Dr Radovan Maksić,
pukovnik, dipl. inž.
Dr Vasilije Mišković,
potpukovnik, dipl. inž.
Dr Petar Stanojević,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

MOGUĆI PRISTUP ANALIZI OPERATIVNE RASPOLOŽIVOSTI UBOJNIH SREDSTAVA

UDC: 519.874:623.45

Rezime:

Operativna raspoloživost ubojnih sredstava (UBS) razmatra se kao vremenska i količinska kategorija, uzročno-posledično vezana za proizvodnju, upotrebu, korisnika, sisteme ešeloniranja, snabdevanja i održavanja tokom životnog veka. Analiziran je uticaj sistema održavanja na operativnu raspoloživost ubojnih sredstava, kao i uticaj parametara kvaliteta. Zbog specifičnosti, operativna raspoloživost se razmatra na nivou pojedinačnih, nivou grupe UBS i nivou sistema u kojem se koriste. Posmatrana su stanja vojnih sistema u kojima se realizuje životni vek ubojnih sredstava — mirnodopsko i ratno stanje. Na primeru je prikazana zavisnost utroška artiljerijske municije od ugrađene pouzdanosti, i operativna raspoloživost kao moguća ocena sistema snabdevanja i funkcionisanja u borbenim dejstvima.

Ključne reči: ubojna sredstva, operativna raspoloživost, pouzdanost, održavanje, snabdevanje.

POSSIBLE APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE OPERATIONAL AVAILABILITY OF ORDNANCE MATERIEL

Summary:

The operational availability of ordnance materiel is considered from the aspect of time and quantity, its conditions and consequences are connected with production, application, users and the systems of echelonment supply and maintenance during life time. The influence of the maintenance system on the operational availability is analyzed as well as the influence of quality parameters. Because of its specific nature, materiel operational availability is discussed on the level of particular items, on the level of materiel types and on the level of systems (both in war and peace conditions) in which materiel is used. The dependence of artillery ammunition expenditure upon the built-in reliability has been illustrated by an example as well as the operational availability as a possible evaluation of the supply system during a particular system functioning in combat actions.

Key words: ordnance materiel, operational availability, reliability, maintenance, supply.

Uvod

I danas su aktuelne tvrdnje da ubojna sredstva [1], prema karakteru, efektu i posledicama dejstva u odnosu na cilj, spadaju u grupu vojnotehničkih sredstava koja se koriste za naj-

neposrednije uništavanje i neutralisanje žive sile i drugog vojnog potencijala protivnika i smatraju se artiklom najmasovnije vojne proizvodnje i potrošnje. Zbog rapidnog rasta potrošnje u ratu, u miru se stvaraju optimalne ratne rezerve ubojnih sredstava, i-

majući pri tome u vidu tendencije razvoja, odnosno tempo zastarevanja pojedinih vrsta naoružanja, sopstvene mogućnosti ratne proizvodnje, kao i realne mogućnosti snabdevanja iz izvora potencijalnih saveznika u eventualnom ratu. Radi se o vrlo impozantnim količinama ubojnih sredstava čiji je trenutak upotrebe, zbog nepredvidivosti oružanog sukoba veoma neizvestan, i sasvim realno uključuje pretpostavku dugoročnog čuvanja, što od konstruktora i proizvođača iziskuje dodatne napore u složenoj problematici proizvodnje.

Savremena nauka i tehnologija omogućuju proizvođaču da u mirnodopskim uslovima proizvodi ubojna sredstva veoma visokog kvaliteta¹. Prema raspoloživim podacima, ubojna sredstva proizvedena po savremenim tehnološkim postupcima, uz pretpostavku da se čuvaju u odgovarajućoj originalnoj ambalaži i u odgovarajućim magacinima opremljenim modernim uređajima za kondicioniranje, od proizvodnje do prve opravke mogu zadržati prvobitni kvalitet 25 do 30 godina.

Na prvi pogled moglo bi se zaključiti da novoprodučenim ubojnim sredstvima i ne treba poklanjati gotovo nikakvu pažnju, jer su izuzetno visoke pouzdanosti, koja je osnovni element njihovog kvaliteta, pa da im je i operativna raspoloživost izuzetno visoka.

Izvedene konstrukcije ubojnih sredstava [1] objedinjuju elemente laborisane energetske punjenjima različitog stepena osetljivosti prema određenim uticajima, kao što su vlaga, toplota, trenje, udar i drugo, a neke od komponenata, kao, na primer, malodimni barut, podležu i procesu samozalaganja i kao takve predstavljaju

¹ Pod pojmom kvaliteta stručnjaci koji se bave problemima UBS obično podrazumevaju pouzdanost, sigurnost i tajnost elementarnog UBS. Pod pojmom kvaliteta se, međutim, u današnjoj teoriji podrazumeva potpun skup osobina nekog tehničkog sredstva, kao i performanse, pogodnost za održavanje, ergonomičnost, ispravnost i estetski izgled.

potencijalnu opasnost od samozapaljenja, ako se njihova stabilnost sistematski ne prati.

Izgradnja skladišnih kapaciteta za idealan smeštaj ubojnih sredstava predstavlja značajan finansijski izdatak i za ekonomski i tehnički najrazvijenije zemlje. Objektivno, još ozbiljniji razlog diktiran je vojno-političkom situacijom, koja je u svetskim, pa i evropskim razmerama takva da strateškom i taktičko-operativnom logikom nameće potrebu za razmeštanjem i skladištenjem ubojnih sredstava ne samo u nedovoljno opremljenim magacinima već i smeštaj u nišama, zemućnicama, borbenim vozilima, na kamionima, po pećinama i na otvorenom prostoru. Polazeći od realnosti da i najkvalitetnije proizvedena ubojna sredstva, zbog osetljivosti pojedinih elemenata na određene spoljne uticaje, stare i menjaju prvobitne parametre i performanse, nema dileme o tome da li je ubojnim sredstvima potrebno odgovarajuće održavanje. U tom slučaju, operativna raspoloživost nije samo posledica kvaliteta ubojnih sredstava već i koncepcije i tehnologije održavanja. Nameće se potreba da se sistem održavanja ubojnih sredstava koncipira tako da omogućava visok nivo operativne raspoloživosti.

Ubojna sredstva u suštini su samo izvršni element sredstava ratne tehnike i taktičkih postupaka. Po svom karakteru predstavljaju tehničke proizvode za jednokratnu upotrebu, čije vreme eksploatacije traje od nekoliko sekundi do nekoliko desetina sekundi. Sve ostalo vreme, u toku životnog veka, ubojna sredstva se nalaze na čuvanju i održavanju. Sistem ešeloniranja, snabdevanja i čuvanja ubojnih sredstava nameće potrebu da se raspoloživost, koja je, u suštini, vremenska i količinska kategorija, razmatra vezano i za te elemente.

Dostizanje potrebne operativne raspoloživosti ubojnih sredstava predstavlja veoma kompleksan proces koji od

učesnika zahteva solidno poznavanje i efikasno rešavanje problematike koja, u širem smislu, obuhvata: ešeloniranje, snabdevanje, pirotehničku bezbednost, skladištenje i rukovanje ubojnim sredstvima u svim uslovima, preglede i ispitivanje ubojnih sredstava, opravke, itd.

Metodologija i rešenja za određivanje operativne raspoloživosti nepopravljivih tehničkih sredstava sa jednokratnom upotrebom ne mogu se potpuno poistovetiti sa razrađenom problematikom vezanom za opravljiva sredstva i sisteme. Poseban problem predstavljaju svrha, načela i principi upotrebe ubojnih sredstava, koji nameću potrebu da se, pored tehničkog sredstva, razmatra i ceo sistem.

Pod pojmom UBS podrazumeva se veliki asortiman tehničkih sredstava koja se razlikuju po svojim konstrukcijskim rešenjima, nameni, načinu upotrebe, itd. Otuda je jasno da se ni njihova operativna raspoloživost ne može razmatrati na isti način. Ne mogu se razmatrati na potpuno isti način UBS koja se karakterišu velikim utroškom po cilju (npr. art. municija za podršku, streljačka municija, itd.) i UBS koja se karakterišu pojedinačnim utroškom (npr. PA rakete).

Cilj rada nije da ponudi razvijena rešenja za ovaj karakterističan problem, nego samo da dâ osnovne naznake mogućih pravaca rešavanja problema operativne raspoloživosti UBS. Osnovno težište dato je na UBS koja se odlikuju masovnim (velikim) utroškom. Za ostala UBS problem operativne raspoloživosti je tek dotaknut.

Definisanje osnovnih pojmova

Pod pojmom *ubojna sredstva* podrazumeva se pešadijska, artiljerijska, minobacačka i signalna municija, mine za ručne bacače i tromblone, ručne bombe, minsko-eksplozivna sredstva, protivoklopne i protivavionske ra-

kete i municija sa reaktivnim punjenjima motora svih vrsta, kalibara i namena.

Artificije su sredstva punjena pirotehničkim smešama koja pri sago-revanju daju svetlosne, toplotne, dimne, zvučne i druge efekte, a u njih spadaju dimne kutije, imitatori dejstva, topovski udari i slično.

Hemijska stabilnost eksplozivnih materija definisana je kao sposobnost održanja bez promena u hemijskom sastavu i hemijskim osobinama pri dugoročnom čuvanju [4].

Zamena je postupak kojim se ubojna sredstva sa isteklim rokom čuvanja zamenjuju ubojnim sredstvima kojima taj rok nije istekao.

Zanavljanjem se smatra zamena ubojnih sredstava starije proizvodnje ubojnim sredstvima novije proizvodnje iako im rok čuvanja nije istekao. Ubojna sredstva kojima u određenom roku ističe period uskladištenja daju se na utrošak ili se planira remont radi zamene elemenata koji imaju ograničeni rok čuvanja.

Kategorisanje ubojnih sredstava [8] jeste postupak kojim se detaljno određuje upotrebna vrednost (kvalitet) ubojnih sredstava sa stanovišta sigurnosti i pouzdanosti funkcionisanja pri borbenoj upotrebi. Obavlja se na način propisan Uputstvom za kategorisanje municije i MES.

Operativna gotovost-raspoloživost (gotovost sredstava za upotrebu) je verovatnoća da će sredstvo u datom trenutku biti spremno za upotrebu, pod uslovom da se u prethodnom periodu eksploatisalo na propisani način u predviđenoj okolini i da ga je održavao predviđeni sistem održavanja. Potrebno je razlikovati operativnu raspoloživost (OR) tehničkog sredstva, grupe sredstava, i OR celog sistema.

Pouzdanost je sposobnost sredstva ili sistema NVO da obavlja zahtevanu funkciju u zadatim uslovima i u toku

zadatog perioda vremena. Izražava se verovatnoćom da će, u zadatom periodu vremena, sredstvo biti funkcionalno ispravno. Ova verovatnoća važi pod uslovom da je sredstvo eksploatisano i održavano na propisani način i u predviđenim uslovima okoline.

Preventivno održavanje je skup unapred predviđenih i propisanih aktivnosti kojima se sprečava ili umanjuje pogoršanje pouzdanosti zbog postepene degradacije karakteristika sredstva ili sistema NVO.

Održavanje prema stanju [12] poseban je slučaj preventivnog održavanja i zasniva se na razradi metoda, tehnika i opreme za sistematsko praćenje i uvid u stanje ispravnosti elemenata tehničkih sredstava (tehnička dijagnostika) i preduzimanju adekvatnih mera radi sprečavanja nastanka njihove neispravnosti.

Srednje vreme zastoja zbog opravke je prosečno vreme koje protekne od trenutka nastanka neispravnosti na sredstvu do trenutka kada ga korisnik može upotrebiti.

Stabilnost karakteristika je period u kojem vrednost karakteristika koje postepeno degradiraju još uvek ne izlaze iz dozvoljenih granica. Pri tome se pretpostavlja da će se proizvod koristiti i održavati na propisani način i u predviđenim uslovima okoline.

Zahtevani vek trajanja sredstva ili sistema NVO je period njegove pouzdane eksploatacije i ekonomičnog održavanja u kome ne sme da dođe do masovnog zamora i istrošenosti većeg broja njegovih sastavnih delova.

Skladišni vek je period u kome ubojna sredstva, pri normalnim uslovima čuvanja, zadržavaju propisane parametre kvaliteta i sigurnosti bez zamene vitalnih elemenata.

Relevantnim otkazom sistema sa serijskom vezom sredstava smatra se

slučaj kada je bilo koje od ovih sredstava u stanju otkaza, zbog kojeg ne može izvršavati ili otežano izvršava propisane zadatke.

Koncepcija i tehnologija održavanja

Parametri kvaliteta ubojnih sredstava najčešće su određivani tako da se ogledaju kroz [11]:

- kvalitet pojedinih pirotehničkih elemenata;
- kvalitet antikorozivne zaštite metalnih elemenata;
- kvalitet pakovanja;
- rezultate balističkog testiranja uzoraka iz svake serije.

Praktično, kvalitet uskladištenih ubojnih sredstava ogleda se u sigurnosti pri gađanju i pouzdanosti funkcionisanja.

Pojava neispravnosti — odstupanja od propisanih parametara kvaliteta na ubojnim sredstvima posledica je mehaničkih i funkcionalnih opterećenja i uticaja okoline [2]. Pored toga, kao rezultat poremećenih uslova čuvanja i skladištenja nastaju procesi: starenja baruta, propadanja pirotehničkih elemenata, nastajanja mehaničkih deformacija, korozije metalnih delova i propadanja materijala od kojeg je načinjena ambalaža.

Zadatak sistema održavanja ubojnih sredstava je, prema tome, očuvanje njihovog kvaliteta, odnosno eksploataciono-balističkih karakteristika u granicama sigurne i pouzdane upotrebljivosti u toku čitavog životnog veka, imajući u vidu vreme i uslove skladištenja.

Postoji suštinska razlika u održavanju ubojnih sredstava u ratu (kada se predviđa njihova brza potrošnja) i

za vreme mira (kada se radi na očuvanju kvaliteta)².

Analizom postojećeg sistema održavanja ubojnih sredstava jasno se uočava da je on, u suštini, preventivni gde se održavanje vrši prema stanju. Održavanje ubojnih sredstava obuhvata [1 i 11]:

- osnovno (tekuće) održavanje;
- periodične kontrole kvaliteta;
- srednji remont;
- generalni remont.

U literaturi [8] spominje se i tehničko održavanje³ za koje se navodi da obuhvata: prepakivanje, čišćenje i zaštitu, prekompletiranje i preindeksaciju.

Zbog svog karaktera, konstrukcionih rešenja, namene, načina i principa upotrebe, održavanje ubojnih sredstava ima određene specifičnosti u odnosu na druga tehnička sredstva:

— ubojna sredstva su za jednokratnu upotrebu, nepopravljiva⁴, sa kratkim vremenom eksploatacije, a veći deo svog životnog veka nalaze se na mestima čuvanja, upakovana u ambalažu, stokirana i raspoređena prema kriterijumima ešeloniranja na različite lokacije;

— samo se u pogodnim skladištima može obezbediti kontinuitet mikroklimatskih uslova, pirotehnička i druga zaštita, bezbedno rukovanje i transport;

— svaka vrsta ubojnih sredstava, laboračna serija i serija baruta imaju specifične parametre kvaliteta, pa se i održavanje sprovodi upravo prema vrstama i kalibrima, vrstama i la-

boračnim serijama baruta, laboračnim serijama municije, komponentama ubojnih sredstava i mestima lokacije;

— provera ispravnosti se, obično, zbog velikih količina, obavlja na principu ispitivanja reprezentativnih uzoraka iz svake serije — rate;

— pošto su ubojna sredstva, najvećim delom, nerasklopljive celine⁵, zbog konstrukcionih i bezbednosnih razloga ne mogu se rasklapati radi provere stanja spolja nevidljivih komponenti;

— neki radovi na održavanju ubojnih sredstava, zbog svojih tehnoloških specifičnosti, moraju se izvoditi centralizovano za celu VJ (kontrolna gađanja stokiranom municijom, laboratorijske analize stabilnosti pirotehničkih elemenata, generalni remont);

— smatra se da praktično nema ubojnih sredstava koja se, zbog opadanja karakteristika kvaliteta, ne bi mogla upotrebiti ukoliko to potreba nalaže (sem u izuzetnim slučajevima, npr. kod raketa zbog nepouzdanosti sistema za lansiranje i ugrožavanja života ljudi).

Pristup analizi operativne raspoloživosti

Operativna raspoloživost ubojnih sredstava izražava se na različite načine. Jedan od pristupa je da se izražava i meri stepenom funkcionalne ispravnosti, tj. odnosom između broja funkcionalno ispravnih i ukupnog broja sredstava kojima je zadužen određeni korisnik.

Drugi način iskazivanja operativne raspoloživosti (G_o) je preko odnosa

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

² To se odnosi na UBS koja se troše u velikim količinama.

³ Ovaj termin treba uslovno shvatiti, kao posledicu nedorečenosti u postojećim konceptijskim odrednicama realnog sistema održavanja ubojnih sredstava.

⁴ Podrazumeva se da su nepopravljiva nakon upotrebe, ispaljivanja, lansiranja, aktiviranja, itd.

⁵ Podrazumeva se da se u većini slučajeva ne vrši rasklapanje radi provere pojedinih komponenti, a ne da se, recimo, metak ne može rasklopiti.

gde je:

MTBM — srednje vreme između opravki,

MDT — srednje vreme zastoja zbog opravke, u toku kojeg korisnik nije u mogućnosti da koristi sredstvo, koje se iskazuje kao:

$$MDT = M + ADT + LDT$$

gde je:

M — srednje aktivno vreme održavanja,

ADT — administrativno vreme čeka-
nja,

LDT — logističko vreme čeka-
nja.

Nijedan od ova dva ponuđena pristupa, međutim, ne odgovara u potpunosti karakteru, nameni, načinima i principima upotrebe ubojnih sredstava. Zbog toga se treba osvrnuti na definiciju operativne raspoloživosti u kojoj se, u prvom delu, kaže da je to verovatnoća da će sredstvo u datom trenutku biti spremno za upotrebu, dok se u drugom delu ta spremnost veže za određene specifične uslove.

Upotreba ubojnih sredstava prvenstveno je povezana sa verovatnoćom da je njihov potreban broj dovoljan da bi se izvršio konkretan borbeni zadatak određenim sistemom naoružanja. Mogućnost izvršenja borbenog zadatka zavisi od verovatnoće da postoji potreban broj ubojnih sredstava, i od verovatnoće da će ta sredstva biti uspešno upotrebljena. Broj sredstava koji se poseduje, a koji se u datom trenutku može upotrebiti, zavisi od sistema održavanja, ešeloniranja i snabdevanja. Verovatnoća uspešnog rada zavisi od pouzdanosti konkretne vrste i serije ubojnih sredstava.

Namena, tehničke karakteristike, način i principi upotrebe i održavanja uslovljavaju da celinu problema opera-

tivne raspoloživosti ubojnih sredstava treba posmatrati, razložno, u dva nivoa i prema stanju sistema u kojem se koriste ta sredstva.

Nivoi posmatranja su:

— nivo grupe ubojnih sredstava;

— nivo sistema u kojem se ubojna sredstva koriste.

Na ukupnu operativnu raspoloživost celokupnog sistema ubojno sredstvo utiče preko karakteristika sopstvene raspoloživosti. Održavanje ovih sredstava svodi se na preventivne postupke održavanja, prvenstveno dijagnostičke prirode koji nemaju uticaja na operativnu raspoloživost. Izuzetak je kod generalnog remonta UBS gde se samo izvesna količina izdvaja i remontuje. Pošto se, u slučaju generalnog remonta, uvek radi samo o izvesnoj količini UBS određene grupe, a postupak se završava u periodu, obično, dosta kraćem od godinu dana, to se ova nemogućnost raspolaganja tom količinom UBS mora uzeti u obzir, ali samo preko raspoloživosti posmatrane grupe UBS. Zbog toga se vrednost sopstvene raspoloživosti pojedinačnog UBS, kao tehničkog sredstva, svodi na vrednost pouzdanosti.

Kod sredstava jednokratne upotrebe pouzdanost se, umesto zahteva za srednje vreme između otkaza, propisuje kao *zahtev za pouzdanost kao verovatnoća uspešnog rada*. Ovaj zahtev se generalno može opisati kao:

$$P = \frac{\text{broj ubojnih sredstava koja su funkcionisala na predviđeni način}^6}{\text{ukupan broj upotrebljenih ubojnih sredstava}}$$

Pretpostavlja se da je svaki primerak bio pravilno postavljan i akti-

⁶ Pod predviđenim načinom funkcionisanja (uspešnim radom) u ovom slučaju se podrazumeva da se pojedino UBS na predviđeni način aktivira, ispali, ponaša u toku leta i dejstvuje na cilju.

viran, odnosno da za eventualno loš rad nema drugih uzročnika.

Karakteristika gotovo svih ubojnih sredstava je redna veza između elemenata pa se pouzdanost može prikazati kao proizvod pouzdanosti karakterističnih grupa delova:

$$R_{us}(t) = R_m(t) R_e(t) R_{el}(t) \quad (2)$$

gde je:

$R_{us}(t)$ — pouzdanost ubojnog sredstva,

$R_m(t)$ — pouzdanost mehaničkih delova,

$R_e(t)$ — pouzdanost eksplozivnih materija,

$R_{el}(t)$ — pouzdanost elektronskih delova.

Celokupno razmatranje važi za uslove čuvanja ubojnog sredstva na konkretnoj lokaciji.

Za razliku od klasične municije i minsko-eksplozivnih sredstava kod raketa postoje elektronski sklopovi koji omogućavaju njihovo lansiranje i vođenje do cilja. Zbog toga je u jednačini (2) uveden i četvrti član $R_{el}(t)$ koji se odnosi prvenstveno na rakete. Pouzdanost elektronskih sklopova koji omogućavaju lansiranje mora biti daleko viša od pouzdanosti ostalih elemenata UBS zbog sigurnosti. Promena pouzdanosti konkretnog ubojnog sredstva, odnosno trenutak početka njenog pada, može se utvrditi samo na školskim i kontrolno-tehničkim gađanjima i pri laboratorijskim ispitivanjima stabilnosti baruta. Smatra se da je sve ostalo vreme ubojno sredstvo pouzdano, tj. da su mu karakteristike u zahtevanim granicama.

Prema tehničkim karakteristikama ubojna sredstva se razlikuju po kalibru i vrsti (nameni), što uslovljava potrebu za klasifikacijom po grupama.

Operativna raspoloživost grupe ubojnih sredstava (G_{ug}) može se odrediti iz odnosa:

broj ubojnih sredstava iste grupe koji će funkcionisati na predviđeni način

$$G_{ug} = \frac{\text{broj ubojnih sredstava iste grupe koji će funkcionisati na predviđeni način}}{\text{imajuće stanje iste grupe ubojnih sredstava}}$$

Na ovaj način povezane su karakteristike pouzdanosti UBS sa količinama.

Logika upotrebe ubojnih sredstava nalaže posmatranje operativne raspoloživosti većih količina različitih grupa ubojnih sredstava. U skladu sa propisima i kriterijumima različite količine ubojnih sredstava, različitih grupa, skladište se na većem broju lokacija. Ubojna sredstva istih karakteristika čuvaju se i eksploatišu na različitim lokacijama i u različitim smeštajnim uslovima. Zbog toga se u razmatranje moraju uključiti kriterijumi i nivoi ešeloniranja, uslovi konkretnih skladišnih lokacija, ali i karakteristike koncepcije i tehnologije sistema održavanja.

Operativna raspoloživost grupe ubojnih sredstava na jednoj lokaciji (G_j) u sistemu u kojem se koriste (Voj-ska), u datom trenutku vremena, određuje se izrazom:

$$G_j = \frac{(K_j - N_j) R_{us_j}(t)}{K_j} \quad (3)$$

gde je:

j — oznaka lokacije,

K_j — količina (broj komada) jedne grupe ubojnih sredstava na jednoj lokaciji,

$R_{us_j}(t)$ — pouzdanost jedne grupe ubojnih sredstava na jednoj lokaciji,

N_j — količina ubojnih sredstava iz jedne grupe na jednoj lokaciji na kojoj se u datom trenutku obavlja generalni remont ili se mora zanoviti.

Operativna raspoloživost prema stanju sistema

Operativna raspoloživost ubojnih sredstava prema stanju sistema predstavlja sposobnost sistema da se ova sredstva zahtevanih tehničkih karakteristika stave na raspolaganje krajnjem korisniku, pravovremeno i na mestu moguće upotrebe. Veličina operativne raspoloživosti prema stanju sistema posmatra se u uslovima kada se ne preduzimaju nikakve upravljačke akcije koje menjaju strukturu sistema, ne preusmeravaju tokovi informacija i materijala, odnosno kada se ne realizuju »korektivne« upravljačke akcije, sem ako nisu iznuđene poremećajima u funkcionisanju sistema. Tako postavljena operativna raspoloživost ubojnih sredstava prema stanju sistema predstavlja ocenu projektovanog sistema TOb ubojnim sredstvima. Njeno značenje je u kojoj meri je sistem TOb, funkcionišući na projektovani način, sposoban da odgovori zahtevima krajnjeg korisnika. Normalno je da će u konkretnim slučajevima biti preduzimate potrebne »korektivne« upravljačke akcije. Međutim, što je u manjem broju slučajeva potrebno preduzimati takve akcije, to je sposobnost sistema da odgovori zahtevima veća, odnosno veća je operativna raspoloživost ubojnih sredstava prema stanju sistema.

Posmatrati operativnu raspoloživost ubojnih sredstava prema stanju sistema znači utvrđivati veličine operativne raspoloživosti u odnosu na krajnjeg korisnika⁷. Polazeći od činjenice da postoje izuzetno visoki zahtevi za pouzdanošću i da se, u vremenu, na održavanju nalaze male količine u odnosu na imajuće stanje, pri utvrđivanju operativne raspoloživosti mora se uzeti u obzir njihova količina koja korisniku može biti stavljena na ras-

polaganje u odnosu na ukupnu količinu ubojnih sredstava. Pored toga, mora se uzeti u obzir i mogućnost sistema snabdevanja da adekvatno odgovori na zahteve krajnjih korisnika. Krajnjim korisnikom u ovom slučaju smatra se jedinica nivoa bataljon — divizion, što znači da imajuća količina ubojnih sredstava u bataljonu — divizionu ima, sa ovog stanovišta, operativnu raspoloživost blisku 1. Umanjenje operativne raspoloživosti ovih količina municije može biti zbog pouzdanosti municije i zahvata održavanja. Pri određivanju operativne raspoloživosti uzima se u obzir postavljen sistem ešeloniranja i organizacije sistema snabdevanja. Jasno je da zahvatima u sistemu ešeloniranja i promeni organizacije sistema snabdevanja može da se utiče na operativnu raspoloživost ubojnih sredstava. Isto tako, operativnim zahvatima (približavanjem rezervi korisniku, povećanjem količina sredstava kod korisnika, itd.) u toku izvođenja borbenih dejstava može da se utiče na povećanje njihove operativne raspoloživosti.

Vidi se da operativna raspoloživost ubojnih sredstava prema stanju sistema zavisi od velikog broja faktora, kao što su: ugrađena (sopstvena) pouzdanost, sistem održavanja, sistem ešeloniranja i organizacija sistema snabdevanja.

Operativnu raspoloživost prema stanju sistema nije moguće egzaktno utvrditi u potpunosti i pouzdano, niti proveriti fizičkim eksperimentom. Zbog toga je nužan drugačiji pristup ovom problemu i drugačije metode. S obzirom na to da se radi o veoma složenoj veličini i oceni njene vrednosti, a da bi se vrednosti koje se mogu egzaktno odrediti odredile, predlaže se da se ocena vrednosti operativne raspoloživosti ubojnih sredstava prema stanju sistema razloži na ocenu početnog stanja sistema i ocenu karakteristika njegovog funkcionisanja. Ovde se ne uzimaju u obzir sve karakteristike siste-

⁷ Ovde se radi o operativnoj raspoloživosti ubojnog sredstva u sistemu, a ne kao tehničkog sredstva.

ma, nego samo one koje su, po mišljenju autora, relevantne za ocenu. Karakteristike funkcionisanja sistema zavise od njegovog početnog stanja. Ako početno stanje sistema nije zadovoljavajuće ne može se očekivati ni da će karakteristike funkcionisanja sistema imati zadovoljavajuće vrednosti. Zato se ovde posebno izdvaja ocena početnog stanja sistema.

Početno stanje sistema uslovno će biti nazvano statičkim stanjem sistema, a ocena raspoloživosti u ovom stanju sistema — statičkom operativnom raspoloživošću sistema. Stanje sistema kada funkcioniše naziva se dinamičko stanje, a ocena njegove raspoloživosti dinamička operativna raspoloživost sistema.

Kako navedene veličine nisu definisane (bar nisu u dostupnoj literaturi), ovde je ponuđen mogući način njihovog definisanja i moguće metode određivanja ocene vrednosti veličina. Zbog kompleksnosti problema nisu razmatrana sva ubojna sredstva, nego samo municija koja se karakteriše velikim utroškom, kao što je municija za podršku.

Stanje sistema u kome nema generisanja zahteva za potpunom ubojnim sredstvima zbog njihove upotrebe ili su zahtevi svedeni na mirnodopsku — vežbovnu meru, kada je vreme strpljivosti za pojedinog korisnika mnogo duže od vremena popune, može se smatrati početnim stanjem sistema. Kada nema zahteva ili kada je vreme strpljivosti mnogo duže od vremena popune ne dolaze do izražaja karakteristike organizacije sistema snabdevanja, odnosno veličine vremena zastoja zbog administrativnih ili logističkih razloga.

Posmatrana sa ovog stanovišta, statička operativna raspoloživost municije može se definisati kao odnos količina municije u sistemu ešeloniranja koja korisniku može biti stavljena na raspolaganje i ukupne količine municije u sistemu. Kako su količine mu-

nicije ešelonirane po nivoima i raspoređene po određenim lokacijama, zbog različitog uticaja pouzdanosti i zahvata održavanja na pojedinim lokacijama statička operativna raspoloživost se koriguje ovim veličinama. Statička operativna raspoloživost određuje se na sledeći način:

— za jednog korisnika

$$G_k = \frac{\sum_{j=1}^n k_j G_j}{k_m} \quad (4)$$

— za ceo sistem

$$G_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} G_{ij}}{m k_m} \quad (5)$$

gde je:

G_k — statička operativna raspoloživost za jednog korisnika,

G_s — statička operativna raspoloživost za ceo sistem,

n — broj nivoa,

m — broj korisnika,

k_m — ukupna količina municije u sistemu.

Po svom fizičkom značenju statička operativna raspoloživost za jednog korisnika (jedinicu nivoa bataljon — divizion) predstavlja procenat »vidljive« municije⁸, u odnosu na ukupnu količinu municije u sistemu, korigovan zbog uticaja pouzdanosti municije i zahvata održavanja. Značenje statičke operativne raspoloživosti municije za ceo sistem je matematičko očekivanje statičke operativne raspoloživosti za sve korisnike za jednu grupu municije.

Ove veličine, po svojoj suštini, predstavljaju ocenu sistema ešeloniranja.

⁸ Municija koja korisniku može biti stavljena na raspolaganje bez dodatnih zahvata u sistemu ešeloniranja.

Veća vrednost statičke operativne raspoloživosti municije znači manju verovatnoću potrebe za »preusmeravanjem« tokova municije, manevrom rezerva i sličnim operativnim zahvatima u toku funkcionisanja sistema snabdevanja municijom.

Najveća moguća vrednost ove raspoloživosti bila bi kada bi sva municija bila ešelonirana na vrhu piramide, jer bi u tom slučaju ona bila »vidljiva« za sve korisnike. Neosnovanost zahteva za ekstremno velikom vrednošću ove raspoloživosti proizilazi iz potrebe približavanja municije korisniku, distribucije municije po teritoriji i sl. To znači da municija mora biti ešelonirana na više nivoa, ali je, takođe, jasno da se između ta dva zahteva mora tražiti kompromis.

Statička operativna raspoloživost može biti definisana na još jedan način. Naime, operativnu raspoloživost moguće je posmatrati i prema mestu municije u sistemu ešeloniranja. U odnosu na mesto u sistemu ešeloniranja statička operativna raspoloživost može se definisati kao odnos broja korisnika kojima je ta municija dostupna prema ukupnom broju korisnika, pod uslovom da je značaj svih korisnika isti.

$$G_n = \frac{B_{ok}}{B_k} \quad (6)$$

gde je:

G_n — statička operativna raspoloživost prema mestu u sistemu ešeloniranja,

B_{ok} — broj oslonjenih korisnika,

B_k — ukupan broj korisnika.

Dinamičko ili ratno stanje sistema

Termin dinamička operativna raspoloživost municije (ubojnih sredstava) je u ovom radu usvojen, jer se nji-

me kazuje da se operativna raspoloživost određuje za uslove kada sistem snabdevanja municijom funkcioniše, odnosno kada se ostvaruje dinamika, i kada postoji generisanje zahteva za potpunom zbog njihovog utroška.

Uspešnost upotrebe ubojnih sredstava nedvosmisleno je uslovljena principima i načelima upotrebe i karakteristikama sistema ešeloniranja, snabdevanja i održavanja (ako u ovom slučaju isključimo obučenost korisnika kao faktor). Mogućnost upotrebe ubojnih sredstava zavisiće od karakteristika stacionarnog stanja, odnosno sistema ešeloniranja i karakteristika sistema snabdevanja. U razmatranom slučaju do punog izražaja dolaze vremena zastoja zbog administrativnih ili logističkih nesavršenosti organizacionog sistema.

Osnovni zadatak sistema snabdevanja jeste da krajnjem korisniku pravovremeno stavi na raspolaganje zahtevane količine municije. Zahtevi jedinice — korisnika ne mogu biti oformljeni po količinama i po vremenu, tako da sistemu snabdevanja ostavljaju neograničeno vreme za reagovanje po zahtevu. Zato postoji mogućnost da sistem snabdevanja ne može da reaguje pravovremenim dostavljanjem (stavljanjem na raspolaganje korisniku) zahtevanih količina municije. To znači da postojeće količine municije za određeno vreme neće biti raspoložive jedinici u slučaju kada je vreme za koje sistem snabdevanja može da zadovolji zahtev jedinice veće od zahtevanog vremena.

Za određivanje veličine dinamičke operativne raspoloživosti municije nužno je razmotriti uticaj pojedinih faktora.

Zahvati održavanja municije nemaju znatan uticaj na dinamičku operativnu raspoloživost zbog sledećih razloga:

— na održavanju se istovremeno nalaze manje količine ubojnih sredsta-

va u odnosu na ukupno imajuće stanje,

- utroškom u borbenim dejstvima posle određenog vremena nestaje municija starije proizvodnje, čime se znatno smanjuju zahtevi za održavanjem,

- u slučaju kada se deo municije izvlači zbog održavanja, u borbenim dejstvima, sistem snabdevanja iste količine nadopunjuje se do nivoa sa kojeg je ona povučena na održavanje.

Zbog toga ovaj faktor neće biti uziman u obzir pri određivanju dinamičke operativne raspoloživosti municije.

Međutim, zaključci iz logičke analize najbolje se potvrđuju kvantifikovanjem potrebnih vrednosti. Zaključak da faktor pouzdanosti municije nema bitan uticaj na veličinu dinamičke operativne raspoloživosti municije, ako pouzdanost zadovoljava vrednosti propisane standardom, potvrđen je na primeru.

Uticaj pouzdanosti municije na njenu dinamičku operativnu raspoloživost biće prikazan posredno, preko uticaja na potreban utrošak municije po cilju radi postizanja zahtevanog efekta. Mogućnost utvrđivanja ovog uticaja biće prikazana na primeru.

Za potrebe prikaza načina određivanja uticaja pouzdanosti municije na utrošak municije po cilju razvijen je model dejstva artiljerijske jedinice za podršku po pešadijskoj jedinici u napadu, koji je opisan u literaturi [13].

Simulacija na modelu obavljena je za sledeći eksperimentalni okvir:

- artiljerijska jedinica ostvaruje vatru po pešadijskoj jedinici u napadu sa zahtevanim stepenom neutralisanja 25%;

- površina cilja je 250×200 m;

- broj elementarnih ciljeva na zadanoj površini je 100;

- vatra se ostvaruje tempirnim gađanjem sa granatom 122 mm M55;

- verovatnoća pogađanja cilja je 0,7;

- zaustavno pravilo simulacije je ostvareni stepen neutralisanja 25%;

- izlazna veličina je utrošak municije;

- kao promenljiva varira se pouzdanost municije sa vrednostima 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,72; 0,76; 0,8; 0,84; 0,86; 0,88; 0,9; 0,91; 0,92; 0,93; 0,94; 0,95; 0,96; 0,97; 0,98; 0,99 i 1;

- broj simulacija za određivanje svake vrednosti je 100.

Rezultat simulacije su raspodele verovatnoća utroška municije za svaku vrednost pouzdanosti municije. Zavisnost očekivanog utroška municije od pouzdanosti municije prikazana je na slici 1. Raspodela verovatnoća utroška municije pri pouzdanosti municije 1 prikazana je na slici 2, a ostale raspodele date su u tabeli 1.

Sl. 1 — Zavisnost utroška municije (u komadima) od njene pouzdanosti

Sa slike 1 se vidi da sa povećanjem pouzdanosti municije očekivani utrošak pada. Za pouzdanost veću od 0,95 očekivani utrošak municije pokazuje relativnu stabilnost, što znači da sa ovog stanovišta postoji puna opravdanost pouzdanosti propisane odgovarajućim standardom. Isto tako, vidi se da su slučajna odstupanja utroška municije od očekivanog već za 1σ veća od uticaja pouzdanosti municije reda veličina 10—20 puta. Na primer, za pouzdanost 0,98 za samo 1σ raspon ut-

rošak je 43—65 komada. Uticaj pouzdanosti da jedan metak neće funkcionisati na predviđeni način neznatan je.

Dakle, pri pouzdanosti kakva je propisana standardom pouzdanost nema bitan uticaj na dinamičku operativnu raspoloživost, pa je pri određivanju ove veličine ne treba uzimati u

Sl. 2 — Raspodela utroška municije

obzir. Proizilazi da dinamička operativna raspoloživost municije zavisi isključivo od mogućnosti sistema snabdevanja da korisniku pravovremeno stavi na raspolaganje potrebne količine municije. Ako korisnik pravovremeno ima na raspolaganju potrebne količine municije, svi ostali uticaji su neznatni.

Ovde mora da se prihvati da je ovakav zaključak izveden na osnovu samo jednog primera i potrebno ga je prihvatiti kao hipotezu koju je potrebno dokazati daljim istraživanjem. Moguće je pretpostaviti da ovaj zaključak vredi kada je u pitanju municija za sisteme koji ostvaruju efekte velikim utroškom municije, kao i za municiju za PA i PO artiljeriju. Međutim, za raketne sisteme ovaj zaključak se ne bi mogao doneti, s obzirom na male utroške po broju sredstava i na njihove tehničke karakteristike (ugrađene elektronske i druge komponente). Sve ove tvrdnje treba prihvatiti kao hipoteze koje je detaljnijim istraživanjem potrebno potvrditi ili odbaciti.

Za primer određivanja vrednosti dinamičke operativne raspoloživosti municije razvijen je model popune municijom divizionu 122 mm [14]. Divizion popunjava municijom pozadinska

Tabela 1

Raspodele verovatnoća utroška municije

Pouzdanost	Raspodela verovatnoća utroška municije (komada)
0,50	N(111,25)
0,55	N(94,22)
0,60	N(92,20)
0,65	N(82,21)
0,70	N(74,16)
0,72	N(74,15)
0,76	N(68,15)
0,80	N(68,15)
0,84	N(62,13)
0,86	N(60,15)
0,88	N(59,13)
0,90	N(59,13)
0,91	N(57,15)
0,92	N(58,13)
0,93	N(58,13)
0,94	N(55,14)
0,95	N(57,12)
0,96	N(55,12)
0,97	N(54,11)
0,98	N(54,11)
0,99	N(54,11)
1	N(52,11)

baza. Eksperimentalni okvir za koji je obavljena simulacija na modelu, zasniiva se na pravilski određenim i načelnim normama, kako upotrebe, tako i vrednosti promenljivih parametara. Eksperimentalni okvir ovde neće biti posebno opisivan.

Dinamičku operativnu raspoloživost municije nije dovoljno opisati samo jednom veličinom, pa će ona biti određena po broju zahteva, i po vremenu.

Dinamička operativna raspoloživost dobijena simulacijom poprima slučajne vrednosti, pa će biti predstavljena raspođelama verovatnoća.

Ova veličina, prema broju zahteva, definiše se kao odnos pravovremeno zadovoljenih zahteva i ukupnog broja zahteva. Ponavljanjem simulacije za iste uslove dobijaju se različite vrednosti koje predstavljaju slučajna kolebanja. Za ovu slučajnu veličinu dobijena je BETA raspodela sa parametrima $\alpha=29,9865$ i $\beta=8,21821$, čije je matematičko očekivanje 0,785 i standardno odstupanje 0,066 (slika 3). Fizičko značenje ove veličine predstavlja procentualni broj zahteva koje sistem snabdevanja može da realizuje pravovremeno.

$$G_{bz} = \frac{B_{nz}}{B_{uz}} \quad (7)$$

gde je:

G_{bz} — dinamička operativna raspoloživost po broju zahteva,

B_{nz} — broj pravovremeno zadovoljenih zahteva,

B_{uz} — ukupan broj zahteva.

Dinamička operativna raspoloživost po vremenu biće opisana sa četiri veličine:

Sl. 3 — Raspoloživost po broju zahteva

1. Odnos ukupnog vremena u kojem je jedinica zadovoljena municijom i ukupnog vremena izvođenja borbenih dejstava. Dobijena je BETA raspodela sa parametrima $\alpha=159,647$ i $\beta=5,65233$

(slika 4). Matematičko očekivanje je 0,966, a standardno odstupanje 0,014.

$$G_{tu} = \frac{T_u - T_{nz}}{T_u} \quad (8)$$

2. Odnos vremena u kojem je jedinica zadovoljena municijom u vremenu kada postoje zahtevi za popunom i ukupnog vremena od postavljanja do realizacije zahteva. Dobijena je BETA raspodela sa parametrima $\alpha=109,928$ i $\beta=5,13221$ (slika 5). Matematičko očekivanje je 0,947 a standardno odstupanje 0,021.

$$G_{nz} = \frac{T_{sz} - T_{nz}}{T_{sz}} \quad (9)$$

3. Odnos vremena u kojem je jedinica zadovoljena municijom u vremenu, kad postoje zahtevi koji nisu pravovremeno realizovani, i ukupnog vremena od postavljanja do realizacije zahteva koji nisu pravovremeno realizovani. Dobijena je BETA raspodela sa parametrima $\alpha=39,635$ i $\beta=11,4481$ (slika 6). Matematičko očekivanje je 0,776 i standardno odstupanje 0,058.

$$G_{nz} = \frac{T_{pz} - T_{nz}}{T_{pz}} \quad (10)$$

4. Raspodela verovatnoća vremena kada zahtev nije realizovan. Dobijena je VEJBULOVA raspodela sa parametrima $\alpha=1,2613$ i $\beta=63,8204$ (slika 7). Matematičko očekivanje je 60 minuta, a standardno odstupanje 45 minuta.

Upotrebljene oznake imaju sledeće značenje:

G_{tu} — dinamička operativna raspoloživost po ukupnom vremenu izvođenja borbenih dejstava,

G_{sz} — dinamička operativna raspoloživost po ukupnom vremenu svih zahteva,

G_{nz} — dinamička operativna raspoloživost po ukupnom vremenu zah-

teva koji nisu pravovremeno zadovoljeni,

T_u — ukupno vreme izvođenja borbenih dejstava,

T_{sz} — ukupno vreme svih zahteva, od momenta postavljanja zahteva do njegove realizacije,

Sl. 4 — *Raspoloživost po ukupnom vremenu*

Sl. 5 — *Raspoloživost po vremenu zahteva*

Sl. 6 — *Raspoloživost po vremenu nezadovoljenih zahteva*

Sl. 7 — *Raspodela vremena neraspoloživosti*

T_{pz} — ukupno vreme zahteva koji nisu pravovremeno zadovoljeni, od

momenta postavljanja ovih zahteva do njihove realizacije,

T_{nz} — ukupno vreme kada municija nije raspoloživa jedinici, od momenta kada je po zahtevu trebalo da bude stavljena na raspolaganje jedinici do momenta stvarne realizacije.

Zaključak

Veoma složen problem operativne raspoloživosti ubojnih sredstava sagledan je sa više aspekata u ovom radu. Napravljen je spoj naučnih pristupa koji se koriste u disciplinama tehničkog snabdevanja i održavanja. Rezultat takvog višedisciplinarnog i višedimenzionalnog posmatranja jeste predložena metodologija rešavanja postavljenog problema i neki rezultati njene konkretne primene.

Kao konkretne rezultate predložene metodologije treba izdvojiti zaključke:

— potpuno je opravdano insistiranje na visokoj pouzdanosti i kvalitetu ubojnih sredstava, na šta navodi smanjenje potrebnih utrošaka i koncipiranje sistema održavanja kao preventivnog sistema sa održavanjem prema stanju;

— sistem održavanja, po svojim koncepcijskim i tehnološkim rešenjima, uz uslov visokog kvaliteta ubojnih sredstava, praktično ne umanjuje njihovu operativnu raspoloživost, što znači da predstavlja kvalitetno i efikasno organizaciono rešenje. Ovaj zaključak ne isključuje potrebu za organizacionim i tehnološkim zahvatima i optimizacijom sistema u skladu sa ograničenjima, a na osnovama kvalitetnog informacionog sistema za praćenje eksploatacije ubojnih sredstava koje bi trebalo uvesti;

— svi proizvođači ubojnih sredstava treba da zadovolje propisane zah-

teve kvaliteta, jer je to garancija njihove uspešne upotrebe i održavanja;

— pouzdanost nema bitan uticaj na dinamičku operativnu raspoloživost za grupu ubojnih sredstava razmatranu u ovom radu, pa je pri određivanju ove veličine ne treba uzimati u obzir. Proizilazi da njihova dinamička operativna raspoloživost zavisi isključivo od mogućnosti sistema snabdevanja da korisniku pravovremeno stavi na raspolaganje potrebne količine municije, jer u tom slučaju svi ostali uticaji su

neznatni, pa buduća istraživanja i dogradnju sistema treba usmeriti, najvećim delom, u tom pravcu.

Svi navedeni zaključci su uslovni. Naime, ovaj rad predstavlja samo jedan od pokušaja da se operativna raspoloživost ubojnih sredstava prvo definiše, a zatim i da se predlože neke metode za određivanje ove veličine. Rad, dakle, predstavlja samo inicijalizaciju i otvaranje, a ne i rešenje ovog složenog problema.

Literatura:

- [1] Radojčić, V.: Osnovi skladištenja i održavanja municije i MES, TŠC KoV JNA, Zagreb, 1972.
- [2] Zeljković, G.: KTP municije 125 mm za top na tenku T72 i M84, diplomski rad, VTA CVŠ VJ, 1994.
- [3] Uputstvo za KTP MES TBI2.01—144, 1983.
- [4] Uputstvo za smeštaj i rukovanje municijom i MES, TU DSNO, 1970.
- [5] Uputstvo za čišćenje i zaštitu artiljerijske municije od korozije, TBI 02.01—118, 1983.
- [6] Pravilo tenk M-84 i T-72, prvi deo, VINC, Beograd, 1988.
- [7] Vranješ, D.: Srednji remont municije 122 mm za haubicu D-30 i D-30(j), diplomski rad, VTA CVŠ VJ, 1994.
- [8] Uputstvo za rad tehničkog skladišta municije — NACRT, SSNO, Beograd, 1982.
- [9] SNO 1096/86.
- [10] SNO 1096/96.
- [11] Duilo, A.: Osnove metodologije održavanja municije; VTG br. 3/79., str. 301—313.
- [12] Klarin, M., Ivanović, G., Stanojević, P., Raičević, R.: Principi terotehnoških postupaka, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [13] Mišković, V.: Model za određivanje gubitaka žive sile koji nastaju dejstvom artiljerije za podršku, Savremeni problemi ratne veštine, Beograd, 30/94, str. 169—198.
- [14] Mišković, V.: Razvoj modela i postupaka za određivanje resursa snabdevanja municijom artiljerije za podršku, doktorska disertacija, VTA VJ, Beograd, 1994.
- [15] Kršić, N.: Konstrukcija projektila i upaljača I, TŠC JNA, Zagreb, 1968.
- [16] Kršić, N.: Osnovi konstruisanja municije, TŠC JNA, Zagreb, 1973.
- [17] Kršić, N.: Bojne glave i upaljači raketnih projektila, TŠC JNA, Zagreb, 1976.
- [18] Marić, S.: Prefragmentacija TE granate 105 mm HE, M1 za haubicu M2A1, diplomski rad, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [19] Živanov, Ž.: Teorija gađanja, VIZ, Beograd, 1979.
- [20] Vukadinović, S., Popović, J.: Metoda Monte-Karlo, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1985.
- [21] Zeigler, B. P.: Theory of modeling and simulation, J. Wiley, New York, 1976.