

ANALIZA STEPENA KRITIČNOSTI TEHNIČKIH SISTEMA

Major mr *Sreten Perić*, dipl. inž.,
Vojna akademija

Rezime:

U radu je analizirana kritičnost nekog tehničkog sistema kroz neophodno sprovedene postupke analize kritičnosti delova sistema sa aspekta mogućnosti nastanka i posledica pojave otkaza. Analize otkaza, koje se sprovode tokom celog životnog veka nekog tehničkog sistema, najčešće se vrše radi utvrđivanja i izolovanja uzročnika otkaza, kao i za definisanje preventivnih i naknadnih intervencija.

Pod pojmom analiza otkaza podrazumeva se postupak koji ima za cilj utvrđivanje nekih od navedenih karakteristika: 1) otkaza nastalih usled degradacije maziva; 2) otkaza usled nepravilnog podmazivanja; 3) otkaza zbog neodgovarajućeg kvaliteta maziva; 4) mehanizma nastajanja otkaza; 5) otkaza zbog greške u konstrukciji; 6) uzroka, oblika i posledice otkaza.

Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza jeste analiza stabla otkaza (FTA-Fault Tree Analysis), koja je prikazana u ovom radu.

Ključne reči: kritičnost sistema, stablo otkaza, tehnički sistem, tribomehanički sistem, podmazivanje.

ANALYSIS OF THE CRITICALITY LEVEL OF TECHNICAL SYSTEMS

Summary:

This paper analyses the criticality of a technical system using the criticality analysis of system parts from the point of view of possible failure effects. Failure analyses, performed throughout a technical system lifecycle, are generally conducted as to determine and isolate failure causes as well as to define prevention measures and subsequent interventions. The term failure analysis involves a procedure for determining some of the following: 1) failures due to degradation of lubricant; 2) failures due to incorrect lubrication; 3) failures due to poor quality of lubricant; 4) mechanism of failure development; 5) failures due to construction error; 6) causes, types and effects of failures.

One of the optimal methods of failure analysis is the FTA-Fault Tree Analysis.

Key words: criticality of the system, fault tree, technical system, tribomechanical system, lubrication.

Uvod

Kada se vrši projektovanje efikasne funkcije podmazivanja, osnovni ciljevi podmazivanja tada se mogu ostvariti pravilnim podmazivanjem elemenata svih tribomehaničkih sistema koji se kao osnovne jedinice nalaze u sastavu podsklopova i sklopova mašina i opreme tehničkih sistema. Za ostvarivanje funkcije pravilnog podmazivanja neophodno je da se svako mesto za podmazivanje snabde: odgovarajućim mazivom, određenom količinom maziva u određenim intervalima i pomoću određenih uređaja. Za vreme odvijanja radnog procesa nisu svi tehnički sistemi od podjednake važnosti, tj. jedni su više, a drugi manje kritični. Za projektovanje sistema podmazivanja neophodan uslov je upoznavanje tehnološkog procesa, načina funkcionisanja, kao i njihovih karakteristika. Svaki sistem ili njegov deo može se naći u jednom od dva osnovna stanja:

a) stanje „u radu“, koje podrazumeva da sistem uspešno vrši postavljenu funkciju kriterijuma, odnosno da su parametri funkcije kriterijuma unutar granica dozvoljenih odstupanja i

b) stanje „u otkazu“, koje označava neizvršavanje postavljene funkcije kriterijuma, odnosno funkcionisanje sistema izvan granica dozvoljenih odstupanja funkcije kriterijuma.

Značaj pouzdanosti kao bitan faktor kvaliteta i raspoloživosti dolazi sve više do izražaja u uslovima sve veće složenosti tehničkih sistema, te sve većih troškova njihovog razvoja, eksploatacije i održavanja.

Veoma je bitno da svaki sistem radi bez zastoja, sa što manje otkaza i pouzdano, te bude što manje van funkcije. Otuda potiče i stalna težnja za povećanjem pouzdanosti tehničkih sistema u procesu njihovog razvoja, rada i održavanja. Jasno je da se to odnosi ne samo na celinu, već i na pojedine sastavne delove, podsklopove i sklopove, odnosno na sve elemente koji učestvuju u integraciji nekog sistema. To posebno dolazi do izražaja ako se uzme u obzir da verovatnoća bezotkaznog rada svake komponente i sklopa multiplikativno utiče na krajnju pouzdanost sistema kao celine.

Takođe, postignuti visoki parametri pouzdanosti bitno smanjuju troškove održavanja, što ima poseban značaj u kontekstu racionalnosti. Nepouzdanost povlači za sobom troškove, izgubljeno vreme remonta-održavanja, nepovoljne psihološke efekte (posebno za sredstva koja se koriste u vojnim sistemima).

Cena nepouzdanosti ne predstavlja samo cenu tehničkog sistema koji je otkazao, već obuhvata i prateće efekte koji su nastali zbog otkaza. Pri tome se moraju uzeti u obzir i troškovi održavanja.

Činjenica da je otkaz nastao podrazumeva utrošak vremena za dijagnozu i otklanjanje uzroka, te vreme potrebno za prateće aktivnosti. Pri tome, svakako, treba uračunati cenu rezervnog dela, troškove njegovog skladištenja, troškove transporta, itd.

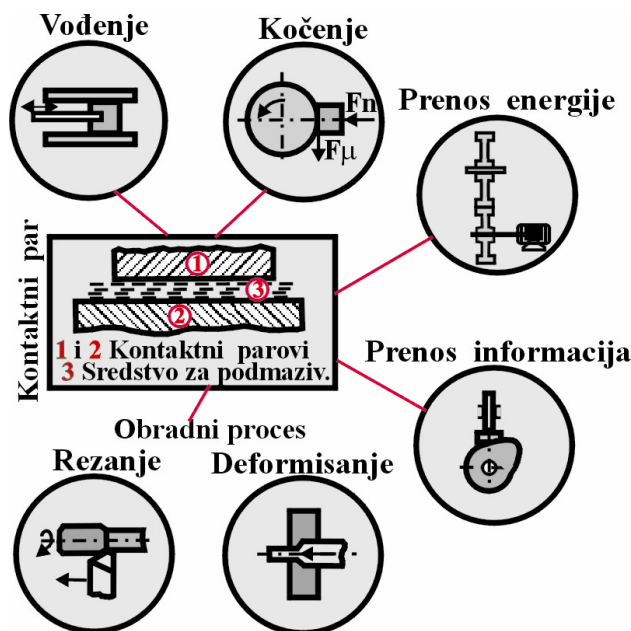
Vreme koje je izgubljeno zbog nekorišćenja sistema usled otkaza nekog od njegovih elemenata može biti značajna stavka u okviru celokupnih troškova.

U sistemima primenjenim u vojne svrhe možda najnepovoljniji efekat nepouzdanosti ogleda se u borbenoj gotovosti, jer je pouzdanost direktno proporcionalna sa borbenom gotovošću. Tako se kod njih mora znati nivo pouzdanosti, kako bi se planirala upotreba sredstava u pogledu efektivnog, a ne fizičkog broja.

Tribomehanički sistem

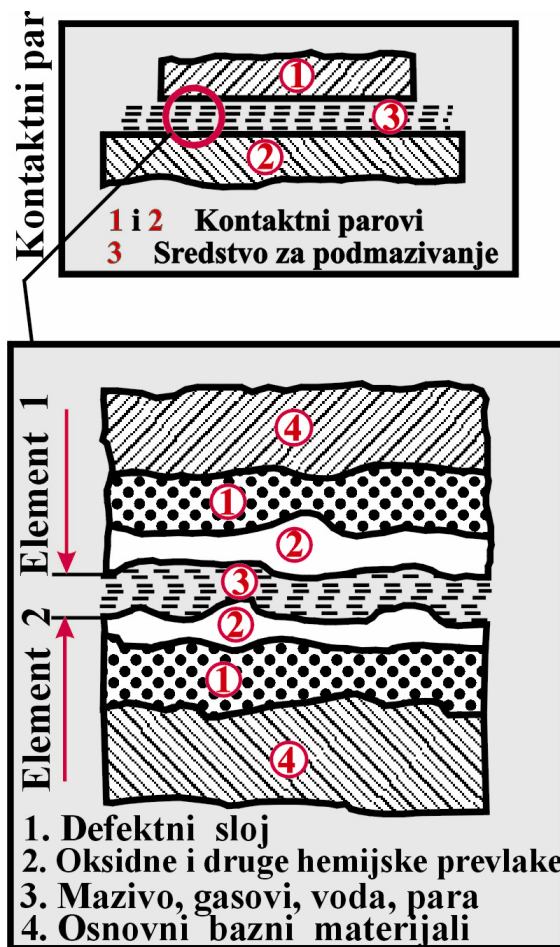
Tehnički sistemi transportnih sredstava, kompleksnih industrijskih i drugih postrojenja i mehanizama, alata i instrumenata različitih namena, bez obzira na konstrukciju, namenu i stepen razvoja, imaju zajedničko svojstvo da se sastoje od većeg ili manjeg broja pokretnih mašinskih elemenata koji se, zavisno od karaktera i oblika kontakta, kao i funkcije u datom sistemu, mogu svrstati u nekoliko karakterističnih grupa (slika 1) [6]. To su:

- sistemi vođenja elemenata (klizači, vođice, lajsne i dr.),
- sistemi za kočenje elemenata (kočnice sa diskom, trakom i sl.),
- sistemi za prenos energije, snage i kretanja (zupčanici, kaišnici, vratila i dr.),
- sistemi za prenos informacija (bregasti mehanizmi, granični preki-dači, itd.) i
- procesi obrade (obrada rezanjem, deformisanjem, zavarivanjem i sl.).



Slika 1 – Kontaktne parove tehničkih sistema

Sistem definisan na ovaj način može se prikazati kao tribomehanički sistem (TMS), čija je struktura prema DIN 50320 [7] ilustrovana na slici 2, a čine je dva elementa (1) i (2) u međusobnom kontaktu koji se ostvaruje uz prisustvo sredstva za podmazivanje (3) u uslovima definisanim okvirima okruženja (4).



Slika 2 – Strukturna šema tribomehaničkog sistema prema DIN 50320 sa odgovarajućim slojevima kao parametrima strukture TMS [7]

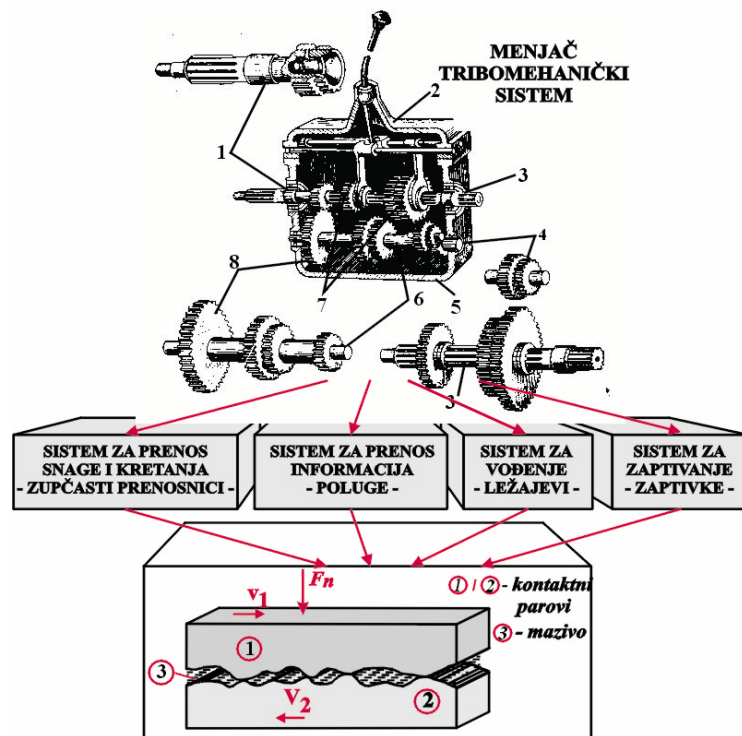
Pojam tribomehaničkog sistema podrazumeva sistem čija se funkcija sastoji u pretvaranju ulaznih veličina u izlazne, tehnički korisne, veličine koje se dalje koriste u procesu kretanja i rada.

Procesi trenja i habanja predstavljaju neizbežne pojave površinskih kontakata elemenata u relativnom kretanju i međusobnom delovanju i dobrim delom determinišu funkcionisanje tehničkog sistema i određuju njegov vek.

Uslovi u kojima se nalaze elementi tribomehaničkih sistema veoma su složeni i određeni su u velikoj meri odgovarajućim karakteristikama maziva. Složenost uslova određena je temperaturom elemenata u kontaktu i temperaturom maziva, spoljašnjim opterećenjem (odnosno specifičnim pritiskom u zoni kontakta), dinamičkim karakterom ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

Kao primer navešćemo motorno vozilo koje, kao tehnički sistem, predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema sastavljenih od niza podistema koji predstavljaju takođe složene tribomehaničke sisteme. Motorna vozila, zavisno od stepena složenosti, sadrže od nekoliko desetina do nekoliko hiljada kontaktnih parova. Trenje i habanje su neminovni, a najčešće nepoželjni pratioci njihovog rada, te je njihovo smanjenje i/ili eliminacija jedan od suštinskih ciljeva. Proces smanjenja trenja i habanja površina u kontaktu može se realizovati na više načina: izborom odgovarajućeg konstruktivnog rešenja, materijala, vrste obrade, vrste maziva, načina podmazivanja i smanjenjem opterećenja u kontaktu povoljnijom raspodelom.

Vozilo čine svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova) do izvršnih organa vozila.



Slika 3 – Menjački prenosnik vozila kao tribomehanički sistem

Menjački prenosnik vozila, slika 3, primer je složenog tribomehaničkog sistema vozila. Ovaj sistem sastoji se od elemenata za prenos snage i kretanja (zupčanici i ožljebljena vratila), elemenata za prenos informacija (poluge), elemenata za vođenje (vođice) i zaptivanje (zaptivke).

Elementi menjačkog prenosnika, kao realnog tribomehaničkog sistema, izloženi su složenim uslovima eksploatacije koji su u velikoj meri određeni karakteristikama maziva. Složenost uslova određuju: temperatura elemenata u kontaktu, temperatura maziva, spoljašnje opterećenje, odnosno specifični pritisak u zoni kontakta, dinamički karakter ostvarivanja kontakta i prenosa snage i kretanja i dr.

Tokom eksploatacije vozila menjački prenosnik izložen je vremenski promenljivim, dinamičkim i nestacionarnim opterećenjima koja su funkcija čitavog niza faktora, kao što su: brzina vozila, kvalitet i uslovi puta, način vožnje, vremenski uslovi, intenzitet korišćenja, itd. Promene eksploatacijskih režima dovode do promene radnih opterećenja elemenata, sila i koeficijentna trenja kontaktnih površina, povećanja radne temperature i habanja, te oštećenja elemenata sistema za sinhronizaciju i prenosnika snage uopšte. Procesi nastali na taj način manifestuju se neželjenim efektima koji se mogu identifikovati kroz habanje, gubitke energije, kretanja, funkcionalnosti i pouzdanosti, smanjenje veka trajanja i rast troškova održavanja.

Svaki od navedenih elemenata menjačkog prenosnika kao složeni tribomehanički sistem može se dalje razložiti i analizirati kao skup posebnih tribomehaničkih sistema, kao što su zupčasti parovi, ležajevi i dr. Takođe, svaki zupčasti par se dalje može analizirati (posmatrati) kao pojedinačan element koji ostvaruju kontakt. I, na kraju, svaki bok zuba zupčanika (ili kuglica kotrljajnog ležaja) može se posmatrati kao elementarna jedinica tribomehaničkog sistema.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće lako uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Razlozi otkaza realnih sistema mogu biti veoma različiti i za sada se ne može govoriti o pouzdanim metodama za predviđanje veka složenih sistema (npr. prenosnika). Otkaz menjačkog prenosnika vozila može nastupiti iz više razloga, od kojih su pojedini prouzrokovani promenama karakteristika ulja za podmazivanje. To su:

- šum pri radu menjača,
- otežano uključivanje stepena prenosa,
- samoisključivanje stepena prenosa,
- prekomerno zagrevanje menjača, itd.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Samo *podmazivanje* definiše se kao postupak uvođenja maziva između spregnutih površina u relativnom kretanju i služi za razdvajanje tih površina mazivim slojem kako bi se kretanje elemenata tehničkih sistema ostvarilo sa što manjim gubicima energije i sprečilo njihovo habanje i oštećenje.

Pod *mazivom* se podrazumeva bilo koja materija kojom se razdvajaju, potpuno ili delimično, površine tela u relativnom kretanju [6]. Istovremeno, maziva su namenjena i za hlađenje elemenata sistema i uređaja, smanjenje amplituda vibracija, zaptivanje, prenos kretanja i snage, itd. Osnovna uloga maziva koja se manifestuje sprečavanjem direktne interakcije površina u relativnom kretanju i neposredno učešće u kontaktnim procesima, daje mu poseban značaj sa stanovišta funkcionisanja, održavanja i veka elemenata i sistema kojima ti elementi pripadaju.

Maziva za podmazivanje imaju niz osnovnih funkcija koje moraju izvršiti, a pored toga imaju i jedan dodatni zadatak da, vršeći svoju funkciju, ne degradiraju ostale funkcije sistema.

Osnovne funkcije maziva za zupčaste prenosnike su:

- sposobnost nošenja opterećenja kod svih radnih uslova,
- svojstvo protiv zaribavanja i habanja,
- svojstvo stabilnosti,
- sposobnost zaštite od korozije,
- odsutnost štetnih uticaja na zaptivače,
- sposobnost prigušenja bučnog rada i vibracija,
- svojstvo protiv penušanja,
- svojstvo hlađenja i čišćenja,
- svojstvo kompatibilnosti.

Neposredno učešće maziva u kontaktnim procesima zupčastog prenosnika kao tribomehaničkog sistema, sa osnovnim zadatkom da spreči direktan dodir površina elemenata, daje mu posebnu ulogu sa aspekta održavanja. Ova uloga dobija još više na značaju ako se zna da je mazivo nosilac informacija o stanju zupčastog prenosnika u celini, pri čemu se posebna pažnja posvećuje procesima koji utiču na funkcionalnost i pouzdanost. Značaj ovih informacija dolazi do izražaja pri monitoringu i dijagnostici sistema. *Monitoring sistema* predstavlja određivanje vrste otkaza sistema kroz monitoring pouzdanih indikatora stanja koji se odnose na ulje, a pri tome se mogu defektovati kao parametar stanja ulja (njime se praktično utvrđuje postojanje simptoma otkaza). Analiza maziva može da ukaže na znake potencijalnih problema koji vode ka otkazu, kao i da omogućiti sagledavanje uticaja maziva na funkcionisanje sistema.

Analizom velikog broja otkaza složenih tribomehaničkih sistema može se zaključiti da je kod sistema kod kojeg je došlo do otkaza, takođe i kod maziva (odnosno ulja za podmazivanje), došlo do određenih promena. Naime, otkaz tribomehaničkog sistema može nastupiti usled promene svojstava ulja za podmazivanje ili su promene karakteristika ulja za podmazivanje izazvane otkazom pojedinih elemenata tribomehaničkog sistema.

Kako se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti složenog tribomehaničkog sistema ogleda u promenama karakteristika ulja za podmazivanje, to se promena triboloških karakteristika ulja može usvojiti kao parametar za ocenu stanja tribomehaničkog sistema.

Ocena stepena kritičnosti tehničkog sistema

Postupak ocene stepena kritičnosti sprovodi se analizom:

- karakteristika tehničkog sistema,
- direktnih i indirektnih troškova podmazivanja,
- zahteva za sigurnost tehničkih sistema i procesa.

Analiza karakteristika tehničkog sistema

Ocena kritičnosti tehničkih sistema obuhvata analizu karakteristika:

- *učinaka tehničkih sistema*, koji se razlikuju u pogledu veličina koje su projektom zahtevane, sve do realno izvedenih i stvarno ostvarenih učinaka;
- *kapaciteta tehničkih sistema*, koji može biti:
 - *potencijalni* (izražava maksimalnu količinu rada koju jedan tehnički sistem može dati u posmatranom vremenskom periodu),
 - *raspoloživi* (vremenski izražena količina rada tehničkog sistema nakon odbitka vremena potrebnog za aktivnosti remonta i godišnji odmor zaposlenih) i
 - *efektivni* (vremenski izražena količina rada tehničkog sistema u datim uslovima i datom režimu rada pogona, pri čemu su uzeti u obzir i stepen iskorišćenja tehničkog sistema i planirani zastoji opreme).

Analiza direktnih i indirektnih troškova podmazivanja

Ocena kritičnosti tehničkih sistema, sa aspekta troškova podmazivanja, podrazumeva rangiranje opreme na osnovu nivoa ukupnih troškova podmazivanja u posmatranom periodu.

Ukupni troškovi podmazivanja tehničkog sistema iskazuju se u:

- apsolutnom iznosu,
- odnosu na tekuću vrednost tehničkog sistema,
- odnosu na nabavnu vrednost opreme,
- odnosu na prihod i dobit, itd.

Pri tome se obuhvataju sledeći troškovi:

- direktni troškovi (rad na podmazivanju, maziva, administracija i organizacija podmazivanja),
- indirektni troškovi (gubici nastali usled zastoja u radu tehničkog sistema, koji su posledica pojave stanja u otkazu).

Analiza zahteva za sigurnost tehničkih sistema i procesa

Od prirode tehnološkog procesa i kvaliteta podmazivanja u najvećoj meri zavisi rizik od pojave neočekivanih otkaza. Radni procesi tehničkog sistema kod kojih postoji visok stepen rizika od pojave otkaza moraju se analizirati još u fazi projektovanja sistema, na osnovu dokumentovanih podataka u pogledu mogućih uzroka i posledica neispravnosti i neophodnih mera zaštite. Zakonskim i internim propisima su, takođe, definisane mere kontrole i zaštite elemenata sistema, što može poslužiti za ocenu stanja tehničkog sistema, što se odražava na njegovu sigurnost. Za procese, ili delove procesa, sa velikom verovatnoćom pojave otkaza sa katastrofalnim posledicama (po izvršioce, okolinu ili u pogledu nastale štete), neophodno je napraviti analizu verovatnoće rizika i sigurnosti rada sistema pomoću metoda koje su razvijene za tu namenu.

Analiza kritičnosti delova sistema

Nakon analize stanja tehničkih sistema sprovodi se postupak analize kritičnosti delova sistema sa aspekta mogućnosti nastanka i posledica pojave otkaza. Analize otkaza, koje se sprovode tokom celog životnog veka nekog proizvoda, najčešće se obavljaju radi utvrđivanja i izolovanja uzroka otkaza, kao i za definisanje preventivnih i korektivnih intervencija.

Pojam analiza otkaza podrazumeva i analizu troškova podmazivanja, uticaj ljudskog faktora na otkaz sistema i slično. Pod pojmom analiza otkaza podrazumeva se postupak koji ima za cilj utvrđivanje nekih od navedenih karakteristika: a) otkaza nastalih usled degradacije maziva; b) otkaza usled nepravilnog podmazivanja; c) otkaza zbog neodgovarajućeg kvaliteta maziva; d) mehanizma nastajanja otkaza; e) otkaza zbog greške u konstrukciji; f) uzroka, oblika i posledica otkaza.

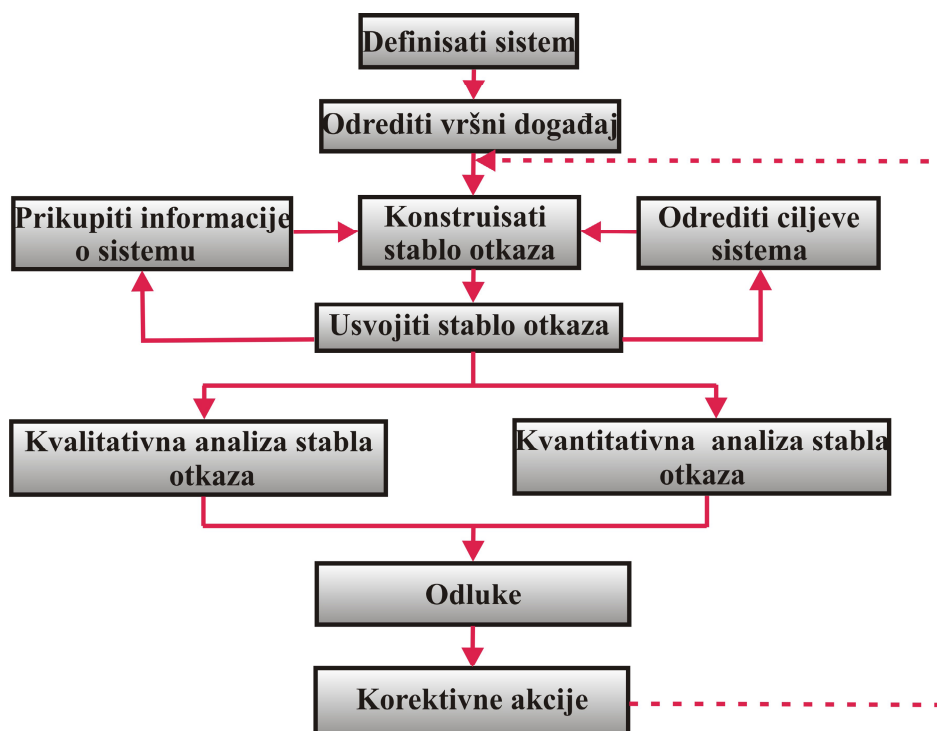
Da bi se ocenila kritičnost delova nekog tehnološkog sistema neophodno je odrediti navedene parametre. Postupak podmazivanja je dinamički proces kontrole i analize stanja maziva i sistema za podmazivanje, sa merama koje treba preduzeti pre nego što se javi katastrofalno (havarijsko) oštećenje ili otkaz. Iz toga sledi da savremena strategija podmazivanja uključuje upravljanje procesom kao dinamičkim sistemom, što je posebno značajno za tribomehaničke sisteme.

Analiza stabla otkaza

Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza je analiza stabla otkaza (FTA-Fault Tree Analysis). To je deduktivna metoda koja se često primenjuje u dijagnostici s obzirom na to da omogućuje predviđanje naj-

verovatnijih uzroka otkaza sistema. Neželjeni efekti (vršni događaji) određuju se induktivnim metodama. Cilj konstruisanja stabla otkaza je modeliranje uslova koji dovode do pojave neželjenog otkaza koji se razmatra (vršni). To znači da se ova procedura koristi za analizu potencijalnih neispravnosti i njihovih uzročnika.

Analiza počinje kvalitativnim definisanjem neželjenog događaja, a zatim se dedukcijom, prolazeći kroz konfiguraciju sistema, pronalaze otkazi elementa sistema i proceduralne greške koje mogu dovesti do neželjenog događaja.



Slika 4 – Metodologija analize stabla otkaza

Metodologija analize stabla otkaza obuhvata (slika 4):

- a) određivanje vršnog događaja,
- b) upoznavanje načina rada sistema koji se analizira,
- c) konstrukciju stabla otkaza,
- d) usvajanje stabla otkaza,
- e) ocenu stabla otkaza,
- f) obezbeđenje preporuka i alternativa za donošenje odluka.

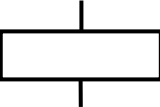



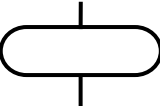


Određivanje karakterističnog događaja. Kada se analiza otkaza vrši radi određivanja kritičnosti delova sistema, za karakterističan događaj se bira otkaz sistema, pri čemu se on mora u potpunosti definisati, da bi se događaji koji dovode do karakterističnog stanja mogli jasno prepoznati.

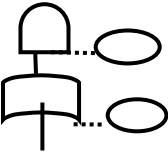

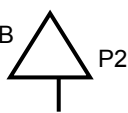
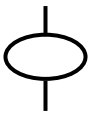
Upoznavanje načina rada sistema koji se analizira. Logička i kompletna analiza, kojom se povezuju svi potrebni i dovoljni uslovi za realizaciju karakterističnog događaja, može se izvršiti samo ukoliko se upozna način rada sistema, elemenata sistema, kao i međusobnih odnosa i veza. Osnovne informacije mogu se dobiti iz: tehničkih crteža, šema, dijagrama, priručnika za rukovanje, održavanje i podmazivanje. Pored toga, kao podaci iz procesa, koriste se izveštaji o podmazivanju i karte otkaza tehnoloških sistema.

Konstrukcija stabla otkaza vrši se pomoću standardizovanih simbola događaja i prenosa, prikazanih u tabeli 1.

Tabela 1

Standardni simboli FTA metode

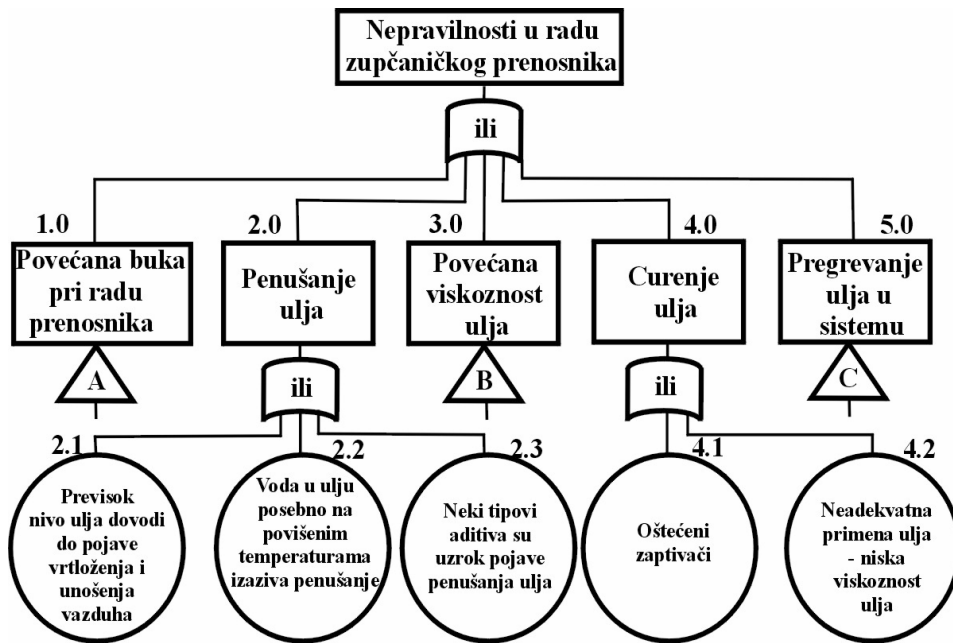
NAZIV	SIMBOL	OPIS
Događaj na izlazu iz kapije ili opšti događaj		Događaj koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih događaja koji deluju kroz logičku kapiju.
Bazični događaj		Događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. To je nezavistan događaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju.
Nerazvijeni događaj		Događaj koji nije razvijen do sopstvenog uzroka. Razvoj je prekinut zbog nepostojanja raspoloživih informacija ili sredstava, ili zbog niskog rizika.
Normalno očekivani događaj		Događaj čije se pojavljivanje prirodno očekuje tokom normalnog funkcionisanja sistema
Zadovoljavajući događaj		Događaj na izlazu iz logičke kapije koji u sistemu jednostavno postoji, a koristi se da pokaže upoturnjenost logičke analize.
I kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz samo ukoliko se dese svi ulazni događaji. Sadrži identifikacionu reč „I“.
ILI kapija		Logička kapija koja proizvodi izlaz ukoliko se desi jedan ili više ulaznih događaja. Sadrži identifikacionu reč „ILI“.

NAZIV	SIMBOL	OPIS
Uslovna kapija		Uslovni događaj koji neke uslove ili ograničenja primenjuje na bazičnu logičku kapiju ili izlazni događaj. Uslov koji se nameće upisuje se u elipsu, npr. definisanje redosleda pojavljivanja ulaznih događaja.
Osnovni prenos		Koristi se za prenošenje podstrukture iz neke druge grane ili druge stranice. Posедуje identifikaciono veliko slovo. Za prenose unutar iste grane koriste se mala slova.
Prenos sa druge stranice		Vertikalna strelica usmerena prema bazi simbola označava prenos iz grane koja se nalazi na naznačenoj stranici.
Prenos pretpostavljenog rizika		Koristi se za prenos pretpostavljenog rizika sa bilo kog mesta na stablu na događaj pretpostavljenog rizika. Broj pretpostavljenog rizika upisuje se u simbol.

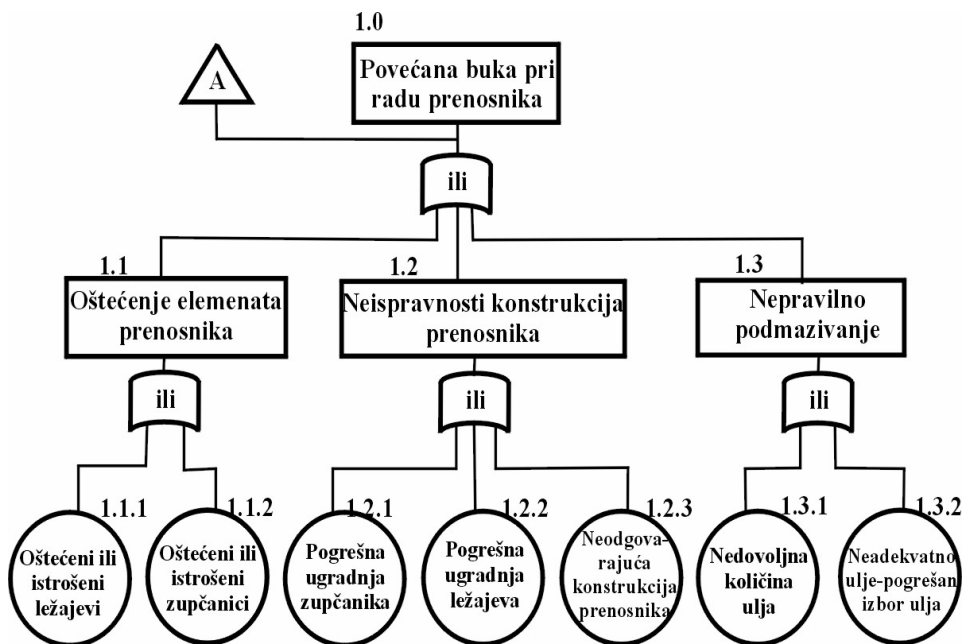
Usvajanje stabla otkaza. Nakon završetka konstrukcije stabla otkaza pristupa se proveru tačnosti i kompletnosti stabla, radi utvrđivanja propusta i/ili eventualnih grešaka, jer mora da bude zadovoljena: namena stabla, funkcionalna uslovljenost i logika realizacije karakterističnog događaja, što pretpostavlja da događaji na ulazu u logičke kapije moraju biti potrebni i dovoljni.

Ocena stabla otkaza. Posle usvajanja obavlja se kvalitativna i kvantitativna analiza stabla otkaza. Kvalitativna ocena predstavlja određivanje minimalnog preseka skupa događaja, koji uslovljava pojavu karakterističnog događaja. Kvantitativnoj oceni stabala otkaza prethodi određivanje ili procena srednjeg vremena do pojave otkaza i srednjeg vremena trajanja otkaza, a nakon ove procene simuliraju se otkazi, odgovarajućim statističkim postupkom, radi određivanja verovatnoće pojave neželjenog događaja, obuhvatajući pri tome sve moguće puteve u stablu otkaza.

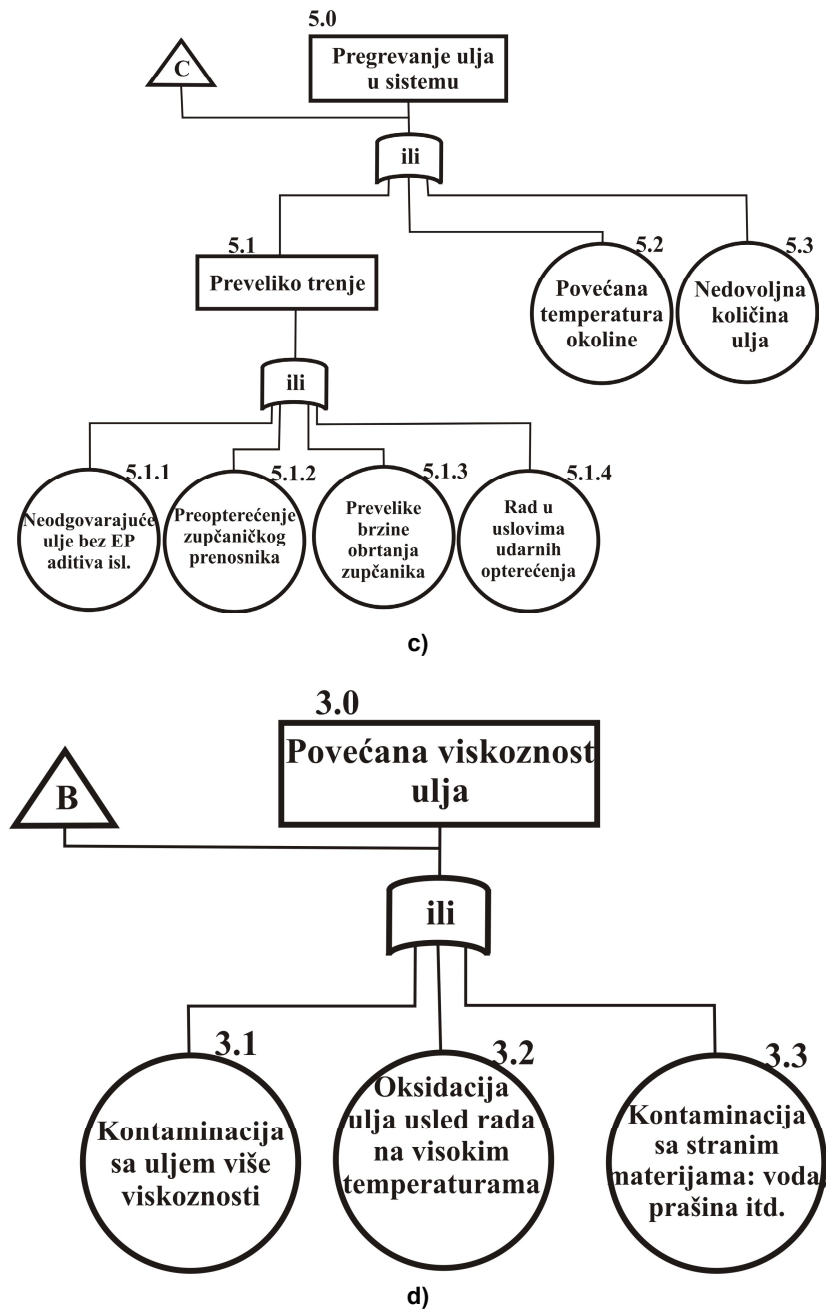
Primer stabla otkaza (FTA) zupčastog prenosnika prikazan je na slici 5 (a, b, c i d).



a)



b)



Slika 5 – Primer stabla otkaza (FTA) zupčaničkog prenosioca: a) nepravilnosti u radu zupčaničkog prenosioca; b) povećana buka pri radu prenosioca; c) pregrevanje ulja u sistemu i d) povećana viskoznost ulja.

Zaključak

Otkaz predstavlja događaj koji izaziva prelaz iz stanja u radu u stanje u otkazu, odnosno koji onemogućava dalje izvršenje zadate funkcije kriterijuma. Kao slučajan događaj otkaz služi za određivanje verovatnoće prelaza iz stanja u radu u stanje u otkazu, što predstavlja nepouzdanost. Pouzdanost predstavlja verovatnoću izvršavanja postavljene funkcije kriterijuma u datom vremenu i datim uslovima okoline i izračunava se primenom definicije verovatnoće.

Može se zaključiti da je pouzdanost nekog tehničkog sistema veoma bitan faktor, kako u procesu razvoja i proizvodnje, tako i u procesu eksploatacije i održavanja. Kao jedna od komponenti efektivnosti sistema (gotovost, pouzdanost, funkcionalna podobnost) veoma je bitna i podjednaka za predviđanje postepenih otkaza.

Postoje mišljenja da postepene otkaze treba smatrati zanemarljivo malim delom ukupnih otkaza. To uslovljava ideja da je postepene otkaze moguće individualno predvideti i eliminisati odgovarajućim preventivnim održavanjem. Međutim, podaci govore da postepeni otkazi čine značajan deo ukupnih otkaza sistema. Nadalje, iz raspoloživih podataka se ne može zaključiti da se ovi otkazi događaju ređe na novim sistemima u poređenju sa starim. Takođe, problem je u tome što u mnogim primerima održavanja sistema preventivno održavanje nije moguće ostvariti. Pri tome, predviđanje pouzdanosti mora da obuhvati i postepene otkaze.

Takođe, veoma značajan aspekt je ugrađivanje pouzdanosti u proces konstruisanja novog sistema, pre svega vezano za pogodnost održavanja (ima oko 30 minimalnih aspekata održavanja koje treba razmotriti pri konstruisanju nekog sistema).

Proizilazi, dakle, stalna potreba za povećanjem pouzdanosti sistema u procesu razvoja, proizvodnje i održavanja, kao i pojedinih sastavnih delova, podsklopova i sklopova, odnosno svih elemenata koji čine celinu nekog sistema.

Danas postoje jasno definisane klasifikacije otkaza za pojedine i najvažnije korišćene elemente tehničkih sistema, te su razvijene tehnike za njihovo rano otkrivanje, kao i procedure za njihovu analizu.

Kao dokaz primenljivosti navedene metode prikazan je jedan karakterističan primer stabla otkaza zupčastog prenosnika. Putem ovog primera prikazan je značaj analize stepena kritičnosti delova sistema sa aspekta podmazivanja.

Literatura

[1] Ivanović, G., Stanivuković, D., *Pouzdanost, analiza i projektovanje*, Vojnoizdavački zavod, Split, 1988.

[2] Vujanović, N., *Teorija pouzdanosti tehničkih sistema*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

[3] Stojilković, M., *Primena maziva*, YUNG, Beograd, 2001.