



Održavanje zasnovano na pouzdanosti RCM





Održavanje zasnovano na pouzdanosti RCM

- **Pouzdan** je onaj sistem koja izvršava svoju funkciju bez otkaza.
- **Pouzdanost** je verovatnoća, na određenom nivou poverenja, da će sistem uspešno obaviti funkciju za koju je namenjen, bez otkaza i unutar specifikovanih granica performansi, uzimajući u obzir prethodno vreme korišćenja sistema, u toku specifikovanog vremena trajanja zadatka.
- **Održavanje zasnovano na pouzdanosti** jedna od najčešće citiranih metoda, i definisana je i odgovarajućim međunarodnim standardima. Ona traži snažnu informatičku podršku, bogate baze podataka o svim performansama pouzdanosti, raspoloživosti, gotovosti, i drugim svojstvima sistema.
- Iako Baze podataka za primenu **RCM-a** sadrže i podatke o ranijim postupcima održavanja, o njihovom efektu, trajanju, troškovima, i drugim relevantnim elementima (uticaji na okolinu, zaštita ljudi..), presudni uticaj na donošenje odluka o tome kada, gde i koje postupke održavanja treba sprovoditi, imaju zahtevi pouzdanosti.
- Drugim rečima, cilj rada po **ovoj metodi** je obezbedjivanje zahtevanog nivoa pouzdanosti, dok troškovi, uticaj na okolinu i neki drugi elementi imaju karakter ograničenja, koje valja zadovoljiti u mogućem, poželjno u što većem stepenu. Pri tome, odluke o održavanju donose kompetentni, kvalifikovani i posebno zaduženi radnici, odnosno visoko-obučeno osoblje koje se dobro razume u dati sistem i proces njegovog korišćenja.



Održavanje zasnovano na pouzdanosti RCM

- **RCM** očigledno traži velika sredstva, snažne računare i visoko-sofisticirane softvere. Zato se ova metoda koristi samo tamo gde je to posebno važno, za održavanje sistema visoke složenosti, velike odgovornosti, i velikih rizika od posledica iznenadnih otkaza i havarija. Drugim rečima, za termoenergetska, nuklearna i procesna postrojenja, kao i u vazдушnom saobraćaju, sistemima odbrane...
- Koncept ove metode nastao je ranih 60-tih, i to upravo u civilnoj avijaciji USA. Broj nesreća je bio 60 u 1000.000 uzletanja, od toga 2/3 zbog otkaza opreme. Zato su usledile detaljne analize pouzdanosti opreme i pokazala se neprikladnost konvencionalnih principa održavanja. Novo formulisani principi pokazali su se prikladnim i za ostale vrste industrija. Rezultati su da se danas dešavaju 2 nesreće u 1000.000 uzletanja i od toga 1/6 zbog otkaza opreme.
- Znači nije najbitnije koliki je trošak nego da je sistem pouzdan-tj. najbitnije je da do otkaza ne dodje!



Održavanje zasnovano na pouzdanosti RCM

Proces RCM se bavi traženjem odgovora na sedam osnovnih pitanja:

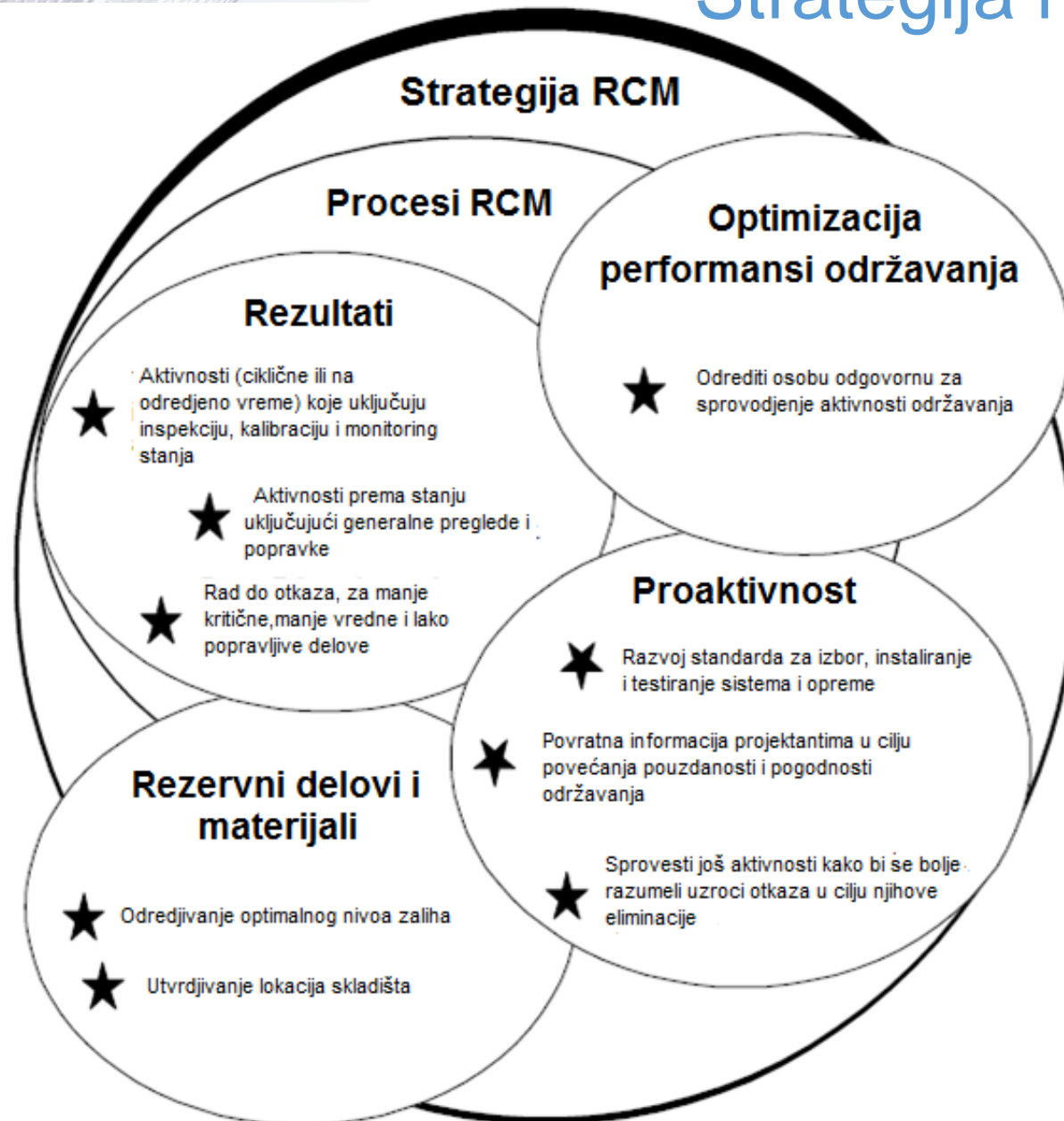
1. “Koje su funkcije opreme bitne u tekućoj eksploataciji?”
2. “Koji se otkazi opreme mogu pojaviti?”
3. “Koji su uzroci pojave otkaza?”
4. “Šta se događa kada se pojavi otkaz?”
5. “Koliki je značaj svakog otkaza?”
6. “Šta se može uraditi da se spreči pojava otkaza?”
7. “Šta treba uraditi, ako ne može da se pronađe pogodna preventivna aktivnost?”



Koristi od primene koncepta RCM

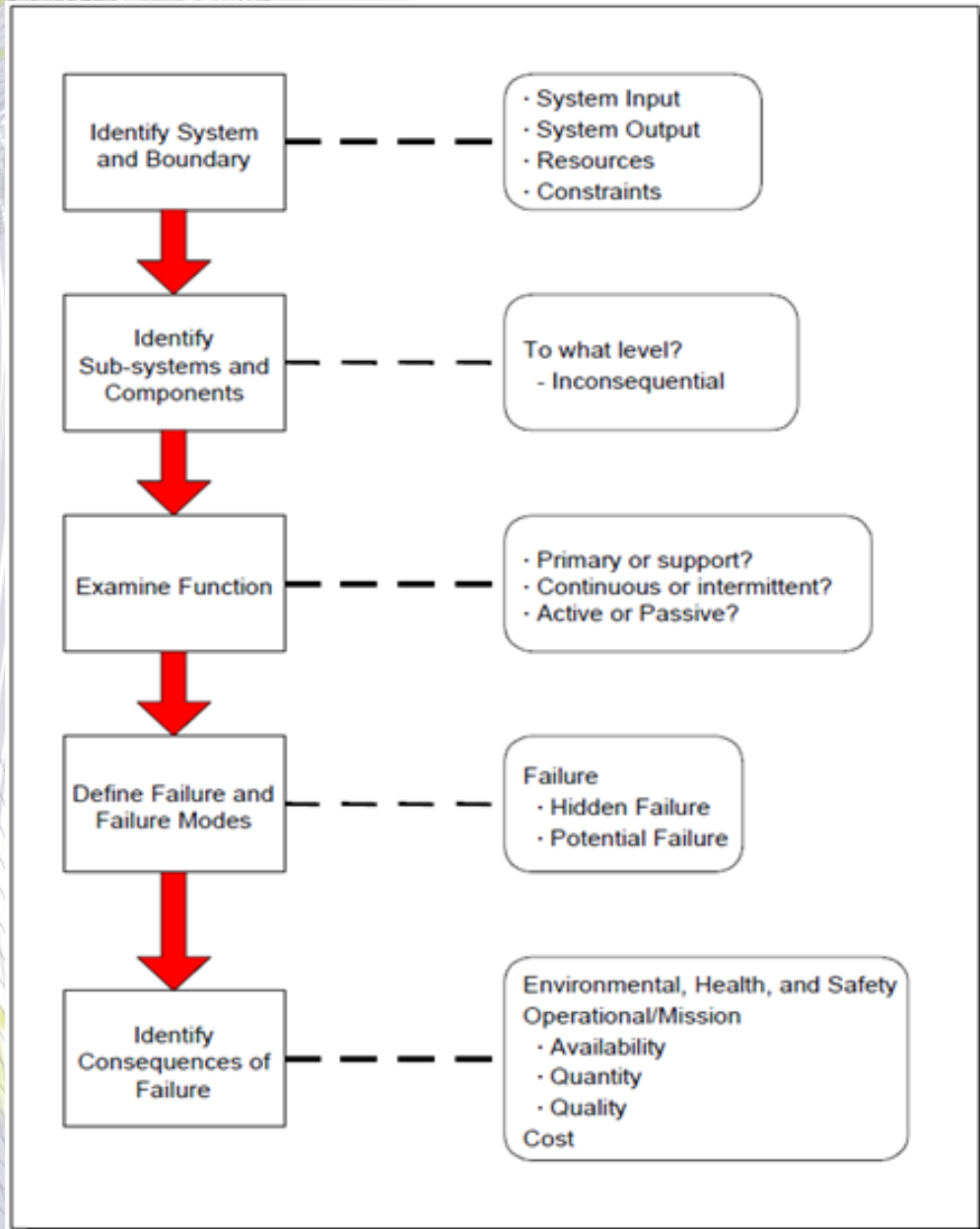
- viša sigurnost i zaštita okoline,
- poboljšanje eksploatacionih performansi (izlazi, kvalitet proizvoda i usluge korisniku),
- veća ekonomska efektivnost (smanjenje troškova održavanja),
- produženje životnog veka skupljih delova opreme,
- proširenje baze podataka o održavanju,
- povišena motivacija radne snage u održavanju i
- bolji timski rad.

Strategija i procesi RCM



- **Strategija RCM**
- **Procesi RCM**
- **Rezultati:**
 1. za kritične delove inspekcija, kalibracija i održavanje prema stanju,
 2. za manje važne lako i brzo popravljive rad do otkaza
- **Optimizacija performansi održavanja:** određivanje održavaoca
- **Rezervni delovi i materijali:** određivanje optimalnog nivoa zaliha i lokacija skladišta
- **Proaktivnost:**
 1. razvoj standarda za izbor, instaliranje i testiranje opreme
 2. povratna informacija projektantima u cilju povećanja pouzdanosti i pogodnosti održavanja
 3. aktivnosti za bolje razumevanje uzroka otkaza u cilju eliminacije otkaza

Koraci RCM analize



1. Definisiranje granica sistema: ulazi, izlazi, resursi, ograničenja
2. Identifikacija podsistema i komponenti do određenog nivoa
3. Ispitivanje funkcije: primarna/sekundarna, kontinuirana/prekidna, aktivna/pasivna
4. Definisiranje otkaza: skriven ili potencijalan otkaz
5. Identifikacija posledice otkaza: uticaj na okruženje, zdravlje, sigurnost i raspoloživost, i indirektno na cenu, kvalitet, kvantitet i rok

RCM principi

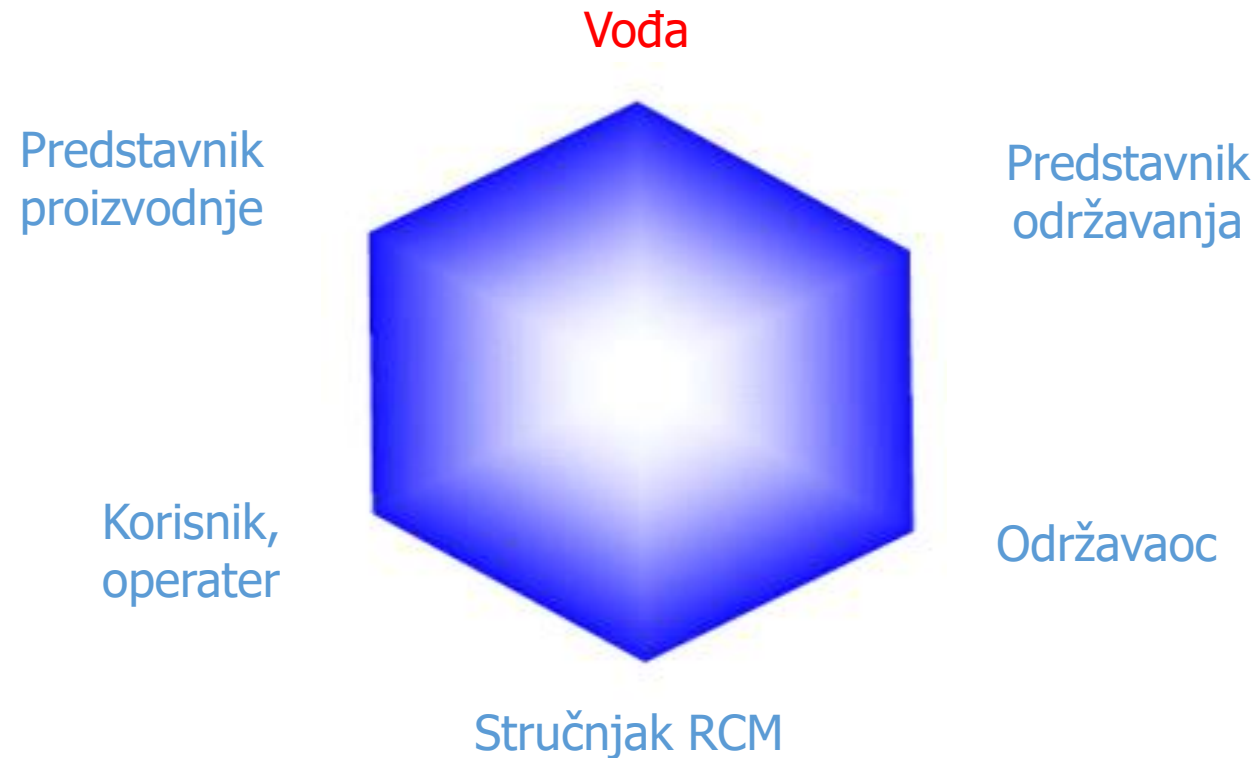


- RCM je funkcionalno orijentisan
- RCM je sistemski fokusiran
- RCM je zasnovan na pouzdanosti
- RCM uzima u obzir projektna ograničenja
- RCM vodi računa o sigurnosti i ekonomičnosti
- RCM definiše otkaz kao nezadovoljavajuće stanje
- RCM koristi FMEA analizu
- RCM počiva na drvetu logičkog zaključivanja - stablo otkaza
- RCM zadaci su primenljivi i efektivni.



RCM tim

- RCM radne grupe: sastoje se od korisnika/rukovaoca i održavaoca opreme.





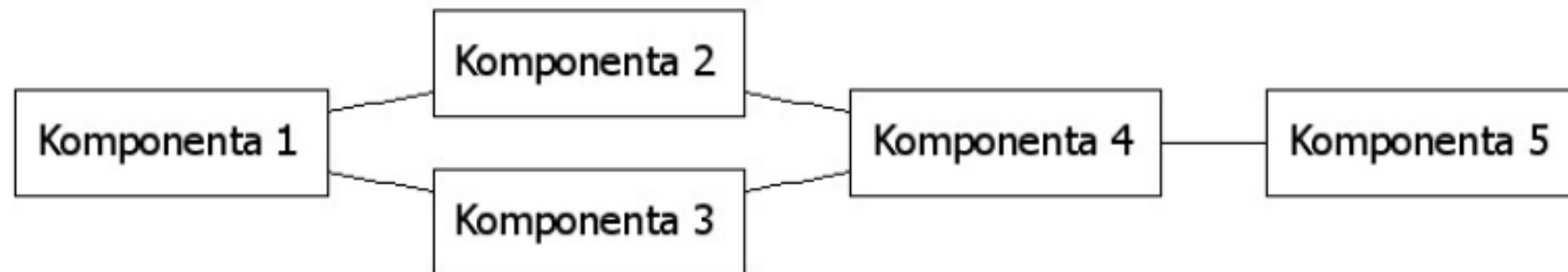
Alati RCM

- Blok dijagram pouzdanosti
- FMEA/FMECA – Analiza načina i efekata (kritičnosti) otkaza
- FTA analiza – Analiza stabla otkaza
- QFD metoda -Raspoređivanje funkcije kvaliteta
- HAZOP analiza



Alat RCM – Blok dijagram pouzdanosti

- Blok-dijagram pouzdanosti je deduktivna metoda za grafičko predstavljanje funkcija komponenti i njihovih veza u obliku blokova. Prikazuje uticaj komponenti na rad sistema, u smislu pouzdanosti.
- Svrha: lakše sagledavanje veza izmedju elementa.
- Ako neka komponenta mora da radi da bi ceo sistem radio onda je ona spojena redno, a ako jedna od više komponenti mora da radi da bi ceo sistem radio onda su te komponente spojene paralelno.
- Nezavisne komponente su one komponente čiji kvar ne utiče na pouzdanost ostalih komponentata sistema.



Slika 1: Blok dijagram pouzdanosti

Veze elemenata u blok dijagramu pouzdanosti

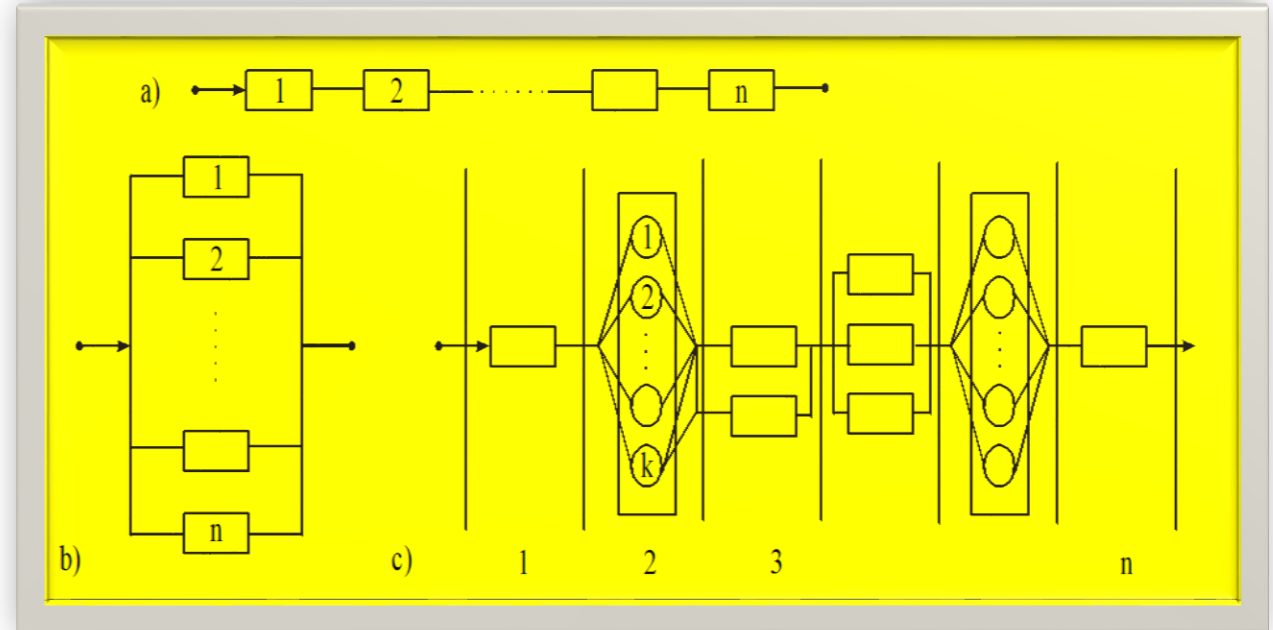


- TIPOVI VEZA:

1. Redna (a)
2. Paralelna (b)
3. Pasivno paralelna (element se uključuje samo pri otkazu)
4. Delimično paralelna (sistem radi sa smanjem performansama sa k umesto n elemenata)
5. Specifična – kvazi redna ili paralelna (po dva redna elementa vezana u paralelu, nema otkaza nego smanjene performanse)
6. Kompleksna – kombinacija prethodnih (c).

- Funkcija pouzdanosti se definiše na osnovu verovatnoće realizacije događaja u cilju kvantifikacije.

- Važe pravila Bulove algebre



$$\begin{aligned}A \cap (B \cup C) &= (A \cap B) \cup (A \cap C), \text{ odnosno} \\A(B + C) &= A \cdot B + A \cdot C \\A \cup (B \cap C) &= (A \cup B) \cap (A \cup C), \text{ odnosno} \\A + BC &= (A + B)(A + C)\end{aligned}$$

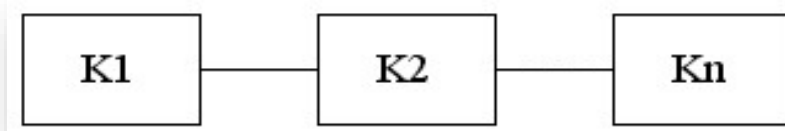


Veze elemenata u blok dijagramu pouzdanosti

Redna veza sistema je veza u kojoj sve komponente obavljaju specifičan zadatak i svaka od komponenti mora raditi kako bi sistem radio. U slučaju nezavisnih komponenti pouzdanost takvog sistema iznosi:

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n$$

Gde je R_S – pouzdanost sistema
 R_i – pouzdanost i-te komponente



Primer: Ako se sistem sastoji od tri redno vezane komponente pouzdanosti 95,90 i 85%, kolika je pouzdanost sistema **posle vremena t od 1000 časova?**

$$R_S = \prod_{i=1}^3 R_i = R_1 \times R_2 \times R_3 = 0.95 \times 0.90 \times 0.85 = 0.72675 = 72.675\%$$



Veze elemenata u blok dijagramu pouzdanosti

Paralelna veza u sistemu je veza kod koje od više komponenti bar jedna mora raditi kako bi sistem radio. Na ovaj način se povećava pouzdanost sistema. Pouzdanost sastava veća je od najveće pouzdanosti komponenta.

Kod sistema sa paralelnim vezama uvodi se pojam *nepouzdanosti*, pojam komplementaran pouzdanosti, a predstavlja verovatnoću pojave kvara u određenom trenutku.

$$F_S = \prod_{i=1}^n F_i = F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n$$

pri čemu je: F_S – nepouzdanost sistema

F_i – nepouzdanost i -te komponente

Pouzdanost i nepouzdanost međusobno su komplementarne funkcije, dakle:

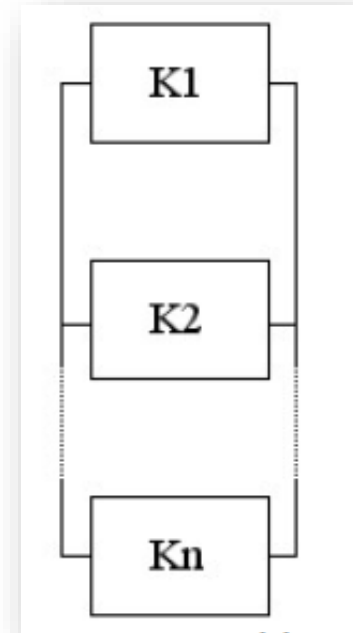
$$R = 1 - F$$

pa je pouzdanost sistema sa paralelnim vezama:

$$R_S = 1 - F_S = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)]$$

Primer: Neka se sistem sastoji od tri nezavisne paralelno spojene komponente čije su pouzdanosti nakon $t = 1000$ h redom $R_1(t) = 95\%$, $R_2(t) = 90\%$, $R_3(t) = 85\%$. Kolika je pouzdanost sistema nakon vremena t ?

$$R_S = 1 - F_S = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times (1 - R_3)] = 1 - 0.05 \times 0.10 \times 0.15 = 1 - 0.00075 = 0.99925 = 99.925\%$$

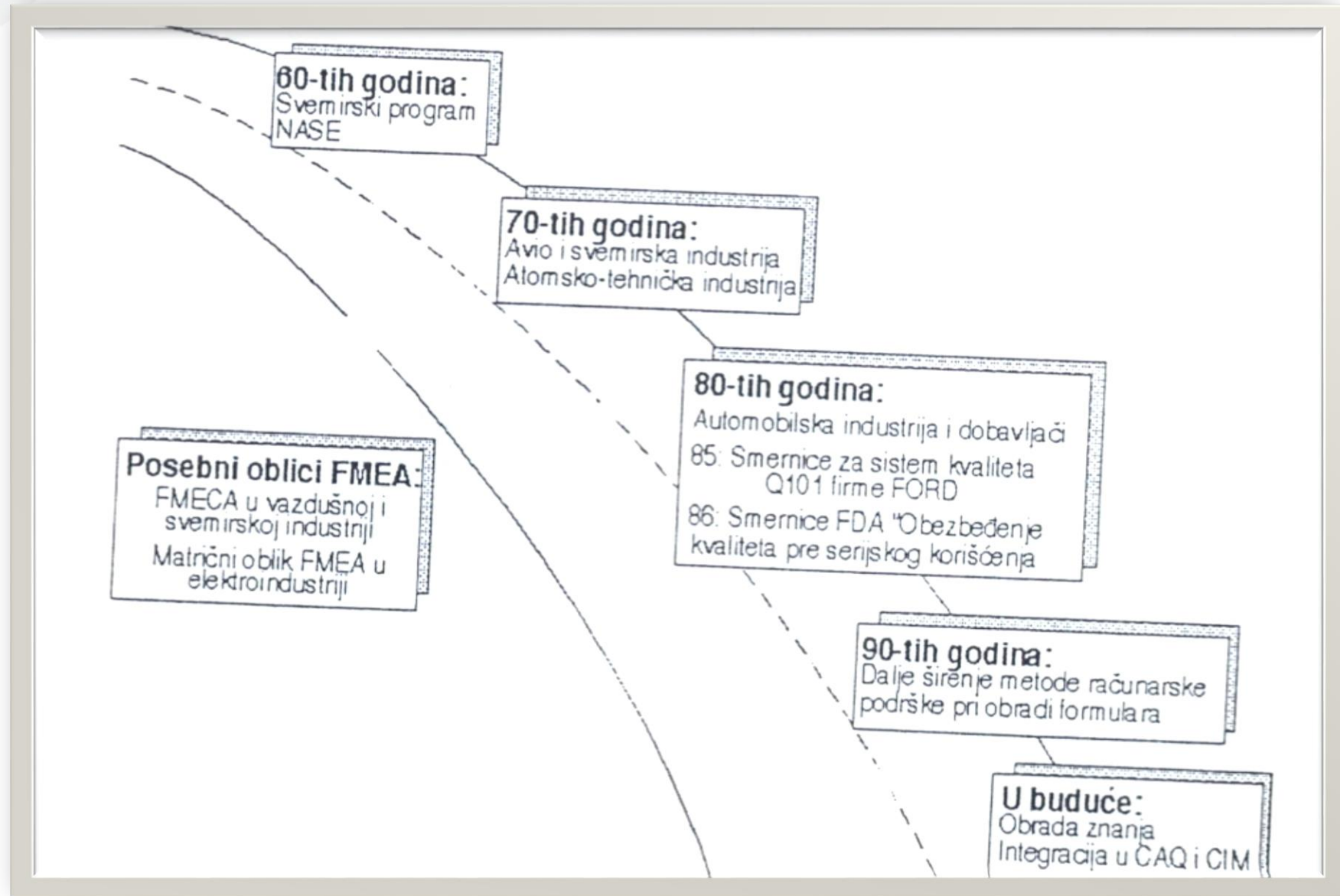




Alat RCM: **FMEA / FMECA – Analiza načina i efekata (kritičnosti) otkaza**

- **FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)** se zasniva na analizi grešaka i njihovom uticaju na proizvod, a sve u cilju preventivnog delovanja radi njihovog sprečavanja.
- **FMEA** je kvalitativna metoda ciji je cilj identifikacija onih načina otkaza komponenti sistema koji mogu onesposobiti rad sistema ili izazvati nesreće sa značajnim posledicama.
- Alternativni naziv metode je **FMECA** (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis). FMECA je u osnovi ista kao metoda FMEA, osim što uključuje i analizu kritičnosti otkaza.
- Analiza načina i efekata otkaza je alat za procenu načina i efekata potencijalnih otkaza podsistema, sklopova, komponenti ili funkcija.

FMEA - istorija





FMEA – osnovni pojmovi

- **Otkaz** (*Failure*) - Odstupanje od planirane funkcije ili ponašanja; nemogućnost sistema, podsistema ili komponente da obave potrebnu funkciju.
- **Način (oblik) otkaza** (*Failure mode*) - način na koji element otkazuje; oblik ili stanje elementa u kome se element nalazi posle otkaza.
- **Uzrok otkaza** (*Failure cause*) - proces ili mehanizam odgovoran za pokretanje otkaza. Proces koji mogu prouzrokovati otkaz komponente su npr. fizički otkaz, mana u modelu, defekt u proizvodnji, uticaj okoline itd.
- **Efekat otkaza** (*Failure effect*) - posledica otkaza na funkcionisanje ili status elementa i sistema.



Uzrok-otkaz-posledica(efekat)





Ciljevi FMEA

Cilj FMEA analize je da se omogući:

- otkrivanje i lokalizovanje grešaka na proizvodu
- izbegavanje ili ublažavanje rizika na nekom projektu
- sprečavanje troškova izazvanih povlačenjem proizvoda iz eksploatacije
- podizanje nivoa imidža preduzeća

FMEA je tehnika koja daje odgovor na pitanja:

- Šta može da otkáže?
- Kako otkazuje?
- Koliko često će da otkazuje?
- Koji su efekti otkaza?
- Koje su posledice otkaza po pouzdanost / sigurnost?

Vrste FMEA



Razlikujemo više vrsta FMEA i to:

- FMEA **systema** – fokusira se na globalne funkcije sistema
- FMEA **konstrukcije ili dizajna** - analizira proizvode pre nego što krenu u proizvodnju, fokusira se na otkaze uzrokovane greškom u dizajnu, radi se na tri nivoa: sistem, podsistem i komponente
- FMEA **proces** - fokusira na procese proizvodnje i montaže, takodje se radi na sva tri nivoa
- FMEA **usluga** - fokusira na funkciju usluge

	Objekt posmatranja	Osnove FMEA	Trenutak nastajanja	Odgovornost za sprovođenje
FMEA Sistem	Nadređeni proizvod / sistem (npr. automobil)	Koncept proizvoda	Koncept proizvoda nakon izrade	Razvoj
FMEA Konstrukcija	Značajan sklop	Konstruktivna dokumenta	Konstruktivna dokumenta posle izrade	Konstrukcija
FMEA Proces	Koraci procesa izrade (npr. livenje)	Planovi izrade	Plan posle izrade	Planiranje izrade
FMEA Usluga	Koraci odvijanja usluge (npr. služenje kafe)	Planovi usluge	Plan posle usluge	Planiranje usluge

Rad sa FMEA



1. Definisane objekta posmatranja
2. Prikupljanje podataka o mogućim otkazima
3. Opis mogućih posledica otkaza
4. Prikupljanje mogućih uzroka otkaza
5. Sadašnje kontrolne mere
6. Procena verovatnoće nastanka otkaza (R1)
7. Efekat tj posledica otkaza – posledica za korisnika (R2)
8. Procena verovatnoće otkrivanja otkaza(R3)
9. Prioritetna vrednost rizika (R)
10. Preporučene mere za otklanjanje otkaza
11. Analiza poboljšanog stanja

- FMEA analiza obuhvata sledeće aktivnosti:

1. Utvrđivanje otkaza koji mogu da nastanu kao posledica greške u projektovanju
2. Pronalaženje uzroka svakog eventualnog otkaza
3. Analiza svakog para "mogući otkaz - mogući uzrok" utvrđivanjem verovatnoće pojave otkaza, mogućih posledica na proizvodu, verovatnoću da se uzrok otkaza otkrije u procesima konstruisanja, proizvodnje i kontrole.
4. Vrednovanje faktora rizika i to:Faktora rizika pojave otkaza, Faktora rizika posledice otkaza i Faktora rizika neotkrivanja otkaza
5. Izračunavanje indeksa prioriteta rizika množenjem tri faktora

TOK ODVIJANJA:

- donošenje odluke o FMEA,
- imenovanje FMEA tima,
- priprema za analizu,
- analiza projekta,
- ocena postojećeg stanja,
- kontrola FMEA,
- sprovođenje korektivnih mera i
- ocena rezultata korektivnih mera.



Rad sa FMEA

Koraci 1,2, i 3 :

1. Definisane objekta posmatranja –identifikacija svih komponenti na posmatranom nivou hijerarhije, i željenom nivou detaljnosti.

2. Prikupljanje podataka o mogućim otkazima

Pravi se lista funkcija svake identifikovane komponente. Zatim se identifikuju načini otkaza za svaku komponentu. Najčešće će biti više načina na koje jedna komponenta može da otkáže.

3. Opis mogućih posledica/efekata otkaza

Odredjuju se posledice na sistem, kako lokalne (neposredne) tako i globalne (sistemske).

RCM radni list FMEA	Mesto troška: Transportni trak 010-001-000	Radna grupa: RCM-1	Datum: 19.08.2004
	Predmet analize: EM zupčani prenosnik 010-001-012	Odgovorni: Janez Pouzdani	List / od ukupno lista: 1/1
FUNKCIJA	GUBITAK FUNKCIJE	NAČIN OTKAZA	POSLEDICE
Pogon transportne trake, moment barem 400 Nm, $n_2=50\pm 2\%$, $f_b=1.2$	Potpuni ispad pogona	Lom zuba	Oštećenje kućišta, ležajeva, osovine i brtvila te kontaminacija ulja. Prekid proizvodnje v djelu procesa iza transportne trake. Nagomilavanje poluproizv. u djelu procesa ispred transportne trake. Zastoj 2-2.5 sata.
	Puštanje ulja	Oštećenje kućišta	Puštanje ulja u okolinu. Kontaminacija maziva. Zastoj 2-2.5 sata.
		Radijalno brtvilo pušta	Puštanje ulja u okolinu. Zastoj 0.2-0.3 ur.
	Prekomerna buka i vibracije	Piting zuba	Skraćenje vijeka trajanja prijenosnika.

Rad sa FMEA



Koraci 4,5 i 6:

4. Prikupljanje mogućih uzroka otkaza

- Za svaki mogući otkaz (koju smo prikupili u koraku 2) sakupljaju se svi mogući uzroci. Uzroci mogu biti uslovljeni sistemom, konstrukcijom, izradom ili montažom. Oni moraju sa jedne strane da budu što obuhvatniji, a s druge strane što je moguće sažetiji, jer kasnije za svaki uzrok treba pronaći korektivnu meru.

5. Sadašnje kontrolne mere

- Ako već postoje prikladne mere za sprečavanje otkaza, one se beleže uz uzroke otkaza. Ako postoje to znači da su prikladne mere utvrđene u propisima o ispitivanju, regulativama i sl. i da su potvrđene od odgovarajućeg područja. One se moraju razlikovati od prikladnih mere za koje je tek u diskusiji potvrđeno da su potrebne. U svakom slučaju odgovoran rukovodilac FMEA bi trebao da proveri postojanje trenutnih prikladnih mera.

6. Procena verovatnoće nastanka (uzroka)?otkaza (R1)

- Za svaki moguć uzrok otkaza se procenjuje verovatnoća njegovog nastajanja (faktor rizika R1), i vrednuje ocenom od 1 (nije verovatno) do 10 (vrlo verovatno). Kao primer donja tabela pokazuje moguću podelu skale

za R1. Merilo procene skale se može individualno utvrditi. Ali, trebalo bi ga zadržati za celu FMEA. Da bi se procenila učestalnost nastajanja, kod FMEA konstrukcije se uzima u obzir čitav životni vek podsklopa, kod FMEA procesa se uzima celokupan proces,..Samo postojeće prikladne mere, koje treba da spreče nastajanje, smeju da se obuhvate procenom.

Verovatnoća nastajanja	Učestanost	Procena
Nije verovatno da nastane greška.	0	1
veoma malo:		
konstrukcija generalno odgovara ranijim nacrtima, za koje je javljen srazmerno mali broj grešaka.	1/20.000	2
	1/10.000	3
neznatno:		
konstrukcija generalno odgovara ranijim nacrtima, kod kojih su nastajale greške povremeno, ali ne velikoj meri.	1/2.000	4
	1/1.000	5
	1/200	6
umereno:		
konstrukcija generalno odgovara nacrtima, koji su u prošlosti uvek iznova prouzrokovali greške.	1/100	7
	1/20	8
visoko:		
Skoro je sigurno, da će greške nastati u većem obimu.	1/10	9
	1/2	10

Rad sa FMEA



Koraci 6 i 7:

7. Procena ozbiljnosti efekta tj. posledica otkaza – posledica za korisnika (R2)

Na kraju se za svaki otkaz procenjuje značaj posledica njegovog nastajanja, za korisnika (kupca) – faktor rizika R2. U prednjem planu je sposobnost funkcionisanja. Za ovo se koristi skala od 1 (nema posledica) do 10 (teške posledice), koja se u tabeli za R2 kao primer bliže rasčlanjuje. Korisnici kod FMEA konstrukcije su uvek krajnji potrošači, kod FMEA procesa korak u procesu, koji treba dalje da se obradjuje.

8. Procena verovatnoće otkrivanja (detekcije) uzroka otkaza (R3)

Za svaki uzrok otkaza se procenjuje verovatnoća da se on može otkriti – faktor rizika R3. I ovde se koristi skala od 1 (vrlo verovatno) do 10 (neverovatno) kao što je npr. pokazano u datoj tabeli. Pri tome se procenjuje efikasnost već postojećih prikladnih mera za slučaj da nastane otkaz.

Značaj (posledica za kupca)	Procena
Neverovatno je, da bi greška mogla da ima bilo koju posledicu na ponašanje proizvoda ili sistema. Kupac verovatno neće primetiti grešku.	1
Greška je beznačajna i to kupca samo neznatno opterećuje. Kupac će verovatno primetiti samo neznatno poremećenje sistema.	2 - 3
Greška srednje težine, koja kod nekih kupaca izaziva nezadovoljstvo. Kupac će primetiti poremećenje i time će biti opterećen.	4 - 6
Teška greška, koja ljuti kupca. Ali, nisu pogođeni sigurnosni aspekti ili zakonska prekoračenja.	7 - 8
Izuzetno teška greška, koja vodi ka tome, da roba ostaje neprodana ili se remete sigurnost i/ili poštovanje zakonskih propisa.	9 - 10

Verovatnoća otkrivanja	Procena
Visoka (veća od 99,99%); funkcionalna greška, koja će skoro sigurno biti primećena u sledećim radnim hodovima.	1
Srednja: (veća od 99,7%); očigledna greška, koja se npr. 100% automatski ispituje i verovatno neće doći do kupca.	2 - 5
Neznatna (veća od 98%); lako primetljiva greška, koja se npr. 100% kontroliše ispitivanjem funkcije.	6 - 8
Veoma mala (najmanje od 90%); karakteristika greške, koja se ne može lako uočiti, što se 100% vizuelno ili manuelno ispituje.	9
Neverovatna; skrivena greška, koja se ne uočava u izradi ili montaži, jer se karakteristika ne ispituje niti može da se ispita.	10



Rad sa FMEA

Korak 9:

9. Prioritetna vrednost rizika (R) (na engl. Risk Priority Number (RPN))

Da bi se odredio ukupan rizik računa se tkz. Prioritetna vrednost rizika – faktor rizika R.

R se dobija kao proizvod tri prethodno pominjana faktora rizika: R1, R2 i R3.

$$R=R1*R2*R3$$

Faktor rizika može da ima vrednost izmedju 1 (nema rizika) i 1000 (vrlo veliki rizik). RPN može da se koristi za poređenje otkaza u toku analize i određivanja prioriteta za preduzimanje korektivnih akcija. Uzroci sa visokim R faktorom se dakle prvenstveno mogu otkloniti prikladnim merama poboljšanja na proizvodu i procesu.

Znači prioritetna vrednost rizika ili faktor rizika predstavlja stepen rizičnosti sistema, a dobijen je na osnovu ocene sistema.

Ukoliko dobijena vrednost nije ispod postavljene granice potrebno je uvesti korektivne mere jer se sistem smatra nezadovoljavajućim. Rizik je nizak ako $R \leq 50$, a kritičan ako je $R \geq 200$.

Prioritetna vrednost rizika	Procena
Nizak	< 50
Srednji	50 - 100
Visok	100 - 200
Kritičan	> 200

Ukoliko je FMEA tipa usluga, postoji jedno ograničenje. Vršenje usluga se razlikuje od proizvodnje dobara, jer se one proizvode u istom trenutku u kome se i koriste, znači nemoguće je vraćanje ili zamena.

Zato se kod usluga jednom napravljena greška više ne može ukloniti - nije moguća krajnja kontrola za filtriranje grešaka. Neprimer loša frizura, loša operacija ili zakasneli let se ne mogu naknadno popraviti i povlače za sobom velike gubitke. Zato je verovatnoća otkrivanja greške za FMEA tipa usluge uvek 1 ($R3=1$), pa se rizik računa na sledeći način: $R=R1*R2$



Rad sa FMEA

Koraci 10 i 11:

10. Preporučene mere za otklanjanje otkaza

- Za svaki uzrok greške/otkaza odrediti mere za otklanjanje greške/otkaza: kontrolne mere ili bitna poboljšanja proizvoda
- Za svaki uzrok greške/otkaza odrediti odgovornu osobu i osobu za sprovođenje mera

11. Analiza poboljšanog stanja

- Kada se nove mere primene radi se analiza tako poboljšanog stanja i ako je potrebno opet se nešto poboljšava i tako ciklično dok se sistem ne dovede u zadovoljavajuće stanje.

Jedna od varijanti radnog lista FMEA



PREDUZEĆE		ANALIZA OBLIKA, POSLEDICA I KRITIČNOSTI OTKAZA								Proizvod:		Datum:							
		<input type="checkbox"/> FMECA projekta				<input type="checkbox"/> FMECA procesa				Oznaka proizvoda:		List:							
		Isporučilac:								Konstrukciona celina:		Naziv i oznaka elementa:							
										Izradio:									
Konstruk celina	Naziv elementa	Način otkaza	Posledice otkaza	Uzrok otkaza	POSTOJEĆE STANJE					PREDLOŽENE KOREKTIVNE MERE	ODGOVORNA FUNKCIJA	POBOLJŠANO STANJE							
					Kontrolne mere	PF	FDV	PFR	RPN			Primenjene korek. mere	PF	FDV	PFR	RPN			

Verovatnoća pojave otkaza:
(Probability of Failure - PF)

- zanemarljiva = 1
- niska (1/20000) = 2+3
- srednja (1/1000) = 4+6
- visoka (1/50) = 7+8
- vrlo visoka (1/2) = 9+10

Težina posledice otkaza:
(Failure Demerit Value - FDV)

- nezatna = 1
- prilična = 2+3
- srednja = 4+6
- velika = 7+8
- vrlo velika = 9+10

Verovatnoća otkrivanja otkaza:
(Probability of Failure Remedy - PFR)

- vrlo visoka (>99,99%) = 1
- visoka (>99,7%) = 2+4
- srednja (>98%) = 5+7
- niska (>90%) = 8+9
- zanemarljiva = 10

Ocena stepena kritičnosti otkaza:
(Risk Priority Number - RPN)

$RPN = PF \times FDV \times PFR$

- mala < 50
- srednja = 50+100
- visoka = 100+200
- kritična > 200

Slika 3.5. Obrazac za sprovođenje analize oblika, posledica i kritičnosti otkaza

DOKTORSKA DISERTACIJA	ANALIZA OBLIKA, POSLEDICA I KRITIČNOSTI OTKAZA – FMECA									Proizvod: <i>Teretno vozilo sa uredjajem za samoistovar</i>							
										Oznaka proizvoda: <i>FAP 1921 BK</i>							
										Konstrukciona celina: <i>Mehanički sistem za prenos snage</i>							
										Naziv i oznaka podsistema: <i>zglobni prenosnik</i>							
									Izradio: <i>Predrag Popović</i>			Datum: <i>10.03.2000.</i>			List: <i>1</i>		

Konst celina	Naziv sklopa	Oblik otkaza	Posledice otkaza	Uzrok otkaza	POSTOJEĆE STANJE					Predložene korektivne mere	Odgovorna funkcija	POBOLJŠANO STANJE				
					Kontrolne mere	PF	FDV	PFR	RPN			Primenjene korektivne mere	PF	FDV	PFR	RPN
Z g l o b n i p r e n o s n i k	Prednji krstasti zglob	Prekid toka snage - prenosa obrtnog momenta	Gubitak funkcije	Mehanički lom krsta	Ispitivanje radnih napona	3	9	8	216	Pravilno određivanje materijala i tolerancija	Projektant	Promena materijala i tolerancija	2	5	8	80
	Teleskopsko vratilo	Prekid toka snage - prenosa obrtnog momenta	Gubitak funkcije	Oštećenje (lom) zuba ožljebljenja	Ispitivanje radnih opterećen.	3	9	9	243	Pravilno određivanje materijala i tehnologije izrade	Projektant i tehnolog	Primenjena promena termičke obrade i strožija kontrola izrade	2	6	8	96
	Zadnji krstasti zglob	Prekid toka snage - prenosa obrtnog momenta	Gubitak funkcije	Mehanički lom zglobne porirubnice	Ispitivanje radnih napona	3	9	8	216	Konstruc. Obrlikovanje metodom konačnih elemenata	Projektant	Proračun metodom konačnih elemenata	1	7	8	72
	Zglobni prenosnik	Buka i vibracije	Izvestan gubitak funkcije	- neuravnotežen - preopterećenje - nepravilno sklapanje	Ispitivanje	4	4	6	96	Pravilan izbor reda	Kontrola kvaliteta	Naknadni proračun nosivosti i uravnotežavanje	3	2	6	36

Verovatnoća pojave otkaza:
(Probability of Failure - PF)

- zanemarljiva = 1
- niska (1/20000) = 2÷3
- srednja (1/1000) = 4÷6
- visoka (1/50) = 7÷8
- vrlo visoka (1/2) = 9÷10

Težina posledice otkaza:
(Failure Demerit Value - FDV)

- neznatna = 1
- prilična = 2÷3
- srednja = 4÷6
- velika = 7÷8
- vrlo velika = 9÷10

Verovatnoća otkrivanja otkaza:
(Probability of Failure Remedy - PFR)

- vrlo visoka (>99,99%) = 1
- visoka (>99,7%) = 2÷4
- srednja (>98%) = 5÷7
- niska (>90%) = 8÷9
- zanemarljiva = 10

Ocena stepena kritičnosti otkaza:
(Risk Priority Number - RPHN)

RPN = PF x FDV x PFR

- mala < 50
- srednja = 50÷100
- visoka = 100÷200
- kritična > 200



Jedna od varijanti radnog lista FMEA



FMEA											
Sistem:				Podsystem:				Faza:			
Deo	Funkcija	Način otkaza	Efekti otkaza		Ozbiljnost	Uzrok otkaza	Verovatnoća pojavljivanja	Kako otkaz može da se detektuje?	Detektovanje	RPN	Akcija
			Neposredni	Sistemski							
Analitičar:							Datum:				Strana:

Primer FMEA



Deo	Funkcija	Način otkaza	Efekti otkaza	Ozbiljnost	Uzrok otkaza	Verovatnoća pojavljivanja	Kako otkaz može da se detektuje?	Detektovanje	RPN	Akcija
Plastični uložak	Čuva minu	Nemogućnost držanja olovke	Olovka ne može da se koristi	10	Polomljena plastika	4	KK materijala	2	80	Uvesti jaču KK
Zatvarač	Zatvara uložak	Nemogućnost zatvaranja	Sušenje mastila	8	Polomljen zatvarač	3	KK materijala	3	71	Uvesti jaču KK
		Ne zatvara dovoljno čvrsto	Sušenje mastila	7	Preveliki prečnik zatvarača	5	Provera prečnika omotača i zatvarača	4	140	Uvesti jaču KK
Mina	Čuva mastilo i propušta	Blokiranje	Prestaje snabdevanje mastilom	7	Čestice u izlaznoj rupi	3	Provera čistoće izlazne rupe	5	105	Napraviti širu izlaznu rupu
Mastilo	Obezbeđuje materijal za pisanje	Pogrešna (mala) viskoznost	Veliki protok mastila	4	Previše rastvarača	2	KK snabdevanja mastilom	4	32	Uvesti jaču KK
		Pogrešna (velika) viskoznost	Mali protok mastila	4	Premalo rastvarača	2	KK snabdevanja mastilom	4	32	Ne preduzimati nikakve akcije



Alat RCM: FTA analiza – Analiza stabla otkaza

- Deduktivna metoda za grafičko prikazivanje odnosa izmedju specifičnih događaja koji utiču na vršni događaj.
- Pojam vršnog događaja (top event) – neželjeni događaj
- Logički dijagrami se formiraju pomoću i/ili kapija i standardizovanih simbola događaja i prenosa.
- Jedna od najpogodnijih metoda za analizu otkaza nekog sistema je analiza stabla otkaza (FTA-Fault Tree Analysis).
- FTA koristi dijagram u obliku drveta kako bi pokazao uzročno posledične veze izmedju jednog, neželjenog događaja (otkaza), i različitih uzroka koji su do njega doveli.

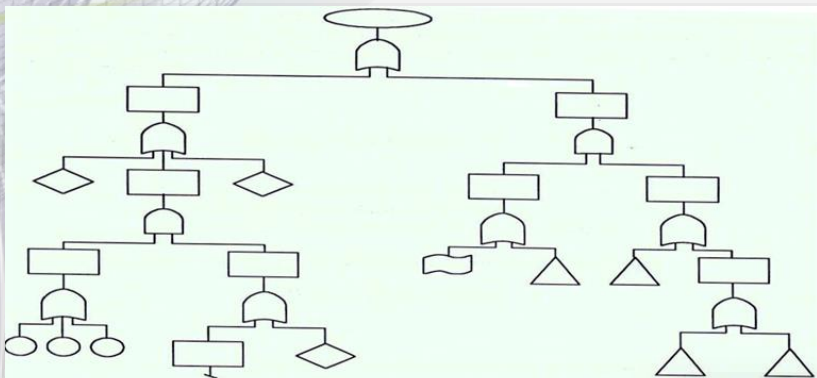






Koraci analize stabla otkaza

1. Definisavanje ciljeva i granica sistema
2. Odredjivanje vršnog događaja
3. Sistematsko prikupljanje podataka o sistemu
4. Konstrukcija stabla otkaza
5. Kvalitativna i kvantitativna ocena stabla
6. Preporuke i alternative za odlučivanje.



FTA analiza – Analiza stabla otkaza



SIMBOL	NAZIV	OPIS
	VRŠNI (TOP) DOGADJAJ	Dogadaj koji se želi sprečiti (da se ne dogodi) ili dogadaj koji se želi postići.
	OPŠTI DOGADJAJ	Dogadaj koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih dogadjaja, koji deluju kroz logičku kapiju.
	OSNOVNI DOGADJAJ	Dogadaj koji ne zahteva dalje razvijanje. Nezavisan dogadaj koji se koristi samo kao ulaz u logičku kapiju.
	NERAZVIJENI DOGADJAJ	Dogadaj koji nije razvijen do sopstvenog uzroka, zbog nepostojanja raspoloživih informacija ili sredstava ili niskog rizika.
	NORMALNO OČEKIVANI DOGADJAJ	Dogadaj koji se prirodno očekuje tokom normalnog funkcionisanja sistema.
	"I" KAPIJA (PROLAZ)	Logička operacija kod koje svi ulazni dogadjaji moraju da se dogode da bi se izazvali izlazni dogadjaji.
	"ILI" KAPIJA (PROLAZ)	Logička operacija kod koje se izlazni dogadaj dešava pod uslovom da se desio samo jedan ili više ulaznih dogadjaja.
	OSNOVNI PRENOS	Osnovni prenos koristi se radi preglednijeg obeležavanja da se jedan dogadaj, ili podstruktura stabla prenese sa jednog mesta na drugo.



Kvantitativna ocena stabla otkaza za nepopravljive elemente

ILI kapija:

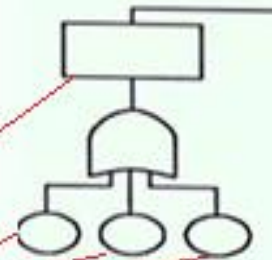
$$D_0 = D_1 + D_2 + D_i + D_i + \dots D_n \quad \text{za } i = 1, 2, \dots, n$$

gde je:

D_0 – događaj na izlazu iz ILI kapije

D_i – i -ti događaj na ulazu u ILI kapiju

N – broj događaja (otkaza) na ulazu u ILI kapiju



Verovatnoća pojave događaja D_0 - $P(D_0)$ na izlazu iz ILI kapije je:

$$P(D_0) = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} [1 - P(D_i)] \quad \text{za } i = 1, 2, \dots, n$$

pri čemu je

$P(D_i)$ – verovatnoća pojave događaja koji ulaze u ILI kapiju



Kvantitativna ocena stabla otkaza za nepopravljive elemente

I kapija:

$$D_{0I} = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_i \cdot \dots \cdot D_n$$

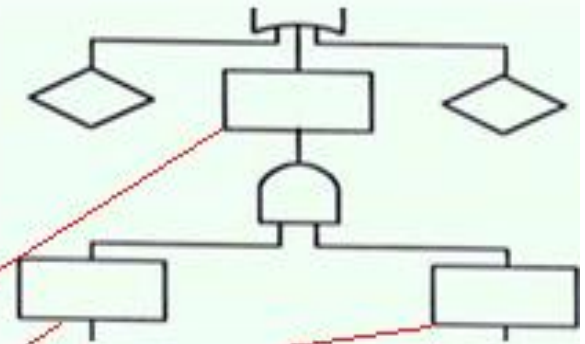
za $i = 1, 2, \dots, n$

gde je:

D_{0I} – događaj na izlazu iz I kapije

D_i – i -ti događaj na ulazu u I kapiju

n – broj događaja (otkaza) na ulazu u I kapiju



Verovatnoća pojave događaja D_{0I} - $P(D_{0I})$ na izlazu iz I kapije je:

$$P(D_{0I}) = \prod_{i=1}^{i=n} P(D_i)$$

pri čemu je sa $P(D_i)$ označena verovatnoća pojave događaja koji ulaze u I kapiju.

Kvantitativna ocena stabla otkaza za popravljive elemente

ILI kapija:

$$U_0 = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} (1 - U_i)$$

gde je: U_0 – neraspoloživost događaja na izlazu iz ILI kapije
 U_i – neraspoloživost i -tog događaja na ulazu u ILI kapiju

pri čemu se neraspoloživost određuje kao odnos:

$$U_i = 1 - A_U = 1 - \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} = \frac{\lambda_i}{\mu_i + \lambda_i}$$

gde su: λ_i – intezitet otkaza
 μ_i – intezitet opravke i -tog elementa sistema,

pod uslovom da je zakon raspodele VREMENA U RADU i vremena U OTKAZU eksponencijalni.

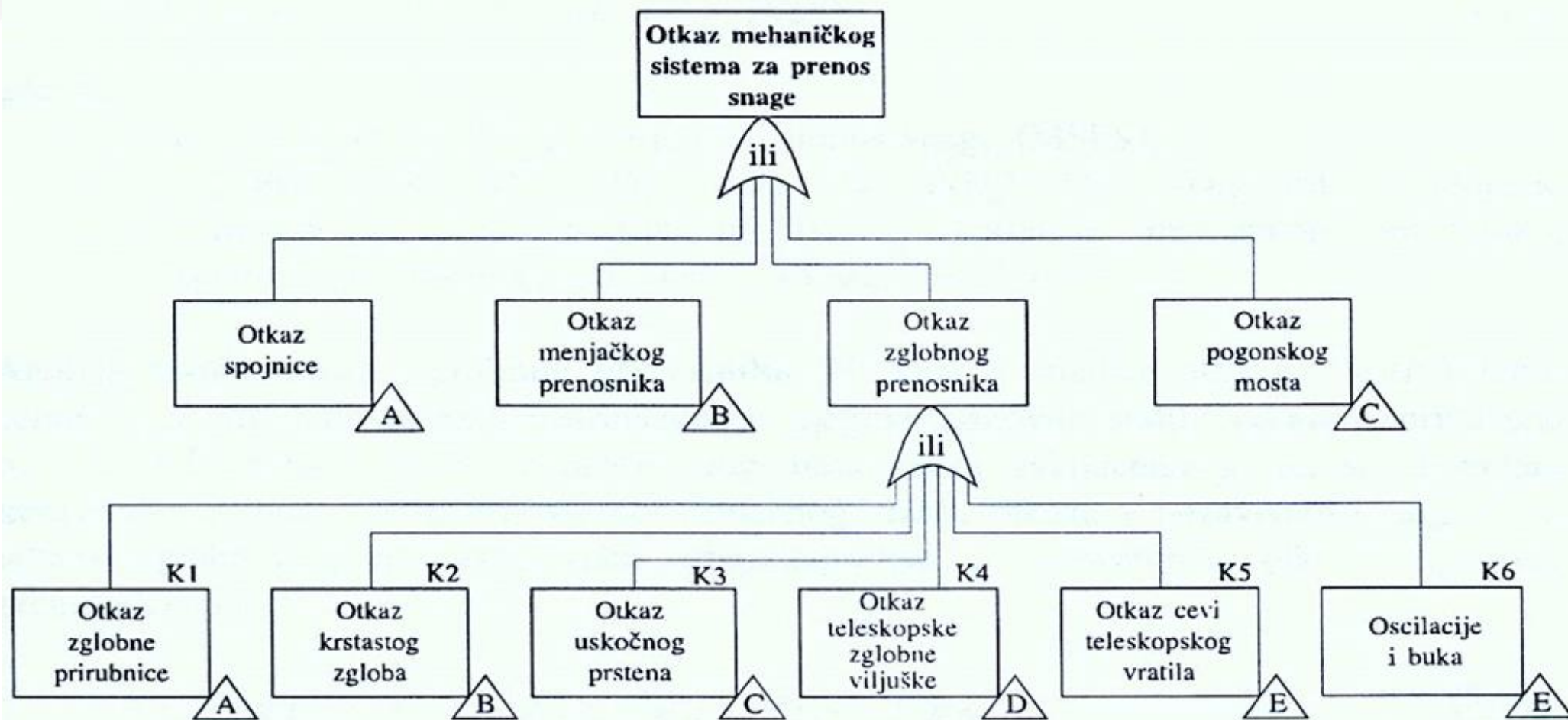
I kapija:

$$U_{0I} = \prod_{i=1}^{i=n} U_i$$

gde su: U_{0I} – neraspoloživost događaja na izlazu iz I kapije
 U_i – neraspoloživost i -tog događaja na ulazu u I kapiju
 n – broj događaja (otkaza) na ulazu u I kapiju



Primer FTA – otkaz sistema za prenos snage



Sl. 5.9. Osnovno stablo otkaza mehaničkog sistema za prenos snage i podsystema-zglobnog prenosnika



Primer FTA – otkaz sistema za prenos snage

Analiza stabla otkaza mehaničkog sistema za prenos snage. U skladu sa definisanim otkazima sklopova i elemenata zglobnog prenosnika, u okviru primene FTA metode, odnosno definisanja vršnog događaja, tj. otkaza zglobnog prenosnika određen je vršni događaj – "Otkaz MSPS". "Otkaz MSPS" (D_5) dogodiće se ako otkaze spojnica, ili zglobni prenosnik, ili menjački prenosnik, ili pogonski most. Na osnovu ovoga konstruisano je osnovno stablo otkaza kao na slici 5.9 i sprovedena kvalitativna ocena stabla otkaza mehaničkog sistema za prenos snage. Događaj - "Otkaz MSPS" u analitičkom obliku glasi:

$$D_5 = D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4 \quad (5.47)$$

Na osnovu ovih događaja verovatnoća otkaza MSPS prema zakonu o zbiru verovatnoća događaja, je:

$$\begin{aligned} P(D_5) &= P(D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4) = \\ &= \sum_{i=1}^4 P(D_i) + \sum_{i=1}^{4-1} \sum_{i=i+1}^4 P(D_i)P(D_{i+1}) + \sum_{i=1}^{i+1} \sum_{i=i+1}^{i+2} \sum_{i=i+2}^{i+3} P(D_i)P(D_{i+1})P(D_{i+2}) + \prod_{i=1}^4 P(D_i) = \end{aligned} \quad (5.48)$$

Medjutim kako su ovi događaji-otkazi podsistema MSPS međusobno nezavisni i isključivi, "verovatnoća otkaza MSPS" glasi,

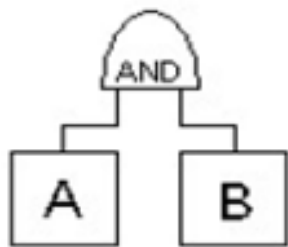
$$P(D_5) = P(D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4) = \sum_{i=1}^4 P(D_i) \quad (5.49)$$

gde je:

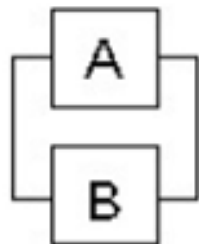
- D_5 , otkaz mehaničkog sistema za prenos snage (MSPS),
- D_i , $P(D_i)$, D_1 , $P(D_1)$, D_2 , $P(D_2)$, D_3 , $P(D_3)$, D_4 , $P(D_4)$, otkaz, odnosno verovatnoća otkaza podsistema (i), tj. spojnice, menjačkog prenosnika, zglobnog prenosnika i pogonskog mosta, respektivno.



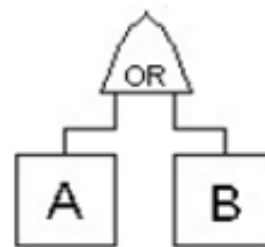
Analogija sa blok dijagramom



Slika 5: FTD
 $A \text{ AND } B$



Slika 6: RBD
 $A \parallel B$

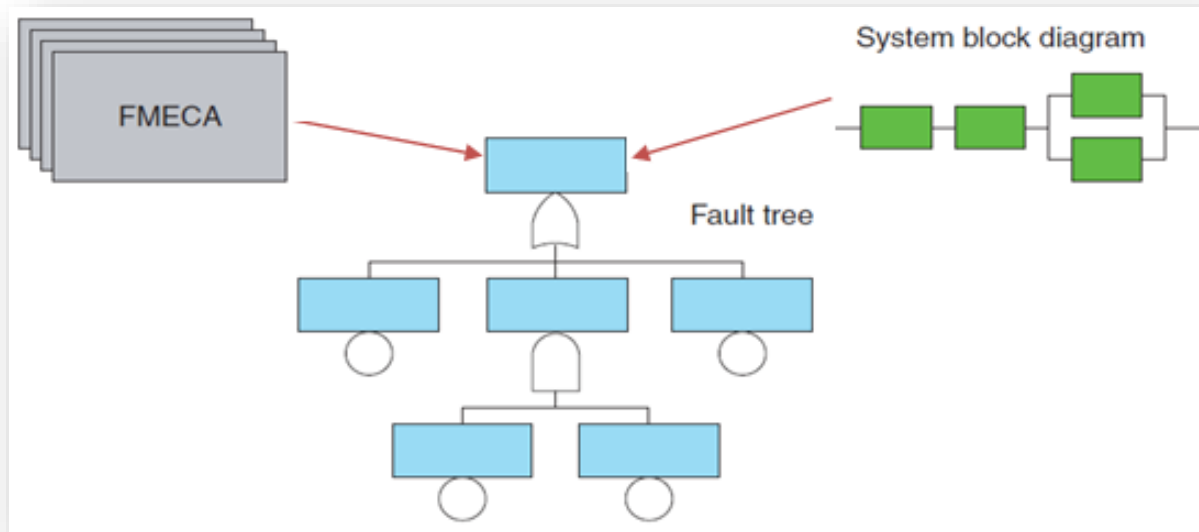


Slika 7: FTD
 $A \text{ OR } B$



Slika 8: RBD
 $A \rightarrow B$

Veza tri alata RCM





HVALA NA PAŽNJI

