

KLASIFIKACIJA AKTIVNOSTI ODRŽAVANJA NA BAZI RCM-a NA PRIMERU PUMPNOG POSTROJENJA

Dr Zoran Petrović, Branko Radičević, dr Miomir Vukićević, Mišo Bjelić

Kategorizacija rada: STRUČNI RAD
 Recenzent: Prof. dr Dragica Milenković
 Rad primljen: 06.03.2009.

ADRESA:
 36000 Kraljevo
 Mašinski fakultet
 Dositejeva 19
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/>

Rezime: U radu je dat predlog strategije održavanja zasnovane na RCM-u (Reliability Centred Maintenance) na primeru pumpnog postrojenja. Osnovni zadatak ovakve analize je da se obezbede takvi postupci održavanja koji će omogućiti očuvanje funkcija sistema. Osnovna RCM modela je FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis) metoda sa logičkim stablom odlučivanja. Na osnovu analize funkcija sistema, funkcionalnih otkaza, uzroka otkaza i posledica koje otkaz ima na sistem okolinu i bezbednost, utvrđene su korektivne i preventivne aktivnosti održavanja pumpnog postrojenja. Navedene su i odgovarajuće preporuke za primenu i implementaciju ovakve strategije održavanja.

Ključne reči: Održavanje orijentisano na pouzdanost (RCM), pumpno postrojenje, logičko stablo otkaza.

1. UVOD

Pod tradicionalnim strategijama održavanja podrazumeva se preventivno, korektivno i kombinovano održavanje. Savremene strategije održavanja su: RCM, TPM, održavanje prema stanju, prediktivno održavanje. Rezultati njihove primene su raznoliki. Rezultati postignuti primenom strategije RCM, u različitim slučajevima, su sledeći [4]: smanjenje broja radnih sati za preventivno održavanje za 87%; smanjenje ukupnog broja radnih sati za održavanje do 29%; smanjenje troškova repromaterijala za održavanje do 64%; povećanje raspoloživosti opreme i sistema do 15%; povećanje pouzdanosti tehničkih sredstava do 100%.

Poznato je da se investicije u RCM vraćaju za 3 do 6 meseci, eventualno godinu dana i da se smanjuje broj zahteva za održavanje za 25 do 40%. Međutim, za njegovu primenu potrebno je 3 do 6 godina, jer su procedure analize, posebno FMECA, vrlo komplikovane, pa time i dugotrajne.

Kritičari primene ove strategije ističu da je ona namenjena za projektovanje tehničkih sistema i da su joj ograničene mogućnosti za tehničke sisteme koji su u eksploataciji. Neki smatraju da je komplikovana i dugotrajna, posebno kada se do detalja razrađuje FMECA. RCM ne uzima u

obzir planiranje i planske zastoje tehničkih sistema, pa se smatra da je pogodna samo za složene tehničke sisteme.

Shvatajući značaj i mogućnosti RCM-a International Society of Automotive Engineers (SAE) je oformio Tehnički komitet koji je 1999. godine uobličio standard JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centred Maintenance (RCM) Processes. Ovaj standard treba da pomogne svakom ko želi da implementira RCM pošto definiše smernice i pojašnjava mnoge detalje i aktivnosti koji se sprovode prilikom implementacije.

2. PROMENA POKAZATELJA ODRŽAVANJA PRIMENOM RCM-A

Zaključci koji su proizašli kao rezultat istraživanja vezanih za sistem održavanja gde je primenjen RCM, ukazuju na činjenicu da se, na temelju iznesenih rezultata, može izvršiti rangiranje razmatranih faktora koji utiču na promenu pokazatelja uspešnosti funkcionisanja i mogućnosti primene u odnosu na potrebna ulaganja. Promenama u sistemu održavanja treba pristupiti prema redosledu značaja ovih faktora, odnosno takvim redosledom razvojnih koraka postigli bi se najveći efekti uz najmanja ulaganja.

Ovaj redosled je, takođe, logičan, jer npr. bez uvođenja automatske obrade podataka i informacionog sistema nema efikasnog upravljanja zalihama r/d. Redosled razvojnih koraka (ili relevantnih faktora prema značaju) koje treba sprovesti je sledeći:

1. Može se tvrditi da je koncepcija - strategija održavanja ključni faktor koji utiče na efikasnost i efektivnost sistema održavanja. Ukoliko se broj radova održavanja smanji za oko 40%, raspoloživost opreme može se povećati za oko 30% (praktično koliko manje radnji održavanja toliko veća raspoloživost), a broj radnih mesta u održavanju smanjiti i do 10%. Ovaj zaključak je i logički jasan jer je očigledno da će opredeljenje za strategiju održavanja uticati na karakter, obim i učestanost radova održavanja koje treba izvršiti u konkretnom sistemu. Šire gledano, ovde treba uključiti i primenu koncepta ILS (Integrated Logistics Support).

2. Od pojedinačnih faktora najveću pažnju treba obratiti na skraćivanje administrativnih vremena kroz izmene u tipu i obliku upravljačke – organizacione strukture, i primenu savremene tehnologije za prenos i obradu informacija. Povećanje broja izvršenih radova za isto vreme u tom slučaju je oko 15% a rast pokazatelja raspoloživosti za oko 5%. To, kao i naredni stav zahteva, pored redizajniranja organizacione strukture, postupaka i procedura za upravljanje, i uvođenje odgovarajućeg informacionog sistema na nivou preduzeća (Computerised Maintenance Management System – CMMS).

3. Sledeći faktor po značenju je skraćenje logističkih vremena, posebno kroz određivanje optimalne količine, načina upravljanja i rasporeda zaliha r/d po nivoima i ubrzanje za njih vezanih materijalnih i informacionih tokova.

4. Povećanje kvaliteta izvršenja radova održavanja više zahteva promene u ponašanju servisera nego materijalna ulaganja. Na povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti utiče oko 2 do 3%.

5. Uvođenje i primena savremene dijagnostičke opreme svakako je jedan od najznačajnijih svetskih trendova (to je i sastavni deo opredeljenja za strategiju održavanja, bez čega se ne mogu odrediti potrebe za ovom vrstom opreme). Povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti je oko 15% do 10% povećanja tačnosti dijagnostike.

6. Uvođenjem savremene remontne opreme (za rastavljanje, sastavljanje, itd.) raspoloživost bi se povećala za oko 1%.

7. Ostali rezultati ukazuju na potrebu za što tačnijim utvrđivanjem izvršnih i upravljačkih elemenata sistema održavanja, radi dodatnog smanjenja troškova.

Promene u sistemu navedenim redosledom dale bi zbirni efekt tako da se može očekivati povećanje pokazatelja uspešnosti do 30%. Poboljšanja se mogu izvršiti i kombinacijom nekih od navedenih koraka.

Spomenute činjenice rezultirale su razvojem novih pristupa i strategija održavanja složenih tehničkih sistema. Jedan od njih, tzv. Održavanje usmereno na pouzdanost (Reliability Centered Maintenance - RCM), ogleda se u tome da se na smanjenje intenziteta pojave otkaza može uticati već u fazi izrade projekta, izborom odgovarajućih tehničkih rešenja. Na ovaj način definisanje strategije održavanja pomaknuto je već u fazu projektovanja tehničkog sistema. Ostali činiooci RCM-a su rukovodioci ili osoblje koje upravlja proizvodnjom i održavaoci tehničkih sistema. Njihova je uloga da primenom stručnog znanja i prikupljenih podataka tokom praćenja sistema u eksploataciji, kao i redovnim remontima utiču na rano prepoznavanje funkcionalnih grešaka koje mogu dovesti do pojave otkaza.

Takva strategija podrazumijeva maksimalnu primenu tehnika održavanja predviđanjem kojima se na temelju praćenja stanja i parametara sistema može uticati na rano otkrivanje potencijalnih otkaza u kombinaciji s preventivnim održavanjem prema vremenskim intervalima i periodičnim remontima.

3. RAZLOZI ZA UVOĐENJE RCM-A

1. Nedovoljno preventivno održavanje

Ovaj problem je na čelu liste problema održavanja, jer najveći trošak održavanja postrojenja i opreme pojavljuje se u oblasti korektivnog održavanja. Posmatrano sa druge strane, veliki broj radnika održavanja bavi se korektivnim održavanjem. U ogromnoj većini slučajeva korektivno održavanje ima najvišu cenu svedenu na jedinicu proizvoda.

2. Problem ponavljanja

Navedeni problem je vezan sa prethodnim. Kada je popravka opreme korektivana i kada se teži samo za što bržim otklanjanjem kvarova, bez analize zašto je oprema otkazala, problem neće biti rešen trajno. Rezultat takvog rada je ponovo ponavljanje istih problema. Ako se ne razume zašto je oprema dospela u stanje otkaza i ako se ne znaju načini otkaza i ako se ne znaju načini

za otklanjanje uzroka otkaza, servisiranje može biti privremena mera koja će kratkotrajno rešiti problem koji u velikom broju slučajeva može dobijati na svom intenzitetu.

3. Greške pri održavanju

Radnici održavanja bilo da se radi o preventivnom ili pak korektivnom održavanju čine greške. Postavlja se pitanje koji je to podnošljiv nivo ljudskih grešaka u programu održavanja. Da li je to 1 greška u 100 radova, jedna u 1000 ili pak 1 u 10? Odgovor leži u posledici učinjene greške. Ali ipak u razmatranje se mora uključiti i cena koštanja korektivnih faktora kao drugi ključni faktor pored pouzdanosti. Najveći deo rukovodilaca koji se bavi održavanjem tehničkih sistema koji zahtevaju visoku pouzdanost koja teži podatku jedan u milion, ali realnost je nažalost često drugačija pa je u stvarnosti to češće 1 u 100. Evo snažnih dokaza za to. Ljudska greška tokom održavanja se pojavljuje sa učestanošću od oko 50% u ukupnom broju otkaza tehničkih sredstava.

4. Pravila tehničke eksploatacije nisu pretvorena u institucionalni oblik

Nedovršeno se može zaključiti na mnoštvu primera održavanja tehničkih sistema da su ljudske greške veliki problem. U prvom koraku je potrebno poznavati pravila tehničke eksploatacije i procedure koje će pomoći da ne dođe do stanja otkaza. Pravila eksploatacije i održavanja potrebno je rešiti institucionalno kako bi se greške, radne navike i obaveze svih zaposlenih koji na direktan ili indirektan način učestvuju u procesu eksploatacije i održavanja svele na minimalnu meru. Postoje i drugi pristupi gde je pojedinac upoznat sa malim procentom procedura održavanja. Još gori pristup je onaj način gde je proces održavanja formalizovan (procedure, trening itd.), ali se u stvarnosti ne poštuje ili se pak delimično poštuje.

5. Nepotrebno i konzervativno preventivno održavanje

Na prvi pogled moglo bi se reći da je ovaj problem u kontradikciji sa stavom ispred. Plan preventivnog pregleda je jedan jasan i pregledan dokument, ali se ukazuje paralelna potreba za analizu preventivnog održavanja po pojedinim kategorijama i neprekidno traženje odgovora „Da li je ono pravo“? Iskustvo pokazuje da neke od preventivnih aktivnosti nisu pravilno definisane ili pak primenjene. Ako se analiziraju preventivne aktivnosti može se zaključiti da je moguće pronaći 5 do 20% primenjenih

aktivnosti čijom primenom bi stanje otkaza opreme postalo jako malo verovatno. Osnovna ideja se sastoji u tome da treba stvoriti tzv. „nov program“ preventivnog održavanja. U praksi se pokazalo da više od 50% preventivnih aktivnosti se odrađuju prerano [3].

6. Površno obrazloženje za preventivne aktivnosti

Pre obavljanja neke aktivnosti održavanja uobičajeno pitanje za direktora održavanja je, zašto je neku preventivnu aktivnost potrebno izvesti. Mogao bi odgovor biti podržan sa bilo kojom argumentacijom i dokumentacijom kao i rekonstrukcijom predašnjih otkaza, ali to često nije dovoljno da se pojedine preventivne aktivnosti odobre pre svega zbog finansijskih razloga. Na žalost, retko gde se mogu pronaći podaci o mogućim uzrocima otkaza a posebno posledicama koje takvi otkazi mogu izazvati.

Ako izdaci za održavanje (PO+KO) nisu veliki i ako se otkaz opreme ne sme dogoditi, to praktično predstavlja najpovoljniju varijantu. Ova dva faktora su dovoljni kao razlozi za formiranje baze podataka. Primeri ovakve opreme koja mora imati visoku pouzdanost su avijacija i nuklearna postrojenja.

7. Dostupnost i transparentnost programa održavanja

Ako dođe do otkaza opreme pri izvođenju radnih operacija uvek se može upisati uzrok neispravnosti opreme i uneti u bazu otkaza koja će definisati preventivne aktivnosti. Često se dešava da bez obzira na postojanje kompjuterizovanog sistema za upravljanje održavanjem i ceni koštanja tih aktivnosti, podaci o tome ostaju samo u glavama ili fiokama zaposlenih kadrova koji se bave održavanjem. Ako oni napuste preduzeće, znanje stečeno o otkazima postrojenja odlazi sa njima. U današnje vreme, kada je cena kompjuterskih sistema i odgovarajućih softvera niska, prava je šteta nemati podatke o opremi i njihovim otkazima.

8. Slepno pridržavanje preporuka proizvođača po pitanju održavanja

Proizvođač skoro uvek obezbeđuje neku formu uputstva za eksploataciju i održavanje opreme. Međutim treba imati u vidu da proizvođač najčešće ne posmatra održavanje sa stanovišta potrebe za preventivnim održavanjem. Ne retko se dešava da proizvođač daje spisak aktivnosti vezanih za održavanje koje će obezbediti ispravno funkcionisanje u garantnom roku, ne upuštajući se u razloge nastanka otkaza i posledice koje ti otkazi mogu izazvati. Drugi

problem je u tome što proizvođač prodaje opremu za nekoliko različitih mušterija, kod kojih će oprema raditi u potpuno različitim uslovima. Retko kada će proizvođač prilagoditi opremu za vaše specifične uslove. Ovo još jednom potvrđuje da je potrebno formirati sopstvenu bazu podataka koja će obuhvatiti analizu vrsta, posledica i kritičnosti otkaza.

9. Promenljivost programa preventivnog održavanja između iste i slične opreme

Često se može javiti situacija da ista oprema u istoj fabrici ako se koristi za obavljanje različitih proizvodnih operacija, ima potrebu za različitim preventivnim aktivnostima. Odavde se nameće zaključak da se oprema ne može posmatrati po grupama, već da je svaka mašina sa svojim sastavnim delovima, priča za sebe.

10. Nedovoljna korist od tehnologije prediktivnog održavanja

Prediktivno održavanje je značajno napredovalo prethodnih godina. Prediktivno održavanje je vezano za prikupljanje i obradu podataka koji se odnose na parametre mašina i opreme. Sve procese karakteriše određeni broj parametara čije vrednosti se u toku vremena kreću u okviru unapred utvrđenih granica. Značaj ovakvih postupaka je u tome što se tačno može utvrditi kada je neophodno izvršiti aktivnost održavanja kako bi se preventivno sprečio otkaz. Neke od ovih metoda su vrlo efikasne, kao što je na primer vibrodijagnostika rotacionih mašina. Ako se održava veliki broj mašina, oprema i postrojenja onda je ovakav prilaz sa prediktivnim održavanjem veoma skup. Osim toga, vrlo često prediktivno održavanje je bazirano na globalne a ne na kritične aktivnosti.

11. Pravilo 80/20

Ispitivanja u nekoliko oblasti održavanja u industriji SAD pokazuju da direktori i kadrovi održavanja znaju za pravilo 80/20 i njegovo praktično značenje. [3]. Tako, kod opreme, 80% korektivnih aktivnosti vezanih za održavanje i troškovi koji te aktivnosti prate su beskorisni, a stvarni troškovi leže u 20% podsistema i elemenata opreme koji zaista mogu doći u stanje otkaza. Posmatrajući na prvi pogled, svi direktori održavanja bi iskoristili ovo pravilo i uložili određena finansijska sredstva u cilju pronalazjenja tih 20% elemenata i podsistema koji mogu dospeti u stanje otkaza, a sa druge strane bi dobili veoma veliku pouzdanost celog sistema. Problem je što ovakve aktivnosti mogu uraditi samo eksperti održavanja.

12. Otsutnost dugoročnih planiranja

Strateško planiranje nije potpuno ukorenjeno u industrijskoj kulturi. Vrlo često se rezultati poslovanja analiziraju tromesečno a sve više se u proizvodnji javlja trend rada u malim serijama za poznatog kupca. U situaciji kada se sve češće čuje termin „kratkoročna reprodukcija“ nije logično očekivati odobravanje resursa za unapređenje i poboljšanje održavanja tehničkih sistema.

4. OSNOVNI PRINCIPI RCM-A

Pre otpočinjanja opsežne RCM analize i definisanja zahteva, neophodno je formirati detaljan katalog tehnoloških sistema koji su predmet održavanja, kao i sprovesti detaljno upoznavanje sa proizvodnim procesom. Nakon realizacije ova dva neophodna koraka, za svaki od definisanih tehnoloških sistema potrebno je postaviti sedam osnovnih pitanja/zahteva koncepcije RCM i dati detaljne odgovore na svako od njih. Tih sedam pitanja su:

- Koje su funkcije opreme bitne u tekućoj eksploataciji?
- Koji se otkazi opreme mogu pojaviti?
- Koji su uzroci pojave otkaza?
- Šta se događa kada se pojavi otkaz?
- Koliki je značaj svakog otkaza?
- Šta se može uraditi da se spreči pojava otkaza?
- Šta treba uraditi, ako ne može da se pronađe pogodna preventivna aktivnost?

Koje su funkcije opreme bitne u tekućoj eksploataciji? Kako je osnovni zadatak održavanja da obezbedi da instalirana prema radi onako kako je i projektovana, neophodno je da održavanje zna šta se očekuje od pojedinog tehnološkog sistema i da zna kako izgleda „normalan“ režim rada i po kojem standardu je oprema projektovana. Stoga je potrebno da održavanje zna koje su funkcije opreme bitne za predviđenu eksploataciju i zbog toga je bitno da ovo pitanje bude prvo postavljeno i na njega detaljno i precizno odgovoreno

Koji se otkazi opreme mogu pojaviti? Nakon upoznavanja sa funkcijama opreme, logično je postaviti ovo drugo po redu pitanje. Svaki mogući način prestanka vršenja planirane funkcije je potrebno identifikovati, a to se čini pomoću dva potpitanja: 1 – kako oprema može neuspešno da izvrši svoju funkciju i 2 – šta može da uzrokuje neuspešno izvršenje funkcije opreme?

Koji su uzroci pojave otkaza? Cilj postavljanja ovog pitanja je identifikovanje svih načina

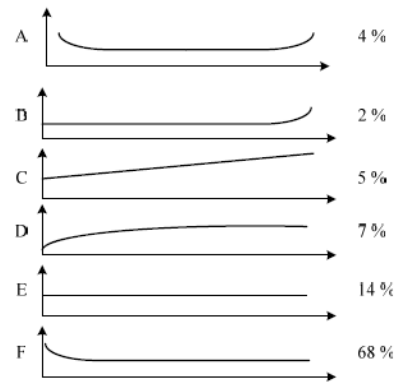
pojave otkaza –neispunjenja predviđene funkcije, kako bi bilo identifikovano šta je to što je potrebno sprečiti. Prilikom sprovođenja ovog koraka, potrebno je analizu sprovesti sa dovoljnim nivoom detaljnosti, kako bi se izbegla situacija da se sprovede aktivnosti održavala sa ciljem eliminacije posledica, a ne uzroka otkaza. Sa druge strane, potrebno je uložiti dovoljno pažnje kako bi se izbeglo preterano zalaženje u detalje i nepotrebno trošenje vremena i energije učesnika analize.

Šta se događa kada se pojavi otkaz? Kada se identifikuje svaki način pojave otkaza, potrebno je identifikovati posledice pojave svakog od navedenih načina pojave otkaza: da li dolazi do zaustavljanja proizvodnje, da li se proces proizvodnje nastavlja sa proizvodnjom škarta, da li je ugrožena okolina, da li je ugroženo zdravlje radnika...

Koliki je značaj svakog otkaza? Svaki otkaz, za svoju posledicu, ima određenu količinu vremena i novca, koje je potrebno utrošiti da bi taj otkaz bio otklonjen. Pored toga, otkazi mogu imati i dodatne posledice po pitanju zaustavljanja proizvodnje, proizvodnje škarta, degradacije okoline, povređivanje radnika, oštećenje drugih delova sistema. Dakle svaki otkaz ima neki vremenski i finansijski ekvivalent, i pored toga ima i dodatne posledice koje je nekada moguće, a nekada nije moguće (ili je to izuzetno komplikovano) izraziti u vremenskim i finansijskim jedinicama. Što su posledice „skuplje“ to je jača potreba da se takav otkaz spreči, odnosno da se pronade neka preventivna aktivnost koja bi eliminisala i odložila pojavu otkaza, ili barem ublažila posledice tog otkaza. Da bi bio olakšan rad sa ovim pojmovima, RCM je definisao četiri moguće grupe posledica: skrivene posledice, posledice po bezbednost i okolinu, proizvodne posledice i ne-proizvodne posledice. Skrивene posledice se javljaju u slučaju nekih sigurnosnih uređaja, čiji otkaz nije očigledan, ali kada se javi potreba za uključivanje tih uređaja, posledice pojave otkaza mogu biti katastrofalne. Otkazi sa mogućim posledicama po bezbednost (mogućnost povređivanja ljudi ili čak i smrti) i okolinu (mogućnost zagađenja zemljišta, vode ili vazduha ili dugoročnog delovanja na klimu – efekti staklene bašte ili uništavanje Zemljinog ozonskog omotača) su otkazi koje je potrebno ozbiljno uzeti u obzir i učiniti sve što je moguće kako bi se oni, ako je ikako moguće, u potpunosti eliminisali. Otkazi imaju proizvodne posledice ukoliko njihova pojava zaustavlja

proizvodnju, utiče na snižavanje kvaliteta proizvoda ili nivo usluge korisnika, Ne proizvodne posledice imaju otkazi čiji je jedini negativan uticaj trošak koji se stvori prilikom otklanjanja tog otkaza.

Šta se može uraditi da se spreči pojava otkaza? Ranije se smatralo da se svi elementi, odnosno njihovi otkazi, vladaju po „dijagramu Kade“, koji je prikazan na slici pod oznakom „A“.



Slika 1. Šest karakterističnih oblika dijagrama intenziteta otkaza

Međutim praćenjem pojave otkaza kod civilnih aviona, dobijeni su podaci koji su pretstavljeni na istoj slici, odakle je moguće videti da samo 4% delova ima takav oblik krive intenziteta otkaza. Oblik krive intenziteta otkaza prikazan pod oznakom „B“ imaju dodatnih 2% elemenata. Kako se preventivne zamene sprovede u trenutku kada dolazi do povećane verovatnoće otkaza usled intenzivnog habanja, to znači da samo ova dva oblika krive intenziteta otkaza imaju opravdanje za primenu preventivnih zamena, odnosno kod samo 6% elemenata je opravdano sprovođenje preventivnih zamena, sve ostale preventivne zamene negativno utiču na pouzdanost sistema i na broj otkaza kod tog sistema. Kasnije studije u industrijskim uslovima su pokazale da između 77 i 92 % otkaza nisu vremenski zavisni, odnosno, da u tim slučajevima nije preporučljivo sprovođenje preventivne zamene.

Ovo je razlog zašto su mnoge firme odustale od preventivnih intervencija, pošto su pogrešno zaključile da nikakve preventivne zamene nemaju opravdanje. Iz navedenog razmatranja je očigledno da nije moguće zamenom „dotrajalog“ dela eliminisati otkaze. Stoga RCM razmatra tri načina planiranja i terminiranja aktivnosti u održavanju:

- Aktivnosti planirane/terminirane na osnovu stanja elemenata
- Aktivnosti obnavljanja (popravljanja delova, koje su planirane/terminirane na osnovu nekog resursa (vreme rada, pređeni kilometri, tona obrađene sirovine...) i
- Aktivnosti zamene delova planirane /terminirane na osnovu nekog resursa

Poslednje dve grupe aktivnosti se razlikuju samo po akciji koja se sprovodi, dok se planiranje vrši na identičan način i ove aktivnosti su iste one koje su bile sprovedene na osnovu predviđanja pojave otkaza na osnovu „dijagrama kade“. Novinu predstavljaju aktivnosti koje spadaju u prvu grupu. To su aktivnosti koje su planirane na osnovu stvarnog stanja elementa. Ukoliko je element ispravan, odnosno ne pokazuje znake razvijanja procesa koji će dovesti do otkaza, taj element se ostavlja da i dalje vrši svoju funkciju. Ukoliko se nekom dijagnostičkom metodom ustanovi da je otpočeo proces nastanka otkaza, moguće je predvideti koliko vremena će proći dok taj element ne otkáže i planirati odgovarajuću aktivnost održavanja pre tog termina.

Šta treba uraditi, ako ne može da se pronade pogodna preventivna aktivnost? Postoje slučajevi kada nije moguće pronaći odgovarajuću aktivnost koja će sprečiti pojavu otkaza i tada je potrebno sprovesti ekonomsku analizu: da li je ekonomski isplativo da element otkáže i zatim ga zameniti ili je potrebno uraditi nešto da bi otkaz imao, što je moguće blaže posledice.

5. RCM NA PRIMERU PUMPNOG POSTROJENJA

Pre otpočinjanja opsežne RCM analize na primeru pumpnog postrojenja potrebno je formirati detaljnu bazu podataka o komponentama koje čine pumpno postrojenje, kao i upoznavanje sa proizvodnim procesom u kome pumpno postrojenje obavlja zadatak funkciju. Izrada kataloga tehnološkog sistema je prvi korak u formiranju i definisanju zahteva za uvođenjem modernih strategija održavanja kao što je RCM. Bilo da se radi o novoj opremi ili je ona već bila u eksploataciji, služba održavanja na bazi preporuka proizvođača i sopstvenih iskustava mora formirati polaznu bazu podataka, odakle se mogu videti osnovne tehničke karakteristike i nominalni uslovi pod kojima oprema (mašina, komponenta, uređaj,

postrojenje) funkcioniše. Takođe je potrebno definisati zahteve koje oprema mora da ispuni.

U radu je razmatrano jedno pumpno postrojenje opšte namene. Pod pojmom opšta namena podrazumeva se posrojenje koje se može koristiti za: vodosnabdevanje, izvlačenje vode iz rudarskog okna, ispiranje delova u kadama lakirnica i galvanizacija i u još mnoštvu različitih varijanti snabdevanja vodom industrijskih postrojenja.

Pumpno postrojenje predstavlja tehnološki sistem koji će biti predmet razmatranja primenom modela RCM. Osnovne komponente razmatranog tehnološkog sistema su:

- Centrifugalna pumpa
- Elektromotor
- Razvodni orman
- Transformator
- Usisni cevovod
- Usisna korpa
- Cevovod za nalivanje
- Manometar
- Ventil
- Jednosmerni ventil
- Potisni cevovod
- Spojnica

Nakon realizacije ova dva neophodna koraka, za navedeni tehnološki sistem potrebno je definisati koje su funkcije bitne u tekućoj eksploataciji. Osnovna funkcija jednog ovakvog pumpnog postrojenja je da obezbedi zadati protok vode (u opštem slučaju fluida) u toku vremena. Ovo je praktično funkcija cilja pumpnog postrojenja.

Ako pumpno postrojenje označimo kao sistem, on se može rastaviti na tri funkcionalna podsistema: pumpanje vode, pogon i napajanje, što je predstavljeno na funkcionalnom blok dijagramu na slici 2. Funkcionalni podsistemi su povezani funkcijama koje predstavljaju njihove ulazne i izlazne veličine. Da bi se ostvarilo pumpanje vode zadanog protoka i pritiska potrebno je obezbediti dovod vode iz bazena i nominalni obrtni moment na vratilu horizontalne centrifugalne pumpe, za čije je startovanje neophodan pun usisni cevovod, jer pumpa samo tečnosti može saopštiti dovoljnu kinetičku energiju za otpočinjanje i kasnije kontinuirano pumpanje radnog fluida. Najčešće se ova funkcija nalivanja vodom za start pumpe vrši pomoću cevododa za nalivanje.

Drugi funkcionalni podsistem predstavlja pogon, čija je osnovna funkcija da na izlaznom vratilu elektromotora stvara nominalni obrtni moment koji je potreban za pogon pumpe. Za ostvarivanje ove funkcije najčešće se koriste

trofazni kavezni asinhroni motori. Da bi ovi motori uspešno vršili svoju funkciju potrebno je obezbediti njihovo hlađenje pomoću vazduha putem ventilatora. Takođe, moraju se ispuniti uslovi za nesmetani odvod vazduha koji se koristi kod funkcije hlađenja.

Pumpna postrojenja ovakvog tipa su često velikih snaga, pa se zbog toga mora obezbediti zadovoljavajuće napajanje, odnosno trafostanica sa transformatorom koji generiše struju određene jačine i napona.

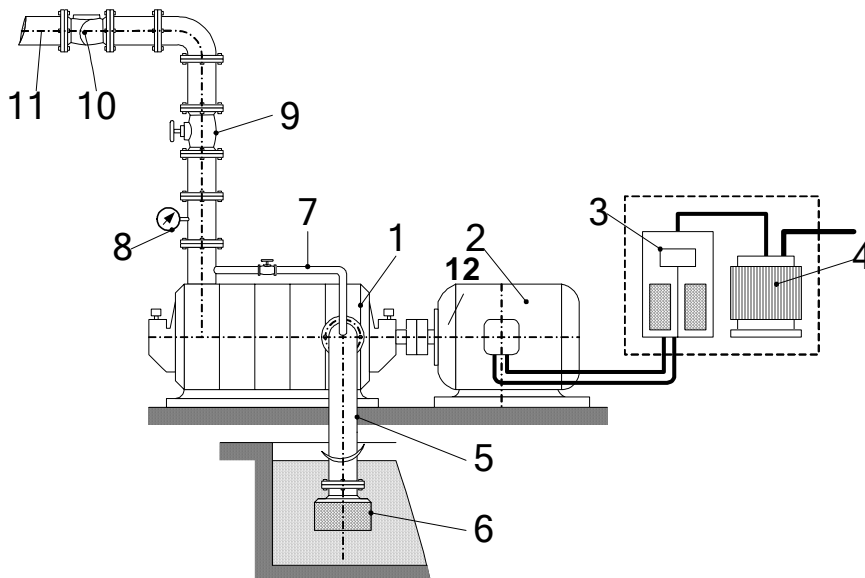
Svaka od komponenata u sistemu obavlja određenu funkciju koju je potrebno u toku vremena očuvati, kako bi ceo sistem ispravno funkcionisao.

Centrifugalne pumpe su one pumpe kroz koje fluid protiče od usisa prema potisu delovanjem centrifugalne sile, s radijalnim tokom strujanja koje nosi fluid između lopatica jednog ili više rotora. Prikadne su za svaku upotrebu, osim za male količine i male brzine, te za fluide koji imaju veliku viskoznost. Upotrebljavaju se najviše za male i srednje dobavne visine i za velike protoke pri povećanim brzinama strujanja, i nisu samousisne.

Sastoje se od fiksnog spiralnog kućišta i rotora pričvršćenog na vratilu koji se okreće velikom brzinom. Kad se rotor okreće, povlači za sobom fluid koji se nalazi među lopaticama. Delovanjem centrifugalne sile fluid povećava brzinu koja se dobrim delom pretvara u pritisak.

Trofazni asinhroni kavezni motori rade na principu indukcije i često se nazivaju indukcionim motorima. Ova vrsta motora se daleko najviše primenjuju u praksi. Glavni razlozi su: opšta rasprostranjenost mreže trofaznog naizmennog napona; jednostavnost konstrukcije i vrlo niska cena u odnosu na druge vrste motora; pouzdanost u pogonu i prosto održavanje zahvajujući odsustvu kolektora, prstenova i četkica. Osnovni nedostatak asinhronog motora jeste relativno složen, odnosno skup postupak kontinualne regulacije brzine, kada su motori velikih snaga u pitanju.

Statorski namotaji mogu se sprežiti u zvezdu ili trougao. Često su oba kraja svakog od tri fazna namotaja izvedena u priključnu kutiju, a sprega se izvodi kratkospojenim pločicama.



Slika 2. Pumpno postrojenje sa centrifugalnom horizontalnom pumpom

1. Centrifugalna pumpa, 2. Elektromotor, 3. Razvodni orman, 4. Transformator, 5. Usisni cevovod, 6. Usisna korpa, 7. Cevovod za nalivanje, 8. Manometar, 9. Ventil, 10. Jednosmerni ventil, 11. Potisni cevovod 12. Spojnica

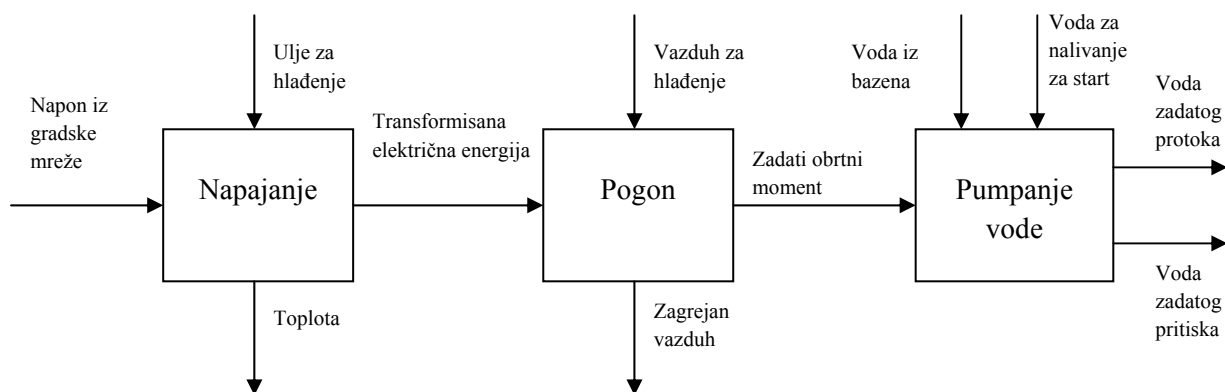
Za uspostavljanje veze između funkcionalnih otkaza i komponenata koristi se matrica međuzavisnosti. Ako između komponente sistema i funkcionalnog otkaza postoji međuzavisnost, ona je označena u polju tabele koje predstavlja presek kolone i vrste matrice u

kojima se nalaze komponenta i funkcionalni otkaz.

Iz matrice međuzavisnosti se vidi koje komponente mogu biti uzročnik prestanka obavljanja pojedinih funkcija, odnosno koji su funkcionalni otkazi vezani za pojedine komponente sistema

Kada su poznati funkcionalni otkazi i komponente sistema za koje su ti otkazi vezani, jednostavno je definisati i uzroke pojave otkaza. Prilikom sprovođenja ovog koraka, analiza je sprovedena na dovoljnom nivou detaljnosti kako bi se izbegla situacija da se sprovede aktivnosti održavanja sa ciljem eliminacije posledica, a ne uzroka otkaza. Sa druge strane, potrebno je uložiti dovoljno pažnje kako bi se izbeglo preterano zalaženje u detalje. Najbolji način za

prikazivanje otkaza i uzroka pojave otkaza je tabelarni pristup, što je prikazano u tabeli br. 3. Da bi se izbeglo dupliranje ili izostavljanje pojedinih podataka, potrebno ih je smestiti u bazu podataka i koristiti pravila integriteta baze podataka. Ovo je takođe prikazano u tabelama br.1 do br.4, tako što svaka funkcija, svaki funkcionalni otkaz, svaki otkazni režim, svaki uzrok otkaza i svaka komponenta imaju svoj identifikacioni broj u bazi podataka.



Slika 3. Funkcionalni blok dijagram

Tabela 1. Funkcije i funkcionalni otkazi

Funkcija #	Funkcionalni otkaz #	Funkcija / funkcionalni otkaz
1.1		<i>Pumpanje vode zadatog protoka</i>
	1.1.1	Ne može se obezbediti početni protok
	1.1.2	Protok je manji od zadatog
	1.1.3	Ne može se obezbediti konstantnost protoka u toku vremena
1.2		<i>Kontrola pritiska</i>
	1.2.1	Provera vrednosti pritiska
1.3		<i>Promena pritiska u potisnom cevovodu</i>
	1.3.1	Nemogućnost promene pritiska u potisnom cevovodu
1.4		<i>Sačuvati bezbedan rad pumpe</i>
	1.4.1	Ne može se sprečiti dejstvo povratnog protoka u potisnom cevovodu
1.5		<i>Vezivanje komponenata (za podlogu i međusobno)</i>
	1.5.1	Nedovoljna pritegnutost vijaka za vezu
2.1		<i>Generisanje nominalnog obrtnog momenta</i>
	2.1.1	Ne može se obezbediti početni obrtni moment
	2.1.2	Obrtni moment je manji od zadatog
2.2		<i>Hlađenje pogonskog motora</i>
	2.2.1	Nema hlađenja pogonskog motora
	2.2.2	Nedovoljno hlađenje pogonskog motora
3.1		<i>Napajanje</i>
	3.1.1	Nema napona na priključku elektromotora
	3.1.2	Nema napona na priključcima u komandnom ormanu
	3.1.3	Vrednosti napona i frekvence transformisane struje niže od dozvoljenih
3.2		<i>Hlađenje transformatora</i>
	3.2.1	Nedovoljno hlađenje transformatora

Tabela 2. Matrica međuzavisnosti funkcionalnih otkaza i komponenata

Ko m. #	Kompon e- nta	1.1 .1	1.1 .2	1.1 .3	1.2 .1	1.3 .1	1.4 .1	1.5 .1	2.1 .1	2.1 .2	2.2 .1	2.2 .2	3.1 .1	3.1 .2	3.1 .3	3.2 .1
01	Centrifu g. pumpa	X	X	X				X		X						
02	Elektro- motor	X	X	X				X	X	X	X	X				
03	Razvo- dni orman	X							X				X			
04	Tansfo- rmator	X	X	X					X	X			X	X	X	X
05	Usisni cevovod	X	X													
06	Usisna korpa	X	X	X												
07	Cevovod za nalivanje	X														
08	Manome tar				X											
09	Ventil	X				X										
10	Jednosm e-rni ventil						X									
11	Potisni cevovod		X													
12	Spojница	X	X						X	X						

U tabeli 3. je data veza između otkaznih režima i uzroka otkaza pojedinih komponenata. U istoj tabeli je prikazan i uticaj pojedinih otkaznih režima po nivoima. Nivoi uticaja su lokalni, sistem i postrojenje. Analizirani sistem predstavlja deo nekog postrojenja, koje opet ima neku svoju funkciju cilja u toku vremena.

Da bi se izbegli preveliki troškovi preventivnog održavanja svi otkazni režimi se mogu svrstati u nekoliko kategorija. Za takvu klasifikaciju korišćeno je stablo otkaza koje je prikazano na slici 4.

Odluke u smislu klasifikacije otkaza počinju od toga da li je otkaz očigledan ili nije za rukovaoca opreme. Ako otkazni režim postoji a nije očigledan za rukovaoca radi se o tzv. skrivenom otkazu (D). Kasnijim uočavanjem i analizom od strane rukovaoca i službe održavanja otkazi se klasifikuju u pripadajuću grupu. Ukoliko otkaz može prouzrokovati posledice po zdravlje i bezbednost ljudi on se

razvrstava u grupu otkaza označenih sa (A). Ako otkazni režim nije uzrok bezbednosti već samo može izazvati prekid koji se manifestuje kao manji ekonomski problem onda se otkaz svrstava u grupu (C). Ukoliko je prekid rada većeg obima onda se takav otkaz opredeljuje u grupu (B).

Ovakvom klasifikacijom omogućeno je razvrstavanje aktivnosti održavanja na preventivne i korektivne. Svi otkazi koji su svrstani prema logičkom stablu otkaza u grupe C, D/C ili D/B/C mogu se tretirati kao aktivnosti koje su planovima održavanja predviđene za korektivno održavanje.

Svi ostali tipovi otkaza iz tabele 4 moraju se uzeti u obzir preko planova preventivnih aktivnosti. Preventivne aktivnosti se dalje razvrstavaju na otkaze koji su vremenski zavisni, otkaze koji se moraju pratiti metodama tehničke dijagnostike i otkaze koji se pronalaze raznim vrstama i nivoima servisiranja.

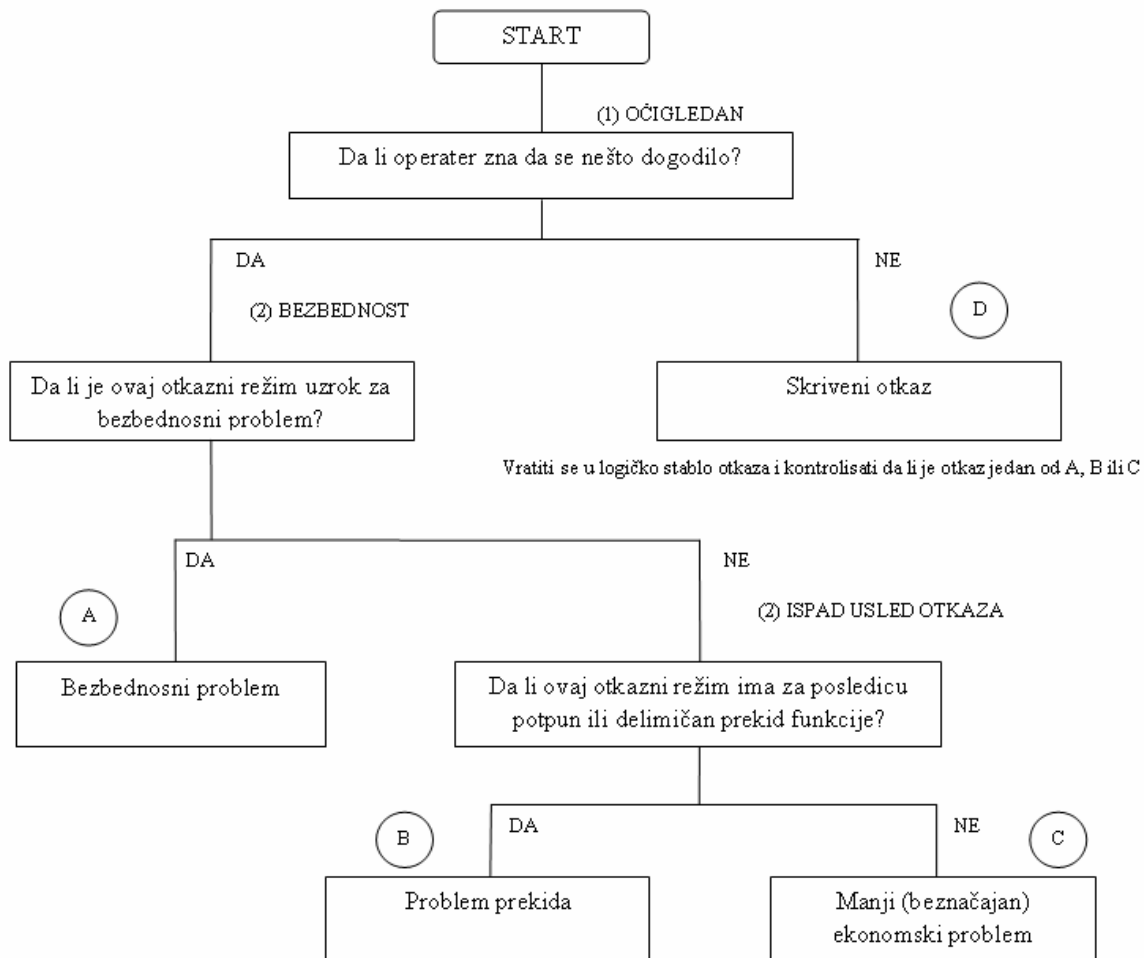
Tabela 3. Otkazni režimi i uzroci otkaza pojedinih komponenata

FO #	Kom. #	Komponenta	OM #	Otkazni mod	UO #	Uzrok otkaza	Efekat otkaza			Stablo otk.
							Lokalni	Sistem	Postrojenje	
1.1.1	01	Centrifugalna pumpa	01.01	Radno kolo se okreće a pumpa ne daje protok	01.01.1	Radno kolo je vezano suprotno	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.02	Otkaz ležaja na strani EM	01.02.1	Pohabanost usled starosti	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.03	Otkaz ležaja na strani EM	01.03.1	Loše podmazivanje	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.04	Otkaz ležaja na strani EM	01.04.1	Loša ugradnja	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.05	Otkaz ležaja na strani pumpe	01.05.1	Pohabanost usled starosti	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.06	Otkaz ležaja na strani pumpe	01.06.1	Nedovoljna kličina vode za hlađenje ležaja	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.07	Otkaz ležaja na strani pumpe	01.07.1	Loše podmazivanje	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.08	Otkaz ležaja na strani pumpe	01.08.1	Loša ugradnja	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.09	Otkaz ležaja na strani pumpe	01.09.1	Prodor vode usled lošeg zaptivanja (unutrašnje curenje)	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.10	Iskrivljeno pogonsko vratilo	01.10.1	Nesaosnost vratila pumpe i motora	Otkaz	Gubitak funkcije	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.11	Oštećen rukavac pogonskog vratila	01.11.1	Otkaz ležaja	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.12	Oštećeno kućište pumpe	01.12.1	Otkaz ležaja	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.13	Mehaničko zaptivanje curenja je prekomerno	01.13.1	Zaptivne površine su oštećene ili neravne	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA

1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.14	Curenje pumpe je prekomerno na zaptivci	01.14.1	Neispravna ili neodgovarajuća zaptivka	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.15	Pohabano radno kolo pumpe	01.15.1	Erozija	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.16	Pohabano radno kolo pumpe	01.16.1	Kavitacija	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.17	Spoljšanje curenje	01.17.1	Korozija kućišta pumpe	Bez učinka	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
1.5.1	01	Centrifugalna pumpa	01.18	Nestabilno oslanjanje	01.18.1	Prsline na šapi za vezivanje	Umanjen učinak	Rad sa vibracijama	Opasnost od prekida funkcije	DA
1.5.1	01	Centrifugalna pumpa	01.19	Nestabilno oslanjanje	01.19.1	Nedovoljno pr. vijaka za vezu	Umanjen učinak	Rad sa vibr.	Opasnost od pr. fun.	DA
2.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.20	Smanjen broj obrtaja radnog kola pumpe	01.20.1	Promena obrtnog momenta	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.3	01	Centrifugalna pumpa	01.21	Smanjenje protoka	01.21.1	Usisavanje vazduha zbog nehermetičnosti spojeva pumpe	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
2.1.1	02	Elektromotor	02.01	Motor ne radi	02.01.1	Neispravnost električnog priključka na motoru	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.1.1	02	Elektromotor	02.02	Motor ne radi	02.02.1	Neispravnost prekidača	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.1.1	02	Elektromotor	02.03	Motor ne radi	02.03.1	Neispravnost u razvodnom ormaru	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.1.1	02	Elektromotor	02.04	Motor ne radi	02.04.1	Prekid nekog od napojnih kablova	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.1.2	02	Elektromotor	02.05	Nedovoljan obrtni moment motora	02.05.1	Nedovoljna frekvencija struje	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
2.1.2	02	Elektromotor	02.06	Nedovoljan obrtni moment motora	02.06.1	Otkaz ležaja	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
2.1.2	02	Elektromotor	02.07	Nedovoljan obrtni moment motora	02.07.1	Oštećenje vratila rotora motora	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA

1.1.3	06	Usisna korpa	06.03	Protok je isprekidan	06.03.1	Strano telo sa spoljašnje strane rešetke usisne korpe	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.1	07	Cevovod za nalivanje	07.01	Nema vode za nalivanje	07.01.1	Neispravan ventil na cevovodu za nalivanje	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.2.1	08	Manometar	08.01	Neispravno st manometra	08.01.1	Neispravnost opruge	Umanjen učinak	Ograničeno uprav. pritiskom	Visina pritiska nije pod kontrolom	DA
1.1.1	09	Ventil	09.01	Otežano puštanje pumpe u pogon	09.01.1	Ventil ne zatvara dobro	Otežan start pumpe	Nestabilnost funkcije	Nestabilnost funkcije	DA
1.3.1	09	Ventil	09.02	Otežana primena pritiska u potisnom cevovodu	09.02.1	Oštećeno navojno vreteno ventila	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.3.1	09	Ventil	09.03	Otežana primena pritiska u potisnom cevovodu	09.03.1	Oštećeno navojno vreteno ventila ili konični element	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.4.1	10	Jednosmerni ventil	10.01	Pojava povratnog protoka u pumpi	10.01.1	Neispravnost jednosmernog ventila	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.2	11	Potisni cevovod	11.01	Čurenje vode	11.01.1	Erozija, korozija	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.1	12	Spojnica	12.01	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	12.01	Otkaz elastičnog gumenog oboda	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.1	12	Spojnica	12.02	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	12.02	Oštećena priрубnica na strani motora	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.1	12	Spojnica	12.03	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	12.03	Oštećena priрубnica na strani pumpe	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA

2.1.2	02	Elektromotor	02.08	Nedovoljan obrtni moment motora	02.08.1	Oštećenje kućišta	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
2.1.2	02	Elektromotor	02.09	Kratki spojevi rotora	02.09.1	Deformisano vratilo rotora	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.1.1	02	Elektromotor	02.10	Pregorevanje namotaja	02.10.1	Veliko povećanje jačine struje	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
2.2.1	02	Elektromotor	02.11	Nema hlađenja motora	02.11.1	Oštećen elastični prsten ili klin za vezu ventilatora sa vratilom	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
2.2.2	02	Elektromotor	02.12	Nedovoljno hlađenje motora	02.12.1	Smanjen napon struje	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
	03	Razvodni orman	03.01	Nema napona na izvodima u RO	03.01.1	Neispravnost transformatora	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
	03	Razvodni orman	03.02	Pregorevanje osigurača	03.02.1	Povećana jačina struje	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
3.1.1	04	Transformator	04.01	Nema struje na sekundarnom namotaju	04.01.1	Labavi ili razdvojeni kontakti	Prekid funkcije	Prekid funkcije	Prekid funkcije	DA
3.2.1	04	Transformator	04.02	Prekomerno zagrevanje transform.	04.02.1	Pohabana pumpa za ulje	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
3.1.2	04	Transformator	04.03	Nizak napon na sekundaru	04.03.1	Distnbutivna mreža	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
3.1.3	04	Transformator	04.04	Niska frekvencija struje na sekundaru	04.04.1	Distnbutivna mreža	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.1	05	Usisni cevovod	05.01	Nema protoka pri startu pumpe	05.01.1	Nezaptivenost ili probušeni usisni cevovod	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	05	Usisni cevovod	05.02	Protok je umanjeno	05.02.1	Kamenac ili prljavština na zidovima cevi	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA
1.1.1	06	Usisna kopa	06.01	Nema protoka	06.01.1	Potpuno zapušena usisna kopa	Bez učinka	Gubitak protoka	Ne vrši funkciju	DA
1.1.2	06	Usisna kopa	06.02	Protok je umanjeno	06.02.1	Delimično zapušena usisna kopa	Umanjen učinak	Pogoršanje funkcije	Pogoršanje funkcije	DA



Slika 4. Logičko stablo za kalsifikaciju otkaza

RCM je definisio četiri grupe posledica otkaza u zavisnosti od grupe kojoj pripadaju posledice nekog otkaza, traži se mogućnost delovanja na neki otkaz, odnosno njegove uzroke i posledice. Ukoliko se radi o skrivenom otkazu, potrebno je definisati aktivnosti otklanjanja otkaza (ove aktivnosti su široko u upotrebi u vojsci, ali se koriste i u funkcijama protiv-požarne zaštite). Ako se radi o otkazu sa posledicama po bezbednost radnika i okoline, korisno je sprovesti samo one aktivnosti koje umanjuju ili eliminišu posledice otkaza. Ukoliko takva delatnost ne postoji, posmatrani element je potrebno ponovo projektovati, ili je potrebno promeniti ceo proces u kojem učestvuje taj element. Kod otkaza koji imaju posledice samo po pitanju proizvodnje, preporučljivo je vršiti preventivne intervencije samo kada su ukupni troškovi tih preventivnih intervencija niži od troškova koji nastaju otkazom tog elementa. Identična je situacija i sa otkazima koji nemaju

direktnog uticaja na proizvodnju. U oba slučaja, ako nije moguće pronaći takvu preventivnu aktivnost, koja će sniziti ukupne troškove, potrebno je pustiti da taj element otkáže i nakon toga ga menjati. Izuzetak je situacija kada se troškovi koji nastaju usled otkaza izuzetno visoki i tada se preporučuje sprovođenje rekonstrukcije elementa ili celog sistema.

Koristi od primene RCM koncepta se mogu opisati kao:

- Viša sigurnost i zaštita okoline
- Pobjoljšljnje eksploatacionih performansi (izlazi, kvalitet proizvoda i usluge korisniku)
- Povišena ekonomska efikasnost (smanjenje troškova održavanja)
- Produženje životnog veka skupljih delova opreme
- Proširenje baze podataka o održavanju.

Povišena motivacija radne snage u održavanju i bolji timski rad.

Tabela 4 Kategorizacija otkaznih režima

#	Komp. #	Komponenta	OM #	Otkazni mod	Očigledan?	Bezbednost	Prekid	Kategorija
1.1.1	01	Centrifugalna pumpa	01.01	Radno kolo se okreće a pumpa ne daje protok	DA	NE	DA	B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.02	Otkaz ležaja na strani EM	DA	NE	DA	B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.05	Otkaz ležaja na strani pumpe	DA	NE	DA	B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.10	Iskrivljeno pogonsko vratilo	NE	NE	NE	D/B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.11	Oštećen rukavac pogonskog vratila	NE	NE	NE	D/B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.12	Oštećeno kućište pumpe	NE	NE	NE	D/B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.13	Mehaničko zaptivanje curenja je prekomerno	NE	NE	DA	D/B/C
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.14	Curenje pumpe je prekomerno na zaptivci	DA	NE	DA	C
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.15	Pohabano radno kolo pumpe	NE	NE	DA	D/B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.16	Pohabano radno kolo pumpe	NE	NE	DA	D/B
1.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.17	Spoljašnje curenje	DA	DA	DA	A
1.5.1	01	Centrifugalna pumpa	01.18	Nestabilno oslanjanje	DA	NE	DA	B/C
1.5.1	01	Centrifugalna pumpa	01.19	Nestabilno oslanjanje	DA	NE	NE	C
2.1.2	01	Centrifugalna pumpa	01.20	Smanjen broj obrtaja radnog kola pumpe	DA	NE	NE	C
1.1.3	01	Centrifugalna pumpa	01.21	Smanjenje protoka	DA	NE	NE	C
2.1.1	02	Elektromotor	02.01	Motor ne radi	NE	NE	NE	C
2.1.1	02	Elektromotor	02.02	Motor ne radi	NE	NE	DA	D/B
2.1.1	02	Elektromotor	02.03	Motor ne radi	NE	NE	DA	D/B
2.1.1	02	Elektromotor	02.04	Motor ne radi	NE	NE	DA	D/B
2.1.2	02	Elektromotor	02.05	Nedovoljan obitni moment motora	NE	DA	DA	D/A
2.1.2	02	Elektromotor	02.06	Nedovoljan obitni moment motora	DA	NE	NE	C
2.1.2	02	Elektromotor	02.07	Nedovoljan obitni moment motora	DA	NE	DA	D/B
2.1.2	02	Elektromotor	02.08	Nedovoljan obitni moment motora	NE	NE	DA	D/B
2.1.2	02	Elektromotor	02.09	Kratki spojevi rotora	NE	DA	DA	D/A
2.1.1	02	Elektromotor	02.10	Pregorevanje namotaja	NE	NE	DA	D/B

2.2.1	02	Elektromotor	02.11	Nema hlađenja motora	DA	NE	DA	B
2.2.2	02	Elektromotor	02.12	Nedovoljno hlađenje motora	NE	NE	NE	C
3.1.2	03	Razvodni orman	03.01	Nema napona na izvodima u RO	DA	NE	DA	B
3.1.3	03	Razvodni orman	03.02	Pregorevanje osigurača	DA	NE	NE	B
3.1.1	04	Transformator	04.01	Nema struje na sekundarnom namotaju	NE	NE	DA	B
3.2.1	04	Transformator	04.02	Prekomerno zagrevanje transformatora	DA	NE	NE	C
3.1.2	04	Transformator	04.03	Nizak napon na sekundaru	NE	NE	NE	C
3.1.3	04	Transformator	04.04	Niska frekvencija struje na sekundaru	NE	NE	NE	C
1.1.1	05	Usisni cevovod	05.01	Nema protoka pri startu pumpe	DA	NE	DA	B/C
1.1.2	05	Usisni cevovod	05.02	Protok je umanjen	DA	NE	NE	NE
C	06	Usisna korpa	06.01	Nema protoka	DA	NE	DA	B/C
1.1.2	06	Usisna korpa	06.02	Protok je umanjen	DA	NE	NE	C
1.1.3	06	Usisna korpa	06.03	Protok je isprekidan	DA	NE	NE	C
1.1.1	07	Cevovod za nalivanje	07.01	Nema vode za nalivanje	DA	NE	DA	B/C
1.2.1	08	Manometar	08.01	Neispravnost manometra	DA	NE	NE	C
1.1.1	09	Ventil	09.01	Otežano puštanje pumpe u pogon	DA	NE	DA	B/C
1.3.1	09	Ventil	09.02	Otežana primena pritiska u potisnom cevovodu	DA	NE	NE	C
1.3.1	09	Ventil	09.03	Otežana primena pritiska u potisnom cevovodu	DA	NE	NE	C
1.4.1	10	Jednosmerni ventil	10.01	Pojava povratnog protoka u pumpi	NE	NE	DA	B/C
1.1.2	11	Potisni cevovod	11.01	Curenje vode	DA	NE	NE	B/C
1.1.1	12	Spojница	12.01	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	DA	NE	DA	B/C
1.1.1	12	Spojница	12.02	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	DA	NE	DA	B
1.1.1	12	Spojница	12.03	Nema obrtnog momenta na vratilu spojnice	DA	NE	DA	B

U usavršavanju sistema održavanja bitno je uočiti redosled kojim treba započeti taj proces. Pri svemu tome ne treba zaboraviti da se promne ne mogu uvoditi u sistemima koji „nisu spremni“ za njih. Pre uvođenja strategija

održavanja treba usavršiti sistem planiranja radnji održavanja, uvesti sistem za ocenjivanje uspešnosti rada i druga poboljšanja na polju menadžmenta održavanjem, pa tek onda uvoditi nove strategije održavanja. Zbog toga se danas

sve više teži kombinovanju postojećih strategija održavanja i drugih metoda, radi iskorišćenja njihovih prednosti i smanjivanja nedostataka, radi dobijanja odgovarajućeg i u konkretnoj praksi primenjivog rezultata. To podrazumieva da takav put treba tražiti i u sistemu održavanja pumpnih postrojenja. Ne bi trebalo izgubiti iz vida da je sistem održavanja u našim preduzećima, po slobodnoj procjeni autora, negde između korektivnog i planskog održavanja .

LITERATURA

- [1] Đorđević LJ., Đurić S., Veselinović S., - Prilog razvoju organizacije održavanja hidrauličkih i pneumatskih sistema, – IMK-14 Istraživanje i razvoj, Godina XII, Broj (24-25) 1-2/2006.
- [2] Robajac O., Marić A., Đorđević LJ., - Održavanje i sigurnost složenih tehničkih sistema, – IMK-14 Istraživanje i razvoj, Godina XII, Broj (24-25) 1-2/2006.
- [3] Carretero J., and group authors, - Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks, - Reliability engineering & sistem safety 82 (2003) 257-273.
- [4] V.S. Deshpande, J.P. Modak, - Application of RCM for safety considerations in a steel plant, - Reliability engineering & sistem safety 78 (2002) 325-334.
- [5] Dundisc D., - Incorporate RCM into acceptance testing to detect latent defect, Proceedings of JPGC 01 2001 International Joint Power Generation Conference, New Orleans, Luisiana.
- [6] Petrović Z., Radičević B., Bjelić M. – Povećanje energetske efikasnosti kod centrifugalnih pumpi – IMK-14 Istraživanje i razvoj, Godina XI, Broj (22-23) 3-4/2005.
- [7] Petrović Z., Radičević B., Bjelić M. – Modernizacijom upravljanja do efkasnijeg snabdevanja vodom – IMK-14 Istraživanje i razvoj, Godina XII, Broj (24-25) 1-2/2006.
- [8] Smith A., Hinchcliffe - RCM Gateway to world class Maintenance, Elsevier Butterworth – Heinemann, 2004.
- [9] By John Moubray, - Reliability centered Maintenance, Published by Industrial Press Inc., 2001.
- [10] Tomas V., Šegulja I., Čišić D., - Mogućnosti i problemi suvremenih strategija održavanja u pomorstvu, Pomorstvo, god. 19 (2005) str. 29-41.
- [11] Zelenović D., Todorović J. – Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga Beograd, 1990.
- [12] Protić Z., Nedeljković M. – Pumpe i ventilatori, Mašinski fakultet Beograd, 2006.

CLASSIFICATION OF MAINTENANCE ACTIVITIES ON RCM BASE FOR PUMPING PLANT CASE

Summary: *This article gives a proposal of strategies based on RCM (Reliability Centred maintenance) at the example of pumping plants. The main objective of this analysis is to provide such maintenance procedures that will enable the preservation of function of the system. The basis of the RCM model is FMECA (Failure Modes Effects and criticality Analysis) method with a logical decision tree. Based on the analysis of system functions, functional cancellation, causes of the cancellation and consequences that dismissal has on the system environment and security, corrective and preventive maintenance activities for pumping plant has been establish. Appropriate recommendations for the application and implementation of such strategies are listed.*

Key words: *Reliability centered maintenance (RCM), pumping plant, failure logic tree.*