PROUČAVANJE POUZDANOSTI TEHNIČKIH SREDSTAVA U POSEBNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE

Na osnovu podataka iz perioda izvođenja borbenih dejstava, prikupljenih u jednoj jedinici za održavanje, analizirane su karakteristike zakona raspodele po kojima se događaju otkazi na dva tehnička sredstva i njihovim delovima. Otkazi koji su posledica dejstva »spoljne sile« događali su se po normalnom i log-normalnom zakonu raspodele, a otkazi usled »normalne« eksploatacije po eksponencijalnom i Weibulovom zakonu raspodele. Zbog bliskosti, svi zakoni raspodele mogu se svesti na eksponencijalni i normalni. Ukupan proces nastajanja otkaza može se opisati normalnom raspodelom.

Uvod

Inženjerski pristup utvrđivanju pouzdanosti može biti dvojak: a) kroz postupak projektovanja i b) kroz rešavanje problema u vezi sa već projektovanim ili modeliranim tehničkim sredstvom (proizvodom). Od izuzetnog značaja za sve organizacije, a posebno za vojnu jeste izučavanje pouzdanosti tehničkih sredstava u korenito izmenjenim uslovima eksploatacije. Takvo izučavanje sprovedeno je u realnoj jedinici za održavanje u periodu od 15. 9. 1991. do 15. 3. 1992, [1]. Karakteristike ovog stava su povezani intenzitet eksploatacije i borbeno dejstvo.

U konkretnoj jedinici za održavanje, sa stanovišta angažovanosti svih kapaciteta, izdvojena su dva tehnička sredstva, jer je za njihovo održavanje angažovano 80% raspoloživih kapaciteta (ABC metod). Tehnička sredstva su imenovana kao tehničko sredstvo br. 1 i br. 2. Ovde će biti prikazani rezultati istraživanja samo za tehničko sredstvo 1, jer je karakter rezultata za oba tehnička sredstva podudaran

Osnove istraživanja pouzdanosti

Funkcija pouzdanosti $R(t)$ može se približno odrediti praćenjem rada do otkaza elemenata čiju pouzdanost tražimo. Da bismo odredili verovatnoću bezotkaznog rada do trenutka t , ispitu-

jemo n elementa. Prethodno vreme korišćenja sistema je veoma važno i mora se uzeti u obzir prilikom izračunavanja pouzdanosti izvršenja određenog zadatka. Samo u slučaju slučajnih otkaza, tj. u toku korisnog perioda rada sistema pouzdanost ne zavisi od prethodnog korišćenja.

Nivo opterećenja ima veliki uticaj na vrednost pouzdanosti. Ako sistem stalno radi pod povećanim opterećenjem, njegov vek trajanja biće smanjen, a intenzitet otkaza povećan. Opterećenja koja trpi sistem potiču od delovanja faktora spoljne sredine (vibracije, ubrzanja, nadmorska visina, vlaga, temperatura, razna zagađenja, nepravilno korišćenje i dejstvo oružja neprijatelja, kao i delovanja unutar samog sistema (otkazi kao posledica normalnog korišćenja — eksploatacije).

Sva razmatranja u ovom radu odnose se ne samo na elemente nego i na sisteme, jer svaki složeni sistem objedinjuje veći ili manji broj sastavnih elemenata (podсистема, sklopova, podsklopova, delova) pa se o njegovoj pouzdanosti može suditi samo ako se analizira pouzdanost svakog elementa ponaosob. Ukoliko je poznat način povezivanja među elementima u sistemu, i karakteristične veličine koje opisuju pouzdanost pojedinih elemenata, pouzdanost sistema može se s lakoćom utvrditi korišćenjem već utvrđenih ma-

tematičkih relacija, poznatih u literaturi [2].

Slučajna veličina, čiji se zakon raspodele istraživao, jeste trenutak pojave otkaza elemenata tehničkog sredstva (ima značenje vremena koje protekne do otkaza). »Za $f(t)$ (funkciju gustine stanja u otkazu — primer PS) kaže se da predstavlja brzinu opadanja verovatnoće bezotkaznog rada«, ([3].

Srednje vreme u radu, odnosno srednjeg vremena između otkaza (MTBF), predstavlja integral funkcije pouzdanosti u obliku:

$$MTBF = t_{ur} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1)$$

Da bi se problem proučavanja uprostito, empirijske raspodele obično zamjenjuju se teorijskim raspodelama koje ih najbolje aproksimiraju.

Tok istraživanja

Prikupljajne podataka koji su poslužili za određivanje veličina promjenljivih, koje su potrebne za istraživanje, izvršeno je metodom »field studies«. Osnovni izvori podataka bili su dokumentacija posmatrane jedinice za održavanje i uzorak koga je sačinio akter za vreme učešća u borbenim dejstvima. Podaci dobijeni iz dokumentacije jedinica za održavanje sadržajno su u potpunosti odgovarali potrebama ovog istraživanja. Iz dokumenata su prikupljeni podaci o vrstama tehničkih sredstava koja su došla na održavanje, trenutku dolaska tehničkih sredstava u konkretnu jedinicu za održavanje, o karakteristikama i uzrocima neispravnosti i uslovima korišćenja tehničkih sredstava u trenutku pojave neispravnosti.

Posmatrana tehnička sredstva veoma su složene konstrukcije i sastoje se od više podsistema ili delova. Jedno i drugo sredstvo imaju iste podsisteme i delove samo različitih performansi.

Da bi se mogli primeniti zaključci teoretskog dela istraživanja bilo je potrebno odrediti veličine i karakteristike sledećih ulaznih podataka: — trenutke

otkaza elemenata tehničkih sredstava, odnosno »trenutke« prijave neispravnosti — teoretski oblik raspodele funkcije gustine stanja u otkazu za svako od posmatranih tehničkih sredstava i njihove elemente. Za elemente tehničkih sredstava uzeti su podsistemi ili delovi čije opravke vrše radnici iste specijalnosti. Podsistemi ili delovi tehničkih sredstava čija je pouzdanost proučavana prikazani su u tabeli 1.

Za posmatrani period ukupan broj tehničkih sredstava br. 1 i br. 2, koja su došla na održavanje, iznosi 288, od toga 163 tehnička sredstva br. 1 i 125 tehničkih sredstava br. 2. Manje opravke (laki remont) na održavanju koje su bile potrebne zbog neispravnosti nastalih u »normalnoj« eksploataciji izvedene su na 32 tehnička sredstva br. 1 i 30 sredstava br. 2, a zbog neispravnosti nastalih dejstvom spoljne sile na tehničkom sredstvu 1—33, a na tehničkom sredstvu 2—31. Srednje opravke (srednji remont) zbog neispravnosti nastalih usled »normalne« eksploatacije trebalo je izvesti na 36 tehničkih sredstava br. 1 i 32 tehnička sredstva br. 2, a usled neispravnosti nastalih dejstvom spoljne sile na 62 tehnička sredstva br. 1 i 32 tehnička sredstva br. 2.

Za sva posmatrana tehnička sredstva karakteristično je da su pre posmatranog perioda bila neupotrebljavana ili veoma malo upotrebljavana, tako da se može reći da je početak posmatranog perioda, u stvari, trenutak $t=0$, početak eksploatacije posmatranih tehničkih sredstava. Trenutak otkaza je poistovećen sa trenutkom dolaska tehničkog sredstva na održavanje u datu jedinicu za održavanje. Da li je neko konkretno tehničko sredstvo bilo još koji put neispravno nije poznato, tako da se može reći da su ovde određeni parametri određeni na osnovu funkcije stanja tehničkih sredstava u različitim vrstama otkaza koji zahtevaju određene radove na održavanju (laki ili srednji remont). Za tri karakteristične vrste otkaza (rani, slučajni i pozni otkazi) obično se pretpostavlja da se dešavaju sva-

*Analiza zakona raspodele funkcije gustine stanja u otkazu za tehničko sredstvo br. 1
u »normalnim« uslovima eksploatacije*

Redni broj	Podsystemi tehničkog sredstva čije opravke vrše radnici iste specijalnosti	Zakon raspodele funkcije gustine stanja u otkazu					
		Teorijski zakon raspodele	Interval po- verenja [%]	Srednja vred- nost raspo- dele [dan]	Stan- dardne devijac. [dan]	Para- metar oblika raspo- dele (beta)	Para- metar razmere (eta)
1	Motor, transmisija i hodni deo	exponen- cijalna	99	45,3913	37,64	—	—
2	Električna instalacija i signalizacija	- „ -	99	45,3913	37,64	—	—
3	Radni deo br. 1	- „ -	99	50,234	40,764	—	—
4	Optoelektronski uređaji	- „ -	95	48,457	38,564	—	—
5	Radni deo br. 2	Weibul	99	48,058	38,716	1,249	51,593
6	Elektronski uređaji	exponen- cijalna	95	48,326	39,726	—	—
7	Uređaj za vožnju noću	- „ -	99	47,526	38,566	—	—
8	Radio uređaji	- „ -	99	50,576	42,326	—	—
9	Hidraulični uređaji	- „ -	99	80,376	60,576	—	—
10	Bosh pumpe	- „ -	95	76,667	58,324	—	—
11	Protivpožarni uređaji	- „ -	99	65,526	52,354	—	—
12	Akumulatori	- „ -	99	52,786	43,526	—	—
13	Blatobrani, zaštitni ekran i limovi, stala- že, pregrade, limeni sanduci, držači i poklopci	- „ -	95	50,876	43,026	—	—
14	Delovi od skaja, kože, ceradnog platna i sedišta	- „ -	99	66,728	54,263	—	—
15	Delovi kod čije se opravke moraju ko- ristiti mašine za ob- radu skidanjem stru- gotine	- „ -	95	75,244	58,024	—	—
16	Antikorozijska zaštita	- „ -	95	50,876	43,026	—	—
17	MTBF tehničkog sredstva	- „ -	99	45,3913	37,64	—	—

ki po posebnoj raspodeli. Zbog toga što nije poznat tačan broj tehničkih sredstava, čija se pouzdanost izučava, već je poznata samo dužina perioda u kome su vršena istraživanja i tačan broj otkazalih tehničkih sredstava i njihovih podsistema ili delova, uzeto je da je broj otkazalih tehničkih sredstava skup koji se izučava u odnosu na ukupni skup tehničkih sredstava ove dve vrste. Dakle, bilo je moguće utvrditi samo karakteristike raspodele otkaza za posmatrani period i izučavani skup tehničkih sredstava. Period u kome su posmatrani događaji u realnoj jedinici za održavanje je relativno kratak (180 dana u odnosu na 10 i više godina koliko je projektovani vek posmatranih tehničkih sredstava) i aktivni rad posmatranih tehničkih sredstava do početka posmatranja praktično (je jednak 0, pa je pretpostavljeno, za potrebe ovog istraživanja, da se radi o početku eksploatacije, odnosno periodu ranih otkaza, ukoliko su otkazi nastali kao posledica »normalne« eksploatacije. Rezultati ovakvog pristupa neće se bezuslovno odnositi na ceo skup posmatranih tehničkih sredstava već samo na karakteristike posmatranog perioda eksploatacije.

Prema vrsti tehničkih sredstava fromirana su dva osnovna skupa podataka. Ovako koncipirani osnovni skupovi podeljeni su na podskupove prema usvojenoj podeli tehničkih sredstava na podsisteme — delove. Broj podsistema — delova koji je svrstan u svaki od ovih podskupova zavisi od broja otkaza na njima u posmatranom vremenskom periodu. Broj podsistema i delova tehničkih sredstava u ovako stvorenim podskupovima je n — ukupan broj posmatranih elemenata u trenutku $t=0$ i predstavlja 100% posmatranih elemenata. Svi elementi jednog podskupa znači otkazuju do $t=180$ dana. Na taj način su utvrđeni zakoni raspodele otkaza za svaki od podsistema — delova posmatranih tehničkih sredstava.

Programski paket Statgraphics ili Statistical Graphics Sistem, verziju 2.1,

koju su izradili Statistical Graphics Corporation i Lauer Software 1985. i 1986. godine, bio je osnovno sredstvo koje je poslužilo za analizu sakupljenih podataka. Ovaj programski paket omogućava kompletnu statističku analizu skupa unetih podataka (slučajnih veličina). Njime se lako može izračunati srednja vrednost raspodele koja, u ovom slučaju, ima značenje srednjeg vremena u radu ili MTBF), standardna devijacija, nacrtati histogram, postaviti hipoteza o slaganju teoretske i empirijske raspodele, testirati postavljena hipoteza i odrediti interval poverenja raspodele (pouzdanosti hipoteze).

U proračun se krenulo tako što su trenuci otkaza za ukupan broj tehničkih sredstava iste vrste raspodeljeni na šest grupa ili intervala. Svaki od intervala, u svari, predstavlja mesec dana u intervalu od šest meseci koliko je vršeno proučavanje u datoj jedinici za održavanje. Svi otkazi delova posmatranih tehničkih sredstava dogodili su se u intervalu od 0 do 180 dana. Na osnovu ovoga dobijeni su histogrami frekvencije (učestalosti) stanja u otkazu za svaki deo posmatranih tehničkih sredstava. Jedan od ovih histograma, za motor, transmisiju i hodni deo prikazan je na slici 1.

Sl. 1 — Histogram frekvencije stanja u otkazu za motor, transmisiju i hodni deo tehničkog sredstva br. 1 i rezultati testa Kolmogorov—Smirnov za normalni zakon raspodele

Na apscisi ovih grafikona naneta je vremenska podela od 0 do 180 dana u intervalima od po 30 dana, a na ordinati frekvencija u rasponu od 0 do 0,5 u intervalima od 0,04 do 0,1 u zavisnosti od slučaja. Ovako dobijene histograme računar programski aproksimira krivom, što je, takođe, prikazano. Vrednost $f(t)$ računarski program prikazuje kao verovatnoću.

Upoređenjem oblika histograma frekvencije stanja u otkazu sa grafičkim interpretacijama teoretskih zakona raspodele vršeno je opredeljenje za neku od mogućih teoretskih raspodela i tako je postavljena statistička hipoteza, koja je testirana analitičkim putem.

Za slučaj prikazan na slici 1 važi normalni zakon raspodele pojave otkaza sa $MTBF = 65,153$ dana i $\sigma = 40,919$ dana.

Svi teoretski zakoni raspodele za otkaze delova tehničkih sredstava, dobijeni na ovaj način, odgovarali su normalnoj i log-normalnoj raspodeli (u skoro 90% slučajeva to je bila normalna raspodela), što odgovara realnom stanju ukoliko se proces nastanka otkaza posmatra sa stanovišta celine. U realnosti su se, u posmatranom periodu, vrlo intenzivno odvijala borbena dejstva koaj su svoj vrhunac po intenzitetu dostigla negde na sredini posmatranog perioda, što se direktno odrazilo na intenzitet otkazivanja tehničkih sredstava usled dejstva spoljne sile. Početak tog perioda bio je, međutim, karakterističan po slaboj obučenosti posada, ali i po intenzivnoj obuci i dužim ili kraćim marševima na posmatranim tehničkim sredstvima. Uticaj velikog broja faktora koji su izazvali pojave otkaza i činjenica da je više tehničkih sredstava otkazalo usled dejstva spoljne sile nego usled »normalne« eksploatacije, direktno su uticali na karakteristike zakona raspodela po kojima su se sveukupne pojave otkaza događale.

Sa stanovišta onih koji treba konkretno da organizuju upotrebu i održavanje posmatranih tehničkih sredsta-

va važno je po kom se zakonu raspodele odvija celokupni proces nastajanja otkaza. Postavilo se, međutim, pitanje koliko ti zakoni raspodele odslikavaju karakteristike procesa koji se paralelno odvijaju unutar ukupnog procesa eksploatacije i otkazivanja. Dobijeni zakoni raspodele nisu odslikavali posledice uzroka otkaza, što je, u uslovima pojačane eksploatacije i borbenih dejstava, čija je osnovna karakteristika intenzitet, itekako važno. Zbog toga su svi otkazi na tehničkim sredstvima grupisani u dve jasno odvojene grupe, prema opterećenjima koja trpe tehnička sredstva: na otkaze nastale usled dejstva spoljne sile (vatre neprijateljskog oružja) i otkaze nastale usled »normalne« eksploatacije. Analizom dokumentacije došlo se do podataka da neispravnosti koje su se javljale pod uticajem dejstva spoljne sile spadaju u grupu zavisnih, jer je pojava jedne obično izazvala pojavu drugih. Na tehničkim sredstvima na kojima su neispravnosti nastajale dejstvom spoljnje sile nije bilo moguće konstatovati da li postoje i neispravnosti nastale u »normalnoj« eksploataciji zbog obima i međusobne zavisnosti neispravnosti. Tehnička sredstva koja su imala neispravnosti koje su bile posledica »normalne« eksploatacije nisu imala oštećenja izazvana dejstvom spoljnje sile. Tako su skupovi od 68 tehničkih sredstava br. 1 i 62 tehnička sredstva br. 2, na kojima su otkazi nastali kao posledica »normalne« eksploatacije i 95 tehničkih sredstava br. 1 i 63 tehnička sredstva br. 2, na kojima su neispravnosti nastale pod uticajem dejstva spoljnjeg faktora, uzeti kao osnovni skupovi. Ovako koncipirani osnovni skupovi podeljeni su ponovo na podskupove prema usvojenoj podeli tehničkih sredstava na podsisteme i delove. Obrada podataka je dalje vršena na već prethodno objašnjeni način, uz primenu programa Statgraphics. Primeri histograma frekvencije stanja u otkazu za pojedine delove tehničkog sredstva br. 1 i za obe grupe opterećenja dati su na slikama 2, 3, 4 i 5.

Sl. 2 — Histogram frekvencije stanja u otkazu za motor, transmisiju i hodni deo tehničkog sredstva br. 1 pri »normalnim« uslovima eksploatacije i rezultati testa Kolmogorov—Smirnov za eksponencijalni zakon raspodele

Sl. 4 — Histogram frekvencije stanja u otkazu za motor, transmisiju i hodni deo tehničkog sredstva br. 1 pri delovanju »spoljne sile« i rezultati testa Kolmogorov—Smirnov za normalni zakon raspodele

Na ovim slikama prikazane su sve vrste zakona raspodele koje su se javile kao rezultat istraživanja. Na slici 2. prikazana je eksponencijalna raspodela, na slici 3. Weibulova, na slici 4. normalna i na slici 5. log-normalna.

Podaci o konkretnim teoretskim zakonima raspodele funkcije gustine stanja u otkazu, intervalu poverenja

raspodela (pouzdanosti hipoteza), srednjoj vrednosti raspodela (MTBF), standardnoj devijaciji, parametrima oblika i razmere raspodela, za posmatrane delove oba tehnička sredstava pri različitim uslovima korišćenja, dati su u istoimenim rubrikama u tabelama 1 i 2. Na primer (tabela 1), za radni deo br. 2 tehničkog sredstva br. 1, pri normalnim uslovima eksploatacije, dati su

Sl. 3 — Histogram frekvencije stanja u otkazu za »radni deo br. 2« tehničkog sredstva br. 1 pri »normalnim« uslovima eksploatacije i rezultati testa Kolmogorov—Smirnov za Weibulov zakon raspodele

Sl. 5 — Histogram frekvencije stanja u otkazu za optoelektronske uređaje tehničkog sredstva br. 1 pri delovanju »spoljne sile« i rezultati testa Kolmogorov Smirnov za log-normalni zakon raspodele

*Analiza zakona raspodele funkcije gustine stanja u otkazu za tehničko sredstvo br. 1
u uslovima dejstva »spoljnje sile«*

Redni broj	Podsistemi tehničkog sredstva čije opravke vrše radnici iste specijalnosti	Zakon raspodele funkcije gustine stanja u otkazu					
		Teorijski zakon raspodele	Interval poverenja [%]	Srednja vrednost raspodele [dan]	Standardne devijac. [dan]	Parametar oblika raspodele (beta)	Parametar razmere (eta)
1	Motor, transmisija i hodni deo	Normalni	99	86,27	42,919	—	—
2	Električna instalacija i signalizacija	- „ -	99	86,27	42,919	—	—
3	Radni deo br. 1	- „ -	99	92,676	45,326	—	—
4	Optoelektronski uređaji	Log-normalni	99	88,264	50,372	—	—
5	Radni deo br. 2	Normalni	99	98,637	47,264	—	—
6	Elektronski uređaji	Log-normalni	99	89,264	50,725	—	—
7	Uređaj za vožnju noću	Normalni	99	90,288	49,118	—	—
8	Radio uređaji	- „ -	99	95,123	50,263	—	—
9	Hidraulični uređaji	- „ -	99	110,296	62,312	—	—
10	Bosh pumpe	- „ -	99	102,282	61,293	—	—
11	Protivpožarni uređaji	- „ -	99	96,176	53,299	—	—
12	Akumulatori	- „ -	99	98,237	54,132	—	—
13	Blatobrani, zaštitni ekran i limovi, stalaže, pregrade, limeni sanduci, držači i poklopci	- „ -	99	97,148	53,998	—	—
14	Delovi od skaja, kože, ceradnog platna i sedišta	- „ -	99	95,142	51,116	—	—
15	Delovi kod čije se opravke moraju koristiti mašine za obradu skidanjem strugotine	- „ -	99	107,319	57,123	—	—
16	Antikorozijska zaštita	- „ -	99	97,148	53,998	—	—
17	MTBF tehničkog sredstva	- „ -	99	86,27	42,919	—	—

sledeći podaci: zakon raspodele funkcije gustine stanja u otkazu je Weibulov, interval poverenja raspodele je 99%, srednja vrednost raspodele (MTBF) iznosi 48,058, standardna devijacija je 38,716, parametar oblika $\beta=1,249$ i parametar $\varepsilon=51,593$.

Na onsovu ovih podataka lako je utvrditi vrednosti funkcije nepouzdanosti, a preko nje i vrednosti funkcije pouzdanosti.

Iz tabele 1 se vidi da je najveći broj delova pri »normalnim« uslovima eksploatacije otkazivao po eksponencijalnom zakonu raspodele. Svega tri dela (misli se na oba posmatrana tehnička sredstva) i to različita na posmatranim tehničkim sredstvima otkazivali su po Weibulovom zakonu raspodele. Za tehnička sredstva na čijim delovima su neispravnosti izazvane spoljnom silom (tabela 2) karakteristično je da su se neispravnosti javljale po normalnom ili log-normalnom zakonu raspodele, što se poklapa sa vremenskom raspodelom intenziteta borbenih dejstava. Takođe, ukoliko neispravnost uzrokuje dejstvo spoljne sile, koja ima stohastički karakter delovanja i ne pokorava se poznatim pravilima, vidi se da koeficijent eksploatacije nema nikakvu ulogu.

Ipak, za sve vrste raspodela karakteristično je da su bliske eksponencijalnoj (radni deo br. 1 u tabeli 1, gde je vrednost $\beta=1,249$) ili normalnoj raspodeli.

Iz dokumentacije je očigledno da preventivne radove koji su striktno mogu odvojiti od korektivnih nisu izvodili mehaničari za vozila guseničare i električari za vozila guseničare. Ove dve specijalnosti nisu izvodile samo preventivne radove, jer su sva tehnička sredstva, koja su se održavala, imala neispravnosti na podsistemima koje oni održavaju. MTBF ovih delova tehničkih sredstava je usled toga najmanji. Zbog toga se, pod uslovom da je veza između delova u sistemu redna, može reći da je pouzdanost tehničkog sredstva, u stvari, pouzdanost motora, transmisije, hodnog dela i električne insta-

lacije i signalizacije, što je u datim tabelama prikazano u rubrici pod naslovom »MTBF tehničkog sredstva«. Otkazi na ovim delovima posmatranih tehničkih sredstava predstavljaju, u stvari, »top« događaja za ta tehnička sredstva. Iz analize odnosa veličina MTBF tehničkog sredstva proizilazi da je veličina MTBF za uslove nastanka otkaza pod dejstvom spoljne sile skoro dva puta veća u odnosu na MTBF, kada otkazi nastaju u »normalnoj« eksploataciji u ovom periodu posmatranja (za rane otkaze). To, u potpunosti, odlikava karakter procesa koji uzrokuju nastanak otkaza. Više otkaza na početku eksploatacije i njihovo postepeno broјčano opadanje odlikava eksponencijalnu i Weibulovu raspodelu i »normalne« uslove eksploatacije, a postepeno povećanje broja otkaza koje u jednom kraćem periodu dostiže vrhunac, pa potom postepeno opadanje, uzrokuje normalnu raspodelu otkaza, na kojoj se jasno raspoznaje vrhunac intenziteta borbenih dejstava i povećanje srednje vrednosti, odnosno MTBF. Važno je, međutim, ponovo podsetiti da ove brojne vrednosti važe samo za posmatrani period, tadašnji intenzitet borbenih dejstava i koeficijent eksploatacije tehničkih sredstava i ne odnose se na celokupan skup tehničkih sredstava ove dve vrste.

Priroda problema istraživanog u literaturi [1] nije iziskivala utvrđivanje zakona raspodele funkcije gustine stanja u otkazu za svaki i najsitniji element posmatranih tehničkih sredstava, kao i veza između njih što predstavlja veoma komplikovan i dugotrajan proces, jer svako od posmatranih tehničkih sredstava ima oko 15 000 elemenata. Ovaj pristup problemu je moguć, ali je pitanje da li bi dao kvalitativno bolje rezultate.

Zaključak

Pouzdanost kao parametar tehničkih sredstava i njihovih delova utiče direktno na troškove, razvoj i angažova-

nje logističkih resursa kod svih tehničkih sredstava u toku njihovog životnog ciklusa, ali ima i važan psihološki efekat na korisnike koji se, prvenstveno, ogleda kroz stvaranje osećaja sigurnosti i poverenja.

Iz rezultata prikazanog istraživanja moguće je zaključiti da se u početnom periodu eksploatacije otkazi, koji su posledica »normalne« eksploatacije, događaju po eksponencijalnom i Weibulovom zakonu raspodele, s tim što je eksponencijalni zakon raspodele dominantan. To se vidi iz podataka datih u tabeli 1. u rubrici pod naslovom »Teorijski zakon raspodele«. Iz tabele 1 vidi se da je po Weibulovom zakonu raspodele otkazivao samo »radni deo br. 2« i to sa $\beta = 1,249$, što je blisko 1, odnosno eksponencijalnoj raspodeli. Vrednosti parametra oblika raspodele β su se za oba tehnička sredstva kretala u granicama od 1 do 1,5, pa bi se i raspodele otkaza delova koji otkazuju po Weibulovom zakonu raspodele mogle svesti na eksponencijalni zakon raspodele, uz manji interval poverenja (pouzdanost hipoteze). Ne treba međutim, smetnuti s uma da je »normalni« proces otkazivanja narušen u borbenim dejstvima, pa Weibulovu raspodelu ne treba u potpunosti isključiti iz razmatranja.

Takav trend bi, logično, bio i da je intenzitet eksploatacije bio daleko manji ili veći. Zbog bliskosti svih raspodela eksponencijalnom zakonu i stohastičkog karaktera procesa koji dovode do otkaza u periodu slučajnih otkaza, može se pretpostaviti da će i u narednom periodu eksploatacije empirijska raspodela pojave stanja u otkazu odgovarati eksponencijalnom zakonu raspodele. Sa sigurnošću se može tvrditi, na osnovu ovog istraživanja, da će broj otkaza, prouzrokovan »normalnom« eksploatacijom, u narednom periodu imati opadajući trend i to važi za celokupan skup tehničkih sredstava koja se posmatraju. Može se slobodno pretpostaviti, na osnovu ovakvih trendova, da se otkazi prouzrokovani »normalnom« eksploatacijom dešavaju po

eksponencijalnom ili Weibulovom zakonu raspodele za celokupan skup posmatranih tehničkih sredstava u periodu ranih otkaza, a u periodu slučajnih otkaza po eksponencijalnom zakonu raspodele.

Otkazi koji nastaju kao posledica delovanja spoljne sile imaju normalni ili log-normalni zakon raspodele, što odgovara intenzitetu borbenih dejstava, s tim da je normalni zakon raspodele dominantan. To se vidi iz podataka datih u tabeli 2, u rubrici »Teorijski zakon raspodele«. Prema prikazanim podacima, samo dva dela tehničkog sredstva br. 1 (optoelektronski uređaji i elektronski uređaji) otkazuju po log-normalnom zakonu raspodele. Ukupno 4 dela za oba tehnička sredstva otkazuju po log-normalnom zakonu raspodele. Zbog bliskosti sa normalnim (vidi se po podacima o srednjoj vrednosti raspodele standardnoj devijaciji iz tabele 2 — razlike u vrednostima su do 15%) log-normalni zakon raspodele bi se mogao svesti na normalni zakon raspodele, uz manji interval poverenja raspodele (pouzdanosti hipoteze). I ako bi se ovako smanjila tačnost u opisivanju procesa koji se događaju u stvarnosti, sa stanovišta celine, zbog dominantnosti normalnog zakona raspodele, omogućilo bi se jednostavno, a, ipak, dovoljno tačno opisivanje celokupnog procesa.

Za duži period posmatranja sa više promena intenziteta borbenih dejstava verovatno bi se dobila empirijska raspodela koja ima talasasti oblik, ali bi, verovatno, svaki od »talasa« imao karakteristike koje u ovom istraživanju odgovaraju dobijenim zakonima raspodele. Veličina MTBF, za svaki od mogućih »talasa«, zavisiće od dužine perioda u kojima se odvijaju borbeni dejstva, a standardne devijacije od intenziteta borbenih dejstava u tom periodu. Ovakav oblik raspodele važio bi, kako za ukupan proces otkazivanja, tako i za otkaze izazvane dejstvom spoljne sile.

Karakteristike dobijenih zakona raspodele, u ovom istraživanju, omo-

gućavaju lak proračun potrebnih resursa za održavanje i veliku mogućnost predviđanja budućih događaja. Mogućnost predviđanja budućih događaja, pre svega, pozitivno utiče na planiranje potreba za novčanim i drugim resursima potrebnim za održavanje, što se uspešno može ostvariti uz poznavanje broja održavanih tehničkih sredstava, koeficijenata eksploatacije, frekvencije preventivnih radova, vremenskog trajanja posmatranog perioda, karakteristika intenziteta borbenih dejstava i veličina dobijenih prikazanim istraživanjem. Na

osnovu ovih rezultata olakšana je i izrada simulacionih modela za procese koji se odvijaju u borbenim dejstvima, posebno za proces održavanja zbog lakog simuliranja eksponencijalne, normalne i po potrebi Weibullove raspodele.

Glavni praktični rezultat ovog istraživanja jeste određivanje raspodela po kojima se odvijaju procesi nastajanja otkaza u borbenim dejstvima. Slični rezultati mogli su se dobiti istraživanjem vremenskih serija.

L i t e r a t u r a:

- [1] Petar Stanojević: Uticaj tehnologije održavanja na projektovanje organizacione strukture operativnog nivoa sistema održavanja, Magistrski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [2] Gradimir Ivanović, Dragutin Stanivuković: 1988, Pouzdanost analiza i projektovanje, TU SSNO.
- [3] Milutin Kokanović, Milovan Ćirović, Zlatko Modrić: Logističko inženjerstvo, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1987.
- [4] Standard: IEC 605 — Equipment reliability testing, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, Geneve, 1986.