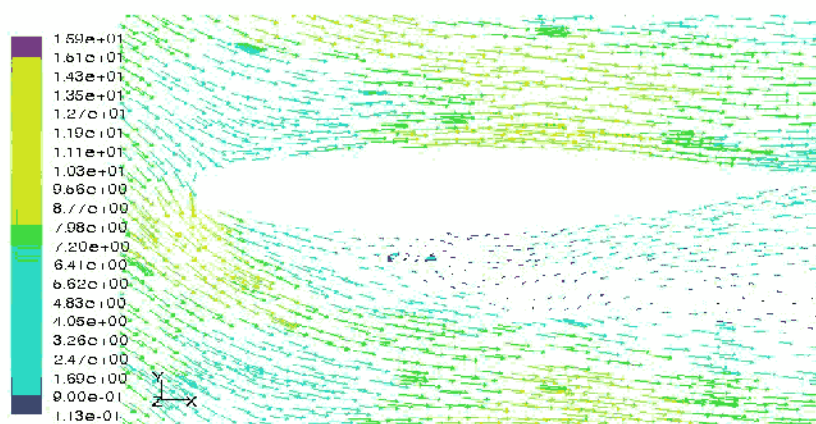
Bilo je potrebno uraditi 7 numeričkih simulacija da bi se dobila najveća zbirna snaga, uz zahtevane uslove, a rezultati su prikazani u tabeli 5.

Rezultati numeričke simulacije za dve kontrarotirajuće turbine

Tabela 5

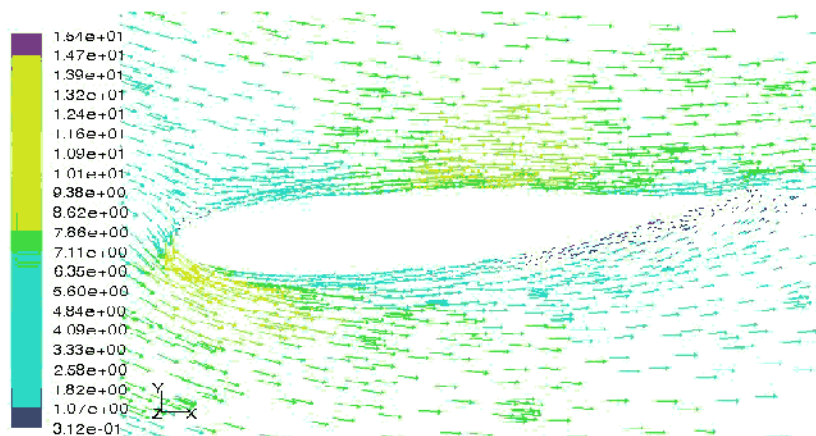
Slučaj	1	2	3	4	5	6	7
Konstruktivni ugao nagiba	49°	90°	78°	70°	62°	62°	58°
Ugao uvijanja	16°	8°	20°	28°	40°	44°	46°
Snaga prednje turbine (KW)	84,4	82,4	82,7	81,9	83,0	83,6	83,2
Snaga zadnje turbine (KW)	2,8	50,1	42,9	41,0	41,6	44,6	42,1
Ukupna snaga obe turbine	87,2	132,5	125,6	122,9	124,6	128,2	125,3

U svim simulacijama uočeno je da dolazi do znatnog pada snage na prednjoj turbini, što je posledica uticaja zadnje turbine, čak i kada se ona ne obrće. Slučajevi 1 i 2 su karakteristični, jer daju najmanju i najveću snagu. U slučaju 1 snaga je bila najmanja, jer je deo lopatice bio pod negativnim napadnim uglom, što je pokazala strujna slika. Slučaj 2 je karakterističan, jer je dao najveću ukupnu snagu, ali zbog otcepljenja struje od korenog preseka pa skoro do vrha lopatice, nije mogao biti prihvaćen kao rešenje. Na slici 7 prikazani su vektori relativne brzine oko aeroprofila preseka lopatice zadnje turbine u kornom preseku, gde se uočava veliko otcepljenje struje na gornjaci.



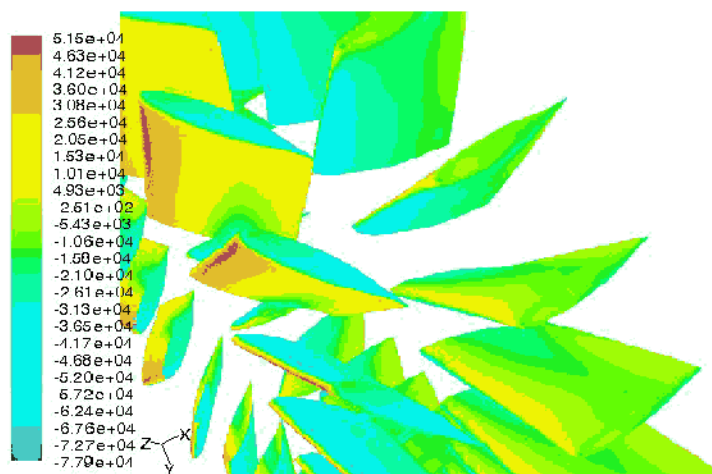
Slika 7 – Vektori relativne brzine u kornom preseku za slučaj 2

Na slici 8 prikazani su vektori relativne brzine oko aeroprofila preseka na 67% razmaha, i uočava se znatno manja zona otcepljenog strujanja u odnosu na korni presek.



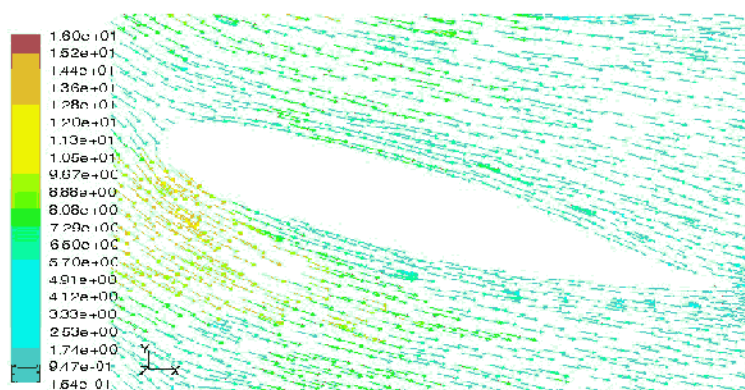
Slika 8 – Vektori relativne brzine u preseku na 67% razmaha za slučaj 2

U numeričkim simulacijama od 3 do 7 izvršeno je fino podešavanje konstruktivnog ugla nagiba u korenu lopatice i ugla uvijanja duž kraka lopatice. Na slici 9 prikazana je raspodela pritiska na lopaticama prednje i zadnje turbine za slučaj 4.



Slika 9 – Raspodela pritiska na lopaticama prednje i zadnje turbine za slučaj 4

Najveća ukupna snaga, a da se pri tome nije pojavilo otcepljenje struje ni u jednom preseku duž razmaha lopatice, dobijena je u slučaju 7. Na slici 10 prikazani su vektori relativne brzine u korenom preseku za slučaj 7. Uočava se da nema otcepljenja strujanja sve do izlazne ivice aeroprofila, a to važi i za ostale preseke duž kraka lopatice.



Slika 10 – Vektori relativne brzine u korenom preseku za slučaj 7

U tabeli 6 date su uporedo vrednosti za najveću snagu koja se dobija sa jednom turbinom i sa dve kontrarotirajuće turbine u Venturijevoj cevi, za broj obrtaja $n = 50$ o/min i brzinu od 2 m/s na ulazu u cev.

Snaga za jednu i dve kontrarotirajuće turbine u Venturijskoj cevi

Tabela 6

BROJ OBRTAJA n (o/min)	SNAGA P (W)	
	JEDNA TURBINA	DVE TURBINE
50	113 039	125 350

Upoređujući vrednosti snage dobijene numeričkom simulacijom strujanja vidi se da dve kontrarotirajuće turbine daju za oko 11% veću snagu u odnosu na jednu turbinu.

Zaključak

U radu su prikazani rezultati istraživanja numeričkom dinamikom fluida, koje je obuhvatilo poređenje snage koja se dobija sa jednom i sa dve kontrarotirajuće hidro turbine u Venturijskoj cevi, za broj obrtaja $n = 50$ o/min i brzinu od 2 m/s na ulazu u cev. Analiza je izvršena za tri različita broja lopatica u okviru preporučenog za zadatu vrednost parametra brzine kraja lopatice, a rezultati su pokazali da se za jednu turbinu najveća snaga dobija sa najvećim brojem lopatica.

Numeričke simulacije za dve turbine koje su neposredno jedna iza druge, a obrću se u suprotnim smerovima sa istim ugaonim brzinama, pokazale su da snaga prednje turbine opada za oko 20% u odnosu na njenu snagu kada radi sama. To se dešava čak i kada se zadnja turbina ne obrće.

Snaga koju daju dve kontrarotirajuće turbine, u odnosu na snagu za jednu turbinu, veća je za oko 11%, tako da za $n = 50$ o/min i brzinu vode od 2 m/s na ulazu u Venturijsku cev, rešenje sa dve kontrarotirajuće turbine nema opravdanje, jer je prirast ukupne snage mali u odnosu na cenu i složenost izrade.

S obzirom na to da su ovo rezultati samo za jedan broj obrtaja, odgovor na pitanje da li je prirast ukupne snage dovoljno veliki da opravda postavljanje druge turbine u Venturijsku cev može se dobiti samo ako se uradi istraživanje i za druge brojeve obrtaja.

Literatura

- [1] Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., *Wind Energy Explained*, John Wiley & Sons, 2002.
- [2] Anderson, D. A., Tannehill, J. C., Pletcher, R. H., *Computational fluid mechanics and heat transfer*, McGraw-Hill Book Company, 1984.
- [3] White, F. M., *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill book company, 1986.

ODREĐIVANJE FUNKCIJE POUZDANOSTI MOTORNIH VOZILA KAO SLOŽENOG TEHNIČKOG SISTEMA

Potpukovnik sc Rade Guberinić, dipl. inž.,
major Ivan Milojević, dipl. inž.,
64. logistički bataljon

Rezime:

Kod motornih vozila se, kao posebno značajne promene stanja, posmatraju promene performansi vozila zavisno od njegove starosti, odnosno puta koje je prešlo. Pri razmatranju radnih opterećenja motornih vozila i njihovih sastavnih elemenata, obično se smatra da stvarna radna opterećenja mogu biti mehanička, toplotna i strukturna, što usmerava pažnju na uzroke promena stanja.

Polazni kriterijum za ocenu eksploatacionih pokazatelja pouzdanosti i gotovosti motornih vozila predstavlja frekvencija pojava stanja „u otkazu“. Svi ostali kriterijumi nastaju matematičkom transformacijom ovog kriterijuma.

Korišćenjem dobijenih podataka, primenom programskog paketa PROEFI, određeni su parametri za tri posmatrane raspodele: normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu. Nakon određivanja parametara pojedinih raspodela izvršen je izbor optimalne raspodele primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20.

Ključne reči: motorno vozilo, funkcija pouzdanosti, održavanje motornog vozila, parametri normalne, eksponencijalne i Vejbulove raspodele.

DETERMINATION OF THE RELIABILITY FUNCTION OF MOTOR VEHICLES AS COMPLEX SYSTEMS

Summary:

Changes in vehicle performances represent important changes of the overall condition of a vehicle and are analysed regarding its life, ie. its mileage. Since real operational loads are generally considered to be mechanical, temperature-based and structural, the analysis of operational loads of motor vehicles and their elements focuses on the causes of condition changes.

The initial criterion for estimating the exploitation reliability and readiness factors of motor vehicles is the frequency of "in failure" condition occurrence. All other criteria result from the mathematical transformation of this criterion.

The obtained data and the PROEFI software package have been used for determining the parameters of three observed distributions: normal, exponential and Veibull. An optimal distribution has been chosen using the Kolmogorov-Smirnov test for a significance level of 0.20.

Key words: motor vehicle, reliability function, motor vehicle maintenance, parameters of normal, exponential and Veibull distribution.

Uvod

Specifičnost motornih vozila, kao složenih sistema, ogleda se u njihovoj strukturi sačinjenoj od niza različitih elemenata koji se međusobno nalaze u kompleksnim interakcijama i koji svoju funkciju, po pravilu, ne izvršavaju pojedinačno već u sklopu različitih funkcionalnih celina.

Motorno vozilo je tipičan primer složenog sistema koji je stvoren radi izvršavanja određene funkcije cilja. Svi elementi motornog vozila, kao i sve njihove veze i ustanovljene funkcionalne celine, imaju zadatak da izvrše zadatu misiju, odnosno funkciju kriterijuma koja mora da se nalazi unutar zadatih granica dozvoljenih odstupanja [3].

Sposobnost sistema da izvršava funkciju kriterijuma u okviru granica dozvoljenih odstupanja karakteriše se njegovim stanjem „u radu“. Stanje „u otkazu“ označava stanje nesposobnosti sistema da na pomenuti način izvršava zadatu funkciju. Kao prilog tome, održavanje ima zadatak da spreči, odnosno odloži nastanak stanja u otkazu. Ako je, međutim, ovo stanje već nastupilo, onda održavanje mora da obezbedi vraćanje sistema iz stanja „u otkazu“ u stanje „u radu“.

Na motornom vozilu se u toku korišćenja javljaju neispravnosti (otkazi), tj. stanja kada vozilo nije sposobno da izvršava zadatu funkciju unutar granica dozvoljenih odstupanja. Na vozilu otkazuju elementi ili njihove veze, što dovodi do otkaza viših funkcionalnih celina, pa konačno i do otkaza sistema, tj. celog vozila. U tome treba tražiti uzrok činjenice da se kod motornih vozila veoma retko događaju tzv. „potpuni“ otkazi sistema. Međutim, „delimični“ otkazi se javljaju veoma često, kao posledica potpunih ili delimičnih otkaza sastavnih elemenata.

Zbog svega toga, kod motornih vozila se, kao posebno značajne promene stanja, posmatraju promene performansi vozila zavisno od njegove starosti, odnosno puta koje je ono prešlo. Iz prakse je poznato da starija vozila nisu u stanju da obezbede iste performanse kao i nova vozila. Uostalom, danas je normalno da se na novoizgrađena vozila odnose oštriji (tzv. homologacijski) propisi, dok se na vozila iz eksploatacije (ili starija vozila) primenjuju blaži (tzv. saobraćajni) propisi [3].

Svi radni i prateći procesi koji se odvijaju u toku rada jednog motornog vozila dovode do toga da se, zavisno od njegove starosti, odnosno veličine pređenog puta, povećava verovatnoća pojave otkaza vozila ili njegovih pojedinih elemenata.

Pored toga što dolazi do opadanja vučno-dinamičkih karakteristika, posebno se pogoršavaju druge karakteristike vozila, a naročito one koje imaju uticaja na njegovu bezbednost. Negativne posledice ovog procesa mogu i moraju da se smanjuju, pa održavanje vozila i njegovih sastavnih elemenata ima veoma važnu ulogu.

Bez obzira na karakter, svi otkazi mogu da se objasne kao rezultat promena stanja sistema. U inženjerskoj praksi i raspoloživoj literaturi promene stanja motornog vozila pripisuju se veoma raznorodnim faktorima.

Uzroci otkaza tehničkih sistema mogu biti:

– ugrađene mane, tj. rezultat sopstvene slabosti sistema, koja može da bude prouzrokovana:

- greškama pri izradi sastavnih elemenata, ili
- greškama pri konstruisanju;
- pogrešna upotreba, na primer, u smislu da rukovalac dovodi sistem u uslove rada koji su oštriji od onih za koje je sistem projektovan;
- habanje, zamor ili starenje;
- primarni otkaz (tj. oni otkazi koji prvi nastaju) ili
- sekundarni otkazi, tj. oni otkazi koji nastaju kao posledica nekih drugih prethodno nastalih ili primarnih otkaza, i
- slučajni otkazi.

Moguće je, naravno, da se promene stanja sistema posmatraju kao normalna posledica njegovog rada i uticaja koji na njega imaju radni uslovi, tj. opterećenja sistema.

Pri razmatranju radnih opterećenja motornih vozila i njihovih sastavnih elemenata, obično se smatra da stvarna radna opterećenja mogu biti mehanička, toplotna i strukturna, što u velikom stepenu usmerava našu pažnju na uzroke promena stanja.

Kod svih složenih sistema, pa i kod motornih vozila, manifestuje se dejstvo tri grupe uticaja na stanja sistema, odnosno njegove otkaze[9]:

- sistematski uticaji, koji obično dovode do otkaza u periodu „dečjih bolesti“ sistema, odnosno u početku njegovog rada i u periodu uhodavanja sistema kada se, kod mnogih njegovih elemenata, javlja intenzivno trošenje;
- slučajni uticaji, koji su posledica dejstva veličina čija je pojava u toku normalnog rada sistema stohastičkog karaktera, i
- monotono-dejstvujući uticaji, čiji intenzitet raste sa dužinom rada sistema, kao što su habanje, nepodešenost, zamor materijala, starenje, korozija i slično.

Sa stanovišta analize stanja sistema značajno je da se ima u vidu da otkazi, po vrsti, mogu da budu *iznenadni*, odnosno *postepeni*, kao i *nezavisni*, odnosno *zavisni* [3]. Motorna vozila su složeni sistemi u kojima se odvijaju veoma različiti radni procesi, koji su u vezi sa pojavom različitih vidova energije (mehanička, toplotna, hemijska i dr.). Ovi procesi su uzrok trenutnih mehaničkih, toplotnih i strukturnih stanja sistema.

Najveći broj otkaza motornih vozila se pripisuje dejstvu mehanizma habanja, naročito kod pogonskog agregata-motora, glavnih komponenata sistema za prenos snage (mehanički, pogonski most, dopunski prenosnici) i frikcionih mehanizama.

U praksi je veoma teško sistematizovati sve moguće događaje u životnom veku vozila, izazvane habanjem ili korozijom, odnosno drugim mogućim uzrocima promena stanja.

Eksplataciono-tehničke karakteristike motornog vozila „TAM 110 T7 BV-4X4“

Vozilo TAM 110 strukturno obuhvata komponente prikazane u tabeli 1 [9]. Namijenjeno je za prevoz ljudi i materijala. Vozilo se može kretati po putevima (korisna nosivost 2500 kg) i bespuću (korisna nosivost 1500 kg). U tu svrhu opremljeno je posebnim terenskim gumama u kojima se pritisak vazduha za vreme vožnje može menjati u rasponu od 0,7 do 3,5 bara.

Vozilo se može kretati u temperaturnom dijapazonu od -30°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Dozvoljena dubina gaza vozila pri vožnji po vodi iznosi 1 m dubine. Najveća brzina vozila TAM 110 u vožnji putem iznosi 90 km/h, na terenu 48 km/h. Vozilo može da vuče prikolicu bruto težine 1800 kg.

Kod uključenog prvog stepena prenosa u menjaču i terenskog prenosa u razvodniku pogona vozilo pod punim opterećenjem (1500 kg) savlađuje uspon od 62%, a sa prikolicom uspon od oko 44% (tvrda podloga).

Vozilo pokreće 4-cilindrični, 4-taktni vazdušno hlađeni dizel motor F4L413 FR sa direktnim ubrizgavanjem goriva. Snaga motora iznosi 81 kW (110 KS) kod $2650 [\text{min}]^{-1}$ i prenosi se preko suve jednolamelaste spojnice, potpuno sinhronizovanog menjača sa pet stepeni prenosa, dvostepenog razvodnika pogona, kardanskih vratila i diferencijala sa prinudnim blokiranjem u prednjem i zadnjem pogonskom mostu na zadnje točkove, odnosno po želji na sva četiri točka. Menjač je po želji snabdeven dodatnim izvodom pogona, koji se može upotrebiti za razne pomoćne agregate.

Okvir vozila sastoji se od dva ravna uzdužna nosača profila U, koji su zakivcima i vijcima vezani za poprečne nosače.

Prednji i zadnji pogonski most obešeni su preko linearnih lisnatih gibnjeva i gumenih jastuka na šasiju vozila. Prednja i zadnja osovina opremljene su amortizerima, a elastičnost gibnjeva i okvira doprinosi u velikoj meri dobrom prilagođavanju vozila na svakom terenu.

Radni kočni sistem (nožna kočnica) radi na hidropneumatskom servo principu i ima radi sigurnosti dva radna kruga od kojih prvi deluje na prednje, a drugi na zadnje točkove. Ako otkáže pneumatski deo kočnog sistema može se kočiti i samo hidrauličnim delom.

Pomoćna ili parkima (ručna) kočnica deluje na mehaničko-pneumatskom principu, te omogućava stajanje vozila na usponu od 60%. Vozilo je opremljeno i motornom kočnicom.

Hidraulični servo upravljač omogućava da vozač potpuno vlada vozilom i na teškom terenu. Fizički napor potreban za upravljanje vozilom je mali i dovoljan je za sigurnu vožnju. U slučaju da otkáže hidraulični deo upravljačkog sistema vozilom se može upravljati i mehaničkim delom, ali je potrebna mnogo veća snaga.

Na zadnjem delu vozila montirano je vitlo, koje služi za samoizvlačenje vozila, a njegova vučna sila iznosi min. 2500 kg.

Kabina je otvorenog tipa sa složljivim arnjevima i platnenim krovom. Bočni prozori mogu se skinuti, a vetrobransko staklo obarati unapred. Radi boljeg pristupa motoru kabinu možemo prevrnuti napred. Za grejanje kabine služi Jugo-Webasto grejač.

Tabela 1

Komponente m/v TAM -110 T7 BV 4x4

POZICIJA	N A Z I V
1	MOTOR
2	POGONSKI MOST
3	SPOJNICA
4	MENJAČ
5	RAZVODNIK POGONA
6	POGONSKI MOST
7	OKVIR VOZILA
8	VITLO
9	REZ. ZA VAZDUH
10	REZ. ZA GORIVO
11	SERVO UPRAVLJAČ

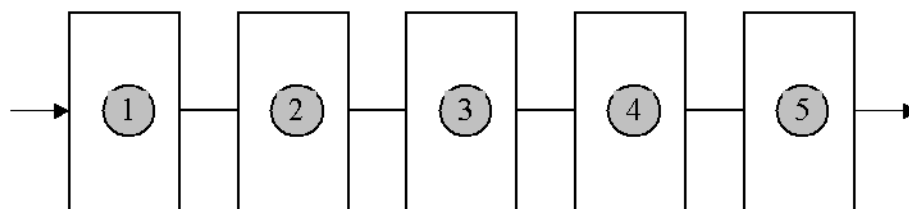
Tovarni sanduk je čelične konstrukcije sa dnom udubljenim po čitavoj dužini. Sa strane se nalaze klupe za prevoz ljudi. Bočne stranice su krute, a zadnja stranica ima sa spoljne strane dve lestve, pa se obara unazad. Sanduk je snabdeven arnjevima i ceradom.

Vozilo je snabdeveno rezervnim točkom, rezervnim kantama za gorivo, alatom za održavanje, pionirskim alatom i opremom za vitlo. Pored toga, vozilo ima radio-zaštitu.

Na osnovu izloženog vozilo TAM 110 može se svrstati u grupu savremenijih motornih vozila točkaša. To, pre svega, znači da vozilo kao transportno-vučno sredstvo raspolaže veoma dobrim eksploatacionim karakteristikama. Međutim, s druge strane, predmetno vozilo predstavlja veoma složenu strukturu, što može da rezultira povećanom učestalošću otkaza.

Struktura motornog vozila

Struktura motornog vozila TAM 110 predstavlja složeni tehnički sistem i definisana je na slici 1:



Slika 1 – Struktura motornog vozila

Kao što se sa sl. 1 vidi, motorno vozilo prikazano je blok-šemom sa rednom vezom. Pri tome, svaki od elemenata (blokova) predstavlja tačno određene sklopove vozila, i to:

- transmisiju
- električne uređaje i instalacije
- motor
- uređaj za kočenje
- ostalo (kabina, karoserija, uređaj za upravljanje, ram, elemente ovešenja, uređaj za centralnu regulaciju pritiska, točkove i pneumatike).

Relativno uprošćena blok-šema konstruisana je u skladu sa frekvencijom otkaza na sklopovima vozila i potrebama ove analize.

Istraživanje otkaza motornog vozila u „ranom“ periodu korišćenja

Koliko je poznato, na osnovu raspoložive literature, nisu vršena kompleksna ocenska istraživanja motornog vozila TAM 110, zasnovana na teoriji pouzdanosti.

U radu [9] sprovedena su istraživanja otkaza u ranom periodu korišćenja vozila TAM 110 (u garantnom roku), određena je pouzdanost pod sistema i vozila u celini. Period korišćenja u garantnom roku je po mnogo čemu specifičan u odnosu na ostale periode korišćenja vozila. U slučaju nepridržavanja korisnika propisanih normativa iz ugovora o garantnom roku vozilo se isključuje iz garancije. Svaki takav slučaj donosi ekonomske posledice korisniku i u pravilu iz straha od tih posledica korisnik se strogo pridržava propisanih normativa. U slučaju otkaza motornog vozila, korisnik nema pravo preduzeti mere opravki već je obavezan podneti reklamaciju, a otklanjanje neispravnosti vrše ovlašćeni servisi (stručnjaci) proizvođača.

Zbog suprotnosti interesa, korisnik – proizvođač, podaci o otkazima u reklamacionim listama predstavljaju meritoran materijal.

Sprovedena istraživanja u radu [9] predstavljaju originalna rešenja u oblasti istraživanja pouzdanosti motornih vozila, koja se odnose na period „ranih otkaza“, sa sledećim karakteristikama [9]:

- reklamaciona lista, kao dokument, predstavlja nosioca tačnih podataka i najobjektivnije odslikava stanje motornog vozila u garantnom roku (u smislu otkaza);
- analiza takvih podataka daje objektivnu sliku o otkazima u garantnom roku (iako ne i detaljnu);
- sređivanjem podataka uz korišćenje statističkih metoda moguće je dobiti dovoljno objektivne pokazatelje o pouzdanosti pojedinih (kritičnih) sklopova, pa i motornog vozila u garantnom roku;
- prikupljanje podataka, na ovaj način, iziskuje relativno male troškove.

U procesu praćenja motornih vozila u eksploataciji prikupljane su reklamacione liste za period od 5000 pređenih kilometara. Pri tome nije uzimano u obzir

kalendarsko vreme, jer su prikupljene reklamacijske liste u okviru kalendarskog vremena važnosti garancije. Svakako, kod preciznijih istraživanja otkaza i pouzdanosti morao bi biti uzet u obzir faktor prirodnog starenja materijala.

Prikupljeni listovi garancije odnose se na 826 vozila posmatranih u periodu do 5000 kilometara, što predstavlja dovoljno veliki uzorak, koji obezbeđuje dobru statističku sigurnost za rešavanje problema istraživanja pouzdanosti.

Istraživanje otkaza motornog vozila u periodu „normalnog“ korišćenja i u periodu „poznih“ otkaza

Polazni kriterijum za ocenu eksploatacionih pokazatelja pouzdanosti i gotovosti motornih vozila predstavlja frekvencija pojava stanja „u otkazu“. Svi ostali kriterijumi nastaju matematičkom transformacijom ovog kriterijuma.

Eksperimentalni okvir istraživačkog postupka u ovom radu predstavlja istraživanje otkaza motornog vozila TAM 110 u periodu „normalnog“ korišćenja (II period u dijagramu intenziteta otkaza), i periodu „poznih“ otkaza (III period dijagrama).

Posmatra se uzorak od 45 motornih vozila TAM 110. Evidentirane su i sistematizovane frekvencije pojava stanja „u otkazu“ pojedinih pod sistema vozila, u funkciji od broja pređenih kilometara. Obuhvaćen je ograničeni period korišćenja svakog motornog vozila – do sistemskog remonta (revizije), koji se kreće 5 do 70×10^3 km.

Na osnovu radnih naloga o izvršenoj reviziji motornih vozila sistematizovani su otkazi pojedinih pod sistema (komponenti) vozila i za celo vozilo, radi određivanja njihovih karakteristika pouzdanosti.

Frekvencija otkaza vozila TAM-110, po pod sistemima, prikazana je u tabeli 2, a frekvencija otkaza po vremenskim intervalima do sistemskog remonta u tabeli 3. Otkazi transmisije, kao najkritičnijeg pod sistema sa najvećim brojem otkaza, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 2

Frekvencija otkaza po pod sistemima vozila TAM-110 T7

FREKVENCIJA OTKAZA TAM - 110 T7 po pod sistemima vozila					
PODSISTEM	Broj elemenata	Broj otkaza	Otkaza po elementu	%	RANG kritičnosti
Transmisija	6	153	26	23	1
El. uređaj	4	43	10	6	5
Motor	8	149	19	21	4
Uređ. za kočenje	5	123	24	18	2
Ostali elementi	10	219	20	32	3
SVEGA OTKAZA	33	687	22	100	

Tabela 3

Frekvencija otkaza sistematizovana po vremenskim intervalima

Interval	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	40-45	50-55	65-70	70-75		x1000 km
T	35	64	7	19	2	7	6	8	4	4	156	
EU	10	23		4	1	2	1		2	1	45	
M	39	55	8	9	5	8	3	9	5	5	146	
UK	32	44	6	15	2	6	4	6	3	3	121	
O	53	78	11	29	5	12	8	13	3	7	219	
M/V	169	264	32	76	15	35	22	36	17	20	687	

Tabela 4

Otkazi transmisije motornog vozila TAM-110 T7

PODSISTEM		Broj otkaza		%	
SPOJNICA	disk	17	56	11	37
	potpisna ploča	20		13	
	mehanizam spojnice	19		12	
Menjač		33		22	
Reduktor		34		22	
Diferencijal		8		5	
Ostalo		22		14	
SVEGA		153		100	

Određivanje karakteristika pouzdanosti motornog vozila u periodu „normalne upotrebe“ vozila

Za određivanje karakteristika pouzdanosti u periodu „normalne“ upotrebe motornog vozila korišćen je programski paket „PROEFI“. Praktična primena predmetnog programskog paketa obuhvata:

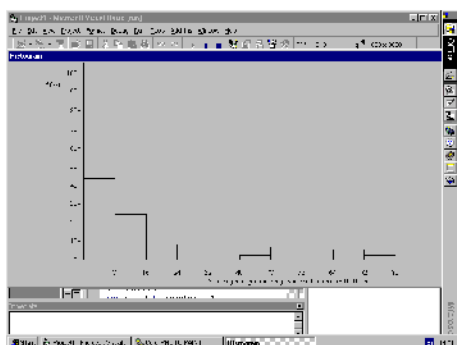
- a) statističku obradu podataka (određivanje histograma, stepenastih dijagrama i poligona) iz formirane vremenske slike stanja rada i održavanja sklopova posmatranog motornog vozila;
- b) normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu raspodelu i „najbolju“ raspodelu primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20;
- c) definiciju analitičkih oblika funkcije pouzdanosti i
- d) analitički oblik funkcije efektivnosti.

Obrada podataka izvršena je za sledeće sklopove motornog vozila: motor, električne uređaje, transmisiju, kočni sistem i „ostali“ sklopovi, a prikazana je za motor i kompletno vozilo (zbimo) u obliku histograma, stepenastih dijagrama i poligona, posebno za vreme rada, i posebno za vreme otkaza. Neophodno je naglasiti da su vremena rada i otkaza posmatranih i sklopova i motornog vozila izražena u kilometrima.

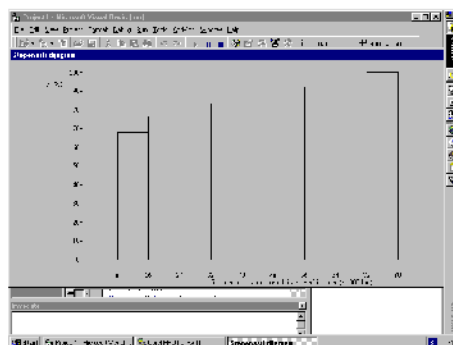
Za određivanje karakteristika pouzdanosti u periodu „normalne“ upotrebe motornog vozila korišćen je programski paket „PROEFI“. Praktična primena predmetnog programskog paketa obuhvata:

- statističku obradu podataka (određivanje histograma, stepenastih dijagrama i poligona) iz formirane vremenske slike stanja rada i održavanja sklopova posmatranog motornog vozila;
- normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu raspodelu i „najbolju“ raspodelu primenom testa Kolmogorov-Smirnova za stepen značajnosti od 0,20;
- definiciju analitičkih oblika funkcije pouzdanosti i
- analitički oblik funkcije efektivnosti.

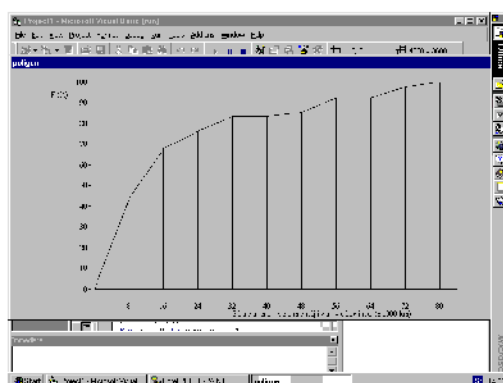
Obrada podataka izvršena je za sledeće sklopove motornog vozila: motor, električne uređaje, transmisiju, kočni sistem i „ostali“ sklopovi, a prikazana je za motor i kompletno vozilo (zbimo) u obliku histograma, stepenastih dijagrama i poligona, posebno za vreme rada, i posebno za vreme otkaza. Neophodno je naglasiti da su vremena rada i otkaza posmatranih i sklopova i motornog vozila izražena u kilometrima.



a) Histogram vremena rada motora

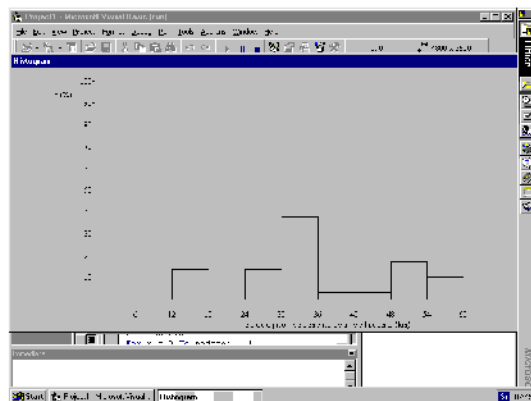


b) Stepenasti dijagram vremena rada motora

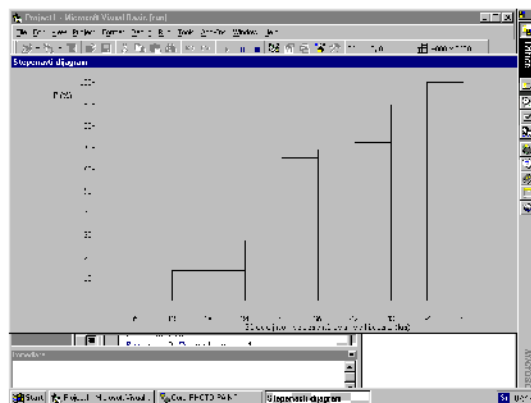


c) Poligon vremena rada motora

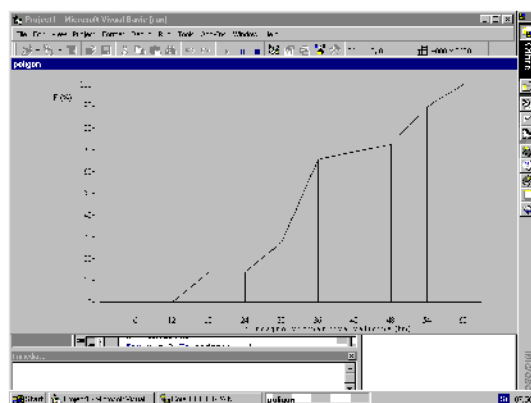
Slika 2 – Vremenske slike stanja rada motora



a) Histogram vremena otkaza motora

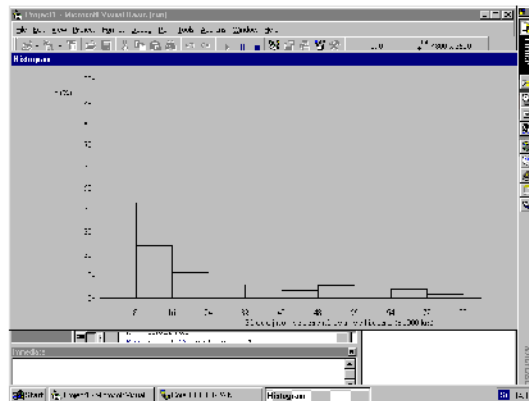


b) Stepenski dijagram vremena otkaza motora

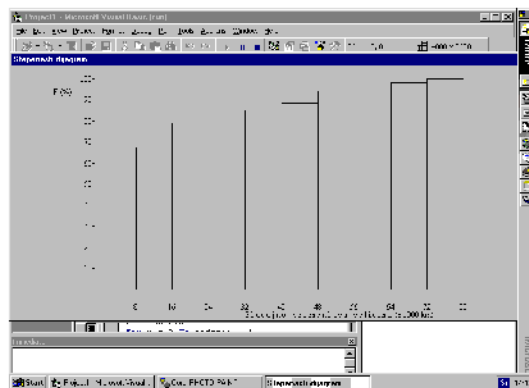


c) Polygon vremena otkaza motora

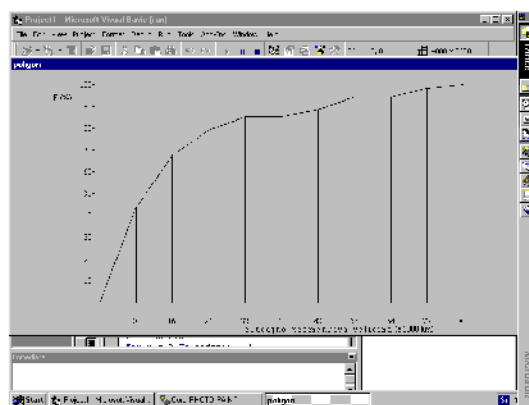
Slika 3 – Vremenske slike stanja otkaza motora



a) Histogram vremena rada tehničkog sistema

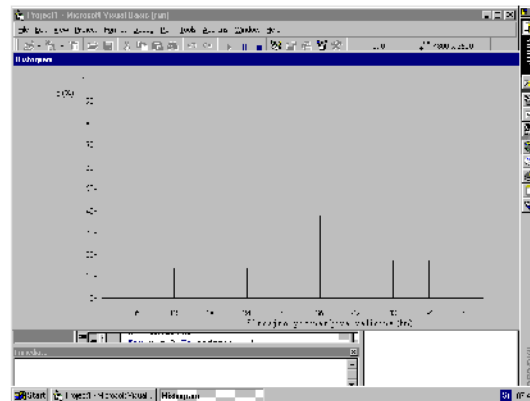


b) Stepenasti dijagram vremena rada tehničkog sistema

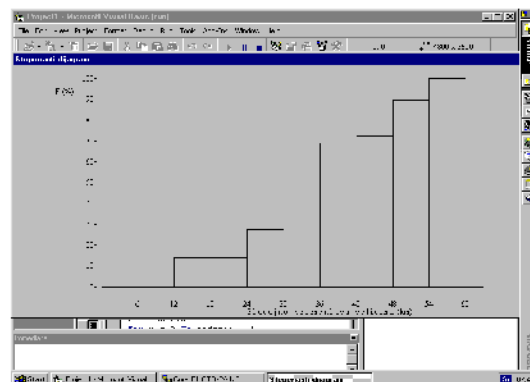


c) Poligon vremena rada tehničkog sistema

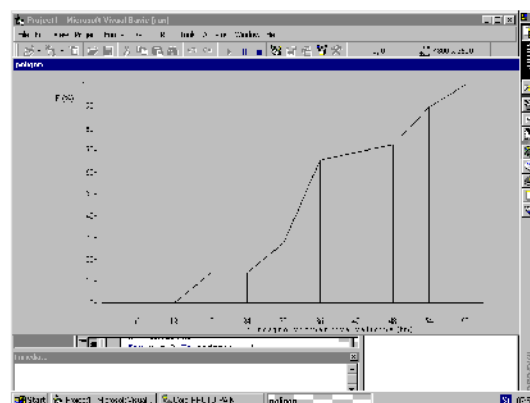
Slika 4 – Vremenske slike stanja rada celog tehničkog sistema



a) Histogram vremena otkaza tehničkog sistema



b) Stepenasti dijagram vremena otkaza tehničkog sistema

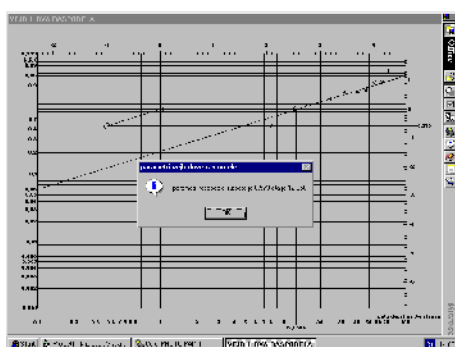


c) Poligon vremena otkaza tehničkog sistema

Slika 5 – Vremenske slike stanja otkaza celog tehničkog sistema

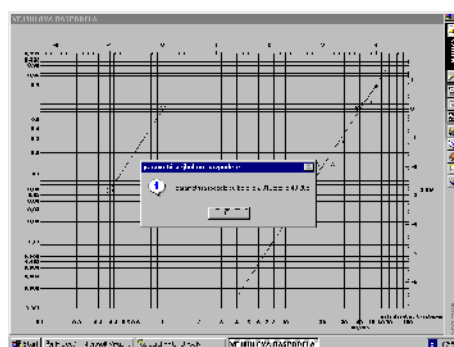
Izbor raspodele slučajno promenljive

Korišćenjem podataka dobijenih u prethodnom poglavlju, primenom programskog paketa „PROEFI“, određeni su parametri za tri posmatrane raspodele: normalnu, eksponencijalnu i Vejbulovu. Nakon određivanja parametara pojedinih raspodela izvršen je izbor „najbolje“ raspodele primenom testa Kolmogorov-Smimova za stepen značajnosti od 0,20. Zbog obimnosti rezultata simulacije prikazana je samo „najbolja“ Vejbulova raspodela.



a) Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada motora:

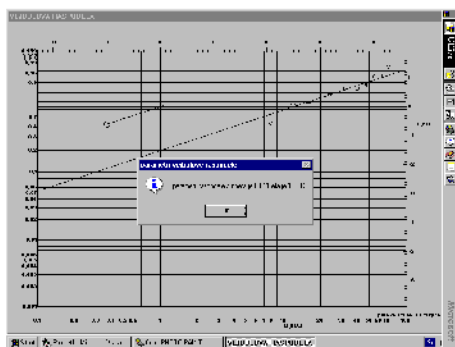
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{12,858}\right)^{0,573}}$$



b) Vejbulova raspodela na osnovu vremena otkaza motora:

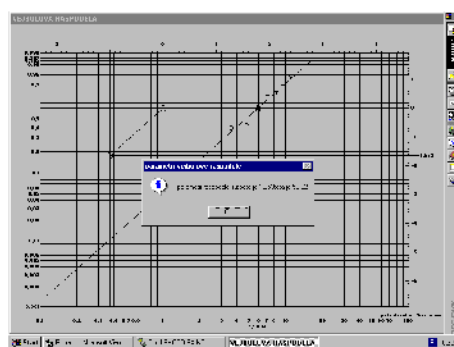
$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{40,205}\right)^{2,816}}$$

Slika 6 – Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada i otkaza motora



a) Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada tehničkog sistema:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{12,013}\right)^{0,611}}$$



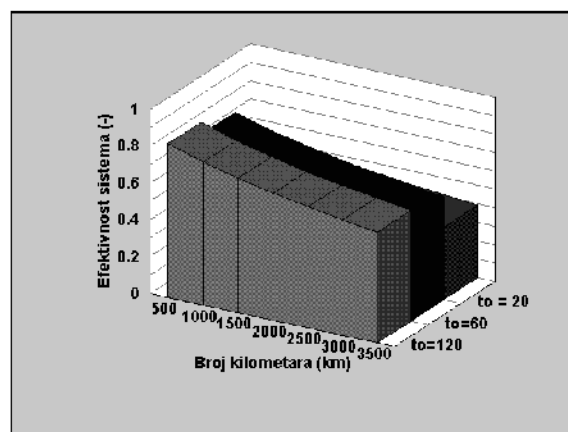
b) Vejbulova raspodela na osnovu vremena otkaza tehničkog sistema:

$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{59,02}\right)^{1,653}}$$

Slika 7 – Vejbulova raspodela na osnovu vremena rada i otkaza tehničkog sistema

Funkcija pouzdanosti motornog vozila TAM – 110 7T

Na osnovu rezultata prikazanih u prethodnim tačkama rada određena je funkcija pouzdanosti. Dobijeni rezultati prikazani su dijagramom na slici 7.



Slika 8 – Funkcija pouzdanosti motornog vozila TAM -110 7T

Zaključak

Na osnovu sprovedenog istraživanja funkcije pouzdanosti motornih vozila i realizovanog eksperimenta metodom simulacije posredstvom elektronskog računara, može se zaključiti:

- koristeći postavke matematičkog modela funkcije efektivnosti definisane su osnovne komponente funkcije efektivnosti – pouzdanost, gotovost i funkcionalna podobnost;
- obrada i analiza pokazatelja pouzdanosti sastavnih elemenata i motornog vozila u celini obuhvatila je: statističku obradu podataka, izbor optimalne raspodele i grafičku interpretaciju zavisnosti funkcije pouzdanosti od vrednosti slučajno promenljive veličine;
- svaki sastavni element složenog tehničkog sistema ima karakter individualne zakonitosti promene parametara stanja, pa su karakteristike pouzdanosti definisane parcijalno za pojedinačne elemente, odnosno podsisteme, i sistem u celini;
- za određivanje eksploatacionih karakteristika pouzdanosti i gotovosti rađen je odgovarajući algoritam na osnovu zakona raspodele slučajno promenljive, i algoritam za izračunavanje karakteristika pouzdanosti tehničkog sistema;
- za uzorak od 45 neborbenih motornih vozila TAM 110 sistematizovani su otkazi pojedinih sastavnih elemenata, i za vozilo u celini. Na osno-

vu prikupljenih podataka o otkazima iznađeni su analitički oblici pojedinih karakteristika efektivnosti. U okviru toga analizirana je i praktično definisana svaka od pojedinačnih karakteristika efektivnosti sistema, koje su predstavljale ulazne parametre za definisanje efektivnosti celog sistema;

- konstatovano je da se u početnom periodu korišćenja motornih vozila javlja veći broj otkaza kao posledica početnih slabosti ili propuštenih defekata u toku proizvodnje. Kasnije u periodu „normalne“ upotrebe nastaju otkazi kao posledica naprezanja koja prevazilaze ugrađenu otpornost sistema. To su tzv. „slučajni“ otkazi čiji se momenti nastajanja ne mogu predvideti, ali je utvrđeno da je njihova frekvencija javljanja konstantna. Starenjem tehničkog sistema javljaju se „pozni“ otkazi kao posledica istrošenja i drugih uticaja. U smislu pouzdanosti veoma je značajna činjenica da motornim vozilima često upravljaju nedovoljno stručna lica, što negativno utiče na njihovo rukovanje i održavanje. To ima za posledicu širok spektar mogućih opterećenja, a time i pojavu stanja u otkazu. Takođe, došlo se do zaključka da stepen eksploatacije neborbenih motornih vozila, u vojnom sistemu korišćenja, ima relativno nizak nivo vrednosti;

- funkcija efektivnosti motornih vozila je egzaktno definisana korišćenjem metode simulacije posredstvom univerzalnog programskog paketa „PROEFI“. U okviru praktične primene programskog paketa izvršena je statistička obrada podataka na osnovu vremenskih slika stanja sastavljenih elemenata motornih vozila i određene su raspodele slučajno promenljive, radi njihove dalje analize. U svim periodima eksploatacije raspodela otkaza sastavnih elemenata, i vozila u celini, pokorava se Vejbulovom zakonu raspodele;

- potvrđeno je stanje iz prakse da su otkazima najčešće podložni elementi transmisije vozila, i da je spojica jedan od najkritičnijih elemenata u pogledu pouzdanosti i potrebe preventivnog održavanja. Pouzdanost motornog vozila kao celine kreće se u prihvatljivim granicama;

- dobijeni rezultati istraživanja imaju poseban značaj i za proizvođača i za korisnika motornih vozila, naročito sa aspekta usavršavanja proizvodnje i definisanja sistema održavanja. Raspoložive informacije, takođe, mogu poslužiti korisniku za doradu ili izmenu odgovarajućih normativnih akata kojima se reguliše režim eksploatacije, čuvanja i održavanja motornih vozila;

- kao osnovne smernice i preporuke za dalja istraživanja neophodno je razmotriti mogućnost organizacije sistemskog praćenja elemenata u eksploataciji, a zatim, na osnovu kvalitetnog informacionog sistema, organizovati eksperiment i pristupiti sprovođenju ubrzanih programskih ispitivanja u laboratorijskim uslovima.

Literatura

- [1] Arsenić, Ž., Vasić, B., *Efikasnost tehničkih sistema – rešavanje karakterističnih problema primenom računara*, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [2] Barlow, R., Proschan, F., *Mathematical theory of reliability*, New York, 1965.
- [3] Duboka, Č., *Tehnologije održavanja vozila I*, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.

ANALIZA STEPENA KRITIČNOSTI TEHNIČKIH SISTEMA

Major mr Sreten Perić, dipl. inž.,
Vojna akademija

Rezime:

U radu je analizirana kritičnost nekog tehničkog sistema kroz neophodno sprovedene postupke analize kritičnosti delova sistema sa aspekta mogućnosti nastanka i posledica pojave otkaza. Analize otkaza, koje se sprovode tokom celog životnog veka nekog tehničkog sistema, najčešće se vrše radi utvrđivanja i izolovanja uzročnika otkaza, kao i za definisanje preventivnih i naknadnih intervencija.

Pod pojmom analiza otkaza podrazumeva se postupak koji ima za cilj utvrđivanje nekih od navedenih karakteristika: 1) otkaza nastalih usled degradacije maziva; 2) otkaza usled nepravilnog podmazivanja; 3) otkaza zbog neodgovarajućeg kvaliteta maziva; 4) mehanizma nastajanja otkaza; 5) otkaza zbog greške u konstrukciji; 6) uzroka, oblika i posledice otkaza.

Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza jeste analiza stabla otkaza (FTA-Fault Tree Analysis), koja je prikazana u ovom radu.

Ključne reči: kritičnost sistema, stablo otkaza, tehnički sistem, tribomehanički sistem, podmazivanje.

ANALYSIS OF THE CRITICALITY LEVEL OF TECHNICAL SYSTEMS

Summary:

This paper analyses the criticality of a technical system using the criticality analysis of system parts from the point of view of possible failure effects. Failure analyses, performed throughout a technical system lifecycle, are generally conducted as to determine and isolate failure causes as well as to define prevention measures and subsequent interventions. The term failure analysis involves a procedure for determining some of the following: 1) failures due to degradation of lubricant; 2) failures due to incorrect lubrication; 3) failures due to poor quality of lubricant; 4) mechanism of failure development; 5) failures due to construction error; 6) causes, types and effects of failures.

One of the optimal methods of failure analysis is the FTA-Fault Tree Analysis.

Key words: criticality of the system, fault tree, technical system, tribomechanical system, lubrication.

Uvod

Kada se vrši projektovanje efikasne funkcije podmazivanja, osnovni ciljevi podmazivanja tada se mogu ostvariti pravilnim podmazivanjem elemenata svih tribomehaničkih sistema koji se kao osnovne jedinice nalaze u sastavu podsklopova i sklopova mašina i opreme tehničkih sistema. Za ostvarivanje funkcije pravilnog podmazivanja neophodno je da se svako mesto za podmazivanje snabde: odgovarajućim mazivom, određenom količinom maziva u određenim intervalima i pomoću određenih uređaja. Za vreme odvijanja radnog procesa nisu svi tehnički sistemi od podjednake važnosti, tj. jedni su više, a drugi manje kritični. Za projektovanje sistema podmazivanja neophodan uslov je upoznavanje tehnološkog procesa, načina funkcionisanja, kao i njihovih karakteristika. Svaki sistem ili njegov deo može se naći u jednom od dva osnovna stanja:

a) stanje „u radu“, koje podrazumeva da sistem uspešno vrši postavljenu funkciju kriterijuma, odnosno da su parametri funkcije kriterijuma unutar granica dozvoljenih odstupanja i

b) stanje „u otkazu“, koje označava neizvršavanje postavljene funkcije kriterijuma, odnosno funkcionisanje sistema izvan granica dozvoljenih odstupanja funkcije kriterijuma.

Značaj pouzdanosti kao bitan faktor kvaliteta i raspoloživosti dolazi sve više do izražaja u uslovima sve veće složenosti tehničkih sistema, te sve većih troškova njihovog razvoja, eksploatacije i održavanja.

Veoma je bitno da svaki sistem radi bez zastoja, sa što manje otkaza i pouzdano, te bude što manje van funkcije. Otuda potiče i stalna težnja za povećanjem pouzdanosti tehničkih sistema u procesu njihovog razvoja, rada i održavanja. Jasno je da se to odnosi ne samo na celinu, već i na pojedine sastavne delove, podsklopove i sklopove, odnosno na sve elemente koji učestvuju u integraciji nekog sistema. To posebno dolazi do izražaja ako se uzme u obzir da verovatnoća bezotkaznog rada svake komponente i sklopa multiplikativno utiče na krajnju pouzdanost sistema kao celine.

Takođe, postignuti visoki parametri pouzdanosti bitno smanjuju troškove održavanja, što ima poseban značaj u kontekstu racionalnosti. Nepouzdanost povlači za sobom troškove, izgubljeno vreme remonta-održavanja, nepovoljne psihološke efekte (posebno za sredstva koja se koriste u vojnim sistemima).

Cena nepouzdanosti ne predstavlja samo cenu tehničkog sistema koji je otkazao, već obuhvata i prateće efekte koji su nastali zbog otkaza. Pri tome se moraju uzeti u obzir i troškovi održavanja.

Činjenica da je otkaz nastao podrazumeva utrošak vremena za dijagnozu i otklanjanje uzroka, te vreme potrebno za prateće aktivnosti. Pri tome, svakako, treba uračunati cenu rezervnog dela, troškove njegovog skladištenja, troškove transporta, itd.

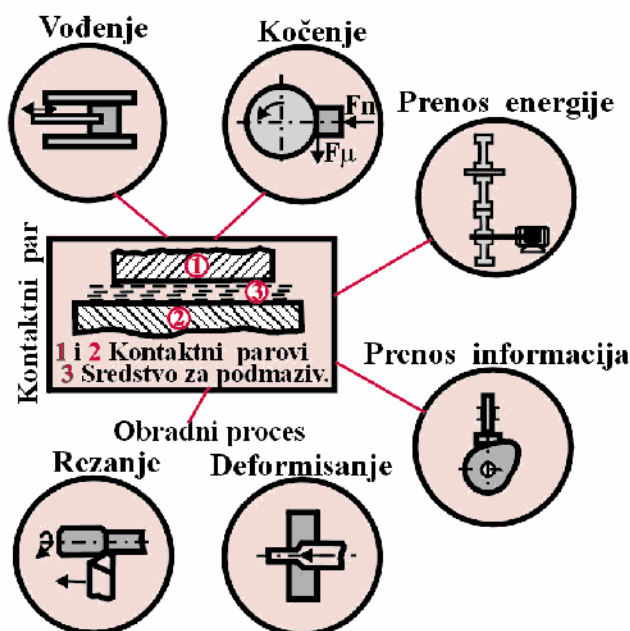
Vreme koje je izgubljeno zbog nekorišćenja sistema usled otkaza nekog od njegovih elemenata može biti značajna stavka u okviru celokupnih troškova.

U sistemima primenjenim u vojne svrhe možda najnepovoljniji efekat nepouzdanosti ogleda se u borbenoj gotovosti, jer je pouzdanost direktno proporcionalna sa borbenom gotovošću. Tako se kod njih mora znati nivo pouzdanosti, kako bi se planirala upotreba sredstava u pogledu efektivnog, a ne fizičkog broja.

Tribomehanički sistem

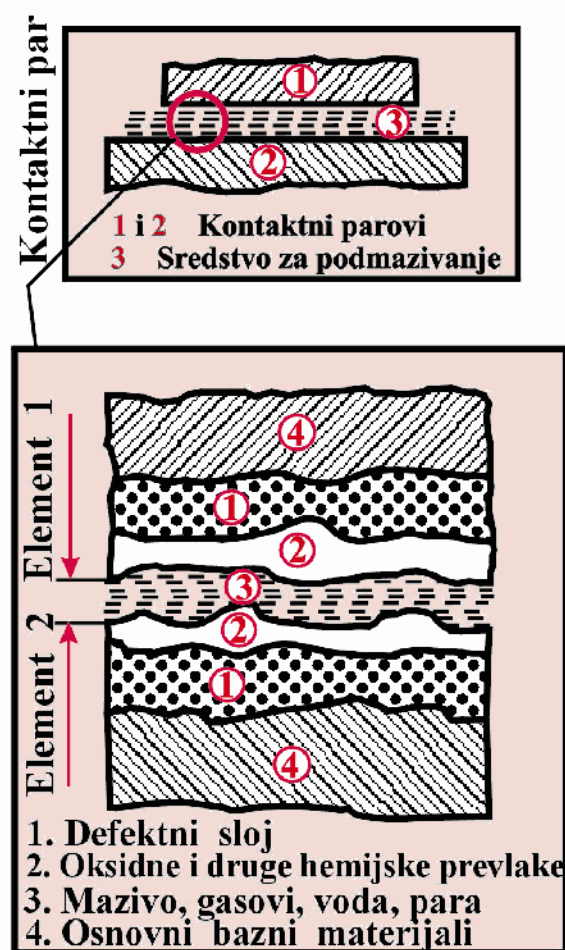
Tehnički sistemi transportnih sredstava, kompleksnih industrijskih i drugih postrojenja i mehanizama, alata i instrumenata različitih namena, bez obzira na konstrukciju, namenu i stepen razvoja, imaju zajedničko svojstvo da se sastoje od većeg ili manjeg broja pokretnih mašinskih elemenata koji se, zavisno od karaktera i oblika kontakta, kao i funkcije u datom sistemu, mogu svrstati u nekoliko karakterističnih grupa (slika 1) [6]. To su:

- sistemi vođenja elemenata (klizači, vođice, lajsne i dr.),
- sistemi za kočenje elemenata (kočnice sa diskom, trakom i sl.),
- sistemi za prenos energije, snage i kretanja (zupčanici, kaišnici, vratila i dr.),
- sistemi za prenos informacija (bregasti mehanizmi, granični prekidači, itd.) i
- procesi obrade (obrada rezanjem, deformisanjem, zavarivanjem i sl.).



Slika 1 – Kontaktne parove tehničkih sistema

Sistem definisan na ovaj način može se prikazati kao tribomehanički sistem (TMS), čija je struktura prema DIN 50320 [7] ilustrovana na slici 2, a čine je dva elementa (1) i (2) u međusobnom kontaktu koji se ostvaruje uz prisustvo sredstva za podmazivanje (3) u uslovima definisanim okvirima okruženja (4).



Slika 2 – Strukturna šema tribomehaničkog sistema prema DIN 50320 sa odgovarajućim slojevima kao parametrima strukture TMS [7]

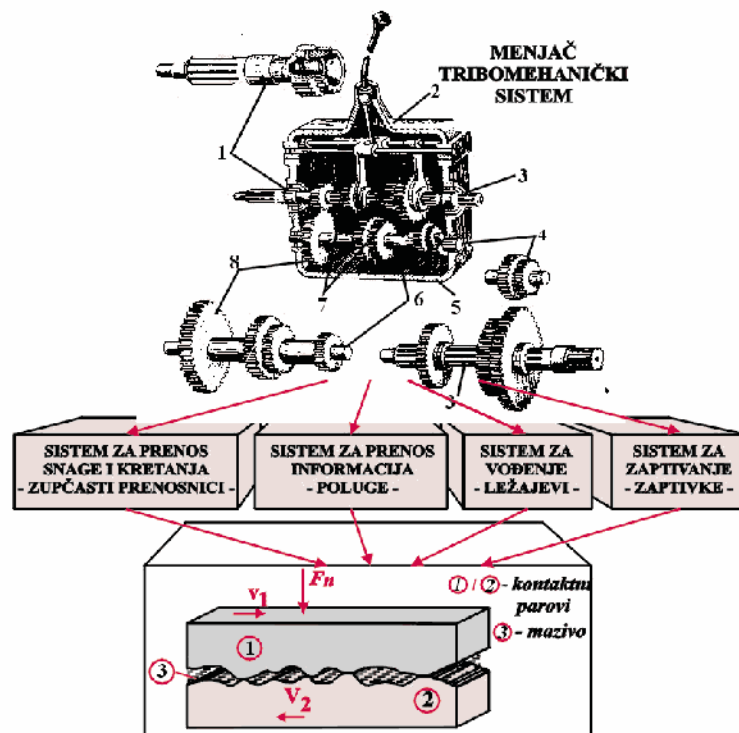
Pojam tribomehaničkog sistema podrazumeva sistem čija se funkcija sastoji u pretvaranju ulaznih veličina u izlazne, tehnički korisne, veličine koje se dalje koriste u procesu kretanja i rada.

Procesi trenja i habanja predstavljaju neizbežne pojave površinskih kontakata elemenata u relativnom kretanju i međusobnom delovanju i dobrim delom determinišu funkcionisanje tehničkog sistema i određuju njegov vek.

Uslovi u kojima se nalaze elementi tribomehaničkih sistema veoma su složeni i određeni su u velikoj meri odgovarajućim karakteristikama maziva. Složenost uslova određena je temperaturom elemenata u kontaktu i temperaturom maziva, spoljašnjim opterećenjem (odnosno specifičnim pritiskom u zoni kontakta), dinamičkim karakterom ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

Kao primer navešćemo motorno vozilo koje, kao tehnički sistem, predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema sastavljenih od niza podsistema koji predstavljaju takođe složene tribomehaničke sisteme. Motorna vozila, zavisno od stepena složenosti, sadrže od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kontaktnih parova. Trenje i habanje su neminovni, a najčešće nepoželjni pratioci njihovog rada, te je njihovo smanjenje i/ili eliminacija jedan od suštinskih ciljeva. Proces smanjenja trenja i habanja površina u kontaktu može se realizovati na više načina: izborom odgovarajućeg konstruktivnog rešenja, materijala, vrste obrade, vrste maziva, načina podmazivanja i smanjenjem opterećenja u kontaktu povoljnijom raspodelom.

Vozilo čine svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova) do izvršnih organa vozila.



Slika 3 – Menjački prenosnik vozila kao tribomehanički sistem

Menjački prenosnik vozila, slika 3, primer je složenog tribomehaničkog sistema vozila. Ovaj sistem sastoji se od elemenata za prenos snage i kretanja (zupčanici i ožljebljena vratila), elemenata za prenos informacija (poluge), elemenata za vođenje (vođice) i zaptivanje (zaptivke).

Elementi menjačkog prenosnika, kao realnog tribomehaničkog sistema, izloženi su složenim uslovima eksploatacije koji su u velikoj meri određeni karakteristikama maziva. Složenost uslova određuju: temperatura elemenata u kontaktu, temperatura maziva, spoljašnje opterećenje, odnosno specifični pritisak u zoni kontakta, dinamički karakter ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

Tokom eksploatacije vozila menjački prenosnik izložen je vremenski promenljivim, dinamičkim i nestacionarnim opterećenjima koja su funkcija čitavog niza faktora, kao što su: brzina vozila, kvalitet i uslovi puta, način vožnje, vremenski uslovi, intenzitet korišćenja, itd. Promene eksploatacijskih režima dovode do promene radnih opterećenja elemenata, sila i koeficijenta trenja kontaktnih površina, povećanja radne temperature i habanja, te oštećenja elemenata sistema za sinhronizaciju i prenosnika snage uopšte. Procesi nastali na taj način manifestuju se neželjenim efektima koji se mogu identifikovati kroz habanje, gubitke energije, kretanja, funkcionalnosti i pouzdanosti, smanjenje veka trajanja i rast troškova održavanja.

Svaki od navedenih elemenata menjačkog prenosnika kao složeni tribomehanički sistem može se dalje razložiti i analizirati kao skup posebnih tribomehaničkih sistema, kao što su zupčasti parovi, ležajevi i dr. Takođe, svaki zupčasti par se dalje može analizirati (posmatrati) kao pojedinačan element koji ostvaruju kontakt. I, na kraju, svaki bok zuba zupčanika (ili kuglica kotrljajnog ležaja) može se posmatrati kao elementarna jedinica tribomehaničkog sistema.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće lako uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Razlozi otkaza realnih sistema mogu biti veoma različiti i za sada se ne može govoriti o pouzdanim metodama za predviđanje veka složenih sistema (npr. prenosnika). Otkaz menjačkog prenosnika vozila može nastupiti iz više razloga, od kojih su pojedini prouzrokovani promenama karakteristika ulja za podmazivanje. To su:

- šum pri radu menjača,
- otežano uključivanje stepena prenosa,
- samoisključivanje stepena prenosa,
- prekomerno zagrevanje menjača, itd.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Samo *podmazivanje* definiše se kao postupak uvođenja maziva između spregnutih površina u relativnom kretanju i služi za razdvajanje tih površina mazivim slojem kako bi se kretanje elemenata tehničkih sistema ostvarilo sa što manjim gubicima energije i sprečilo njihovo habanje i oštećenje.

Pod *mazivom* se podrazumeva bilo koja materija kojom se razdvajaju, potpuno ili delimično, površine tela u relativnom kretanju [6]. Istovremeno, maziva su namenjena i za hlađenje elemenata sistema i uređaja, smanjenje amplituda vibracija, zaptivanje, prenos kretanja i snage, itd. Osnovna uloga maziva koja se manifestuje sprečavanjem direktne interakcije površina u relativnom kretanju i neposredno učešće u kontaktnim procesima, daje mu poseban značaj sa stanovišta funkcionisanja, održavanja i veka elemenata i sistema kojima ti elementi pripadaju.

Maziva za podmazivanje imaju niz osnovnih funkcija koje moraju izvršiti, a pored toga imaju i jedan dodatni zadatak da, vršeći svoju funkciju, ne degradiraju ostale funkcije sistema.

Osnovne funkcije maziva za zupčaste prenosnike su:

- sposobnost nošenja opterećenja kod svih radnih uslova,
- svojstvo protiv zaribavanja i habanja,
- svojstvo stabilnosti,
- sposobnost zaštite od korozije,
- odsutnost štetnih uticaja na zaptivače,
- sposobnost prigušenja bučnog rada i vibracija,
- svojstvo protiv penušanja,
- svojstvo hlađenja i čišćenja,
- svojstvo kompatibilnosti.

Neposredno učešće maziva u kontaktnim procesima zupčastog prenosnika kao tribomehaničkog sistema, sa osnovnim zadatkom da spreči direktan dodir površina elemenata, daje mu posebnu ulogu sa aspekta održavanja. Ova uloga dobija još više na značaju ako se zna da je mazivo nosilac informacija o stanju zupčastog prenosnika u celini, pri čemu se posebna pažnja posvećuje procesima koji utiču na funkcionalnost i pouzdanost. Značaj ovih informacija dolazi do izražaja pri monitoringu i dijagnostici sistema. *Monitoring sistema* predstavlja određivanje vrste otkaza sistema kroz monitoring pouzdanih indikatora stanja koji se odnose na ulje, a pri tome se mogu defektovati kao parametar stanja ulja (njime se praktično utvrđuje postojanje simptoma otkaza). Analiza maziva može da ukaže na znake potencijalnih problema koji vode ka otkazu, kao i da omogućiti sagledavanje uticaja maziva na funkcionisanje sistema.

Analizom velikog broja otkaza složenih tribomehaničkih sistema može se zaključiti da je kod sistema kod kojeg je došlo do otkaza, takođe i kod maziva (odnosno ulja za podmazivanje), došlo do određenih promena. Naime, otkaz tribomehaničkog sistema može nastupiti usled promene svojstva ulja za podmazivanje ili su promene karakteristika ulja za podmazivanje izazvane otkazom pojedinih elemenata tribomehaničkog sistema.

Kako se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti složenog tribomehaničkog sistema ogleda u promenama karakteristika ulja za podmazivanje, to se promena triboloških karakteristika ulja može usvojiti kao parametar za ocenu stanja tribomehaničkog sistema.

Ocena stepena kritičnosti tehničkog sistema

Postupak ocene stepena kritičnosti sprovodi se analizom:

- karakteristika tehničkog sistema,
- direktnih i indirektnih troškova podmazivanja,
- zahteva za sigurnost tehničkih sistema i procesa.

Analiza karakteristika tehničkog sistema

Ocena kritičnosti tehničkih sistema obuhvata analizu karakteristika:

- *učinaka tehničkih sistema*, koji se razlikuju u pogledu veličina koje su projektom zahtevane, sve do realno izvedenih i stvarno ostvarenih učinaka;
- *kapaciteta tehničkih sistema*, koji može biti:
 - *potencijalni* (izražava maksimalnu količinu rada koju jedan tehnički sistem može dati u posmatranom vremenskom periodu),
 - *raspoloživi* (vremenski izražena količina rada tehničkog sistema nakon odbitka vremena potrebnog za aktivnosti remonta i godišnji odmor zaposlenih) i
 - *efektivni* (vremenski izražena količina rada tehničkog sistema u datim uslovima i datom režimu rada pogona, pri čemu su uzeti u obzir i stepen iskorišćenja tehničkog sistema i planirani zastoji opreme).

Analiza direktnih i indirektnih troškova podmazivanja

Ocena kritičnosti tehničkih sistema, sa aspekta troškova podmazivanja, podrazumeva rangiranje opreme na osnovu nivoa ukupnih troškova podmazivanja u posmatranom periodu.

Ukupni troškovi podmazivanja tehničkog sistema iskazuju se u:

- apsolutnom iznosu,
- odnosu na tekuću vrednost tehničkog sistema,
- odnosu na nabavnu vrednost opreme,
- odnosu na prihod i dobit, itd.

Pri tome se obuhvataju sledeći troškovi:

- direktni troškovi (rad na podmazivanju, maziva, administracija i organizacija podmazivanja),
- indirektni troškovi (gubici nastali usled zastoja u radu tehničkog sistema, koji su posledica pojave stanja u otkazu).

Analiza zahteva za sigurnost tehničkih sistema i procesa

Od prirode tehnološkog procesa i kvaliteta podmazivanja u najvećoj meri zavisi rizik od pojave neočekivanih otkaza. Radni procesi tehničkog sistema kod kojih postoji visok stepen rizika od pojave otkaza moraju se analizirati još u fazi projektovanja sistema, na osnovu dokumentovanih podataka u pogledu mogućih uzroka i posledica neispravnosti i neophodnih mera zaštite. Zakonskim i internim propisima su, takođe, definisane mere kontrole i zaštite elemenata sistema, što može poslužiti za ocenu stanja tehničkog sistema, što se odražava na njegovu sigurnost. Za procese, ili delove procesa, sa velikom verovatnoćom pojave otkaza sa katastrofalnim posledicama (po izvršioce, okolinu ili u pogledu nastale štete), neophodno je napraviti analizu verovatnoće rizika i sigurnosti rada sistema pomoću metoda koje su razvijene za tu namenu.

Analiza kritičnosti delova sistema

Nakon analize stanja tehničkih sistema sprovodi se postupak analize kritičnosti delova sistema sa aspekta mogućnosti nastanka i posledica pojave otkaza. Analize otkaza, koje se sprovode tokom celog životnog veka nekog proizvoda, najčešće se obavljaju radi utvrđivanja i izolovanja uzroka otkaza, kao i za definisanje preventivnih i korektivnih intervencija.

Pojam analiza otkaza podrazumeva i analizu troškova podmazivanja, uticaj ljudskog faktora na otkaz sistema i slično. Pod pojmom analiza otkaza podrazumeva se postupak koji ima za cilj utvrđivanje nekih od navedenih karakteristika: a) otkaza nastalih usled degradacije maziva; b) otkaza usled nepravilnog podmazivanja; c) otkaza zbog neodgovarajućeg kvaliteta maziva; d) mehanizma nastajanja otkaza; e) otkaza zbog greške u konstrukciji; f) uzroka, oblika i posledica otkaza.

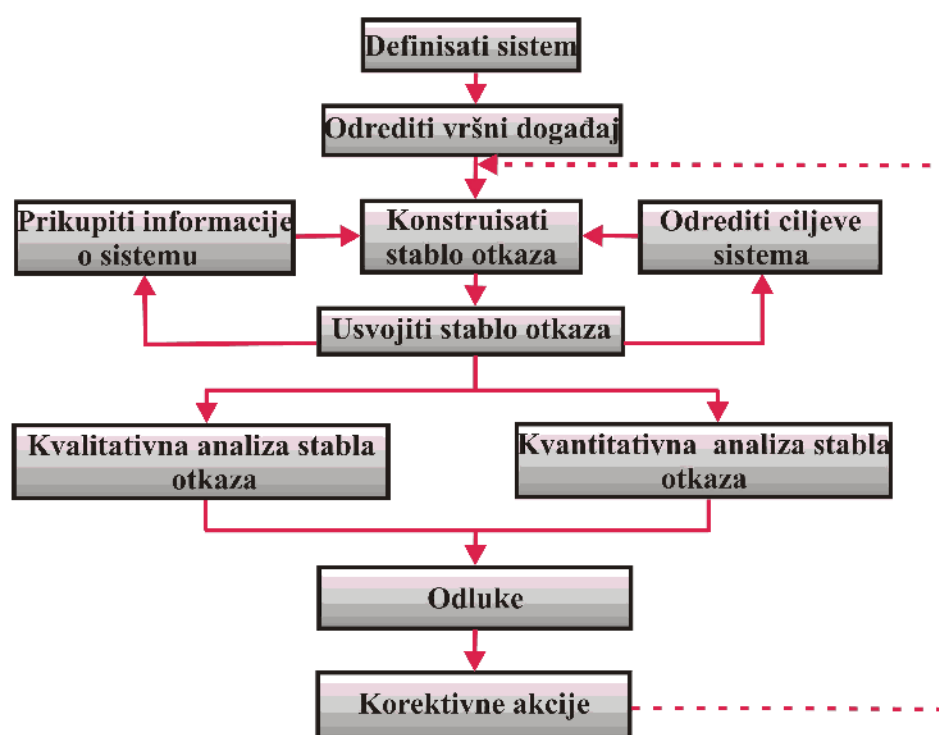
Da bi se ocenila kritičnost delova nekog tehnološkog sistema neophodno je odrediti navedene parametre. Postupak podmazivanja je dinamički proces kontrole i analize stanja maziva i sistema za podmazivanje, sa merama koje treba preduzeti pre nego što se javi katastrofalno (havarijsko) oštećenje ili otkaz. Iz toga sledi da savremena strategija podmazivanja uključuje upravljanje procesom kao dinamičkim sistemom, što je posebno značajno za tribomehaničke sisteme.

Analiza stabla otkaza

Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza je analiza stabla otkaza (FTA-Fault Tree Analysis). To je deduktivna metoda koja se često primenjuje u dijagnostici s obzirom na to da omogućuje predviđanje naj-

verovatnijih uzroka otkaza sistema. Neželjeni efekti (vršni događaji) određuju se induktivnim metodama. Cilj konstruisanja stabla otkaza je modeliranje uslova koji dovode do pojave neželjenog otkaza koji se razmatra (vršni). To znači da se ova procedura koristi za analizu potencijalnih neispravnosti i njihovih uzročnika.

Analiza počinje kvalitativnim definisanjem neželjenog događaja, a zatim se dedukcijom, prolazeći kroz konfiguraciju sistema, pronalaze otkazi elemenata sistema i proceduralne greške koje mogu dovesti do neželjenog događaja.



Slika 4 – Metodologija analize stabla otkaza

Metodologija analize stabla otkaza obuhvata (slika 4):

- određivanje vršnog događaja,
- upoznavanje načina rada sistema koji se analizira,
- konstrukciju stabla otkaza,
- usvajanje stabla otkaza,
- ocenu stabla otkaza,
- obezbeđenje preporuka i alternativa za donošenje odluka.

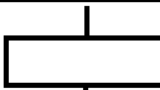
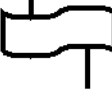
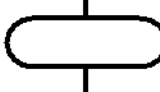
Određivanje karakterističnog događaja. Kada se analiza otkaza vrši radi određivanja kritičnosti delova sistema, za karakterističan događaj se bira otkaz sistema, pri čemu se on mora u potpunosti definisati, da bi se događaji koji dovode do karakterističnog stanja mogli jasno prepoznati.

Upoznavanje načina rada sistema koji se analizira. Logička i kompletna analiza, kojom se povezuju svi potrebni i dovoljni uslovi za realizaciju karakterističnog događaja, može se izvršiti samo ukoliko se upozna način rada sistema, elemenata sistema, kao i međusobnih odnosa i veza. Osnovne informacije mogu se dobiti iz: tehničkih crteža, šema, dijagrama, priručnika za rukovanje, održavanje i podmazivanje. Pored toga, kao podaci iz procesa, koriste se izveštaji o podmazivanju i karte otkaza tehnoloških sistema.

Konstrukcija stabla otkaza vrši se pomoću standardizovanih simbola događaja i prenosa, prikazanih u tabeli 1.

Tabela 1

Standardni simboli FTA metode

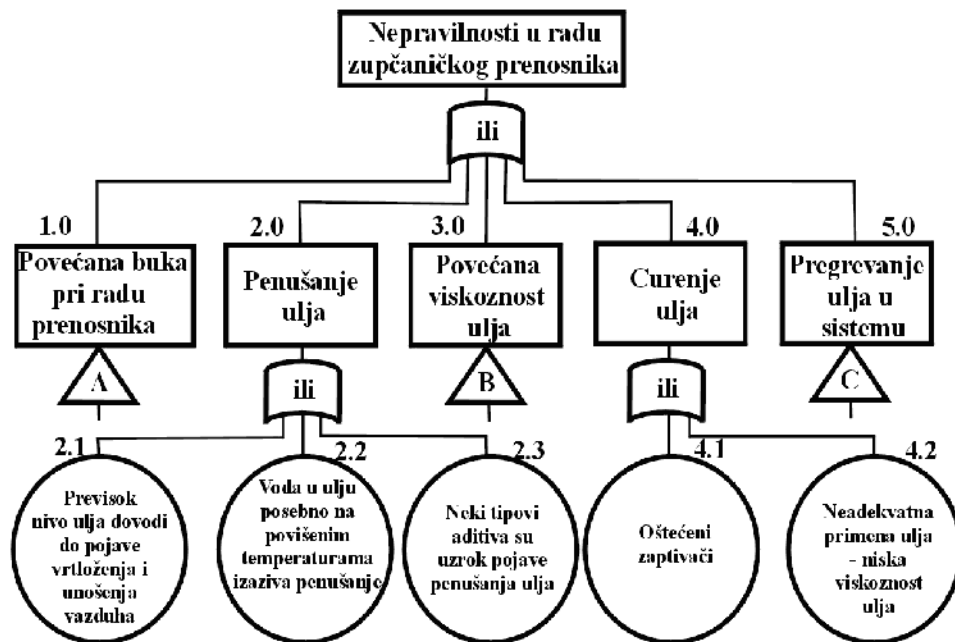
NAZIV	SIMBOL	OPIS
Događaj na izlazu iz kapije ili opšti događaj		Događaj koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih događaja koji deluju kroz logičku kapiju.
Bazični događaj		Događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. To je nezavistan događaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju.
Nerazvijeni događaj		Događaj koji nije razvijen do sopstvenog uzroka. Razvoj je prekinut zbog nepostojanja raspoloživih informacija ili sredstava, ili zbog niskog rizika.
Normalno očekivani događaj		Događaj čije se pojavljivanje prirodno očekuje tokom normalnog funkcionisanja sistema
Zadovoljavajući događaj		Događaj na izlazu iz logičke kapije koji u sistemu jednostavno postoji, a koristi se da pokaže upotrebnu logičke analize.
I kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz samo ukoliko se dese svi ulazni događaji. Sadrži identifikacionu reč „I“.
ILI kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz ukoliko se desi jedan ili više ulaznih događaja. Sadrži identifikacionu reč „ILI“.

NAZIV	SIMBOL	OPIS
Uslovna kapija		Uslovni događaj koji neke uslove ili ograničenja primenjuje na bazičnu logičku kapiju ili izlazni događaj. Uslov koji se nameće upisuje se u elipsu, npr. definisanje redosleda pojavljivanja ulaznih događaja.
Osnovni prenos		Koristi se za prenošenje podstrukture iz neke druge grane ili druge stranice. Posедуje identifikaciono veliko slovo. Za prenose unutar iste grane koriste se mala slova.
Prenos sa druge stranice		Vertikalna strelica usmerena prema bazi simbola označava prenos iz grane koja se nalazi na naznačenoj stranici.
Prenos pretpostavljenog rizika		Koristi se za prenos pretpostavljenog rizika sa bilo kog mesta na stablu na događaj pretpostavljenog rizika. Broj pretpostavljenog rizika upisuje se u simbol.

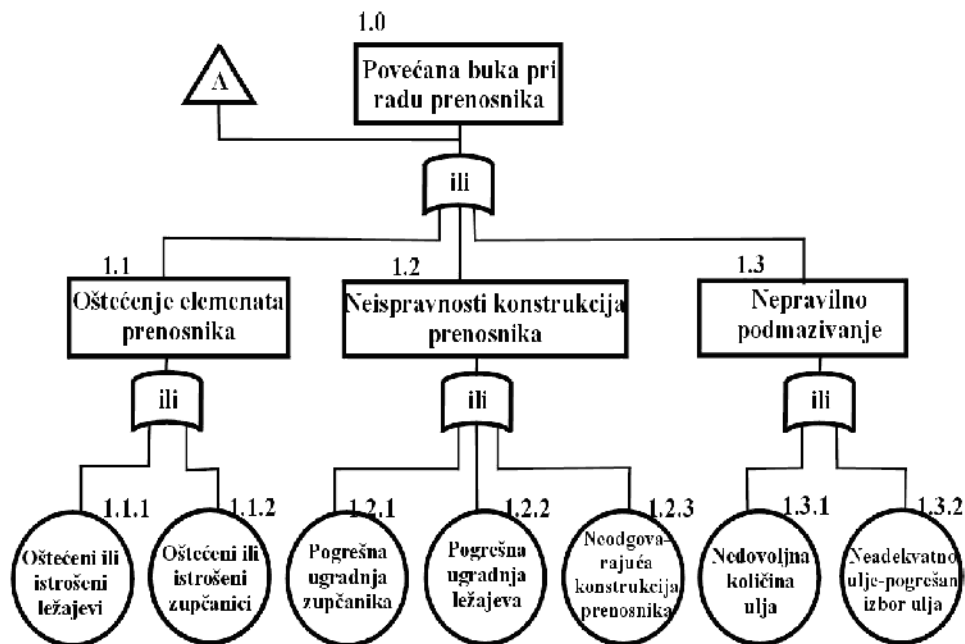
Usvajanje stabla otkaza. Nakon završetka konstrukcije stabla otkaza pristupa se proverbi tačnosti i kompletnosti stabla, radi utvrđivanja propusta i/ili eventualnih grešaka, jer mora da bude zadovoljena: namena stabla, funkcionalna uslovljenost i logika realizacije karakterističnog događaja, što pretpostavlja da događaji na ulazu u logičke kapije moraju biti potrebni i dovoljni.

Ocena stabla otkaza. Posle usvajanja obavlja se kvalitativna i kvantitativna analiza stabla otkaza. Kvalitativna ocena predstavlja određivanje minimalnog preseka skupa događaja, koji uslovljava pojavu karakterističnog događaja. Kvantitativnoj oceni stabala otkaza prethodi određivanje ili procena srednjeg vremena do pojave otkaza i srednjeg vremena trajanja otkaza, a nakon ove procene simuliraju se otkazi, odgovarajućim statističkim postupkom, radi određivanja verovatnoće pojave neželjenog događaja, obuhvatajući pri tome sve moguće puteve u stablu otkaza.

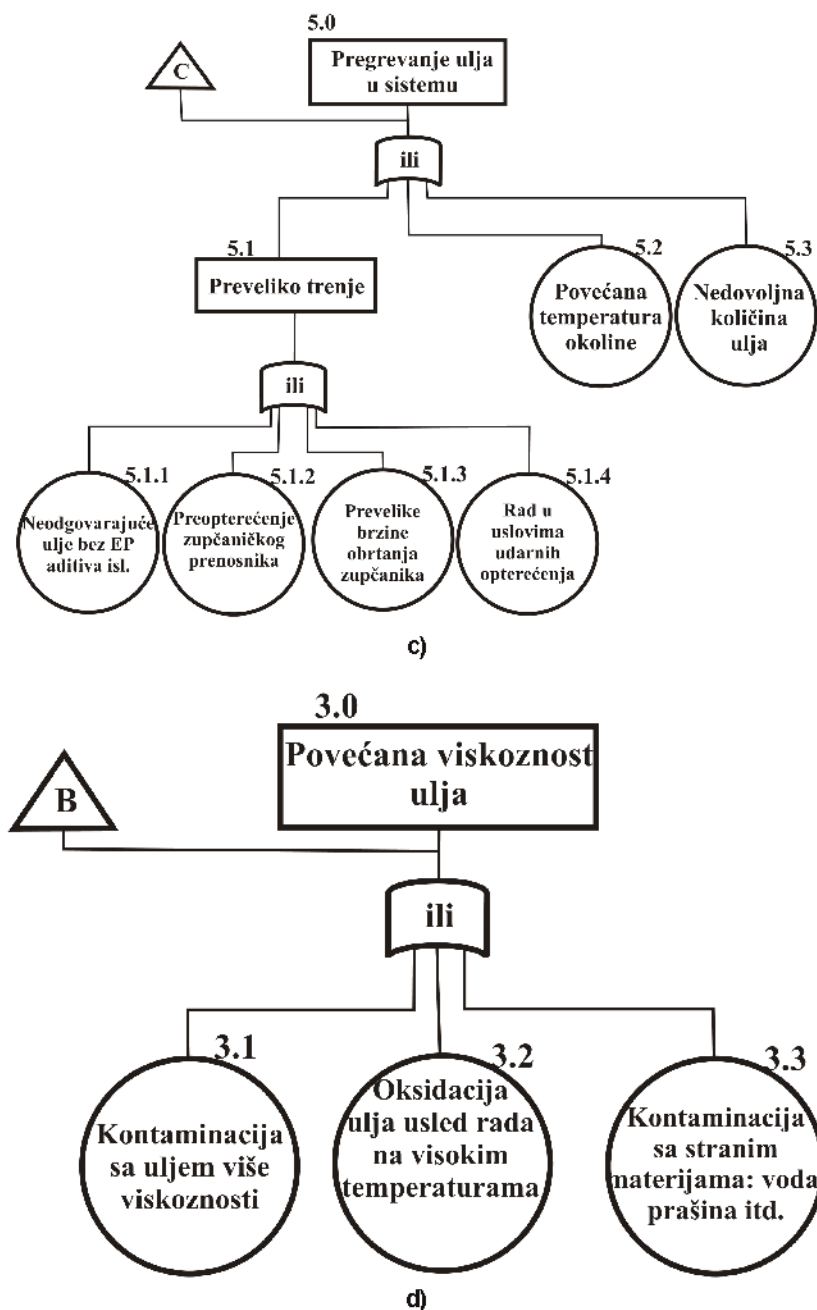
Primer stabla otkaza (FTA) zupčastog prenosnika prikazan je na slici 5 (a, b, c i d).



a)



b)



Slika 5 – Primer stabla otkaza (FTA) zupčaničkog prenosnika: a) nepravilnosti u radu zupčaničkog prenosnika; b) povećana buka pri radu prenosnika; c) pregrevanje ulja u sistemu i d) povećana viskoznost ulja.

Zaključak

Otkaz predstavlja događaj koji izaziva prelaz iz stanja u radu u stanje u otkazu, odnosno koji onemogućava dalje izvršenje zadate funkcije kriterijuma. Kao slučajan događaj otkaz služi za određivanje verovatnoće prelaza iz stanja u radu u stanje u otkazu, što predstavlja nepouzdanost. Pouzdanost predstavlja verovatnoću izvršavanja postavljene funkcije kriterijuma u datom vremenu i datim uslovima okoline i izračunava se primenom definicije verovatnoće.

Može se zaključiti da je pouzdanost nekog tehničkog sistema veoma bitan faktor, kako u procesu razvoja i proizvodnje, tako i u procesu eksploatacije i održavanja. Kao jedna od komponenti efektivnosti sistema (gotovost, pouzdanost, funkcionalna podobnost) veoma je bitna i pogodna za predviđanje postepenih otkaza.

Postoje mišljenja da postepene otkaze treba smatrati zanemarljivo malim delom ukupnih otkaza. To uslovljava ideja da je postepene otkaze moguće individualno predvideti i eliminisati odgovarajućim preventivnim održavanjem. Međutim, podaci govore da postepeni otkazi čine značajan deo ukupnih otkaza sistema. Nadalje, iz raspoloživih podataka se ne može zaključiti da se ovi otkazi događaju ređe na novim sistemima u poređenju sa starim. Takođe, problem je u tome što u mnogim primerima održavanja sistema preventivno održavanje nije moguće ostvariti. Pri tome, predviđanje pouzdanosti mora da obuhvati i postepene otkaze.

Takođe, veoma značajan aspekt je ugrađivanje pouzdanosti u proces konstruisanja novog sistema, pre svega vezano za pogodnost održavanja (ima oko 30 minimalnih aspekata održavanja koje treba razmotriti pri konstruisanju nekog sistema).

Proizilazi, dakle, stalna potreba za povećanjem pouzdanosti sistema u procesu razvoja, proizvodnje i održavanja, kao i pojedinih sastavnih delova, podsklopova i sklopova, odnosno svih elemenata koji čine celinu nekog sistema.

Danas postoje jasno definisane klasifikacije otkaza za pojedine i najvažnije korišćene elemente tehničkih sistema, te su razvijene tehnike za njihovo rano otkrivanje, kao i procedure za njihovu analizu.

Kao dokaz primenljivosti navedene metode prikazan je jedan karakterističan primer stabla otkaza zupčastog prenosnika. Putem ovog primera prikazan je značaj analize stepena kritičnosti delova sistema sa aspekta podmazivanja.

Literatura

- [1] Ivanović, G., Stanivuković, D., *Pouzdanost, analiza i projektovanje*, Vojnoizdavački zavod, Split, 1988.
- [2] Vujanović, N., *Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [3] Stojilković, M., *Primena maziva*, YUNG, Beograd, 2001.

ODREĐIVANJE INTERVALA POUZDANOSTI ELEMENATA SLOŽENOG SISTEMA ZA POZNATU FUNKCIJU KRITERIJUMA PRI PROJEKTOVANJU

Dr *Dragan Ljamić*,
Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

Rezime:

U radu je prikazan model projektovanja složenih kontinualnih sistema korišćenjem teorije pouzdanosti. Ukoliko je interval funkcije cilja unapred definisan, a na osnovu postojećih iskustava za slične sisteme i režime rada može se tačno odrediti, metodom alokacije ukupne pouzdanosti mogu se dobiti zahtevani intervali pouzdanosti za svaki podsistem i analogno za sklop, sve do nivoa mašinskog elementa. Na ovaj način dovodi se u direktnu zavisnost nivo funkcije cilja sa nivoom intervala pouzdanosti svakog od sastavnih elemenata sistema.

Ključne reči: sistem, pouzdanost, funkcija cilja, alokacija.

DETERMINING THE RELIABILITY INTERVAL OF COMPLEX SYSTEM ELEMENTS FOR A KNOWN GOAL FUNCTION DURING DESIGN

Summary:

A complex continual system design model based on the reliability theory is presented in the paper. If a goal function interval is defined in advance, and can be accurately determined on the basis of experience with similar systems and operation modes, then overall reliability allocation can result in obtaining demanded reliability intervals for each subsystem, each assembly and each mechanical element. In this way the goal function level is brought into direct relation with the reliability interval level of each constituent element of the system.

Key words: systems, reliability, goal function, allocation.

Uvod

Teorija efektivnosti i analiza pouzdanost imaju fundamentalnu ulogu pri projektovanju sistema. Pouzdanost definisana kao verovatnoća da će sistem uspešno vršiti postavljenu funkciju kriterijuma, odnosno cilja, tako da bezotka-

zno radi u datom vremenu i datim uslovima okoline, za projektovane zadatke, u suštini čini osnovicu rezultata procesa projektovanja. Na osnovu toga može se zaključiti i da je obmut postupak – projektovanje sistema i elemenata na osnovu unapred zadate željene pouzdanosti moguć i rešiv zadatak.

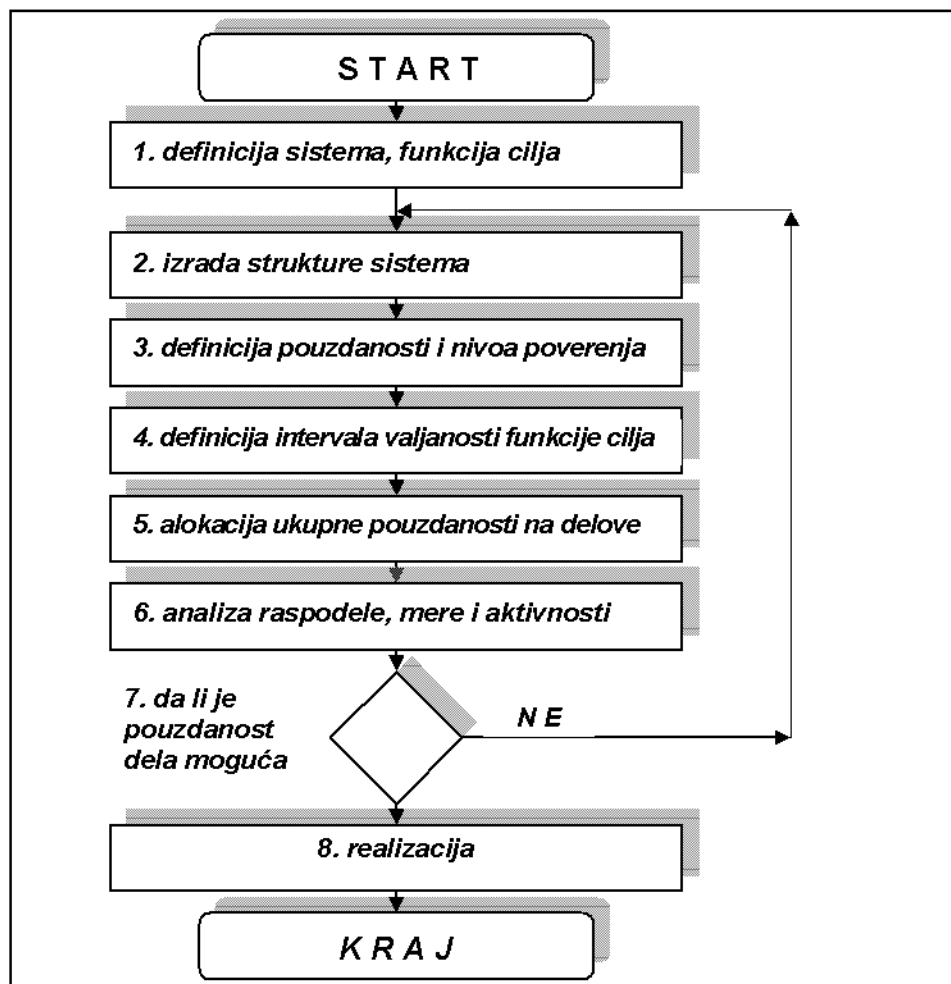
Projektovanje na klasičan način ne uzima u obzir verovatnoću otkaza elemenata sistema, niti stohastičnost režima rada, već se temelji na stepenu sigurnosti kao empirijskom pokazatelju niza statističkih uticaja koji, uglavnom, imaju za rezultat izvršenje funkcije cilja, ali i predimenzionisanost delova i sklopova. Ovim konvencionalnim pristupom problemu nikako se ne može rešiti realna situacija kada za istu veličinu stepena sigurnosti verovatnoća intenziteta otkaza elemenata sistema može varirati u širokom dijapazonu. Ukoliko bi se uzela u obzir verovatnoća otkaza elemenata, a posebno stohastičnost svih uslova u kojima projektovani sistem radi, nedostataka ove vrste ne bi bilo [1]. Razume se da ove zahteve nije jednostavno uključiti, posebno mnoštvo promenljivih uticaja za sisteme koji se prvi put projektuju. Međutim, sasvim je realno približiti se verodostojnosti skupa uticaja ukoliko se poseduje baza podataka o ponašanju sličnih sistema u dužem periodu i za slične radne uslove.

Zbog ovih razloga teorija efektivnosti i analiza pouzdanosti, odnosno pogodnosti održavanja, dobija značajno mesto pri projektovanju sistema. Problem projektovanja novog sistema, odnosno sklopova, pa sve do najnižih elemenata sistema, tako da se ostvari unapred zadatak – željeni nivo funkcije kriterijuma, kod svih kontinualnih složenih sistema, kao što su tehnološki ili vojni sistemi, predstavlja složen i obmut postupak od pronalaženja karakteristika pouzdanosti sistema koji su u eksploataciji. Uzimanjem u obzir zakonitosti efektivnosti, a pre svega pouzdanosti, za projektovanu konstrukciju može se dobiti optimum sa stanovišta mase, sigurnosti, ali i ekonomičnosti, a da sistem u datom vremenu i uslovima okoline neće otkazati.

Metodološki pristup projektovanju novog sistema, ukoliko se želi ugraditi unapred zadata željena pouzdanost, u osnovi ima nekoliko faza:

- postavi se projektni zadatak, odnosno funkcija cilja;
- definiše se struktura sistema, daju se podsistemi i delovi sistema do nivoa elemenata;
- utvrdi se potrebna ukupna pouzdanost sistema kao celine, ali tako da garantuje izvršenje zadate funkcije cilja sa željenim stepenom poverenja;
- definiše se interval, dijapazon valjanosti u okviru kojeg se sistem nalazi u stanju u radu, odnosno uspešno realizuje zadatak funkciju cilja;
- utvrđena pouzdanost se alocira, razdeli, na potrebne intervale pouzdanosti sastavnih elemenata, ali tako da primenjena metodologija garantuje održavanje zadate pouzdanosti celine;
- oceni se valjanost dobijenih rezultata u smislu realnosti dostizanja i održavanja ovako dobijenih pokazatelja pouzdanosti. Analiza obuhvata i potrebne korekcije i mere za sprovođenje željenih pouzdanosti.

Ove faze su prikazane na blok-dijagramu na slici 1.



Slika 1 – Metodološki pristup projektovanja sistema sa unapred zadatom pouzdanošću

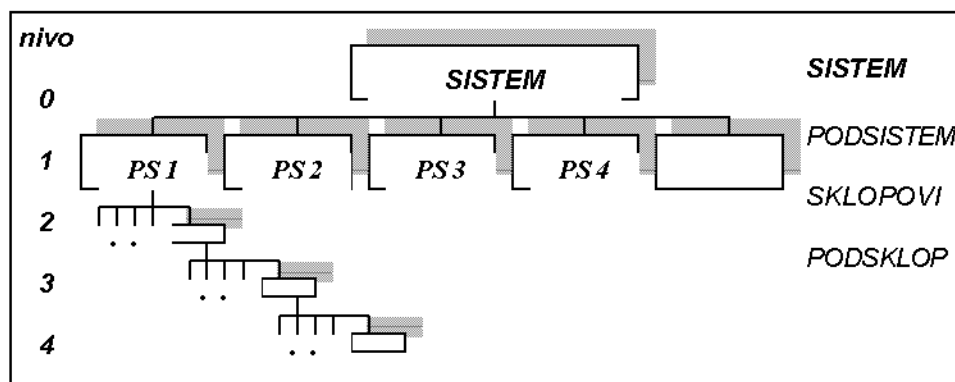
Primer strukture jednog složenog sistema i pouzdanost njegovih elemenata

Ako se posmatra jedan složen kontinualni i visokoproduktivan sistem koji ima više podsistema u svom sastavu i kao tehnološki deo iz lanca od više ovakvih sistema, u ovom primeru devet, onda se može tvrditi da ovakav primer poseduje dovoljnu opštost u pristupu analiziranja. Tehnološki niz sistema je tako postavljen da otkaz bilo kog sistema dovodi do otkaza čitavog proizvodnog procesa, pa je zato u pitanju struktura sa red-

nom vezom. Treba napomenuti da mogućnost pravljenja paralelnih rezervnih grana u tehnološkoj strukturi nije realna, jer se radi o vrlo skupim sklopovima teške mašinogradnje.

Svaki sistem u proizvodnom nizu predstavlja zasebnu sistemsku celinu, koji ima više podsistema, sklopova, podsklopova i elemenata. Kao primer može poslužiti jedna od njih koja ima šest osnovnih podsistema. Svi ovi podsistemi moraju biti u stanju u radu kada je čitav sistem u ovom stanju, što znači da je i ova struktura veza takođe redna i da nema mogućnosti za ugradnju rezervnih, dodatnih podsistema ili delova. Neka slika o složenosti bude potpuna ako se pretpostavi i da je rang ukupnog broja ugrađenih elemenata 10^5 , odnosno oko sto hiljada i mase oko 1500 tona.

Na slici 2 prikazana je strukturna šema istraživanog podsistema [2].



Slika 2 – Strukturna šema jednog složenog sistema

U najsloženijim slučajevima, kada je broj elemenata veliki, funkcije raznovrsne i sa promenljivim režimima rada i opterećenja, problem projektovanja ovakvih sistema je složen.

Parametri efektivnosti sistema

Efektivnost jednog sistema $E(t)$ predstavlja verovatnoću da će sistem uspešno stupiti u dejstvo i izvršavati funkciju kriterijuma u projektovanom vremenu i datim uslovima okoline. Predstavlja proizvod verovatnoća pouzdanosti $R(t)$, gotovosti $G(t)$ i funkcionalne podobnosti FP [3]:

$$E(t) = R(t) G(t) FP \quad (1)$$

Kod složenih sistema relacija ukupne efektivnosti imala bi analogno isti oblik kao jednačina (1), ali bi svaki element bio predstavljen kao ukupan pokazatelj na nivou sistema:

$$E_S(t) = R_S(t) G_S(t) \quad (2)$$

Pouzdanost predstavlja verovatnoću da će sistem uspešno izvršavati funkciju kriterijuma, odnosno govori o tome koliko dugo sistem može da radi. Gotovost ukazuje na to kada se sistem može uključiti u rad, dok funkcionalna podobnost opisuje kako sistem izvršava funkciju kriterijuma. Sve tri zavisnosti su upravno proporcionalne sa efektivnošću sistema, tako da njihova promena direktno i srazmerno menja ukupnu efektivnost sistema. Ovo u praktičnom smislu znači da ih uvek treba održavati u tačno određenim granicama, odnosno na određenom nivou.

Ako prihvatimo iskustva sličnih sistema iz prakse, vrednost operativne gotovosti se kreće na nivou 70%, dok se može uzeti da je funkcionalna podobnost maksimalna, 100%, za sisteme koji imaju sastavne elemente dobro prilagodljive radnim uslovima. Ovakvim pristupom zaključuje se da je treći faktor koji utiče na efektivnost sistema njegova pouzdanost, i faktor od čijih vrednosti u najvećoj meri zavisi ukupna efektivnost [4].

Funkcija kriterijuma F_k , može se iskazati kao proizvod iz efektivnosti sistema E_S i teoretskog kapaciteta sistema Q_t , pa je matematički iskaz:

$$F_k = E_S Q_t, \quad (3)$$

odakle je efektivnost sistema:

$$E_S = \frac{F_k}{Q_t} \quad (4)$$

Ako se za teoretski kapacitet mora računati najmanji teoretski kapacitet u tehnološkom lancu q_{min} za raspoloživi fond vremena T , tj.:

$$Q_t = q_{min}, \quad (5)$$

ako se, takođe, funkcija kriterijuma može iskazati u matematičkom obliku kao proizvod dokazanog kapaciteta P_e i fonda vremena T_r :

$$F_k = P_e T_r, \quad (6)$$

smenom jednačina (5) u (4), dobija se:

$$E_S = \frac{F_k}{q_{min} T}. \quad (7)$$

Ukoliko se izjednače izraz (2) i jednačina (7), dobija se sledeći izraz za pouzdanost sistema:

$$R_S(t) = \frac{F_k}{q_{min} TG(t)FP}. \quad (8)$$

Ako se prihvate empirijske vrednosti za operativnu gotovost $G(t)=0,7$ i funkcionalnu podobnost, $FP=1,0$, jednačina (8) ima konačan oblik:

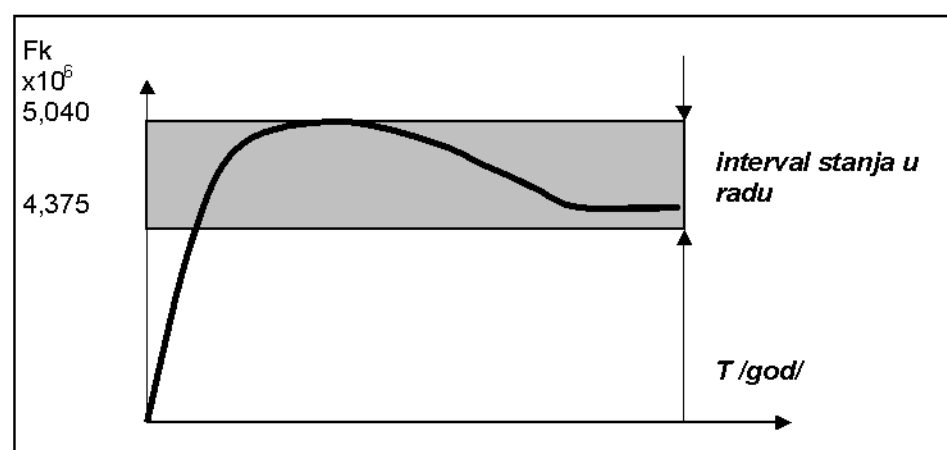
$$R_S(t) = \frac{F_k}{0,7 q_{min} T}. \quad (9)$$

Za slične sisteme koji egzistiraju u praksi poznati su intervali kretanja vrednosti ili tačne veličine. Na osnovu toga je sastavljena tabela 1.

Tabela 1

Naziv veličine	Interval vrednosti ili tačna vrednost
Funkcija kriterijuma/ m^3 /	$4,375 \cdot 10^6 \leq F_k \leq 5,04 \cdot 10^6$
Fond vremena u /h/	3500 do 4000
Kapacitet /kom/h/	1260

Dijapazon zahtevanih granica funkcije cilja omeđava interval u kojem je sistem uspešan u vršenju postavljenog projektnog zadatka. Podrazumeva se da ovom osnovnom zahtevu treba podrediti sve ostale tehnološke uslove sistema. Funkcija kriterijuma za ovaj primer grafički je predstavljena na slici 3.



Slika 3 – Izgled funkcije kriterijuma za navedeni primer

Zamenom vrednosti iz tabele 1 u jednačinu (9) dobija se interval pouzdanosti sistema koji garantuje ostvarivanje postavljenog projektnog zadatka, datog rasponom vrednosti pouzdanosti od najniže do najviše. Te vrednosti iznose: $R_{Smin} = 0,4903$ i $R_{Smax} = 0,5219$.

Za ovako definisan interval potrebne pouzdanosti sistema treba odrediti intervale pouzdanosti svakog od podsistema, kako bi se postavljena zona pouzdanosti sistema kao celine mogla sa sigurnošću održati.

Problem se sastoji u potrebi alociranja, razdeljivanja zahtevanog intervala pouzdanosti sistema na odgovarajuće pouzdanosti sastavnih elemenata. Dakle, problem bi trebalo da reši neka od metoda alokacije pouzdanosti. Za ovaj i slične probleme najprikladnija je metoda EFTES.

Neophodne aproksimacije su da se elementi ponašaju po eksponencijalnom zakonu sa konstantnom stopom otkaza, da stanja u otkazu elemenata u sistemu međusobno ne utiču i da su svi elementi u sistemu u rednoj ili prosto paralelnoj vezi [1].

Metoda alokacije eftes

Metoda EFTES sastoji se u proceni realnih odnosa intenziteta otkaza sastavnih elemenata u odnosu na najslabiji element u proceni verovatnoće otkaza sistema ako taj element otkaze. Na ovaj način dobijaju se procene pouzdanosti svakog od elemenata u sistemu. Opisani postupak je pogodno rešiti pravljenjem programa u odgovarajućem programskom jeziku, jer se iteracije više puta ponavljaju, a brzina izračunavanja i preciznost su neuporedivo bolji. U tu svrhu sastavljen je program prema globalnom blok- dijagramu datom na slici 4 [2].

Rezultati izvršene alokacije za zadate granične pouzdanosti sistema prikazani su tabelarno (tabela 2). U tabeli se uočavaju intervali alociranih pouzdanosti $RA(I)$ razdeljene na sve podsisteme. Oznake $L(I)$ i $LA(I)$ odnose se na intenzitete otkaza podsistema pre i posle alociranja.

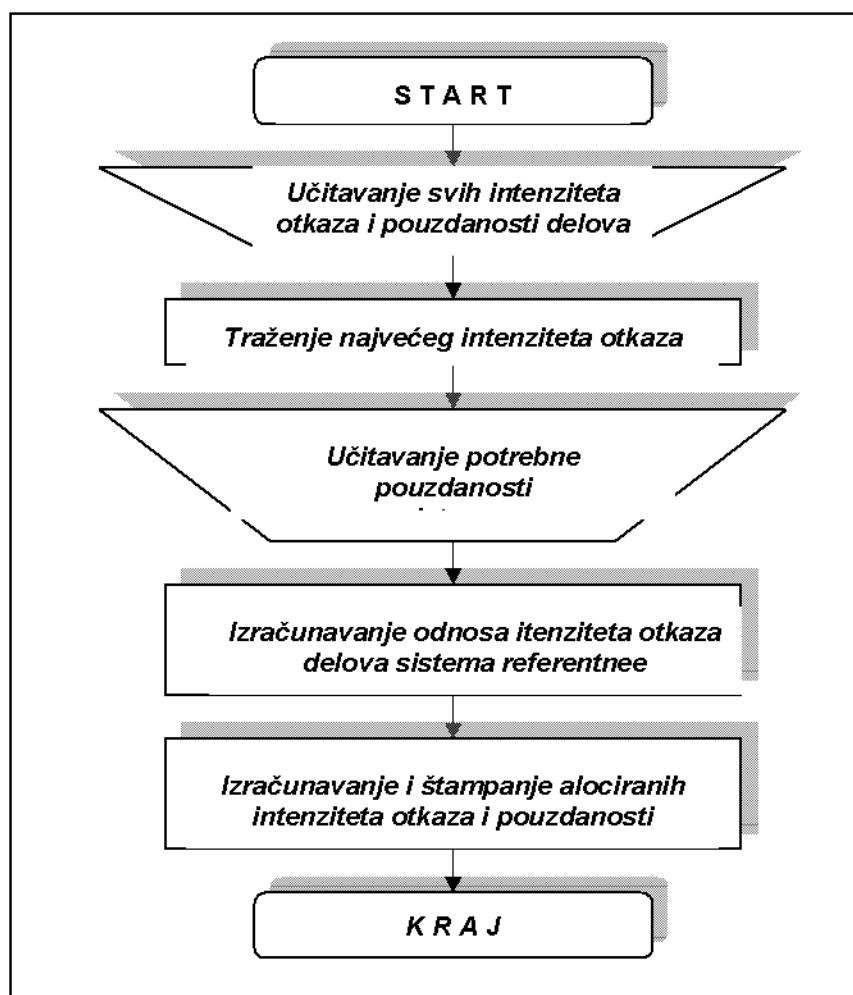
Iz prikazanih rezultata u tabeli 2 uočava se da su vrednosti pouzdanosti najmanje za podsistem I, sa dijapazonom vrednosti od 0,7500 do 0,7691, a da su najveće za podsistem III. Evidentno je da se podsistemu I mora posvetiti posebna pažnja kao najnepouzdanijoj celini u sistemu. Pristupa se analiziranju ovog podsistema na potpuno indentičan način kao na prethodnom nivou, jer se, takođe, radi o složenom sistemu koji ima strukturu kao na slici 2. Na primer, ako u svojoj strukturi ima šest sklopova, onda se očekuje da se za rezultat dobiju njihovi intervali pouzdanosti od kojih bi trebalo uočiti i analizirati onaj sa najmanjim vrednostima. U tabeli 3 prikazani su rezultati alociranja podsistema I, na isti način kao u tabeli 2. Tako identifikovanu celinu treba detaljno proanalizirati i iznaći rešenja za podizanje nivoa pouzdanosti. Jasno je da se ovakom analizom i variranjem mogu, u fazi projektovanja, tražiti poželjna i izbalansirana rešenja.

Tabela 2

	Intenzitet otkaza $L(I)$	Alocirano za $R = 0,4903$		Alocirano za $R = 0,5219$	
		$LA(I)$	$RA(I)$	$LA(I)$	$RA(I)$
Podsistem I	0,1913	0,0359	0,7500	0,0328	0,7691
Podsistem II	0,0644	0,0121	0,9077	0,0110	0,9154
Podsistem III	0,0051	0,0009	0,9923	0,0008	0,9930
Podsistem IV	0,0416	0,0078	0,9393	0,0071	0,9445
Podsistem V	0,0424	0,0079	0,9382	0,0072	0,9493
Podsistem VI	0,0375	0,0070	0,9451	0,0064	0,9498
Podsistem VII	0,0257	0,0048	0,9620	0,0044	0,9653
Podsistem VIII	0,0306	0,0057	0,9500	0,0052	0,9588
Podsistem IX	0,0354	0,0066	0,9481	0,0060	0,9525

Tabela 3

	Intenzitet otkaza $L(I)$	Alocirano za $R = 0,7500$		Alocirano za $R = 0,7691$	
		$LA(I)$	$RA(I)$	$LA(I)$	$RA(I)$
Sklop I	0,0412	0,0119	0,9084	0,0109	0,9161
Sklop II	0,0189	0,0055	0,9569	0,0050	0,9606
Sklop III	0,0073	0,0021	0,9831	0,0019	0,9846
Sklop IV	0,0158	0,0046	0,9638	0,0041	0,9669
Sklop V	0,0084	0,0024	0,9806	0,0022	0,9823
Sklop VI	0,0319	0,0092	0,9283	0,0084	0,9344



Slika 4 – Algoritam za izračunavanje alokacije pouzdanosti metodom EFTES

Iz tabele 3 se vidi da su intervali pouzdanosti vrlo visoki, a da, svakako, sklop I ima najniže vrednosti i da se pri projektovanju mora proučiti kako bi se popravila njegova pouzdanost. Dalja alokacija je moguća sve do najnižeg nivoa – nivoa elemenata.

Zaključak

Teorija efektivnosti pri projektovanju složenih sistema je od bitnog značaja. Izložen konkretan primer pokazuje mogućnost i opštost primene metode razdeljivanja pouzdanosti pri postavljanju novih sistema. Neophodan preduslov, osim opštih ograničenja, jeste posedovanje baze podataka o parametrima stanja u radu i otkazu, odnosno pouzdanosti postojećih sličnih sistema. Ukoliko su parametri precizniji i uzeti za duže periode, utoliko bi i rezultati novopostavljenih sistema bili meritorniji.

Na ovaj način definisan interval pouzdanosti garantuje održavanje funkcije kriterijuma u granicama željenog, odnosno projektovanog. Možda je najveća vrednost metodologije upravo u tome što se još u fazi projektovanja identifikuju najmanje pouzdani sklopovi, te razlika u odnosu na ostale iz sistema. Uočene celine mogu se reprojektovati preduzimanjem konstruktivnih mera ili, ako se tako ne odluči, ostaje potreba da se identifikovani pouzdani delovi sistema u toku eksploatacije merama održavanja intenzivnije prate.

Metoda alociranja je pogodna za definisanje intervala pouzdanosti svih hijerarhijskih nivoa sistema, od najsloženijih do najnižih.

Literatura

- [1] Zelenović, D., Todorović, J., *Efektivnost sistema u mašinstvu*, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [2] Ljamić, D., *Pouzdanost reduktora na mašinama kontinualnih sistema površinskih kopova uglja*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Priština, 1997.
- [3] Vujanović, N., *Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*, Vojnoizdavački i tehnički centar, Beograd, 1987.
- [4] Ljamić, D., *Projektovanje kontinualnih proizvodnih sistema za površinske otkope i alokacija njihove pouzdanosti*, Naučno-stručni skup „Industrijski sistemi – IS 97“, Novi Sad, str. 657–662.

SILE I MOMENTI KOJI DELUJU NA PODVODNI PROJEKIL PRI KRETANJU

Pukovnik dr *Miroslav Radosavljević*, dipl. inž.
Vojna akademija

Rezime:

U radu su prikazane sile i momenti koji deluju na podvodni projektil u uslovima statičke i dinamičke stabilnosti i izvedene su jednačine kretanja. Takođe, dati su modeli za računanje sila i momenata projektovanih na ose vezanog koordinatnog sistema projektila.

Ključne reči: podvodni projektil, sile i momenti, statička i dinamička stabilnost.

FORCES AND MOMENTS AFFECTING UNDERWATER PROJECTILE MOBILITY

Summary:

The forces and moments affecting an underwater projectile under conditions of static and dynamic stability are presented and the equations of movement are derived. The models for calculating the forces and moments expressed in the body - fixed coordinate system of the underwater projectile are given as well.

Key words: underwater projectile, forces and moments, static and dynamic stability.

Uvod

Krećući se kroz vodu projektil sa vodom čini složeni hidrodinamički sistem. Određivanje sila i momenata koje deluju na projektil nije nimalo lak zadatak. Pre svega, neophodno je da se sve sile i njihovi momenti prepoznaju, a zatim da se odrede.

Iz hidrodinamike je poznato da se u spoljašnje sile koje deluju na kruto telo svrstavaju sve sile neineracione prirode i one sile kod kojih je inerciono delovanje vode zanemarivo. Sve te sile mogu se podeliti u sledeće grupe:

– viskozna, rezultujuća hidrodinamička sila $\vec{F}_H(X_H, Y_H, Z_H)$, koja deluje na trup podvodnog projektila, a centar dejstava joj je u centru mase istisnine $c_B(x_{CB}, y_{CB}, z_{CB})$,

– porivna sila propulzije $T = X_p$ (koja deluje u smeru x ose) i momenat rotacije propelera $\Delta \vec{Q} = -\vec{K}_{px}$,

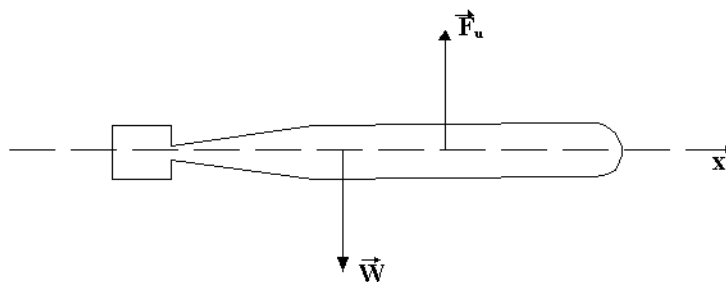
– sile upravljanja koje nastaju odklonom kormila Y_{RV} i Z_{RH} i elerona X_e ,

– sila hidrostatičkog uzgona $\vec{F}_B$ i razne poremećajne sile $\vec{F}_A(X_A, Y_A, Z_A)$.

Kretanju podvodnog projektila kroz vodu suprotstavljaju se hidrodinamičke sile koje su nepoželjne i ne mogu se ukloniti. Tim silama se suprotstavljaju sile koje nastaju odklonom kormila i elerona s namerom da se prethodne neutrališu. Međutim, pošto se njihova pojava dešava sa izvesnim zakašnjenjem dolazi do poremećajnog kretanje podvodnog projektila. Pojava nepoželjnih sila dovodi do stvaranja obrtnih momenata koji nastoje da zaokrenu projektil u stranu delovanja tih sila. Projektil mora da poseduje sposobnost da se suprotstavi tim nepoželjnim silama. Štaviše, da nakon prestanka delovanja tih sila stvori takav momenat da se sistem vrati u ravnotežno stanje. Ovakve sposobnosti projektila karakterišu njegovu stabilnost. Prema silama koje deluju na projektil razlikuju se dve vrste stabiliteta: statički i dinamički.

Statički stabilitet

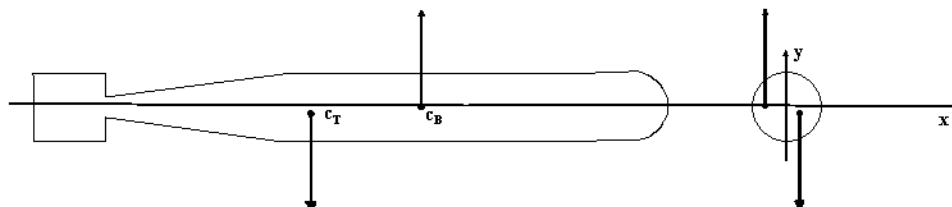
Statički stabilitet podrazumeva mirovanje podvodnog projektila u vodi i delovanje dve sile: sile težine $\vec{G}$ i sile uzgona $\vec{F}_B$.



Slika 1 – Grafički prikaz delovanja sile težine i uzgona na projektil koji miruje u vodi

Sa slike 1 vidljivo je da hvatišta sile težine i uzgona ne leže u istoj tački. Hvatište sile težine G se menja tokom kretanja projektila. Uzajamno delovanje sile težine i uzgona menja se tokom vremena (putanje podvodnog projektila).

Položaj hvatišta sile uzgona i težine postavlja se prema proračunu da bi se ostvario uzdužni i poprečni stabilitet podvodnog projektila. Moguće pozicije hvatišta sile prikazane su na slici 2.



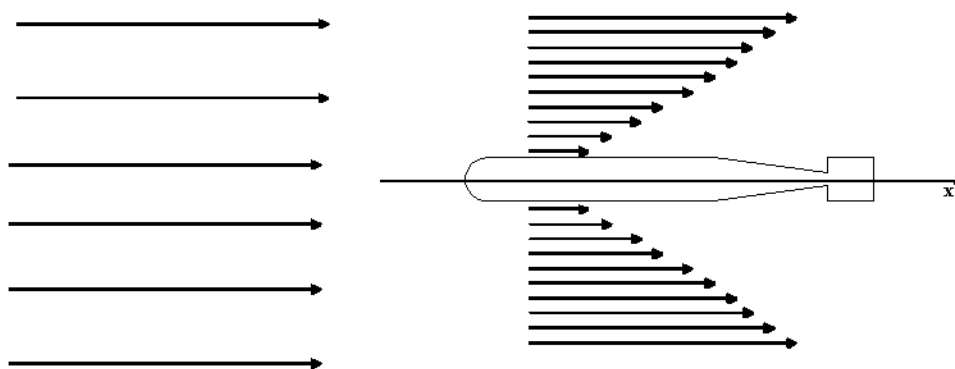
Slika 2 – Grafički prikaz hvatišta sila uzgona u horizontalnoj i vertikalnoj ravni

Osnovni uzrok ovako postavljenih hvatišta je potreba da se delovanju nekih spoljnih sila stvara protivmomenat silama uzgona i težine koji će nakon prestanka delovanja nepoželjnih sila vratiti projektil u ravnotežno stanje.

Ovakvo svojstvo je specifično samo za podvodni projektil. Ni jedan drugi projektil nema to svojstvo. Upravo ova prednost podvodnog projektila omogućuje mu da se njegova upotreba može proširiti u taktičkom smislu. Zato danas u svetu postoje oružja zvana projektil – mina ili mina – projektil. U pogodnom trenutku projektil se koristi kao klasični podvodni projektil, a u drugom kao mina koja u pasivnom stanju „čeka“ nailazak broda – cilja.

Hidrodinamičke sile podvodnog projektila

Rezultujuća hidrodinamička sila $\vec{F}_H(X_H, Y_H, Z_H)$ nastaje kretanjem podvodnog projektila u realnoj vodi. Ukoliko bi voda bila idealna, bez viskoziteta, tada bi pri oplakivanju glatke površine tela strujanje bilo jednoliko pravolinijsko, a brzina bi u svim tačkama strujanja bila jednaka. Čestice vode klizile bi po površini tela podvodnog projektila bez ikakvog otpora. U realnoj vodi određenog viskoziteta raspored strujanja ima oblik kao na slici 3a.



Slika 3a – Raspored brzine strujanja vode uz površinu tela podvodnog projektila

U neposrednoj blizini tela podvodnog projektila voda ima brzinu nula, a sa udaljavanjem od nje brzina se povećava sve do brzine strujanja U . Uloga viskoziteta se ogleda kao kočenje čestica vode, što je rezultat delovanja unutrašnjih sila trenja ili viskoziteta vode. Sile unutrašnjeg trenja određuju se tangentama na površinu tela pritiscima $\vec{\tau}$. Kada se čestice vode kreću u paralelnim slojevima, tangencijalni pritisak određuje se izrazom Njutna:

$$\vec{\tau} = -\mu \cdot \frac{\partial \vec{V}}{\partial n}, \quad (1)$$

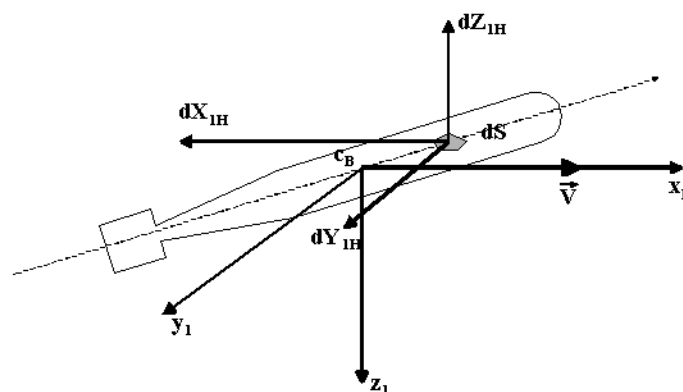
gde su: μ – koeficijent viskoziteta i $\frac{\partial \vec{V}}{\partial n}$ – gradijent brzine po spoljašnjoj normali n .

Na projektil, pored tangencijalnog pritiska, deluju i normalni pritisci koji se javljaju usled promene brzine čestice vode koje oplakuju telo. Promena brzine strujanja, prema Bernulijevom zakonu, stvara hidrodinamički pritisak na trup podvodnog projektila. Za tačke raspoređene na istoj dubini vode Bernulijeva jednačina može se pisati u obliku:

$$\vec{P} = \vec{P}_0 + \frac{\rho}{2} \cdot \vec{U}^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\vec{V}}{\vec{U}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

gde su: $\vec{P}_0$ – hidrostatički pritisak na određenoj dubini $\left[\frac{N}{m^2} = Pa \right]$, – brzina protoka vode, $\vec{P}$ – hidrodinamički pritisak i $\vec{V}$ – brzina u datoj tački.

Pri kretanju podvodnog projektila na svaku njegovu elementarnu površinu deluje normalna ($\vec{P} \cdot dS$) i tangencijalna ($\vec{\tau} \cdot dS$) sila, što je ilustrovano slikom 3b.



Slika 3b – Hidrodinamičke sile na elementarnu površinu podvodnog projektila

Projekcija ovih sila na ose koordinatnog sistema brzine su:

$$\begin{aligned} d\vec{X}_{1H} &= \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, x_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, x_1) \right] dS \\ d\vec{Y}_{1H} &= \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, y_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, y_1) \right] dS \\ d\vec{Z}_{1H} &= \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, z_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, z_1) \right] dS \end{aligned} \quad (3)$$

Integraljenjem izraza (3) po celoj površini podvodnog projektila dobijaju se izrazi za uzdužnu $\vec{X}_{1H}$, bočnu $\vec{Y}_{1H}$ i poprečnu $\vec{Z}_{1H}$ (u smeru visine trupa torpeda) hidrodinamičku silu na trup podvodnog projektila:

$$\begin{aligned} \vec{X}_{1H} &= \iint_S \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, x_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, x_1) \right] dS \\ \vec{Y}_{1H} &= \iint_S \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, y_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, y_1) \right] dS \\ \vec{Z}_{1H} &= \iint_S \left[\vec{P} \cdot \cos(\vec{P}, z_1) + \vec{\tau} \cdot \cos(\vec{\tau}, z_1) \right] dS \end{aligned} \quad (4)$$

U praksi se koriste drugačiji izrazi. Naime, izrazi pod integralom svode se na bezdimenzioni broj. Za dobijanje jednostavnijeg izraza koristi se izraz brzinskog pritiska datog u sledećoj formi:

$$\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2, \quad (5)$$

gde su: $\vec{V}$ – brzina podvodnog projektila $\left[\frac{m}{s} \right]$ i ρ – gustoća vode $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

Nakon transformacije izraza (4) dobija se sledeći oblik:

$$\vec{X}_{1H} = \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot \iint_S \left[\frac{\vec{P}}{\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2} \cdot \cos(\vec{P}, x_1) + \frac{\vec{\tau}}{\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2} \cdot \cos(\vec{\tau}, x_1) \right] \frac{dS}{S}. \quad (6)$$

Ako se podintegralni izraz obeleži sa C_x , tada izraz (6) poprima sledeći oblik:

$$\begin{aligned}\vec{X}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot C_x \\ \vec{Y}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot C_y \\ \vec{Z}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot C_z\end{aligned}\quad (7)$$

Bezdimenzione veličine C_x , C_y , C_z , zovu se koeficijenti uzdužne, bočne i poprečne sile. Suština određivanja sila je u određivanju navedenih bezdimenzionih koeficijenata eksperimentalno na pravom torpedu ili na modelu u hidrodinamičkim tunelima ili u aerotunelima.

Elementarne sile $\vec{P} \cdot dS$ i stvaraju hidrodinamičke momente u odnosu na koordinatne ose. Ukoliko se označe elementarne površine dS koordinatama x , y , z , tada će izraz za moment, na primer u odnosu na osu Ox , biti:

$$d\vec{K}_{1H} = d\vec{Y}_{1H} \cdot z - d\vec{Z}_{1H} \cdot y. \quad (8)$$

Integracijom izraza (8) po čitavoj površini podvodnog projektila dobija se izraz u obliku:

$$\vec{K}_{1H} = \iint_S (d\vec{Y}_{1H} \cdot z - d\vec{Z}_{1H} \cdot y) dS. \quad (9)$$

Radi svođenja na bezdimenzioni oblik potrebno je podintegralni izraz pomnožiti i podeliti sa konstantnim veličinama $\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2, S, L$. U tom slučaju izraz (9) poprima sledeći oblik:

$$\vec{K}_{1H} = \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot L \iint_S \left[\frac{d\vec{Y}_{1H}}{\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2} \cdot \frac{z}{L} - \frac{d\vec{Z}_{1H}}{\frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2} \cdot \frac{y}{L} \right] \frac{dS}{S}. \quad (10)$$

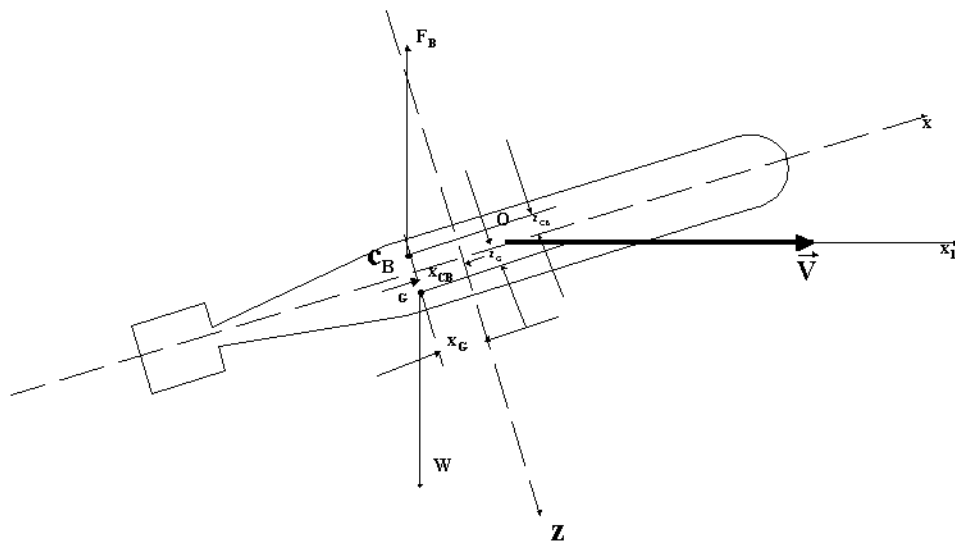
Ako se bezdimenzioni koeficijent označi sa C_{mx} dobijaju se izrazi za momente u sledećoj formi:

$$\begin{aligned}
 \vec{K}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot L \cdot C_{mx} \\
 \vec{M}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot L \cdot C_{my} \\
 \vec{N}_{1H} &= \frac{\rho}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot S \cdot L \cdot C_{mz}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Momenti K_{1H} , M_{1H} , N_{1H} , zovu se: moment bočnog nagiba, moment posrtaanja i moment zakretanja. Na isti način kao i za koeficijente sila i koeficijenti momenata biće posebno obrađeni u sledećem poglavlju.

Hidrostatski uzgon podvodnog projektila

Hidrostatska sila $\vec{F}_B$ deluje uvek normalno prema gore (ka vrhu podvodnog projektila) i uravnotežuje potpuno ili delimično silu težine podvodnog projektila $\vec{W} = m \cdot \vec{g}$. Hidrostatski uzgon ima hvatište u centru vodene istisnine C_B sa koordinatama u opštem slučaju $c_B = (x_{CB}, y_{CB}, z_{CB})$. Na slici 4 grafički je predstavljeno delovanje sile hidrostatskog uzgona.



Slika 4 – Grafički prikaz delovanja sile uzgona

Uobičajeno je da se projektil uravnotežuje, tako da je:

$$\vec{W} = \vec{F}_B, \quad (12)$$

$$x_{CB} = x_G. \quad (13)$$

Već je napomenuto da se sila težine kod nekih podvodnih projektila u toku kretanja menja, što izaziva promenu koordinate x_G . Promena sile i koordinate izazvaće da rezultujuća sila dobija smer sile istisnine, čime se menja napadni ugao α i ugao zanošenja β . Na taj način dolazi do promene statičkog stabiliteta, što dovodi do stvaranja nepoželjnih hidrodinamičkih sila.

Plovnost podvodnog projektila može se napisati u sledećem obliku:

$$(\vec{W} - \vec{F}_B) = (\vec{W} - \vec{F}_B) \cdot \begin{bmatrix} -\sin \Theta \\ \sin \varphi \cos \Theta \\ \cos \varphi \cos \Theta \end{bmatrix}, \quad (14)$$

i odgovarajući moment sile:

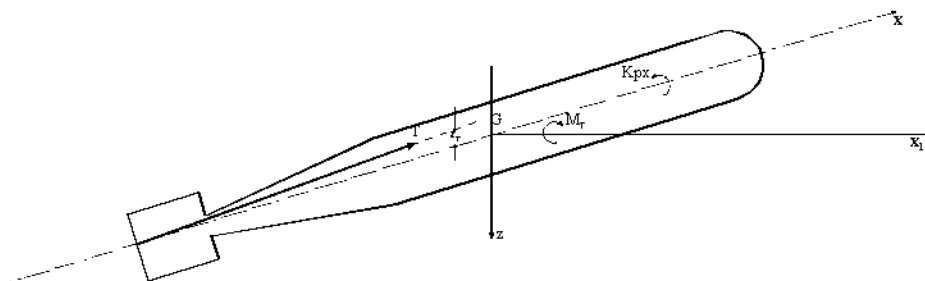
$$\vec{M}_{(\vec{W}-\vec{F}_B)} = \begin{bmatrix} (-W \cdot z_G + F_B \cdot z_{CB}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \Theta \\ (-W \cdot x_G + F_B \cdot x_{CB}) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Theta + (-W \cdot z_G + F_B \cdot z_{CB}) \cdot \sin \Theta \\ (W \cdot x_G + F_B \cdot x_{CB}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \Theta \end{bmatrix}. \quad (15)$$

U dinamičkom modelu, koji je prikazan u nastavku rada, uzeto je da su sile težine i sila uzgona jednake. Ovakva pretpostavka je uobičajena, posebno kod protivpodmorničkih podvodnih projektila gde se napadni ugao reguliše tako da bude približno jednak nuli.

Delovanje propelera podvodnog projektila

Osnovni pogon torpedu daje par propelera. Ranije je napomenuto da nije obavezan pogon podvodnog projektila propelerima. U radu je razmatran hipotetički projektil sa dva para propelera koji se okreću u suprotnim stranama. Suprotno rotirajući propeleri smanjuju moment zanošenja podvodnog projektila na račun reakcije vode i vrtložnog strujanja vode, čime se povećanja koeficijenta delovanja propelera.

Sila poriva, koju stvaraju propeleri, proporcionalna je gustoći vode ρ , brzini okretaja n i prečniku D_p propelera. Grafički prikaz delovanja propelera prikazan je na slici 5.



Slika 5 – Grafički prikaz sile koje nastaju delovanjem propelera podvodnog projektila

Sila poriva P i moment otpora M obično se određuju sledećim izrazima:

$$\bar{P} = K_1 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_p^4, \quad (16)$$

$$\bar{M} = K_2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_p^5. \quad (17)$$

Ovi izrazi su dobijeni na osnovu teorije sličnosti, gde je u izrazima: K_1 – koeficijent sile poriva, K_2 – koeficijent momenta.

U praksi se sila poriva daje sledećim izrazom:

$$\bar{T} = \bar{P} \cdot (1-t) = (1-t) \cdot K_1 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D_p^4, \quad (18)$$

gde je: t – bezdimenzioni koeficijent smanjenog poriva usled delovanja poriva trupa podvodnog projektila (kreće se u granicama od 0,1 do 0,2).

Na osnovu procene i saznanja o projektilima u radu je korišćen bezdimenzioni koeficijent $t = 0,15$. Takođe, prečnik propelera je usvojen $D_p = 0,45 \text{ m}$ a broj okretaja $n = 17 - 20 \text{ o/s}$.

Moment sile $\bar{T}$ oko ose Oy je:

$$\bar{M}_T = z_T \cdot \bar{T}, \quad (19)$$

gde je: z_T – aplikata ose propelera.

Iako su propeleri postavljeni u istu osu i bez obzira na to što se okreću u suprotne strane, postoji moment oko Ox ose.

Sile i momenti sila koje stvaraju kormila i eleroni

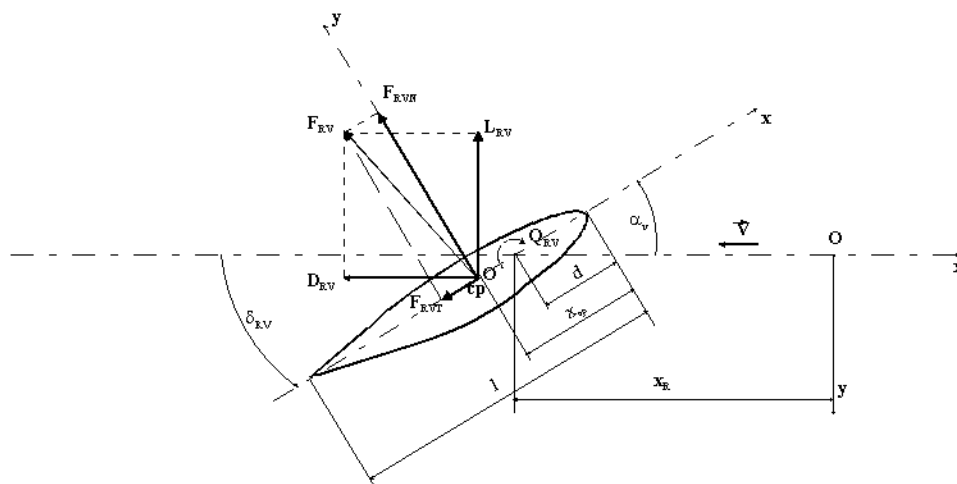
Da bi se obezbedile dobre hidrodinamičke karakteristike podvodnog projektila neophodno je uskladiti veliki broj međusobno suprotstavljenih zahteva. Jedan od osnovnih zahteva je izbor optimalnog hidrodinamičkog oblika tela podvodnog projektila. Poželjni hidrodinamički oblik podvodnog projektila podrazumeva dobru usklađenost krstastog nastavka podvodnog projektila i kormila koja se na njemu ugrađuju. U dobrom hidrodinamičkom obliku sa definisanim krstastim nastavkom i njegovim uklapanjem u formu, projektil mora brzo i tačno da odreaguje na otklone kormila.

Par kormila se postavlja (po jedno sa svake strane trupa) u horizontalnu i vertikalnu ravan. Ukupna sila koja deluje na kormilne površine $\vec{F}_{RV}$ može se rastaviti na silu otklona $\vec{L}_{RV}$ i otpora $\vec{D}_{RV}$ u vezanom koordinatnom sistemu ili normalnu $\vec{F}_{RVN}$ i tangencijalnu komponentu $\vec{F}_{RVT}$ u inercijskom koordinatnom sistemu. U vezanom koordinatnom sistemu podvodnog projektila mogu se napisati izrazi za silu:

$$\vec{Y}_{RV} = -\vec{L}_{RV}, \quad (20)$$

$$\vec{X}_{RV} = \vec{D}_{RV}. \quad (21)$$

Na slici 6 grafički je prikazano delovanje komponentata hidrodinamičke sile na kormilnu površinu.



Slika 6 – Grafički prikaz sila koje deluju na kormilne površine

Sila otklona smernog kormila u vezanom koordinatnom sistemu može se računati prema sledećem izrazu:

$$\vec{Y}_{RV} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \vec{V}^2 \cdot S_{RV} \cdot C_{VK}. \quad (22)$$

Bezdimenzioni koeficijent C_{VK} je funkcija otklona δ_{VK} , ugla zanošenja β i brzine kretanja podvodnog projektila:

$$C_{VK} = f(\delta_{VK}, \beta, V). \quad (23)$$

Moment sile vertikalnih kormila određuje se izrazom:

$$\vec{N}_{RV} = x_R \cdot \vec{Y}_{RV}, \quad (24)$$

gde je: x_{RV} – rastojanje osovine kormila na x u vezanom koordinatnom sistemu. Koeficijent otpora vertikalnih kormila je:

$$C_{mVK} = f(\delta_{VK}, \beta, V). \quad (25)$$

Na analogan način određuje se sila uzgona dubinskih kormila:

$$\vec{Z}_{RH} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \vec{V}^2 \cdot S_{RH} \cdot C_{VH} \quad (26)$$

i odgovarajući momenat:

$$M_{RH} = x_R \cdot \vec{Z}_{RH}. \quad (27)$$

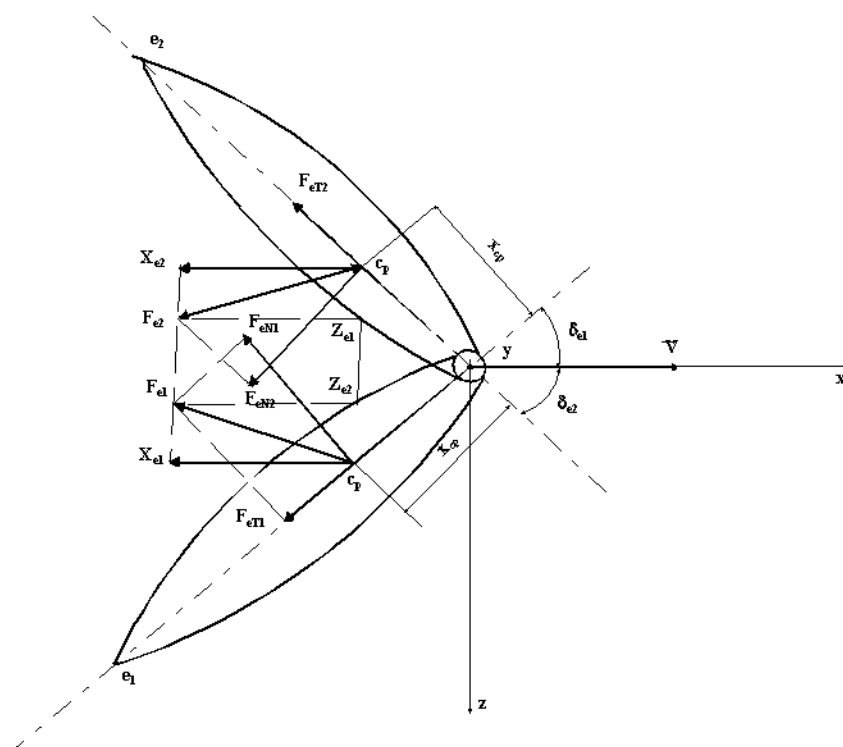
Koeficijent sile otpora horizontalnih kormila je:

$$C_{VH} = f(\delta_{VH}, \alpha, V), \quad (28)$$

a koeficijent otpora momenta nastalog od sile horizontalnih kormila je:

$$C_{mVH} = f(\delta_{VH}, \alpha, V). \quad (29)$$

Uticaj elerona na stabilizaciju poprečnog nagiba ilustrovan je na slici 7.



Slika 7 – Grafički prikaz komponenti hidrodinamičkih sila elerona

Ukupna sila elerona $\vec{F}_{e1}$ i $\vec{F}_{e2}$ rastavlja se na silu otpora $\vec{X}_{e1}$ i $\vec{X}_{e2}$ i silu uzgona $\vec{Z}_{e1}$ i $\vec{Z}_{e2}$ ili na normalnu silu $\vec{F}_{eN1}$ i $\vec{F}_{eN2}$ i tangencijalnu silu $\vec{F}_{eT1}$ i $\vec{F}_{eT2}$. Sile upravljanja koje deluju na bočni nagib su jednake uzgonske sile $\vec{Z}_{e1} = \vec{Z}_{e2} = \vec{Z}_e$, koje su posledica otklona elerona e_1 i e_2 za ugao δ_e na suprotne strane u odnosu na uzdužnicu podvodnog projektila (Ox ose).

Ukupna otporna sila elerona računa se prema sledećem izrazu:

$$\vec{X}_e = \vec{X}_{e1} + \vec{X}_{e2} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_{eff} \cdot \vec{V}^2 \cdot C_e, \quad (30)$$

gde je: S_{eff} – efektivna površina elerona gledano u smeru kretanja podvodnog projektila i C_e – koeficijent otpora sile, koji je funkcija $C_e = f(\delta_e, V, \alpha)$, a dobija se kao i ostali koeficijenti otpora sile.

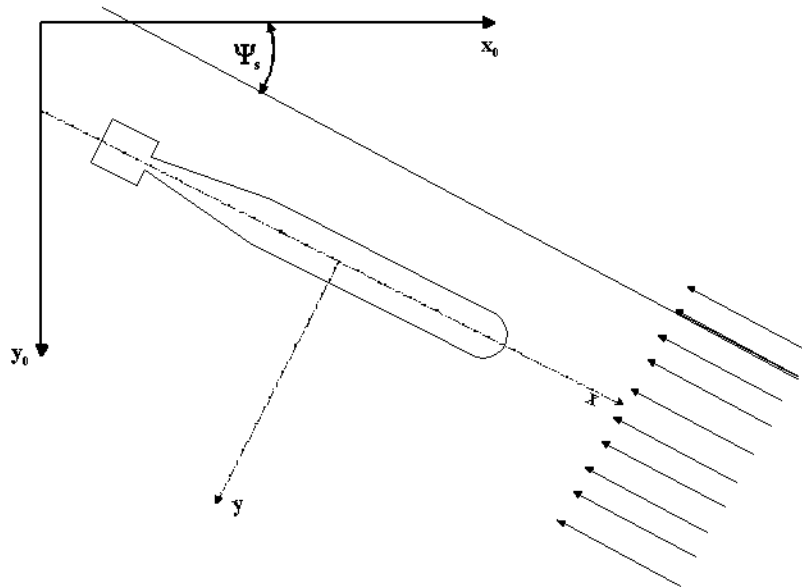
Moment nagiba sila elerona izračunava se prema izrazu:

$$\vec{K}_e = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_{eff} \cdot \vec{V}^2 \cdot y_e \cdot C_{me}, \quad (31)$$

gde je: y_e – udaljenost od uzdužne ose podvodnog projektila do centra pritiska elerona i C_{me} – koeficijent otpora momenta bočnog nagiba elerona i funkcija je $C_{me} = f(\delta_e, V, \alpha)$, a određuje se eksperimentalno kao i ostali koeficijenti.

Poremećajne sile

Talasi su osnovni spoljni faktori koji utiču na dinamiku kretanja podvodnog projektila. Po fizičkoj prirodi radi se o trodimenzionalnim slučajnim talasima koji se do određenih dubina šire u morskome prostranstvu. Pored ovih, poremećajna strujanja oko podvodnog projektila izazivaju i vertikalna temperaturna i vrtložna strujanja vode. Njihovo delovanje po smeru i jačini su vrlo neizvesni. Pretpostavlja se da slučajni talasi ne prelaze dubine veće od njihove dužine. Talasi na projektil deluju poremećajno u vidu otklanjanja osetljivih elemenata (na primer, na hidrostatske osetljive elemente), čime se menja zadata putanja. Morska struja se menja vrlo sporo. Ukoliko se pretpostavi sinusoidalna promena, treba računati sa periodom od nekoliko sati. Zbog toga se računa, s obzirom na putanju podvodnog projektila od nekoliko minuta, da je struja mora u toku kretanja projektila konstantna za određeno morsko područje. Pretpostavlja se da vodena struja izaziva poremećajne sile samo u x_0y_0 ravni i da joj je smer Ψ_S , što je ilustrovano na slici 8.



Slika 8 – Grafički prikaz delovanja sila struje mora na projektil u kretanju

Komponente poremećaja u inercijskom koordinatnom sistemu su:

$$\Delta U_x = \Delta U_s \cdot \cos(\Psi_s - \Psi), \quad (32)$$

$$\Delta U_y = \Delta U_s \cdot \sin(\Psi_s - \Psi). \quad (33)$$

Poremećaj usled temperaturnih i vrtložnih strujanja može biti vrlo različitog karaktera i funkcija je dubine mora. Pretpostavlja se delovanje samo u smeru Oz koordinate i simulira funkcijom:

$$\Delta U_z (1 - e^{-h}) \cdot \sum_{i=1}^n k_{S_i} \cdot \left(\frac{\sin(a_i \cdot t)}{a_i \cdot t} \right) \cdot \left(\frac{\sin(b_i \cdot t)}{b_i \cdot t} \right), \quad (34)$$

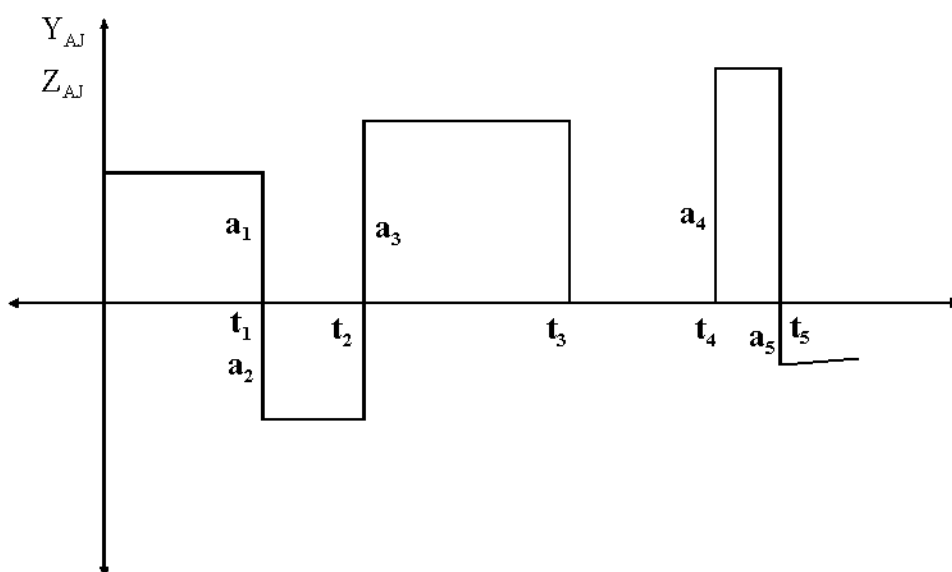
gde su: h – dubina kretanja podvodnog projektila, k_{S_i}, a_i, b_i – konstantne veličine sa kojima se učinak ΔU_z u toku vremena t može osetiti uticaj delovanja na projektila i n – ne veći od 3.

Tokom kretanja projektila ka cilju na njega može da se deluje podvodnom eksplozijom koja može nastati dejstvom dubinskih bombi. Veoma je specifična i vrlo verovatna kao taktički odgovor protivnika na dejstvo podvodnog projektila. Podvodna eksplozija može se simulirati im-

pulsnom funkcijom prikazanom na slici 9. Delovanje eksplozije simulira se u stvaranju sila $\vec{Y}_{AJ}$ i $\vec{Z}_{AJ}$ prema sledećoj definiciji:

$$\vec{Y}_{AJ} = a_n, t_n \leq t \leq t_{n+1}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (35)$$

$$\vec{Z}_{AJ} = b_n, t_n \leq t \leq t_{n+1}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (36)$$



Slika 9 – Grafički prikaz impulsnih sila podvodne eksplozije

Opšti izraz jednačine kretanja podvodnog projektila

Na osnovu izvedenih opštih karakteristika sila i momenata koje deluju na projektil došlo se do jednačine kretanja podvodnog projektila u vezanom koordinatnom sistemu $Oxyz$.

Ako koordinatni početak vezanog koordinatnog sistema leži u centru mase podvodnog projektila:

$$x_G = y_G = z_G = 0 \quad (37)$$

i ako se odabere da koordinatne ose budu glavne ose inercije:

$$I_{xy} = I_{yz} = I_{xz} = 0 \quad (38)$$

tada opšti izraz jednačina kretanja podvodnog projektila ima oblik:

$$\begin{bmatrix} (m + \lambda_{11}) \cdot \dot{V}_x - (m + \lambda_{12}) \cdot V_y \cdot r - \lambda_{14} \cdot r^2 + (m + \lambda_{13}) \cdot V_x \cdot q + \lambda_{15} \cdot q^2 \\ (m + \lambda_{22}) \cdot \dot{V}_y + \lambda_{24} \cdot \dot{r} + (m + \lambda_{21}) \cdot V_x \cdot r - (m + \lambda_{23}) \cdot V_x \cdot p - \lambda_{25} \cdot p \cdot q \\ (m + \lambda_{33}) \cdot \dot{V}_z + \lambda_{35} \cdot \dot{q} - (m + \lambda_{31}) \cdot V_x \cdot q + (m + \lambda_{32}) \cdot V_y \cdot p + \lambda_{34} \cdot p \cdot r \\ (I_{xx} + \lambda_{44}) \cdot \dot{p} - (m + \lambda_{42}) \cdot V_x \cdot V_z - \lambda_{44} \cdot V_x \cdot r + (m + \lambda_{43}) \cdot V_y \cdot V_z + \lambda_{45} \cdot V_z \cdot q - (I_{yy} + \lambda_{55}) \cdot q \cdot r - \lambda_{53} \cdot V_x \cdot r + (I_{zz} + \lambda_{44}) \cdot q \cdot r + \lambda_{44} \cdot V_y \cdot q \\ (I_{yy} + \lambda_{55}) \cdot \dot{q} + \lambda_{53} \cdot \dot{V}_z + (m + \lambda_{51}) \cdot V_x \cdot V_z - (m + \lambda_{53}) \cdot V_x \cdot V_z - \lambda_{55} \cdot V_z \cdot q + (I_{xx} + \lambda_{44}) \cdot p \cdot r + (I_{zz} + \lambda_{44}) \cdot p \cdot r - \lambda_{44} \cdot V_y \cdot p \\ (I_{zz} + \lambda_{44}) \cdot \dot{r} + \lambda_{44} \cdot \dot{V}_y - (m + \lambda_{41}) \cdot V_x \cdot V_z + (m + \lambda_{42}) \cdot V_y \cdot V_z + \lambda_{44} \cdot V_x \cdot r - (I_{xx} + \lambda_{44}) \cdot p \cdot q + (I_{zz} + \lambda_{55}) \cdot p \cdot q + \lambda_{53} \cdot V_x \cdot p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (39)$$

gde su: I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – momenti inercije trupa podvodnog projektila, m – masa podvodnog projektila, λ_{ik} – pridružene mase, V_x, V_y, V_z – projekcije vektora brzine podvodnog projektila, p, q, r – projekcije vektora ugaone brzine podvodnog projektila.

Na desnim stranama jednačine nalaze se spoljne sile i momenti koje deluju na projektil:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{bmatrix} + (W - F_B) \cdot \begin{bmatrix} -\sin \Theta \\ \sin \varphi \cdot \cos \Theta \\ \cos \varphi \cdot \cos \Theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ Y_{RV} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Z_{RH} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -X_e \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} \quad (40)$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_H \\ M_H \\ N_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (-W \cdot z_G + F_B \cdot z_{CB}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \Theta \\ (-W \cdot x_G - F_B \cdot x_{CB}) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Theta + (-W \cdot z_G - F_B \cdot z_{CB}) \sin \Theta \\ (W \cdot x_G + F_B \cdot x_{CB}) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \Theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{px} \\ M_T \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ N_{RV} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M_{RH} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_e \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_A \\ M_A \\ N_A \end{bmatrix} \quad (41)$$

gde su:

X_H, Y_H, Z_H – uzdužna, bočna i poprečna ukupna hidrodinamička sila na trup podvodnog projektila,

$W = m \cdot g$ – sila težine podvodnog projektila,

F_B – sila hidrostatičkog uzgona,

φ, Θ – ugao bočnog nagiba i trima podvodnog projektila,

T – sila poriva podvodnog projektila,

X_e – sila otpora elerona,
 Y_{RV} – sila otklona smemog (vertikalnih kormila),
 Z_{RH} – sila horizontalnih kormila,
 X_A, Y_A, Z_A – ukupne spoljne poremećajne sile,
 K_H, M_H, N_H – ukupni hidrodinamički momenat nagiba, posrtanja i zakretanja,
 K_{px} – moment rotacije propelera,
 M_T – moment poriva propelera,
 K_e – moment elerona,
 N_{RV} – moment vertikalnih kormila,
 M_{RH} – moment dubinskih kormila i
 K_A, M_A, N_A – dodatni ukupni poremećajni momenti.

Zaključak

Na osnovu statičke stabilnosti date su sile koje se uravnotežuju, a konstruktivnom izradom projektila definišu se napadne tačke koje projektilu obezbeđuju potrebnu stabilnost pri delovanju nepoželjnih sila.

Pri kretanju projektila definisane su sile koje nastaju kao posledica reakcije tela projektila, propelera i kormilnih površina, kao i moguće poremećajne sile. Dejstvo navedenih sila razmatrano je u svim ravnima torpeda, na osnovu čega su dati matematički izrazi za njihovo izračunavanje.

U svim izrazima za sile i momente dati su koeficijenti koji su specifični za oblik i način kretanja podvodnog projektila. Da bi se dati sistem jednačina mogao rešavati neophodno je identifikovati koeficijente, što je poseban problem i tema nekog narednog rada.

Literatura

- [1] Podobrij, G. M. i dr., *Теоретические основы торпедного оружия*, Военное издательство Министерства обороны СССР, 1969.
- [2] Patrašev, A. N. i dr., *Прикладная гидромеханика*, Министерство обороны СССР, Moskva 1970.
- [3] Voronjec, K. Obradović, N., *Mehanika fluida*, Građevinska knjiga, Beograd 1979.
- [4] Grupa autora, *Podmornički trener*, matematički model podmornice, Brodarski institut Zagreb, 1980.

SINTEZA I FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE EKSPLOZIVA HNIW (CL-20)

Dr Mirjana Anđelković-Lukić, dipl. inž.

Rezime:

Novo jedinjenje CL-20 je ciklični nitramin sa najvećom kristalnom gustinom (iznad $2,0 \text{ g/cm}^3$) i najsnažniji nenuklearni eksploziv. Opisana je sinteza HNIW ili CL-20 u tri stepena. CL-20 ima najveću gustinu i brzinu detonacije među poznatim eksplozivima, kao i najveću energiju među energetskim dodacima koji se koriste kao dodaci za eksplozive, barute i kompozitna raketna goriva. Prikazani su neki sastavi na bazi CL-20, energetskih polimera, aluminijuma i amonijumperhlorata, kao i gustine i brzine njihove detonacije.

Ključne reči: nitramini, HNIW, eksplozivi, sinteza, energetski polimeri.

SYNTHESIS AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE HNIW (CL-20) EXPLOSIVE

Summary:

The new compound CL-20, a cyclic nitramine with the highest crystal density (over 2.0 g/cm^3), is the most powerful non-nuclear explosive. The three-step synthesis of hexanitrohexaazaisowurtzitan (HNIW or CL-20) has been described. The CL-20 has the highest density and the highest detonation velocity among existing explosives as well as the highest energy among existing energetic ingredients for explosives, gun propellants and rocket propellants. Some explosive formulations based on the CL-20, energetic polymers, aluminium and ammoniumperchlorate are presented. Their densities and detonation velocities are also presented.

Key words: nitramines, HNIW, explosives, synthesis, energetic polymers.

Uvod

U proteklim decenijama u američkim, francuskim i nemačkim laboratorijama vojnih centara sintetisano je i ispitano više tipova novih energetskih jedinjenja, s težnjom da se dobije eksploziv boljih detonacionih karakteristika od RDX-a i HMX-a, koji već dugo suvereno zauzimaju prvo mesto

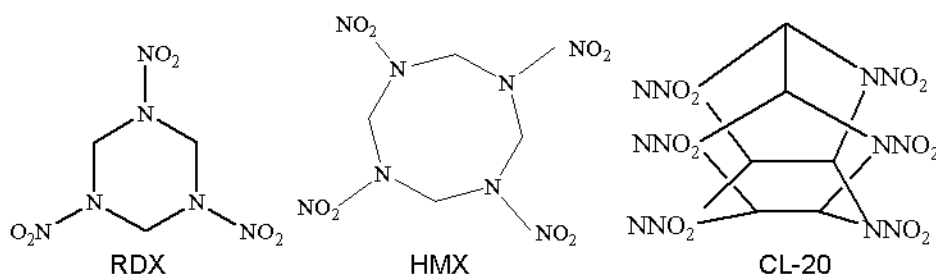
po hemijskim, termodinamičkim i detonacionim karakteristikama. Savremeni trend u proizvodnji eksploziva je u funkciji stalnog smanjenja eksplozivnog punjenja, što se postiže sintezom novih materijala povećane gustine i brzine detonacije, uz zadovoljavajući nivo osetljivosti na mehaničke uticaje. To su nova jedinjenja u kojima je povećan broj eksplozofornih N-NO₂ grupa, karakterističnih za nitramine [1]. Spajanjem više radikala sa eksplozofornim energetskim molekulskim grupama ili sintezom nižih energetskih jedinjenja dobijaju se viši homolozi boljih energetskih karakteristika. Povećanjem broja metilnitraminskih grupa (CH₂NNO₂) u molekulu energetskog jedinjenja dobija se novo jedinjenje boljih detonacionih performansi od oktogena. Polazeći od ovog principa sintetisan je novi visokobrizantni eksploziv HNIW (CL-20) koji u svom molekulu sadrži šest metilnitraminskih grupa povezanih vircitan vezama u policiklično nitraminsko jedinjenje.

Nitramini predstavljaju grupu snažnih eksploziva, u kojoj se nalaze najpoznatiji i najčešće korišćeni monociklični nitramini: heksogen (RDX) i oktogen (HMX), a u novije vreme, od devedesetih godina prošlog veka, ovoj grupi se pridružio i novi član, policiklični nitramin, heksanitroheksaazizovircitan (2,4,6,8,10,12-heksanitro-2,4,6,8,10,12-heksaazizovircitan), poznat kao HNIW i CL-20. Oznaku CL-20 dobio je po laboratoriji koja ga je prva sintetisala (China Lake u Kaliforniji, SAD). Ovaj eksploziv je 20% snažniji od HMX, te otuda oznaka 20 u nazivu. Primenuje se kao energetski aditiv u barutima i kompozitnim raketnim gorivima, ali i u eksplozivima. Gorive i detonacione karakteristike CL-20 mogu se poboljšati ukoliko se kristali dovedu do nanočestica uniformnih dimenzija, za šta se koristi ugljen-dioksid temperaturnog opsega 305,15 do 368,15 K i pritiska od 74 do 150 bara [2]. Heksanitroheksaazizovircitan, CL-20, danas važi za visokoenergetski eksploziv velike brzine detonacije i izuzetnih balističkih karakteristika. Koristi se kao osnovno punjenje u kumulativnoj municiji, ali pre toga mora da se desenzibilizuje (flegmatizuje). Kao flegmatizatori koriste se različiti termoplastični polimeri, među kojima i najlon (poliamid) [3, 4].

Fizičko-hemijske karakteristike eksploziva HNIW (CL-20)

Bruto formula eksploziva CL-20 je C₆H₆N₁₂O₁₂. Osnovna struktura CL-20 sastoji se od krute izovircitan rešetke sa 6 nitrogrupa vezanih za 6 azotovih atoma. Egzo- i endo- prostorna orijentacija ovih nitro grupa u rešetki molekula definiše četiri različita polimorfa. U kristalnoj strukturi CL-20 registrovano je pet polimorfa (α, β, γ, ε i ζ). Ceta (ζ) je stabilan samo na visokim temperaturama i, kao takav, nije pogodan za primenu. Kristali su igličasti ili rombični, što zavisi od kristalne modifikacije. U upotrebi su samo beta i epsilon kristalne modifikacije. Epsilon modifikacija sadrži uvek male količine (oko

10%) beta modifikacije. Iz epsilon strukture ne mogu u potpunosti da se uklone metastabine alfa i gama modifikacije. Epsilon forma ima najveću kristalnu gustinu poznatu među organskim jedinjenjima, $2,044 \text{ g/cm}^3$ [2], najveću termodinamičku stabilnost u uslovima okoline i superiorne energetske performanse. Kao nitramin, CL-20 se može porediti sa ostalim energetski sličnim jedinjenjima, kao što su ciklotetrametilentrinitramin (HMX) i ciklotrimetilentrinitramin (RDX), čije su strukturne formule predstavljene na sl. 1.



Slika 1 – Strukturne formule nitraminskih eksploziva

Vidi se da je stereo hemijska struktura CL-20 kompleksnija od strukture RDX i HMX, ali i da se sastoji od istovetnih strukturnih komponenti. U značajne razlike spada velika molekulska masa (438), broj N-NO₂ veza (6) i velika gustina ($2,04 \text{ g/cm}^3$ za epsilon formu).

Monociklični eksplozivi RDX i HMX imaju manju osetljivost na mehaničke uticaje od CL-20, i to bi bila jedna od lošijih karakteristika CL-20 u odnosu na ostale nitramine. Epsilon i beta kristalne modifikacije CL-20 osetljivije su na udar i trenje od oktogena, a po osetljivosti se nalaze na nivou pentrita.

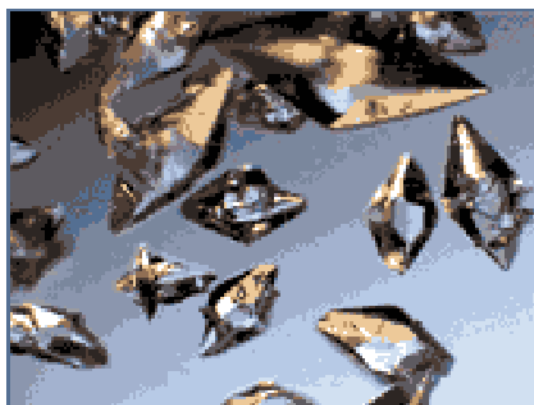
Fizičko-hemijske karakteristike CL-20 prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1

Karakteristike eksploziva HNIW [4,7]

Molekulska masa $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_{12}\text{O}_{12}$ (g/mol)	438,2
Bilans kiseonika (%)	-11, računato na CO_2 i H_2O (HMX: -21,6)
Temperatura topljenja ($^{\circ}\text{C}$)	230-260 (HMX: 282 uz razlaganje)
Sadržaj azota (%)	38,3
Entalpija stvaranja (kJ/kg) (kJ/mol)	+954,6; +1781,26
Kristalna gustina (g/cm^3)	1,97 (alfa); 1,98 (beta); 1,92 (gama); 2,04 (epsilon); 1,91 (HMX)
Osetljivost na mehanička dejstva (H50)	Trenje: 17-21 cm/50% pri 2,5 kg Udar: 50-90 cm/50%, teg od 2 kg (HMX 70 cm)
Brzina detonacije (m/s)	9380 (alfa, beta i gama); 9660 (epsilon); 9100 (HMX)
Pritisak detonacije (kbar)	428 (RDX 349; HMX 395)

Iz tabele se vidi da je brzina detonacije eksploziva CL-20 veća od brzine detonacije HMX, a pritisak detonacije za 33 kbara veći od onog za HMX i čak 79 kbara veći od pritiska detonacije RDX-a. CL-20 se koristi kao eksploziv, visoko energetski aditiv za druge eksplozive, barute i raketna goriva. HNIW (CL-20) prvi je sintetisao Arnold Nielsen 1987. godine u laboratorijama Naval Surface Weapons Center, China Lake, u Kaliforniji, a prvi put je javno publikovan 1990. godine [6]. Na sl. 2 prikazani su kristali stabilne epsilon kristalne forme eksploziva HNIW (CL-20).



Slika 2 – Kristali epsilon faze CL-20

Eksploziv CL-20 spada u skupe eksplozive zbog vrlo složene sinteze. Prvobitno je koštao 400 dolara po funti. Thiokol korporacija u Utahu, u SAD, modifikovala je originalni postupak sinteze i spustila cenu na 100 dolara po funti. U Evropi se proizvodi u SNPE u Francuskoj.

Sinteza eksploziva HNIW (CL-20)

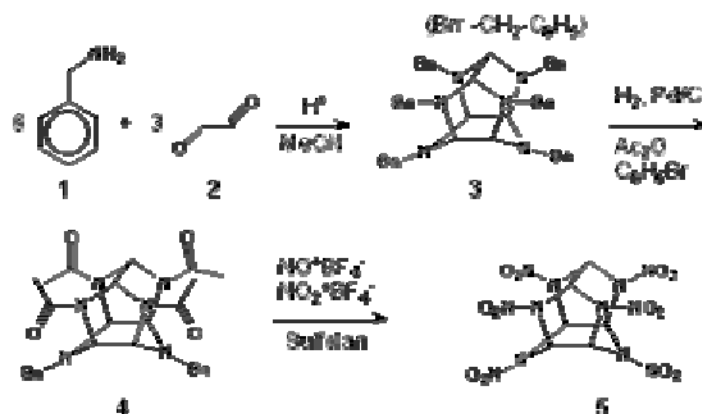
Sinteza eksploziva HNIW po originalnoj metodi A. Nielsena [5,8] odvija se u tri stepena: A, B i C.

Stepen A: reakcijom kondenzacije polaznih reaktanata – benzilamina i glioksala, uz zadate parametre reakcione sredine, nastaje jedinjenje heksabenzilheksaazaizovurcitan, HBIW.

Stepen B: redukcionim acitlovanjem jedinjenja HBIW kiselim reagensom, nastaje intermedijer heksabenzilheksaazaizovurcitan. Dodavanjem kiselog reagensa u nastali intermedijer nastaje jedinjenje dibenzil-tetraacetilheksaazaizovurcitan TAIW.

Stepen C: u vodenom rastvoru sulfolana odigrava se reakcija debenzilacije jedinjenja TAIW i nitracije do krajnjeg željenog proizvoda – heksanitroheksaazaizovurcitana HNIW (CL-20).

Šema reakcije dobijanja ovog eksploziva prikazana je na slici 3.



Slika 3 – Reakcija dobijanja HNIW (CL-20):
1. dibenzilamin, 2. glioksal, 3. HBIW, 4. TAIW, 5. HNIW

Sinteza **prvog** intermedijera, jedinjenja HBIW, podrazumeva kondenzaciju benzilamina sa glioksalom (40% vodenog rastvora) u vodenom rastvoru acetonitrila ili metanola sa dodatom mravljom kiselinom kao katalizatorom. Osim benzilamina, koji sa glioksalom daje reakciju kondenzovanja, uspešno se mogu primeniti 4-metoksi-, 3,4-dimetoksi-, 4-metil-, 2-hloro- i 4-hloro-benzilamin.

Najbolji prinos (81%) dobija se kad se glioksal (1 mol-ekvivalent), koji je prethodno lagano doziran u rastvor benzilamina (0,2 mol-ekvivalenta) dodaje u vodeni rastvor acetonitrila na temperaturi $25^\circ C$. Optimalno vreme adicije aldehida pri ovim uslovima je oko 1 čas. Kada je adicija glioksala iz rastvora završena, reakciona smeša se ostavlja na $25^\circ C$ tokom 16-18 časova, kako bi se završilo formiranje produkta koji se brzo taloži iz reakcione smeše u dosta čistom obliku. Reakcija nastajanja heksabenzilheksaazaizovurcitana (HBIW) završava se, u stvari, za nešto kraće vreme. Produžavanjem vremena reakcije ostvaruje se veći prinos, a dobija se čistije jedinjenje. Talog HBIW odvaja se od reakcione smeše vakuum filtriranjem, ispira se hladnim acetonitrilom ili metanolom i suši na vazduhu. Prinos neprekristalisanog HBIW je 80 do 81%. Prekristalizacija sirovog jedinjenja vrši se vrućim acetonitrilom iz kojeg se dobijaju bezbojni kristali temperature topljenja od 153 do $157^\circ C$.

Organsko-kiseli katalizator, mravlja kiselina, može se zameniti sirćetnom kiselinom. Prinos se smanjuje ukoliko se ne primeni tačno 0,1 mol ekvivalenta mravlje kiseline u odnosu na 1 mol ekvivalent amina. Reakciono vreme ubrzava se zagrevanjem reakcione smeše, ali se prinos HBIW smanjuje. Povećanje temperature je nepoželjno, jer se nepovoljno odražava na reakciju. Kao rastvarači mogu da se koriste, pored metanola, etanol, propanol, ali količina acetonitrila uvek ostaje ista.

U **drugom** stepenu reakcije dobija se dibenziltetraacetilheksaazaizovurcitan, TAIW, čija je struktura formala prikazana na sl. 3 (jedinjenje 4).

Ovo jedinjenje dobija se redukcionim acetilovanjem čistog HBIW u acetanhidridu uvođenjem vodonika, na paladijumu kao katalizatoru. Reakciona smeša se neprestano meša. Za maksimalan prinos reakcija zahteva neki kiseli inicijator. Kiseline kao H_2SO_4 , HCl ili HBr (ali ne i HJ) mogu se direktno dodati u reakcionu smešu na početku reakcije, pre nego što otpočne hidrogenacija. Najbolji rezultati dobijaju se sa HBr . Najpovoljnije rešenje je unosenje HBr u obliku bromobenzena, acetilbromida, benzilbromida ili drugih bromovih jedinjenja koja tokom uvođenja vodonika daju HBr . On reaguje sa acetanhidridom i daje jedinjenje acetilbromid. Koncentracija HBr je kritična, maksimalni prinos se dobja kad je koncentracija HBr oko 1/8 molova po molu HBIW. Količina katalizatora hidrogenacije, vrsta katalizatora i koncentracija metalnog paladijuma na ugljenikovom nosaču, može biti različita. Povoljnije je koristiti paladijum na drvenom uglju nego sam metal kao katalizator. Katalizator daje najbolje rezultate kada je dobijen redukcijom paladijumhidroksida na ugljeniku (Pearlmanov katalizator), primenjen u količini 1/4 mase HBIW. Reakcija traje sve dok sav vodonik ne izreaguje (oko 6 sati), ali obično se ostavlja preko noći. Čvrst produkt TAIW dobijen je uz produženo reakciono vreme. Izdvajanje produkta iz reakcione smeše vrši se dovođenjem smeše na temperaturu $25^{\circ}C$ i filtriranjem zajedno sa katalizatorom. Proizvod se iz taloga posle filtracije izdvaja ekstrakcijom vrućim hloroformom. Ukupan prinos čvrstog produkta je oko 60–65%. Jedinjenje se rekristališe iz acetonitrila ili hloroforma i dobijaju se sitni, bezbojni kristali temperature topljenja $315\text{--}325^{\circ}C$. Sirovi proizvod je zadovoljavajuće čistoće i može se koristiti za sledeći stepen sinteze bez daljeg prečišćavanja.

Treći finalni stepen sinteze jeste reakcija nitracije i dobijanje čvrstog, kristalnog eksploziva HNIW. Nitracija se sastoji od dva dela. Za reakciju se koristi suspenzija TAIW u sulfolanu $(CH_2)_4SO_2$, koji sadrži malu količinu vode. Prvi deo reakcije je debenzilacija TAIW pomoću nitrozotetrafluoroborata, $(NOBF_4)$, koji oksiduje benzil grupe. U drugom delu reakcije odvija se nitrovanje uz pomoć nitrotetrafluoroborata (NO_2BF_4) . Nitrovanje se u potpunosti završava na temperaturi $60^{\circ}C$, uz nastajanje amornog, sirovog HNIW. Dobijeni proizvod se filtrira i suši na vazduhu. Prinos sirovog proizvoda je 93–97% i veoma je čist. Sirovi HNIW obično sadrži sulfolan koji se razlaže u vrućoj vodi, tako da se HNIW jednostavnim potapanjem u vruću vodu oslobađa ovog jedinjenja. Kristalizacija HNIW se vrši rastvaranjem u etilacetatu. Rastvor se brzo prevodi kroz kratku kolonu silika-gela kako bi se odstranile nečistoće. Taloženje HNIW iz etilacetata vrši se dodavanjem hloroforma, čime se dobija kristalna beta modifikacija HNIW (92–96%), gustine $1,98\text{ g/cm}^3$. Veličina kristala može se regulisati mešanjem tokom kristalizacije.

HNIW (CL-20) je belo kristalno jedinjenje. Rastvorljiv je u acetonu, estrima i etrima, a nerastvoran u aromatičnim i halogenovanim rastvarači-

ma. Kompatibilan je sa mnogim jedinjenjima i aditivima, kao što su eksplozivi heksogen (RDX), oktogen (HMX), pentrit (PETN), amonijumperhlorat (AP), estri azotne kiseline, izocijanati i veliki broj organskih veziva koja se koriste kao flegmatizatori eksploziva ili kao veziva u raketnim gorivima.

Flegmatizovani sastavi na bazi CL-20

Kristalni eksploziv CL-20 osetljiv je na udar i trenje (tabela 1). Zbog svoje velike osetljivosti ovaj eksploziv mora da se flegmatizuje, dodavanjem određenih supstanci koje mu smanjuju osetljivost na mehanička dejstva. To su, uglavnom, energetski termoplastični polimeri [9], BDNPA/F (bis-2-dinitropropilacetal-formal), CAB (butirolacetat celuloze), GAP (glicidilazid polimer), EVA (etilenvinilacetat), ESTAN (polimer na bazi poliuretana), FEFO (fluorodinitroetil formal) i FM-1 (smeša nitroformala) [10].

Flegmatizacija se vrši na uobičajeni način: rastvaranjem polimera u odgovarajućem rastvaraču, dodavanjem eksploziva u rastvor polimera i destilacijom rastvarača polimera uz izdvajanje granula flegmatizovanog eksploziva.

U tabeli 2 prikazani su neki sastavi na bazi eksploziva CL-20 i njihove brzine detonacije.

Tabela 2

Flegmatizovani sastavi na bazi eksploziva CL-20 [10,11]

Oznaka eksploziva	Eksploziv (% m/m)	Flegmatizator (% m/m)	Gustina (g/cm ³)	Brzina detonacije (m/s)
PBX-19	CL-20 95	EVA-5	1,896	9083
RX-39-AB	CL-20 95,8	Estan-4,2	1,942	9208
RX-49-AE	CL-20 78,67	FEFO+FM-1 9,77 +9,77	1,887	8950 (izračunata)
PAX -29	CL-20 92,00	CAB - 3,2 BDNPA/F-4,8	1,958	9228
PAX-11 Aluminiziran	CL-20 77	CAB -3,2 BDNPA/F-4,8 Al -15	2,002	8770
PAX-11 sa AP* Aluminiziran	CL-20 39	CAB -2,4 BDNPA/F -3,6 Al -25 AP- 30	2,047	8110

*AP – amonijumperhlorat

Eksplzivnom sastavu PAX-29 dodaje se aluminijum u različitim sadržajima, ali i amonijumperhlorat, čime se brzina detonacije smanjuje, ali se ukupna energija po jedinici zapremine znatno povećava [11]. Ovi sastavi koriste se za eksplozivna punjenja u protivoklopnim projektilima.

Podaci iz literature potvrđuju da se za velika eksplozivna punjenja sve češće koristi amonijumperhlorat kao energetski dodatak. Tako se u poboljšanoj varijanti krstareće rakete Tomahawk Block III WDU-36, koja je prvi put korišćena u bombardovanju Republike Srpske 1995. godine, a kasnije u Iraku, nalazi eksploziv PBXN-107 [12] u kojem se, pored RDX-a (15,0%), metritrinitrata –(21,0%), i Al–(27%), nalazi i amonijumperhlorat –28,0%. Očigledno je da dodatak amonijumperhlorata i aluminijuma u tolikom sadržaju doprinosi povećanom energetskom efektu eksploziva, što se odražava na njegov učinak u eksploataciji.

Zaključak

Razvoj novih visokoenergetskih eksploziva usmeren je ka dobijanju stabilnih energetski bogatih jedinjenja koja mogu da se koriste samostalno (kao eksplozivi) i kao energetski dodaci drugim eksplozivima. Takođe, mogu se koristiti kao aditivi za barute i kompozitna raketna goriva poboljšavajući njihova energetska svojstva.

Sinteza eksploziva HNIW je složen proces, koji se sastoji od tri reakciona stepena, a u kojem se koriste skupi reagensi. S unapređenjem hemijskog procesa i cena ovog energetski izuzetno snažnog eksploziva doći će prihvatljiv nivo.

S obzirom na svoju povećanu osetljivost na mehanička dejstva, eksploziv CL-20 se flegmatizuje. Za to se koriste energetski polimeri, a za određene namene (povećanje energetskih performansi) dodaju se aluminijum i amonijumperhlorat, odvojeno ili zajedno.

Literatura

- [1] Anđelković-Lukić, M., *Tendencije razvoja brizantnih eksploziva*, Vojnotehnički glasnik, 6/1998, str. 681–690.
- [2] Explosives-nitramines, 2007.
- [3] Ilyin, V. P. i dr., *Thermoplastic explosive composition on the base of hexanitroheksaazaisowurtsitan*, VIII Zababahunski naučni skup, Snežinsk, 5–9. septembar 2005.
- [4] US Patent 20040221934 Wagstaff, Douglas C. (Kiddeminster, GB), 2004.
- [5] US Patent, 5693794, Nielsen A. Dec, 1997.
- [6] Nielsen, A. i dr., *Polyazapolycyclics by Condensation of Aldehydees with Amines 2. Formation of HNIW from Glioxsal and Benzylamines*, Journal of Organic Chemistry, vol.55, p1459–1466, 1990.

PRIMENA SREDSTAVA ZA ZAŠTITU OD KOROZIJE – PUT KA EKONOMIČNIJEM ODRŽAVANJU

Mr Stevan Jovičić, dipl. inž.,
Tehnički opitni centar

Rezime:

Radi smanjenja enormnog povećanja troškova održavanja letelica, naročito onih starije godine proizvodnje, potrebno je usvojiti odgovarajuću strategiju za rešavanje problema korozije. Ona se odnosi na upotrebu sredstava za zaštitu od korozije CPC (Corrosion Prevention Compound). U službi održavanja RV Australije istražuju se mogućnosti ovih sredstava kako bi se zaustavilo širenje korozije i omogućila upotreba letelica do vremena koje je planirano za njihovo održavanje.

Ključne reči: *naponska korozija, zaštitna sredstva, održavanje.*

APPLICATION OF CORROSION PREVENTION COMPOUNDS – BETTER COST-EFFECTIVE MAINTENANCE

Summary:

In order to reduce aircraft maintenance costs, particularly costs for repairing aircraft of older generations, it is necessary to adopt a relevant strategy for dealing with corrosion – application of corrosion preventive compounds (CPCs). The experiences of the Australian Air Force maintenance service concerning CPCs are given in the paper. Application of corrosion prevention compounds could postpone repair till predicted time for maintenance.

Key words: *stress corrosion, corrosion prevention compounds (CPC), maintenance.*

Uvod

Radi smanjenja enormnog povećanja troškova održavanja letelica, naročito onih starije godine proizvodnje, potrebno je usvojiti odgovarajuću strategiju. Jedna od važnih komponenti plana za rešavanje problema korozije jeste upotreba sredstava (Corrosion Prevention Compound) CPC, koja sprečavaju širenje korozije sve do redovnog servisa. U službama održavanja u RV Australije istražuju se upravo ove mogućnosti kako bi se zaustavio rast korozije i omogućila upotreba letelice do vremena koje je već ranije planirano za njeno održavanje.

Sredstva za zaštitu od korozije u vazduhoplovstvu se koriste dugi niz godina. Postupke primene ovih sredstava uglavnom su definisali proizvođači letelica, uputstvom za održavanje i to kao način da se pomogne u prevenciji korozije na određenim mestima na letelici. Međutim, usled nedostatka sredstava, zaštitna sredstva nisu uvek korišćena, a iskustvo iz prakse je pokazalo da fabrički nanosena zaštita ima ograničeno vreme trajanja u kome je letelica zaštićena od pojave korozije, ali i činjenica da se pojava korozije ne može izbeći. Trenutno je usvojeni pristup u većini službi održavanja takav da se korodirana površina uklanja čim se na nju naiđe ili se deo korodirane strukture letelice kompletno zameni. Ovakav pristup je svakako najbolji, ali i najskuplji i istovremeno utiče na to da je gotovost flote korisnika koji sprovodi ovakav vid održavanja na relativno niskom nivou.

U eri sve veće konkurencije na tržištu korisnik čija bi se služba održavanja bavila samo savršenim održavanjem svojih letelica ne bi imao šanse da ekonomski preživi. Takav prilaz održavanju doveo bi ga do toga da bi sve letelice koje ima u floti bile u izuzetno dobrom stanju uz samo jednu manu - sve vreme bi provodile u hangarima. Naravno, to ne znači da drugi ne održavaju svoja sredstva na zadovoljavajući način. Radi se o tome da se letelice koriste uz prihvatljiv rizik. Pristup treba da bude takav da se korodirane površine tretiraju nekim od sredstava za zaštitu od korozije i tako ostave do vremena predviđenog za servis. Dakle, funkcija sredstva za zaštitu jeste da uspore, ako ne i zaustave, dalje širenje korozije. Ovaj pristup zahteva detaljno znanje o prirodi korozije i brzini širenja oštećenja posle nanošenja sredstava za zaštitu. Ove informacije, nažalost, trenutno nisu dostupne, ali postoje brojni radovi, objavljeni u poslednje vreme, koji se bave ovom problematikom. U tabeli 1. navedena je lista problematičnih mesta na letelicama iz sastava RV Australije, na kojima se korozija najčešće javlja.

Tabela 1

Lista problematičnih mesta na letelicama na kojima se korozija najčešće javlja

Macchi	Repne horizontalne površine (naponska korozija)
C-130	Krila (naponska korozija)
F-111	Okov krila, spoj krila-trup sa strane gornjake (naponska korozija SCC i „pitting“ korozija)
F-18	Sklop horizontalnih komandnih površina (zadržavanje vlage)
P-39C	Poklopci na trupu (naponska korozija)
PC-9	Glavni stajni trap (korozija)

Iz dosadašnjeg iskustva se zna da primena sredstava za zaštitu umanjuje brzinu širenja korozije.

Priroda i vrste sredstava za zaštitu od korozije

Postoji zaista veliki izbor sredstava za zaštitu od korozije koja su dostupna na tržištu (tabela 2). Sredstva, uglavnom, imaju karakteristiku da u dodiru sa površinom metala odstranjuju prisutnu vlagu i formiraju meki ili tvrdi zaštitni film. Tačan hemijski sastav sredstava za zaštitu nije moguće u potpunosti saznati, jer predstavljaju tajnu proizvođača. Međutim, hemijskom analizom može se utvrditi da sadrže razne vrste ulja, alkoholne rastvore, rastvarače, aditive, inhibitore i druge agense.

Tabela 2

Sredstva za zaštitu od korozije koja su dostupna na tržištu

Rastvoriva u vodi koja obrazuju meki film	Rastvoriva u vodi koja obrazuju tvrdi film	Nerastvoriva u vodi koja obrazuju meki film	Nerastvoriva u vodi koja obrazuju tvrdi film
– LPS-2 – CRC 3-36 – CRC Protector 100 – Mobilarm 245 – WD 40 – Boeshield T-9 – Ardox 3961 – Ardox 3107	– AV-8	– Fluidfilm NAS – LPS-3	– Dinol AV-30 – ZipChem ZC-029 – Dinol AV-40 – LPS Procyon – Ardox 3322

U narednom delu rada predstavljeni su rezultati primene zaštitnih sredstava i iskustva iz službe održavanja RV Australije.

Naponska korozija

Za posmatranje je korišćen deo određenih geometrijskih osobina koji je dozvoljavao da faktor koncentracije napona K ostane konstantan dok raste dužina prskotine. Zbog toga je bilo moguće direktno pratiti efikasnost tretmana dela zaštitnom prevlakom, uz istovremeno praćenje rasta prskotine. Ispitni uzorak je izrađen, od materijala oznake AA7075-T651 i AA7079-T651, na taj način da je pravac prskotine bio u pravcu valjanja rolne lima, a opterećenje je uneto u poprečnom pravcu. Uzorci su zatim izloženi određenim uslovima (2 sata na 465°C, brzo ohlađeni u vodi, držani zatim 24 sata na temperaturi od 120°C i na kraju ohlađeni vazduhom), koji izuzetno pogoduju nastanku mikrostrukture koja je podložna nastanku naponske korozije. Uzorci su, zatim, izloženi uticaju slane magle. Porast oštećenja, odnosno rast prskotine, praćen je davačem (Linear Variable Displacement) koji je postavljen iznad pravca u kojem je delovalo opterećenje. Promene koje su beležene u funkciji vremena korišćene

su da bi se odredio prirast oštećenja u funkciji vremena. U trenutku kada je došlo do stabilizacije vrednosti porasta oštećenja naneta je zaštitna prevlaka i posmatran njen uticaj na brzinu rasta oštećenja.

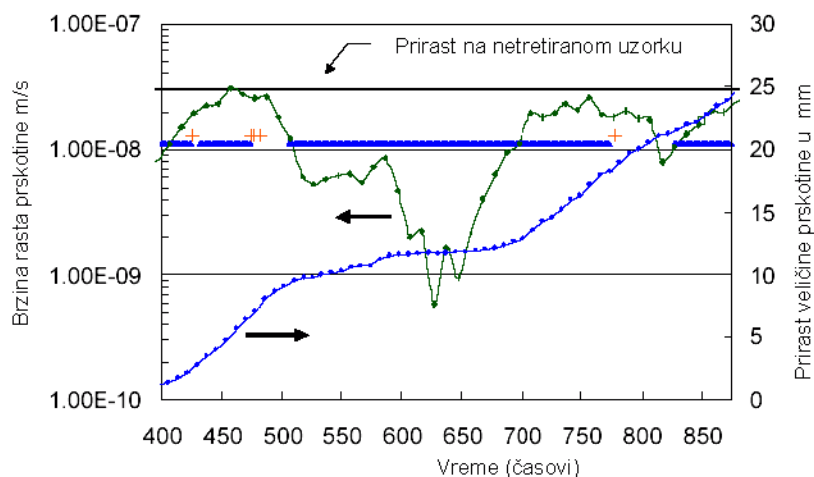
Površinska korozija

Za posmatranje ove vrste korozije korišćeni su paneli aluminijuma AA2024-T351 veličine 127 x 75 mm, isečeni od lima debljine 2 mm. Paneli su očišćeni, odmašćeni, uklonjen im je oksidni sloj upotrebom De-oxidine 624, nakon čega je na uzorke nanet film prozirnog fleksibilnog poliuretana. Površinska korozija inicirana je metodom iz DIN Standard 65472. Površinsko oštećenje inicirano je nanošenjem ogrebotine poprečno na pravac valjanja materijala. Uzorci su zatim bili izloženi uticaju hlorovodonične okoline u trajanju od jedan sat. Posle navedenog vremena uzorci su preneti u okolinu zasićenu sodium-hloridom, temperature 40°C. Porast korozije praćen je tehnikom optičke analize. Digitalne slike uzoraka uzimane su sekvencijalno i zatim upoređivane korišćenjem „HIN Image“ softvera. Ovom metodom je površina zahvaćena korozijom prikazana u različitim sivim tonovima, što omogućava precizno merenje korodirane površine od nekorodirane. Posle 10 dana na mesta oštećenja naneta je zaštitna prevlaka i nastavljeno posmatranje ponašanja uzoraka.

Rezultati ispitivanja naponske korozije

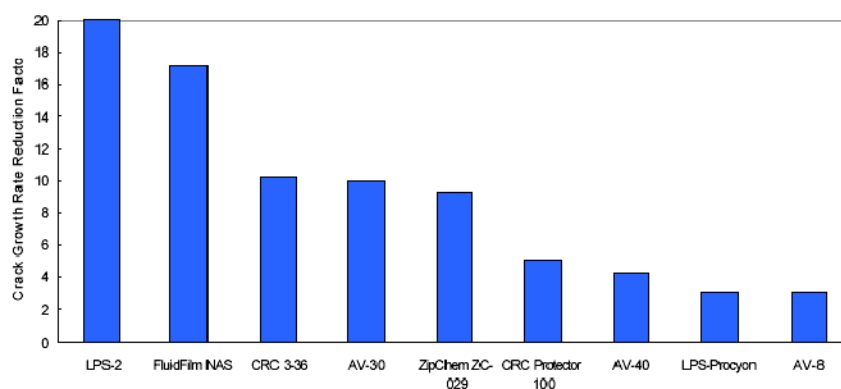
Tipičan primer rezultata koji se dobijaju ispitivanjem naponske korozije prikazani su na dijagramu (slika 1). Kao što se vidi, prskotina je posle pojave inicijalnog oštećenja počela brzo da raste do neke vrednosti kada je ušla u oblast stabilnog i konstantnog rasta za aluminijum AA7079-T351, približno $2,6 \times 10^{-8}$ m/s. Krstići na dijagramu označavaju trenutke u kojima je primenjeno zaštitno sredstvo LPS-2. Zadebljana linija pokazuje vreme kada su uzorci bili izloženi uticaju slane magle. Sa leve strane grafika prikazana je brzina rasta prskotine, a sa desne porast veličine prskotine. Horizontalna linija na vrednosti od ispod 1×10^{-7} pokazuje vrednosti prirasta oštećenja na netretiranom uzorku. Prvo nanošenje zaštitnog sredstva urađeno je posle 425 časova, a zatim je uzorak bio 6 časova bez uticaja slane magle. Vidi se da ne postoji promena u veličini brzine prirasta oštećenja, a i samo oštećenje ima tendenciju rasta kao i pre nanošenja zaštitnog sredstva. Moguće je da je ovakav rezultat uzrokovan malom količinom sredstva koje je naneto na površinu ispitivanog uzorka. Dva dana kasnije, posle 472 časa od početka eksperimenta, naneta su tri sloja zaštite. Rezultat je bio uočljiv. Brzina prirasta oštećenja počela je da opada. Zaštitno dejstvo trajalo je oko 180 časova, posle čega je oštećenje ponovo počelo da se širi, ali

je sve vreme bilo ispod nivoa netretiranog uzorka. Uočljivo je da je zaštitni faktor bio u velikoj meri zavisen od perioda kada je posle nanošenja zaštitnog sredstva uzorak bio na normalnim uslovima, to jest do kada je ponovo bio izložen uticaju slane magle.



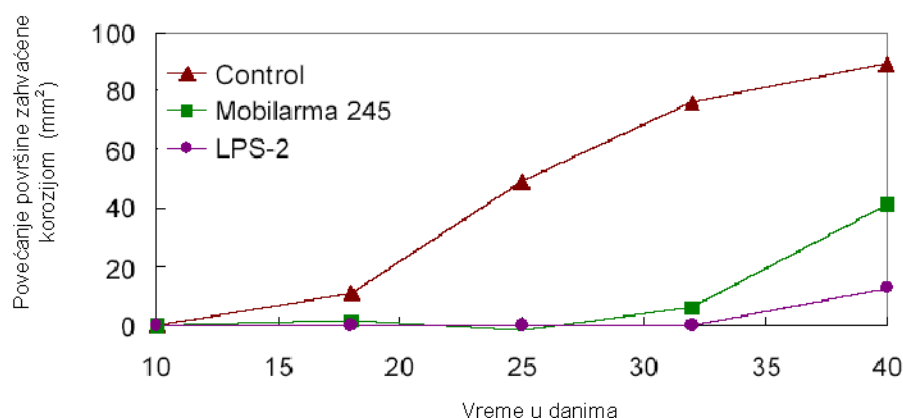
Slika 1 – Dijagram brzine rasta prskotine i primene zaštitnih prevlaka

Slična istraživanja izvršena su sa nekoliko vrsta zaštitnih sredstava. Prosečni redukcionni faktor brzine porasta prskotine izračunavan je za svaku od zaštitnih prevlaka. Rezultati pokazuju da je primenom bilo kojeg od zaštitnih materijala ostvareno smanjenje brzine prirasta prskotine. Na slici 2 prikazani su dobijeni rezultati sa različitim vrstama zaštitnih prevlaka, pri uticaju slane magle i sile zatezanja na uzorak izrađen od aluminijuma AA7075-T6.



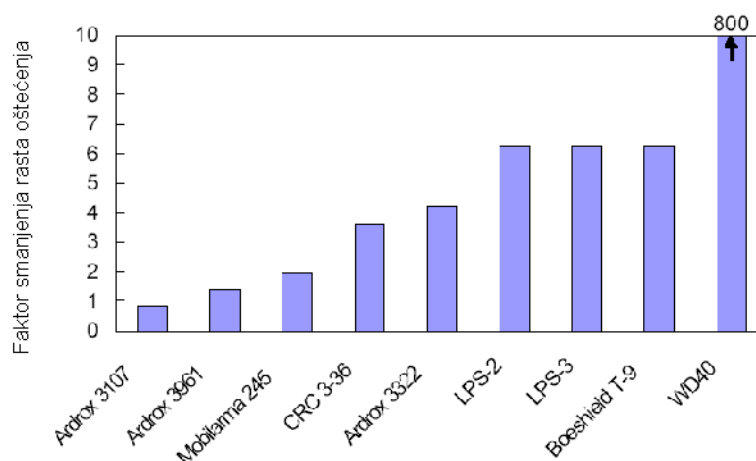
Slika 2 – Faktor smanjenja širenja prskotine

Na slici 3 prikazani su rezultati dobijeni analizom pojave površinske korozije na netretiranom uzorku panela i panelu koji je tretiran nekom zaštitnom prevlakom posle desetodnevnog izlaganja uticaju kontrolisane okoline. Zaštitna sredstva bila su Mobilarna 245 i LPS-2. Oba sredstva pokazala su zadovoljavajuće rezultate, zaustavljajući širenje površinske korozije u roku od 25 dana od dana nanošenja.



Slika 3 – Povećanje korodirane površine

Na slici 4 prikazani su faktori smanjenja korozije (redukcije) za različite zaštitne prevlake. Rezultati pokazuju da redukcionni faktori imaju vrednost između 4 i 6 za većinu zaštitnih sredstava, osim za sredstvo WD-40. Vrednosti faktora približniji su realnosti ukoliko se uzimaju u dužim intervalima.



Slika 4 – Faktor smanjenja širenja oštećenja

Zaključak

Sprovedena istraživanja pokazala su da su zaštitna sredstva efikasna u smanjenju brzine širenja različitih vidova korozije. Sredstva su se pokazala posebno efikasnim u vremenu koje sledi neposredno nakon primene. U većini slučajeva brzina širenja korozije smanjena je i do 10 puta. Međutim, posle isteka određenog vremena sredstva gube svoje zaštitne karakteristike i brzina širenja korozije se vraća na nivo pre primene zaštitnih prevlaka.

U slučajevima naponske korozije vreme zaustavljanja rasta ili njegovog značajnog usporjenja traje oko 7 dana, dok u slučaju površinske korozije taj period iznosi oko 20 dana. Ponovno nanošenje zaštitnih sredstava na već postojeći film dovodi do još boljih rezultata. Primećeno je da je efikasnost zaštitnih sredstava veća ukoliko se posle njihovog nanošenja letelica neko vreme nalazi u hangaru, kako bi zaštitno sredstvo formiralo zaštitni film. Činjenica je da prskotina koja se javila usled korozije i opterećenja nastavlja da se širi, ali smanjenom brzinom. Posle nekog vremena sa porastom prskotine nestaje i zaštitni film koji se formirao tako da oštećenje nastavlja da se širi istom brzinom kao i pre tretmana. Može se zaključiti da je upotreba sredstava za zaštitu u svakom slučaju dala pozitivne efekte i odložila slanje letelica na popravku do prvog redovnog servisa, prema redovnom planu održavanja.

Literatura

[1] Salgaris, M., Bushell, P. G., Trathen, P. N., Hinton, B. R. W., *The use of corrosion prevention compounds for arresting the growth of corrosion in aluminium alloys*, Defence Science and Technology Organisation, Australia.

SIMULACIONI MODEL REŠAVANJA TAKTIČKIH SITUACIJA I ETIČKIH IZAZOVA U TOKU MARŠEVANJA JEDINICE

Potpukovnik mr Srećko Kuzmanović,
Vojna akademija

Rezime:

Simulacioni modeli imaju veliku perspektivu primene u osposobljavanju pojedinaca, jedinica i komandi Vojske Srbije tokom procesa školovanja i obuke. U članku je ponuđen jedan od mogućih oblika primene simulacionog modela u toku marševanja jedinice, u kojem se rešavaju taktičke situacije i etički izazovi, a koji može biti primenljiv u toku školovanja i obuke oficirskog kadra Vojske Srbije.

Ključne reči: simulacioni model, taktičke situacije, etički izazovi, marševanje jedinice, programiranje.

SIMULATION MODEL FOR SOLVING TACTICAL SITUATIONS AND ETHICAL CHALLENGES DURING MARCHING OF MILITARY UNITS

Summary:

Simulation models can be widely applied in training individuals, units and commanding units of the Serbian Army during the process of military education and training. The simulation model offered in the paper can be applied during marching of military units in order to solve tactical situations and ethical challenges. It can be also used for military education and training of the officers of the Serbian Army.

Key words: Simulation model, tactical situations, ethical challenges, marching of military units, programming.

Uvod

U savremenom svedimenzionalnom oružanom sukobu teži se postizanju političkih, ekonomskih i drugih ciljeva oružanim i neoružanim sredstvima. U takvim uslovima povećan je značaj ne samo obučenosti i osposobljenosti oficirskog kadra za izvršavanje namenskih zadataka već i moralnih činilaca koji bitno utiču na psihu vojnih lica.

Pored savremene ratne tehnike koja je u poslednjih nekoliko decenija doživela pravu ekspanziju u svim domenima i oblicima, nikako se ne sme potceniti značaj ljudskog faktora (naročito profesionalnih oficira), kao veoma bitnog činioca oružanih sukoba. Oficiri moraju posedovati određene kvalitete i ispunjavati zahtevane uslove koji se ogledaju u njihovoj sposobnosti da planiraju, organizuju i realizuju borbena dejstva uz posedovanje visokog borbenog morala. Ovako složene zahteve mogu da ispune samo osposobljeni pojedinci i komande, pa je zbog toga neophodno da se svakodnevno kreativno radi na osmišljavanju inovativnih pristupa koji će odgovoriti ovom izazovu. Činjenica da su vojnici onakvi kakvi su oficiri nameće obavezu da se njihovom školovanju i obučavanju mora posvetiti puna pažnja. Jedan od mogućih načina povećanja osposobljenosti oficirskog kadra jeste u sveobuhvatnijoj integrativnoj primeni simulacionih modela, koji se u našoj vojsci, nažalost, nalaze u početnoj fazi razvoja.

Simulacioni model marševanja jedinice

Radi potpunijeg, preciznijeg, razumljivijeg i sveobuhvatnijeg sagledavanja simulacionog modela marševanja jedinice biće definisani određeni pojmovi.

1. Modeliranje je proces kojim se uspostavlja veza između realnog sistema i modela, dok je **simulacija** proces koji uspostavlja relaciju između modela i računara. U najširem smislu, modeliranje predstavlja isplativo (u smislu troškova) korišćenje modela umesto realnog sistema, sa ciljem da se dođe do određenog saznanja. Rezultat modeliranja je model. On predstavlja uprošćenu i idealizovanu sliku realnosti i osnovna je pretpostavka simulacije.

Pri izradi nekog simulacionog modela neophodno je pridržavati se određenih uputstava:

1. Granica sistema sa okolinom mora biti odabrana tako da sistem, odnosno njegov model, obuhvata samo fenomene od interesa.
2. Modeli ne smeju biti suviše složeni i detaljni, već treba da sadrže samo relevantne elemente sistema; suviše složene i detaljne modele gotovo nije moguće vrednovati ni razumeti.
3. Model ne sme suviše da pojednostavi problem.
4. Model je razumno rastaviti na više dobro definisanih i jednostavnih modula sa tačno određenom funkcijom, koje je lakše izgraditi i proveriti.
5. U razvoju modela preporučuje se korišćenje neke od proverenih metoda za razvoj algoritama i programa.
6. Potrebna je provera logičke i kvantitativne ispravnosti modela, kako pojedinačnih modula, tako i celog modela. Kod modela koji uključuju slučajne promenljive to znači i primenu odgovarajućih statističkih tehnika.

Reč simulacija u svakodnevnoj upotrebi može da označi veći broj različitih aktivnosti, kao što je, na primer, izrada složene video igre, ispitivanje uticaja brojnih faktora na let novih modela aviona ili kao deo eksperimenata u socio-psihološkim istraživanjima. Kada reč koriste računarski stručnjaci, organizatori, menadžeri ili statističari, obično pod simulacijom podrazumevaju proces izgradnje apstraktnih modela za neke sisteme ili podsisteme realnog sveta i obavljanje većeg broja eksperimenata nad njima. Posebno je interesantan slučaj kada se ti eksperimenti odvijaju na računaru. Tada govorimo o računarskom modeliranju i simulaciji.

U današnje vreme potrebe za simulacijom su sve izraženije, jer je eksperiment nad realnim sistemom neizvodljiv, skup ili suviše složen da bi se opisao analitički, jer se mogu menjati parametri modela, kao i zbog toga što je moguće zaustaviti dalje odvijanje eksperimenta, kako bi se ispitale vrednosti svih parametara u tom trenutku.

Simulacija se može primenjivati za:

- proučavanje i eksperimentisanje (koje uzima u obzir sveukupne interakcije složenog sistema ili podsistema unutar složenog sistema),
- simuliranje informacione i organizacione promene ili promene u okruženju i, ujedno, posmatranje efekata tih promena na ponašanje modela,
- poboljšanje sistema koji se ispituje,
- saznanje o tome koje su promenljive sistema najvažnije i kako utiču jedna na drugu,
- za eksperimentisanje sa novim koncepcijama ili politikama pre njihove implementacije,
- za verifikaciju analitičkih rešenja ili kao pedagoško sredstvo.

Prednosti korišćenja simulacionih modela su:

- višestruko korišćenje istog modela,
- pomoć pri analizi i nepotpunim ulaznim podacima,
- ekonomska prihvatljivost,
- lakša primena,
- manje pojednostavljenih pretpostavki,
- ponekad jedna solucija,
- modeliranje složenih dinamičkih sistema sa slučajnim varijablama.

Nedostaci primene simulacionih modela su:

- cena,
- vreme,
- neophodan veći broj simulacionih eksperimenata,
- ne dobijaju se zavisnosti izlaznih varijabli od ulaznih,
- nema optimalnih rešenja,
- neophodno je poznavanje više metoda i alata,
- složeno vrednovanje modela.

2. Pod izazovom (challenge) u Oksfordskom englesko-engleskom rečniku podrazumeva se poziv da se uzme udeo u određenom takmičenju, duelu; poziv da se dokaže ili opravda nešto, ili težak zadatak. Engleska

odrednica *challenge* označava obavezu reagovanja, poziv na odgovor, a određuje se i kao nešto potencijalno, što postoji u najširem obliku i izaziva pažnju i potrebu da se prati. Izazovi su mogući potencijalni oblici ugrožavanja bezbednosti, koji su najudaljeniji od objekta bezbednosti i izvorište su rizika i pretnji čija je početna vrednost neutralna, ali zavisno od reagovanja na nju može da ima pozitivan predznak (u slučaju razrešenja) ili negativan (u slučaju daljeg prolaska kroz rizike i pretnje). Njihova širina uticaja ogleđa se kroz brojne dimenzije bezbednosti (političke, ekonomske, socijalne, ekološke, vojno bezbednosne). Kada se izazovima ne posveti odgovarajuća pažnja i izostanu reakcije na njegova dejstva, može se pretvoriti u rizike i pretnje čiji je uticaj na objekat bezbednosti neposredniji i štetniji.

3. Etika (grč. *Qoq- ethos* - običaj) predstavlja disciplinu ili granu filozofije, refleksiju o moralnosti, o pojavama i procesima koji su moralno relevantni. Ova filozofska disciplina ispituje zasnovanost i izvore morala, osnovne kriterijume za vrednovanje celokupnog ljudskog ponašanja i opšte ciljeve i smisao moralnih htenja i delovanja. Ispituje filozofske pretpostavke i kriterijume moralnih normi, njihovu društvenu i idejnu zasnovanost. Bavi se čovekovim željama i ponašanjem sa stanovišta dobra ili zla, moralnosti i nemoralnosti.¹ Termin etika (*Qoq- ethos* - običaj) grčkog je porekla, vezuje se za Aristotela i predstavlja oznaku za posebnu nauku. Etika je kroz svoju istoriju mnogim moralnim problemima prilazila na različite načine. Tako je svaka filozofija odgovarala na etička pitanja u skladu sa svojim temeljnim ontološkim i gnoseološkim opredeljenjima. Ali, glavni objekat ispitivanja uvek su bili izvori morala, zatim svrha, cilj i smisao moralnog htenja i delovanja. Na tim temeljima filozofija morala suočila se sa problemima i kategorijama, kao što su: dobro uopšte, najviše dobro, blaženstvo, sreća, duševni mir, smisao čovekovog postojanja, životne moralne vrednosti, ličnost, moralne dužnosti, svest, savest, moralna odgovornost i zaslug, sloboda volje, apsolutnost i relativnost moralnih normi, itd.

4. Etički izazovi najbolje se mogu razumeti kroz prizmu sagledavanja i rešavanja moralnih dilema. Jedan od najčešće primenljivih postupaka opisan je u sedam narednih koraka:

1. Jasno definisati dilemu – pitanje. Šta učiniti ili ne učiniti? Dilemu pretvoriti u jasno pitanje: šta učiniti ili ne učiniti?

2. Ko je sve umešan? Uvek si ti. Ali kao posledice nemoralne odluke ko bi sve trpeo posledice.

3. Ko donosi odluku? Ja. Ako nije tako vraća se na prvo pitanje, jer nije dobro definisano. Nema podele odgovornosti. Ako je ima vrati se na prvi korak.

4. Da li su mi potrebne dodatne informacije (o tome šta mogu da budu posledice) da učinim pravi korak? Obrazloženje: dobijaš na vremenu, dobijaš helikopterski ugao gledanja. U 90–100% ne dobijaš odgovor, ali te to pitanje čini više introspektivnim.

¹ V. Pavićević, *Osnovi etike*, Kultura, Beograd, 1967, str 83.

5. U relaciji sa drugim korakom. Kada se sve pobroji, sa jedne i druge strane izabrati najteži argument. Kod svakog argumenta navesti da li je principijelni ili je posledični. Nije realno da su samo jedni argumenti (principijelni ili posledični) na jednoj strani.

6. Šta je moja konačna odluka posle analize?

7. Kako se osećam posle donošenja odluke? Osećam se dobro. To je to. Osećam se loše. Ako se osećaš loše vrati se na peti korak. Ako se osećaš loše nikako ne ostani na tome: „Ne budi ubica svoga srca“. Vрати se na peti korak. Loša osećanja su, uglavnom, vezana za povređivanje drugih ljudi.²

Pored navedenog algoritma za rešavanje moralnih dilema, još validniji ali ujedno i složeniji postupak je da se umesto pomenutog petog koraka, nakon nabiranja svih argumenata za i protiv oni i ponderišu na skali od jedan do deset (gde je jedan najmanje važan, a deset najznačajniji argument). Na ovaj način izbegavamo mogućnost greške zbog odmeravanja dva najsnažnija argumenta suprotnog predznaka, jer se može desiti situacija da imamo samo jedan argument srednje vrednosti i mnoštvo argumenata sa suprotne strane, čija je svaka pojedinačna apsolutna vrednost nešto manja, pri čemu bi nepravdano prevagu dobio usamljeni argument. I bez ovakve promene verovatno bi sedmi poslednji korak signalizirao da zbog loših osećanja nije doneta ispravna odluka, pa bi se nepotrebno gubilo vreme u ponovnom vraćanju na peti korak.

Prvobitno navedeni algoritam rešavanja moralnih dilema u sedam koraka ima još jedan nedostatak koji se ogleda u postojanju mogućnosti da i posle detaljno sprovedenih prvih šest koraka donosilac odluke nema pozitivna osećanja o svojim postupcima, pa i nakon ponovnog vraćanja na peti korak može doći do nepromenjene situacije, što bi moralnu dilemu učinilo pravom noćnom morom. Ovo je argument više za neophodno uvođenje ponderisanja. Ako bi se i tada u sedmom koraku javio osećaj nepotpunog zadovoljstva donetom odlukom, to nam samo potvrđuje da je doživljena prava moralna dilema, jer da nije tako, bez velikog promišljanja bi se odavno došlo do rešenja.

5. Marševanje je borbena radnja kojom se jedinice, organizovano u punoj borbenoj gotovosti i u skladu sa predstojećim zadatkom, premeštaju iz jednog rejonu u drugi. Jedinice mogu da se kreću, pored marševanja, prevoženjem i kombinovano. U zoni neprijateljevog osmatranja i uspešnog dejstva jedinica se kreće u raščlanjenom rasporedu, čime se smanjuje njena osetljivost na artiljerijske, avijacijske i nuklearno-hemijske udare i obezbeđuje brz manevar i razvoj.³

² Th. A. Van Baarda, D.E.M. Verweij, *Military Ethics a Practical Guide*, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 2006, pg. 58.

³ Pravilo bataljon (pešadijski, motorizovani, brdski, planinski, partizanski i momaričke pešadije), SSNO, Beograd, 1988, str. 219.

6. U ovom simulacionom modelu biće sagledane sledeće **taktičke situacije** na koje se može naići u toku marševanja jedinice: napad iz vazdušnog prostora neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije; helikopterski napad; zaseda; zaprečavanje grupama protivtenkovskih mina; neprijateljeva zaprečna artiljerijska vatra; kontaminirano zemljište; nailazak na porušeni most i zarušeni tunel; otkazi motornih vozila tokom marša; nailazak na letke neprijateljske sadržine; slušanje neprijateljske radio-stanice; širenje glasina; posledice gubitaka ljudstva; posledice nestanka hrane, vode, goriva ili municije; zarobljavanje neprijateljevih vojnika.

Algoritam simulacionog modela i postupanje u različitim taktičkim situacijama i etičkim izazovima

Dubinski intervju algoritma simulacionog modela i postupanja u različitim taktičkim situacijama i etičkim izazovima u toku marševanja jedinice realizovan je u decembru i januaru 2007/2008. godine. U ovom intervjuu učestvovali su: puk. dr Vojislav Đorđević, puk. doc. dr Borislav Grozdić, puk. dr Budiša Kostić, puk. Mile Jelić, puk. Nikola Guzina, puk. Miodrag Marković, puk. Živko Perić, p. puk. Branko Šipka, p. puk. Dejan Randelović, p. puk. Zlate Veličković, p. puk. Zoran Knežević, p. puk. Marko Zeleznović, p. puk. Predrag Puhača, p. puk. Radmilo Kravić, p. puk. Roberto Dela Kroče, p. puk. Slobodan Dimovski. Na osnovu rezultata intervjua sa ovim ekspertima iz različitih oblasti (upotreba pešadijskih, artiljerijskih, oklopnih, avijacijskih, ABHO jedinica, saobraćajnog, obaveštajnog obezbeđenja i logistike), od kojih su neki bili i komandanti jedinica nivoa bataljona-divizionara ili brigade, kao i analizom sadržaja obimne pisane građe o datoj oblasti, moglo se zaključiti da bi optimalni simulacioni model rešavanja različitih taktičkih situacija i etičkih izazova u toku marševanja jedinice mogao da bude osmišljen po sledećem algoritmu:

1. Logo Vojne akademije.
2. Lični podaci učesnika simulacionog modela.
3. Izbor jedinice (pešadijska, mehanizovana, motorizovana ili artiljerijska), kao i dužnosti (komandir voda, komandir čete-baterije ili komandant bataljona-divizionara).
4. Slika i ti podaci osnovnih sredstava koji se nalaze u odabranoj jedinici, a najviše se koriste tokom marša.
5. Organizacijsko-formacijska struktura imenovane jedinice.
6. Izvod iz operativnog naređenja (naređenja) pretpostavljenog.
7. Izdavanje naređenja potčinjenim jedinicama.
8. Formiranje borbenog rasporeda za marš.
9. Pokret jedinice.
10. Postupanje u različitim taktičkim situacijama (napad iz vazdušnog prostora neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije; helikopterski

napad; zaseda; zaprečavanje grupama protivtenkovskih mina; neprijateljeva zaprečna artiljerijska vatra; kontaminirano zemljište; nailazak na porušeni most i zarušeni tunel; otkazi motornih vozila tokom marša; nailazak na letke neprijateljske sadržine; slušanje neprijateljske radio-stanice; širenje glasina; posledice gubitaka ljudstva; posledice nestanka hrane, vode, goriva ili municije; zarobljavanje neprijateljevih vojnika).

Napad iz vazdušnog prostora neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije

Radio-talas javljanja i obaveštavanja najavljuje nailazak male grupe neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije iznad naše marševske kolone (dva aviona za vodove, čete-baterije, a četiri aviona za bataljon-divizion). Očekivano vreme naleta avijacije je 20 minuta za vodove, 30 za čete-baterije i 50 minuta za bataljon-divizion. Neprijatelj nema prevlast u vazдушnom prostoru. Doba godine – proleće.

Tabela 1

Efekti dejstva neprijateljeve avijacije na mehanizovani bataljon na maršu

TAKTIČKI POSTUPAK KATEG. PUTA	KOLONA SE ZAUSTAVLJA I MASKIRA		POVEĆAVA SE BRZINA I ODSTOJANJE		NASTAVLJA SE KRETANJE	
	DAN	NOĆ	DAN	NOĆ	DAN	NOĆ
I KATEGORIJA PUTA PRIKRIVENO ZEMLJIŠTE	x	x	1% ljudi 2% vozila	x	1,5% ljudi 3%vozila	x
II KATEGORIJA PUTA PRIKRIVENO ZEMLJIŠTE	x	x	0,5% ljudi 1% vozila	x	1% ljudi 2%vozila	x
III KATEGORIJA PUTA PRIKRIVENO ZEMLJIŠTE	x	x	x	x	x	x
I KATEGORIJA PUTA OTKRIVENO ZEMLJIŠTE	4% ljudi 8% vozila	3% ljudi 6% vozila	2% ljudi 4% vozila	1,5% ljudi 3%vozila	3% ljudi 6%vozila	2% ljudi 4% vozila
II KATEGORIJA PUTA OTKRIVENO ZEMLJIŠTE	3% ljudi 6% vozila	x	1,5% ljudi 3% vozila	1% ljudi 2%vozila	2% ljudi 4%vozila	1,5% ljudi 3% vozila
III KATEGORIJA PUTA OTKRIVENO ZEMLJIŠTE	2% ljudi 4% vozila	x	1% ljudi 2% vozila	x	1% ljudi 2%vozila	x

Ovi efekti dejstva su duplo manji za pešadijski bataljon, a duplo veći za tenkovski bataljon i artiljerijski divizion (iz razloga što su ove jedinice unosniji ciljevi). Efekti dejstva kod četa-baterija su duplo veći, a kod vodova četiri puta

veći. Oni se odnose na poginule i teško ranjene vojnike, uništena i teško oštećena vozila. Na svakog poginulog i teško ranjenog vojnika dolazi jedan lakše ranjeni vojnik kod tenkovskih jedinica, 2 kod artiljerijskih, 3 kod mehanizovanih i 5 lakše ranjenih vojnika kod pešadijskih jedinica. Na svako uništeno i teže oštećeno vozilo dolazi jedno lakše oštećeno vozilo kod tenkovskih jedinica, 2 kod artiljerijskih, 3 kod mehanizovanih i 5 kod pešadijskih jedinica.

Otklanjanje posledica dejstva neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije (helikopterskog napada i zasede) vezuje se za efekte dejstva, tako što se saberu procenti poginulih i teško ranjenih vojnika sa procentom uništenih i teško oštećenih vozila i množi se sa 2 za tenkovske jedinice, 2,5 za artiljerijske, 3 za mehanizovane i 5 za pešadijske jedinice. Dobijeni broj predstavlja vreme izraženo u minutima.

U slučaju da je starešina jedinice shvatio da je doneo pogrešnu odluku po pitanju izbora optimalne maršrute i da je neophodno da se vrati nazad istim putem za 180 stepeni, potrebno je uračunati vreme izraženo u minutima, koje će kolona utrošiti za taj zaokret.

Tabela 2

Utrošak vremena (izraženog u minutima) za zaokret kolone na putu za 180 stepeni

JEDINICA		TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA		MEHANIZOVANA		PEŠADIJSKA	
JEDINICA	PROHODNOST ZEMLJIŠTA	Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
VOD	Bolje prohodno	5	10	5	10	10	15
	Lošije prohodno	10	15	10	15	15	25
ČETA- BATERIJA	Bolje prohodno	15	25	20	30	30	45
	Lošije prohodno	25	35	30	40	40	60
BATALJON- DIVIZION	Bolje prohodno	45	60	55	70	70	100
	Lošije prohodno	60	90	70	100	90	130

U slučaju napada iz vazdušnog prostora neće biti utroška municije, jer će neprijateljevi avioni leteti na visinama višim od efikasnog dometa naoružanja naših jedinica.

Helikopterski napad

Ova taktička situacija identična je napadu neprijateljeve lovačko-bombarderske avijacije, ali se razlikuje:

- u očekivanom vremenu naleta helikoptera koji je kraći i iznosi za vodove 10, čete-baterije 20 i bataljone-divizione 40 minuta (jer će helikopteri leteti na visinama do 50 metara, pa će kasije biti otkriveni),
- gubici naših jedinica na maršu veći su za 20%.

Proračun utroška municije naših jedinica u slučaju helikopterskog napada neprijatelja izražen je u tabeli 3.

Tabela 3

Proračun utroška municije pri helikopterskom napadu neprijatelja

JEDINICA	TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA				MEHANIZOVANA				PEŠADIJSKA	
	Dan		Noć		Dan		Noć		Dan	Noć
	Top	Mit.	Top	Mit.	Top	Mit.	Top	Mit.		
VOD	0%	25%	0%	35%	25%	25%	35%	35%	20%	30%
ČETA- BATERIJA	0%	20%	0%	25%	20%	20%	25%	25%	15%	20%
BATALJON- DIVIZION	0%	10%	0%	15%	10%	10%	15%	15%	7,5%	10%

Zaseda

Zaseda jačine ojačanog odeljenja biće češće organizovana na putevima prve kategorije (asfaltirani put), ređe na putevima druge kategorije (bolji makadamski) i vrlo retko na putevima treće kategorije (lošiji makadamski). Efekti dejstva neprijateljeve zasede na našu jedinicu u toku marša prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4

Efekti dejstva neprijateljeve zasede na našu jedinicu u toku marša

JEDINICA	TENKOVSKA		MEHANIZOVANA I PEŠADIJSKA		ARTILJERIJSKA	
	Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
BATALJON- DIVIZION	0,3% ljudi 0,6% vozila	0,4% ljudi 0,8% vozila	0,3% ljudi 1% vozila	0,4% ljudi 1,3% vozila	1,5% ljudi 3% vozila	2% ljudi 4% vozila
ČETA- BATERIJA	2% ljudi 4% vozila	2,5% ljudi 5% vozila	2% ljudi 6% vozila	2,5% ljudi 8% vozila	5% ljudi 10% vozila	6,5% ljudi 13% vozila
VOD	8% ljudi 16% vozila	10% ljudi 20% vozila	9% ljudi 27% vozila	12% ljudi 36% vozila	13% ljudi 27% vozila	18% ljudi 36% vozila

Verovatnoća uništenja jednog tenka je 50%, a efekti dejstva u noćnim uslovima uvećavaju se kod svih jedinica za 30%. Kod mehanizovanih, artiljerijskih i pešadijskih jedinica verovatnoća uništenja jednog vozila je 80%. Proračun efekta dejstva nad ljudstvom izrađuje se na osnovu brojnog stanja ljudi u vozilu, efikasnosti uništenja vozila i stepena njegove zaštite.

U 15% slučajeva u dnevnim i 5% u noćnim uslovima zasedu će otkriti marševsko osiguranje (ako čelnu patrolu-odeljenje-odred borbenim rasporedom predvidi komandir – komandant marševske jedinice), a samim tim neće biti efekata dejstva po jedinicu, izuzev jednog vojnika iz sastava marševskog osiguranja pešadijske jedinice koji će biti ranjen u sukobu sa neprijateljevom zasedom (kod tenkovskih, mehanizovanih i artiljerijskih jedinica nema gubitaka). Vreme potrebno za neutralisanje otkrivene neprijateljeve zasede je 15 minuta za tenkovske, 20 za artiljerijske, 30 za mehanizovane i 40 minuta za pešadijske jedinice.

Mere koje starešina jedinice može da preduzme na pravovremenom otkrivanju neprijateljeve zasede i sprečavanju njihovog dejstva po marševskoj koloni (pored formiranja marševskog osiguranja) jesu:

– preko pretpostavljenog starešine može da utiče na raspored 8 teritorijalnih vodova (u ulozi stalnog bočnog osiguranja) koji će se locirati na mestima koje odredi starešina u skladu sa njegovom procenom gde bi neprijatelj realno mogao da postavi zasede na predviđenom marševskom pravcu. Teritorijalni vodovi imaju zadatak da obezbede nesmetan prolazak marševske kolone 3 kilometara levo i 3 kilometara desno od njihove određene lokacije sa obe strane puta (ako je u tom rejonu neprijatelj postavio zasedu ili grupu protivtenkovskih mina smatra se da će zaseda biti blagovremeno otkrivena i uništena, a mine razminirane);

– preko pretpostavljenog starešine može da utiče (komandant bataljona lično određuje) gde će se uputiti 5 jedinica (svaka sastava dva pešadijska odeljenja sa TAM-om 150 za pešadijsku jedinicu, jedno mehanizovano odeljenje sa BVP-om M-80 za mehanizovanu jedinicu) iz sastava glavnine bataljona-divizion. Jedinice se upućuju 120 minuta pre otpočinjanja marševanja i obezbeđuju rejon od jednog kilometra levo i desno od njihove određene lokacije sa obe strane puta, pri čemu njihove aktivnosti nisu usmerene na pronalaženje i razminiranje grupa protivtenkovskih mina. U 15% slučajeva u dnevnim i 5% u noćnim uslovima zasedu će otkriti marševsko osiguranje, a samim tim neće biti efekata dejstva po jedinicu, izuzev jednog vojnika iz sastava marševskog osiguranja pešadijske jedinice koji će biti ranjen u sukobu sa neprijateljevom zasedom (kod tenkovskih, mehanizovanih i artiljerijskih jedinica nema gubitaka). U slučaju da ove jedinice naiđu na grupu protivtenkovskih mina doći će do određenih efekata dejstva, što je opisano u narednom poglavlju (zaprečavanje), ali ta jedinica neće biti u mogućnosti da obezbedi rejon od jednog kilometra levo i desno od njihove određene lokacije sa obe strane puta.

Proračun utroška municije naših jedinica u slučaju nailaska na neprijateljevu zasedu izražen je u tabeli 5.

Tabela 5

Proračun utroška municije pri nailasku na neprijateljevu zasedu

JEDINICA	TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA				MEHANIZOVANA				PEŠADIJSKA	
	Dan		Noć		Dan		Noć		Dan	Noć
	Top	Mit.	Top	Mit.	Top/ Mit.	Strelj.	Top/ Mit.	Strelj.		
VOD	15%	30%	20%	40%	30%	30%	40%	40%	30%	40%
ČETA- BATERIJA	5%	10%	7,5%	15%	15%	15%	20%	20%	15%	20%
BATALJON- DIVIZION	2%	4%	3%	5%	5%	5%	7,5%	7,5%	5%	7,5%

Otklanjanje posledica dejstva neprijateljeve zasede nije vezano za veličinu jedinice već za vrstu jedinice i za pešadijske jedinice danju iznosi 45, a noću 60 minuta; za mehanizovane i artiljerijske jedinice danju 30, noću 45 minuta; za tenkovske jedinice danju 20, a noću 30 minuta.

Zaprečavanje grupama protivtenkovskih mina

Neprijatelj će najčešće izvoditi zaprečavanje grupama protivtenkovskih mina na putevima druge i ređe na putevima prve i treće kategorije. Na putevima prve kategorije protivtenkovske mine će se postavljati na asfaltu i prekrivati sitnim granjem ili kartonskim kutijama. Ovako postavljene mine će stopostotno otkrivati marševsko osiguranje (kako u dnevnim, tako i u noćnim uslovima), a za njihovo uklanjanje i uništavanje neophodno je izdvojiti 30 minuta u dnevnim i 40 u noćnim uslovima (za to vreme se marševskoj koloni daje zastanak). Na putevima druge i treće kategorije (bolji i lošiji makadamski put) protivtenkovske mine je nemoguće otkriti osmatranjem marševskog osiguranja, dok će u 25% slučajeva meštani ili predstavnici organa lokalne samouprave uočiti neobične aktivnosti nepoznatih ljudi na putu i o tome izvestiti starešinu marševske jedinice koji može preduzeti sledeće aktivnosti:

- nastaviti sa kretanjem, pri čemu će jedno od prva dva vozila aktivirati protivtenkovsku minu koja će uništiti kamion (jedan vojnik poginuo i dva ranjena), oklopni transporter ili „gvozdiku“ (ranjena dva vojnika) ili oštetiti tenk (ranjen jedan vojnik),
- izvršiti delimično pretraživanje i razminiranje naznačene deonice puta u trajanju od 45 minuta (neće uspeti da otkrije sve postavljene mine, pa će se gubitak ponoviti),
- izvršiti detaljno pretraživanje i razminiranje naznačene deonice puta u trajanju od 150 minuta danju i 210 noću, pri čemu će uspeti da otkrije sve postavljene mine neće biti gubitaka.

Kada neko od vozila iz sastava marševskog osiguranja aktivira protivtenkovsku minu, starešina jedinice može da se opredeli za jednu od tri ponuđene opcije, pri čemu će posledice takve odluke biti kao u navedenim slučajevima.

Neprijateljeva zaprečna artiljerijska vatra

Neprijateljeva zaprečna artiljerijska vatra priprema se blizu linije fronta zbog daljine efikasnog dejstva neprijateljeve artiljerije (koja je do 20 kilometara). Pri razmatranju ove taktičke situacije neprijatelj je pravo-

vremeno uputio izviđače (osmatrače pogodaka) koji sa bezbedne udaljenosti i dobro maskirane pregledne pozicije, radio-uređajem, vrše korekturu pogodaka. Neprijateljeva artiljerijska jedinica koja dejstvuje po našem bataljonu na maršu, jačine je divizionu.

Pri dejstvu neprijateljeve zaprečne vatre starešini jedinice na maršu na raspolaganju su sledeće opcije:

- da ubrza kretanje uz povećano odstojanje (smatra se ispravnom odlukom, a efekti dejstva su prikazani u tabeli 6),
- da nastavi kretanje kao i pre dejstva artiljerije (u odnosu na prikazane vrednosti u tabeli, efekti dejstva neprijateljeve zaprečne artiljerijske vatre veći su za 50%),
- da se kolona zaustavi, a pripadnici jedinice pronađu najbliže zaklone (u odnosu na prikazane vrednosti u tabeli efekti dejstva su veći za 150%).

Tabela 6

Efekti dejstva neprijateljeve zaprečne artiljerijske vatre na jedinicu u toku marša

JEDINICA	TENKOVSKA		MEHANIZOVANA I ARTILJERIJSKA		PEŠADIJSKA	
	Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
BATALJON-DIVIZION	5% ljudi 10% vozila	6,5% ljudi 13% vozila	7,5% ljudi 15% vozila	10% ljudi 20% vozila	10% ljudi 20% vozila	13% ljudi 26% vozila
ČETA-BATERIJA	5% ljudi 10% vozila	6,5% ljudi 13% vozila	7,5% ljudi 15% vozila	10% ljudi 20% vozila	10% ljudi 20% vozila	13% ljudi 26% vozila
VOD	5% ljudi 10% vozila	6,5% ljudi 13% vozila	7,5% ljudi 15% vozila	10% ljudi 20% vozila	10% ljudi 20% vozila	13% ljudi 26% vozila

Kontaminirano zemljište

Marševsko osiguranje izvestiće o nailasku na kontaminirano zemljište (koje je vidno obeleženo), a nakon toga starešini jedinice stoje na raspolaganju sledeće mogućnosti:

- da se vrati nazad okretanjem za 180 stepeni, pri čemu se troši vreme kao što je prikazano u tabeli 2,
- da izvrši zaobilaženje kontaminirane prostorije dimenzije 400x400 metara (pod uslovom da uslovi zemljišta to dozvoljavaju), pri čemu se troši resurs vreme, kao što je prikazano u tabeli 7,

Tabela 7

Utrošak vremena (izraženog u minutama) potrebnog za zaobilazanje KONZ-a

JEDINICA		TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA		MEHANIZOVANA		PEŠADIJSKA	
JEDINICA	PROHODNOST ZEMLJIŠTA	Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
VOD	Bolje prohodno	10	15	10	15	15	20
	Lošije prohodno	15	20	15	20	20	30
ČETA- BATERIJA	Bolje prohodno	15	25	15	25	30	45
	Lošije prohodno	25	35	25	35	40	60
BATALJON- DIVIZION	Bolje prohodno	45	60	45	60	70	100
	Lošije prohodno	60	90	60	90	90	130

– da uz odgovarajuće pripreme (koje traju 10 minuta za vod, 15 za četu i 20 za bataljon) izvrši prolazak kroz KONZ, nakon čega jedinica odlazi u dekontaminacionu stanicu,

– u slučaju da se starešina jedinice opredeli za prolazak kroz KONZ bez odgovarajuće pripreme ili da nastavi marševanje nakon prolaska kroz KONZ bez odlaska u dekontaminacionu stanicu - simulacija se prekida zbog velikih gubitaka nastalih pogrešnim odlukama starešine marševske jedinice.

Nailazak na porušeni most i zarušeni tunel

Marševsko osiguranje izveštava o nailasku na zarušeni tunel (usled neprijateljevog dejstva lovačko-bombarderske avijacije), nakon čega je jedina opcija koja stoji na raspolaganju starešini marševske jedinice da se izvrši zaokretanje jedinice za 180 stepeni, pri čemu se troši resurs vreme, kao što je prikazano u tabeli 2. Pri nailasku na porušeni most (koji je srušen iz istog razloga) starešini jedinice stoje na raspolaganju sledeće opcije:

– zaokretanje jedinice za 180 stepeni, pri čemu se troši vreme kao što je prikazano u tabeli 2,

– ako uslovi rečnog korita i dubine gaza to dozvoljavaju (pored porušenog mosta nalaziće se podaci o širini i dubini reke) starešina jedinice može narediti forsiranje reke gazom, za čiju aktivnost će potrošiti određeno vreme, što je prikazano u tabeli 8,

– ako je širina rečnog korita manja od 17,5 metara, i u pitanju je tenkovska jedinica koja u svom sastavu ima tenk nosač mosta, starešina može da naredi postavljanje takvog mosta, što bi mu oduzelo 40 minuta, a njegovo prelaženje jedinici će oduzeti vreme prikazano u tabeli 9,

– ako starešina naredi prelaženje preko reke gazom, a njena dubina je veća od predviđene, biće mu potrebno 60 minuta za izvlačenje tog vozila.

Tabela 8

Utrošak vremena (izraženog u minutama) potrebnog za savlađivanje reke gazom

JEDINICA		TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA		MEHANIZOVANA		PEŠADIJSKA	
JEDINICA	PRILAZ RECI	Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
VOD	Pristupačniji	15	20	15	20	25	30
	Nepristupačniji	20	25	20	25	30	40
ČETA- BATERIJA	Pristupačniji	20	30	20	30	40	55
	Nepristupačniji	30	40	30	40	50	70
BATALJON- DIVIZION	Pristupačniji	55	70	55	70	90	120
	Nepristupačniji	70	100	70	100	110	150

Tabela 9

Utrošak vremena (izraženog u minutama) za prelazak preko mosta

JEDINICA		TENKOVSKA I ARTILJERIJSKA		MEHANIZOVANA		PEŠADIJSKA	
		Dan	Noć	Dan	Noć	Dan	Noć
VOD		10	15	10	15	15	25
ČETA-BATERIJA		25	35	30	40	40	60
BATALJON-DIVIZION		60	90	70	100	90	130

Otkazi motornih vozila tokom marševanja

Realno je očekivati da će u toku marša jedan broj motornih vozila imati otkaze zbog kvara. U vodu nijedno vozilo neće imati kvar, u četi će jedno vozilo imati lakši kvar, koji će vozači moći da otklone u roku od 30 minuta (kolona se ne zaustavlja a nakon otklanjanja kvara vozilo se priključuje svojoj jedinici), a u bataljonu dva vozila. Ako se jedinica ne pridržava pravilskih odredbi o zastancima i odmoru tokom marševanja jedinice, doći će do povećanog broja otkaza vozila i sletanja sa puta, pri čemu je zastupljena tolerancija od 60 minuta u odnosu na važeće pravilske odredbe (prvi zastanak od 15 minuta za pešadijsku i 20 za ostale jedinice daje se posle 1 časa marša, a svaki naredni posle 2–4 časa u trajanju 20 minuta za pešadijsku i 30 za ostale jedinice; odmor se daje posle 6–12 časa marša i traje 3 sata, pri čemu se vozila zaustavljaju na krajnjoj desnoj strani puta). Negativne posledice nepridržavanja pravilskih odredbi o zastancima i odmoru pojaviće se u vodu posle navedenog vremena – jedan lakši kvar koji otklanja vozač za 30 minuta, u četi dva lakša, a u bataljonu jedan teži kvar (što nameće potrebu šlepanja vozila bez zadržavanja kolone i intervenciju majstora iz tehničke radionice u trajanju od 90 minuta). Ako se ne bude pridržavao odredbi za odmor ljudstva (sa tolerancijom od 1 časa) negativne posledice biće još izraženije: u vodu dva lakša kvara, u četi jedan teži

kvar i u bataljonu dva teža kvara. Svaki treći teži kvar ima za posledicu izbacivanje vozila za duži period, tako da ono neće učestvovati u narednom zadatku, a u evidenciji će se klasifikovati kao vozilo van upotrebe zbog kvara. Zbog zamora vozača i nepridržavanja odredbi u vezi sa odmorom ljudstva, dolazi do sletanja sa puta i prevrtanja vozila pešadijske jedinice (jedno vozilo u četi i dva u bataljonu, pri čemu su posledice za svako vozilo – jedan vojnik lakše i jedan teže povređen i gubitak vremena od 45 minuta za otklanjanje posledica i izvlačenje vozila). Kod ostalih jedinica predviđeno je silaženje sa puta bez prevrtanja, pri čemu se troši 15 minuta zbog ponovnog formiranja borbenog rasporeda marševske kolone.

Nailazak na letke neprijateljske sadržine

Na svakom prvom zastanku komandir-komandant jedinice na maršu dobija informaciju da su se vojnici jednog motornog vozila okupili oko bačenih letaka neprijateljske sadržine i da se na osnovu komentara može zaključiti da je jedan deo vojnika poverovao u istinitost tvrdnji njihovog sadržaja. Starešina marševske kolone može da se opredeli za jednu od ponuđenih opcija:

- zabranjuje prilaženje i uzimanje letaka i organizuje njihovo prikupljanje i spaljivanje, a vojnike koji su ih čitali oštro kritikuje. (Ovakvo postupanje smatra se pogrešnim i za posledicu će imati sumnju i nepoverenje prema starešinskom kadru jedinice. Vojnici iz motornog vozila mogu čak odbiti da nastave dalje izvršenje zadatka, pa će starešina morati da izdvoji dodatnih 60 minuta kako bi ispravio učinjenu grešku);
- ne preduzima nikakve korake smatrajući da za takav događaj nije potrebno njegovo angažovanje (reakcija vojnika, a nakon toga i starešine marševske jedinice identična je kao u prethodnom slučaju);
- dolazi do vojnika koji su čitali i komentarisali sadržaj letaka, okuplja ih i za vreme zastanka otkriva pravu pozadinu i glavnu ideju njihovih kreatora (ova aktivnost prolongiraće zastanak 15 minuta, pri čemu se smatra da je starešina jedinice pravilno postupio u toku rešavanja problema i da neće biti nikakvih negativnih posledica).

Slušanje neprijateljeve radio-stanice

Starešina marševske kolone dobija informaciju da u jednom vozilu vojnici slušaju neprijateljevu radio-stanicu i da se na osnovu njihovog reagovanja može zaključiti da je jedan deo njih poverovao u lažne informacije o masovnom napuštanju položaja naših jedinica. Starešina može da se opredeli za jednu od ponuđenih opcija:

- naređuje da se na prvom zastanku organizuje oduzimanje svih radio-prijemnika, a vinovnici događaja oštro iskritikuju, jer nasedaju neprijateljskoj propagandi (ovakvo postupanje smatra se pogrešnim i za posle-

dicu će imati sumnju i nepoverenje prema starešinskom kadru jedinice, pri čemu će dvojica psihički najlabilnijih vojnika iskoristiti prvo usporavanje marševske kolone, iskočiti iz kamiona i dezertirati iz jedinice);

- starešina jedinice na maršu nastavlja sa redovnim aktivnostima, ne preduzimajući nikakve korake, smatrajući da za takav događaj nije potrebno njegovo angažovanje (reakcija dvojice najlabilnijih vojnika biće identična kao u prethodnom slučaju);

- na prvom zastanku, bez oduzimanja radio-prijemnika, starešina marševske kolone prikuplja vojnike koji su slušali radio-program neprijateljske sadržine i objašnjava im stvarnu situaciju na frontu, kao i skrivene namere neprijatelja primenom psihološko-propagandnih dejstava (ova aktivnost prolongiraće zastanak 15 minuta, a starešina jedinice je pravilno postupio, pa neće biti nikakvih negativnih posledica).

Širenje glasina

Starešina marševske kolone dobija informaciju od svog potčinjenog da jedan vojnik hitno traži razgovor sa njim, jer mu je majka mobilnim telefonom prenela informaciju da je preko inostranog TV kablovskog programa jasno čula udamu vest, po kojoj je vojno i državno rukovodstvo naše zemlje pristalo na obustavljanje borbenih dejstava i usmerilo svoje aktivnosti na traženje rešenja nastale situacije kroz mirovne pregovore zaraćenih strana. Vojnik traži da se obustavi naređenje o marševanju jedinice, jer ono nije u skladu sa odlukom našeg državnog rukovodstva. Starešina može da se opredeli za jednu od ponuđenih opcija:

- naređuje da se na prvom zastanku organizuje oduzimanje svih mobilnih telefona, a vinovnik događaja oštro iskritikuju, jer naseda neprijateljskoj propagandi (ovakvo postupanje se smatra pogrešnim i za posledicu će imati sumnju i nepoverenje prema starešinskom kadru jedinice pri čemu će vojnik koji je razgovarao mobilnim telefonom sa majkom iskoristiti prvo usporavanje marševske kolone, iskočiti iz kamiona i dezertirati iz jedinice);

- starešina jedinice na maršu nastavlja sa redovnim aktivnostima ne preduzimajući nikakve korake, smatrajući da za takav događaj nije potrebno njegovo angažovanje (reakcija vojnika koji je razgovarao mobilnim telefonom identična je kao u prethodnom slučaju);

- na prvom zastanku, bez oduzimanja mobilnih telefona, starešina marševske kolone prikuplja sve vojnike koji su se prevozili u kamionu zajedno sa vojnikom koji je razgovarao sa svojom majkom i objašnjava im stvarnu situaciju na frontu, kao i skrivene namere neprijatelja primenom psihološko-propagandnih dejstava (ova aktivnost prolongiraće zastanak 15 minuta i smatra se da je starešina jedinice pravilno postupio, pri čemu neće biti nikakvih negativnih posledica).

Posledice gubitaka u ljudstvu

Ako u toku marševanja jedinice dođe do gubitaka u ljudstvu, posledice će biti:

- posle prvog gubitka, usled straha i neizvesnosti, dolazi do smanjenja tempa nastupanja za 10%;
- posle drugog gubitka dolazi do ponovnog smanjenja tempa nastupanja za 10%;
- posle trećeg gubitka dolazi do pometnje u jedinici, tako da starešina jedinice mora da izdvoji 90 minuta kako bi konsolidovao jedinicu i nastavio sa daljim izvršenjem zadatka;
- posle četvrtog i svakog narednog puta, zbog dezerterstva, jedinica gubi jedno vozilo sa posadom.

Posledice nestanka hrane, vode, goriva ili municije

Ako se ne izvrši marševanje jedinice u vremenu predviđenom naređenjem za marš, već se iz određenog razloga prolongira izvršenje ovog zadatka, može se dovesti u pitanje snabdevenost jedinice hranom, vodom, gorivom ili municijom. Za izvršenje ovog zadatka jedinici je obezbeđen jedan suvi dnevni obrok, jednodnevno sledovanje vodom, jedan borbeni komplet municije i puni rezervoari goriva. U drugoj polovini puta jedinici će stajati na raspolaganju usluge „baze“ (koja će vidno biti obeležena na karti, a starešina će znati gde se nalazi i pre otpočinjanja marša), u koju će moći da dođu kako bi popunili svoje zalihe, trošeći određeno vreme za tu aktivnost: hrana 20 – minuta, voda – 20 minuta, gorivo – 1 čas i municija – 1 čas. To je proračun za vod, dok je za četu vreme duplo duže, a za bataljon trostruko duže (jedinice mogu da se snabdeju vodom i od lokalnog stanovništva), uključujući i vreme koje se troši neplaniranim skretanjem sa maršrute zbog odlaska u „bazu“. U slučaju da se u „bazi“ jednovremeno uzima više resursa, vreme potrebno za njihovu popunu se ne računa kumulativno već se na najduže vreme potrebno za realizaciju date aktivnosti dodaje 30 minuta. Ako starešina jedinice odluči da ne svraća u „bazu“, kako bi popunio potrošene zalihe, posledice bi bile sledeće:

- usled nestanka goriva kolona staje, nakon čega se gorivo dovozi do jedinica iz „baze“, pri čemu se troši vreme za tankovanje i pripremu za prevoženje od 1 časa za vod, 90 minuta za četu i 2 časa za bataljon i vreme za pretakanje goriva od 1 časa za vod, 2 za četu i 3 za bataljon;
- usled nestanka municije jedinica odbija da izvrši dalji zadatak, pa se njeno dovoženje organizuje iz „baze“, pri čemu se troši vreme kao u prethodnom slučaju;
- usled nestanka hrane jedinica i u narednih 10 sati funkcioniše u normalnim okolnostima, nakon čega vojnici odbijaju da izvrše dalji zadatak, pa se snabdevanje mora izvršiti preko „baze“, pri čemu se troši upola kraće vreme nego u prethodnom slučaju;

– snabdevanje vodom može da se organizuje dopremanjem od lokalnog stanovništva, pri čemu se troši 20 minuta za vod, duplo više za četu i trostruko za bataljon;

–u noćnim uslovima vreme potrebno za realizaciju navedenih aktivnosti povećava se za 20%.

U slučaju da nestane municija (jedna četvrtina borbenog kompleta je neprikosnovena rezerva) ili hrana, snabdevanje se može izvršiti i preko pretpostavljene komande, ali uz gubitak resursa vremena: vod za snabdevanje iz čete i distribuciju u svojoj jedinici utroši 30 minuta za hranu i 1 čas za municiju; četa za snabdevanje iz bataljona i distribuciju u svojoj jedinici utroši 60 minuta za hranu i 2 časa za municiju; i bataljon za snabdevanje iz brigade i distribuciju u svojoj jedinici utroši 2 časa za hranu i 4 časa za municiju.

Zarobljavanje neprijateljevih vojnika

Neprijateljevu zasedu jačine ojačanog odeljenja u 15% slučajeva u dnevnim i 5% u noćnim uslovima otkriće marševsko osiguranje (ako čelna patrola-odeljenje-odred bude predviđena borbenim rasporedom komandira-komandanta marševske jedinice). U slučaju da zaseda ne bude pravovremeno otkrivena, nakon ispoljavanja njenog dejstva po našoj jedinici na maršu, učesniku simulacije biće ponuđena opcija preduzimanja energičnih koraka usmerenih ka neutralisanju zasede, pri čemu će doći do zarobljavanja preživelih neprijateljevih vojnika koji nisu uspeali da se blagovremeno izvuku na rezervni vatreni položaj. Učesniku simulacije biće ponuđene sledeće opcije:

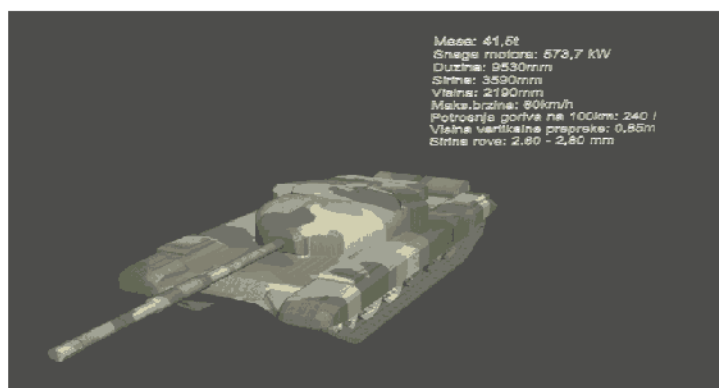
– organizacija predaje zarobljenika pretpostavljenoj komandi (što se smatra ispravnom odlukom i gubitkom od dodatnih 30 minuta vremena);

– streljanje zarobljenika na licu mesta (što se smatra pogrešnom odlukom i za posledicu ima momentalni prekid simulacije, uz obrazloženje da je došlo do grubog kršenja međunarodnog humanitarnog prava, odnosno ženevskog prava o postupanju sa ratnim zarobljenicima i to četiri Ženevske konvencije od 12. 08. 1949. godine i dva Dopunska protokola od 10. 07. 1977. godine).

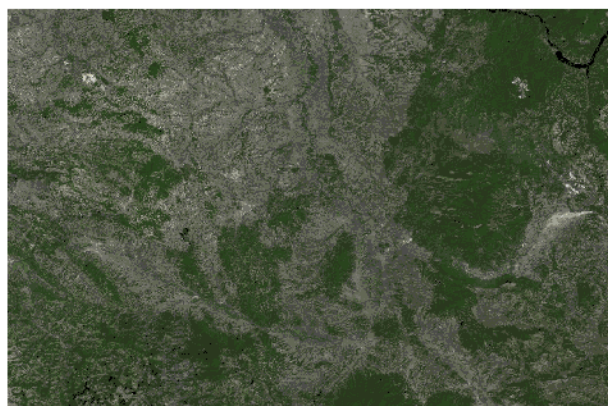
Programiranje simulacionog modela

Za izradu modela koji su korišćeni za potrebe simulacije korišćen je *3d studio max 7.0* koji je odgovarao potrebama projekta. Sam programski paket izrađen je tako da na najlakši mogući način kreira modele (vozila i terena) i omogućava upotrebu ovih modela na gotovo svim računarima. To se postiže velikom optimizacijom samih modela, tj. smanjivanjem broja njegovih poligona. To je bilo neophodno zbog kompleksnosti modela. Kada bi se modeli radili sa svim detaljima javio bi se problem kompjuterskih resursa, pošto bi takav model bio previše kompleksan.

U samom projektu korišćena je sva dostupna literatura o vozilima i terenu koji se upotrebljava u simulacionom modelu. Postoji mogućnost da vozila u simulaciji nisu 100% identična sa vozilima u realnom vremenu, ali modeli prikazani u projektu odlično odslikavaju vozila koja se danas koriste u Vojski Srbije. Pored podataka koji su pronađeni u pravilima o datim vozila, veliki deo literature korišćen je sa interneta, koji obiluje podacima o svim vrstama vozila naše vojske. Boja vozila u simulaciji nije originalna boja vozila u realnom vremenu, već je to boja koju smo izabrali zbog potreba simulacije. Primarni cilj simulacionog modela je da simulira borbeni zadatak, tako da je sve prilagođeno tom cilju. Modeli korišćeni u simulaciji rađeni su pomoću slika koje smo pronašli na internetu i u borbenim pravilima datih vozila (tenk T 72 – slika br. 1).



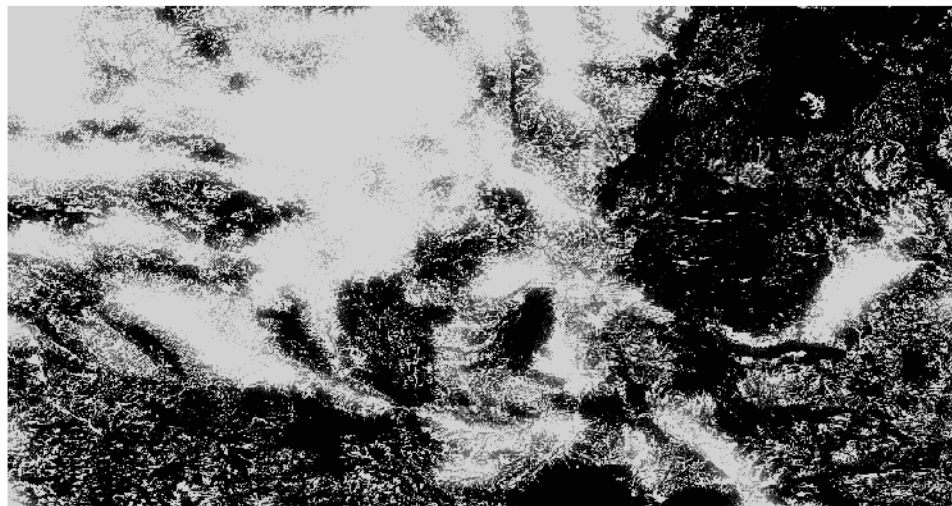
Slika 1 – Tenk T 72



Slika 2 – Teren Kragujevca

Teren Kragujevca – fotografija izrađena na osnovu snimka iz satelita koji je preuzet sa interneta uz pomoć programa *Google earth* koji daje vernu sliku o terenu tog dela Srbije (slika br. 2). Ta slika je bila samo orijentir za dalju obradu terena. Sama tekstura terena identična je terenu Kragujevca (topografska karta 1:200000).

Za potrebe modelovanja terena Kragujevca primenjena je tehnika koja se koristi za objekte koji se uključuju u neku aplikaciju, tj. oni se optimiziraju tako da imaju što manji broj poligona, a da zadrže svoj originalni oblik. Primaran cilj modela terena koji se koristi u nekoj simulaciji nije bila potpuna preciznost zbog potreba samog cilja simulacije.

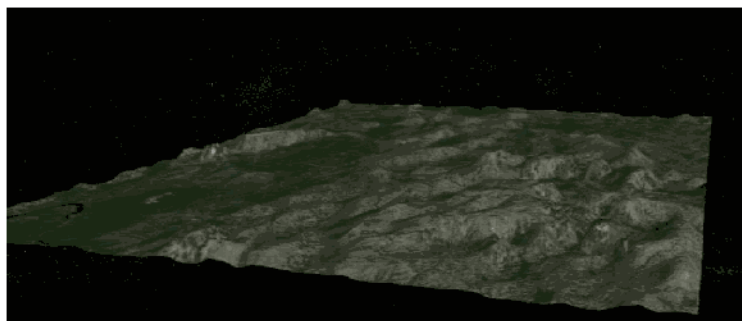


Slika 3 – Crna, bela i siva boja sa svim varijetetima

Za izradu modela terena korišćene su dostupne slike iz satelita. Samom obradom slika, koje inače sadrže sve potrebne informacije o terenu, dobijena je dobra podloga za izradu terena. Prvobitno dobijena slika sa interneta obrađena je u programu *Photoshop CS2*, tako da je od slike koja je bila u boji, dobijena slika koja ima crno-beli spektar boja sa svim varijetetima između te dve boje (tzv. *Grey scale*). Na slici broj 3 prikazane su crna, bela i siva boja sa svim varijetetima između, pri čemu je dobijena dobra osnova za dalju obradu terena.

Primenom modifikatora u *3ds max* koji na osnovu boja kreira teren (ali samo na osnovu prethodno obrađene slike u *Photoshopu*) dobija se približan izgled terena Kragujevca. Kasnija obrada terena obuhvata ručno podešavanje parametara u datim modifikatorima da bi se dobila njegova realna slika. Primenom više modifikatora i preklapanjem slika iz satelita i obrađene slike u *Photoshopu* dobija se 3d model prvobitno zamišljenog terena. Ovaj način modelovanja terena nije preporučljiv za izradu 3d topografskih karata koje zahtevaju apsolutnu preciznost, koja u našem slučaju nije bila neophodna, jer je celokupan proces rađen za potrebe simulacionog modela.

Posle ovakvih postupaka dobija se 3d model koji je uradio student 129. klase informatičke službe Vojne akademije – Nebojša Đurić, a koji izgleda kao na slici 4.



Slika 4 – 3d model

Zaključak

Osposobljavanje pojedinaca i jedinica Vojske Srbije realizuje se kroz potprocese školovanja i obuke u kojima se planski i organizovano stiču znanja, veštine i navike, ali i razvijaju psihofizičke i intelektualne sposobnosti i moralna svojstva ličnosti, čijim procesom se pojedinci, komande i jedinice osposobljavaju za izvršavanje namenskih zadataka. Pionirski pokušaji pojedinaca, bez sistemskih i organizacijskih rešenja primene simulacionih modela u Vojski Srbije, nisu dali vidljivije pomake.

Autor ovog članka je, zajedno sa studentima četvrte godine Vojne akademije informatičkog smera (Nebojša Đurić, Marko Ristić, Milan Dulanović i Igor Surla), započeo ostvarivanje ovog sveobuhvatnog i multidisciplinarnog projekta u kojem je bilo neophodno znanje iz oblasti taktike (zbog algoritma postupanja u različitim taktičkim situacijama sa kojima se jedinica na maršu realno može susresti), etike (zbog rešavanja etičkih izazova), kao i oblasti simulacionog modeliranja.

Posebna vrednost ovog projekta ogleda se u tome što je za algoritam postupanja u različitim taktičkim situacijama uključeno, dubinskim intervjuom, dvadesetak eminentnih stručnjaka različitog profila, čiji su stavovi bili od presudnog značaja za finaliziranje projekta. Činjenica da nismo pozajmili gotovu 3d kartu od Vojnogeografskog instituta, već smo je za potrebe izrade našeg simulacionog modela sami izradili, nedvosmisleno ukazuje na sveobuhvatnost ovog projekta.

Ovaj članak može da podstakne mlade istraživače da se i sami upuste u slične izazove ili da posluži kao inspiracija rukovodiocima koji odlučuju o perspektivi primene simulacionih modela u našoj vojsci.

Literatura

1. Averill, M. L., *Simulation Modeling and Analysis*, Berkeley, 2007.
2. Bateman, H., *System Improvement Using Simulation*, Promodel Corporation Orem, 1996.
3. Grozdić, D. B., *Vojevanje za veru i otadžbinu*, NIC „Vojska“, Beograd, 2003.

UDC 355.691.1:357.5
629.33-051:357.5VREDNOVANJE EFIKASNOSTI KRETANJA
ORGANIZOVANIH VOJNIH KOLONA

Dr Radomir S. Gordić, dipl. inž.

Rezime:

U radu je prikazan pristup vrednovanju i analizi uspešnosti kretanja organizovanih vojnih kolona, sa posebnim osvrtom na primenu u praksi. Težišno su analizirani kriterijumi borbene gotovosti, kojim se izražava efikasnost kretanja motorizovanih kolona. Cilj rada jeste da se vrednovanjem efikasnosti kretanja u realnom vremenu poboljša upravljanje kretanjem motorizovanih kolona.

Ključne reči: kolona, vrednovanje efikasnosti, kriterijum, pokretljivost, borbena gotovost.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF MOTORCADE MOBILITY

Summary:

An approach to evaluation and analysis of military motorcades has been given, regarding the application in practice in particular. The analysis focuses on the criteria of combat readiness, which present the efficiency of motorcade mobility. The objective of the paper is to improve the control of motorcade mobility through a real-time mobility efficiency evaluation.

Key words: motorcade, evaluation of efficiency, criteria, mobility, combat readiness.

Uvod

Svi vojni sistemi deluju u složenim uslovima brojnih neodređenosti, pa je vrednovanje njihovog rada utoliko značajnije. Organizovane vojne kolone su složeni organizacioni sistemi kibernetičkih svojstava. Realizacija njihovih ciljeva umnogome zavisi od načina funkcionisanja i upravljanja radom sistema.

Ciljevi i zadaci saobraćajno-transportne strukture Vojske Srbije (VS), troškovi njihove realizacije i angažovani resursi nameću potrebu ocenjivanja i analize efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona. Ocena rada sistema treba da bude realna, jer se samo tako može sagledati ostvarivanje ciljeva. Ona, zatim, mora biti sveobuhvatna, da bi odslikala

funkcionisanje sistema iz različitih aspekata, da bi izrazila interakcije između elemenata sistema, sistema sa okruženjem i delovanje ograničenja. Na kraju ocena treba da je pravovremena da bi omogućila preduzimanje korektivnih mera i akcija u realnom vremenu (u toku rada), jer se na taj način, narušena efikasnost može popraviti.

Vrednovanje efikasnosti bilo kog sistema metodološki polazi od postojećeg stanja i načina vrednovanja, pa je na ovom nivou istraživanja vrednovanja efikasnosti kolonskog saobraćajnog toka¹ potrebno analizirati:

- postojeće stanje efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona,
- vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanih kolona u postojećim uslovima i
- postojeće (aktuelne) kriterijume efikasnosti.

Zbog toga je u ovom radu prikazana analiza postojećeg stanja vrednovanja efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona, problemi koji se pri tome generišu i mogućnost njihovog prevazilaženja.

Analiza postojećeg stanja efikasnosti kretanja vojnih kolonskih tokova

Analizu efikasnosti kretanja kolona treba da vrše upravni saobraćajni organi u svim fazama realizacije zadataka saobraćajne podrške (SbPo), radi odlučivanja o preduzimanju korektivnih mera i akcija u procesu upravljanja kretanjem kolone. Za odluku o uspešnosti kretanja kolone potrebne su informacije o funkcionisanju kolone u realnom vremenu i relevantni kriterijumi sa kojim se poredi uspešnost u radu.

Neophodne informacije o uspešnosti kolone u toku kretanja nisu obezbeđene, jer nije razvijen sistem mobilnih veza [1], koji treba da omogući neposrednu komunikaciju između upravljanih i upravljačkih delova sistema – kolone. Kriterijumi efikasnosti organizovanog kolonskog saobraćajnog toka, kod nas nisu razrađeni na naučnim osnovama, saglasno zadacima kolona i ciljevima upravljanja kretanjem, pa se efikasnost ne može uspešno izražavati kvantitativno i kvalitativno, jer nedostaju „etaloni“ – kriterijumi za poređenje i ocenjivanje.

Zbog toga se na sadašnjem nivou organizacije vojnog saobraćaja, kod kolonskih kretanja, ne mogu preduzimati adekvatne korektivne mere i akcije u procesu upravljanja kretanjem. Procedure koje upravni saobraćajni organi preduzimaju intuitivno u procesu upravljanja kretanjem organizovanih vojnih kolona ne daju željene efekte. Prema tome upravljanje organizovanim kolonskim tokom, u postojećim uslovima, suštinski se ne ostvaruje.

¹ Pojmovi: organizovani kolonski saobraćajni tok, vojni kolonski tok, vojna motorizovana kolona, organizovana vojna kolona ili, samo, kolona, jesu sinonimi.

Pri ovakvom stanju, efikasnost kretanja organizovanih kolona ne može se smatrati pokazateljem uspešnosti rada, jer nije definisana i dovedena do merljivih veličina kojima se može iskazati i oceniti uspešnost u radu.²

Bez obzira na ove neodređenosti, efikasnost kretanja realno postoji i ostvaruje se kao apstraktni pojam, a uzima neku od potencijalnih vrednosti kriterijuma, bez mogućnosti da se na njega utiče i da se sistem optimizira.

Vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona u postojećim uslovima

Radi navedenih razloga efikasnost kretanja organizovanih vojnih kolona, u postojećim uslovima može se analizirati i vrednovati parcijalno, po fazama realizacije zadataka ili elementima transportnog procesa, preko izmeritelja rada u transportu.³

Izmeritelji rada u transportu su veličine preko kojih se mogu sagledati osnovne karakteristike najvažnijih elemenata transporta [2]. Te veličine su izmeritelji:

- vremena,
- brzina,
- rastojanja i
- iskorišćenja nosivosti.

Za analizu i praćenje efikasnosti kretanja vozila i kolona mogu se koristiti samo izmeritelji brzina. Brzine se u vojnom saobraćaju tretiraju iz raznih aspekata, a za ocenu organizacije transporta može poslužiti: *saobraćajna, transportna i eksploataciona brzina*.

Saobraćajna brzina (V_s) je srednja brzina vozila u jednoj vožnji ili određenom vremenu i naiva se srednja brzina vožnje ili srednja tehnička brzina.⁴ Izražava se obrascem:

$$V_s = \frac{L}{t_v} [km/h], \text{ ili } V_s = \frac{\sum L}{\sum t_v} [km/h], \quad (1)$$

gde je:

- L (km) pređeni put i
- t_v (h) vreme vožnje.

² Efikasnost organizovanog vojnog kolonskog saobraćajnog toka definisana je u [1] i sveobuhvatno razrađena, počev od organizacije kolona, organizacije kretanja, upravljanja kolonskim tokom, zaključno sa vrednovanjem, ali se ne primenjuje u realizaciji zadataka SbPo.

³ Ovi izmeritelji ne predstavljaju jedinstvene kriterijume efikasnosti, jer se preko njih cene pojedine faze ili elementi transportnog procesa.

⁴ Literatura [2], str. 77.

Vreme vožnje (t_v) obuhvata kratkotrajna zadržavanja koja su prouzrokovana uslovima saobraćaja (raskrsnice, prelazi preko pruge, kraći zastoji u saobraćajnom toku).

Ova brzina zavisi od mnogo faktora, a najvažniji su: tehničko-eksploatacione karakteristike vozila, osposobljenost vozača, uslovi puta i okoline, intenzitet saobraćaja, organizacija regulisanja i kontrole saobraćaja (RKSb), klimatski uslovi, a delom i organizacija transporta. Ona, prema ispitivanjima u SSSR [2], za pojedinačna teretna vozila bez prikolice, u gradskoj vožnji, iznosi 19–22 km/h, a sa prikolicom 18–19 km/h. Na otvorenom putu, srednja brzina teretnih vozila bez prikolice je 30–40, a sa prikolicom 25–35 km/h.

Do sličnih rezultata došli su istraživači Instituta „Kirilo Savić“, koji su na 5880 linija javnog i saobraćaja za sopstvene potrebe, na relacijama 5,91 do 1013,07 km, utvrdili da se saobraćajna brzina nalazi u intervalu 20,08 do 39,38 km/h.⁵

Saobraćajna brzina istraživana je u Vojsci, sa aspekta organizacije transportnog procesa. U tim istraživanjima [3] utvrđeno je da prosečna saobraćajna brzina za proste vožnje⁶ iznosi 39,75 km/h, a za složene 52 km/h, pri čemu je u 65% transportnih zadataka, koji se realizuju kao prosta vožnja, saobraćajna brzina bila manja od 40 km/h.

Saobraćajna brzina može biti kriterijum efikasnosti pojedinačnih vožnji, pojedinačnih vozila u dužem periodu vremena ili grupe vozila u toku realizacije pojedinačnih zadataka i kao takva, ona je pogodna za ocenu efikasnosti kretanja kolona.

Transportna (prevozna) brzina predstavlja brzinu prevoza tereta. Ona ne obuhvata vreme nulte i prazne vožnje. Ovaj izmeritelj retko se koristi za analize, jer ne izražava ocenu organizacije transporta pošto se odnosi samo na put pod teretom, pa se ne menja sa promenom organizacije, tj. nije kritičan, pa nije pogodan kao kriterijum efikasnosti.

Eksploataciona brzina (V_e) je srednja brzina kretanja u toku ukupnog vremena rada, gde se uzimaju u obzir sva zadržavanja vozila (utovar, istovar, manevrisanje, tehnička neispravnost vozila, primopredaja tereta itd.). Ova brzina određuje se pomoću izraza:

$$V_e = \frac{L}{T_r} [km/h], \quad (2)$$

gde je:

- L (km) ukupno pređeni put i
- T_r (h) ukupno vreme rada.

⁵ Srednje rastojanje iznosilo je 147,61 km, a srednja saobraćajna brzina 32,72 km/h.

⁶ Prosta vožnja je oblik transportnog procesa, koga karakteriše jedan utovar i istovar tereta (ukrcavanje i iskrcavanje putnika), a složenu vožnju karakteriše više usputnih utovara i istovara tereta (ukrcavanja i iskrcavanja putnika).

Eksploataciona brzina zavisi od saobraćajne brzine i iskorišćenja radnog vremena, odnosno od organizacije i daljine transporta. Sa povećanjem daljine transporta i unapređenjem organizacije rada povećava se eksploataciona brzina. Ovaj parametar odnosi se na grupu vozila ili ceo vozni park. Kritičan je, jer se menja sa promenom organizacije transporta i obuhvata sve njegove elemente, pa ima obeležja kriterijuma. Zbog toga je ovaj izmeritelj pogodan za ocenu efikasnosti logističkih procesa, pa i kretanja organizovanih vojnih kolona.

Prema istraživanju [3] prosečna vrednost eksploatacione brzine u VS, za proste vožnje iznosi 24,26 km/h, a za složene 27,69 km/h.

U praksi se ni ovaj parametar rada u transportu, ne koristi za ocenu efikasnosti kretanja grupa i kolona vozila, jer efikasnost nije definisana kao operativni pojam, nije propisana metodologija praćenja efikasnosti, niti su utvrđene obaveze upravnih saobraćajnih organa u tom smislu. Pored iznetog, veliki obim transporta odvija se kroz „snabdevanje“, što nije funkcija saobraćajne službe (SbSI), ni zadatak SbPo, već tzv. snabdevačkih službi, tehničke i intendantske, pa je i to razlog što SbSI sistemski ne prati ovaj izmeritelj.

U postojećim uslovima realizacije zadataka SbPo nije propisano i ne vrši se analiza i vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona. Imajući u vidu da efikasnost nije definisana i da kriterijumi nisu razrađeni [3] nemoguće je, u postojećim uslovima, analizirati i vrednovati uspešnost kretanja organizovanih vojnih kolona.

Postojeći (aktuelni) kriterijumi efikasnosti organizovanih vojnih kolona

Pod kriterijumom efikasnosti podrazumeva se merilo kvaliteta nekog rešenja. Kriterijumi i normativi, kao mere uspešnosti realizacije zadataka, nedovoljno su razvijeni za sve vojne sisteme [4], pa i za saobraćajno-transportni sistem. Kriterijumi efikasnosti, sa aspekta kretanja, nedovoljno su definisani i u teorijskom i praktičnom smislu, pa se u [5] ističe: „Oblast koja je tretirana u ovom radu nedovoljno je istražena i analitički definisana kad se odnosi na uspostavljanje kriterijuma efikasnosti rada vojnih kolona. Zakoni i pravila sa usko definisanim oblastima primene još uvek su prisutni u organizovanom kretanju vojnih vozila u nas“.

Prvobitni kriterijumi efikasnosti kretanja kolona

Osamdesetih godina sazrelo je shvatanje da treba ocenjivati efikasnost kretanja vozila i kolona jedinstvenim kriterijumima. Radi toga je učinjen pokušaj [6] da se efikasnost izražava parametrom *pokretljivost*, a da se ocenjuje preko kriterijuma popune savremenim m/v.

Pokušaj da se kao kriterijum efikasnosti koristi procenat (%) popunjenosti jedinica savremenim m/v,⁷ u odnosu na formaciju, nije uspeo. Iako u osnovi logičan, ovaj pokazatelj je neprihvatljiv za kriterijum efikasnosti, jer ne poseduje osnovna obeležja kriterijuma na koja se ukazuje u [7]. Neka iskustva kod nas i u svetu, npr. Malvinski rat [8], pokazuju da ponekad ovaj pokazatelj negativno utiče na efikasnost kretanja, posebno ako se radi o ograničenoj putnoj mreži (ograničenoj teritoriji) i određenim b/d (borba u okruženju, proboj iz okruženja i sl.).

Pored toga, efikasnost je mnogo složeniji problem od ovog pokazatelja, koji predstavlja samo materijalnu osnovu za realizaciju zadataka, sa aspekta popune vozilima fonda Vojske Srbije⁸ (FVS). Ako bi on iznosio 100%, to nije merilo uspešnosti kretanja. Na kretanje jedinica i kolona utiče više faktora: popuna m/v popisnog fonda (PF), tehničko stanje i tehničko održavanje (TO) m/v, stanje infrastrukture, izbor vozača za ratnu amiju, obučenost vozača, sredstva i uređaji za upravljanje saobraćajem, umešnost upravljanja saobraćajem i organizacija rada.

Popuna jedinica savremenim m/v ne uzima u obzir uticaj navedenih faktora na efikasnost kretanja kolona, pa ovakav pristup nije imao praktičnu primenu, jer nije odražavao suštinu problema, a efikasnost se nije mogla kvantifikovati.

Kriterijumi borbene gotovosti kojima se izražava efikasnost kretanja organizovanih kolona

Zbog navedenih problema devedesetih godina uvedeni su tzv. kriterijumi borbene gotovosti (b/g) [9], sa ciljem da se oceni uspešnost SbPo. Ovi kriterijumi kasnije su dorađeni [10], ali ni oni ne odražavaju uspešnost saobraćajno-transportne strukture VS, jer polaze od taktičkih, a ne saobraćajno-tehničkih karakteristika procesa i strukture koja se ceni.

Prema [10] SbPo – saobraćajno obezbeđenje (SbOb)⁹ ocenjuje se u okviru elementa b/g „pozadinsko obezbeđenje“ (PoOb), kao poslednji, šesti deo PoOb-a. SbPo se ocenjuje kontrolom, koja može biti: redovna, vanredna ili povratna, najavljena i nenajavljena, a po sadržaju delimična i potpuna. Kontrola i ocenjivanje SbPo vrši se po pitanjima:

1. pokretljivost,
2. saobraćaj,
3. transport i
4. park tehničkih sredstava.

⁷ Prema zaključcima Studije motorizacije iz 1966. godine to su vozila visoke prohodnosti, nosivosti 0,75; 1,5; 3; 6 i 9 [t] i vozila specijalne nadgradnje.

⁸ Saobraćajno-transportnu strukturu VS čine vozila fonda vojske Srbije, tzv. amijski fond (AF) i vozila popisnog fonda (PF), koja se angažuju po mobilizacijskim planovima, od privrede i stanovništva.

⁹ Naziv SbPo po staroj klasifikaciji. U [10] su prisutni stari termini (PoOb, SbOb i dr.), jer pravilo nije izmenjeno, a u praksi se koriste novi, koji su uvedeni po NATO standardima (LoPo, SbPo i dr.), koji se koriste i u ovom radu.

Parametri za ocenu efikasnosti kretanja kolona sadržani su delom u svim pitanjima, a pokretljivost je pokazatelj koji direktno treba da oceni sposobnost jedinice (kolone) za realizaciju zadatka – kretanja. U okviru pitanja pokretljivost ocenjuju se parametri:

- popunjenost neborbenim vozilima,
- starosna struktura neborbenih vozila,
- raspoloživost vozila i
- kompletnost vozila.

Ocena pokretljivosti preko ovih parametara je jednostrana, jer uzima u obzir samo uticaj vozila, a uticaji vozača, puta, okoline i drugih elemenata su zanemareni, a u praksi mogu biti značajniji od vozila.

Kriterijumi za ocenu navedenih pitanja i parametara propisani su u [10], str. 151 do 159. Kriterijumi za ocenu parametara pokretljivosti prikazani su u tabeli 1. Navedeni kriterijumi su, kao i za ostala pitanja, detaljni i precizni, ali u njihovoj primeni ima određenih problema. Problemi u oceni *pokretljivosti* svode se na nemogućnost sagledavanja stanja po navedenim parametrima, zbog čega do punog izražaja dolazi subjektivizam kontrolora i površno sagledavanje stvarnog stanja.

Zbog teške materijalne situacije u VS svesno se odstupa od navedenih kriterijuma, pri čemu se ta odstupanja pravdaju objektivnim stanjem. Na taj način subjektivizam još više dolazi do izražaja, pa su kriterijumi (tabela 1) dezavuisani, a ocenjivanje se često svodi na formalnost.

Kontrola i ocenjivanje borbene gotovosti (KiO b/g) vrši se periodično, po nivoima komandovanja u razmacima 3 do 5 godina, a ne postoji mehanizam za praćenje parametara u kontinuitetu, pa ocena predstavlja presek nađenog stanja, koje se ulepšava neposredno pred KiO.

Pravilom o KiO b/g [10] propisana je metodologija ocenjivanja elemenata, pitanja i parametara b/g. Za ocenjivanje su uvedeni koeficijenti relativne važnosti: prema vidovima, klasifikaciji i nameni jedinica/ustanova, koji se razlikuju za: parametre, pitanja i elemente. Sve tri grupe ovih koeficijenata su celi brojevi od 1 do 3. U Pravilu [10] nije prikazano kako su definisani ovi koeficijenti. Njihovom analizom uočava se da su veći koeficijenti određeni za parametre, pitanja i elemente koji su važniji za ocenu, a manje važnim, ili onim koji predstavljaju objektivnu stvarnost, dati su manji koeficijenti.¹⁰ Na ovaj način koeficijentima se utiče na visinu ocene, a ne izražava se stvarni uticaj parametara, pitanja i elemenata na borbenu gotovost, na osnovu njihovog relativnog doprinosa. Zbog toga bi ove koeficijente trebalo redefinisati na osnovu istraživanja borbene gotovosti, na naučnim osnovama, a ne intuitivno ili proizvoljno, kao što je verovatno urađeno u [10].

¹⁰ Na primer, tabela 1. parametar 25.2. „*starosna struktura neborbenih vozila*“, koji predstavlja objektivnu stvarnost, ima najmanji koeficijent relativne važnosti, jer se na to u jedinici ne može uticati, a veoma bitno utiče na „*pokretljivost*“ i na borbenu gotovost.

Stanje po parametrima ocenjuje se celobrojnim ocenama, od „nedovoljan“ 1 do „odličan“ 5.¹¹ Ocena pitanja izvodi se množenjem ocene parametara sa pripadajućim koeficijentima, pa se zbir proizvoda podeli sa zbirom koeficijenata relativne važnosti ocenjenih parametara i zaokruži na dve decimale. Ocena elementa b/g dobija se na isti način, pri čemu se koriste odgovarajući koeficijenti elemenata b/g.

Tabela 1

Kriterijumi za ocenjivanje pitanja „pokretljivost“ iz elementa borbene gotovosti „pozadinsko obezbeđenje“ [10]

PITANJE – PARAMETAR			OCENA			
			Odličan	Vrlo dobar	Dobar	Dovoljan
Br.	Naziv	KV	4,51–5,00	3,51–4,50	2,51–3,50	2,00–2,50
25.	S Pokretljivost					
25.1	A Popunjenost neborbenim vozilima	2	Procenat popunjenosti neborbenim vozilima po ratnoj formaciji je 96–100%	Procenat popunjenosti neborbenim vozilima po ratnoj formaciji je 91–95%	Procenat popunjenosti neborbenim vozilima po ratnoj formaciji je 86–90%	Procenat popunjenosti neborbenim vozilima po ratnoj formaciji je 81–85%
25.2	A Starosna struktura neborbenih vozila	1	Prosečna starost vozila je do 10 godina	Prosečna starost vozila je do 10–15 godina	Prosečna starost vozila je do 15–20 godina	Prosečna starost vozila je preko 20 godina
25.3	A Raspoloživost vozila	3	Raspoloživost, odnosno procenat neborbenih vozila spremnih za izvršenje zadatka u odnosu na broj vozila po ratnoj formaciji ili u odnosu na broj vozila iz vojnog fonda, ako se ne pozivaju vozila iz popisnog fonda je 96–100%	Raspoloživost, odnosno procenat neborbenih vozila spremnih za izvršenje zadatka u odnosu na broj vozila po ratnoj formaciji ili u odnosu na broj vozila iz vojnog fonda, ako se ne pozivaju vozila iz popisnog fonda je 91–95%	Raspoloživost, odnosno procenat neborbenih vozila spremnih za izvršenje zadatka u odnosu na broj vozila po ratnoj formaciji ili u odnosu na broj vozila iz vojnog fonda, ako se ne pozivaju vozila iz popisnog fonda je 86–90%	Raspoloživost, odnosno procenat neborbenih vozila spremnih za izvršenje zadatka u odnosu na broj vozila po ratnoj formaciji ili u odnosu na broj vozila iz vojnog fonda, ako se ne pozivaju vozila iz popisnog fonda je 81–85%
25.4	A Kompletnost vozila	1	Sva vozila su kompletirana sa 100% pripadajućim individualnim kompletom	Vozila su kompletirana najmanje sa 90% pripadajućim individualnim kompletom	Vozila su kompletirana najmanje sa 80% pripadajućim individualnim kompletom	Vozila su kompletirana ispod 80% pripadajućim individualnim kompletom

Pitanje pokretljivost u okviru SbPo ocenjuje se na opisani način prema pripadajućim parametrima i koeficijentima¹² (videti tabelu 1, kolona „KV“). Ovo pitanje ima najveće koeficijente relativne važnosti za sve stavove VS, u odnosu na ostala pitanja SbPo,¹³ čime se verovatno ističe njegov značaj za ocenu LoPo i b/g jedinice.

¹¹ Citirana literatura str. 20.

¹² Citirana literatura str. 151–159 i 234–235.

¹³ Citirana literatura str. 188.

Metodologija ocenjivanja svodi se na proveru ocene, koju daje komandant jedinice i koju prezentira inspekciji u referatu o stanju b/g. Na ovaj način ocena predstavlja kompromis komandantove ocene i nađenog stanja b/g.

Kontrolu iz oblasti SbPo trebalo bi da vrše eksperti SbSI, a to često nije slučaj zbog nepopunjenosti formacijskih mesta u inspekciji ili iz drugih kadrovskih i profesionalnih razloga. U inspekciju se često postavljaju ili koptiraju lica koja nisu stručno kompetentna da vrše KiO SbPo.

Pri ovakvom stanju metodologije i načina ocenjivanja, ocena pokretljivosti i njenih parametara je nerealna, pa se, popred ostalog i zbog toga, pomoću ovog pokazatelja ne može ceniti ni izražavati uspešnost kretanja jedinica i organizovanih vojnih kolona. Prema tome, postojećim kriterijumima nemoguće je vrednovati i izražavati efikasnost kretanja organizovanih vojnih kolona, a to znači ni ZTJ.

Pojam i definisanje pokretljivosti

Teškoće u ocenjivanju pokretljivosti javljaju se i zbog toga što ovaj pojam nije definisan Pravilom o kontroli i ocenjivanju borbene gotovosti [10] i nije teorijski ni sadržajno omeđen, pa kontrolori ovom pitanju pristupaju proizvoljno i subjektivno.

U vojnostručnoj literaturi pokretljivost je definisana iz dva aspekta. U [11] pokretljivost se definiše sa aspekta taktike kao: „Sposobnost OS u celini ili pojedinih vidova, rodova i jedinica da u različitim zemljišnim, klimatskim i borbenim uslovima savladaju prostor (kopno, more, vazdušni prostor), na bojištu ili van njega.¹⁴ Može biti taktička (v.), operativna (v.) i strategijska pokretljivost (v.)“. U istom izvoru se objašnjava da pokretljivost zavisi od organizacije i formacije, tehničke opremljenosti, sistema komandovanja, karakteristika zemljišta, putne mreže, klimatskih i meteoroloških uslova. Istaknuto je da je pokretljiviji onaj ko je sposobniji da u određenim uslovima deluje brže i elastičnije i da se pokretljivost na bojištu bitno razlikuje od pokretljivosti na maršu.

U [12] pokretljivost je definisana sa aspekta tehničke podrške (TPo), vezano za podsistem tehničkog održavanja (TO) kao kriterijum¹⁵ koji: „služi za ocenu u kojoj meri je sistem u stanju da islocira svoje resurse iz stacionarnih objekata, i vrši potrebne manevre resursima.“ Naglašeno je da se vrednosti po kriterijumu dobijaju modeliranjem.

Ni jedna od navedenih definicija nije adekvatna i ne obuhvata parametre kojim se, prema [10], ocenjuje pokretljivost saobraćajno-transportne strukture. Zbog toga je potrebno adekvatno definisati pojam pokretljivost sa taktičko-tehničkog aspekta ili napustiti ocenjivanje jedinica po ovom pitanju, jer nema svrhe ceniti pojam neadekvatnog ili nepoznatog značenja i sadržaja.

¹⁴ Navedeni izvor stranica 412.

¹⁵ Većina kriterijuma TPo standardizovano je po ISO 9000 i 10000 [12], što ukazuje na njihov značaj.

Predlog modela za ocenu pokretljivosti

Iskustva iz poslednjih ratnih dešavanja na našoj teritoriji i iskustva iz savremenih ratova [8] na empirijski bogato dokumentovanim činjenicama pokazuju da je pokretljivost značajan taktičko-tehnički pokazatelj koji se sa stanovišta SbSI i SbPo može definisati kao sposobnost posmatrane jedinice da izvrši kretanje u datim uslovima [1]. Ona je limitirana: popunom vozačima, starešinama i m/v, kvalitetom obučenosti i uvežbanosti za realizaciju zadataka SbPo, kvalitetom m/v, puta i uticajima okoline. Prema tome, elementi pokretljivosti su: motorna vozila – automobili (A), vozači (V), starešine (S), put (P) i okolina (O). Pokretljivost je funkcija navedenih elemenata, čiji je opšti oblik:

$$P = f(A, V, S, P, O). \quad (3)$$

Uticaj vozila na pokretljivost izražava se koeficijentom popune vozilima (p_a) i kvalitetom vozila, koji obuhvata tehničko stanje (α_t) i starosnu strukturu (s_s). Uticaj vozača i starešina na pokretljivost izražava se odgovarajućim koeficijentima popune vozačima (p_v) i starešinama (p_s), kvalitetom obučenosti i uvežbanosti vozača za realizaciju namenskih zadataka¹⁶ (O_v) i kvalitetom osposobljenosti starešina (O_s). Uticaj puta izražava se kvalitetom i stanjem puta (KP), a uticaj okoline pozitivnim i negativnim delovanjem okoline (UO). Imajući u vidu navedene uticaje, funkcija pokretljivosti ima oblik:

$$P = f(p_a \cdot \alpha_t + p_v \cdot O_v + p_s \cdot O_s + KP + UO). \quad (4)$$

Od navedenih parametara pokretljivosti numerički se mogu izraziti: koeficijenti popune vozilima p_a , vozačima p_v i starešinama p_s i koeficijenti tehničke ispravnosti vozila α_t , obučenosti vozača O_v i osposobljenosti starešina O_s . Ostali faktori: starosna struktura vozila s_s , kvalitet i stanje puta KP i delovanje okoline UO ne mogu se kvantifikovati. Ovi uticaji mogu se izraziti modeliranjem, ako se radi o konkretnom zadatku, ali je to na ovom nivou razmatranja nepotrebno, jer oni ne zavise od ocenjivane jedinice, pa se pri ocenjivanju mogu apstrahovati.

Pokretljivost se nominalno može izraziti u obliku:

$$P = \frac{p_a \cdot \alpha_t + p_v \cdot O_v + p_s \cdot O_s}{3} \cdot 100 [\%], \quad (5)$$

gde je:

- p_a koeficijent popune m/v – odnos imajućeg i pripadajućeg broja m/v,
- α_t koeficijent tehničke ispravnosti m/v – odnos ispravnih i ukupnog broja m/v,

¹⁶ Zadaci koji se realizuju na određenom formacijskom mestu pod određenim uslovima i ograničenjima.

- p_v koeficijent popune vozačima – odnos imajućeg i pripadajućeg broja vozača,
- O_v koeficijent obučenosti vozača – odnos obučenih za namenske zadatke i ukupnog broja vozača,
- p_s koeficijent popune starešinama – odnos imajućeg i pripadajućeg broja starešina i
- O_s koeficijent osposobljenosti starešina – odnos starešina osposobljenih za realizaciju namenskih zadataka i ukupnog broja starešina.



Slika 1 – Raščišćavanje puta za posedanje RP na Mokroj gori

Izraz (5) predstavlja model kojim se, prema [10], može vršiti KiO SbPo po pitanju pokretljivost, u okviru ocenjivanja elementa b/g LoPo, pri kontroli i ocenjivanju b/g jedinica.

Prema iznetom, imajući u vidu izraz 5, karakter i uticaj navedenih činilaca na pokretljivost i uticaj ovog pojma na uspešnost realizacije zadataka ZTJ, pokretljivost je kriterijum efikasnosti kretanja jedinica i kolona. To je osnovni faktor koji ukazuje na potencijalnu efikasnost, pa zbog toga zaslužuje poseban tretman sa stanovišta izučavanja i optimizacije.

Pokretljivost je i za druge armije značajan pojam. U vojsci SAD i NATO-u pokretljivost je prema [13] jedan od klasičnih principa logistike,¹⁷ koji podrazumeva:

- raspolaganje transportnim sredstvima u organskom sastavu, koje garantuje potpunu autonomiju pokreta sve do nivoa združenih jedinica,
- razumnu upotrebu raspoloživih transportnih sredstava na višim komandnim nivoima (od korpusa na više),
- određenu popunu jedinica preko norme sledovanja MS, s tim da se ne naruše transportne mogućnosti jedinica.

¹⁷ Klasični principi logistike su: fleksibilnost, pokretljivost, autonomnost i teritorijalnost.



Slika 2 - Neprilagođenost vozila namenskim zadacima narušava pokretljivost, pa se ona nadomešta improvizacijama

Na osnovu iskustva iz prethodnih ratova i doktrinarnih promena u KoV SAD, najnovijim logističkim uputstvom (FM 100-5) uvedeni su novi principi¹⁸ LoPo, a u NATO savezu zadržani su klasični.

Izneti podaci ukazuju da je pokretljivost za Vojsku i za vođenje oružane borbe značajan i složen pokazatelj, pa ima smisla i potrebe detaljno i svestrano izučiti ovaj pojam i odrediti kriterijume za njegovo merenje i ocenjivanje. Zbog toga je načelnik Generalštaba VJ odobrio izradu „Studije motorizacije i pokretljivosti Vojske Jugoslavije“. Izrada studije odobrena je 1993. godine, kao zadatak Saobraćajne uprave (SbU) i bila je jedan od težišnih zadataka 1993. godine. Saobraćajna uprava izradila je predlog sadržaja i osnove za izradu studije. Studiju je trebalo realizovati kroz dva separata: studiju motorizacije VJ i studiju pokretljivosti VJ.



Slika 3 – Da uslovi puta i radne sredine nisu ograničavali pokretljivost možda ne bi došlo do ovakvih posledica

U predlogu osnova za izradu studije motorizacije i pokretljivosti, istaknuto je: „Definicija i razrađenost pokretljivosti u postojećoj regulativi ne zadovoljavaju potrebe SbSl. Sadašnje definicije pokretljivosti su deskriptivne, opšte i načelne, ne sadrže sistematizovanu metodologiju i kriterijume za

¹⁸ Novi principi logistike US army su: predviđanje, integracija, kontinuitet i improvizacija.

praćenje i analizu stanja, a ocene su aproksimativne, subjektivne, nepotpune i uopštene („visoka pokretljivost“, „nedovoljna“, „niska“, „mala“, itd.).

U osnovama je istaknut poseban cilj i zadaci studije, gde su, pored ostalih, navedeni: „predložiti definicije, opšte modele, pokazatelje i kriterijume za ocenu pokretljivosti jedinica; razraditi posebne modele pokretljivosti, metodologiju i regulativu za jedinstveno praćenje, analizu, numeričku ocenu i upoređivanje stanja“.

Studija ni do danas nije urađena, verovatno zbog kadrovskih i drugih ograničenja, a nepoznato je da li je ova ideja potpuno napuštena. Bez obzira na ove činjenice, inspekcija b/g, u okviru kontrole i ocenjivanja elementa b/g LoPo, ocenjuje pitanje pokretljivost iz SbPo što je, pri ovakvom stanju, nepravilno i bespredmetno.

Mogućnost poboljšanja i unapređenja stanja i vrednovanja efikasnosti organizovanog kolonskog saobraćajnog toka

Efikasnost kretanja kolone zavisi od: ciljeva i zadataka viših sistema (onih čije zahteve opslužuje), ciljeva i zadataka kolone, njene organizacione i hijerarhijske strukture, veza i uticaja koji se generišu u njoj, veza i uticaja okoline, parametara sistema V-V-P-O-O, stanja i oblika b/d. Zbog toga je efikasnost relativna kategorija, koja kod praktičnih zadataka SbPo mora biti konkretizovana u skladu sa ovim uslovima, ciljevima upravljanja i merodavnim kriterijumima.

Nakon sprovedene analize stanja i vrednovanja efikasnosti u postojećim uslovima nameću se dva pitanja:

1. kako poboljšati i unaprediti efikasnost kretanja organizovanih kolona i
2. kako vrednovati i izražavati njihovu efikasnost?

Poboljšanje i unapređenje efikasnosti funkcionisanja kolone može se ostvariti poboljšanjem upravljanja (rukovođenja i komandovanja), odnosno delovanjem na elemente strukture kolone kao objekte upravljanja. Upravljanje kolonom ostvaruje se realizacijom odluka koje donose upravljački organi¹⁹ (subjekti upravljanja), vrednovanjem uspešnosti kretanja.

U postojećim uslovima upravljanje kretanjem kolona realizuje se na osnovu subjektivnih procena, intuicije i ličnog iskustva upravljačkih organa (subjekti upravljanja). U složenim uslovima saobraćaja i sve složenijim uslovima funkcionisanja organizovanih kolona u ratu, ovakav način upravljanja kretanjem, uglavnom ne obezbeđuje racionalna rešenja. Radi toga je, u upravljanju kretanjem, potrebno primenjivati savremene naučne metode, modele i tehnike i koristiti savremenu opremu.

¹⁹ Imajući u vidu strukturu sistema, to su: vozači, saobraćajci (bez obzira da li deluju iz sistema ili okruženja), starešine kolone i upravni saobraćajni organi na svim nivoima RiK.

Upravljanje kretanjem organizovanih kolona nije teorijski dovoljno izučeno, nisu propisane nadležnosti i obaveze upravnih saobraćajnih organa i nije razvijena oprema za primenu savremenih metoda, modela i tehnika upravljanja. Funkcije upravljanja kolonama, osim planiranja su nerazvijene, pa se i u literaturi [14, 15] često pod upravljanjem podrazumeva samo planiranje, o njemu se govori, ono se objašnjava i razrađuje, a ostale funkcije su zanemarene.²⁰

Planiranje kretanja teorijski je izučeno i pravilno postavljeno. Bez obzira na brojne radove u ovoj oblasti, zbog nedostatka normativne regulative i kadrovskih ograničenja na ključnim funkcijama u SbSI, ova funkcija upravljanja vojnim saobraćajem, ne ostvaruje se u skladu sa mogućnostima i naučnim dostignućima. Ona se u praksi svodi na izradu stereotipnih dokumenata na osnovu prostih analitičkih veza između osnovnih veličina u saobraćaju: puta, vremena i brzine. Ovakav pristup planiranju je nepravilan, jer ne odražava kibemetska, dinamička i stohastička svojstva kolone i ne uzima u obzir međusobne veze i odnose između elemenata sistema i sa okruženjem. Zbog toga se u realizaciji zadataka SbPo od takvih planova često svesno odstupa, pa se upravljanje u narednim fazama ne ostvaruje.

Da bi poboljšali upravljanje, a time unapredili efikasnost kretanja kolona, potrebno je:

- usvojiti ciljeve upravljanja kretanjem organizovanih vojnih kolona,
- definisati i razraditi sistem merodavnih kriterijuma efikasnosti kretanja,
- definisati efikasnost kretanja kolona u skladu sa ciljevima upravljanja i merodavnim kriterijumima,
- upravljanje kretanjem kolona upotpuniti realizacijom svih funkcija upravljanja,
- u procesu upravljanja primenjivati savremene naučne metode, modele i tehnike i koristiti savremena tehnička sredstva i
- normativno regulisati nadležnosti i obaveze upravnih saobraćajnih organa na praćenju i vrednovanju efikasnosti kretanja kolona po nivoima RiK-a.

Iz odgovora na prvo pitanje sledi da je ono uslovljeno rešenjem drugog, jer bez vrednovanja efikasnosti nema poboljšanja upravljanja, odnosno poboljšanja efikasnosti. Dakle, da bi se efikasnost mogla poboljšati, ona se mora vrednovati i analizirati u procesu odlučivanja. Zbog toga vrednovanje efikasnosti kretanja kolona mora biti svakodnevni zadatak upravnih organa SbSI, na svim nivoima RiK-a.

Da bi se mogla vrednovati, efikasnost se mora izražavati merljivim i prepoznatljivim kriterijumima. Zbog toga za kriterijume efikasnosti treba izabrati kvantitativne, a izuzetno kvalitativne pokazatelje koji će se menjati sa promenom parametara i organizacije rada.

²⁰ Od većeg broja šema, za kolonu je najprihvatljivija struktura upravljanja, koju čine funkcije: planiranje, organizovanje, izbor i raspored kadrova (vozača i starešina), koordinacija i kontrola [1] str. 29.

Efikasnost se vrednuje u procesu odlučivanja, analitički, poređenjem sa standardnim ili poznatim vrednostima kriterijuma, istih ili sličnih struktura, na istim ili sličnim zadacima ili iste strukture u različitim uslovima rada. Da bi se ova procedura sprovodila neophodno je normativno regulisati nadležnosti i obaveze sa rokovima, sadržajem i formom izražavanja i vrednovanja efikasnosti.

Rokovi analize i vrednovanja svih pokazatelja, pa i efikasnosti kretanja određeni su značajem zadatka i ciljevima sistema. Prema tome, vrednovanje efikasnosti kretanja potrebno je sprovoditi svakodnevno, periodično ili po fazama realizacije zadataka SbPo.

Najpogodnija forma izražavanja i vrednovanja efikasnosti kretanja, za sopstvene potrebe, jeste analiza stanja, a za potrebe višeg sistema – izveštaj po određenoj proceduri i sadržaju.

Prema tome, iz navedene analize vidi se da ima mogućnosti za poboljšanje i unapređenje stanja i vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka, ali su značajna kadrovska i materijalna ograničenja.

Zaključak

Složena struktura i uslovi rada, uticaji i delovanje ograničenja, zahtevaju permanentno istraživanje, praćenje i vrednovanje efikasnosti organizovanog kolonskog toka. Vrednovanje uspeha složenih organizacionih sistema od prvorazrednog je značaja za realizaciju ciljeva, funkcionisanje sistema i upravljanje njegovim radom. Zbog toga vrednovanje rada složenih sistema treba celovito da odслиka realizaciju ciljeva, funkcionisanje sistema i upravljanje njegovim radom.

Analizom postojećeg stanja utvrđeno je da su za odlučivanje o uspešnosti kretanja kolone u realnom vremenu neophodne informacije o funkcionisanju kolone i relevantni kriterijumi za poređenje efikasnosti u radu. Pošto ovi uslovi nisu obezbeđeni, jer nije razvijen odgovarajući sistem mobilnih veza, a kriterijumi nisu razrađeni, efikasnost nije moguće celovito i jedinstveno vrednovati i pratiti.

Zbog toga kod nas ne postoje uslovi za uspešno i celovito merenje i vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanih vojnih kolona. Iako se o ovom pitanju, u vojnostručnim krugovima, često govori i piše, ono je i do danas ostalo na nivou apstraktne kategorije, nejasnog značenja i sadržaja. Zato su pokušaji vrednovanja efikasnosti organizovanih vojnih kolona ostali bezuspešni, jer se zasnivaju na intuiciji, a svode se na kvantitativne ocene nejasnih parametara. Najveći problemi vrednovanja efikasnosti organizovanog kolonskog saobraćajnog toka su: nejasnoća pojma „efikasnost“, fluidnost njegovih granica i sadržaja i nedostatak merodavnih kriterijuma.

Radi značaja istaknutog pitanja za realizaciju namenskih zadataka jedinica, uvedeno je ocenjivanje SbPo u okviru ocenjivanja borbene gotovosti [10], kroz pitanja: pokretljivost, saobraćaj, transport i park tehničkih sredstava. Pitanje pokretljivost funkcionalno i strukturno je povezano sa efikasnošću organizovanog kolonskog toka. Strukturno i sadržajno prema parametrima koji se cene (popunjenost neborbenim vozilima, starosna struktura neborbenih vozila, raspoloživost i kompletnost vozila), predstavlja *parametar efikasnosti*, a funkcionalno ukazuje na *potencijalnu efikasnost* (izražava mogućnost jedinice). Zbog toga je ovo pitanje značajno za našu vojsku, ali i za druge savremene armije [13]. Bez obzira na značaj, ono se u postojećim uslovima ocenjuje jednostrano, samo sa aspekta vozila, pa se umanjuje njegov značaj i uticaj na upravljanje.

Kriterijumi za ocenjivanje pokretljivosti konkretni su i precizni [10] (tab. 3.1). Problemi nastaju u primeni kriterijuma, jer pojam nije adekvatno definisan. Njegovi parametri nisu kvantifikovani, metodologija ocenjivanja je neadekvatna, a ocenjivanje ponekad vrše lica koja nisu stručno kompetentna. Zbog toga se u ocenjivanju javlja subjektivizam i improvizacije, pa to dodatno umanjuje njegov značaj i domete upravljanja.

Pri ovakvom stanju metodologije i načina ocenjivanja ocena *pokretljivosti* i njenih parametara u postojećim uslovima nerealna je, pa se pomoću ovog pokazatelja ne može ocenjivati ni izražavati uspešnost kretanja jedinica i organizovanih vojnih kolona.

Može se zaključiti da je vrednovanje efikasnosti kretanja kolona stručno pitanje, pa mora biti u nadležnosti organa SbSl. Iz navedene analize vidi se da ima mogućnosti za poboljšanje i unapređenje stanja i vrednovanje efikasnosti kretanja organizovanog kolonskog toka. Za realizaciju ovih zadataka postoje neophodni uslovi, ali se moraju prevazići kadrovska i materijalna ograničenja.

Literatura

- [1] Gordić, S. R., Efikasnost organizovanog vojnog kolonskog saobraćajnog toka, doktorska disertacija, Vojna akademija, Škola nacionalne odbrane, Beograd, 2005.
- [2] Miladinović, V., Organizacija putnog transporta, TVA KoV JNA, Zagreb, 1976.
- [3] Vasin, Lj., Prilog istraživanju kontrole saobraćajnog obezbeđenja u VSCG, doktorska disertacija, Vojna akademija - Odsek logistike, Beograd, 2004.
- [4] Gordić, S. R., Analiza kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka i kriterijuma njegove efikasnosti, magistarski rad, TVA KoV, Zagreb, 1983.
- [5] Izveštaj komisije za ocenu magistarskog rada kap. I kl. Radomira Gordića, dipl. inž., Zagreb, 1983.
- [6] Miladinović, V., Utvrđivanje borbene mogućnosti jedinica na bazi raspoloživih količina MTS iz nadležnosti SbSl, Bilten SbSl, br. 9, 1981.

OBRAZOVANJE NA DALJINU

Dr Slavko Pokorni, dipl. inž.
Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije,
Zemun

Rezime:

U radu su analizirani pojam, prednosti, uslovi za uvođenje, rezultati istraživanja o potrebi uvođenja, kao i osnovne karakteristike organizacije sistema obrazovanja na daljinu. Dat je i primer njegove primene u Beogradskoj akademiji računarskih nauka.

Ključne reči: obrazovanje na daljinu, učenje na daljinu, visoko obrazovanje.

DISTANCE EDUCATION

Summary:

The definition, advantages, conditions for implementation and results of the research of necessity of implementation are analysed as well as the basic characteristics of the organization of distance education systems. The example of an implementation in the Belgrade Academy of Computer Sciences is given as well.

Key words: distance education, distance learning, higher education.

Uvod

Razvoju obrazovanja na daljinu (engl. distance education) u svetu se poklanja značajna pažnja [1, 5]. Veliki broj svetski priznatih visokoškolskih ustanova u svom programu studija ima ovaj oblik obrazovanja. Prema podacima Američke asocijacije za učenje na daljinu (The United States Distance Learning Association, USDLA), za 2003. godinu, na nekoj formi distance learninga bilo je oko 3 000 000 studenata. Neke od najznačajnijih institucija koje ga primenjuju u svom radu su u SAD: National Technological University, Western Governors University, University of Phoenix, California Distant Learning Program, Columbia Network for Engineering Education; u Evropi: The International Council for Open and Distance Education – Oslo, United Kingdom Open University, Virtual University Enterprises, University for Industry, itd.

U Evropi su značajne inicijative razvoja „distance learninga“, realizovane preko „European Distance Education Network“ (EDEN)¹ [6] i „European Association of Distance Education Teaching Universities“. Open University iz Velike Britanije usvojio je standarde za obrazovanje na daljinu po čijem uzoru su organizovane obrazovne institucije u Španiji, Nemačkoj, Holandiji i Portugaliji. Evropska komisija u svojim dokumentima (e-learning Action Plan 2004–2006) snažno podržava razvoj učenja na daljinu, odnosno e-obrazovanja u svim državama članicama EU. Mnogi programski dokumenti, kao što su eEurope+, eEurope 2005, Information Society itd. i rezolucija Evropskog Saveta daju obrazovanju na daljinu značajan prioritet u daljem razvoju obrazovanja u EU.

Obrazovanje na daljinu uvedeno je, uvodi se ili se planira njegovo uvođenje i za pripadnike Vojske (videti u [12]).

Šta je obrazovanje na daljinu?

Obrazovanje na daljinu nije novina. Nastalo je sa pojavom dopisnih škola, koje su se zasnivale na materijalima i knjigama koji su se slali putem pošte, a danas se sprovodi putem savremenih tehnologija (slanje e-maila, dostavljanje CD-a, on line komunikacija, itd.), kako se, naravno, i polažu ispiti. Prema tome, obrazovanje, odnosno učenje na daljinu, postoji više od 100 godina,² ali je sa pojavom interneta dobilo novu dimenziju, pa ga mnogi, od tada, smatraju novim fenomenom. Faktički je primenjivo na svim nivoima obrazovanja, od osnovnog, preko srednjeg i visokog do različitih oblika obrazovanja i usavršavanja u toku radnog veka na radnom mestu i van njega (obrazovanje tokom čitavog života).

Definicije obrazovanja na daljinu nisu jedinstvene i tokom vremena su se menjale, često u zavisnosti od razvoja tehnologije kojom su realizovane, ali i da bi se obuhvatila i nauka o nastavi na daljinu (distance teaching), i njen krajnji rezultat, učenje na daljinu (distance learning), posebno u oblasti visokog obrazovanja, gde se obrazovanje na daljinu i pojavilo.

Obrazovanje na daljinu (distance education), u časopisu The Quarterly Review of Distance Education, definisano je kao institucionalno zasnovano formalno obrazovanje, gde su grupe koje uče odvojene i gde se koriste sistemi za interaktivnu komunikaciju za povezivanje nastavnika, onih koji uče, i resursa.

¹ Članovi EDEN-a iz Srbije su: E-learning Network, Link group (koji je osnivač Beogradske akademije računarskih nauka) i Ekonomski fakultet iz Subotice.

E-Learning Network formirala je beogradska kancelarija WUS Austria u okviru eLearning Program-a, a dobrovoljno je udruženje koje koristi virtualne platforme za razmenu ideja, informacija, i priprema razne skupove. Do sada je formiran eLearning Task Force koji se sastoji od predstavnika svih univerziteta, a koji je izradio i usvojio skup preporuka za razvoj elektronskog obrazovanja. Krajnji cilj je formiranje univerzitetskog centra za elektronsko obrazovanje, koji treba da bude osnova za promociju i razvoj elektronskog obrazovanja na univerzitetima u Srbiji i Crnoj Gori (videti na: <http://www.eln-online.org/about>).

² Zanimljivi podaci o istorijatu obrazovanja mogu se videti na sajtu <http://www.it-akademija.com/ITAkademija-Vremeplov-obrazovanja>

Američka asocijacija za učenje na daljinu (The United States Distance Learning Association) [7] definiše pojam učenja na daljinu kao „sticanje znanja i veština putem indirektnih informacija i uputstava, primenom različitih tehnologija i ostalih formi učenja na daljinu“.

Jedna od jednostavnih i prihvaćenih definicija obrazovanja na daljinu je „strukturirano učenje koje se obavlja bez fizičkog prisustva nastavnika“, usvojena 1989. godine na konferenciji u Los Alamosu [8].

Pojava novih tehnologija, posebno interneta, ne samo što je dala novi zamah obrazovanju na daljinu već su se pojavili i novi termini: elektronsko učenje (e-learning), online learning, i web zasnovana obuka (web-based training). Iako je American Society for Training & Development (ASTD) definisalo e-learning kao isporuku sadržaja preko interneta, intraneta-extraneta, audio i videotraka, satelita, interaktivne TV, i CD-ROM-a, danas se najčešće podrazumeva samo internet.

Sredinom devedesetih godina nastao je i novi termin – savremeno distribuirano učenje (advanced distributed learning). Prema tome, učenje na daljinu je sistem i proces povezivanja polaznika sa distribuiranim obrazovnim resursima.

Bez obzira na različitost definicija, sa praktičnog stanovišta, distance learning, kao minimum podrazumeva [8]:

- fizičku udaljenost između studenta i nastavnika – najočigledniji element;
- organizaciju koja obezbeđuje sadržaje – za razliku od samoučenja,
- nastavni program – učenje mora imati cilj i, prema tome, strukturu,
- vrednovanje (ocenjivanje) učenja – što se podrazumeva za svako učenje.

Iako je ovde, kao zahtev, izostavljena, interakcija je poželjna za dobro učenje na daljinu.

Kada je reč o učenju³ i obrazovanju, moglo bi se reći da se učenje na daljinu odnosi na bilo koju formu učenja gde su onaj koji uči i nastavnik razdvojeni, a obrazovanje na daljinu odnosi se na aktivnosti formalnih obrazovnih institucija, uključujući sve nivoe obrazovanja, kao i obrazovanje tokom čitavog života.

Savremene tehnologije pružaju raznolike mogućnosti pri izboru sredstava za realizaciju učenja na daljinu. Radi postizanja optimalnih rezultata, mediji (sredstva) za učenje na daljinu treba da budu odabrani, imajući u vidu da učenje na daljinu može da se odvija kao [8]:

- sinhrono (živa – u realnom vremenu, dvosmerna, usmena i/ili vizuelna komunikacija između studenta i nastavnika) i asinhrono (komunikacija nije u realnom vremenu), i

³ Učenje je proces sticanja znanja ili veština putem studiranja, iskustva ili nastave.

– simetrično (tok informacija je podjednak u oba smera između nastavnika i studenta), i asimetrično (učenje ili komunikacija, kada tok informacija ide prevashodno u jednom smeru).

U Srbiji je obrazovanje na daljinu u začetku. O uvođenju učenja na daljinu razmišlja se i u našoj okolini, na primer u BiH.⁴

Prednosti obrazovanja i učenja na daljinu

Neke od prednosti koje studentima pruža obrazovanje na daljinu su [9]:

- mogućnost da se studira van mesta prebivališta, pa i granica države, a da ne mora da se boravi u mestu obrazovne ustanove,
- smanjenje troškova stanarine i ostalih troškova vezanih za boravak u mestu održavanja studija (obaveza studenta je samo da dođe na ispit),
- mogućnost da student radi za vreme studiranja nezavisno od mesta održavanja studija,
- prevazilaženje nemogućnosti da posećuje tradicionalnu nastavu zbog trajnih ili privremenih fizičkih problema, invalidnosti ili bolesti,
- samoorganizovanje vremena za učenje (visoka motivacija, planiranje vremena i sposobnost za analizu i sintezu sadržaja koji se uči) i dr.

Obrazovanje na daljinu u odnosu na klasičan način obrazovanja pokazuje sledeće prednosti [9]:

- omogućuje obrazovanje u toku životnog veka (lifelong learning) i profesionalno usavršavanje,
- uči se nezavisno, na mestu i u vremenu koje se samostalno odabere,
- mesto učenja može se odabrati – zavisi od medija koji se koristi za distribuiranje materijala za učenje (uči se na poslu, kod kuće...),
- uči se vlastitim tempom – kroz materijal za učenje prolazi se onom brzinom i onoliko puta koliko se želi,
- mogućnost izbora željenih kurseva/programa pronalaze, iako ih ne nude obrazovne ili poslovne institucije u mestu u kojem se živi ili radi,
- učestvovanje u najkvalitetnijim ili najprestižnijim programima – može se „pohadjati“ kurseve na kvalitetnim institucijama ili koje drže poznati stručnjaci bez promene mesta boravka,
- izbor svog načina učenja – aktivno ili pasivno učenje, sa različitim nivoima interakcije: „klasični“ pisani materijal uz vođenje vlastitih beleški,

⁴ Kantonalna edukacijska mreža u Sarajevu predviđa projekat daljeg razvoja softvera za sistem učenja na daljinu i za *e-Learning* koji je razvio Univerzitetski teleinformatični centar (UTIC) i implementirao na nivou Univerziteta. Osnovni cilj Univerzitetskog centra za razvoj daljinskog obrazovanja na Univerzitetu u Sarajevu je koordinirano uvođenje procesa daljinskog obrazovanja, kao modernog oblika obrazovanja, na sve fakultete Univerziteta u Sarajevu, te pružanje usluga kontinuiranog obrazovanja (life-long education) za širu društvenu zajednicu. UNIC je naučno-organizaciona jedinica Univerziteta u Sarajevu za unapređenje naučno-istraživačkog rada, putem kojeg se objedinjavaju i uvezuju računarski resursi članica Univerziteta u Sarajevu u jedinstvenu računarsko-komunikacionu strukturu (videti na: <http://www.utic.net.ba>).

interaktivne simulacije, diskusija sa ostalim učenicima (e-mail, telekonferencije, ...), multimedije – grafika, animacije, zvuka ...,

– praktičan rad sa različitim tehnologijama, čime se stiču ne samo informacije o onome što se uči, nego i dodatna znanja i veštine o korišćenju različitih tehnologija, omogućuju polazniku da postigne i zadrži nivo „pismenosti za 21. vek“,

– samostalno učenje i interakcija – i nastavnici uče od polaznika koji samostalno traže izvore informacija.

Rezultati istraživanja u vezi sa obrazovanjem na daljinu

Za potrebe razvoja ustanove visokog obrazovanja sa klasičnim obrazovanjem i obrazovanjem na daljinu, LINK Group je obavio istraživanja radi dobijanja podataka o potencijalnim studentima kojima bi odgovarao ovakav oblik studiranja [1].

Istraživanja su sprovedena na uzorku od oko 300 ispitanika u različitim sredinama Srbije i Crne Gore, radi utvrđivanja karakteristika ciljne grupe koja je zainteresovana za trogodišnje studije u oblasti informacionih tehnologija.

Struktura anketiranih je sledeća: 87% srednjoškolci, 13% studenti; 29% zaposleni, 71% nezaposleni; 40% do 20 godina starosti, 47% od 20 do 30 godina, 13% preko 30 godina.

Interesantan je podatak da od ukupnog broja anketiranih 93% poseduje računar, 50% koristi internet svakodnevno, a 42% nekoliko puta sedmično. Samo 13% anketiranih informisano je o mogućnosti učenja putem interneta.

U tabeli 1. prikazani su samo konačni rezultati izjašnjavanja anketiranih o najpoželjnijem obliku studiranja. Očigledno je da postoji značajan interes za obrazovanjem na daljinu ili njegovim kombinovanjem sa klasičnim pristupom.

Tabela 1

Poželjan način studiranja

Oblik obrazovanja	Ispitanici
Tradicionalne studije bez elemenata učenja na daljinu	13%
Program udaljenog učenja	48%
Kombinovani program	39%

Sistem obrazovanja na daljinu

U Beogradskoj akademiji računarskih nauka (BARN) uspostavljen je sistem obrazovanja na daljinu, podržan odgovarajućom softverskom platformom (Distance Learning System, DLS), (slika 1). To je prva i jedina domaća platforma za učenje na daljinu, multimedijalna i interaktivna. Izgrađena je po

- podsistem za kreiranje materijala za učenje,
- univerzalni podsistem prikaza materijala,
- podsistem za testiranje,
- podsistem bodovanja,
- podsistem praćenja korišćenja,
- podsistem organizacije kurseva (nastavnih predmeta),
- podsistem komunikacije i obaveštavanja,
- hijerarhija pristupa,
- podsistem kvaliteta,
- stablo i baza znanja (pojmovnik, FAQ, Search).

Bez detaljnijeg opisivanja elemenata sistema i podsistema, samo primera radi, spomenućemo da je potpuno podržana izrada sadržaja za nastavne predmete (kurseve). Predmeti se dele na module (nastavne celine), moduli na nastavne jedinice (teme), a nastavne jedinice na nastavne elemente. Nastavni elementi predstavljaju osnovni element nastavnog sadržaja. U DLS-u postoje sledeći tipovi elemenata: sadržaj nastavne jedinice, audio, multimedija, test napredovanja, vežbanja, zadaci, literatura, materijali, web lokacije, prevod, prezentacija, primeri.

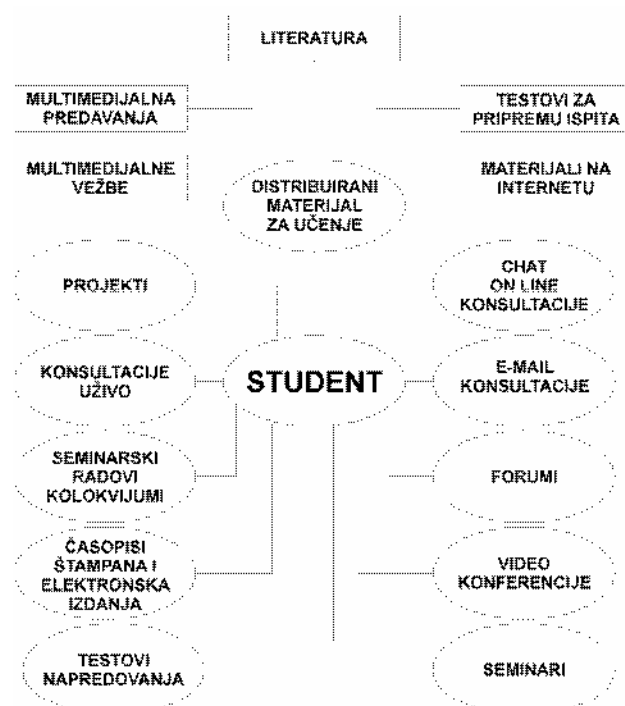
Pri pripremi uvođenja ovakvog načina obrazovanja vodilo se računa o preporukama i iskustvima vodećih svetskih institucija i organizacija koje propisuju određene standarde i sisteme za obezbeđenje kvaliteta pri izvođenju nastave na daljinu. Ti standardi odnose se i na identifikaciju i upravljanje procesima [2] i elementima kvaliteta u obrazovnoj instituciji.

Polazeći od već uspostavljenih standarda, trendova u izvođenju obrazovanja na daljinu, tehnološkog razvoja informacionih tehnologija, a posebno od znanja i veština potrebnih budućim studentima, BARN se opredelio za primenu nekoliko različitih oblika edukacije i njihovu kombinaciju u izvođenju:

- učenje preko interneta,
- učenje u intemetu,
- edukativni softveri za samostalno učenje,
- multimedijalna predavanja i vežbe na CD-u,
- obrazovni računarski softver za vežbanje,
- obrazovni računarski softver tipa „baze znanja“,
- dijagnostički obrazovni računarski softver za utvrđivanje znanja i izgradnju veština (Testing Learning Software),
- multimedijalni softveri za učenje stranih jezika,
- elektronske knjige.

Kombinovanje pojedinih rešenja izvodi se u zavisnosti od zahteva koje određeni nastavni predmet, odnosno kurs, zavisno od specifičnosti izvođenja, postavlja pred nastavnika, odnosno studenta.

Studenti slobodno biraju oblik obrazovanja koji nudi BARN: obrazovanje na daljinu (distance learning, DL) ili klasičan način obrazovanja.



Slika 2 – Organizacija nastave na Beogradskoj akademiji računarskih nauka

Sistem organizovanja kombinovane varijante obrazovanja predstavljen je na slici 2, na kojoj se vidi da je sistem organizacije izvođenja nastave na BARN-u adekvatno povezan i sa „klasičnim obrazovanjem“ i „obrazovanjem na daljinu“ u jedinstvenu celinu. Odnos upravnog i nastavnog osoblja je istovetan i za studente koji studiraju putem redovnog pohađanja nastave i distance learninga.

Osnovna pravila studiranja na daljinu

Studenti iz programa studija na daljinu u pogledu svojih prava i obaveza u potpunosti su izjednačeni sa ostalim studentima i ostvaruju svoja prava i obaveze prema Statutu Beogradske akademije računarskih nauka [3].

Za studente na studiju „obrazovanje na daljinu“ obezbeđeni su sledeći sadržaji:

- studenti dobijaju materijale i softvere neophodne za savladavanje nastavnog plana i programa (uračunati u cenu studija),
- ne pohađaju klasičnu nastavu,
- koriste sve raspoložive materijale za učenje na internetu,
- imaju dodatno organizovane časove konsultacija u sedištu ustanove i preko Interneta.

Zaključak

Razvoj obrazovanja, odnosno učenja na daljinu, u svetu je dostigao značajan nivo sa velikim brojem korisnika. Veliki broj svetski priznatih visokoškolskih ustanova u svom programu studija nudi i primenjuje ovaj savremeni model obrazovanja, u civilnom i vojnom sektoru.

Rezultati sprovedenih istraživanja pokazuju da i kod nas postoji interes i potreba za organizovanjem obrazovanja na daljinu ili njegovim kombinovanjem sa klasičnim oblikom obrazovanja.

Pored svršenih srednjoškolaca, veliko interesovanje pokazuju i studenti, te mladi privatni preduzetnici. Jedan od osnovnih zahteva koje obrazovanje na daljinu postavlja pred korisnike jeste poznavanje rada na računaru i korišćenje interneta.

Učenje na daljinu je izazov i sredstvo za poboljšanje i unapređenje obrazovnih procesa, kao i jedan od temelja za nove i bolje načine upravljanja znanjem. Intenzivno uvođenje informacionih tehnologija u obrazovne procese postao je prioritet modernih visokoobrazovnih institucija širom sveta.

Literatura

- [1] *Distance Learning – učenje na daljinu*, studija, LINK Group, Beograd, 2005.
- [2] Pokorni, S., *Process approach to quality management in education*, Academic and Applied Research in Military Science (AARMS), Miklos Zrinyi National Defense University, Budapest, Vol. 3, No. 4, 2004, pp 625–631
- [3] Sajt Beogradske akademije računarskih nauka na adresi: www.barn.edu.yu, posećen 22. 08. 2007.
- [4] Distance Learning System, uputstvo za korišćenje, LINK Group, Beograd.
- [5] Kuleto, V., Stefanović, M., Radić, G., Pokorni, S., *Obrazovanje na daljinu u Beogradskoj akademiji računarskih nauka*, 10. međunarodna konferencija – upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM- 2007, Zbornik radova, pp 813–818, Beograd, 13–14. juna 2007.
- [6] European Distance Education Network, Members List, <http://www.eden-online.org/eden.php>, posećen 23. 08. 2007.
- [7] USDLA Distance Learning Definition, <http://www.usdla.org/>, posećen 23. 08. 2007.
- [8] Holden T. J., Westfall J.-P. P., *An Instructional Media Selection Guide for Distance Learning*, United States Distance Learning Association, 2006.
- [9] <http://www.it-akademija.com/ITAkademija-Prednosti-učenja-na-daljinu>, posećen 22. 08. 2007.
- [10] <http://www.it-akademija.com/ITAkademija-Elementi-DL-sistema>, posećen 22. 08. 2007.
- [11] Kuleto, V., Stefanović, M., Radić, G., Pokorni, S., *Softver za izradu testova za proveru znanja i učenje*, 10. međunarodna konferencija – upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM- 2007, Zbornik radova, pp 819–824, Beograd, 13–14. juna 2007.
- [12] The Army Correspondence Course Program, The Army Institute for Professional Development, <http://www.atsc.army.mil/accp/aipdnew.asp>, posećen 23. 08. 2007.

Potpukovnik mr *Nebojša Gaćeša*, dipl. inž.
Uprava za školstvo

16. TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR 2008

U Beogradu je 25, 26. i 27. novembra 2008. godine, u Sava centru, održan 16. telekomunikacioni forum TELFOR 2008, koji su organizovali Društvo za telekomunikacije – Beograd, „Telekom Srbija“ a. d., JP PTT saobraćaja „Srbija“, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu i IEEE Serbia & Montenegro ComSoc Chapter and Section.

Telekomunikacioni forum TELFOR organizuje se šesnaesti put kao domaći i regionalni godišnji skup stručnjaka koji rade u oblastima telekomunikacija i informacionih tehnologija. To su, uglavnom, telekomunikacioni inženjeri, ali i ekonomisti, pravnici, menadžeri, operatori i drugi. Na taj način TELFOR predstavlja forum u okviru kojeg se razmatraju sva relevantna pitanja telekomunikacija: tehnička, razvojna, regulatorna i ekonomska, pitanja proizvodnje opreme, usluga, servisa i funkcionisanja sistema.

U toku TELFOR-a organizovane su:

- plenarne sednice sa predavanjima po pozivu,
- oko trideset autorskih sesija sa autorskim radovima iz različitih oblasti telekomunikacija,
- sesije sa radovima studenata redovnih studija,
- stručni seminari za afirmisane stručnjake,
- obrazovni seminari za mlade stručnjake i studente redovnih i post-diplomskih studija,
- specijalne prezentacije vodećih internacionalnih i domaćih telekomunikacionih kompanija,
- prezentacije novih stručnih knjiga,
- izložba telekomunikacionog hardvera, softvera, sistema, prateće opreme i usluga,
- tematske rasprave, panel diskusije i okrugli stolovi u vezi sa aktuelnim temama,
- stručne i komercijalne prezentacije kompanija,
- prezentacije profesionalnih udruženja, profesionalni skupovi, konferencije za štampu, prijemi, itd.

Na TELFOR-u se prezentuju radovi sa istraživačkim i naučnim rezultatima, sa novim idejama, korisnim iskustvenim zaključcima, zatim pregledni radovi i radovi obrazovnog tipa. Posebno su cenjeni radovi u kojima se izlažu iskustva iz prakse. Po pozivu Programskog odbora na TELFOR-u se prikazuju i pregledni radovi i prezentacije pojedinaca i kompanija.

Među telekomunikacionim poslenicima značaj TELFOR-a raste svake godine. TELFOR redovno ima veliki broj učesnika i posetilaca, kako pojedinaca, tako i kompanija, iz svih telekomunikacionih segmenata. Na TELFOR uobičajeno dolazi oko 2000 posetilaca i za TELFOR se prihvata od 150 do

200 detaljno recenziranih radova sa ukupno oko 300–400 autora. Proteklih godina nekoliko desetina telekomunikacionih kompanija bilo je na različite načine angažovano u vezi sa TELFOR-om. Svoje prezentacije imale su i poznate svetske kompanije, kao što su Agilent, Alcatel, Cisco, Ericsson, HP, Huawei, Intracom, Juniper, Motorola, Rohde & Schwarz, Siemens i druge, po pravilu zajedno sa svojim srpskim partnerima, kao i oko 50 domaćih i međunarodnih organizacija donatora i učesnika.

Predsednik Upravnog odbora TELFOR-a 2008. bio je prof. dr Đorđe Paunović sa Elektrotehničkog fakulteta Beograd, a predsednik Programskog odbora bio je prof. dr Aleksandar Marinčić, takođe sa Elektrotehničkog fakulteta Beograd.

Rad Foruma odvijao se u okviru plenarnih sednica sa predavanjima, radovima po pozivu i tematskim izlaganjima, kroz rad više specijalnih sekcija, sekcija sa autorskim radovima, sekcija sa radovima studenata redovnih studija, preko panel diskusija i okruglih stolova o aktuelnim temama, usmerenih seminara, tehničkih izložbi kompanija, tematskih izložbi i prikaza, tehničkih i komercijalnih prezentacija, profesionalnih skupova i sastanaka, itd. Plan i program rada utvrdio je Organizacioni odbor, na čelu sa prof. dr Ljiljanom Milić, sa Elektrotehničkog fakulteta Beograd.

Autori pojedinci za TELFOR podnosili su stručne i naučne radove sa originalnim praktičnim ili teorijskim rezultatima istraživanja, od interesa za širi skup stručnjaka u području iz kojeg je rad, kao i radove koji sadrže primene teorijskih metoda u rešavanju konkretnih inženjerskih problema, prikaze praktičnih novih rešenja ili uređaja, rezultate eksperimentalnih istraživanja, realizacije poznatih rešenja na novi način i slično.

Za TELFOR se, inače, prijavljuju radovi čiji sadržaj nije pre Foruma saopšten, objavljen ili na drugi način prikazan. Učesnici izuzetno mogu ponuditi Programskom odboru, ili Programski odbor može naručiti po pozivu, pregledne radove iz pojedinih oblasti, odnosno radove sa prikazima rezultata drugih autora i institucija (bez sopstvenog doprinosa, odnosno učešća u istraživanju podnosioca rada). Na radu se tada mora obavezno naznačiti da je u pitanju pregledni rad, odnosno moraju se jasno i dosledno naznačiti izvori informacija i eventualne dozvole za objavljivanje do tada nepublikovanih rezultata.

TELFOR posebno organizuje sekciju za studente osnovnih i diplomskih akademskih studija. U ovoj sekciji radove objavljuju isključivo studenti – autori, uz eventualnu neobaveznu naznaku imena nastavnika – mentora.

Pregled autorskih sekcija na TELFOR-u 2008:

- Sekcija 1: Politika, regulativa i usluge u telekomunikacijama i IT:
- Značaj telekomunikacija u privredi i društvu,
- Sadašnje stanje domaćih i svetskih telekomunikacija,
- Trendovi budućeg razvoja telekomunikacija,
- Deregulacija, liberalizacija i struktura reorganizacija,
- Modeli reformi, regulativa i standardizacija,
- Privatizacija u okviru telekomunikacionog sektora,
- Usluge, menadžment i marketing,
- Ekonomski aspekti poslovanja preduzeća,

- Sekcija 2: Telekomunikacione mreže,
- Sekcija 3: Radio-komunikacije,
- Sekcija 4: Sistemi prenosa signala,
- Sekcija 5: Obrada signala,
- Sekcija 6: Optičke telekomunikacije,
- Sekcija 7: Primenjena elektromagnetika i elektronika,
- Sekcija 8: Multimedija i video,
- Sekcija 9: Softverski alati i aplikacije,
- Sekcija 10: Studentska sekcija.

Pored autorskih sekcija održane su i posebne sekcije kompanija. Učestvovali su: ComTrade Group Beograd, Nokia Siemens Beograd, VIP Mobile Beograd, RATEL Beograd, IBIS Instruments Beograd, IBM – International Business Machines, Ericsson Beograd, Telekom Srbija a. d., Alcatel – Lucent i Microsoft Software Beograd.

Održane su i posebne sekcije po pozivu: „Prezentacije i radovi po pozivu“, „Projekti Evropske unije“ i „Iz istorije telekomunikacija“.

Uz sekcije, na TELFOR-u 2008. održani su i posebni programi: tehničke prezentacije, seminari i radionice, okrugli sto (Komunikacija na društvenim mrežama), memorijalna izložba (125 godina prvog telefona u Beogradu) i komercijalne prezentacije.

Zapaženo učešće na TELFOR-u i ove godine imali su pripadnici Ministarstva odbrane i Vojske Srbije:

– poručnik mr Dimitrije Bujaković, dipl. inž., kapetan mr Boban Bondžulić, dipl. inž. (Vojna akademija): *Uticaj izbora mere sličnosti na praćenje objekata primenom „mean shift“ procedure*.

Rad je izložen u Sekciji 5 „Obrada signala“. U njemu je analiziran uticaj izbora mere sličnosti na praćenje objekata na slici scene primenom „mean shift“ procedure. Kao mere sličnosti histograma modela objekata i kandidata za objekat koriste se koeficijent Bhattacharya i aposteriorna verovatnoća, a za mere poređenja korišćene su greška lokalizacije i broj iteracija pri određivanju pozicija objekta;

– mr Zvonko Radosavljević, dipl. inž. (Vojnotehnički institut), dr Srđan Stanković, dipl. inž. (predsednik Nacionalnog saveta za visoko obrazovanje Republike Srbije i predsednik konferencije ETRAN): *Sekvencijalna metoda za detekciju manevra aviona*.

Rad je izložen u Sekciji 5 „Obrada signala“. U njemu je predložena savremena metoda za detekciju početka manevra aviona, primenom sekvencijalne metode. Detekcija je zasnovana na praćenju aviona efikasnim PARTICLE filtrom, kada je signal opservacija samo azimutni ugao aviona. Praćenje ciljeva sekvencijalnim Monte Carlo metodama, kao što je Particle Filter (PF) predstavlja efikasan alat za estimaciju nelinearnih sistema. Sa druge strane, sekvencijalne metode često se koriste u testiranju hipoteza ili detekciji diskontinuiteta signala. U radu je predložena metoda za detekciju manevra aviona, zasnovana na pomenutim sekvencijalnim tehnikama. Za razliku od postojećih sekvencijalnih tehnika za de-

tekciju manevra, poznata *SPRT* (*Sequential Probability Ratio Test*) metoda preuređena je tako da su argumenti logaritamske funkcije verodostojnosti težinski koeficijenti funkcije gustine verovatnoće estimatora (*PF*). Rezultati simulacije pokazali su da je predložena metoda efikasna, posebno u odnosu na postojeće tehnike sa višestrukim maneuvrima;

– pukovnik mr Miroslav Elezović, dipl. inž. (Tehnički opitni centar), dr Lazar Petrović (Kriminalističko–policijska akademija), dr Radiša Stefanović, dipl. inž. (Vojna akademija): *Otpornost uređaja IT na naponske udare u mreži za napajanje*.

Rad je izložen u Sekciji 7 „Primenjena elektromagnetika i elektronika“. Opisana je otpornost uređaja informacionih tehnologija (IT) na tranzijentne poremećaje u mreži napajanja, koja obuhvata imunost na elektrostatičko pražnjenje, brze tranzijente/rafale, naponske udare i propade, kratkotrajne prekide i varijacije napona napajanja. U ovom radu izvršena je teorijska analiza izvora, mehanizam nastajanja i posledica naponskih udara, kao i eksperimentalna provera ispitivanja imunosti uređaja IT na naponske udare;

– kapetan mr Boban Bondžulić, dipl. inž. (Vojna akademija), dr Vladimir Petrović (Univerzitet u Mančesteru): *Modifikacija mere održanja ivica*.

Rad je izložen u Sekciji 8 „Multimedija i video“. Predložena modifikacija je matematički definisana mera i sadrži ugrađen model ljudskog vizuelnog sistema. Na različitim distorzijama slika pokazano je da predložena modifikacija ima znatno bolje performanse od srednje kvadratne greške, a dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima univerzalnog indeksa kvaliteta slike;

– Mladen Veinović (Univerzitet Singidunum), Aleksandar Jevremović (Univerzitet Singidunum), potpukovnik mr Goran Šimić, dipl. inž. (Vojna Akademija): *Model primene sopstvenih kriptografskih i steganografskih algoritama na primeru Web galerije slika*.

Rad je izložen u Sekciji 8 „Multimedija i video“. U njemu je predstavljen model rešenja za tajni prenos šifrovanih podataka. Rešenje se zasniva na korišćenju sopstvenih kriptografskih i steganografskih algoritama. Kao podrazumevani nosilac podataka kod steganografskih funkcija uzima se Web galerija slika. Rešenje podrazumeva korišćenje PNG i JPEG formata bez gubitka kvaliteta.

DRUGO SAVETOVANJE IZ OBLASTI BEZBEDNOSTI I ZDRAVLJA NA RADU: „RAZVOJ SISTEMA BEZBEDNOSTI I ZDRAVLJA NA RADU U REPUBLICI SRBIJI – TRI GODINE POSLE DONOŠENJA ZAKONA“

U periodu od 9. do 10. oktobra 2008. godine održano je Drugo savetovanje iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu kao dvostruki skup na temu „Razvoj sistema bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji – tri godine posle donošenja zakona“, pod pokroviteljstvom grada Kragujevca, u organizaciji Udruženja za bezbednost i zdravlje na radu Srbije i Mašinskog fakulteta iz Kragujevca.

Odsek za zaštitu ljudskih i materijalnih resursa, Uprava za sistem logistike Sektora za materijalne resurse Ministarstva odbrane, u svojstvu najvišeg upravnog i stručnog organa u oblasti zaštite u Ministarstva odbrane i Vojski Srbije, usaglasio je stavove sa predstavnicima Centra za edukaciju Mašinskog fakulteta Univerziteta u Kragujevcu i precizirao učešće pripadnika MO i VS u realizaciji drugog ciklusa seminara u okviru projekta TEMPUS 41045_2006 (Training for Occupational Safety and Health Improvement – Obuka za unapređenje bezbednosti i zdravlja na radu), koji je predviđen za osposobljavanje stručnih lica koja obavljaju poslove zaštite u svojim sastavima.

Realizacija prvog ciklusa navedenog seminara, koji se održava za instruktore iz oblasti poslova bezbednosti i zdravlja na radu, koji pohađaju i predstavnici Ministarstva odbrane, u završnoj je fazi, pri čemu je preostalo još 6 seminara. Realizacijom seminara u potpunosti je postignut jedan od osnovnih ciljeva projekta da se kroz razvoj i realizaciju ciljanih edukacionih seminara postigne povećanje nivoa znanja i sposobnosti ključnih faktora sistema bezbednosti i zdravlja na radu.

Ovom savetovanju prisustvovali su sledeći pripadnici Ministarstva odbrane i Vojske Srbije:

- Inspektorat odbrane: pukovnik Jovan Tamburić, pukovnik Nandor Ekres, dipl. inž., pukovnik dr Gojko Komatina, pukovnik Dragan Todorović, potpukovnik mr Boban Mančić, potpukovnik Dragoljub Cvetković, dipl. inž.;
- Uprava za sistem logistike Sektora za materijalne resurse: mr Aco Galamić, dipl. inž.;
- Vojna akademija: pukovnik dr Radenko Dimitrijević, dipl. inž., pukovnik dr Miloš Arsić, dipl. inž., kapetan Dejan Despić, dipl. inž.;
- Uprava za organizaciju Sektora za politiku odbrane: pukovnik Zdravko Burmudžija;
- Uprava za školstvo Sektora za ljudske resurse: pukovnik mr Dušan Živković, dipl. inž., potpukovnik mr Nebojša Gaćeša, dipl. inž.;
- Komanda za obuku: major Slobodan Malbašić, dipl. inž.

Na početku prvog dana savetovanja prisutne je pozdravio prvi saradnik projekta TEMPUS dr Branislav Jeremić, dipl. inž., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, prethodno i dugogodišnji radnik Zastave – Namenski proizvodi (dobitnik visokih vojnih priznanja za doprinos razvoju naoružanja i vojne opreme). Skup je zatim pozdravila Vera Trefal-Božić, direktor Uprave za bezbednost i zdravlje na radu Ministarstva rada i socijalne politike Republike Srbije, koja je istakla da Srbiji nedostaju projekti ovog tipa, te da će Ministarstvo u tom smislu pružiti punu podršku u cilju širenja ideja zaštite na radu. Posebno je pozdravila gostujuće predavače iz Italije i izrazila očekivanje da će dolazak FIAT-a u Kragujevac unaprediti, pored ostalog, i oblast bezbednosti i zdravlja na radu, ne samo u kragujevačkoj automobilskoj industriji, nego i čitavoj Srbiji.

Prisutnima su se zatim obratili predsednik Udruženja za bezbednost i zdravlje na radu Dragoslav Tomović, dipl. inž., takođe višegodišnji radnik u Zastavi – Namenski proizvodi i dr Aleksandra Janković, dipl. inž., sa Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, nosilac projekta TEMPUS. Aleksandra Janković je posebno istakla pomoć i pozdravila prisutne mentore iz Italije, predstavnike Politehničkog Univerziteta i SAFeR (Centra za istraživanje u oblasti bezbednosti) iz Torina: profesora Mario Patrucca, Robertu Pirani (u svojstvu asistenta predstavljala je svoju mentorku profesorku Micaela Demicela) i profesora Giovania Belingardia.

Nakon toga je dr Branislav Jeremić još jednom istakao da je i EU prepoznala značaj ovog projekta u Srbiji i komparativne prednosti Kragujevca kao organizatora, a zatim je najavio prvo predavanje Maria Patrucca – „Prevenција akcidenata – procena i menadžment rizikom“.

Tim Maria Patrucca, profesora Politehničkog Univerziteta iz Torina, ustanove sa oko 40 000 studenata i 1000 profesora, sarađuje sa najvećim italijanskim firmama, uključujući i FIAT, koji je stigao u Srbiju. Oblasti njihovog rada su ocena rada i opasnosti, te analiza i procena rizika. U svom izlaganju profesor Patrucco je naglasio ključne aktivnosti za redukciju rizika iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu (neku vrstu direktiva i preporuka poslodavcima): preventivne aktivnosti u svim fazama rada, izbegavanje rizika, borba sa rizikom na tački izvora, prilagođavanje tehnološkom procesu – praćenje tehničkih dostignuća i implementacija prilagođavanja novim mašinama.

Tema izlaganja Roberte Pirani bila je „Upravljanje (menadžment) u sistemu bezbednosti i zdravlja na radu“. Istaknut je značaj stalnog unapređenja menadžmenta i definisani koraci u vezi s tim: politika bezbednosti i zdravlja na radu, planiranje, implementacija i operacionalizacija, provera politike i korektivne mere, i revizija politike bezbednosti i zdravlja na radu.

Profesor Giovanni Belingardi je u svojoj prezentaciji analizirao bezbednost vozila, u okviru postojanja specifičnih sredstava za obezbeđenje sigurne vožnje, koje prethodno treba proučiti radi korišćenja, ali i daljeg usavršavanja.

Na izlaganje profesora Belingardia nadovezao se Dragoslav Tomović, preneviši utiske i iskustva nakon posete fabrikama FIAT i IVECO u Italiji, gde je u oblasti bezbednosti i zdravlja na radu svuda uočena primena novih tehnologija, uvođenje najviših sistema kontrole, neprekidnost treninga, edukacije i monitoringa.

U drugom delu prvog dana savetovanja izlagala je Vera Trefal-Božić, direktor Uprave za bezbednost i zdravlje na radu Ministarstva rada i socijalne politike. Ona je predstavila „Strategiju bezbednosti i zdravlja na radu“, tj. radni tekst koji će biti na razmatranju kod radne grupe ministarstva, a već sada je dostupan na njegovom sajtu. Nakon njegovog usvajanja Vlada Republike Srbije sačinice akcioni plan, a dotle će se prikupljati i uvažiti primedbe i sugestije na ovaj tekst.

Simo Kosić iz Uprave za bezbednost i zdravlje na radu Ministarstva rada i socijalne politike održao je predavanje „Bezbednost i zdravlje na radu – zakonska obaveza i društvena odgovornost“. On je definisao društvenu odgovornost, u skladu sa standardom ISO 26 000 (koji treba da zaživi 2010. godine i koji predstavlja integraciju dosadašnjih standarda ISO 9 000, 1 100 i 18 000), kao odgovornost neke organizacije za uticaj njenih odluka i aktivnosti na društvo i životnu sredinu, kroz transparentno i etičko ponašanje koje doprinosi održivom razvoju, zdravlju i dobrobiti društva.

Maja Ilić, predstavnik Inspektorata za rad Ministarstva rada i socijalne politike, prezentovala je „Stanje bezbednosti i zdravlja na radu u Republici Srbiji sa stanovišta inspekcije rada“. Ukratko je predstavljen Inspektorat i njegove nadležnosti i prezentovani podaci o povredama na radu i aktu o proceni rizika.

U završnom delu prvog dana savetovanja govorili su: predstavnici Unije poslodavaca i Privredne komore („Bezbednost i zdravlje na radu – interes poslodavca“), predstavnici Ujedinjenih granskih sindikata „Nezavisnost“ i Saveza samostalnih sindikata Srbije („Bezbednost i zdravlje na radu – interes zaposlenih“), predstavnici medicine rada – Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu „Dr D. Karajović“ („Medicina rada i zaštita zdravlja zaposlenih“), predstavnici Udruženja za bezbednost i zdravlje na radu i Fakulteta zaštite na radu („Uloga i profil lica za bezbednost i zdravlje na radu“), te predstavnici licenciranih kuća („Pravna lica/preduzetnici sa licencom u sistemu bezbednosti i zdravlja na radu“).

Drugog dana savetovanja organizovane su tri radionice procene rizika, u kojima su izlagali predstavnici Mašinskog fakulteta iz Kragujevca, predstavnici preduzeća Tehpro doo iz Beograda, kao i preduzeća Tomović com. doo iz Kragujevca.

Saradnik projekta TEMPUS mr Ivan Mačužić sa Mašinskog fakulteta u Kragujevcu na prvoj radionici izložio je prezentaciju „Procena rizika pri promenljivim uslovima rada – procena rizika u građevinarstvu“.

Predstavnik preduzeća Tehpro profesor Milutin Jelić na drugoj radionici izložio je pristup njegove firme u proceni rizika. Tom prilikom predstavio je prezentaciju „Iskustva u proceni rizika“.

Na trećoj radionici predstavnici preduzeća Tomović com. doo preneli su svoja iskustva i prikazali mere u postupku procene rizika u ugostiteljstvu.

Na kraju savetovanja organizovan je okrugli sto „Bezbednost i zdravlje u Srbiji – tri godine posle donošenja zakona“.

Na ovom izuzetno organizovanom savetovanju u pauzama predavanja prikazivani su i filmovi iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu, posteri i sredstva za ličnu zaštitu na radu.

IN MEMORIAM

Pukovnik docent dr *Miljko Popović*, dipl. inž.
1956–2009.



Pukovnik docent dr Miljko Popović, član Uređivačkog odbora Vojnotehničkog glasnika, iznenada je preminuo 11. februara 2009. godine u Beogradu. Vest je primljena sa nevericom, jer je istoga dana izvršio svoj poslednji radni zadatak – održao je redovne časove na Vojnoj akademiji. Njegovom smrću Vojska Srbije izgubila je jednog od izuzetnih stručnjaka iz oblasti vazduhoplovnog mašinstva.

Pukovnik Miljko Popović je u svojoj vojničkoj karijeri prešao veoma uspešan put. Rodio se 1956. godine u selu Božetići u opštini Nova Varoš. U vojsku je stupio veoma rano, upisavši 1971. godine Vazduhoplovnotehničku srednju vojnu školu u Rajlovcu, koju je završio 1975. godine, kao jedan od najboljih učenika u generaciji. Nastavio je školovanje na Vazduhoplovnotehničkoj vojnoj akademiji, koju završava 1983. godine.

Miljko Popović bio je čovek posvećen nauci i njenom razvoju i primeni u Vojski Srbije. Svoj radni vek proveo je u vojnom školstvu, koji je započeo na Vazduhoplovnotehničkoj vojnoj akademiji u Rajlovcu, na Katedri za vazduhoplovno mašinstvo. Bio je izuzetan matematičar i pedagog. Svoju ljubav prema struci i želju za unapređenjem vojne naučne misli dokazuje i završetkom poslediplomskih studija i odbranom magistarskog rada na Mašinskom fakultetu u Sarajevu 1990. godine. U teškim ratnim vremenima nastavlja marljivo da radi i doprinosi opštem napretku radeći na Vojnotehničkoj akademiji u Beogradu. Završava doktorsku disertaciju i, njenom odbranom 1998. godine na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, stiče najviše akademsko i naučno zvanje doktora tehničkih nauka. Pukovnik Popović je i u vreme svog najintenzivnijeg naučnog rada i nastavničkog usavršavanja dao nezamenljiv doprinos reorganizaciji, dogradnji i usavršavanju sistema vojnog obrazovanja, posebno obrazovanja kadrova tehničke službe. Zadužio je mnoge generacije studenata Vojne akademije, i pomogao i usmeravao brojne polaznike specijalističkih, magistarskih i doktorskih studija, kojima je bio mentor.

Pukovnik Popović plenio je svojom skromnošću, marljivošću, nesebičnošću, dobrotom i blagošću. Bio je uzoran čovek, otac i suprug.

Redakcija Vojnotehničkog glasnika oprašta se od svog saradnika Miljka Popovića sa izrazima najdublje zahvalnosti za dragocenu saradnju i sa osećajem nenadoknadivog gubitka.

N. G.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Modernizovana francuska oklopna vozila*

Kompanija Panhard General Defense završila je drugu partiju od 40 modernizovanih oklopnih vozila Sagaie 6×6 za potrebe francuske armije, kojoj je, u periodu od 1984. do 1990, isporučeno 192 vozila Sagaie. Zbog široke upotrebe u Africi i na Balkanu armija je odlučila da 160 istrošenih vozila modernizuje u četiri partije. Radove je izvela Panhardova fabrika u Marolles-en-Hurepoix, gde je šasija tih vozila, bez kompletne kupole i starog benzinskog motora, bila generalno odremontovana i poboljšana. Zadnji deo oklopnog tela modifikovan je za prihvatanje novog pogonskog paketa koji se sastoji od dizel motora snage 125 kW (170 ks) MTU 4R 106 TD20, u kompletu sa potpuno automatskom transmisijom Renc Reco 606 sa pretvaračem obrtnog momenta i novim sistemom hlađenja.

Prema kompaniji Panhard, to će povećati operativni radijus sa 700 na 900 km, pri konstantnoj brzini od 50 km/h. Ugradnja automatske transmisije smanjiće zamor vozača. Međutim, kako je masa šasije sada povećana, amfibijske mogućnosti su izostale. Na vozilu je stalni pogon na sve točkove (6×6), ali se centralni točkovi na obe strane mogu podići sa zemlje ukoliko je brzina vozila ispod 30 km/h. To se koristi pri manevrisanju sa vozilom u urbanim sredinama, pri parkiranju ili ukrcavanju na transportni avion C-130 Hercules.

Za potrebe francuske armije vozilo Sagaie opremljeno je kupolom za dvočlanu posadu TS 90, naoružanu dugocevnim topom 90 mm i koaksijalnim mitraljezom 7,62 mm. Na kupoli je i drugi mitraljez 7,62 mm, a sa svake strane kupole montirane su dve kutije električno upravljanih lansera dimnih granata. Neka vozila bila su opremljena sistemom za odmaamljivanje raketa EADS EIREL kojim se pokriva prednji luk vozila.

Kompanija Nexter Systems sklopila je odvojeni ugovor sa francuskom armijom za modernizaciju pojedinačne kupole T-90 za oklopno vozilo Sagaie. Ona će imati poboljšanu opremu za upravljanje topom, dnevno-noćne mogućnosti i pojačanu oklopnu zaštitu. Postoje diskusije o zame-



Modernizovano oklopno vozilo
ERC90 F4 Sagaie 6×6

* Prema podacima iz International Defence Review, jul 2007.

ni postojećih kupola TS-90 novim CTA kupolama naoružanim stabilizovanim topom 40 mm i mitraljezom 7,62 mm. Nova kupola treba da ima kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom i dnevno-termalne nišane.

Budući je mnogo verzija vozila Sagaie izvezeno u druge zemlje, kompanija Panhard nudi i njima mogućnost modernizacije po francuskom standardu, uz mogućnost veće zaštite frontalnog dela, ugradnju sistema za kondicioniranje vazduha, kao i zamenu kupola.

*Prototip novog britanskog oklopnog transportera**

Kompanija MacNeillie završila je prototip svog novog vojnog oklopnog transportera MACS (Military Armoured Carrier System). Vozilo se uvodi na zahtev britanske armije, kao srednje zaštićeno oklopno patrolno vozilo. Razvoj vozila MACS započeo je u 2006. godini, a prvi prototip je projektovan i izrađen za 12 meseci. Prototip se bazira na komercijalnim podsistemima koji se koriste na šasijama nemačkog terenskog vozila Mercedes-Benz Unimog 4x4.

Ključni podsistemi, kao što je motorni pogonski paket i oslanjanje, integrisani su u novi potpuno zavareni čelični oklop. Za prototip su korišćeni šasija S4000, ukupne mase 10 tona, i motor standarda EURO III, snage 115 kW u kompletu sa automatskom transmisijom. Već su započeli radovi na prvoj probnoj proizvodnji vozila, uz korišćenje komponenata šasije S5000, koja će imati ukupnu masu 14 t i biće kompletirana dizel motorom standarda EURO IV.

Osnovno vozilo ima čelični oklop debljine 6,5 mm, koji zadovoljava standard STANAG Nivo I za zaštitu od vatre streljačkog oružja kalibra 7,62 mm, ali je moguć i mnogo veći nivo zaštite. Osnovna širina vozila MACS sa zaštitnim oklopom uklapaće se u standardne širine kamiona. Prozori i dvoslojni pod su neprobojni za puščana zrna. U standardnu opremu ulaze i standardni oklop applike, uključujući pod oblika V i zaštićene niše točkova. Prvi prototip MACS konfigurisan je za ulogu oklopnog transportera za vojnike. Ima dvočlanu posadu (vozač i komandir) i može da prevozi 7 vojnika u kabinu sa posebnim sedištem za svakog od njih. Iznad svakog sedišta na stranama vozila može da se zakači puna ratna oprema vojnika. Četvoro vrata omogućavaju brz ulaz i izlaz vojnika iz vozila.



Prototip oklopnog transportera MACS

Pretpostavlja se da će se vozilo koristiti i za mnoge druge specijalne namene, kao što su komandna i za organe unutrašnjih poslova.

Krov je projektovan tako da može da prihvati razne oružne stanice, obično naoružane mitraljezima 7,62 mm. Napajanje električnih sistema je 24 V, a standardno je i centralno regulisanje pritiska u točkovima i kondicioniranje vazduha. Vozilo može da se prevozi u transportnom avionu C-130.

Preveo Mirko Krbavac

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 23. 5. 2007.

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

Časopis prati jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Vojnotehnički glasnik je, na osnovu analize Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauči – CEON (<http://ceon.rs/>) i odluke Ministarstva za nauku Republike Srbije, svrstan u kategoriju naučni časopisi (M53). Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku). Pristup ovoj stranici omogućen je samo sa računara koji su priključeni na internet preko Akademske računarske mreže. Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008).

Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučno-istraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u Vojnotehničkom glasniku vrednuje se sa 1 (jednim) bodom. Časopis će se ubuduće pratiti u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks (baza podataka domaćih naučnih časopisa – detalji dostupni na sajtu <http://scindeks.nb.rs/>) i biće podvrgnut stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima.

Članci se dostavljaju Redakciji na disketi ili CD-u (Times New Roman, srpska latinica, veličina slova 11,5 pt, prored single) i odštampan u dva primerka.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu, zaključak i literaturu (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom single). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu memih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu. Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. 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.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i autorovi podaci: ime i prezime, čin, zvanje, e-mail adresu, adresu poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

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

Rukopisi se šalju na adresu: Redakcija časopisa „Vojnotehnički glasnik“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

Redakcija

**DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-
-INFORMACIONU DELATNOST**

- Balkanska 53, 11000 Beograd •
- Telefoni: (011) 32-01-806 i 32-01-495
- Telefaks: (011) 36-12-506 •
- Tekući račun: 840-19540845-28 • PIB: 102116082
- PDV: 135328814 •

POZIV NA PRETPLATU ZA 2009. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

br. primeraka

1. „Vojnotehnički glasnik“

Godišnja pretplata 785,00 dinara (727,00 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963054

.....

2. „Novi glasnik“

Godišnja pretplata 1.408,00 dinara (1.303,70 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963053

.....

3. „Vojno delo“

Godišnja pretplata 1.296,00 dinara (1.200,00 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963051

.....

Pretplatne cene važe do 30. 6. 2009. godine.

Broj primeraka izdanja koja se naručuju upisati u narudžbenicu, a primerak narudžbenice sa dokazom o izvršenoj uplati na gore navedeni tekući račun poslati na gore navedenu adresu.

Kupac

tel.:

Mesto

Ulica

br.

Potpis naručioca

M. P.

.....



DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU
I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST
11000 Beograd, Balkanska 53 • telefaks: 011/3612-506

Preporučujemo nova izdanja VOJNOIZDAVAČKOG ZAVODA

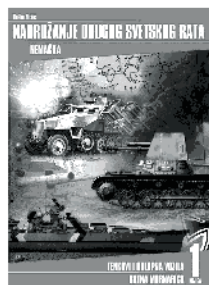
EDICIJA „NAORUŽANJE DRUGOG SVETSKOG RATA“ autor Duško Nešić

Knjiga 1

NEMAČKA

Tenkovi i oklopna vozila
/ Ratna mornarica

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
288 str. • šifra 111047
- cena: 2.160,00 din.



Knjiga 2

NEMAČKA

Ratno Vazduhoplovstvo

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
214 str. • šifra 111049
- cena: 1.890,00 din.

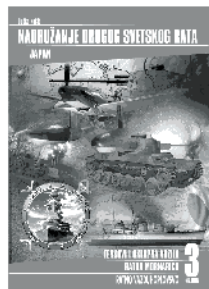


Knjiga 3

JAPAN

Tenkovi i oklopna vozila
/ Ratna mornarica
/ Ratno vazduhoplovstvo

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
238 str. • šifra 111050
- cena: 1.998,00 din.



Knjiga 4

ITALIJA

Tenkovi i oklopna vozila
/ Ratna mornarica
/ Ratno vazduhoplovstvo

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
160 str. • šifra 111052
- cena: 1.620,00 din.

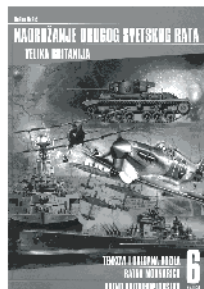


Knjiga 5

SAD

Tenkovi i oklopna vozila
/ Ratna mornarica
/ Ratno vazduhoplovstvo

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
364 str. • šifra 111057
- cena: 2.646,00 din.



Knjiga 6

VELIKA BRITANIJA

Tenkovi i oklopna vozila
/ Ratna mornarica
/ Ratno vazduhoplovstvo

- tvrd povez, 21 × 29,7 cm,
360 str. • šifra 111062
- cena: 2.646,00 din.

Knjiga 7

SSSR • Tenkovi i oklopna vozila / Ratna mornarica / Ratno vazduhoplovstvo

Knjiga 8

FRANCUSKA • Tenkovi i oklopna vozila / Ratna mornarica / Ratno vazduhoplovstvo

Ovom narudžbenicom neopozivo naručujem knjige sa šifrom/primeraka

Telefoni za informacije:
(011) 3612-506 i vojni 23-495

Kupac: _____

Ulica i broj: _____

Mesto i broj pošte: _____

Telefon: _____

Potpis naručioca: _____

Knjige ću platiti (zaokružiti broj):
1) odjednom (plaćanje unapred)
2) na kredit u _____ mesečne rate (najviše šest rata)
po _____ dinara (najmanji iznos rate je 1.000 din.)
Uz narudžbenicu poslati dokaz o uplati.

NAPOMENA: za svaku narudžbu knjiga potrebno je uplatiti 200,00 din. za troškove poštarine.

DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

Žiro račun: 840-19540845-28 RC MO; pib 102116082

Reklamacije za naručene knjige
primamo u roku od 30 dana

Art direktor
mr *Nebojša* Kujundžić

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor i korektor
Dobriša Miletić, profesor

Prevod na engleski
Jasna Višnjić, profesor

Cena: 245,00 dinara
Tiraž: 800 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku,
tehnologiju i razvoj Republike Srbije,
broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine,
časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija
od posebnog interesa za nauku.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju, informacije i bibliotekarstvo (CVNDIB)