

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 podsystem 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 obrnut postupak – projektovanje sistema i elemenata na osnovu unapred zadate željene pouzdanosti moguć i rešiv zadatak.

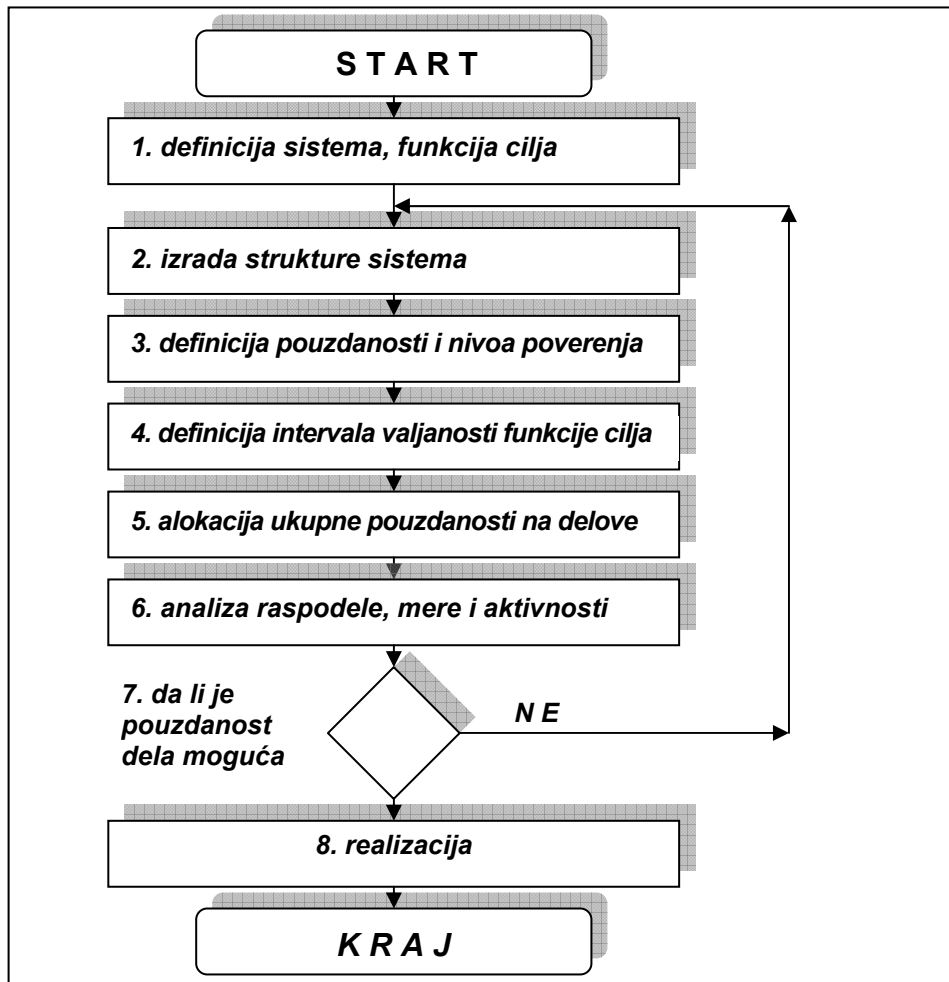
Projektovanje na klasičan način ne uzima u obzir verovatnoću otkaza elemenata sistema, niti stohastičnost režima rada, već se temelji na stepenu sigurnosti kao empirijskom pokazatelju niza statističkih uticaja koji, uglavnom, imaju za rezultat izvršenje funkcije cilja, ali i predimenzionisanost delova 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 zadat – željeni nivo funkcije kriterijuma, kod svih kontinualnih složenih sistema, kao što su tehnološki ili vojni sistemi, predstavlja složen i obrnut 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

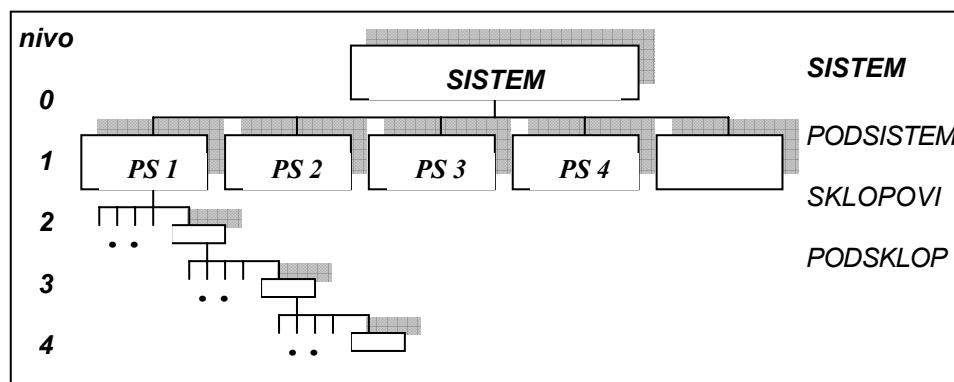
Primer strukture jednog složenog sistema i pouzdanost njegovih elemenata

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 mašingradnje.

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 najstroženijim 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:

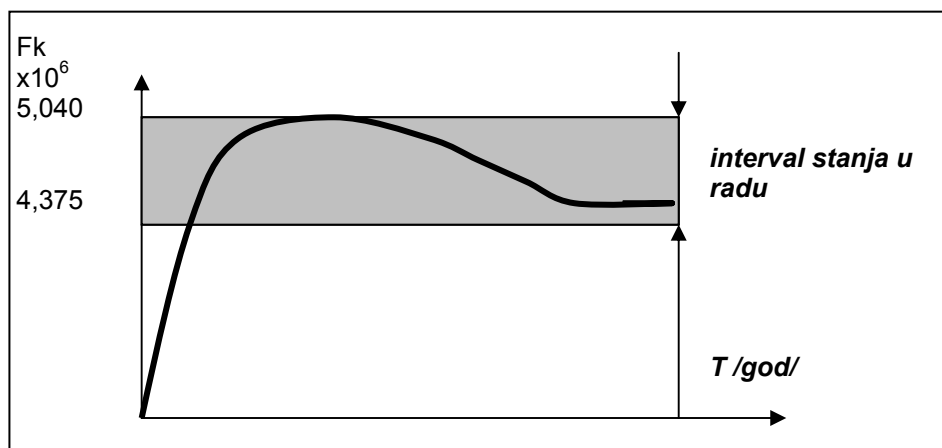
$$R_s(t) = \frac{F_k}{0,7q_{\min} T}. \quad (9)$$

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 prostoju 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 otkáže. 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.

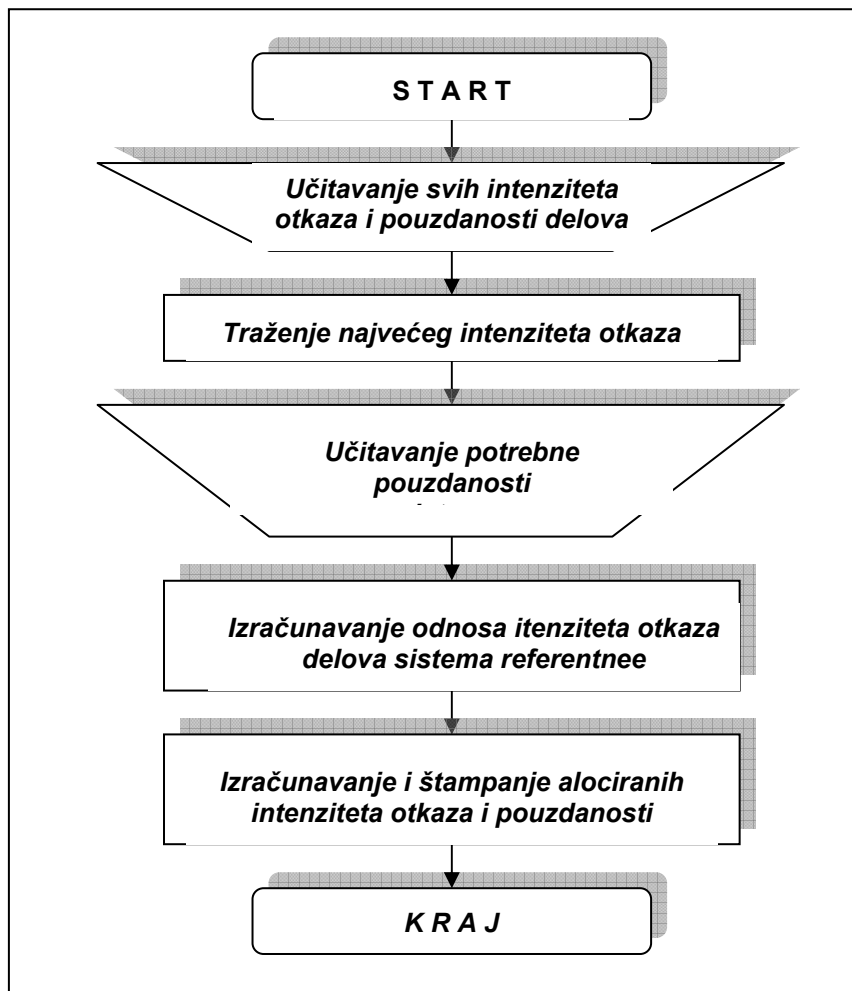
Iz prikazanih rezultata u tabeli 2 uočava se da su vrednosti pouzdanosti najmanje za podsistem I, sa dijapazonom vrednosti od 0,7500 do 0,7691, a da su najveće za podsistem III. Evidentno je da se podsistemu I mora posvetiti posebna pažnja kao najnepouzdanijoj celini u sistemu. Pristupa se analiziranju 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.