

OSNOVNI ELEMENTI ANALIZE OTKAZA SISTEMA PRI IZUČAVANJU POUZDANOSTI

BASIC ELEMENTS ANALYSIS SYSTEM FAILURE IN THE STUDY OF RELIABILITY

Dr.Sc. Mustafa Imamović
Dr.Sc. Sabahudin Jasarević
Dr.Sc. Abas Manduka
Mechanical Faculty Zenica, Zenica, B&H

REZIME

Otkaz u teoriji pouzdanosti predstavlja svaki događaj poslije koga sistem odnosno element sistema ne može na definisan način da izvršava svoj zadatak. Zbog toga se pouzdanost može definisati kao sposobnost sistema da ne otkaze u radu. Dakle, otkazi su ključni element za definisanje pouzdanosti. Iste je neophodno prilikom izučavanja pouzdanosti sistema detaljno analizirati i definisati.

Disciplina inženjstva pouzdanosti je u osnovi proučavanje uzroka, raspodjele i predviđanja otkaza sistema u toku eksploatacije.

U ovom radu su detaljnije definisani elementi otkaza, oblici te uzroci njihovog nastajanja. Za izučavanje pouzdanosti sistema i elemenata sistema ovo je uvijek početna faza istraživanja i zbog toga je veoma bitna. Postupak u radu može da olakša rad kako inženjerima tako i ostalim istraživačima koji ulaze u oblast pouzdanosti sistema.

Ključne riječi: otkaz, oblici otkaza, uzroci otkaza, pouzdanost

ABSTRACT

Failures in reliability theory represents each event after which the system or component system can not to define how to carry out same task. Therefore, the reliability can be defined as the ability of a system that does not cancel the operation. So, the failures are a key element for defining reliability. The same is necessary during studying the reliability of the system thoroughly analyze and define. Science reliability engineering is basically the study of causes, distribution and forecasting system failure during operation.

In this papirare defining the details elements failure, forms and causes of their formation. For the study of the reliability of the system and elements of the system this is always the initial phase of research and is therefore very important. The method of work can facilitate the work to engineers and other researchers entering the field of system reliability.

Keywords: failure, failure modes, failure causes, reliability

1. UVOD

Analize pouzdanosti, sigurnosti i pogodnosti održavanja tehničkog sistema, vezane su za pojavu otkaza. Oni zahtjevaju podatke o otkazu, odnosno klasifikaciju oblika otkaza, uzroka i posljedica, odnosno ozbiljnosti otkaza. Kvalitet ovih analiza u velikoj mjeri zavisi od kvaliteta podataka i informacija koje se koriste i uređenosti baza podataka.

Sagledavanje potencijalno mogućih otkaza na tehničkim sistemima predstavlja kompleksan i značajan zadatak. Pojavu otkaza na tehničkom sistemu može da razumije, opiše i procijeni projektant koji je zamislio i projektovao sistem, koji poznaje radna i kritična opterećenja, mogućnosti primjenjenih materijala, te mogućnosti izrade i obrade.

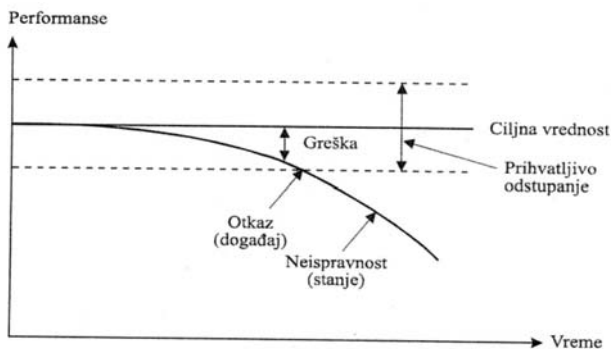
Najveći broj tehničkih sistema sastavljen je od nekoliko podsistema, elemenata i dijelova povezanih i struktuiranih u jednu cjelinu, koji obezbjeđuje izvođenje predviđenih postupaka rada i vršenje postavljenih zadatih funkcija u vremenu i datim uslovima okoline. U procesu projektovanja sistema ugrađuju se postavljene zahtjevanje funkcije, a sposobnost vršenja zahtjevanih funkcija u vremenu je *radna sposobnost sistema (RS)*. Radna sposobnost sistema, kao sposobnost vršenja zahtjevane funkcije u vremenu i datim uslovima okoline, je više dimenzionalno promjenljiva, koju je moguće odrediti u okviru odgovarajućih uslova. Na osnovu ovih odnosa moguće je postaviti dva značajna zadatka za projektanta sistema i to u smislu: obezbjeđenje potrebnog nivoa radne sposobnosti sistema i držanje sistema u stanju u radu u projektovanom vijeku trajanja.

Međutim, tehnički sistem u procesu korištenja je izložen različitim uticajima, sistemskog i slučajnog karaktera, što uzrokuje ostupanja u nivou postavljenih zahtjevanih funkcija i umanjuje radnu sposobnost sistema. Prelaženje prihvatljivih granica, kretanje iznad granica dozvoljenih odstupanja parametara zahtjevane funkcije, ima za posljedicu njen završetak tj. tehničkom sistemu se događa otkaz. Jednostavnije rečeno, otkaz je događaj kada je zahtjevana funkcija završena, a nespravnost je stanje sistema koje nastaje iz otkaza. Sami otkazi mogu biti različiti, njihovi uzroci nastajanja također mogu biti različiti, kao i posljedice.

Otkazi su veoma bitni, kako u fazi projektovanja, tako i u fazi eksploatacije sistema. Za mjerenje ili predviđanje pouzdanosti sistema, sklopova i dijelova tehničkih sistema najčešće se koriste sljedeće karakteristike: vjerovatnoća rada bez otkaza, vjerovatnoća otkaza u radu, srednje vrijeme između otkaza, intezitet otkaza, te učestalost otkaza.

2. OTKAZI SISTEMA I ELEMENATA

Pod *otkazom*, u smislu pouzdanosti, podrazumijeva se prestanak radne sposobnosti sistema da vrši zahtijevanu funkciju u toku eksploatacije sistema i uređaja i njihovih sastavnih dijelova (elemenata) i mogu se naći u jednom od dva moguća stanja: ispravnom i neispravnom. U ispravnom stanju sistema (elementa) njegove karakteristike zadovoljavaju propisane zahtjeve, kako radne tako i sporedne kao što su: izgled, pogodnost za eksploataciju i sl. Svako odstupanje od propisanih radnih zahtjeva može se smatrati otkazom ili neispravnošću.



Slika 1. Ilustracija otkaza, neispravnosti i greške

Prema IEC 50(191) otkaz je stanje neke pozicije koja se karakteriše nesposobnošću za vršenje zahtjevane funkcije, isključujući nesposobnost tokom postupaka preventivnog održavanja ili

drugih planiranih akcija, ili usljed nedostatka spoljašnjih uticaja. Prema navedenom standardu greška je neslaganje između proračunate, izmjerene vrijednosti ili stanja i stvarne, specificirane ili teoreski ispravne vrijednosti ili stanja.

Greška nije otkaz, jer je u okviru prihvatljivih granica odstupanja željenog rada/performance, odnosno zadane funkcije. Brojni su prilazi klasifikaciji i bližem određivanju otkaza sa različitim osnova u odnosu na karakter, način manifestovanja, uzroke, stepen ozbiljnosti. Ilustracija razlike između otkaza, neispravnosti i greške je prikazan na slici 1. [3], Otkaz je događaj koji dovodi do prelaska iz ispravnog stanja (stanje radne sposobnosti) u neispravno stanje. Dakle, otkaz predstavlja potpuni ili djelomični gubitak radne sposobnosti sistema. Na slici 2. data su dva primjera otkaza građevinskih objekata (mostova). Došlo je potpunog prestanka sposobnosti sistema da vrši svoju funkciju. Desio se potpuni otkaz. [1], [2],

Kod sistema se mogu sresti i druge neispravnosti – defekti koji ne narušavaju njihov ispravan rad i sistemi se mogu koristiti i poslije te vrste neispravnosti bez bojazni za ispravno obavljanje zadatka. Takve neispravnosti su, na primjer, greška na uzemljenju (pri čemu sistem/uređaj i dalje radi) ili prestanak rada signalnih sijalica itd. Pri tome govorimo o otkazu sporednih funkcija sistema.

Može se reći da poremećaj u radu sistema i mogućnost pojave otkaza nastaju zbog promjena početnih svojstava materijala dijelova od kojih je sistem izgrađen. Uzroci slabljenja i smanjenja radnih karakteristika sistema nalaze se u fizičko-hemijskim promjenama, koje se odvijaju po određenim zakonima vjerovatnoće. Uzimajući u obzir nepredviđene utjecaje okoline na promjenu stanja, povećava se stohastičnost takvih pojava.



Slika 2. Primjeri otkaza tehničkog sistema

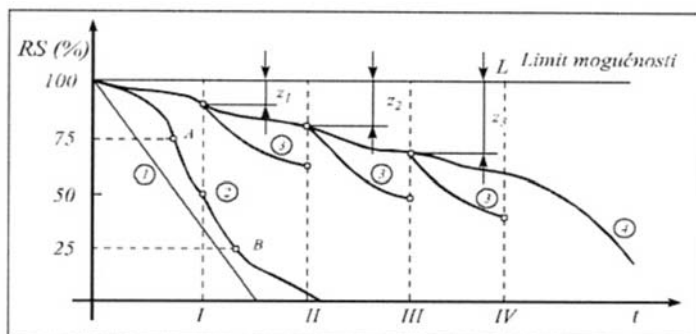
Proces nastanka otkaza predstavlja kinetički proces u nekom vremenu, čiji unutrašnji mehanizam i brzina zavise od svojstava materijala, opterećenja, režima rada, temperature i niza drugih faktora. Proces slabljenja sistema i dijelova sistema je vrlo kompleksan. Na njega istovremeno djeluje više faktora, pojedinačno i u interakciji: vrsta materijala, mjesto odvijanja, vid energije, unutrašnji mehanizmi fizičko-hemijskih procesa (starenje, trošenje, korozija, zamor, puzavost), uslovi i način eksploatacije i održavanja.

Ako se u određenom vremenskom intervalu t promatra promjena radne sposobnosti sistema RS (I, II; III; IV), uočavaju se karakteristični zakoni slabljenja, slika 3. [4]

- 1 – idealan zakon, kada se proces slabljenja odvija progresivno i vrlo kratko traje,
- 2 – realan zakon, kada se pojavljuju segmenti, gdje između tačaka A i B dolazi do ubrzanog slabljenja sistema, uz pretpostavku da nije bilo intervencija održavanja,
- 3 – prekidi kontinualnog slabljenja sistema, uslijed intervencija održavanja, sa zaostalim oštećenjima ($z1, z2, \dots, zn$),

4 – zakon umanjivanja radne sposobnosti sistema u vijeku ekonomičnog korištenja do izdvajanja iz procesa, sa uspješnom funkcijom održavanja.

Treba napomenuti da promjena radnog stanja može biti definisana sa gornjom i donjom granicom. Dakle, treba da se kreće u nekom tolerantnom polju. Pri tome se pod pojmom otkaza podrazumijeva događaj koji se dešava u trenutku kada vrijednost nekog parametra dostigne jednu od kritičnih vrijednosti ili ako iziđe izvan njih.



Slika 3. Grafička interpretacija zakona slabljenja radne sposobnosti sistema

Zavisno od namjene sistema, eksploatacionih uslova zahtjeva prema kvalitetu funkcionisanje itd, definicija otkaza treba da bude precizna i usklađena između naručioca i proizvođača sistema. Ovo je neophodno jer promjena nekog parametra van određenih granica ne mora uvijek da ima za posljedicu gubljenje radne sposobnosti sistema.

Na primjer, smanjenje osjetljivosti radio-prijemnika ispod granice koja je određena tehničkim uslovima smatra se otkazom, bez obzira što prijemnik može i dalje da funkcioniše.

3. OBLICI I KLASIFIKACIJA OTKAZA

Oblik otkaza predstavlja manifestaciju otkaza koji se posmatra sa strane (spolja), tj. završetak jedne ili više zahtijevanih funkcija. Da bi se lakše analizirali, otkazi se klasificiraju. Klasifikacije otkaza mogu biti različite, a jedna od njih je da se otkazi klasificiraju kao potpuni i djelimični. Pri tome potpuni i djelimični otkazi mogu biti iznenadni i postepeni. Potpuni otkazi izazivaju potpuni gubitak zahtjevanje funkcije, a djelimični otkazi dovode do nedostatka neke funkcije, ali ne izazivaju potpuni gubitak zahtjevanje funkcije. Iznenadni otkazi su otkazi koji se nisu mogli predvidjeti prethodnim pregledima i ispitivanjima. Postepeni otkazi su otkazi koji su se mogli predvidjeti pregledom i ispitivanjem. Katastrofalan otkaz je otkaz koji je iznenada i potpun.

U tabeli 1. se daje pregled vrste otkaza prema kriterijumima klasifikacije.

Tabela 1. Vrste otkaza

Red. br.	Kriterijum klasifikacije	Vrste otkaza
1.	Vrsta promjene stanja	Neočekivani (iznenadni, trenutni) otkaz
		Postepeni (degradacioni) otkaz
2.	Veza sa drugim otkazima	Nezavisni otkaz
		Zavisni otkaz
3.	Mogućnost korištenja poslije nastajanja otkaza	Potpuni otkaz
		Djelomični otkaz
4.	Priroda eliminisanja otkaza	Permanentni otkaz

		Otkaz koji se sam otklanja	Prolazni otkaz Povratni otkaz
5.	Spoljna manifestacija	Očigledan otkaz Prikriven otkaz	
6.	Uzrok nastajanja otkaza	Konstruktivni otkaz	Greška konstruktora Nesavršen metod konstrukcije
		Tehnološki otkaz	Greška pri proizvodnji Nesavršena tehnologija
		Eksploatacioni otkaz	Greška pri eksploataciji Nepredviđeni spoljni uslovi
7.	Priroda nastajanja otkaza	Prirodni otkazi Vještački otkaz (otkaz izazvan namjerno)	
8.	Vrijeme nastajanja otkaza	Otkaz pri ispitivanju Otkaz u periodu pripreme Otkaz pri normalnoj eksploataciji Otkaz pri kraju perioda eksploatacije	
9.	Po intenzitetu otkaza	Slučajni otkaz Sistemski otkaz	

Ovdje u ovom radu neće se detaljno opisivati sve vrste otkaza jer je detaljno objašnjenje dato u literaturi [].

4. UZROCI I POSLJEDICE OTKAZA

Uzrok otkaza je neophodna informacija da bi se izbjegli otkazi ili spriječila ponovna pojava otkaza. Sa stanovišta izučavanja uzroka pojava otkaza sistema od posebnog je značaja uočavanje relativne učestalosti pojava otkaza u tri osnovna perioda rada sistema: ranih otkaza, period stabilnog rada i pojačanih otkaza.

Uzroci otkaza sistema mogu da se klasificiraju u odnosu na ciklus vijeka trajanja sistema. Pri tome uzroci pojava otkaza se mogu svrstati u periode projektovanja, proizvodnje i korištenja tehničkog sistema. Što se tiče projektovanja uzroci mogu da nastanu kao posljedica neodgovarajućeg projektovanja ili slabosti konstrukcije. Uzroci otkaza iz proizvodnje nastaju kao posljedica propusta u izradi, dok uzroci otkaza od korištenja su posljedica starenja, pogrešnog korištenja te pogrešnog rukovanja.

Usljed neodgovarajućeg projektovanja neke pozicije nastaje tzv. projektantski otkaz. Otkaz usljed slabosti u samoj konstrukciji, kada je podvrgnuta opterećenjima u okviru navedenih slabosti, predstavlja drugi uzrok pojave otkaza u periodu ranih otkaza. Uzrok otkaza iz proizvodnje je usljed propusta u izradi. Otkaz usljed starenja je otkaz čija se vjerovatnoća pojavljivanja povećava u funkciji vremena. Otkaz usljed pogrešnog korištenja je otkaz usljed primjene radnog opterećenja koje je veće od radnih sposobnosti. Otkaz usljed pogrešnog rukovanja je otkaz izazvan nepravilnim rukovanjem ili nepažnjom prema sistemu. Pod terminom mehanizam otkaza podrazumijeva se fizički, hemijski i drugi procesi koji su doveli do otkaza. Tako npr. korozija, habanje, oksidacija, otvrdnavanje su procesi na najnižem nivou ili uzroci u korijenu koji predstavlja mehanizme otkaza.

Svaki oblik otkaza može biti izazvan od nekoliko različitih uzroka otkaza, što vodi ka pojavi nekoliko različitih posljedica (efekata) otkaza. Oblik otkaza na najnižem nivou (dio) i posljedica otkaza na najnižem nivou daju oblik otkaza na višem nivou (sklop). Pod pojmom značajnosti (ozbiljnost) oblika otkaza podrazumijeva se stepen uticaja oblika otkaza na nivou cijelog sistema. Rangiranje značajnosti otkaza važno je za proces projektovanja pouzdanosti, za izvođenje sistemskih analiza otkaza i sličnih tehnika analize pouzdanosti kako bi se mogli definisati prioritati. Tako npr. neki standardi koriste podjelu u odnosu na stepen značajnosti

kao: katastrofalan, kritičan, marginalan i zanemarljiv otkaz. Klasifikacija kritičnosti otkaza može se rangirati u pet nivoa sa kvalitativnim opisom u pogledu ljudskih i materijalnih gubitaka i posljedica na performanse sistema. Također otkazi prema ozbiljnosti u opadajućem redoslijedu klasificiraju se na otkazi sa posljedicama po bezbjednosti, otkazi sa posljedicama na okruženju, otkazi sa operativnim posljedicama i otkazi sa ne operativnim posljedicama. Pri tome se uvijek prvo sagledavaju posljedice po čovjeka, a nakon toga na materijalne gubitke i gubitak performansi sistema. Tako npr. neki otkaz može da bude petog nivoa značajnosti, katastrofalan, izaziva višestruke smrtne slučajeve (posljedica po čovjeka), te da ima kritične materijalne gubitke, što sa aspekta sistema istom onemogućava ispunjenje zadataka. Naravno ovo je samo jedan nivo značajnosti otkaza. Za druge nivoe također se mogu utvrditi posljedice i materijalni gubici, kod nastanka otkaza. Na slici 2 je prikazan otkaz strukture mosta koji je sa posljedicama po bezbjednost ljudi i okruženje te naravno može spada u grupu katastrofalani.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu prethodnih razmatranja mogu da se izvedu zaključci. Definisanje otkaza sistema ili njegovih elemenata je veoma značajna faza izučavanja pouzdanosti. Ukoliko to učinimo ispravnim, stvaraju se pretpostavke da u sljedećoj fazi prikupimo relevantne podatke koji nam služe za proučavanje pouzdanosti. Pri tome je veoma značajno utvrditi uzroke i posljedice otkaza jer se na osnovu njih mogu korigovati ulazni podaci i procedure kako u toku projektovanja tako i u fazi izrade, te eksploatacije sistema. Ovakav pristup nam omogućava stvaranje pretpostavki za kvalitetno projektovanje tehničkih sistema i pravilnu upotrebu.

6. LITERATURA

- [1] M.Faber: Risk and Safety in Engineering, Swis Federal Institute of Tehnology Zurich, Zurich 2009.
- [2] M.Faber: Risk and Safety in Engineering (exercice), Swis Federal Institute of Tehnology Zurich, Zurich 2009.
- [3] P.Popović; G.Ivanović: Projektovanje pouzdanosti mašinskih sistema, Institut za nuklearne nauke „Vinča“ Beograd 2015.
- [4] M.Imamović: Teorija pouzdanosti, Zenica 2010.