



FMEA SISTEMA KAO OSNOVA UPRAVLJANJA RIZIKOM PRI PROJEKTOVANJU

SYSTEM'S FMEA AS A BASE OF RISK PROJECT MANAGEMENT

Radoslav Kostić¹⁾

Rezime: Razvoj metode FMEA analize kao osnove upravljanja rizikom u projektovanju doveo je do razvoja FMEA sistema u cilju potpune primene u celokupnom procesu projektovanja. Ovim radom se daju osnovne smernice za primenu FMEA sistema sa osvrtom na razlike u odnosu na »klasične« FMEA analize (projekta i procesa) kao i prikaz primera primene navedene metode.

Ključne reči: sistem, proces, verovatnoća, rizik

Abstract: FMEA analysis development as a base of risk management during projection has lead to the development of FMEA system with the aim of a complete implement in the whole projection process. With this work we give the basic guidelines for the FMEA system implementation considering the differences in regard on "classica" FMEA analyses (projects and process) as well as examples of implementation of that method.

Key words: system, process, probability, risk

1. UVOD

U uslovima velike ponude proizvoda, konstantno se povećavaju zahtevi korisnika, konkurencija postaje jača, zakonski propisi oštrije; jednom rečju, uvećavaju se zahtevi u vezi kvaliteta nekog tehničkog proizvoda. Na žalost, u svim fazama životnog veka proizvoda moguća je pojava grešaka, koje za posledicu imaju povećane troškove, a ako se greške ne otklone iste će izazvati nezadovoljavajući kvalitet i nezadovoljstvo korisnika.

Zbog toga je pri analizi mogućih grešaka potrebno poći od pitanja: koje greške mogu nastati, koje su posledice tih grešaka, šta je njihov uzrok? Odgovore na ova pitanja najpre može da da iskustvo i znanje eksperata. Zbog mnoštva podataka za njihovu bolju preglednost, lakše manipulisanje, davanje ocena i korektivnih mera razvijena je metoda "Analiza potencijalnih grešaka i njihovih efekata na proizvod". FMEA je sredstvo racionalizacije putem sistematizacije prema načelu: "Uvek je bolje i ekonomičnije grešku sprečiti nego je posle otkrivati i otklanjati, odnosno snositi troškove posledice greške."

U principu greške po posledicama se dele na greške:

- koje se otkrivaju u fazama stvaranja proizvoda i

- greške koje se otkrivaju kod korisnika proizvoda ili usluge.

Cilj svakog proizvođača je da preduzme mere u sprečavanju grešaka u svim fazama.

2. OSNOVE FMEA SISTEMA

FMEA metoda je prevashodno razvijena za ocenu projekata proizvoda (usluga) i procesa, a u cilju sprečavanja ili ublažavanja grešaka koje svoje posledice ispoljavaju na proizvodu kod kupca. Prvo je razvijena za potrebe kosmičke i vazduhoplovne industrije, a kasnije se proširila na ostale industrijske grane pre svega u automobilskoj industriji. Sada je ona planska komponenta sistema menadžmenta kvalitetom kod mnogih proizvođača automobila i njihovih isporučioaca.

Cilj FMEA je da projektantima omogući:

- pravovremeno otkrivanje i lokalizovanje potencijalnih grešaka na proizvodu (usluzi),
- izbegavanje ili ublažavanje rizika u projektu,
- povećanje pouzdanosti performansi proizvoda,
- smanjenje troškova kvaliteta,
- smanjenje procesa razvoja (kraći vremenski period za razvoj proizvoda),
- nezatna osetljivost na pojavu grešaka (postojanost) na početku serijske proizvodnje,
- preciznije definisanje krajnjeg roka,

- ekonomičnija proizvodnja,
- poboljšano servisiranje/usluge i
- poboljšano interno komuniciranje
- sprečavanje gubitka imidža na tržištu.

Kao osnov za ocenu rešenja u razvoju proizvoda ili procesa razmatraju se:

- moguće greške na proizvodu i verovatnoće pojave potencijalne greške,
- moguće posledice greške ispoljene prema korisniku ili okolini,
- mogućnost otkrivanja greške i sprečavanje da greška izađe iz preduzeća i stigne do kupca.

FMEA je metoda razvijena za timski rad svih funkcija koje mogu da doprinesu boljem rasvetljavanju rešenja i utvrđivanja adekvatnih korektivnih mera, ukoliko se oceni da je projektovano rešenje nepouzđano. FMEA je sistematska radna tehnika i formalna pomoć pri razmišljanju.

Namena ove metode je da preventivno spreči pojavu nedostataka i primenjuje se u početnim fazama definisanja konstrukcije proizvoda i tehnoloških rešenja procesa proizvodnje.

Razlikujemo tri vrste FMEA analiza i to:

1. FMEA sistema (proizvoda/procesa),
2. FMEA projekta/konstrukcije,
3. FMEA procesa.

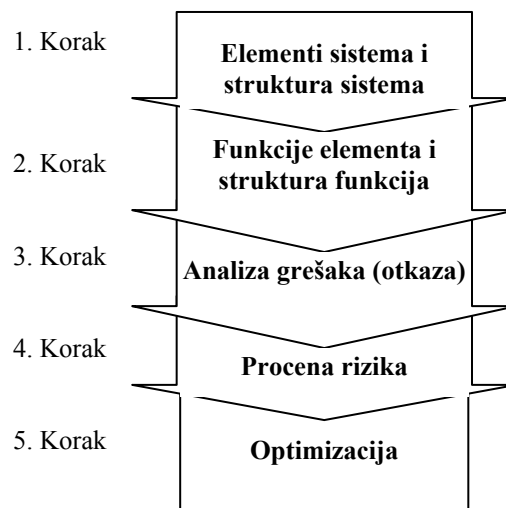
FMEA sistema se razlikuje od druge dve jer se primenjuje u najranijoj fazi projektovanja (konstrukcije/procesa) i posmatra moguće potencijalne greške i njihove posledice na konceptijska rešenja proizvoda/procesa. Ostale dve su nadogradnja FMEA sistema u smislu dopune analize mogućih grešaka i njihov uticaj na već definisanim konstruktivnim rešenjima i procesima pre nego što ta rešenja postanu konačna.

Metoda je sistematski i analitički proces preispitivanja projektnih koncepcija i rešenja konstrukcije i procesa. Odvija se paralelno sa procesom projektovanja konstrukcije i/ili procesa, od preispitivanja idejnog rešenja do preispitivanja definitivnih rešenja. Projektno rešenje konstrukcije i/ili procesa se ocenjuje prema striktnim pravilima, a izlazi su dati u obliku dokumenata. Parametri analize se numerički vrednuju, pa je i konačna ocena rešenja izražena numerički. Tako je moguće projektna rešenja konstrukcije i/ili procesa međusobno upoređivati i to:

- kod ocene alternativnih rešenja konstrukcije i/ili procesa,
- kod ocene evolucije projektnih rešenja konstrukcije i/ili procesa u raznim fazama projektovanja i
- kod ocene efekata korektivnih mera koje se sprovode u fazi projektovanja konstrukcije i/ili procesa.

Suština metode se sastoji u realizaciji sledećih aktivnosti prikazanih na slici 1:

1. Korak: Analiza elemenata sistema i njegove strukture.
2. Korak: Analiza funkcija sistema, elemenata sistema i strukture funkcija.
3. Korak: Analiza i utvrđivanje svih potencijalnih grešaka, njihovih uzroka na proizvodu koje mogu nastati kao posledica greške u projektu konstrukcije i/ili procesa. Analiza svakog para "moguća greška-mogući uzrok", sa ciljem da se analitičkim metodama utvrde:
 - verovatnoća pojave potencijalne greške (za svaki uzrok posebno),
 - moguće posledice greške na proizvodu, na korisnika, okolinu ili zakonske odredbe u vezi proizvoda,
 - verovatnoća da se uzrok greške odnosno greška otkrije u procesu konstrukcije, proizvodnje i kontrole i tako spreči ispoljavanje greške kod korisnika.



Slika 1 Prikaz aktivnosti (koraka) realizacije FMEA sistema

4. Korak: Vrednovanje **faktora rizika** za projekat i to:

- faktor rizika pojave greške P,
- faktor rizika posledice greške G,
- faktor rizika neotkrivanja greške R.

Faktori rizika se najčešće vrednuju od 1 do 10 (mada se mogu koristiti i drugi rasponi), a osnovna pravila vrednovanja pojedinih rizika se predhodno utvrde. Izračunavanje **indeksa prioriteta rizika IPR** za svaki par "moguća greška-mogući uzrok" po formuli:

$$IPR = P \times G \times R$$

5. Korak: Ovako izračunati indeks prioriteta rizika se upoređuje sa unapred utvrđenom **granicom intervencije** koju definiše vođa projektne FMEA u skladu sa dole navedenim:

ozbiljnosti greške (G)

9 i 10 (kritične)

7 i 8

4, 5 i 6

$$IPR \geq 50 = KIPR$$

$$IPR \geq 100 = KIPR$$

$$IPR \geq 120 = KIPR$$

1, 2 i 3

$IPR \geq 150 = KIPR$

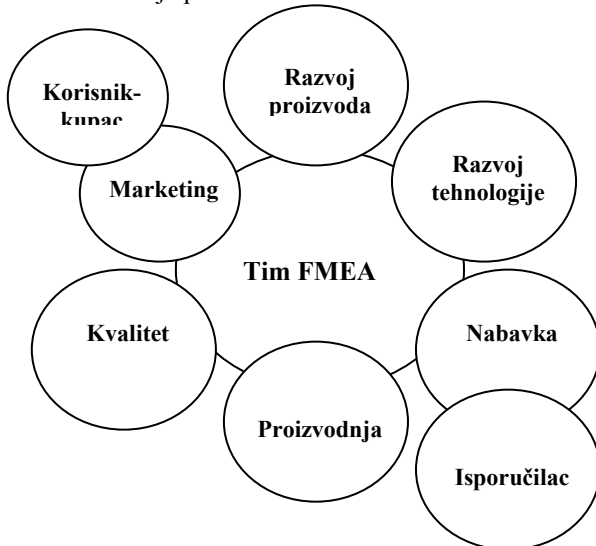
Ako je IPR manji od utvrđene granice intervencije, projektno rešenje se ocenjuje kao zadovoljavajuće, a u suprotnom se odgovarajućim korektivnim merama u projektним rešenjima obezbeđuje da se ostvari uslov $IPR <$ granice intervencije.

Optimizacija se odvija prema sledećem redu:

- Izmena koncepta da bi se odstranio uzrok greške ili da bi posledica greške imala malu težinu,
- Povećanje pouzdanosti koncepta da bi se smanjila verovatnoća pojavljivanja uzroka greške i
- Mnogo efikasnije otkrivanje uzroka greške (da bi se, što je više moguće, izbegla dodatna ispitivanja)

Sveukupnim znanjem za primenu metode FMEA ne raspolaže samo jedna funkcija ili pojedinac, to nameće potrebu da se ocena projekta metodom FMEA vrši od strane multidisciplinarnog tima stručnjaka preduzeća.

FMEA tim se u načelu sastoji od odgovornog lica (rukovodioca tima) i određenog broja eksperata sposobnih da izvrše analizu funkcionisanja proizvoda, moguće greške, uticaj tih grešaka na korisnike kao i da utvrde uzroke i mere za njihovo eliminisanje. Odgovarajućim organizacionim uputstvom u preduzeću se definiše organizacija FMEA analize i imenuje odgovorno lice za formiranje FMEA timova, najpogodnije je da to bude rukovodilac odgovarajućeg projekta. Na slici 2. je prikazan načelan sastav FMEA timova.



Slika 2 Sastav tima FMEA

Odlukom o formiranju FMEA timova, pored imenovanja članova tima utvrđuje se i predmet analize (elementi procesa) i rokovi za realizaciju analize.

Na svom prvom sastanku, članovi tima se još jednom upoznaju sa detaljima predmeta analize i

zadacima svakog člana tima. Tom prilikom se svakom članu tima uručuje raspoloživa dokumentacija iz projekta procesa i/ili konstrukcije. Rukovodilac FMEA tima vodi računa o pripremi dokumentacije i prezentaciji predmeta analize. Dalji tok aktivnosti na realizaciji analize može se podeliti u sledeće faze:

- Priprema za analizu,
- Analiza projekta procesa ili konstrukcije,
- Ocena postojećeg stanja,
- Korektivne mere,
- Ocena efekata korektivnih mera i
- Dokumentovanje analize.

3. PRIMER FMEA SISTEMA

Na osnovu rezultata istraživanja tržišta formiran je projekat "Automatski menjač sa spoljnim komandama automatike" sa odgovarajućim nosiocima realizacije. U toku definisanja koncepcije formiran je tim za FMEA sistema sa zadatkom da uradi analizu mogućeg rizika od pojave greške pri realizaciji ovog projekta. Rukovodilac tima je saglasno predhodno iznetim postavkama primene FMEA metoda upoznao članove tima sa zadatkom i izdao pojedinačne zadatke svakom članu tima.

3.1 Priprema za analizu

U fazi pripreme, rad članova tima je individualan i sastoji se iz aktivnosti na prikupljanju informacija o predmetu analize. Svaki član prikuplja podatke u okviru funkcije u kojoj radi. Veoma je važno da su prikupljeni podaci i informacije verodostojni, kako bi se izbegli pogrešni zaključci usled nepouzdanosti podataka. U prikupljanju i obradi podataka moraju se primenjivati adekvatne i priznate statističke metode.

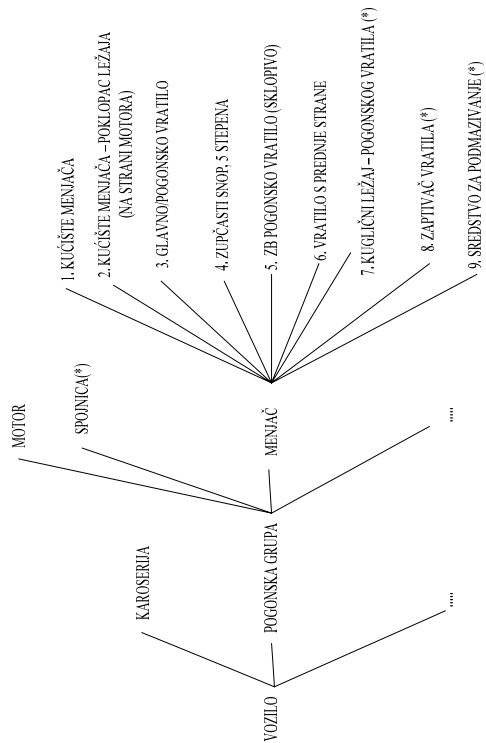
Rukovodilac FMEA tima sve prikupljene podatke stavlja na raspolaganje svim članovima tima. Time se u pripremnj fazi članovi tima upoznaju sa informacijama koje su prikupili i obradili drugi članovi tima i te podatke uključuju u svoj pripremnj rad. Članovi tima individualno proučavaju prikupljenu i dobijenu dokumentaciju i podatke, formirajući sopstvene zaključke za dalji rad.

3.2 Analiza projekta

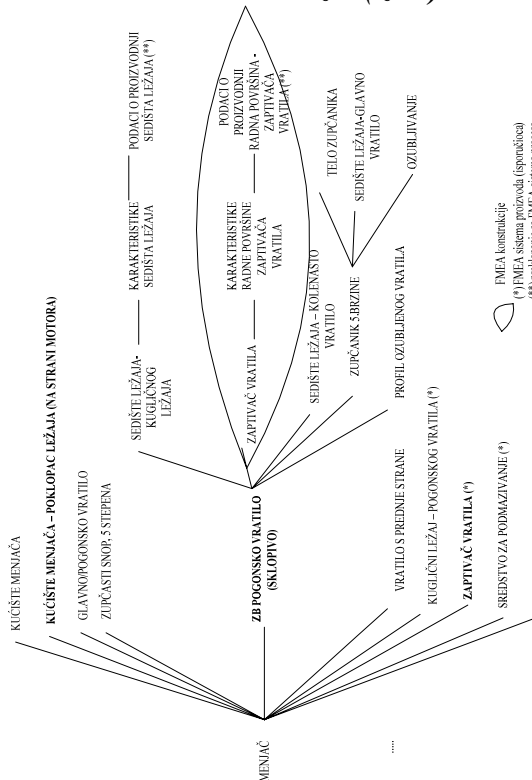
Analiza projektних rešenja projekta, konstrukcije ili procesa se, po pravilu, vrši plenarnim radom tima, pri čemu članovi tima aktivno učestvuju u razmatranju projekta. Sastankom radnog tima rukovodi rukovodilac tima, a sam sastanak se organizuje prema afinitetima članova tima (klasično vođeni sastanak, brainstorming itd.).

Pri izradi analize u skladu sa pravilima analize, postupak se odvija prema sledećem:

Korak 1: FMEA tim daje odgovor na pitanje “Koji elementi čine sistem (proizvod) i kakva je struktura sistema?”.



Slika 3 Struktura sistema vozila (izvod)



Slika 4 Struktura sistema menjača (izvod)

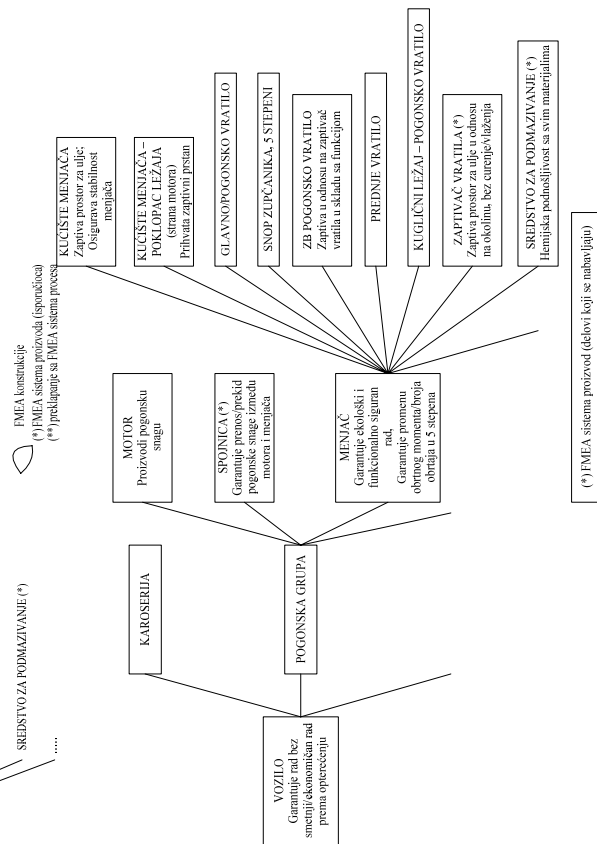
Sistem se sastoji od pojedinačnih elemenata (SE) koji su hijerarhijski uređeni, tako da mogu da se opišu strukturne veze celog sistema unutar strukture sistema (npr. koncepcija hardvera, organizaciona struktura itd.).

Broj hijerarhijskih nivoa uglavnom nije utvrđen u toku konstruisanja strukture sistema (sl.3 i 4). Podrazumeva se da se prilikom konstruisanja strukture kompletnog sistema vodi računa da se svaki element sistema pojavljuje samo jedanput. Uređena struktura «ispod» svakog elementa sistema je zasebna podstruktura.

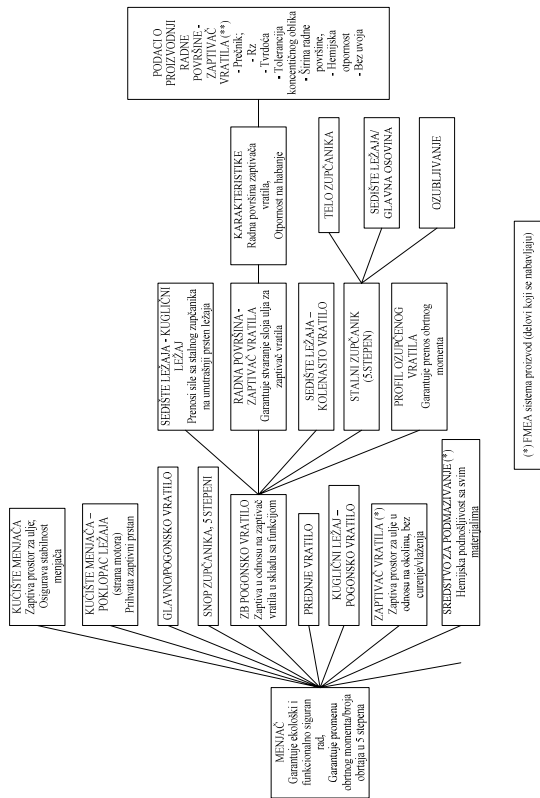
Korak 2: FMEA tim daje odgovor na pitanje “Koja je funkcija elementa sistema (proizvod) i kakva je funkcionalna struktura sistema ?”.

Elementi sistema obe navedene strukture sistema „vozilo“ i „menjač“ se uređuju prema funkcijama (slike 5 i 6). Za izabrane funkcije mogu da se naprave strukture funkcije (stabla funkcija), pri čemu se funkcije SE-a , koji učestvuju u tome, povezuju i prikazuju u odgovarajućoj strukturi funkcija (sl. 7). Kao primer za strukturu funkcije se uzima funkcija „garantuje ekološki i funkcionalno siguran rad“ SE „menjača“.

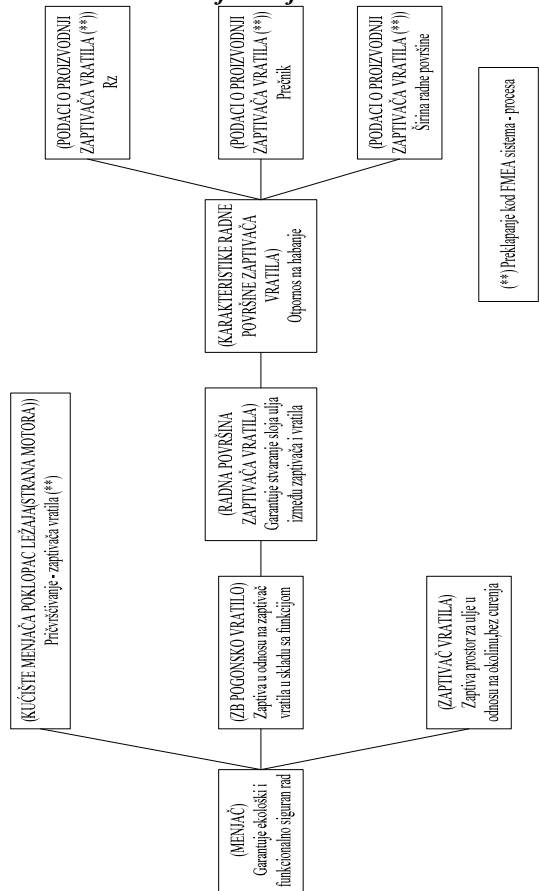
(*) FMEA proizvoda (delova, koji se nabavljaju)



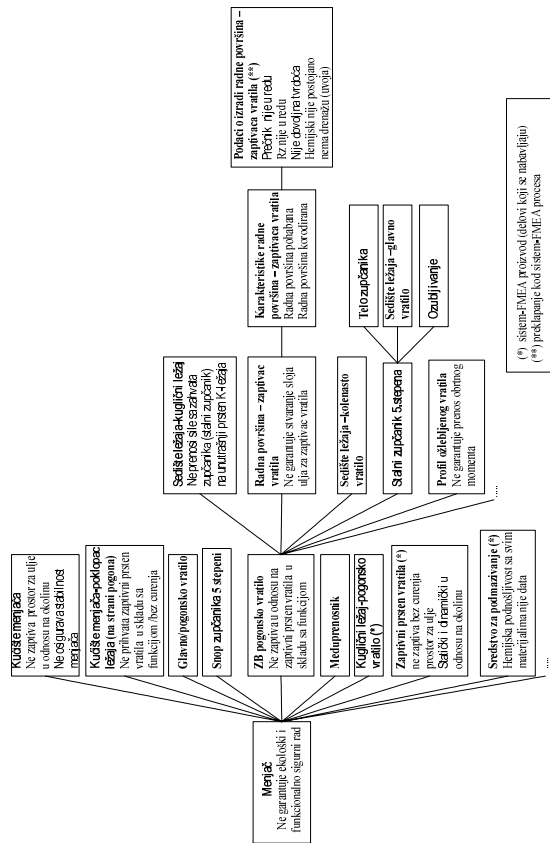
Slika 5 Struktura sistema »VOZILO« sa funkcijama



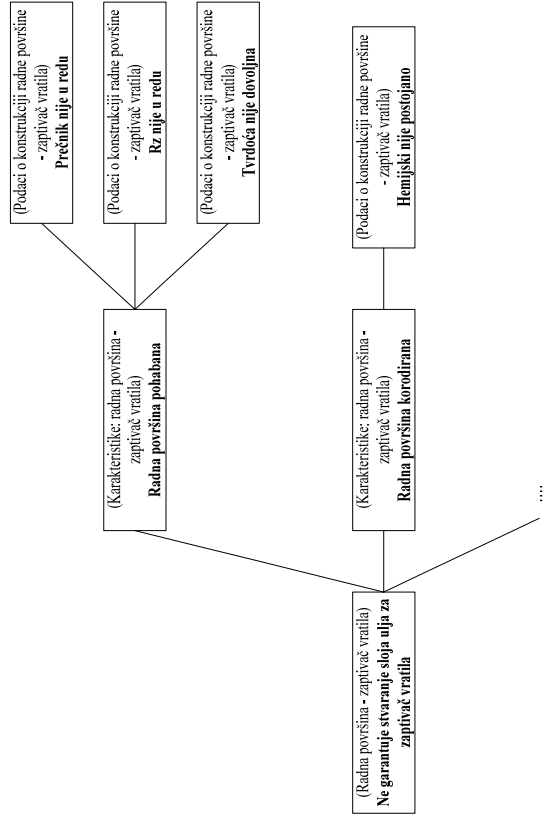
Slika 6 Struktura sistema "menjač" sa funkcijama



Slika 7 Struktura funkcija "menjač"



Slika 8 Pogrešno funkcionisanje u strukturi sistema "menjač"



Slika 9 Struktura pogrešnih funkcija SE-a "Radna površina - zaptivač vratila"

(*) FMEA sistema proizvod (delovi koji se nabavljaju)

(*) sistem-FMEA proizvod (delovi koji se nabavljaju)
 (**) preklapanje kod sistema FMEA procesa

Korak 3: FMEA tim daje odgovor na pitanje “koje su moguće greške na proizvodu koje se mogu ispoljiti kod korisnika, a svoje korene imaju u projektu proizvoda ili procesa?”

Za davanje odgovora na ovo pitanje, FMEA timu stoje na raspolaganju podaci o greškama na istim ili srodnim proizvodima, odnosno procesima u predhodnom periodu i ostala dokumentacija projekta. U odsustvu podataka koriste se tehnička znanja članova tima da bi se postavila početna pretpostavka o mogućim greškama. Ovde je važno napomenuti da analiza mora da obuhvati sve moguće greške, bez obzira da li će korisnik zapaziti grešku ili ne. Moguće greške za ovaj primer date su na slikama 8 i 9.

Korak 4: Za svaku utvrđenu potencijalnu grešku, FMEA tim analizira i utvrđuje moguće posledice greške.

Posledice greške mogu se odnositi na korisnika proizvoda, na okolinu (na druge ljude i prirodu) na zadovoljenje zakonskih i drugih obavezujućih propisa u zemljama u kojima se proizvod prodaje ili se planira prodaja.

I u ovom slučaju osnovu za analizu čine raspoloživi podaci o ponašanju sopstvenih ili tuđih proizvoda u predhodnom periodu. Prilikom definisanja mogućih posledica greške, uvek se mora uzeti u obzir najnepovoljnija alternativa. Ne zavaravati se eventualnim sretnim okolnostima prilikom pojave grešaka, i ne uzimati ih kao osnov za ublažavanje mogućih posledica greške (primer: otkaz motora sekund pred početak preticanja ne sme se tretirati samo kao tehnički kvar, već kao greška koja ugrožava živote putnika).

Korak 5: FMEA tim utvrđuje moguće uzroke svake greške.

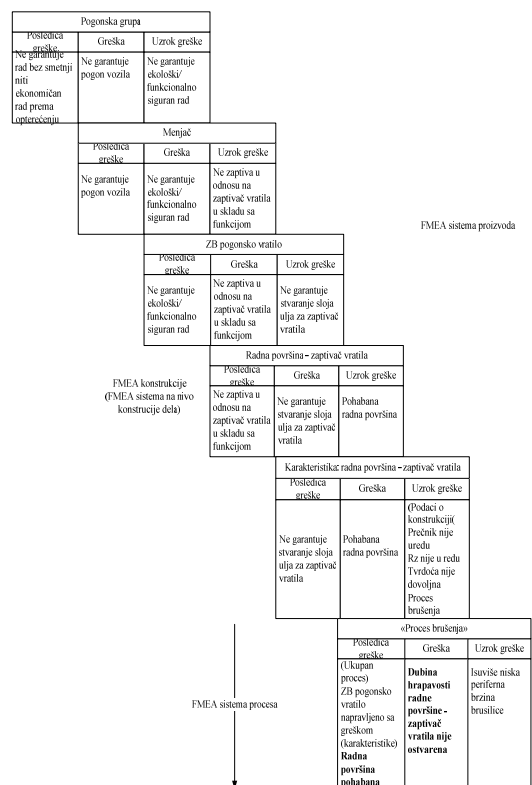
Za svaku grešku se analitički dolazi do jednog ili više uzroka, pri čemu ni jedan potencijalni uzrok se ne sme apriori odbaciti pre analize. U određivanju mogućih uzroka, uzimaju se samo oni uzroci koji se ispoljavaju zbog grešaka u projektnim rešenjima tehnologije i/ili konstrukcije.

Pregled mogućih grešaka funkcionisanja elemenata sistema, posledica tih grešaka i njihovi mogući uzročnici dati su na sl. 10. Na slici se može videti i kako se preklapaju posledice grešaka, greške, uzroci grešaka po fazama FMEA konstrukcije i procesa.

Korak 6: Analiza postavljenog sistema kontrolisanja i ispitivanja proizvoda i procesa.

Analizom se utvrđuje u kojoj meri primenjene metode i sredstva za kontrolisanje i ispitivanje omogućuju pravovremeno otkrivanje uzroka grešaka i sprečavanje da se greške ispolje na proizvodu. U ovoj analizi se uzimaju u obzir samo metode i sredstva koja su već u primeni na sličnim proizvodima i procesima i/ili koja su već propisana

u pojedinim fazama projektovanja konstrukcije i/ili procesa.



Slika 10 Preklapanje FMEA sistema konstrukcije i procesa

Korak 7: Utvrđivanje verovatnoće nastanka greške za svaki mogući uzrok greške.

Verovatnoća nastanka greške se mora uvek vezati za neki referentni period korišćenja proizvoda. Prema karakteru proizvoda ili usluge referentni period korišćenja se određuje u pogodnim jedinicama (na primer: broj časova rada, broj radnih ciklusa, broj pređenih kilometara, fiksni kalendarski period itd.).

Ocena postojećeg stanja

Analizom projektnih rešenja došlo se do sagledavanja aktuelnog stanja projekta. Utvrđeni su svi relevantni faktori koji utiču na pojavu i efekte grešaka, pa se u ovoj fazi može pristupiti oceni projekta. Ocena postojećeg stanja se vrši tako što se prvo za svaki par moguća greška – mogući uzrok na osnovu podataka dobijenih analizom utvrđuju brojne vrednosti faktora rizika iskazani indeksima P; G; i R (slika 11 i 12).

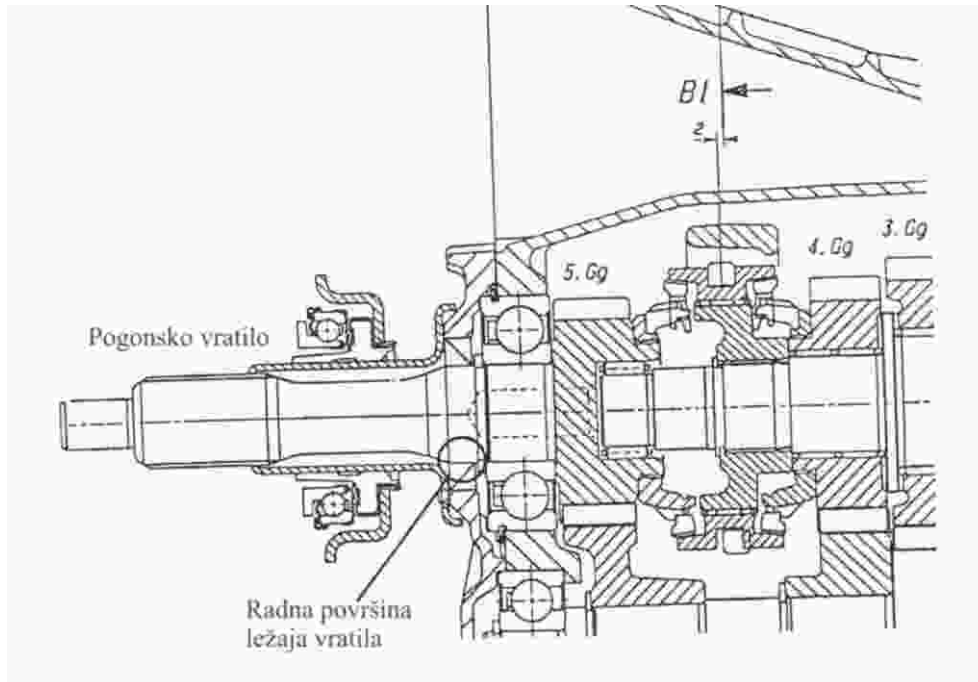
4 ZAKLJUČAK

Ovim radom data je osnova FMEA sistema proizvoda (konstrukcije/procesa) i prikazan je primer FMEA sistema jednog podsistema vozila koji predstavlja polaznu ocenu rizika pri realizaciji

projekta. U toku realizacije projekta sve urađene FMEA sistema svakog pojedinog elementa podsistema podleže stalnom preispitivanju i dopuni sa aspekta klasične FMEA konstrukcije/procesa. Važno je napomenuti da je upravljanje rizikom kroz projekat neprekidan sve dok proizvod živi.

LITERATURA

1. JUS ISO 9000:2005, Sistem menadžmenta kvalitetom – Osnove i rečnik,
2. JUS ISO 9001:2001, Sistem menadžmenta kvalitetom – Zahtevi,
3. JUS ISO 9004:2001, Sistem menadžmenta kvalitetom - Smernice za unapređenje performansi,
4. R. Kostić, Priručnik za obuku iz oblasti FMEA analize, ZASTAVA AUTOMOBILI,a.d.april 2007.



Slika 11 Skica menjača sa izgledom ugradnje pogonskog vratila i zaptivača vratila

FMEA: ANALIZA POTENCIJALNIH GREŠAKA NA PROIZVODU IZAZVANIH PROCESOM <input type="checkbox"/> PROJEKTOM <input type="checkbox"/>		SISTEM/KOMPONENTA		OSNOVNI BROJ-BROJ CRTEŽA									
NOVA <input type="checkbox"/> POSTOJEĆA ZA NOVU PRIMENU <input type="checkbox"/>		ZB pogonsko vratilo		TEHNIČKO STANJE IZMIENE									
RUKOVODILAC		FABRIKA/PROIZVOĐAČ		PRERAĐENO DATUMI:									
FABRIKA/PROIZVOĐAČ		FABRIKA/PROIZVOĐAČ		STRANA:									
FAZE PROCESA/PROJEKTA	CILJ FAZE	POTENCIJALNI TIP GREŠAKE	POSLEDICE GREŠAKA	KLASA	UZROCI GREŠAKA	VEROVATNOĆA (P)	AKTUELNO STANJE	MOGUĆNOST OTK (R)	INDEKS PRIORITETA (P x R)	VEROVATNOĆA (P)	OZBILNOST GREŠKE (G)	MOGUĆNOST OTK (R)	INDEKS PRIORITETA (P x R)
		POTENCIJALNI TIP GREŠAKE	POSLEDICE GREŠAKA	KLASA	UZROCI GREŠAKA	VEROVATNOĆA (P)	AKTUELNO STANJE	MOGUĆNOST OTK (R)	INDEKS PRIORITETA (P x R)	VEROVATNOĆA (P)	OZBILNOST GREŠKE (G)	MOGUĆNOST OTK (R)	INDEKS PRIORITETA (P x R)
obezbeđuje prenos pogonskog momenta u menjač	ne garantuje snagu/obrtni moment /promenu broja obrtaja u 5. stepenu (menjač)	ne garantuje obrtni moment /promenu broja obrtaja u 5. stepenu (menjač)	ne garantuje pogon vozila (pogonska grana)	ne garantuje rad bez smetnji/ekonomičan rad prema opterećenju (vozilo)	ne garantuje prenos obrtnog momenta (profil ozubljenog vratila)	4	Konstruktivno rešenje prema standardu	1	32				
							Usklađivanje sa isporučiocem spojnice FMEA konstrukcije/procesa isporučioca						
							Probna montaža (prototip)						
(P) VEROVATNOĆA POJAVE:		(G) OZBILNOST GREŠKE (UTICAJ NA KUPCA)		(R) MOGUĆNOST OTKRIVANJA		INDEX PRIORITETA RIZIKA		Učesnici		Služba		Potpis	
O C E N A	ODGOVAR. BODOVI	O C E N A	ODGOVAR. BODOVI	EKV. NEGAT. POENI (K.)	O C E N A	ODGOVAR. BODOVI	O C E N A	ODGOVAR. BODOVI (P x G x R)					
VEOMA MALA	1	ZANEMARLJIVA (SAMO ESTETSKI)	1	3	VEOMA VELIKA	1	NIZAK	1-50					
MALA	2+3	MALA	2+3	6	VELIKA	2+3	SREDNJI	50-100					
SREDNJA	4+6	IZRAŽENA (U FUNK. SMISLU)	4+6	6	SREDNJA	4+6	VELIKI	100-200					
VELIKA	7+8	OZBILNA	7+8	20	MALA	7+8	KRITIČAN	200-1000					
VEOMA VELIKA	9+10	KRAJNJE OZBILNA (FUNKCIONALNO)	9+10	50	NEMOGUĆA	9+10							

Slika 12 Izgled jednog od listova FMEA sistema konstrukcije pogonsko vratilo, zaptivač vratila, ležajevi vratila i kućište menjača