

*Rezime:*

*U ovom radu, na osnovama poznatih metoda analize otkaza, razvijenih prvenstveno za elektronska sredstva, FMEA i FMECA, prikazana je mogućnost njihove primene na složenom mašinskom sredstvu. Analiza otkaza konkretnog mašinskog sredstva uslovlila je izradu prilagođenog postupka odvijanja FMECA. Praktična primena pokazala je da informacije dobijene ovom metodologijom analize otkaza mogu dobro da posluže u svim fazama životnog veka sredstva.*

*Ključne reči: metod, intenzitet otkaza, otkaz, analiza kritičnosti, mašinsko sredstvo.*

---

POSSIBILITIES OF REALIZATION OF THE FAILURE ANALYSIS  
METHOD FOR MACHINES

*Summary:*

*In this paper, on the basis of the known methods of failure analysis, developed primarily for electronic devices FMEA and FMECA, the possibility of their application on a complex machine conditioned the development of an „adjusted“ method of the working of FMECA. The practical application has shown that the information gained by using this methodology of failure analysis can indeed be of assistance in all phases of a machine lifetime.*

*Key words: method, failure rate, failure, criticality analysis, machines.*

---

**Uvod**

Obezbeđenje visoke pouzdanosti, sigurnosti funkcionisanja i kvaliteta u upotrebi predstavlja složen zadatak koji se postavlja pred konstruktore i projektante, pred tehnologe u proizvodnji, ali i pred inženjere u održavanju. Ukupni povoljni rezultati u okviru tog složenog zadatka delom će zavisiti i od rezultata (informacija) dobijenih sprovođenjem određenih metoda analize otkaza.

U toku eksploatacije funkcija pouzdanosti tehničkih sistema (TS) ima, u

odnosu na proteklo vreme, pređeni put ili broj m/č, opadajući karakter. Promene stanja na TS dovode do otkaza, odnosno narušavanja pouzdanosti. Na slici 1 prikazana je određena veza između *promena stanja (efekata), otkaza i održavanja*. U okviru te veze važno je definisati uzroke, ali i predvideti efekte svakog pojedinačnog otkaza, koliko on utiče na performanse TS, na bezbednost korisnika, i kolika je verovatnoća pojave pojedinih otkaza i njihova međusobna uslovljenost. Samo na taj način, tj. kada se otkriju uzroci otkaza, moguće je preduzimati

određene korektivne akcije ka povećanju kvaliteta u upotrebi, i to u svim fazama životnog veka TS.



Sl. 1 - Veza između promene stanja, otkaza, održavanja i uzroka

Jedan od alata za obezbeđenje visokog kvaliteta u upotrebi jesu i metode analize otkaza FMEA i FMECA. Ako se zna da se problematikom sprečavanja otkaza bavi i standard JUS ISO 9004 koji definiše, kao element kvaliteta, obavezno ocenjivanje projekta pomoću analitičkih metoda kao što su „analiza načina i efekata otkaza (FMEA), analiza stabla otkaza, ocena rizika, i kontrola uzoraka iz proizvodnje“ [7], onda je jasno da primena ovih metoda postaje obavezna.

## Metodi FMEA i FMECA

*Metod analize načina otkaza i njihovih efekata*<sup>1</sup> (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) jeste standardizovan metod analize pouzdanosti sistema (JUS IEC 812 i Predlog TPR 1767). Služi za identifikovanje otkaza koji znatno utiču na radno svojstvo TS i/ili upotrebnii kvalitet. Metod je razvijen sredinom šezdesetih

<sup>1</sup> Ovaj metod se prikladno može označavati i skraćenom oznakom ANEO (metod „analize, načina i efekata otkaza“), a može se sresti u literaturi i kao metod analize, vrsta i posledica otkaza AVPO.

tih godina u okviru zadataka NASE. Primenu metoda u automobilskoj industriji započela je firma FORD krajem osamdesetih godina.

Metod FMEA je: induktivan (sproviđi se sa nivoa elementa ka nivou sistema), preventivan (usmeren ka sprečavanju nastanka otkaza), timski (potrebno je angažovanje specijalista različitog profila uz multidisciplinarni pristup), kvalitativan (otkazi se definišu u formi opisivanja), hijerarhijski (zasnovan na strukturi TS koji se analizira) i dokumentovan (koristi standardizovan obrazac).

Cilj sprovođenja FMEA jeste otkrivanje potencijalnih otkaza, kao i sakupljanje postojećih znanja i iskustava, preko karaktera otkaza i uticaja otkaza na kvalitet TS.

*Metod analize načina otkaza, njihovih efekata i kritičnosti*<sup>2</sup> (FMECA – Failure mode Effects and Criticality Analysis) jeste logičan nastavak metoda FMEA. On obuhvata, pored metoda FMEA, još i analizu kritičnosti otkaza.

Analiza kritičnosti (Criticality Analysis – CA) predstavlja postupak za ocenu stepena kritičnosti sastavnih delova u odnosu na TS. Pod kritičnošću se podrazumeva težina posledica otkaza. Analiza kritičnosti je kvantitativan metod i objedinjen sa FMEA čini FMECA. Metod FMECA je, poput metoda FMEA, dokumentovan metod, odnosno analiza otkaza se sprovodi uz pomoć odgovarajućih obrazaca (dokumenata), prilagođenih sistemu koji se analizira i potrebnim informacijama. Na slici 3 prikazana je Radna lista FMECA prema JUS IEC 812. Na slici 5 prikazan je Obrazac AVPO/AV-

<sup>2</sup> Ovaj metod se u literaturi sreće pod nazivom metod analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza ili skraćeno AOPKO pod oznakom ANEKO, ali i pod nazivom analiza vrsta, posledica i kritičnosti otkaza AVPKO.

Aktivnosti postupaka	
Prema JUS IEC 812	Prema TPR 1767
Definicija sistema i njegovih zahteva	Proučavanje i usaglašavanje početnih i obezbeđenje potrebnih dopunskih podataka
	Definisanje sistema
Izrada blok-diagrama	Raščlanjavanje sistema, izrada funkcionalnih i blok-diagrama pouzdanosti
Utvrđivanje osnovnih pravila	Utvrđivanje vrsta, uzroka, posledica otkaza i njihovog relativnog značaja
Načini otkaza, uzroci i efekti	
Metode otkrivanja otkaza	Razmatranje realnosti ugovorenih zahteva u pogledu najvišeg i najnižeg nivoa analize
	Utvrđivanje načina i metoda za detekciju i lokalizaciju otkaza
Kvalitativna ocena značaja otkaza i alternativnih mera	Sprovođenje analize kritičnosti
Primedba u radnoj listi	
Analiza kritičnosti	
Izveštaj analize	Utvrđivanje i predlaganje načina kompenzacija posledica otkaza
	Izrada izveštaja i preporuka za korektivne akcije

PKO, prema TPR 1767. Na slici 6 dat je obrazac FMECA prilagođen potrebnim informacijama za potrebe analize mašinskih sredstava [8]. Od prethodnih se razlikuje po načinu određivanja vrednosti faktora nivoa kritičnosti i po unetom nomenklaturnom broju, važnom zbog sprovođenja analize FMECA pomoću računara, kao i primene već postojećih podataka iz TU-III.

### Struktura metoda FMECA

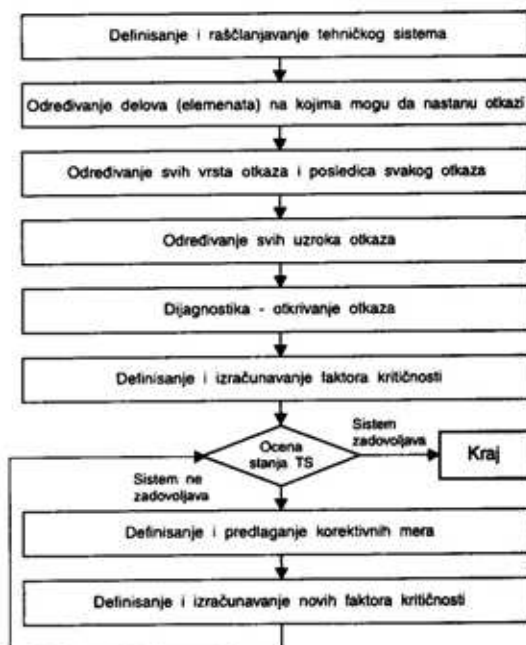
Struktura metoda FMECA zasniva se na definisanim osnovnim principima,

preciziranom toku izvođenja analize, kao i odgovarajućim obrascima, što je prilagođeno potrebama sistema koji se analizira. U tabeli 1 date su uporedne aktivnosti postupaka izvođenja analize prema JUS IEC i TPR.

Na slici 2 prikazan je algoritam „prilagođenog“ postupka za sprovođenje FMECA za konkretno složeno mašinsko sredstvo (dozer TG-140) [8]. U suštini, u sva tri slučaja, aktivnosti se razlikuju samo u okviru izračunavanja faktora kritičnosti.

### Analiza kritičnosti

Analiza kritičnosti prema JUS IEC 812 zasniva se na definisanju nivoa i skale kritičnosti (tabela 2). Pojam kritičnosti je, u osnovi, povezan sa težinom posledica otkaza i verovatnoćom te pojave.



Sl. 2 – Algoritam prilagođenog postupka odvijanja FMECA za mašinsko sredstvo

Nivo kritičnosti	Primer skale kritičnosti efekata otkaza
	Uslovi kritičnosti
I	Bilo koji događaj koji bi mogao degradirati radne karakteristike sistema, i čija je posledica zanemarljivo oštećenje sistema ili okoline, pri čemu se ne ugrožava život ili ne prouzrokuje ranjavanje.
II	Bilo koji događaj koji ne degradira radne funkcije sistema bez primetnog oštećenja sistema ili ugrožavanja života ili ranjavanja.
III	Bilo koji događaj koji bi mogao prouzrokovati gubitak funkcija sistema, čija je posledica oštećenje sistema ili njegove okoline i zanemarljiv rizik za život ili ranjavanje.
IV	Bilo koji događaj koji bi mogao prouzrokovati gubitak funkcija sistema, čija je posledica znatno oštećenje sistema, gubitak života ili dela tela.

Kvantifikacija kritičnosti i verovatnoća otkaza predstavlja pomoć pri donošenju odluka o korektivnim akcijama i njihovim prioritetima, kao i utvrđivanju jasnih granica između prihvatljivog i neprihvatljivog rizika. Ocenjivanje kritičnosti (slika 4) izvodi se korišćenjem mreže kritičnosti na kojoj se prikazuju nivoi kritičnosti (na ordinati), a verovatnoća otkaza (na apscisi). Definisani nivo i verovatnoća unose se u odgovarajući kvadrat mreže kritičnosti.

Kvadratu udaljenijem od početka, duž dijagonale, odgovara veća kritičnost i urgentna potreba za korektivnom akcijom. Na slici 4 prikazan je primer ocenjivanja kritičnosti pomoću mreže kritičnosti za vijak (10.01.46) – tačka A, i navrtku (10.01.16) – tačka B iz Radne liste FMECA (slika 3).

*Analiza kritičnosti prema TPR* [4] je kvantitativna analiza, a kritičnost (CR) vrste otkaza, za određenu kategoriju kritičnosti posledice otkaza, definiše se formulom:

$$CR_{ij}(k) = \alpha_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \lambda_i \cdot t \quad (1)$$

gde je:

$i$  – posmatrana konstrukciona celina (k/c) ( $i = 1$  do  $M$ ;  $M$  je ukupan broj k/c koje se analiziraju);

$j$  – vrsta otkaza  $i$ -te k/c ( $j = 1$  do  $N_{(i)}$ ;  $N_{(i)}$  je ukupan broj vrsta otkaza  $i$ -te k/c);

$k$  – kategorija kritičnosti posledica  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c ( $k = 1, 2, 3, 4, 5$ );

$\alpha_{ij}$  – relativni udeo (težinski udeo, mera učestanosti)  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c prema svim otkazima  $i$ -te k/c, pri čemu je  $\sum_j \alpha_{ij} = 1$ . Vrednosti za  $\alpha_{ij}$  mogu se dobiti iz raznih izvora podataka o intenzitetima otkaza, sprovedenih ispitivanja ili na osnovu podataka iz eksploatacije. Ako podaci o vrstama otkaza nisu dostupni,  $\alpha_{ij}$  treba da predstavlja procenu koja se zasniva na analizi funkcija k/c.

$\beta_{ij}$  – uslovna verovatnoća da će krajnja posledica  $j$ -te vrste otkaza  $i$ -te k/c biti naznačene kategorije kritičnosti, pod uslovom da se desila  $j$ -ta vrsta otkaza  $i$ -te k/c, pri čemu je  $\sum_k \beta_{ij}(k) = 1$ . Podaci o  $\beta_{ij}$  mogu se dobiti na osnovu ispitivanja, ali se uglavnom određuju iskustveno.

$\lambda_i$  – intenzitet otkaza  $i$ -te konstrukcione celine (k/c).

$t$  – ukupno vreme rada k/c u toku trajanja zadatka.

Kritičnost otkaza  $i$ -te k/c za  $k$ -tu kategoriju kritičnosti posledice otkaza definiše se formulom:

$$CR_{i(k)} = \sum_j CR_{ij}(k) \quad (2)$$

Analiza kritičnosti može se obavljati i bez neophodnih, često teško dostupnih kvantitativnih podataka, prema uprošćenom, pretežno empirijsko-iskustvenom postupku. Ovaj metod se naziva System Utility Concept [1]. Kod nas je poznat kao metod kritičnih elemenata. Nivo kri-

**RADNA LISTA FMECA (prema JUS IEC 812)**

Datum .....

Broj šifre .....

Ime analitičara .....

Ime projektanta .....

Naziv urudaja	Funkcija	Identifikacioni broj	Način otkaza	Uzrok	Efekat otkaza		Otkrivanje otkaza	Alternativne mere	Verovatnoća otkaza	Nivo kritičnosti	Primerba
					Lokalni	Krajnji					
Vijak		10.01.46	lom vijka	5 neadekvatan materijal odvijanje navrtke	6 oštećenje pogonskog točka	7 teško oštećenje gubitak funkcije posle nekog vremena	8 vizuelno	9 ugradnja podloške (osigurača)	10 niska	11 III	12
Navrtka		10.01.16	slabljenje veze segmenta sa diskom odvijanje navrtke	5 nepostojanje osigurača habanje	6 odvajanje segmenta	7 teško oštećenje	8 vizuelno	9 ugradnja podloške	10 srednja	11 II	Rešiti osiguranje navrtke
Obloga	kočenje i zaustavljanje	09.05.19	povećan zazor			7 neznatan gubitak funkcije			10 niska	11 I	
			nepodešena kočnica		5 nepodešena ost kom. poluga		7 delimičan gubitak funkcije	8 provera dužina poluga i zazora	9 češća kontrola mehanizma poluga	10 niska	11 II
			otkaz kočnice	5 habanje		7 trenutan prekid funkcije sa ugrožavanjem bezbednosti			10 visoka	11 IV	

Sl. 3

Tabela 3

## Verovatnoća pojave potencijalnog otkaza

Kriterijum procenjivanja $R_1$		
Verovatnoća pojave	$R_1$	Moguća stopa otkaza
Vrlo mala	1	0
Mala	2-3	1/20000-1/10000
Merljiva	4-6	1/2000-1/1000-1/1200
Visoka	7-8	1/100-1/20
Vrlo visoka	9-10	1/10-1/2

Tabela 4

## Značaj potencijalnog otkaza

Kriterijum procenjivanja $R_2$	
Značaj	$R_2$
Zanemarljiv	1
Mali	2-3
Srednji	4-6
Veliki	7-8
Kritičan	9-10

Tabela 5

## Verovatnoća otkrivanja otkaza

Kriterijum procenjivanja $R_3$	
Verovatnoća otkrivanja otkaza	$R_3$
Visoka	1
Merljiva	2-5
Mala	6-8
Vrlo mala	9
Nije verovatno	10

Tabela 6

## Nivo kritičnosti

Kriterijum procenjivanja R	
Nivo kritičnosti	R
Nizak	< 50
Srednji	50-100
Visok	100-200
Kritično	> 200

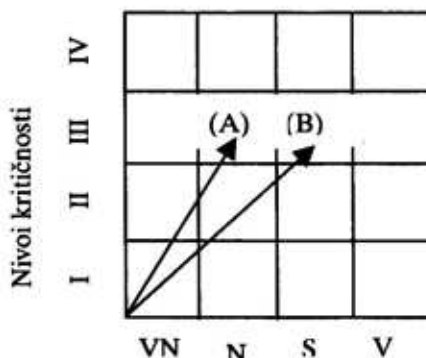
tičnosti otkaza ovim metodom moguće je odrediti uz dodeljivanje vrednosti faktorima kritičnosti [2, 6], i to:

- faktor  $R_1$  - verovatnoća pojava potencijalnog otkaza (tabela 3);
- faktor  $R_2$  - značaj potencijalnog otkaza (tabela 4);
- faktor  $R_3$  - verovatnoća otkrivanja otkaza i sprečavanje njegovog ispoljavanja (tabela 5).

Nivo kritičnosti R (tabela 6) dobija se kao proizvod faktora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ :

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (3)$$

Brojčana vrednost faktora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  utvrđuje se upoređenjem utvrđenog stanja sa odgovarajućim kriterijumima za izbor vrednosti parametara, pri čemu se uvek uzima najgori slučaj. Vrednosti faktora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  su u intervalu 1 do 10, pri čemu svaka vrednost ima posebno značenje (vidi se u tabelama).



Sl. 4 - Primer procene kritičnosti pomoću mreže kritičnosti:

verovatnoća otkaza vrlo niska - VN; niska - N; srednja - S; visoka - V

Umnoškom faktora dobija se nivo kritičnosti kao stepen kritičnosti sistema, a dobijen je na osnovu ocene sistema. Kritičnost je niska ako je  $R \leq 50$ , a „kritična“ ako je  $R > 200$ . Za  $R > 200$

(pri oceni stanja sistema) potrebno je definisati (priložiti) određene korektivne mere radi poboljšanja stanja, odnosno vraćanja stanja sistema unutar prihvatljivih granica. To znači da te korektivne mere treba da dovedu do smanjenja vrednosti faktora kritičnosti  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ , odnosno da se, kada su utvrđeni mogući uzroci otkaza, traže preventivne korektivne mere da bi se smanjio nivo kritičnosti. Ovakva analiza zahteva i posebno prilagođen obrazac FMECA koji je prikazan na slici 6.

### Realizacija metoda FMECA na mašinskom sredstvu

Metod FMECA sproveden je na složenom mašinskom sredstvu dozeru TG-140 i to u okviru sklopa transmisije. Nakon upoznavanja i definisanja dozera kao sistema, izrade blok i funkcionalnih dijagrama i raščlanjavanja sistema, potrebno je izvršiti identifikaciju načina (vrsta), uzroka i efekata (posledica) otkaza.

U okviru konstrukcije svakog TS postoje određeni kritični elementi (delo-

vi) sistema. Uspešan rad svakog sistema zavisi od funkcionisanja upravo tih kritičnih elemenata sistema. Zbog toga je identifikacija kritičnih elemenata vrlo važna.

U tabeli 7 dat je pregled određenih kritičnih delova transmisije dozera TG-140, do kojih se došlo na osnovu iskustva, a koji će ovde poslužiti za prikaz sprovođenja metode FMECA, na način propisan JUS-om IEC 812, Predlogom TPR 1767 i pomoću „prilagođenog“ postupka (slika 2).

### Sprovođenje metoda FMECA prema standardu JUS IEC 812

Nakon aktivnosti definisanja sistema, izrade blok-dijagrama i utvrđivanja osnovnih pravila vrši se definisanje načina otkaza, uzroka i efekata. U Radnoj listi FMECA (slika 3) dat je pregled načina, uzroka i efekata otkaza. Nakon ove aktivnosti vrši se analiza kritičnosti. Kvantifikacija kritičnosti i verovatnoće otkaza preduzima se kao pomoć pri donošenju odluke o korektivnim akcijama i njihovim prioritetima, kao i radi utvrđivanja jasne granice između prihvatljivog i neprihvatljivog rizika [3].

Svaki posmatrani efekat otkaza klasifikuje se po svojoj kritičnosti u odnosu na funkcionisanje kompletnog sistema. U tabeli 8 dat je pregled kategorija kritičnosti za svaki efekat otkaza, u saglasnosti sa podacima iz skale kritičnosti efekata otkaza (tabela 2).

Verovatnoća pojave svakog posmatranog načina otkaza (kolona 4, slika 3) ocenjuje se kvantitativnim izrazima [3], koji u standardu nisu definisani. Ipak je verovatnoća pojave svakog posmatranog načina otkaza kvalitativno izražena kao: vrlo niska, niska, srednja i visoka. Nakon određenja verovatnoće otkaza, za svaki

Tabela 7

Kritični delovi transmisije dozera TG-140

Red. broj	Naziv	Kodni broj	Broj komada
	Nomenklaturni broj		
1.	Vijak segmenta 6703-1083-7227-6	10.01.46	40
2.	Navrtka 6705-1083-7228-9	10.01.16	40
3.	Obloga 2520-1279-6120-7	09.05.19	10
4.	Disk 2510-1279-6117-9	09.02.02	16
5.	Disk 2510-1279-6118-0	09.02.03	18
6.	Opruga 2510-1279-6126-2	09.02.07	16

Tabela 8

## Kategorije kritičnosti efekata otkaza

Red. broj	Efekat otkaza	Kategorija kritičnosti efekata otkaza (nivo kritičnosti)
1.	Neznatan gubitak funkcije	I
2.	Delimičan gubitak funkcije	II
3.	Gubitak funkcije posle nekog vremena	II
4.	Teško oštećenje	III
5.	Trenutni prekid funkcije sa ugrožavanjem bezbednosti	IV

način otkaza pristupa se ocenjivanju kritičnosti.

Ocenjivanje kritičnosti vrši se korišćenjem mreže kritičnosti (slika 4). Za vijak (10.01.46), za efekat otkaza ili teško oštećenje (tabela 8) nivo kritičnosti je III, a verovatnoća otkaza niska (slika 3).

Definisani nivo i verovatnoća zatim se nanose u odgovarajući kvadrat mreže kritičnosti (tačka A). Kvadratu udaljenjem od početka, duž dijagonale, odgovara veća kritičnost i urgentnija potreba za korektivnom akcijom. Za navrtku (10.01.16) definisan je kvadrat mreže kritičnosti (tačka B).

*Sprovođenje metoda FMECA prema TPR 1767*

Nakon proučavanja i usaglašavanja početnih i obezbeđenja dopunskih podataka, definisanja sistema, raščlanjavanja sistema i izrade blok-dijagrama, vrši se utvrđivanje vrsta, uzroka, posledica otkaza i njihovog relativnog značaja. Na slici 5 Obrazac AVPO/AVPKO prikazan je, za određene delove transmisije dozera, deo vrsta, uzroka i posledica otkaza i njihov relativan značaj.

U okviru ove aktivnosti neophodno je klasifikovati posledice otkaza u odre-

dene kategorije kritičnosti (aktivnost 4, tabela 1). U tabeli 9 data je klasifikacija posledica otkaza prema kategorijama kritičnosti.

Sledeća aktivnost je sprovođenje analize kritičnosti. Cilj ove analize je da se, na osnovu sprovedene analize vrsta i posledica otkaza, za svaku kategoriju kritičnosti posledica vrsta otkaza izvrši rangiranje svake potencijalne vrste otkaza.

Analiza kritičnosti je kvantitativna analiza, a vrši se na osnovu formule (1). Za vijak (kodni broj 10.01.46), za proračun kritičnosti potrebni su sledeći podaci:

- $k$  – kategorija kritičnosti  $k = 2$ ;
  - $\alpha$  – relativni udeo vrste otkaza  $\alpha = 15\%$  (određeno procenom);
  - $\beta$  – verovatnoća  $\beta = 90\%$  (određeno iskustveno);
  - $\lambda$  – intenzitet otkaza  $\lambda = 0,02 \times 10^{-6}$  o/čas [8];
  - $t$  – ukupno vreme rada  $t = 1$  godina.
- $$CR(k) = \alpha \cdot \beta \cdot \lambda \cdot t,$$
- $$CR(2) = 0,15 \cdot 0,9 \cdot 0,02 \cdot 8760 = 23,65 \cdot 10^{-6}.$$

Nakon proračuna kritičnosti, za određenu kategoriju kritičnosti, pristupa se definisanju kompenzacija posledica vrsta otkaza kroz određena tehnička rešenja, odnosno akcije korisnika koje sprečavaju ili umanjuju posledice otkaza.

Tabela 9

## Klasifikacija posledica otkaza

Red. broj	Posledica otkaza	Kategorija kritičnosti otkaza
1.	Delimičan gubitak funkcije	5
2.	Gubitak funkcije posle nekog vremena	4
3.	Gubitak funkcije	3
4.	Teško oštećenje	2



**OBRAZAC AVPO/AVPKO (Prema TPR 1767/92)**

SREDSTVO: dozer TG-140

ZADATAK, FAZA, NAČIN RADA:

Strana: ..... od .....

Datum: .....

Analizu radio

Kod	Naziv	Označka	Funkcija	Vrsta otkaza	Uzrok otkaza	Posledice otkaza		Kategorija kritičnosti	$\alpha$ (%)	$\beta$	$\lambda_{(0,01,10)}$	Vreme učenja (h)	CR <sub>1</sub> (10 <sup>-4</sup> )	Analizu radio					Metod detekcije i mere kompenzacije	Primenba
						Lokalizacija	Krajnje							1	2	3	4	5		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					16	17
10.01.46	Vijak			lom	neadekvatan materijal	oštećenje pogonskog točka	teško oštećenje	2	15	0,9	0,02	8760	23,65	131,4					vizuelno	
				slabljenje veze	odvijanje namenske vrtke	oštećenje vijka	gubitak funkcije posle nekog vremena	4	75	1	0,02	8760	131,4							
10.01.16	Navrtka			odvijanje	nepođelen osigurač	odvijanje segmenta	teško oštećenje	2	80	1	0,02	8760	140,16	140,16					vizuelno	
09.02.07	Opruga		pretnošne obremenjenja	slabljenje sile pucaanje	neadekvatan materijal		delimičan gubitak funkcije	5	65	0,8	0,25	8760	1138,8							
							gubitak funkcije	3	10	1	0,25	8760	219	219						1138,8

Sl. 5

**OBRAZAC FMECA**

SREDSTVO: Dozer TG-140  
 Analizu radio:.....

Strana: 1 od 1  
 Datum:.....

Šifra (Kod)	Naziv		Funkcija	Vrsta otkaza	R <sub>1</sub>	Posledice otkaza		R <sub>2</sub>	Uzrok otkaza	Otrivost otkaza	R <sub>3</sub>	Nivo kritičnosti (ocena stanja)	Korektivne mere	Primedba
	Nomenklaturni broj	Krajnje				Lokalne	Krajnje							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
10.01.46	Vijak 6703-1083-7227		lom vijaka	5	oštećenje pogonskog točka	oštećenje	9	neadekvatan materijal	vizuelno	4	180 (visok)			
10.01.16	Navrtka 6705-1083-7228		slabljenje veza sagnenata sa diskom	8		gubitak funkcije posle nekog vremena	4	odvijanje navrtke	vizuelno	2	64 (srednji)	ugradnja osigurača (podloške) protiv odvrtnja		Poboljšati osiguranje navrtke od odvijanja. U toku održavanja čekće kontrolisati pritegnutost svih 40 navrtki.
09.05.19	Ohloga 2520-1279-6120		povećan zazor otkaz kočnice	5	odvijanje segmenta	oštećenje	8	nepostojanje osigurača	vizuelno	3	168 (visok)	ugradnja osigurača (podloške) protiv odvrtnja		
						neznatan gubitak funkcije	1	habanje	habanje	8	40			
						trenutan prekid funkcije sa ugroženjem bezbedno sti	9	habanje	habanje	6	162 (visok)			

Sl. 6

Kompleksnost TS i potreba za velikim brojem podataka i informacija zahteva razvoj visokoindividualizovanih postupaka FMECA. Ti postupci često su pojednostavljeni, što zavisi od odnosa potrebnih i postojećih informacija.

Za slučaj sprovođenja analize kritičnosti koji je prethodno opisan neophodno je mnoštvo polaznih podataka i informacija. Posebno je problematičan podatak za intenzitet otkaza ( $\lambda_i$ ) koji nije konstantan već je u funkciji vremena pa u različitim periodima ima različite vrednosti. Nameće se zaključak da se intenzitet otkaza kod mašinskih elemenata ne može uzeti kao jedino meritoran za izračunavanje kritičnosti.

Na osnovu dostupnih istraživanja, a radi prevazilaženja poteškoća u vezi sa obezbeđenjem potrebnih podataka, kao i poteškoća u vezi sa specifičnostima konstrukcije mašinskih sistema oformljen je pojednostavljen algoritam (slika 2) za sprovođenje postupka FMEA/FMECA.

Aktivnosti do analize kritičnosti suštinski se ne razlikuju od prethodno navedena dva načina. Vrste, uzroci i posledice otkaza prikazani su na slici 6 (u okviru Obrasca FMECA).

Analiza kritičnosti moguća je i bez neophodnih kvantitativnih podataka, prema uprošćenom, pretežno empirijsko-iskustvenom postupku.

Uz svaku vrstu otkaza, pridružena je, na osnovu kriterijuma procenjivanja, verovatnoća pojave otkaza ( $R_1$ ), značaj otkaza ( $R_2$ ) i verovatnoća otkrivanja otkaza ( $R_3$ ). Definisanje i određivanje faktora kritičnosti ( $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ ) zahteva angažovanje stručnjaka različitih specijalnosti, odnosno iziskuje ekspertske pozna-

vanje problematike vezane, kako za samu konstrukciju, tako i za sprovođenje metoda FMECA.

U Obrascu FMECA potrebno je navesti način za otkrivanje (detekciju) otkaza (kolona 10).

Analiza kritičnosti sprovodi se na osnovu formule (3), pri čemu se određuje kritičnost svake vrste otkaza, svakog analiziranog dela, podsklopa i sklopa.

Za vijak (kodni broj 10.01.46) ocena stanja, odnosno nivo kritičnosti, izračunat je prema formuli (3):

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 = 5 \cdot 9 \cdot 4 = 180$$

Ako se dobijena vrednost za nivo kritičnosti  $R$  uporedi sa kritičnim vrednostima za indeks prioriteta koji je unapred zadat (tabela 6), vidi se da je dobijena vrednost blizu postavljene granice ( $R > 200$ ), i bez obzira na to što rizik nije kritičan (nije  $R = 180 > 200$ ), potrebno je još jednom razmotriti navedeni problem. U slučajevima kada je  $R > 200$ , rizik je kritičan, a projekat se smatra nezadovoljavajućim. Pri tom je neophodno uvesti i odrediti određene korektivne mere (kolona 13).

### **Zaključak**

Analiza načina otkaza i njihovih efekata (FMEA) i analiza načina otkaza, njihovih efekata i kritičnosti (FMECA), jesu metodi analize pouzdanosti namenjeni za identifikovanje otkaza čije posledice utiču na upotrebnost kvaliteta svakog TS.

FMECA, kao važan postupak za program obezbeđenja pouzdanosti i kvaliteta, može se sprovesti još u fazi pro-

jektovanja (kako bi učinak bio pravovremen i ekonomičan), a sprovodi se u svim fazama životnog veka.

Za sprovođenje metoda FMECA potrebno je obezbediti veliki broj ulaznih informacija, a za proračun kritičnosti pre svega – intenzitet otkaza  $\lambda$ . Obezbeđenje podataka za  $\lambda$ , za mašinska sredstva, predstavlja veliki problem, pri čemu treba imati u vidu i to da  $\lambda$  delova ugrađenih u fazi proizvodnje nije isti sa  $\lambda$  delova koji se ugrađuju (zamenjuju) u toku održavanja. Ako se pri tom zna da se postupak analize kritičnosti (prema TPR) zasniva na pretpostavci da je intenzitet svih vrsta otkaza nekog dela konstantna veličina, a ne u funkciji vremena, nije teško pretpostaviti da se na taj način dobija nerealna slika nivoa kritičnosti. Sve to ukazuje na to da je proračun kritičnosti na osnovu „metoda kritičnih elemenata“ prihvatljiv.

Delimično sprovođenje FMECA na sklopu transmisije dozera TG-140 pokazalo je da rezultati analize mogu poslužiti kao povratne informacije projektantima, ali i u održavanju. Ovakvim analizama, pored ostalog, moguće je proširiti aktivnosti održavanja, i na taj način obezbediti povećanje vremena „u radu“ u životnom veku svakog TS.

#### Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja TS, JDZMV, Beograd, 1993.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti TS, VINC, Beograd, 1990.
- [3] JUS IEC 812.
- [4] Predlog TPR 1767/92.
- [5] Predictor Management Sciences Incorporated, Workbook, FMEA, CA, 1985.
- [6] Stojković, Lj.: Uputstvo za korisnike FMEA, CIM College, Niš, 1996.
- [7] JUS ISO 9004, Upravljanje kvalitetom i elementi sistema kvaliteta.
- [8] Gardijan, P.: Primena metoda analize otkaza FMEA i FMECA na primeru realnog TMS, specijalistički rad, VTA, 2000.