

# RCM - ODRŽAVANJE PREMA POUZDANOSTI

**Dr Marinko Aleksić, dipl.inž**  
**MTRZ Sava Kovačević**

**Dr Petar Stanojević, dipl. inž.**  
**NIS Novi Sad**

*Često se može pročitati kako vodeće svjetske firme primjenjuju RCM metodologiju za smanjenje troškova održavanja. U ovom radu se daje prilog razumijevanju sadržaja, dometa i nastanka metodologije RCM-održavanja prema pouzdanosti. RCM je metodologija primjenjiva kako za projektovanje optimalnog održavanja tehničkih sistema, tako i za optimizaciju održavanja sistema na upotrebi. Zbog velike popularnosti i primjene na Zapadu, bitno je razumijevanje njenih osnovnih karakteristika kako bi se stvorili uslovi za primjenu i u našoj privredi.*

*Ključne reči: RCM, FMEA, strategije održavanja, troškovi održavanja*

## NASTANAK I ISTORIJAT

Korijeni RCM-a sežu u šezdesete godine kada su u sjevernoameričkoj transportnoj avijaciji shvatili da je njihova filozofija održavanja ne samo skupa, već i neefikasna. Naime, održavanje aviona je bilo zasnovano na intenzivnom korišćenju preventivne strategije, sa povećanim uvođenjem tehnika nedestruktivnih ispitivanja u toku remonta. Preovladavala je intuitivna pretpostavka da što oštrij remont sa detaljnim pregledima i što oštija periodika to sigurnije funkcionisanje kompleksnih avionskih sistema. Međutim, stvarnost je pokazala da je u to vrijeme bilo u prosjeku 60 padova aviona na milion polijetanja. Smatralo se da je oko dvije trećine tih padova bilo uzrokovano otkazom opreme. Predviđanja su govorila da bi se s takvim sistemom održavanja do 2000. godine, kada bi broj letova trebalo da bude daleko veći nego tada, moglo očekivati dva pada aviona svaki dan.

Zato su formirali Grupu za upravljanje održavanjem - MSG (engl. "Maintenance Steering Group"), čiji je zadatak bio preispitivanje dotadašnjeg održavanja aviona. Napravljeno je opsežno istraživanje o otkazima i ponašanju kompleksne avionske opreme. Njihova studija pouzdanosti je pokazala da staro shvatanje o trošenju opreme ne važi za tu opremu. Prvo što su utvrdili bilo je da remont po fiksnom terminu ima mali efekt na ukupnu pouzdanost komple-

ksnih sistema, osim ako oni nemaju dominantni način otkaza. Drugo što je utvrđeno, jeste da za mnogo sistema nema efektivnog preventivnog održavanja. Saglasno tim rezultatima predstavljeno je šest karakterističnih krivulja otkaza kompleksnih sistema. Rezultate programa prvi su objavili 1968. godine vodeći stručnjaci Saveza za vazdušni transport iz Vašingtona Mateson i Noulan u dokumentu poznatom pod nazivom MSG-1. Druga revizija je objavljena 1970. godine koja je danas poznata kao MSG-2. Koliko je taj dokument donio promjena govori podatak da se ranije na 400 komponenti morao vršiti remont po vremenskom resursu, a poslije MSG-2 analize na samo 10 /1/. Uštede su bile velike, a sigurnost leta se povećavala.

Za rezultate MSG-grupe se veoma brzo pročulo, pa je američko ministarstvo odbrane naručilo potpun izvještaj o dostignućima te grupe. Izvještaj su napravili 1978. godine Noulan i Hep i dali mu naslov Održavanje prema pouzdanosti (engl.-Reliability Centered Maintenance) /2/. Taj izvještaj je predstavljao priličan napredak u odnosu na razmišljanja data u MSG-2. Po MSG-2 se najprije provjeravao integritet komponenti, a onda uticaj na čitav sistem. Tu je predstavljena metodologija kao analitička logika u održavanju, usmjerena odozgo prema dolje, upravljana posljedicama otkaza i orijentisana prema akcijama održavanja. Drugim riječima rečeno, FMEA analiza i algoritam izbora akcija održavanja su mu bile dvije ključne karakteristike. RCM kao termin, ne koristi se u komercijalnoj avijaciji i može se smatrati da RCM ima svoj samostalan razvoj, nakon ovog izvještaja. Taj izvještaj je inače bio osnova za novi dokument Saveza za vazdušni transport poznat pod nazivom MSG-3, a koji je

---

Kontakt: Dr Marinko Aleksić, dipl. inž.  
MTRZ Sava Kovačević  
85320 Tivat, Crna Gora  
E-mail : marinko@cg.yu

objavljen 1980 /3/. Važno je da se shvati da RCM i MSG-3 imaju porijeklo u istom dokumentu, ali to su različite metodologije.

RCM se najprije počeo koristiti u američkoj vojsci, a kasnije u raznim industrijskim granama, za šta su razrađeni i određeni standardi kao što je MIL-STD-2173 (AS) ili DA Pam 750-40, /4,5/. U Instrukciji 4700.7J izdatoj 1992. godine pod nazivom Politika održavanja u ratnoj mornarici /6/ kaže se: "Planovi održavanja za brodove, sisteme i opremu koji su već na upotrebi moraju se revidirati i modifikovati u cilju inkorporacije principa RCM-a u područjima gdje se može utvrditi da će očekivani rezultati biti u skladu sa pridruženim troškovima." Engleska kraljevska ratna mornarica je razvila vlastiti standard 02-45 (NES 45) /7/, a američko društvo inženjera SAE je u tijesnoj vezi sa predstavnicima industrije, mornarice i avijacije napravilo standard SAE JA1011 /8/. Taj standard daje kriterije na osnovu kojih se može utvrditi da li se neki proces može zvati RCM proces. Takođe i Internacionalna elektrotehnička komisija je razvila standard IEC 60300-3-11 /9/. Međutim, taj standard je samo kopija MSG-3 metodologije namijenjene avijaciji.

### **OSNOVNE DEFINICIJE RCM-a**

RCM je skraćena od engleskog naziva Reliability Centered Maintenance, a kod nas se najčešće prevodi kao održavanje prema pouzdanosti<sup>5</sup>. Termin se prvi put pojavljuje 1978. godine, od kada su vodeći inženjeri američke firme Junajted Erlajn, Noulan i Hep (engl.- Nowlan and Heap) tako nazivali svoj izvještaj namijenjen američkoj vojsci 10, koji je bio potpun prikaz metodologije usavršavanja procesa održavanja u civilnoj avijaciji. Noulanu i Hepu je bio cilj da u samom naslovu naglase kako Junajted Erlajn postiže povećanje pouzdanosti svojih aviona.

Za metodologiju RCM se kod nas malo zna. Jedan od vjerovatnih razloga je decenijsko zaostajanje za svjetskim tokovima uzrokovano izolacijom i sankcijama. Drugi razlog može biti baziran na početnim saznanjima koja su dopirala do nas. Krajem osamdesetih godina prošlog vijeka statistička teorija pouzdanosti je doživljavala procvat. Sve je vodilo tome da snažna računarska podrška i velike baze podataka o otkazima jedine omogućavaju značajnu optimizaciju održavanja velikih sistema. Početna primjena RCM-a je bila

izražena u sistemima kao što su civilna avijacija, atomska energetika, ratna mornarica i avijacija, koji su predstavnici izrazito skupih i kritičnih sistema. Tome je doprinio sam naziv - održavanje prema pouzdanosti, pa se lako mogao donijeti zaključak da se radi o metodologiji koja sublimira vrhunska dostignuća teorije pouzdanosti i da se nužno zasniva na snažnoj računarskoj podršci i bazama podataka o otkazima. Današnji stepen razvoja RCM-a pokazuje da se ta metodologija primjenjuje, kako u vojnim sistemima, tako i u najrazličitijim privrednim granama: metaloprerađivačkim granama, energetici, rudarstvu, naftnoj industriji, papirnoj industriji, željeznici, lučkim postrojenjima, pomorstvu, zdravstvu itd /11/. Teškoće u njenoj primjeni postoje i značajne su, ali za primjenu je dovoljna opšte dostupna PC-tehnologija, a metodologija ima mogućnosti za kvalitativan pristup, koji omogućava primjenu i za sisteme bez baza podataka o otkazima /12/.

U literaturi postoje različite definicije RCM metodologije. Zavisno od toga šta se želi istaći, one se mogu veoma razlikovati. Prema definiciji američke ratne mornarice /13/, RCM je analitički proces koji se koristi za identifikaciju zahtjeva za preventivno održavanje u svrhu očuvanja inherentne pouzdanosti opreme pri najmanjem trošenju resursa. Američka pomorska avijacija u nekoliko svojih dokumenata daje dvije slične definicije. Prema Instrukciji 4790.20A - RCM je analitički proces koji se koristi za određivanje zahtjeva preventivnog održavanja fizičkih sredstava u njihovom radnom okruženju. RCM analiza treba da se koristi za dodavanje, brisanje ili podešavanje zahtjeva i intervala preventivnog održavanja /14/. Prema proceduri NAVAIR 00-25-403 - RCM je analitički proces koji se koristi za određivanje zahtjeva za preventivno održavanje i potreba za preduzimanjem drugih akcija koje su garancija za sigurnu i ekonomičnu operabilnost sistema /15/.

Vodeći teoretičar ove metodologije Džon Moubraj /16/ je definisao RCM kao proces kojim se određuje šta bi se trebalo činiti u cilju osiguravanja uslova da radi ono koje fizičko sredstvo nastavlja da radi ono što njegov korisnik želi da ono radi, u sadašnjem operativnom kontekstu. Po njemu je to u suštini isti proces koji proizvođači opreme koriste kao FMEA analizu. Razlika je u tome što proizvođač u njemu sumira svoje znanje o potencijalnim otkazima, a RCM sumira višegodišnje iskustvo operatora i onog ko održava sredstvo. Na kraju, RCM posebnim algoritmom određuje akcije

<sup>5</sup> Termin koji se koristi u francuskom jeziku je *OMF - Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité*

održavanja kojima se izbjegavaju/redukuju funkcionalni otkazi.

Prema definiciji agencije NASA /17/, RCM je proces koji se koristi za određivanje najefektivnijeg pristupa održavanju. Njime se identifikuju akcije koje, ako se izvode, redukuju vjerovatnoću otkaza i pri tom su najekonomičnije. Njime se traži optimalni miks održavanja prema stanju, preventivnog i korektivnog održavanja.

U /18/ naglašava se mogućnost korišćenja RCM metodologije i za utvrđivanje programa održavanja pri projektovanju, kao i kod korišćenih sistema za optimizaciju programa i procedura održavanja. U oba slučaja rezultat je identifikacija efektivnih akcija održavanja i tehničko-radnih procedura. Ako se utvrdi da održavanje ne može biti efektivno, identifikuje se potreba za redizajnom ili modifikacijom.

### KORACI RCM – ANALIZE

Radi se o metodologiji kojom se odabrana oprema detaljno analizira s ciljem predikcije njenih otkaza, nakon čega se odabere najbolja koncepcija održavanja kojom će se prevenirati otkazi ili minimizovati njihove posljedice. RCM analiza se sastoji od utvrđivanja odgovora na sedam pitanja o fizičkom (tehničkom) sredstvu koje se analizira /16/:

- Koje su funkcije i željeni nivo performansi tehničkog sredstva u njegovom sadašnjem operativnom kontekstu (funkcije)?
- Na koji način je moguće da sredstvo ne ispuni svoju funkciju (funkcionalni otkaz)?
- Šta uzrokuje svaki funkcionalni otkaz (način otkaza)?
- Šta se desi prilikom svakog otkaza (efekti otkaza)?
- Na šta svaki otkaz utiče (posljedice otkaza)?
- Šta bi se moglo učiniti za predikciju ili prevenciju svakog otkaza (proaktivno održavanje i određivanje intervala)?
- Šta bi se moglo učiniti ako se ne može naći odgovarajuće proaktivno održavanje (održavanje po difoltu)?

Ova pitanja predstavljaju suštinske korake analize, ali naravno ne služe za praktičnu primjenjivost. Može se prepoznati da prvih pet pitanja predstavljaju nešto izmijenjenu FMEA analizu, a zadnja dva pitanja predstavljaju zamjenu za poseban algoritam izbora koncepcija održavanja. Kako će se analiza provoditi i s kakvim



algoritmom, da li uz pomoć eksperta ili timski, korišćenjem posebnih softvera ili ne, na koje sisteme - to su posebna pitanja koja su specifičnost organizacija koje ih izvode. RCM-metodologija je postala veoma popularna, jer primjena može biti veoma unosna. Zbog toga se razvijaju slične metodologije, koje na nešto drugačiji način pokušavaju postići isti rezultat. Njima je cilj da se za što kraće vrijeme dođe do iste (velike) zarade.

Iz navedenih definicija i koraka analize, a prema /12,17/ mogu se izvesti neki osnovni principi RCM metodologije:

- RCM je funkcijski orijentisana metodologija - Njome se želi očuvati funkcija sistema ili opreme, ne samo operabilnost radi same sebe. Funkcije mogu biti primarne i sekundarne;
- RCM je orjentisan na funkciju sistema - Ovom metodologijom se obraća veća pažnja na održavanje funkcije sistema, nego na funkcije individualnih komponenti, što najviše dolazi do izražaja kod složenih i kompleksnih elektro-mehaničkih sistema;
- RCM je održavanje prema pouzdanosti - Ona koristi statistiku otkaza samo ako je napravljena od strane iskusnih profesionalaca, te važnost odnosu između vremena rada i otkaza, samo ako je zasnovana na provjerenom iskustvu. Za temelj se uzimaju šest karakterističnih krivulja otkaza kompleksnih sistema;
- RCM prepoznaje konstrukcione mogućnosti - Održavanje može u najboljem slučaju dostići

i održati nivo pouzdanosti koji je predviđen konstrukcijom. Međutim, RCM metodologija prepoznaje da povratna veza iz održavanja može unaprijediti originalni dizajn, pa je redizajn kao zadnja alternativa, još jedan od karakterističnih termina ove metodologije;

- RCM je vođen sigurnošću i troškovima - Izbor akcija održavanja se zasniva na posljedicama: sigurnosnim, operativnim, neoperativnim i posljedicama skrivenih otkaza. Sigurnost se mora postići pri bilo kojim troškovima, a poslije troškovi postaju kriterij;
- RCM definiše otkaz kao nezadovoljavajuće stanje - Otkaz može biti ili gubitak funkcije ili gubitak zahtijevanog kvaliteta;
- RCM koristi algoritam odlučivanja za izbor akcija održavanja – Time se omogućava konzistentan i transparentan pristup održavanju različite vrste opreme i to je jedna od osnovnih karakteristika RCM-a;
- Izabrane akcije održavanja moraju biti primjenjive - To je tzv. kriterij aplikabilnosti: akcija održavanja mora da se odnosi na način otkaza i njegove karakteristike;
- Izabrane akcije održavanja moraju biti efektivne - To je tzv. kriterij efektivnosti: akcija održavanja mora redukovati vjerovatnoću otkaza i mora biti ekonomična;
- RCM ravnopravno tretira sve koncepcije održavanja - Traži se optimalni odnos: održavanja prema stanju, preventivnog, detektivog i korektivnog održavanja;
- RCM je sistem koji živi - Predviđeno je da se prikupljaju podaci tokom odvijanja izabranog održavanja, kao povratna veza za poboljšanje dizajna ili budućeg održavanja. Takva povratna veza je važna za ostvarivanje uslova za proaktivno održavanje.

### **REZULTATI PRIMJENE RCM-a**

Korišćenjem RCM metodologije postižu se veliki rezultati. Prema /16/ oni su:

Postizanje veće sigurnosti u radu i zaštite okoline: RCM razmatra sigurnosne i ekološke implikacije svakog načina otkaza, prije nego što se razmatra njihov efekat na misiju. Tako se sigurnost i zaštita okoline proglašavaju glavnim uticajnim faktorima pri donošenju odluke o akcijama održavanja.

Poboljšanje radnih performansi: Koncentrisanjem na to šta su funkcije sistema, a ne šta je to sistem, RCM omogućava korisniku da identifikuje jasnije i preciznije šta se mora učiniti da bi se

postiglo realno i značajno dugoročno poboljšanje pouzdanosti i raspoloživosti sistema.

Veća ekonomičnost održavanja: RCM fokusira pažnju na akcije održavanja koje imaju najveći efekat na performanse sistema. Time se postiže da je svaki trošak na održavanje u stvari trošak koji će napraviti najveću korist.

Duži koristan vijek opreme, zbog pažljivog fokusiranja na korišćenje održavanja prema stanju.

Stvaranje baze podataka: Svaka RCM analiza završava sa formiranim i potpuno dokumentovanim zapisom o zahtjevima održavanja svih važnih sistema. To omogućava adaptaciju na svaku promjenu okolnosti bez sveobuhvatnog ponovnog razmatranja. Takođe, to omogućava potpunu transparentnost procesa izbora akcija održavanja i dokaz da je on postavljen na racionalnim temeljima.

Veća motivacija pojedinaca, posebno ljudi koji su uključeni u analizu. To vodi velikom poboljšanju osnovnog razumijevanja rada opreme u njenom operativnom kontekstu, zajedno sa većim saživljavanjem sa problemima održavanja i njihovom rješavanju. Takođe, to znači da je vjerovatnije da će se predložena rješenja provoditi.

Bolji timski rad: RCM daje zajednički, lako razumljiv tehnički rječnik za svakog ko mora da radi nešto u vezi sa održavanjem. Time se ljudima u održavanju omogućava da bolje shvate šta održavanje može (i ne može) postići i šta se mora učiniti da bi se to postiglo.

Prema /19,20,21/ rezultati postignuti primjenom RCM metodologije, u različitim slučajevima, bi se mogli odrediti kao :

- Smanjenje broja radnih časova za preventivno održavanje do 87%;
- Smanjenje ukupnog broja radnih časova za održavanje od 20% do 30%;
- Smanjenje troškova materijala za održavanje do 64%;
- Smanjenje stokova rezervnih dijelova od 20 - 30%;
- Povećanje raspoloživosti opreme do 15%;
- Povećanje pouzdanosti opreme do 100%.

### **ZAKLJUČAK**

RCM je metodologija primjenjiva kako za projektovanje optimalnog održavanja tehničkih sistema, tako i za optimizaciju održavanja sistema na upotrebi. Pogodna je za kompleksne elektromehaničke sisteme, a manje za jednostavnije

sisteme i one sa dominantnim načinom otkaza. Poznato je da se investicije u RCM vraćaju za 3-6 mjeseci, eventualno godinu dana. Međutim, za analizu na većim sistemima treba 2-6 godina. Radi se o tome što su procedure FMEA analize jako komplikovane, pa time i dugotrajne. Sagledavanje mogućih otkaza na jednom tehničkom sistemu predstavlja vrhunski inženjerski zadatak. Problem u primjeni nije u nedostatku računarske podrške, već u poznavanju i efikasnoj primjeni metodologije. Njena popularnost i primjena na Zapadu je velika, tako da je bitno razumijevanje njenih osnovnih karakteristika kako bi se mogla primjenjivati kod nas.

#### LITERATURA:

- /1/ „Applying MSG-3 to out of production aircraft“, Aircraft Technology – Engineering & Maintenance, 2001.
- /2/ Stanley, N. F. Heap H. F.: "Reliability-Centered Maintenance", Defense Documentation Center, AD-A066-579, Washington DC, 1979.
- /3/ MSG-3. Maintenance Program Development Document. Revision 2, Air Transport Association, Washington, DC, 1993.
- /4/ MIL-STD 2173. (AS), Reliability-Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft, Weapon Systems and Support Equipment, US Naval Air Systems Command, Washington DC, 1986.
- /5/ DA Pam 750-40. Guide to reliability centered maintenance (RCM) for fielded equipment, Department of the Army, Washington DC, 1979.
- /6/ „Maintenance Policy for Naval Ships“, OPNAV Instruction 4700.7J, Department of the NAVY, Washington DC, 1992.
- /7/ NES 45, Defence Standard 02-45 Issue 2, Ministry of Defence, Foxhill, Bath, 2000.
- /8/ SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineers, Washington DC, 1999.
- /9/ Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance, International Electro-technical Commission, Geneva, 1998.
- /10/ Stanley, N. F. Heap H. F.: "Reliability-Centered Maintenance", Defense Documentation Center, AD-A066-579, Washington DC, 1979.
- /11/ Study of existing RCM approaches used in different industries, Technical Report Number: FIM/110.1/DATSI/00, Facultad de Informática, Madrid, 2000.
- /12/ Aleksić, M.: "Metodologija izbora koncepcija održavanja kompleksnih brodskih sistema", doktorska disertacija, VTA, Beograd, 2006.
- /13/ <https://www.nalda.navy.mil/4790/basicins.html>, 2002.
- /14/ NAVAIR Instruction 4790.20A, Reliability-Centered Maintenance Program, Department of the Navy, Naval Air Systems Command, Washington DC, 2001.
- /15/ NAVAIR 00-25-403, Guidelines for the Naval Aviation Reliability-centered Maintenance Process, Direction of Commander, Naval Air Systems Command, Washington, 2001.
- /16/ Moubray, J.: "Reliability Centred Maintenance II", Butterworth - Heinemann, Oxford, 1997.
- /17/ "Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment", National Aeronautics and Space Administration-NASA, Washington DC, 2001.
- /18/ Reliability Centred Maintenance (RCM) and Maintenance Management, <http://www.scandpower.no>, 2002.
- /19/ Dunn, S.: "Re-inventing the Maintenance Process", Queensland Maintenance Conference, 1998.
- /20/ Stanojević, P., Mišković V.: "Mogućnosti i problemi primene savremenih strategija održavanja u vojnim sistemima", SYMOPIS, Herceg Novi, 2003.
- /21/ Smith, A.: "Reliability-Centered Maintenance", McGraw-Hill, New York, 1993.

#### RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE

*The numerous leading world companies apply RCM methodology for maintenance costs decreasing. This paper is a contribution to the discussion on content, scope and origin of RCM methodology. RCM is useful for determining maintenance strategies of new systems and for improvement legacy maintenance systems. Understanding the benefits and the steps of the RCM process is very important for impending implementation in domestic industry.*

**Key words:** RCM, FMEA, maintenance strategy, maintenance costs