

ANALIZA FAZI POUZDANOSTI MAŠINSKIH SISTEMA

Miroslav Mijajlović, dr Dragan Milčić

Kategorizacija rada: PREGLEDNI RAD
Recenzent: Prof. dr Žarko Čojbašić
Rad primljen: 09.03.2009.

ADRESA:
18000 Niš
Mašinski fakultet
Beogradska 14
<http://www.masfak.ni.ac.rs/>

Rezime: Kao tehnička disciplina, inženjerstvo pouzdanosti je relativno stara disciplina, ali njen uticaj na moderan svet i društvo je i dalje veliki. Njen rast je motivisan kompleksnošću i složenošću sistema. Teorija pouzdanosti je interdisciplinarna nauka po svojoj prirodi i ona posmatra zavisnost tehničkih sistema, izloženim određenim ulovima rada i stanje u kome se nalaze kada funkcionišu. Pouzdanost predstavlja meru očekivane sposobnosti tehničkog sistema da funkcioniše bez otkaza pod određenim uslovima, tokom željenog vremenskog perioda. Fazi pouzdanost je relativno nova oblast istraživanja i ona se još uvek nalazi u fazi inkubacije. Ovo je alternativna teorija pouzdanosti koja spaja teoriju fazi skupova i teoriju pouzdanosti. U svakom posmatranom trenutku vremena, sistem se može nalaziti u stanju „u radu“, u određenom stepenu, a u isto vreme u stanju „u otkazu“ u drugom stepenu. Takođe, ponašanje sistema, u odnosu na dva fazi stanja se može tretirati teorijom verovatnoće. Teorija fazi pouzdanosti može biti svrsishodnija i korisnija nego teorija verovatnoće kada je broj posmatranih podataka mali ili su podaci neprecizni, netačni ili subjektivni.

Ključne reči: Pouzdanost, Teorija fazi skupova, PROBIST, PROFUST, Fazi pouzdanost.

1. UVOD

Pouzdanost, uopšteno gledano, predstavlja sposobnost nekog sistema, elementa, bića ili pojave da izvrši i održi svoju funkciju, kako u uslovima koji su predviđeni, tako i u nekim uslovima koji odskakuju o predviđenih. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) pouzdanost definiše kao „sposobnost sistema da izvršava projektovanu funkciju, u određenim, projektovanim uslovima, tokom određenog vremenskog perioda“.

Posebna grana tehnike, koja se bavi pouzdanošću, se naziva inženjerstvom pouzdanosti i ona kaže da je pouzdanost:

- mera ostvarenja namene nekog sistema u odnosu na vreme.
- kapacitet elementa ili sistema da se ponaša kao što je projektovan.
- otpor sistema pojavi otkaza.
- sposobnost elementa ili sistema da ne otkáže nepopravljivo.
- verovatnoća bezotkaznog rada elementa ili sistema.

Konvencionalna teorija pouzdanosti ima svoju široku primenu u tehnici. Razloge rasprostranjenosti teorije treba tražiti u

složenosti modernih sistema, njihove visoke cene, ali i u pojavi velikih rizika po čoveka i njegovu okolinu ukoliko sistem otkáže, te je bilo neophodno da postoji teorijska disciplina koja bi se bavila rizicima koje takvi sistemi nose. Teorija pouzdanosti svoju ekspanziju doživljava tokom i posle 2. svetskog rata.

Pouzdanost se definiše brojnomo vrednošću, ali, nije dovoljno reći „pouzdanost zupčastog prenosnika je 98%“. Potrebno je definisati sve uslove pri kojima objekat ispravno izvršava svoju funkciju, kao i vreme kada se traži pouzdanost, te se može reći „pouzdanost zupčastog prenosnika koji radi na projektovanoj temperaturi od 80°C, za prenosnik koji je redovno servisiran i radi u uslovima nominalnog rada, posle 5000 radnih sati iznosi 98%“ Prema tome, pouzdanost je kvalitativna veličina koja se menja tokom vremena.

Teorija pouzdanosti se bazira na teoriji verovatnoće i matematičke statistike i tretira binarno stanje u kojem elementi mogu da se nađu – u stanju rada ili u stanju otkaza. Prema tome, određivanje pouzdanosti kako elemenata, tako i sistema, zahteva eksplicitne vrednosti početka rada, vremena u radu, trenutak otkaza itd. odnosno, teorija pouzdanosti daje onoliko precizne vrednosti koliko su precizni podaci

koje tretira i utoliko preciznije ukoliko poseduje veću količinu podataka koje razmatra.

Veliki problem teorije pouzdanosti, pa prema tome i problem koji se inženjerima pouzdanosti nameće, jeste „statistički materijal“ – podaci neophodni za određivanje pouzdanosti. Ovakav problem može da navede na dva zaključka:

- Kada je u pitanju uzorak sastavljen od malog broja posmatranih elemenata, a pri tom je, na primer, cena svakog elementa visoka, funkcija koju obavlja svaki od elemenata veoma odgovorna i elementi predstavljaju veliki rizik po okolinu i društvo, veoma je diskutabilno da li se smeju pojedini elementi uslovno zanemarivati zarad donošenja zaključaka, što teorija verovatnoće donekle dozvoljava.
- Kako su svi elementi u uzorku istovetni i identični, podvrgnuti istim režimima rada a ipak dolazi do pojave otkaza u različitim vremenskim trenucima, onda postoje neke nepreciznosti u veličinama koje posmatramo, kao i pojave koje utiču na elemente a nisu registrovane kao merodavne za određivanje pouzdanosti.

Teorija verovatnoće, odnosno, klasična teorija pouzdanosti, je svojim brzim razvojem i velikim brojem uspešno rešenih problema na svetskom nivou dokazala moć svog matematičkog aparata koji pomaže inženjeru pouzdanosti da donese adekvatne zaključke, međutim, možda se za pojedine specifične probleme može potražiti rešenje u nekim novim matematičkim teorijama i alatima gde potreba za dovoljno velikom količinom jasno definisanih podataka nije presudni faktor za donošenje ispravnog zaključka.

2. FAZI LOGIKA I FAZI POUZDANOST U FUNKCIJI PREVAZILAŽENJA NEODREĐENOSTI

Pomenuti uticaji, koji dovode do degradacije sistema a nisu direktno razmatrani u okviru klasične teorije pouzdanosti, mogu biti mikro (nesavršenosti kristalne rešetke materijala elementa, prsline itd.) ili makro (magnetna polja, vibracije, ultraljubičasto zračenje, ljudski faktor itd.) uticaji. Ljudska čula nisu dorasla svim ovim uticajima i nisu u mogućnosti da ih sve sagledaju, a ukoliko i uspeju da sagledaju neki uticaj, onda ljudska svest može biti prepreka razumevanju takvog uticaja na posmatrani element. Sve moćnija tehnička pomagala uveliko pomažu ljudima da sagledaju sve veći

broj uticaja, ali još uvek nedovoljno da bi se izbegle neželjene posledice. Uticaji ostaju neodređeni a teorija verovatnoće nema matematički aparat kojim bi mogla da analizira te uticaje čak i kada bi bili određeni.

Nepreciznosti i neodređenosti su prisutne svuda oko nas. Kada nismo apsolutno sigurni šta je neki objekat, šta se dešavalo sa objektom, šta se dešava sa objektom ili šta će se dogoditi sa objektom kažemo da postoji izvesna neizvesnost/neodređenost vezana za razumevanje objekta i njegovo ponašanje. U ovom slučaju neizvesnost se manifestuje kao subjektivni aspekt, vezan za našu nemogućnost da sagledamo sve parametre vezane za objekat. Sa druge strane, ako detaljnije razmotrimo Hajzenbergov princip neodređenosti i sami donesemo neke zaključke, sugeriše se da je pod određenim uslovima neodređenost neizbežno povezana sa određenim načinom ponašanja objekta ili samim objektom koji se posmatra. Ovo predstavlja objektivnu bazu neodređenosti, pa prema tome, neodređenost može biti subjektivna ili objektivna. Ne postoje razlozi da se pouzdanost, kao tehnička karakteristika, ne posmatra kao hibrid: subjektivna i objektivna u isto vreme. Subjektivnu neodređenost dobiće od inženjera pouzdanosti dok je objektivna neodređenost gotovo nesaglediva, prirodna pojava.

Tehnička praksa je bogata nepreciznostima i neodređenostima. Karakteristike materijala koje se koriste u tehničkoj praksi (granica tečenja, čvrstoća, moduo elastičnosti), koeficijent trenja, opterećenje, intenzitet, pravac i smer opterećenja, termini „dobra konstrukcija“, „veliki uticaj“, „mali stepen sigurnosti“ itd. su veličine koje su neprecizne, neodređene i imaju neke „rasplinute“ vrednosti, koje se kreću u nekim granicama, te se nepreciznosti mogu podeliti na:

- Opšte, koje zavise od velikog broja parametara i najčešće su,
- Dvosmislenosti, nepreciznosti koje se mogu različito tumačiti, i
- Nedefinisanosti, koje ne definišu precizne granice.

Međutim, ne postoji precizna definicija neodređenosti kao ni jednačina kojom bi smo ih opisali u potpunosti. Kada govorimo o neodređenosti obično usvajamo frazu „nismo apsolutno sigurni“. Nismo apsolutno sigurni šta bi trebalo da znači „nismo apsolutno sigurni“ – postoji neodređenost o samoj neodređenosti. Ne postoji jasna granica između neodređenosti i

određenosti, odnosno, (ne) određenost je relativna. Objekat može biti neodređen u jednom smislu a istovremeno određen u drugom. Neodređenost znači da nismo sigurni šta je potpuno tačno.

Očigledno je da postoji više tipova neodređenosti, bez obzira da li je u pitanju subjektivna ili objektivna. Pretpostavimo da je objekat kao što je glava ili pismo novčića potpuno definisan i koncentrišaćemo se na činjenicu da imamo određeno stanje šta će se dogoditi kada bacimo novčić. Međutim, postoji izvesna neodređenost kakav ćemo ishod imati – pismo ili glavu. Ovakav tip neodređenosti naziva se slučajnošću. Slučajnost je tip predvidive neodređenosti.

Pretpostavimo da je neki koncept baziran na terminu „oblačno vreme“. Očigledno je da postoji velika nejasnost u definisanju ovakvog termina, jer oblačnost može biti definisana različito od strane različitih ljudi. Ovakav tip neodređenosti naziva se maglovitošću ili fazi neodređenošću. Naravno, ako se opet koncentrišemo na neki termin kao što je „oblačno vreme u Nišu“, donosi se zaključak da takva neodređenost predstavlja kombinaciju slučajne i fazi neodređenosti i sledi zaključak da ne postoji dovoljno jak dokaz da potvrdi ili negira da li ili ne postoji još neki vid neodređenosti osim slučajnosti i fazi u ovom slučaju. U suštini stvari, mi uvodimo uobičajene izraze u razgovor o neodređenosti. Pretpostavimo da ne postoji više odgovora na pitanje šta je „oblačno vreme“. Tada bi smo mogli da kažemo da je „oblačno vreme dobro definisano“ ranije navedenim odgovorima i neodređenost data pojmom „oblačno vreme“ bi bila opisiva nekom od raspodela verovatnoće – postala bi slučajna vrednost.

Kada je neodređenost kritična za objekat i njegovo ponašanje, potrebno je da neko definiše ovu neodređenost. Za to su neophodne druge matematičke teorije, osim teorije verovatnoće. Međutim, koja matematička teorija je odgovarajuća ili efikasna? Teorija verovatnoće dobro definiše slučajnost a teorija fazi skupova slučajnosti.

Na žalost, postoji ta neodređenost o neodređenosti. Ne postoje jasne granice između slučajnosti i fazi. Fazi je tip svakodnevne neodređenosti. Kako bi smo se izvukli iz ove zamke očigledno je da je neophodno razdvojiti realni osećaj za neodređenost i matematički osećaj za slučajnost. Realni osećaj za neodređenost postoji u subjektivnom i

objektivnom realnom svetu. Postoji neodređenost o realnom osećaju za neodređenost. Matematički osećaj za neodređenost može da bude potpuno definisan matematičkim teorijama. Trebalo bi da postoji mala neodređenost pri razumevanju matematičkog osećaja za neodređenost. Matematički osećaj za neodređenost može da bude kompletan realni osećaj za neodređenost, ali, može da bude i realni osećaj za neodređenost oplemenjen matematičkim pretpostavkama. Određeni tip realne neodređenosti može sadržati više različitih tipova matematičkog osećaja neodređenosti iako određeni deo matematičkog osećaja neodređenosti može da dominira u određenim uslovima.

Prateći ranije navedeno, ne moramo dalje da brinemo previše o granicama između različitih realnih tipova realne neodređenosti. Trebali bi da se fokusiramo na matematički osećaj neodređenosti iako su nam prirodno bliskiji realni i postoji veoma bliska relacija između matematičkih i realnih. Matematički osećaj za slučajnost je neodređenost koja se u potpunosti može opisati teorijom verovatnoće dok matematički osećaj fazi jeste neodređenost koja se može opisati teorijom fazi skupova.

Sa potpunim pravom, postavlja se pitanje: da li je bolja teorija verovatnoće ili teorija fazi skupova pri rešavanju problema vezanim za pouzdanost? Da bi smo odgovorili na ovo pitanje, sa matematičke tačke gledišta, moramo konstatovati da su teorija verovatnoće i teorija fazi skupova dva potpuno odvojena sistema. Oni tretiraju različite matematičke objekte i koriste različite matematičke operacije, tako da se ne može reći da je jedna superiornija u odnosu na drugu u opštem slučaju. Za neke slučajeve je povoljnija jedna, a za neke slučajeve je povoljnija druga teorija. Sa inženjerske tačke gledišta ne postoji mogućnost razmatranja šta je optimalna metoda – samo su rešenja optimalna. Optimalna rešenja su „zadovoljavajuća“ te kako za inženjere važi „sistem funkcioniše, znači da je dobar“, veoma je teško odrediti da li je „bolja2 teorija verovatnoće ili teorija fazi skupova u inženjerskoj praksi.

Konačno, trebalo bi napomenuti da teorija fazi skupova nije fazi u smislu realnog. To je, u stvari, precizni, kvantitativni matematički alat primenljiv na fazi fenomene u realnom svetu. Šire posmatrano, ako fazi fenomen tretiramo kao kvalitativni fenomen, kažemo da je fazi teorija skupova kvantitativni alat za rešavanje kvantitativnih problema. Fazi teorija skupova

nudi nove matematičke strukture, koje konvencionalna teorija pouzdanosti nije u stanju da analizira na pravi način.

Najopštiji ljudski jezik sadrži neodređenosti višestruka značenja – nepreciznosti. Objekti koji se opisuju pridevima nisu potpuno jasni već neodređeni, ponekad čak i u opisu samog značenja. Fazi skupovi imaju sposobnost da izraze količinu neodređenosti kod ljudskog razmišljanja i subjektivnost u relativno „neiskrivljenom“ značenju.

Ljudsko razumevanje i opštenje je neodređeno i/ili neprecizno u velikom broju slučajeva pa i informacije koje se dobijaju mogu da budu veoma neprecizne. Izvori i priroda nepreciznih informacija može biti različita za različite probleme. Kombinovanjem svih mogućih fizičkih izvora, može se identifikovati sledeće logične izvore nepreciznosti informacija:

- nedostatak odgovarajućih podataka,
- nedoslednost podataka,
- prirodni, ljudski fazi koncepti razmišljanja,
- poklapanje sa sličnim a ne sa identičnim situacijama,
- razlikovanje mišljenja,
- neznanje,
- nepreciznost pri merenju,
- nedostatak odgovarajuće teorije koja bi mogla da opiše odgovarajuću situaciju.

Od pojave prvog naučnog rada prof. L. A. Zadeha 1963. pa nadalje, zapaža se dramatičan razvoj teorije fazi skupova i širenje oblasti primene, sa strogo matematičke, na gotovo sve oblasti tehnike. Teorija pouzdanosti, koja se direktno oslanjala samo na teoriju verovatnoće, veoma lako je prihvatila teoriju fazi skupova.

U svakom slučaju, bez obzira koja naučna disciplina da je u pitanju, nekoliko stvari mora da bude potpuno jasno onome ko koristi teoriju fazi skupova:

- 1) Koji deo problema treba fazifikovati?
- 2) Koja je svrha fazifikacije?
- 3) Koji fazi model treba koristiti?

Analiza pouzdanosti kompleksnih sistema neizbežno uključuje raznorazne pretpostavke koje proističu iz neodređenosti. Određivanje neodređenosti pri analizi pouzdanosti je veoma važno i direktno pomaže efikasnom donošenju odluka. Konvencionalni pristupi „određivanju neodređenosti“ pretpostavljaju postojanje statističke raspodele kojom se opisuju otkazi sistema ili komponenata sistema. Jedan od veoma često korišćenih pristupa je vezan za Monte Karlo simulaciju. Međutim, veoma je

teško napraviti matematičko – statističku vezu sistema i neodređenosti ukoliko ne postoji određena količina podataka, što je najčešći slučaj u tehničkoj praksi. Prevazilaženje ovakvog problema se može prevazići primenom metoda i pravila teorije fazi skupova: ulazni parametri se tretiraju kao fazi brojevi a njihova promenljivost se opisuje funkcijom pripadnosti, a izračunavanje se izvodi na osnovu metode „identifikacije zaključaka“. To znači da se umesto izraza „da“ i „ne“, koriste, na primer, izrazi „manje“, „mnogo manje“, „najmanje“, „više“, „mnogo više“ i „najviše“. Kada je u pitanju binarno razmatranje problema, kao kod „da – ne“ slučaja, kao vrednost koja opisuje pripadnost skupu rešenja problema dodaju se vrednosti 0 ili 1. Kada se razmatra stanje „manje – mnogo manje – najmanje“, onda svakom od mogućih stanja biva dodeljena vrednost između 0 i 1, koja opisuje stepen pripadnosti datog lingvističkog izraza. Takva vrednost predstavlja brojnu vrednost kojom se opisuje stanje.

Konvencionalna teorija pouzdanosti se oslanja na teoriju verovatnoće i binarno stanje elementa: „u radu“ ili „u otkazu“. Veoma brz i uspešan razvoj teorije fazi skupova, kao i njena uspešna primena, dovodi do promene načina razmišljanja pri određivanju i analizi pouzdanosti. Tako je došlo do spajanja teorije pouzdanosti i teorije fazi skupova i stvaranja nove teorije fazi pouzdanosti. Teorija fazi pouzdanosti se oslanja na teoriju verovatnoće, binarno stanje ali i na fazi pretpostavke o neodređenosti i nepreciznosti. Postoji više pristupa u literaturi koji se tiču rešavanju problema fazi pouzdanosti.

3 PROBIST pouzdanost

PROBIST pouzdanost je istovetna sa konvencionalnom teorijom pouzdanosti. Ona se drži teorije verovatnoće i pretpostavke o binarnom stanju elemenata. PROBIST pouzdanost potiče od engleskih reči *probability* (verovatnoća) i *binary-state* (binarno stanje). Kod PROBIST sistema, posmatraju se PROBIST elementi i dva *crisp* stanja elemenata/sistema: stanje u radu ili stanje u otkazu. Sistem/elementi se u svakom trenutku vremena nalaze u jednom od dva stanja a PROBIST pouzdanost je posmatrana kao fazi skup. PROBIST pouzdanost se u ovom slučaju posmatra kao fazi broj i većina inženjera fazi pouzdanosti posmatra pouzdanost kao trougaoni, trapezoidni ili normalno rasplinuti (fazi) broj. Ispravan odabir oblika rasplinutosti broja je

jedan od najsloženijih problema u primeni fazi pouzdanosti.

Vreme, kao nezavisna promenljiva i veoma važan faktor veličine pouzdanosti, se ne uzima u obzir prilikom fazifikovanja problema. Svaki vremenski trenutak mora biti fazifikovan jedino ukoliko se traži promena pouzdanosti u domenu vremena kao fazi veličine. Takav pristup dodatno komplikuje primenu fazi pouzdanosti.

Ako posmatramo sistem od tri elementa, pri čemu pouzdanost svakog od elementa može da bude lingvistički kvantifikovana kao „niska“, „normalna“ i „visoka“ u trenutku t , donosi se zaključak da je potrebno definisati fazi skup pripadnosti koji će dodeliti brojne vrednosti svakoj lingvističkoj vrednosti. Pretpostavićemo da je fazi pripadnost definisana trouglom i to tako da lingvistička vrednost „normalna“ ima vrednost funkcije pripadnosti $\alpha=1$ a ostale dve $\alpha=0$. Do brojnih vrednosti se dolazi empirijski ili na osnovu zaključaka koje donosi ekspert. Pretpostavimo da je ekspert doneo sledeći zaključak:

Element 1 ima „nisku“ pouzdanost ukoliko je ona jednaka 0,8; „normalnu“ ukoliko je ona jednaka 0,84; „visoku“ ukoliko je ona jednaka 0,95...i tako redom za sve elemente.

Brojne vrednosti pouzdanosti svakog od elemenata, dobijene od strane eksperta za svaku lingvističku vrednost su date u Tabeli 1.

Tabela 1: Brojne vrednosti pouzdanosti elemenata

Pouzdanost je...	„niska“ l	„normalna“ m	„visoka“ r
...za element 1	0,8	0,84	0,95
...za element 2	0,94	0,95	0,96
...za element 3	0,89	0,92	0,95

Prema pravilima teorije fazi skupova, fazi broj koji opisuje pouzdanost elementa i u trenutku t , rasplinut u obliku trougla, zapisuje se u obliku:

$$R_i = [l_i, m_i, r_i]. \quad (1)$$

Prema tome, fazi pouzdanosti posmatranih elemenata su:

$$R_1 = [l_1, m_1, r_1] = [0,8;0,84;0,95], \quad (2)$$

$$R_2 = [l_2, m_2, r_2] = [0,94;0,95;0,96], \quad (3)$$

$$R_3 = [l_3, m_3, r_3] = [0,89;0,92;0,95]. \quad (4)$$

Ukoliko posmatramo sistem redno vezanih elemenata (Slika 1, varijanta 1), sistem paralelno vezanih elemenata (Slika 2, varijanta 2), kao i kombinaciju elemenata vezanih paralelno i redno (Slika 3, varijanta 3), dobijamo vrednosti pouzdanosti za svaki od lingvističkih izraza. Matematičke relacije, kao i pretpostavke o elementima, identične su kao kod konvencionalne teorije pouzdanosti.

Teorija fazi pouzdanosti uvodi matematičke operacije sa fazi brojevima, pa se pouzdanost različitih sistema računa prema jednačinama:

- sistem redno vezanih elemenata:

$$R_s = \prod_{i=1}^{n=3} R_i = \left\{ \prod_{i=1}^{n=3} l_i; \prod_{i=1}^{n=3} m_i; \prod_{i=1}^{n=3} r_i \right\} \quad (5)$$

- sistem paralelno vezanih elemenata:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{n=3} R_i = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{n=3} (1-l_i); 1 - \prod_{i=1}^{n=3} (1-m_i); 1 - \prod_{i=1}^{n=3} (1-r_i) \right\} \quad (6)$$

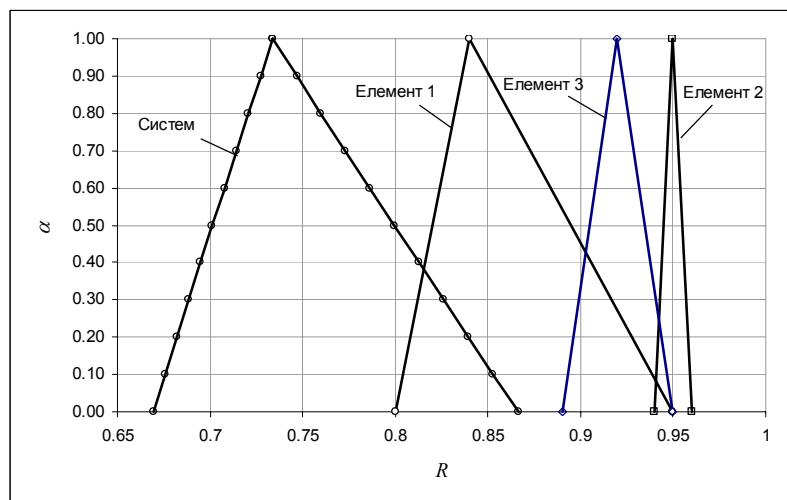
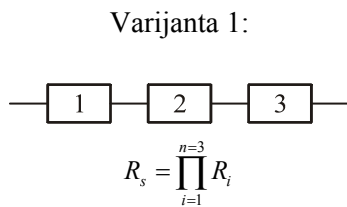
- kombinovana veza prikazana na slici 3:

$$R_s = \left[1 - \prod_{i=1}^{n=2} (1-R_i) \right] \cdot R_3 = \left\{ \left[1 - \prod_{i=1}^{n=2} (1-l_i) \right] l_3; \left[1 - \prod_{i=1}^{n=2} (1-m_i) \right] m_3; \left[1 - \prod_{i=1}^{n=2} (1-r_i) \right] r_3 \right\} \quad (7)$$

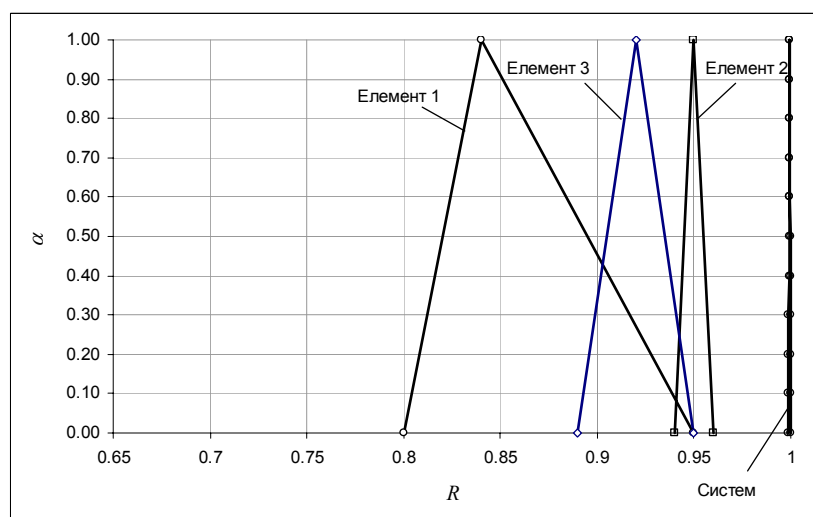
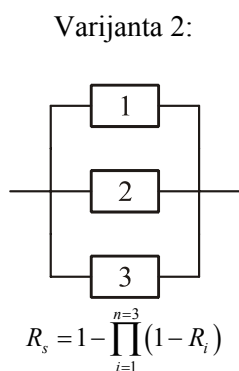
Brojne vrednosti pouzdanosti sistema, za sve tri varijante, prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2: Brojne vrednosti pouzdanosti sistema

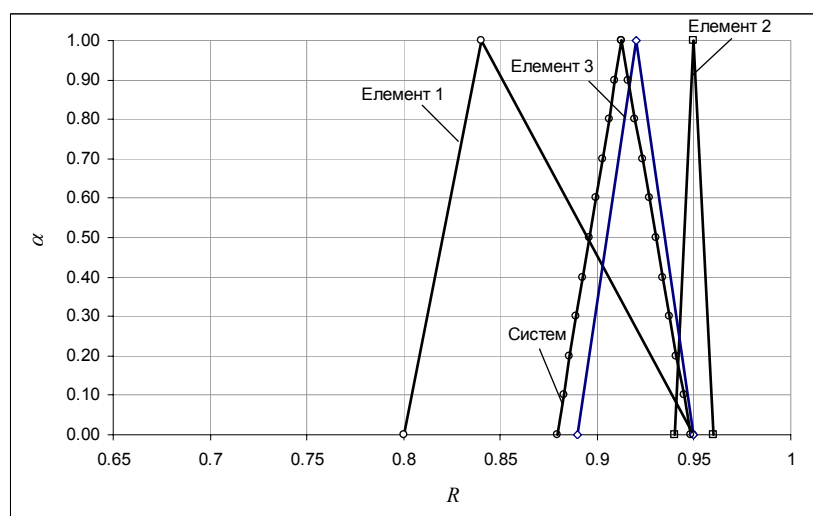
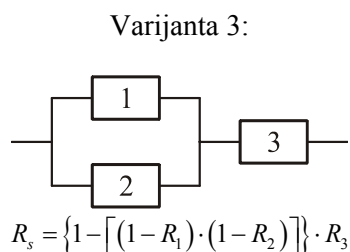
Pouzdanost je...	„niska“ l	„normalna“ m	„visoka“ r
...za varijantu 1	0,66928	0,73416	0,8664
...za varijantu 2	0,99868	0,99936	0,9999
...za varijantu 3	0,87932	0,91264	0,9481



Slika 1: Fazi pouzdanost sistema sastavljenog od tri redno povezana elementa



Slika 2: Fazi pouzdanost sistema sastavljenog od tri aktivno paralelno povezana elementa



Slika 3: Fazi pouzdanost sistema mešovite veze tri elementa

4. PROFUST pouzdanost

PROFUST pouzdanost se bazira na teoriji verovatnoće i pretpostavci o fazi stanju elementa (ne binarnom). Naziv potiče od engleskih reči *probability* (verovatnoća) i *fuzzy-state* (fazi stanje). Otkazi sistema se javljaju u skladu sa verovatnoćom otkaza, odnosno, prema očekivanoj raspodeli otkaza. Stanje „u otkazu“ i stanje „u radu“ su definisani i opisani fazi skupom, odnosno, sistem se može naći „u radu“, ali, u isto vreme i delimično „u otkazu“, ili „u otkazu“, a u isto vreme i delimično „u radu“. Sistem može da se nađe u bilo kom od stanja, sagledanom fazi logikom. PROFUST pouzdanost se može sagledavati kao poseban slučaj PROBIST (konvencionalne) teorije pouzdanosti gde sistem od stanja „u radu“ prelazi u stanje „u otkazu“, ali prilikom prelaska iz jednog u drugo stanje nije ni funkcionalan, niti u otkazu – vrši funkciju ograničeno ispravno. Teorija Markova predstavlja osnovicu ovakvog proračuna pouzdanosti sistema.

5. ZAKLJUČAK

Konvencionalna teorija pouzdanosti ima veoma veliku primenu i svrsishodnost u vremenu velikih i kompleksnih tehničkih sistema, koji svojom složenošću, cenom, rizikom po društvo i okolinu nameću činjenicu da moraju biti tretirani kao odgovorni, bezbedni i pouzdani sistemi.

Razvoj pouzdanosti i inženjerstva pouzdanosti ne sme i ne može biti zaustavljen činjenicom da matematički aparat teorije pouzdanosti zahteva relativno veliki broj podataka – statistički materijal i precizne podatke.

Opet, složenost i multidisciplinarnost današnjih sistema ne dozvoljava, u svakom slučaju, postojanje potrebne količine podataka, niti njihovu apsolutnu verovatnosnu preciznost. Mnogo toga, i pored ogromnih mogućnosti savremenog čoveka da sagleda stanja i pojave, ostaje „nejasno“, „neodređeno“, „maglovito“, mnogo toga ostaje neprecizno i definisano sa „možda jeste, ali, možda i nije“. U tom slučaju svoju primenu može naći teorija „neodređenosti“ – teorija fazi skupova. Fazi logika, kao proširenje konvencionalne – Bulove logike, je prešla dugačak put od sredine šezdesetih godina dvadesetog veka do današnjih dana i uspela je da nađe svoju primenu u moćnom matematičkom aparatu – teoriji fazi

skupova, koji je pak svoju primenu našao u teoriji pouzdanosti.

Ne može, niti sme, da se kaže da je fazi logika završila svoju ulogu u analizi pouzdanosti sistema. Još uvek je mnogo toga ostalo „nejasno“, „nedorečeno“ i „neodređeno“ da bi smeli da konstatujemo da je razvoj teorije fazi pouzdanosti završen. Ovim radom, autori nisu želeli da umanje mogućnosti i kritikuju rezultate koje je dala klasična teorija pouzdanosti. Naprotiv, ovim radom se skreće pažnja da se uspešan razvoj klasične teorije pouzdanosti može dopuniti novim tehnikama i alatima koji mogu da nadomeste nedostatke koje je klasična teorija pouzdanosti pokazala. Primena teorije fazi pouzdanosti je jedna od mogućnosti unapređenja inženjerstva pouzdanosti.

LITERATURA

- [1] Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets", *Information and Control* 8 (3): 338—353.
- [2] Zadeh, L. A. et al. 1996 *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Systems*, World Scientific Press, ISBN 9810224214.
- [3] Hájek, Petr (1998). *Metamathematics of fuzzy logic*. Dordrecht: Kluwer. ISBN 0792352386.
- [4] A. K. Verma, A. Srividya, R.S. Prabhu Gaonkar: *Fuzzy Reliability Engineering – Concepts and Application*, Narosa Publishing House PVT. LTD, New Delhi, 2007
- [5] Zimmermann, H. J: *Fuzzy Set Theory and its Applications* (2nd Edition), Kluwer Academic Publishers, 1991
- [6] Kaufmann, A, Gupta, M. M: *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*, Amsterdam. North – Holland, 1988
- [7] Kaufmann, A, Gupta, M. M: *Introduction to Fuzzy Arithmetic – Theory and Applications*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1985
- [8] Kai – Yuan Cai: *Introduction to Fuzzy Reliability*, Kluwer Academic Publishers, USA, 1996
- [9] Möller, B, Graf, W, Beer, M, and Sickert, J: *Fuzzy Randomness - Towards a new Modeling of Uncertainty*, In: *Fifth World Congress on Computational Mechanics*, edited by A. H. Mang and F. G. Rammerstorfer and J. Eberhardsteiner. iacm, Vienna, pages 10, 2002.

- [10] Möller, B, Graf, W, and Stransky, W: Fuzzy-Optimization of Structures, In: Proceedings of ICCES04, edited by S.N. Atluri and S.J.N. Tadeu. Tech Science Press, Madeira, pages 1765–1770, 2004.
- [11] Cai Kai-Yuan , Wen Chuan-Yuan, Zhang Ming-Lian, Posbist reliability behavior of typical systems with two types of failure, Fuzzy Sets and Systems, v.43 n.1, p.17-32, Sept. 5, 1991
- [12] Cai, K. Y., Wen, C. Y., & Zhang, M. L: Coherent systems in profust reliability theory. In T. Onisawa, & J. Kacprzyk (Eds.), Reliability and safety analyzes under fuzziness (pp. 81-94). Heidelberg: Physica-Verlag, 1995.
- [13] Halpern, Joseph Y. (2003). *Reasoning about uncertainty*. Cambridge, Mass: MIT Press. ISBN 0-262-08320-5.
- [14] Cappelle, B., & Kerre, E. E: Issues in possibilistic reliability theory. In T. Onisawa, & J. Kacprzyk (Eds.), Reliability and safety analyzes under fuzziness (pp. 61-80). Heidelberg: Physica-Verlag, 1995
- [15] Čatić, D., Planiranje skraćenih ispitivanja za ocenu pouzdanosti i obrada rezultata ispitivanja, IMK-14 - Istraživanje i razvoj, vol. 14, br. 1-2, str. 57-66, 2008.
- [16] Krstić, B., Analiza pouzdanosti upravljačkog sistema motornih vozila i određivanje optimalne periodičnosti njegovog preventivnog održavanja, IMK-14 - Istraživanje i razvoj, vol. 7, br. 1-2, str. 45-54, 2001
- [17] Milčić, D, Mijajlović, M: Primena Monte – Karlo simulacije u analizi pouzdanosti sistema, 12. Simpozijum termičara 18. – 21. Oktobar, 2005., Sokobanja, Srbija, Peta tematska grupacija, osmi izloženi rad, Zbornik radova na CD-u.
- [18] Milčić, D, Anđelković, B, Mijajlović, M: Decisions Making In Design Process – Examples Of Artificial Intelligence Application; „Machine Design” - Monograph, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, ADEKO – Association for Design, Elements and Constructions, 2007, Novi Sad, Serbia, Monograph, page 13 - 21, ISBN 978-86-7892-038-7.

ANALYSIS OF FUZZY RELIABILITY OF THE MACHINE SYSTEMS

Summary: *As an engineering discipline, reliability is relatively old science, but its relevance to modern world and society is still making a great impact. Its growth has been motivated by several factors like complexity and sophistication of systems. Reliability theory is inter-disciplinary in nature and it studies dependability of engineering products under specific operating conditions when put into service. Reliability is a measure of the expected conditions when put into service. Reliability is a measure of the expected capability of an engineering product to operate without failures under specific conditions for a given period of time. Fuzzy reliability is comparatively a new area of research and interest and still it is in its incubation period. This is an alternative reliability theory, which is rooted in fuzzy sets and reliability theory. At any given time, the product may be in operating state to some degree and in failed state in another degree. Also, the behavior of the product with respect to two fuzzy states can be characterized using possibility theory. Fuzzy reliability theories might be more meaningful than probabilistic reliability when the number of data or available samples is small or if information is ambiguous, inexact or subjective.*

Key words: *Reliability, Fuzzy Set Theory, PROBIST, PROFUST, Fuzzy Reliability.*