



Društvo termičara Srbije
Society of Thermal Engineers of Serbia

Mašinski fakultet u Nišu
Faculty of Mechanical Engineering Niš



SimTerm 2007

13. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE
13th SYMPOSIUM ON THERMAL SCIENCE
AND ENGINEERING OF SERBIA

SOKOBANJA 16-19. OKTOBAR OCTOBER, 16-19

[[PROGRAM RADA](#) | [ZBORNİK APSTRAKATA](#)]
[[PROGRAM OF WORK](#) | [BOOK OF ABSTRACTS](#)]

[[ZBORNİK RADOVA](#)]
[[BOOK OF PAPERS](#)]

[[ORGANIZACIONI ODBOR](#) | [NAUČNI ODBOR](#) | [POČASNI ODBOR](#)]
[[ORGANIZATIONAL BOARD](#) | [SCIENTIFIC BOARD](#) | [HONORED BOARD](#)]

[[POKROVITELJ](#) | [GLAVNI SPONZOR](#) | [SPONZORI](#)]
[[PATRON](#) | [MAIN SPONSOR](#) | [SPONSORS](#)]

[[INTERNET PREZENTACIJA](#)]
[[INTERNET PRESENTATION](#)]

[[vrh](#)] [[top](#)]

Program rada 13. Simpozijuma termičara Srbije [.pdf]
Program of Work for the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia [.pdf]

[[Program rada](#)] [[Program of Work](#)]

Zbornik apstrakata 13. Simpozijuma termičara Srbije [.pdf]
(ISBN 86-80587-70-2)
Book of Abstracts for the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia [.pdf]
(ISBN 86-80587-70-2)

[[Zbornik apstrakata](#)] [[Book of Abstracts](#)]

[[vrh](#)] [[top](#)]

Zbornik radova 13. Simpozijuma termičara Srbije [.pdf]
(ISBN 978-86-80587-80-6)
Book of Papers for the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia [.pdf]
(ISBN 978-86-80587-80-6)

[[Prva strana](#)] [[Home Page](#)]
[[Plenarna sesija](#)] [[Plenary Session](#)]
[[Novi i obnovljivi izvori energije](#)] [[New and Renewable Energy Sources](#)]
[[Energetska efikasnost](#)] [[Energy Efficiency](#)]
[[Racionalno gazdovanje energijom](#)] [[Energy Management](#)]
[[Tehnologije i postrojenja](#)] [[Technologies and Plants](#)]
[[Matematičko modeliranje](#)] [[Mathematical Modeling](#)]
[[Zaštita životne sredine](#)] [[Environmental Protection](#)]
[[Automatizacija i kontrola procesa](#)] [[Automatization and Process Control](#)]

[[vrh](#)] [[top](#)]

Dr Branislav Stojanović
 Dr Velimir Stefanović
 Dr Gordana Stefanović
 Dr Mića Vukić
 Mr Jelena Janevski
 Mr Mirjana Laković
 Mr Dejan Mitrović
 Mr Goran Vučković
 Mr Predrag Živković
 Mr Dragan Kuštrimović
 Dipl. Ing. Mirko Stojiljković
 Dipl. Ing. Marko Ignjatović

Dr Simeon Oka
 Dr Predrag Stefanović
 Dr Dragoslava Stojiljković
 Dr Goran Jankes
 Dr Zoran Boričić
 Dr Slobodan Laković
 Dr Nenad Radojković
 Dr Gradimir Ilić
 Dr Bratislav Blagojević
 Dr Dragoljub Živković
 Dr Ljubica Čojbašić
 Dr Dušan Gvozdenac
 Dr Milun Babić
 Dr Branislav Savić

Dr Aleksa Zejak
 Dr Aleksandar Popović
 Dr Vladan Karamarković
 Dr Dimitrije Voronjec
 Dr Miloš Nedeljković
 Dr Miodrag Manić

[vrh] [top]

13. Simpozijum termičara Srbije se održava pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke Republike Srbije
13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia is held under patronage of the Ministry of Science of the Republic of Serbia



Glavni sponzor 13. Simpozijuma termičara Srbije
Main sponsor of the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia



Sponzori 13. Simpozijuma termičara Srbije
Sponsors of the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia



[[Veza ka stranama posvećenim sponzorima 13. Simpozijuma termičara Srbije](#)]
 [[Links to the pages dedicated to sponsors of the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering](#)]

[vrh] [top]

<http://simterm.masfak.ni.ac.yu/>

[[Veza ka zvaničnom veb sajtu 13. Simpozijuma termičara Srbije](#)]
[[Link to the official Web Site of the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia](#)]

[[vrh](#)] [[top](#)]

Važno obaveštenje:

Na ovom CD-ROM-u su priloženi originali prijavljenih radova za 13. Simpozijum termičara Srbije. Podaci i zaključci izneti u radovima predstavljaju mišljenja i stavove autora koji sami snose odgovornost za njihovu validnost! CD-ROM se distribuira svim prijavljenim učesnicima Simpozijuma.

Important notice:

This CD-ROM contains the originals of the papers applied for the 13th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia. All the data and conclusions presented here represent opinions and attitudes of the authors who are responsible for their validity! CD-ROM is distributed to all the applied Participants of the Symposium.

[[vrh](#)] [[top](#)]

[[PROGRAM RADA](#) | [ZBORNIK APSTRAKATA](#)] [[ZBORNIK RADOVA](#)] [[ORGANIZACIONI ODBOR](#) | [NAUČNI ODBOR](#) | [POČASNI ODBOR](#)]
[[POKROVITELJ](#) | [GLAVNI SPONZOR](#) | [SPONZORI](#)] [[INTERNET PREZENTACIJA](#)]

[[PROGRAM OF WORK](#) | [BOOK OF ABSTRACTS](#)] [[BOOK OF PAPERS](#)] [[ORGANIZATIONAL BOARD](#) | [SCIENTIFIC BOARD](#) | [HONORED BOARD](#)]
[[PATRON](#) | [MAIN SPONSOR](#) | [SPONSORS](#)] [[INTERNET PRESENTATION](#)]

**13. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE
13th SYMPOSIUM ON THERMAL SCIENCE AND
ENGINEERING OF SERBIA**

SOKOBANJA, 16-19.10.2007.



ZBORNİK RADOVA BOOK OF PAPERS

ISBN 978-86-80587-80-6

Matematičko modeliranje Mathematical Modeling

Plenarna sesija

ISPITIVANJE I PRIMENA NADGRAĐENOG I ADAPTIRANOG SOFTVERSKOG

SISTEMA ZA DIJAGNOSTIKU RADA PARNOG BLOKA TERMOELEKTRANE
TESTING AND USE OF UPGRADED AND ADAPTED SOFTWARE SYSTEM FOR THE
OPERATION DIAGNOSIS OF A STEAM POWER PLANT

B. M. Savić, R. Jovanović, Z. Ribar, V. Stevanović, M. Dobrosavljević

NUMERIČKA SIMULACIJA UTICAJA PRIMENE ŽALUZINA I FINOĆE MELJAVE NA
RASPODELU UGLJENOG PRAHA PO GORIONIČKIM KANALIMA

NUMERICAL SIMULATION OF THE INFLUENCE OF THE STATIONARY LOUVER
AND PARTICLE SIZE ON COAL POWDER DISTRIBUTION IN POWER PLANT
BURNING CHANNELS

G. Živković, S. Nemoda, P. Stefanović, P. Radovanović

NUMERIČKA SIMULACIJA OPSTRUJAVANJA VAZDUHA OKO REDOVA SUNČANIH
KOLEKTORA

NUMERICAL SIMULATION OF THE AIR FLOW AROUND THE ARRAYS OF SOLAR
COLLECTORS

V. Bakić, G. Živković, M. Pezo, B. Stanković

SOFTVER ZA SIMULACIJU PROCESA U CHP POSTROJENJIMA

SOFTWARE FOR THE SIMULATION PROCESSES IN CHP PLANTS

D. Živković

SIMULACIJA KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA "AVEDOREVERKET"-BLOK 1
POMOĆU PROGRAMA DNA, GATE CYCLE I UNITED CYCLE

SIMULATION OF THE COGENERATION PLANT "AVEDOREVERKET"-UNIT 1 WITH
DNA, GATE CYCLE AND UNITED CYCLE PROGRAMMES

D. Živković

MATEMATIČKI MODEL SAGOREVANJA SLAME U POKRETNOM SLOJU

MATHEMATICAL MODEL FOR THE COMBUSTION OF STRAW IN A MOVING BED

B. Miljković, B. Stepanov, I. Pešenjanski

METODE KONSTRUISANJA TERMOENERGETSKIH SISTEMA NA OSNOVU
POUZDANOSTI

METHODS FOR DESIGN OF THERMOENERGETIC SYSTEMS BASED ON
RELIABILITY

D. Milčić, M. Mijajlović

INTEGRACIJA PROCESA METODOM ELIMINACIJE GREŠAKA UTVRĐENIH
PRIMENOM DRUGOG PRINCIPA TERMODINAMIKE

D. D. Kuštrimović, G. Ilić, P. Rašković

NUMERIČKA SIMULACIJA STRUJANJA DVOFAZNE SMEŠE U KANALU AEROSMEŠE
BLOKA A1 TERMOELEKTRANE "NIKOLA TESLA" U CILJU OPTIMIZACIJE POLOŽAJA
REGULACIONIH KLAPNI

NUMERICAL SIMULATION OF TWO PHASE FLOW IN THE MIXTURE CHANNEL ON
THERMAL POWER PLANT "NIKOLA TESLA" A1 IN ORDER TO FIND THE OPTIMAL
POSITION OF SHUTTERS

N. V. Živković, G. S. Živković, P. Lj. Stefanović, D. B. Cvetinović

SIMULACIJA RADA SISTEMA TURBINA-KONDENZATOR KONVENCIONALNE
TERMOELEKTRANE

SIMULATION OF THE CONVENTIONAL POWER PLANT TURBINE-CONDENSER
SYSTEM

S. Laković, M. Laković, D. Mitrović

GENERISANJE MREŽE ZA NUMERIČKE SIMULACIJE STRUJANJA FLUIDA OKO
PROFILA

B. Bogdanović, Ž. Stamenković, J. Bogdanović-Jovanović

KARAKTERISTIKE I EVALUACIJA KOMPLEKSNOG MODELA PROCESA I SOFTVERA
ZA PREDVIĐANJE POGONSKIH SITUACIJA U LOŽIŠTU ENERGETSKOG KOTLA NA
UGLJENI PRAH

CHARACTERISTICS AND EVALUATION OF COMPREHENSIVE MODEL OF
PROCESSES AND SOFTWARE FOR PREDICTION OF OPERATION SITUATIONS IN A
UTILITY BOILER PULVERIZED COAL FIRED-FURNACE

S. Belošević, M. Sijerčić, D. Tucaković

**[Plenarna sesija] [Novi i obnovljivi izvori energije] [Energetska efikasnost]
[Racionalno gazdovanje energijom] [Tehnologije i postrojenja] [Matematičko
modeliranje] [Zaštita životne sredine] [Automatizacija i kontrola procesa]
[Plenary Session] [New and Renewable Energy Sources] [Energy Efficiency]
[Energy Management] [Technologies and Plants] [Mathematical Modeling]
[Environmental Protection] [Automatization and Process Control]**

METODE KONSTRUISANJA TERMOENERGETSKIH SISTEMA NA OSNOVU POUZDANOSTI

METHODS FOR DESIGN OF THERMOENERGETIC SYSTEMS BASED ON RELIABILITY

Dr Dragan Milčić^{*}, Miroslav Mijajlović^{*,**}

*Mašinski fakultet Niš, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš **

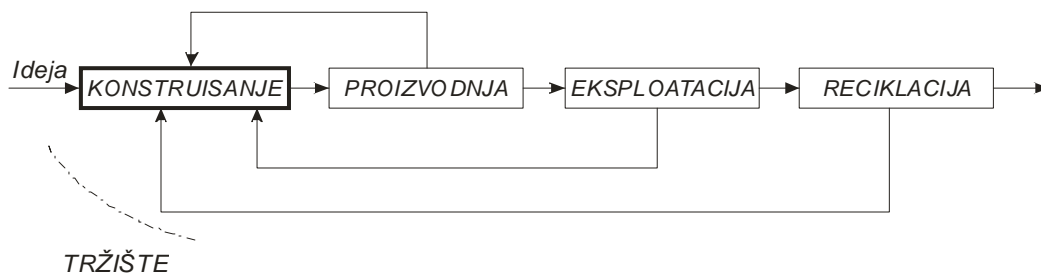
*Stipendista Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, Beograd ***

Abstract: Reliability of a product is probability that product will fulfill required goal – function, during expected time period in required conditions. Simplest method for determination of product's reliability is by usage of exploration data – failures. But, reliability can be determined during development process, also. This paper gives methods used for design of thermo – energetic systems, based on reliability.

Key words: Reliability, Reliability Determination Methods, Thermo-energetic systems

1. UVOD

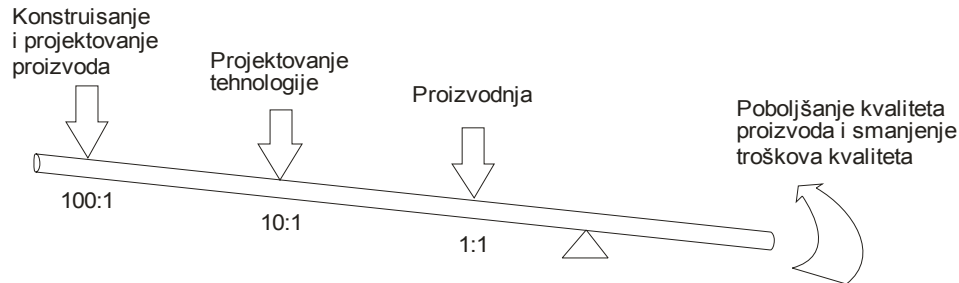
Konstruisanje je proces transformacije ideje za novi proizvod u projekat koji predstavlja skup informacija za izradu i eksploataciju. To je informacioni proces u kojem se informacije nižeg nivoa proračunima, analizama, simulacijama, grafičkim prikazivanjem itd. transformišu u informacije višeg nivoa. Pri životnom ciklusu jednog proizvoda konstruisanje je prva etapa, a zatim slede etapa izrade, eksploatacija i na kraju reciklaža, odnosno, vraćanje iskorišćenog proizvoda u sirovinsku bazu (slika 1).



Slika 1. Etape u životnom ciklusu proizvoda

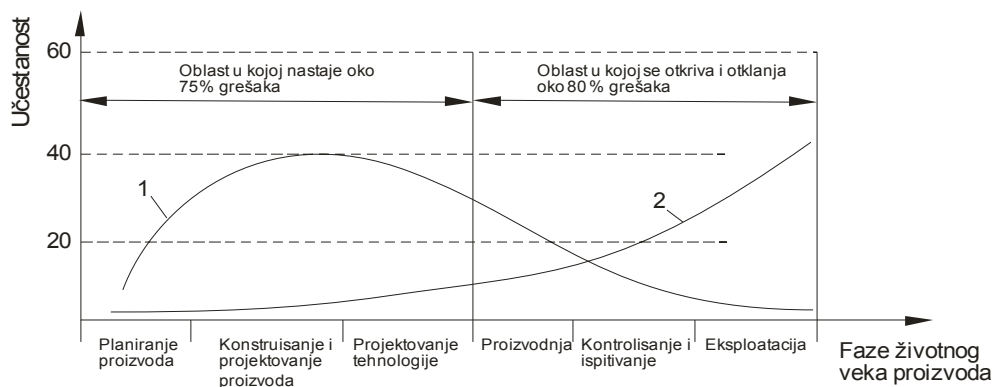
Značaj konstruisanja i projektovanja proizvoda može se ilustrovati polugom kvaliteta (slika 2). Za postizanje višeg nivoa kvaliteta nekog proizvoda i smanjenje troškova, najznačajnije dejstvo na poluzi je područje projektovanja i konstruisanja sa odnosom 100:1, pa zatim područje projektovanja tehnologije sa odnosom 10:1 i na kraju u samoj proizvodnji sa odnosom 1:1. U procesu razvoja proizvoda generiše se kvalitet proizvoda, ali i najveći broj grešaka, koje ako se ne otkriju i otklone u samom razvoju, imaju za posledicu progresivni rast

ukupnih troškova kvaliteta proizvoda. Ukoliko se te greške otkriju u kasnijim fazama životnog veka proizvoda, troškovi za njihovo otklanjanje i saniranje mogućih posledica se deset puta uvećavaju. Za otklanjanje istih grešaka pri projektovanju tehnologije troškovi su 10 puta veći, a ako se greške otkriju u proizvodnji, troškovi su 100 puta veći nego pri projektovanju i konstruisanju.



Slika 2. Odnosa troškova uklanjanja grešaka u različitim fazama konstruisanja

Najveći broj nedostataka u fazi razvoja proizvoda nastaje usled pojave neodređenosti u toku procesa projektovanja i konstruisanja proizvoda. U slučaju pouzdanosti mašinskih sistema, neodređenost se javlja usled činjenice da su otkazi relativno retki događaj, te je sakupljanje dovoljno podataka, na kojima se zasniva statistička verovatnoća otkaza, skup i dugotrajan proces. Osim toga, u ranim fazama razvoja proizvoda, objekat analize ne postoji te se odgovarajući pokazatelji pouzdanosti moraju proceniti na osnovu tehničkog rasuđivanja, ili na osnovu postojećih podataka i rezultata ispitivanja sličnih proizvoda, što samo dodatno uvećava neodređenost.



Slika 3. Kriva učestanosti otkrivanja grešaka po fazama životnog veka proizvoda

Kao posledica neodređenosti javljaju se nedostaci i greške u svim fazama životnog veka proizvoda, koje utiču na njegov kvalitet. Na osnovu sprovedenih istraživanja, utvrđeno je da se najveći broj problema vezanih za kvalitet proizvoda javlja zbog grešaka napravljenih u fazi planiranja i razvoja, a samo manji deo se javlja zbog propusta u kasnijim fazama životnog veka proizvoda. Na slici 3, krivom 1 je predstavljena učestanost nastajanja grešaka u životnom veku proizvoda. Sa slike se uočava da 75% svih grešaka nastaje u fazi razvoja proizvoda i projektovanja tehnologije. Međutim u fazama razvoja proizvoda i projektovanja tehnologije, greške se najteže otkrivaju, što pokazuje kriva 2 (slika 3).

2. METODE POUZDANOSTI U PROCESU KONSTRUISANJA TERMOENERGETSKIH SISTEMA

Pouzdanost proizvoda je verovatnoća da će on, radeći u zadatim uslovima, uspešno izvršavati zahtevanu funkciju cilja u toku zadanog perioda vremena. Najjednostavnije se može odrediti pouzdanost nekog proizvoda na osnovu ustanovljenih otkaza proizvoda u eksploataciji. Međutim, moguće je već u fazi razvoja odrediti očekivanu pouzdanost.

U fazi projektovanja i konstruisanja pouzdanost se utemeljuje, u fazi izrade se obezbeđuje, a u procesu eksploatacije se realizuje.

Pri konstruisanju termo – energetskih sistema na cenu se može uticati: oblikovanjem delova i sklopova, izborom materijala, izborom sistema podmazivanja, izborom metode zaštite od nepovoljnih spoljnih uticaja itd. Pri izradi, na pouzdanost sistema može se uticati: kvalitetom izrađenih delova, kontrolom proizvodnje, kvalitetom montaže sklopova i delova, mogućnošću automatskog upravljanja tehnološkog procesa itd. Pri eksploataciji, pouzdanost termo – energetskih sistema zavisi od: uslova eksploatacije, ostvarenja sistema tehničkog opsluživanja i remonta, režima rada i td. Povećanje pouzdanosti nekog sistema znači: veća ulaganja.

Sa odgovarajućim analizama pouzdanosti, može da se prognozira pouzdanost termo – energetskog sistema i mogu da se utvrde slaba mesta. Koriste se kvantitativne i/ili kvalitativne metode. Kvantitativne metode koriste pojmove i postupke matematičke statistike i teorije verovatnoće. Ove discipline su omogućile razradu specijalnih metoda proračuna osnovnih pokazatelja pouzdanosti. Kao kvantitativne metode koristi se Bulova teorija i teorija Markova. Kvalitativne metode u analizi pouzdanosti imaju zadatak da sistematski istraže posledice grešaka i otkaza. U grupu kvalitativnih metoda spadaju metode FMEA / FMECA (**F**ailure **M**ode and **E**ffects **A**nalysis / **F**ailure **M**ode, **E**ffects and **C**riticality **A**nalysis) i analiza stabla otkaza FTA (**F**ault **T**ree **A**nalysis).

Većina objekata u energetici predstavlja sisteme koji se sastoje od sklopova, podsklopova, agregata, delova itd, odnosno, izvršilaca transformacije energije. Što je termo – sistem složeniji to su i potrebe za njegovo ispravno funkcionisanje raznovrsnije, dijapazon uslova eksploatacije je veći, a režimi rada složeniji. Postoje različite analitičke metode analize sigurnosti funkcionisanja, a jedna od njih je blok dijagram pouzdanosti. Blok dijagram pouzdanosti slikovito prikazuje performanse pouzdanosti sistema. On pokazuje logičan spoj funkcionalnih komponenta, neophodnih za uspešan rad sistema.

Blok dijagram pouzdanosti ima primenu na sistemima bez popravke i gde redosled pojave otkaza nije od značaja. Za sisteme gde se redosled pojave otkaza mora uzeti u obzir, ili gde se popravke moraju obavljati, pogodniji su drugi postupci modelovanja, kao što je analiza Markova.

Preduslov za konstruisanje modela pouzdanosti sistema je ispravno razumevanje načina funkcionisanja i radnih uslova i uslova okoline u kojim sistem radi. Moraju se definisati parametri performansi sistema i dozvoljene granice za takve parametre.

Razni postupci kvalitativne analize se mogu primeniti u konstrukciji blok dijagrama. Zato se mora utvrditi definicija neispravnosti sistema. Za svaku definiciju neispravnosti sistema potrebno je sistem podeliti na logičke blokove pogodne za analizu pouzdanosti. Posebni blokovi mogu predstavljati podstrukture sistema, od kojih se svaka može predstaviti drugim blok dijagramom pouzdanosti (redukcija sistema). Za kvantitativno procenjivanje blok dijagrama pouzdanosti postoje razne metode. Zavisno od strukture mogu se primeniti jednostavni Bulovi (Bool) postupci ili analize skupa putanja i prekida.

Analiza stabla otkaza (FTA – **F**ault **T**ree **A**nalysis) je pogodna za analize složenih sistema sačinjenih od više funkcionalno povezanih ili zavisnih podsistema sa različitim performansama. Primeri sistema na koje se analiza stabla otkaza redovno primenjuje su

nuklearne elektrane, termo-elektrane, hemijski, toplotni i drugi industrijski procesi. To je deduktivna metoda kod koje se za definisani vršni događaj u obliku otkaza razmatrane strukturne celine sistema utvrđuju uzročni događaji koji do njega dovode. Osnovu analize stabla otkaza predstavlja prevođenje fizičkih sistema na strukturne logičke dijagrame.

Rezultati analize stabla otkaza se dokumentuju u stablu otkaza. Stablo otkaza je organizovano grafičko predstavljanje uslova i drugih faktora koji uzrokuju ili doprinose pojavi nekog neželjenog događaja. Prikazivanje je u formi koja se može razumeti, analizirati i, po potrebi, ponovo izmeniti radi lakše identifikacije:

1. faktora koji utiču na karakteristike pouzdanosti i performanse datog sistema (npr. način nastajanja otkaza komponente, greške operatora, uslovi okoline),
2. protivrečnih zahteva koji mogu uticati na pouzdanost,
3. opštih događaja koji utiču na više funkcionalnih komponenti, a koje mogu poništiti prednosti specifičnih redundansi.

Analiza je uglavnom kvalitativna, ali zavisno od izvesnih uslova može biti i kvantitativna. Primenom analize stabla otkaza mogu se ustanoviti logičke veze između otkaza konstrukcionih delova ili delova sistema i neželjenog otkaza sistema. Time se može prosuđivati o otkazu sistema.

Najvažniji ciljevi analize stabla otkaza su:

- sistematsko identifikovanje svih mogućih kombinacija uzroka koji vode neželjenom događaju;
- određivanje faktora koji najozbiljnije utiču na određenu meru pouzdanosti i primena potrebnih za poboljšanje te mere;
- određivanje pokazatelja pouzdanosti, kao što je npr. verovatnoća otkaza i neraspoloživost.

FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis - analize načina otkaza, posledica i kritičnosti otkaza), i više u upotrebi FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – analiza načina otkaza i njihovih efekata) su metode analize pouzdanosti namenjene za identifikovanje otkaza koji imaju značajne posledice, koje utiču na radno svojstvo sistema u posmatranoj primeni.

Pri proučavanju pouzdanosti, bezbednosti i raspoloživosti sistema zahteva se i kvalitativna i kvantitativna analiza, koje se međusobno dopunjavaju. Metode kvantitativne analize omogućavaju izračunavanje ili prognozu pouzdanosti, bezbednosti, raspoloživosti, intenziteta otkaza, srednjeg vremena do otkaza itd.

FMEA metoda je ograničena na kvalitativnu analizu načina otkaza i ne uključuje ljudske greške, uprkos činjenici da su aktuelni sistemi podložni i jednim i drugim. Težina posledica otkaza opisuje se kritičnošću. Kritičnost se označava kategorijama ili nivoima koji su funkcije opasnosti i gubitka sposobnosti sistema i ponekad verovatnoće njihove pojave. Ova analiza kritičnosti prepoznatih načina otkaza poznata je kao FMECA.

FMEA i FMECA su važni postupci za program obezbeđenja pouzdanosti koji se mogu primeniti na širok opseg problema. Analiza se sprovodi u toku procesa projektovanja sistema. FMEA je metoda obavljanja kvalitativne analize pouzdanosti sistema od nižeg ka višem nivou.

FMEA (ili FMECA) može se koristiti sama. Kao sistematična induktivna metoda, FMEA se najčešće koristi radi dopune drugim prilazima, posebno onim deduktivnim. U fazi projekta često je teško odlučiti, da li je dominantan induktivni ili deduktivni prilaz pošto su oba kombinovana u procesu mišljenja i analize. Tamo gde su naznačeni nivoi rizika u pogonima i sistemima, induktivni prilaz je povoljniji i otuda je FMEA suštinsko sredstvo projekta. Međutim ona treba da bude dopunjena drugim metodama, posebno tamo gde se moraju proučiti višestruki otkazi i redosledni efekti.

Za predviđanje pouzdanosti složenih tehničkih sistema, kao što su termo - energetske sistemi koriste se i metode simulacije kao što je *Monte-Karlo* metod. Ideja *Monte-Karlo* simulacije je da se, umesto opisa slučajne pojave pomoću analitičkih veza, izvede simulacija iste pojave u cilju realizovanja iste (dobijanje realizacije). Dobijanje realizacije se izvodi imitacionim modeliranjem ili simuliranjem, pomoću slučajnih brojeva. Nakon svakog ponavljanja postupka, u rezultatu se dobija po jedna realizacija proučavane slučajne pojave. Simulacija se izvodi određeni broja puta, a skup dobijenih realizacija predstavlja statistički materijal, koji se određenim statističkim metodama obrađuje i interpretira. Stoga se metoda *Monte-Karlo* naziva i metoda statističkih ispitivanja, a kao nedovoljno precizna definicija može se uzeti da je to numerička metoda kojom se modeliranjem pogodnih, slučajnih promenljivih rešavaju zadaci različitog (i stohastičkog i determinističkog) karaktera.

Svaki postavljeni problem, prethodno treba pokušati rešavati analitički jer se na taj način (ako je moguće) može doći do tačnog rešenja, dok će *Monte-Karlo* dati približno rešenje. Ako nije moguće doći do analitičkog rešenja, *Monte-Karlo* predstavlja koristan i veoma praktičan alat za dobijanje traženog rezultata.

Današnjica, kao prednost metodi *Monte-Karlo*, donosi računare velikih brzina obrade podataka, koji mukotrpan posao sračunavanja pojednostavljaju do minimalnih granica. Iako je ova metoda, u velikom broju slučajeva, znatno jednostavnija od primene analitičkih metoda, primena ove metode je ispravna samo u slučaju nemogućnosti modeliranja analitičke zavisnosti između parametara, ili radi provere analitičke metode.

3. TEORIJA FAZI POUZDANOSTI

Pri klasičnom proračunu mašinskih elemenata (delova mašinskih sistema) u procesu konstruisanja uvek se polazi od određivanja determinističke vrednosti stepena sigurnosti u kritičnim presecima na bazi najvećih opterećenja. Rezultat ovakvog načina proračuna mašinskih elemenata je predimenzionisanost konstrukcije, što proizvod čini skupljim u odnosu na druge proizvođače koji koriste drugi pristup u konstruisanju.

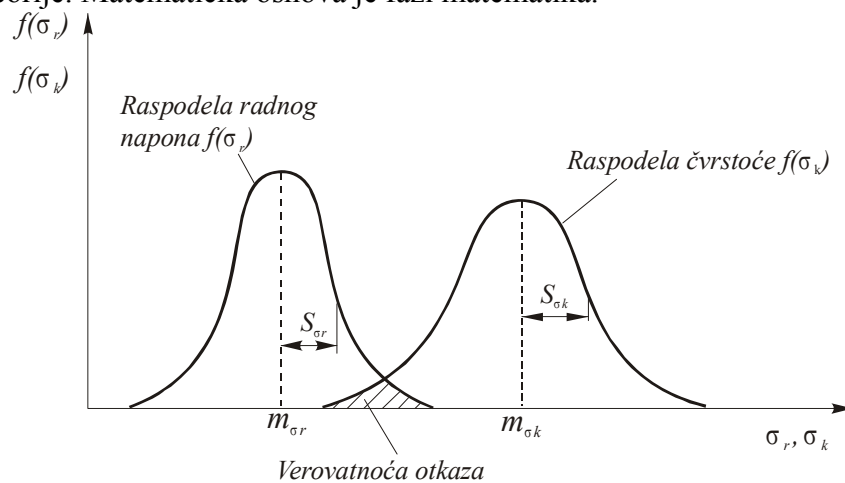
Drugi pristup proračunu mašinskih elemenata zasnovan je na verovatnosnim karakteristikama konstrukcionih parametara. Ovaj pristup polazi od toga da su sve veličine, relevantne za dimenzionisanje, po prirodi statističke što znači da nisu određene jedinstvenom i konačnom vrednošću, već da imaju veliki spektar vrednosti. Ovakav pristup konstruisanju zasnovan je na teoriji pouzdanosti gde se razmatra statistička promenljivost konstrukcionih parametara (opterećenja).

Ako se kao kriterijum otkaza elementa, podsklopa ili sklopa mašinskog sistema (MS) prihvati lom odnosno razaranje, onda pouzdanost može da se odredi kao verovatnoća da će radni napon biti manji od kritičnog, odnosno da će radno opterećenje biti manje od kritičnog. Na osnovu ovog, može da se zaključi da se proračun elemenata MS sa stanovišta pouzdanosti treba da zasniva na odgovarajućim upoređenjima raspodela kritičnih i radnih napona. Na osnovu ovih raspodela omogućava se procenjivanje, tj. predviđanje pouzdanosti elemenata, što i predstavlja osnovni cilj proračuna. Površina koja odgovara "preklopu" raspodele čvrstoće i raspodele radnog napona, predstavlja meru verovatnoće da će radni napon biti veći od kritičnih, tj. meru verovatnoće pojave otkaza (slika 4).

U praksi, parametri sistema nisu konkretni i jasni, već fazi, što dovodi u situaciju da otkazi sistema nisu jasno definisani, već su u fazi oblasti. Šta ovo znači? Povećanja radnog napona iznad dozvoljenog ne dolazi trenutno do otkaza, već nakon nekog kratkog vremenskog intervala. Stoga je verovatnija činjenica da su parametri sistema fazi pa se zato primenjuje teorija fazi pouzdanosti pri konstruisanju komponenti tehničkih sistema.

Klasična pouzdanost je sposobnost komponente da održava određeno stanje u nekoj određenoj situaciji u toku određenog vremena. Obično, pouzdanost se opisuje kao verovatnoća uspeha komponente. Fazi pouzdanost predstavlja „sposobnost komponente da

održava konkretno stanje u konkretnoj situaciji“. To je osnova fazi koncepta, a fazifikacija je osnova fazi teorije. Matematička osnova je fazi matematika.



Slika 4. Raspodela čvrstoće i radnog napona

Klasična teorija pouzdanosti se bazira na dve osnovne hipoteze: hipotezi verovatnoće događaja i hipotezi binarnog stanja. U nekim slučajevima, hipoteza binarnog stanja je neodrživa i treba se zameniti fazi stanjem. U malom broju slučajeva, hipoteza verovatnoće događaja se menja hipotezom mogućnosti.

Primena fazi pouzdanosti kod konstruisanja termoenergetskih sistema je još uvek u povoju i može se slobodno predvideti da će to biti logičan sled analiza i istraživanja pouzdanosti kod takvih sistema.

Teorija interferencije napona i čvrstoće je uobičajen verovatnosni metod konstruisanja, na osnovu kog se dobija fazi pouzdanost komponenta, pomoću dve metode: fazifikacije napona i fazifikacije kriterijuma otkaza.

Pouzdanost je verovatnoća da je kritični napon (čvrstoća) veći od radnog napona. Matematička interpretacija ovakve definicije je:

$$R = P(z > 0) = P(\sigma_k - \sigma_r > 0), \quad (1)$$

gde je: σ_r – radni napon delova MS,
 σ_k – čvrstoća delova MS,
 $z = \sigma_k - \sigma_r$ – razlika čvrstoće i napona.
 R – pouzdanost.

Ako se pretpostavi da je $f_{\sigma_r}(\sigma_r)$ fazi verovatnoća raspodele radnog napona napona, $f_{\sigma_k}(\sigma_k)$ fazi verovatnoća raspodele čvrstoće i $f_z(z)$ fazi verovatnoća raspodele razlike z , $f_{\sigma_r, \sigma_k}(\sigma_r, \sigma_k)$ je unija raspodela gustina napona i čvrstoće, onda se jednačina jednačine (1) transformiše u (2) i (3)

$$R = P(z > 0) = 1 - \int_{-\infty}^0 f_z(z) \int_0^{\infty} f_z(z) dz \quad (2)$$

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_k - \sigma_r > 0) d\sigma_r d\sigma_k = \int_0^{\infty} d\sigma_r \int_{\sigma_r}^{\infty} f_{\sigma_r, \sigma_k}(\sigma_r, \sigma_k) d\sigma_k \quad (3)$$

Ako su $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ fazi skupovi iz X, Y i Z , određeni funkcijama pripadnosti $\mu_x(\sigma_r), \mu_y(\sigma_k), \mu_z(z)$ onda se na osnovu izraza za fazi pouzdanosti dobija:

$$\bar{R} = P(Z \ni \bar{Z}) = \int_0^{+\infty} \mu_z(z) f_z(z) dz \quad (4)$$

Ako se pretpostavi da je napon običan parametar, to je njegova funkcija pripadnosti definisana:

$$\mu_{\sigma_r}(\sigma_r) = \begin{cases} 1 & \sigma_r \in X \\ 0 & \sigma_r \notin X \end{cases}, \quad (5)$$

proizilazi da je funkcija pripadnosti razlike z definisana kao:

$$\mu_z(z) = \bigvee_{z=\sigma_k-\sigma_r} [\mu_{\sigma_r}(\sigma_r) \wedge \mu_{\sigma_k}(\sigma_k)] = \mu_{\sigma_k}(\sigma_k) \quad (6)$$

Na osnovu matematike verovatnoće sledi:

$$f_z(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\sigma_r}(\sigma_r) f_{\sigma_k}(\sigma_r + z) d\sigma_r, \quad (7)$$

pa je jednačina fazi pouzdanosti

$$\bar{R} = \int_0^{+\infty} \mu_{\sigma_k}(\sigma_k) dy \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\sigma_r}(\sigma_r) f_{\sigma_k}(\sigma_r + z) d\sigma_r. \quad (8)$$

Ako čvrstoća nije fazi parametar, onda je jednačina pouzdanosti data jednačinom (3), što znači da je izraz klasične pouzdanosti, specijalan slučaj fazi pouzdanosti.

4. ZAKLJUČAK

Pouzdanost nekog termo - energetskog sistema je verovatnoća da će sistem radeći u zadatim uslovima uspešno izvršavati zahtevanu funkciju cilja u toku zadatog perioda vremena. Najjednostavnije se može odrediti pouzdanost nekog termo - energetskog sistema na osnovu ustanovljenih otkaza proizvoda u eksploataciji. Međutim, moguće je već u fazi razvoja odrediti očekivanu pouzdanost.

Pri analizi pouzdanosti koriste se kvantitativne i/ili kvalitativne metode. Kvantitativne metode koriste pojmove i postupke matematičke statistike i teorije verovatnoće. Ove matematičke discipline su omogućile razradu specijalnih metoda proračuna osnovnih pokazatelja pouzdanosti. Kao kvantitativne metode koristi se Bulova teorija i teorija Markova. Kvalitativne metode u analizi pouzdanosti imaju zadatak da se sistematski istraže posledice grešaka i otkaza. U grupu kvalitativnih metoda spadaju metode FMEA / FMECA i analiza stabla otkaza FTA. Za predviđanje pouzdanosti složenih tehničkih sistema, kao što su termo – energetski sistemi koriste se i metode simulacije kao što je *Monte-Karlo* metod.

Novi pristup proračunu delova tehničkih sistema zasnovan je na verovatnosnim karakteristikama konstrukcionih parametara. Klasična teorija pouzdanosti se bazira na dve osnovne hipoteze: hipotezi verovatnoće događaja i hipotezi binarnog stanja. U nekim slučajevima, hipoteza binarnog stanja je neodrživa i treba se zameniti fazi stanjem. Iz ovog proizilazi pristup proračuna delova tehničkih sistema na bazi fazi pouzdanosti.

REFERENCE

Knjiga

- [1] Milčić, D.: Pouzdanost mašinskih sistema, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet Niš, 2005.
- [2] Vukadinović, S., Popović, J.: Metoda *Monte-Karlo*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1996.

Teze

- [3] Ćatić, D.: Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti u fazi projektovanja mašinskih sistema, Doktorska disertacija, Kragujevac, 2001.

Radovi

- [4] Milčić, D., Mijajlović, M. : Primena Monte-Karlo simulacije u analizi pouzdanosti sistema, 12. Simpozijum termičara 18.-21. Oktobar, 2005, Sokobanja, Peta tematska grupacija; Matematičko modeliranje i numeričke simulacije, osmi izloženi rad, zbornik radova na CD-u, Sokobanja, Srbija.