

# UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM NA BAZI RIZIKA

**Prof. dr Jovan Todorović**  
**Mašinski fakultet Beograd**

*Postojeće metode upravljanja održavanjem tehničkih sistema imaju za cilj obezbeđenje željene pouzdanosti i raspoloživosti sistema, po mogućnosti uz što manje troškove. Novi koncepti upravljanja, koji se sve više primenjuju u svim oblastima života, zasnovani su na riziku, složenoj kategoriji koja neposredno povezuje verovatnoću pojave neželjenog događaja i posledice tog događaja. To je sve više prisutno i u području teorije i inženjerstva održavanja tehničkih sistema. U punom su razvoju nove metode održavanja na bazi rizika, koje za područje preventivnog održavanja prema stanju predstavljaju važnu i značajnu podršku postojećim metodama održavanja na bazi pouzdanosti. Pri tome je značajno da se u metodama održavanja na bazi rizika pod posledicama otkaza, tj. neželjenog događaja, posmatraju ne samo troškovi, već i svi drugi važni aspekti, kao što su sigurnost i bezbednost, uticaji na zdravlje i okolinu, itd.*

*Ključne reči: Održavanje, Preventivni pregledi, Rizik, Optimizacija*

## **METODE UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM**

Dobro je poznato da svi tehnički sistemi tokom vremena mogu da dožive različite poremećaje i druge događaje koji ometaju, pa i potpuno prekidaju njihovo ispravno funkcionisanje. Iako ovi poremećaji mogu da budu uslovljeni i uticajima okoline, odnosno različitim prirodnim dejstvima, oni su najčešće izazvani pojavom otkaza elemenata sistema. Da bi se i pored toga obezbedilo da tehnički sistemi izvršavaju svoju funkciju cilja, odnosno zadatke za koje su namenjeni, nužno je da se održavaju, tj. da se redovno podvrgavaju postupcima koji će sprečiti ili odložiti pojavu otkaza. Zato održavanje tehničkih sistema predstavlja jednu od najvažnijih aktivnosti u njihovom ukupnom životnom ciklusu.

Pošto je održavanje neposredno uslovljeno pojavom otkaza, koji mogu biti veoma različitog intenziteta i karaktera, upravljanje složenim postupcima održavanja mora biti zasnovano na izučavanju i analizi pojave otkaza /1/. Drugim rečima, na zakonima teorije pouzdanosti. Pri tome se moraju uzeti u obzir i drugi važni činioci, a pre svega troškovi održavanja, koji obično zahvataju dobar deo ukupnih troškova životnog ciklusa. U tom smislu, postupcima održavanja treba da se omogući rad sistema bez otkaza, ili tačnije rad sa što manjom verovatnoćom pojave otkaza. Uz to, treba da se obezbedi i da su posledice ili štete izazvane otkazima što manje, a i da su troškovi održavanja što manji.

Ovo načelno predstavlja složen upravljački zadatak. On se praktično rešava određenim politikama ili strategijama održavanja, na različitim konceptijskim opredeljenjima (npr. preventivno i korektivno održavanje) i metodama zasnovanim na različitim kriterijumima odlučivanja ili optimizacije. U svakom slučaju, izabranom metodom održavanja treba da se obezbedi da se na bazi osmišljenog uvida u stvarno stanje sistema koji se održava omogući donošenje "najboljih" odluka o tome kada, gde i koje postupke održavanja treba sprovesti, vodeći računa o zahtevanoj pouzdanosti i raspoloživosti sistema i odgovarajućim troškovima. Ima više metoda održavanja koje su se afirmisale u dosadašnjoj praksi.

**Metoda RCM** ("Reliability Centered Maintenance", odnosno "Održavanje prema pouzdanosti" ili OPP) jedna je od najčešće citiranih, pa verovatno i najviše primenjenih. Ova metoda je definisana i odgovarajućim međunarodnim standardima /2/. Ona traži snažnu informatičku podršku, bogate baze podataka o svim performansama pouzdanosti, raspoloživosti, gotovosti i drugim svojstvima sistema. Iako baze podataka za primenu RCM metoda često sadrže i podatke o ranijim postupcima održavanja, o njihovom efektu, trajanju, troškovima i drugim relevantnim elementima (uticaji na okolinu, zaštita ljudi i njihovog zdravlja itd.), presudni uticaj na donošenje odluka o tome kada, gde i koje postupke održavanja treba sprovesti imaju

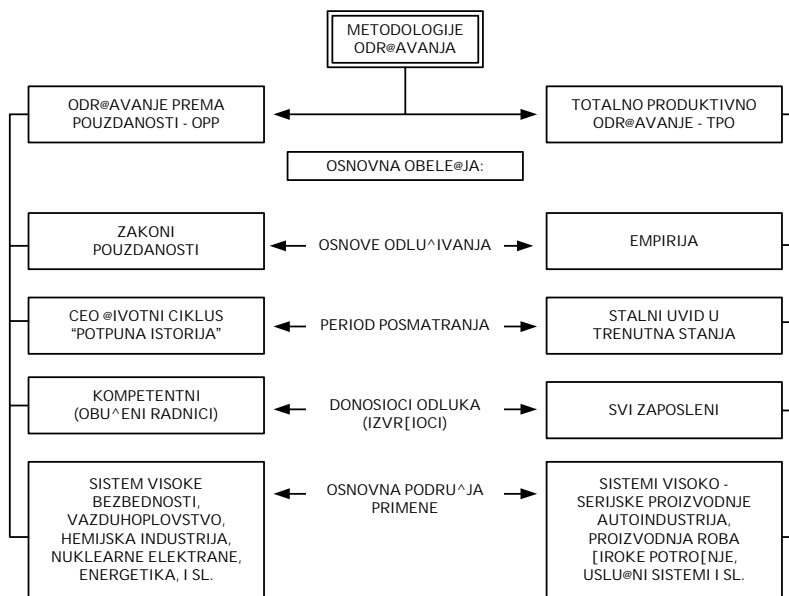
zahtevi pouzdanosti. Drugim rečima, cilj rada po ovom metodu je obezbeđivanje zahtevanog nivoa pouzdanosti, dok troškovi, uticaj na okolinu i eventualno drugi elementi imaju karakter ograničenja, koje valja zadovoljiti u mogućem, poželjno u što većem stepenu. Pri tome, odluke o održavanju u ovom slučaju donose kompetentni, kvalifikovani i posebno zaduženi radnici, odnosno visoko-obučeno osoblje dobro verzirano u dotični sistem i proces njegovog korišćenja.

Održavanje po metodu 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, ali i u vazдушnom saobraćaju, sistemima odbrane, telekomunikacija, informatike itd. Pored potrebnih velikih ulaganja ovo je uslovljeno i samom prirodom i karakteristikama sistema koji treba da se održava. Naime, da bi se metodom RCM donosile odluke o održavanju predmetni sistem treba da se prati i analizira u dužim vremenskim periodima, uz stalna upoređenja sa drugim sličnim sistemima, koji rade pod tim ili nekim drugim uslovima. Potrebna je, dakle, homogena baza, statistički signifikantnih podataka. To je često teško, pa i nemoguće obezbediti u slučaju sistema koji su heterogene i stalno promenljive strukture, što je slučaj, na

primer, sa velikim voznim parkovima, sastavljenim od različitih vozila, različite starosti i karakteristika, a i sa većinom metaloprerađivačkih pogona, struktuiranim sa velikim brojem različitih, obično unikatnih mašina.

**Metoda TPM** ("Total Productive Maintenance", odnosno "Totalno produktivno održavanje" ili TPO) preporučuje se i široko primenjuje za složene heterogene sisteme, kakvi su najčešće industrijski pogoni. Ovo je znatno jednostavnija metoda, veoma je fleksibilna i traži manja ulaganja. Ona je u suštini empirijska i zasniva se na iskustvu radnika koji rade sa dotičnim sistemom, kao rukovaoci, kontrolori, planeri, rukovodioci i na svim drugim mestima koja su direktno ili indirektno vezana za rad sistema. Pri tome se podrazumeva da svi ovi radnici imaju mogućnosti i znanja da u svakom trenutku ocene stvarno stanje sistema i svih njegovih elemenata, odnosno da utvrde da li sve funkcioniše kako treba, a posebno da na osnovu sopstvenog iskustva iz prethodnog perioda rada sistema ocene da li ima nagoveštaja da će uskoro doći do nekih poremećaja ili otkaza. To znači da u ovom slučaju nisu potrebne precizne informacije o pouzdanosti sistema i njegovih elemenata, ali su vrlo korisne baze podataka o prethodnim postupcima održavanja, o tome zašto su i kada određeni postupci sprovedeni i kakav je bio njihov efekat. Drugim rečima upravljanje održavanjem po metodi TPM se takođe zasniva na kriterijumima pouzdanosti i raspoloživosti, uz analizu troškova kao bitnog ograničenja, ali odluke o održavanju mogu da se donose i bez detaljnog poznavanja zakona pouzdanosti. To znači, pored ostalog, da se metoda TPM može primenjivati i za sisteme koji su tek uključeni u proces rada ili koji se tokom vremena relativno malo koriste, odnosno za čije elemente je praktično nemoguće odrediti zakone pouzdanosti.

Korisno je da se napomene da metoda TPM potiče iz Japana i da je ustvari deo ukupne proizvodne filozofije koja se široko koristi u ovoj zemlji, analogno koncepcijama "totalnog kvaliteta", "reinženjeringa", "čiste proizvodnje" ("lean production") itd. Ovo se podvlači, zato što je očigledno da metoda TPM traži visoku radnu disciplinu, aktivan



**Slika 1. Upoređivanje metodologija održavanja**

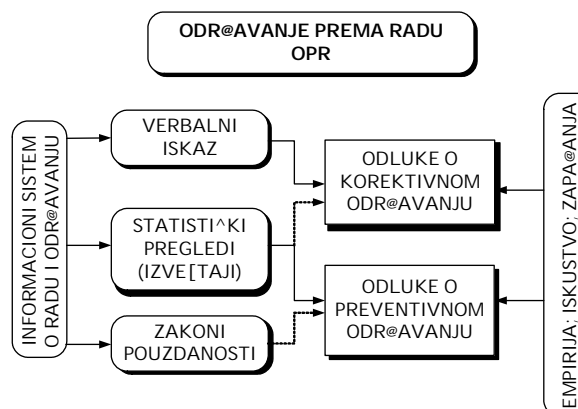
odnos radnika i svih zaposlenih prema proizvodnom procesu, svim mašinama i postrojenjima. Traži i visoke etičke kvalitete i razvijenu svest o ličnoj i kolektivnoj odgovornosti.

Na slici 1 je radi boljeg uočavanja specifičnih obeležja ove dve osnovne metode dato jedno sasvim pojednostavljeno upoređenje /3/.

**Metoda ROM** (“Results Oriented Maintenance”, odnosno “Održavanja prema rezultatima rada” ili OPRR) nedavno je predložena za određene, pretežno proizvodne sisteme. Ova metoda suštinski predstavlja izvestan kompromis metoda RCM i TPM. U ovom slučaju osnovne odluke o održavanju donose se na bazi podataka koji se dobijaju brižljivim statističkim praćenjem rezultata rada sistema, na primer tačnosti izrade delova ili kvaliteta izlaznog proizvoda, ali uz nastojanje da se pri tome, ukoliko su raspoložive, koriste i baze podataka o pouzdanosti i ranijim postupcima održavanja, makar bile i ograničenog obima i nedovoljne statističke signifikantnosti. Po nekim mišljenjima za veliki broj industrijskih proizvodnih pogona metoda ROM je najpogodnija i najekonomičnija, pošto se postupci održavanja preduzimaju samo onda kada je to zaista nužno. Uz dostizanje potrebne pouzdanosti i raspoloživosti, rad po metodi ROM obezbeđuje i minimizaciju troškova održavanja.

**Metoda OCM** (“Operation Centered Maintenance”, odnosno “Održavanje prema radu” ili OPR) je slična prethodnoj i takođe predstavlja određeni kompromis između metoda RCM i TPM. Bitna je razlika u odnosu na prethodne da je po metodi OCM za donošenje odluka o održavanju pored statističkih podataka o prethodnom radu sistema, posebno sa stanovišta rezultata radnih procesa, i raspoloživih podataka o zakonima pouzdanosti (obično ograničene statističke signifikantnosti), koriste i verbalni iskazi. Drugim rečima, metoda OCM, koja je kod nas svojevremeno predložena, ali na čijem razvoju dalje nije rađeno, uključuje i elemente fazi logike /3/. Ovo se iskazuje odgovarajućom obradom ocena ili zapažanja radnika o svim pojavama tokom procesa rada, i to svih radnika koji učestvuju u ovom procesu. U donošenju odluka o održavanju u ovom slučaju, dakle, indirektno učestvuju svi radnici (kao kod metoda totalnog produktivnog održavanja), ali konačne odluke donose kompetentni i kvalifikovani radnici, posebno zaduženi za poslove održavanja (kao kod metoda održavanja prema pouzdanosti).

Shematski prikaz metode “Održavanje prema radu” dat je na slici 2 /3/.



**Slika 2. Shematski prikaz metode “Održavanje prema radu”**

### RIZIK I METODE ANALIZE RIZIKA

Kao što se iz datog sažetog prikaza metoda održavanja vidi, danas se u upravljanju održavanjem osnovna pažnja usmerava na obezbeđenje zahtevane pouzdanosti i raspoloživosti, odnosno na odgovarajuće verovatnoće pojave otkaza, a tek zatim i na posledice ovih neželjenih događaja. Pokazalo se, međutim, da je znatno bolje da se oba ova činioca, odnosno verovatnoće pojave neželjenih događaja i posledice ovih događaja posmatraju istovremeno. Obuhvatanjem oba ova faktora istovremeno mogu se donositi najbolje i efektivne odluke. Ovo drugim rečima znači da upravljanje održavanjem treba vršiti **na bazi rizika**, koji objedinjuje obe ove suštinski bitne karakteristike. Rizik se, naime, definiše kao proizvod verovatnoće nastanka neželjenog događaja i posledica ovog događaja /4, 5, 6/

### **RIZIK = VEROVATNOĆA x POSLEDICE**

Treba da se napomene da ovako definisan pojam, odnosno koncept rizika, sa teorijskog, odnosno matematičkog stanovišta izaziva izvesna podozrenja i nerazumevanja, a usvojeni “načini kvantifikacije rizika mogu da zbune ne samo laike već i stručne ljude” /4/. Osnovna zamerka, tj. glavni razlog ovih zabuna i nerazumevanja leži u činjenici da se rizik prema ovom konceptu izražava kao proizvod dve komponente: “jedne koja je realna (posledice) i druge koja je imaginarna, odnosno koju je čovek definisao i nazvao verovatnoća” /4/.

Međutim, i pored ovih svakako nespornih zamerki, opšte je prihvaćeno da je ovako iskazan

koncept rizika veoma praktičan i da omogućava upravljanje rizikom na efikasan i svrsishodan način.

Treba da se naglasi da je rizik nešto sa čim mi, kao pojedinci, živimo iz dana u dan. Znajući ili neznajući, mi stalno donosimo odluke bazirane na riziku. Proste odluke, kao što je odluka da se vozi kolima na posao ili da se pređe ulica sa puno saobraćaja, predstavljaju odluke kojim se prihvataju određeni rizici. Krupnije odluke, kao što je kupovina kuće, investiranje u neki posao ili ženidba, uvek znače i prihvatanje nekog rizika. Život nije bez rizika i čak i najopreznije osobe, koje nastoje da izbegavaju sve opasnosti, često nesvesno preuzimaju određene rizike.

Zato se rizik danas posmatra kao ozbiljan ekonomski, javni i politički problem. Na neki način, rizik ima svoju tržišnu vrednost, svoje tržište, kupce i prodavce. Oni koji investiraju u smanjenje rizika očekuju ekonomski merljive koristi. To znači da je važnije da se rizik identifikuje i da se njime na pravi način upravlja, nego da se insistira na smanjenju ili eliminaciji rizika "po svaku cenu". To je nova filozofija upravljanja složenim sistemima, tzv. "Upravljanje prema riziku" ili u originalu "Risk Based Management" /7/.

Analizama rizika poklanja se sve više pažnje, u svim oblastima života. Tvrdi se da su se metode analize rizika "nametnule kao efikasni i sveobuhvatni postupci koji dopunjuju ili zamenjuju upravljačke metode u skoro svim sektorima života – u zdravstvenoj zaštiti, zaštiti okoline, osiguranju, upravljanju vodenim i energetskim resursima, transportu, itd". /4/. Logično je stoga da se koncept rizika primeni i u upravljanju održavanjem tehničkih sistema.

Rečeno je da u načelu metode analize rizika dopunjuju i/ili zamenjuju druge upravljačke metode u svim sektorima života. U tom smislu i metode održavanja na bazi rizika ne predstavljaju zamenu za postojeće metode, opisane u tački 1, već suštinski njihovu važnu i korisnu dopunu. Ovo pre svega stoga što se upravljanje održavanjem na bazi rizika usmerava u prvom redu na preventivno održavanje, i to na preventivno održavanje prema stanju, koje se zasniva na osmišljenim tehničkim pregledima posmatranog sistema. Na osnovu rezultata ovih pregleda donose se odluke o potrebnim postupcima održavanja, kao i o tome šta, gde, kako i kada treba pregledati u narednom periodu vremena. Zbog neposrednog usmeravanja na tehničke preglede, metode održavanja

na bazi rizika često se zovu i metode "tehničkih pregleda na bazi rizika". Pri tome je suštinski važno da se dobro uoče i odrede odnosi koji postoje između tehničkog pregleda i rizika. Naime, pošto rizik jednog događaja ima dve komponente, verovatnoću i posledice, tehnički pregled treba da bude tako definisan da se na taj način smanjuje ili jedna ili obe komponente rizika.

Suština metoda održavanja, odnosno tehničkih pregleda na bazi rizika može najbolje da se objasni jednim primerom. Ukoliko se na bazi izučavanja zakona pouzdanosti utvrdi da jedna komponenta u datom trenutku ima malu pouzdanost, metodom održavanja prema pouzdanosti (RCM) definišaće se tehnički pregledi i/ili preventivne zamene te komponente u određenim intervalima vremena. To će izazvati određene troškove održavanja. Ukoliko su, međutim, posledice otkaza te komponente veoma male, ukoliko se opravka može izvršiti brzo i lako, bez velikih troškova i ukoliko se ovim otkazom ne izazivaju značajni negativni efekti na rad sistema, tj. ukoliko je rizik pojave tog događaja sasvim mali ili zanemarljiv, u programu tehničkih pregleda na bazi rizika ova komponenta će biti zanemarena. Drugim rečima, usvojiće se da se ovi otkazi rešavaju korektivnim održavanjem. Tako će se ostvariti i zadovoljavajuća raspoloživost, a troškovi održavanja će biti manji.

### **METODE ODRŽAVANJA NA BAZI RIZIKA**

Poslednjih godina intenzivno se radi na razvoju metoda upravljanjem održavanja na bazi rizika. Ove aktivnosti su posebno usmerene na održavanje složenih tehničkih sistema visokih rizika, kod kojih pojava većih otkaza ima karakter havarija. To su pre svega energetska, posebno nuklearna postrojenja, a zatim i petrohemijska i procesna postrojenja, rafinerije i naftna industrija itd. Sve češće se ovakve inicijative javljaju i u drugim granama industrije, u saobraćaju (posebno železničkom), u komunalnim (gasovodi) i drugim sistemima.

**Metoda RBI** ("Risk-Based Inspection", odnosno "Tehnički pregledi na bazi rizika") je jedna od prvih i najviše citiranih metoda održavanja na bazi rizika. Na nju se oslanja i većina drugih metoda održavanja na bazi rizika, koja se razvija poslednjih godina. Metoda RBI je razvijena u Američkom institutu za naftu (American petroleum institute – API) i definisana je standardom API 581 /5/. Osnovni cilj i zadatak

metode RBI je da se definišu odgovarajući programi tehničkih pregleda za posmatrani tehnički sistem, tako da se na bazi detaljnih analiza:

- identifikuju, ocene i rangiraju svi rizici sa stanovišta prekida radnog procesa, bezbednosti i sigurnosti radnika, uticaja na zdravlje i živote ljudi i uticaja na bližu i daljnju okolinu, i
- odrede mere koje treba da se preduzmu da bi se značajni rizici smanjili, odnosno da bi se smanjila verovatnoća i/ili posledice tih događaja, i to sa troškovima koji se mogu prihvatiti.

Ovo govori da rad po metodi RBI obuhvata najpre detaljnu analizu svih mogućih otkaza, a posebno onih koji se manifestuju postepenim slabljenjem ugrađenih elemenata (zamor, korozija, habanje, i slično). Uz analizu mehanizma razvijanja oštećenja i rezultujućeg oblika otkaza, treba da se analizira i osetljivost ili tolerancije sistema na tu vrstu oštećenja, kao i verovatnoće otkrivanja tog oštećenja pomoću mernih uređaja i instrumenata koji se koriste za preglede. Drugim rečima, tehničkim pregledima ne može da se utiče na rizik pojave otkaza koji su izazvani nekim spoljnjim, vanrednim uticajima (požar, preopterećenje, dinamički udar, potres, itd.) ili koji su rezultat pogrešne konstrukcije, neispravnosti kontrolnih instrumenata, greške čoveka, itd.

Pošto se ocene nivoi ili odrede vrednosti rizika za sve kritične događaje i elemente sistema koji se posmatra, važan deo metode RBI predstavlja njihovo rangiranje, odnosno tzv. "prosejavanje" ili "screening". Suština je u tome da rizik posmatranog sistema zavisi od rizika pojave neželjenih događaja na pojedinim elementima ili delovima sistema. Osim toga, ne mora svaki otkaz postrojenja da izazove krupne i ozbiljne posledice po sigurnost, ekonomiju ili okolinu. Ako neki otkazi imaju potencijalno ozbiljne posledice, ali ukoliko je verovatnoća njihove pojave mala, tada je i rizik mali, pa nije nužno da se odmah preduzimaju postupci održavanja ili druge hitne akcije. Nasuprot tome, ako je kombinacija verovatnoće i posledica dovoljno velika, tj. ako je rizik na nivou koji ne može da se toleriše, tada treba da se preduzmu akcije pomoću kojih će se ovakvi događaji unapred predvideti i sprečiti (slika 5).

"Prosejavanjem" ili "screening"-om rizika treba da se oceni pojedinačni značaj svakog eleme-

nta opreme (uređaja) ili dela koji čine posmatrani sistem. Za svaki element treba da se oceni i uticaj, odnosno značaj u pogledu izvršavanja zadatka sistema, tj. ispunjavanja njegovih funkcionalnih zahteva. Posebno treba da se identifikuju kritični elementi ili delovi čiji otkaz vodi ka:

- Neprihvatljivom nivou posledica po sigurnost, zdravlje ili okolinu;
- Značajnom nivou ekonomskih posledica.

Pored kritičnih elemenata sistema već u početnim fazama treba analizirati i sve one elemente koji imaju značajan uticaj na troškove održavanja postrojenja, bilo sa stanovišta učestanosti opravke i/ili sa stanovišta veličine troškova opravke. Iako ovi delovi ne moraju da značajnije utiču i na pouzdanost sistema, verovatno je da oni pružaju najveće mogućnosti za smanjivanje troškova održavanja, pa i njih treba uključiti u RBI analize.

Preostali elementi ili delovi sistema čiji se otkazi mogu tolerisati ili čiji troškovi održavanja ne pružaju mogućnosti za značajno smanjenje troškova rada, treba da se grupišu zajedno i identifikuju kao nekritični. Osnova za odluku o kritičnosti ili nekritičnosti treba da bude dokumentovana za svaki pojedinačni element ili deo, tako da iz ovakvih listinga postoje mogućnosti dobijanja svih potrebnih podataka i informacija.

Pri tome se mora imati stalno u vidu da je cilj tehničkih pregleda na bazi rizika merenje i upravljanje rizikom. Stoga napor, koji se ulaže u program jednog tehničkog pregleda, treba da se oblikuje tako da se omogući optimizacija odnosa između rizika i ulaganja u tehnički pregled. Metoda RBI nudi dva osnovna alata za postizanje ovog optimuma: kvalitativni i kvantitativni, kao i razna međurešenja, polukvitatativne i polukvantitativne alate. Svi ovi alati ili prilazi daju mogućnosti sistematskog ocenjivanja ili rangiranja rizika ("screening"), identifikovanje zona potencijalnih briga i razvoj lista prioriteta za dalje, dublje preglede ili analize.

Osnovna razlika između kvalitativnih i kvantitativnih prilaza ogleda se u nivou rezolucije. Kvalitativni postupak traži manje detaljsane informacije o postrojenju i, kao rezultat toga, manje su mogućnosti za uočavanje razlika između pojedinih komponeneta, tj. za ocenu njihove kritičnosti. Zato se ova tehnika normalno koristi za rangiranje složenih komponeneta ili većih delova sistema, kako bi se na toj osnovi omogućile dalje, odnosno kvantitativne analize na nižim nivoima.

Kvalitativni RBI je važan za početne analize. Na ovaj način se sa manje napora i manja ulaganja dobijaju značajne informacije za dalji rad. Cilj ovih analiza je da se ocenjena područja procesa stave u jednu matricu, na primer "pet puta pet" (pet rangova verovatnoća i pet rangova posledica), koja rangira pojedine komponente sistema sa stanovišta rizika. Na taj način se omogućava određivanje prioriteta komponenta koje treba detaljno izučavati kvantitativnim alatima.

Kvantitativnom RBI analizom treba da se odrede rizici za svaki važan ili kritičan deo sistema. Tek se sa informacijama ovog nivoa može definisati velishodan i efikasan program tehničkih pregleda. Ovim postupkom se ocenjuje i rizik celog sistema, kao i uticaj svake pojedinačne komponente. Kvantitativna analiza obuhvata obavljanje niza proračuna, pomoću kojih se ocenjuje verovatnoća i posledice svakog pojedinačnog važnog otkaza, odnosno odgovarajući rizik. Sa ovako proračunatim rizicima može da se formira lista rangova, koja se koristi za usmeravanje programa tehničkih pregleda na oblasti najvećih rizika. Za ovo se koriste i svi drugi raspoloživi podaci, na primer baze podataka o pouzdanosti sastavnih elemenata koje se koriste u metodu upravljanja održavanjem na bazi pouzdanosti RCM. Ima i tendencija da se metoda RCM poveže sa programom RBI, što bi trebalo kao rezultat da da jedan integrisani program za ocene verovatnoća pojave otkaza i rizika, a time za smanjivanje vremena u otkazu elemenata i sistema u celini.

U više priloga standarda API 581 data su sva potrebna uputstva, upitnici, tablice i objašnjenja za praktičnu primenu i kvalitativnih i kvantitativnih prilaza metoda RBI.

**Metoda RBLM** ("Risk-Based Life Management", odnosno "Upravljanje vekom na bazi rizika"), koja je razvijena u Institutu MPA pri Univerzitetu u Štutgartu /6/, predstavlja suštinski jednu praktičniju verziju metoda RBI. Ona je neposredno usmerena na upravljanje vekom trajanja kritičnih komponenta složenih sistema. I ova metoda ima za cilj definisanje optimalnih programa tehničkih pregleda, orijentacijom na kritične elemente najvišeg rizika. I u ovom slučaju se, dakle, analiziraju rizici za sve komponente sistema, pa se rangiranjem, odnosno "screening"-om određuju kritične komponente na koje treba da se obrati najveća pažnja.

Sušтина ovog prilaza je da se odgovorima na pitanja: (a) kako da se odredi rizik, (b) kako da se rizik oceni i (c) kako da se donese odgovarajuća odluka na bazi rizika, omogućí erfikasno upravljanje sistemom održavanja na bazi rizika. To uključuje potrebu određivanja prioriteta i kritičnih lokacija, a zatim i utvrđivanje načina rešavanja ovih prioriternih i kritičnih problema, odnosno načina optimizacije. Na osnovu toga donose se odluke o stanju posmatranog tehničkog sistema i/ili njegovih komponentata, uključujući i odluke o sprovođenju odgovarajućih postupaka održavanja, kao i odluka o vremenu periodu kada treba da se obavi sledeći pregled. To podrazumeva i odgovarajuću organizaciju rada, kao i odgovarajuće nadležnosti, odnosno odgovornosti. Ovo je objašnjeno u tabeli 1.

PREDMET	REŠENJE
šta - prioriteti	RBI / RBLM <i>Pregled, održavanje i rad na bazi rizika (strategija upravljanja sistemom)</i>
gde - kritične lokacije	
koliko - predmet optimizacije	
zašto - odluka o stanju	
kada - sledeći pregled	
ko - odgovornost	ORGANIZACIJA

**Tabela 1. Proces odlučivanja u metodi RBLM**

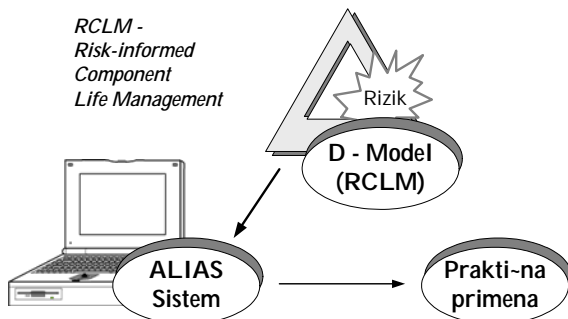
Metoda RBLM pretpostavlja da je poslovni sistem koji se posmatra konzistentan i da donosioci odluka u svim trenucima procesa odlučivanja imaju punu kontrolu nad svim elementima rizika. Pri tome se ovim metodom uzimaju u obzir ne samo tehnički činoci, već i svi drugi relevantni uticaji na verovatnoću i posledice otkaza i drugih neželjenih događaja (troškovi, sigurnost, okolina, itd.).

U praktičnoj primeni metoda RBLM se svodi na određivanje rizika za svaku važnu, odnosno kritičnu komponentu sistema, što se realizuje tzv.  $\Delta$  - modelom, ili RCLM postupkom ("Risk-informed Component Life Management"). Uz pomoć snažnog računarskog programa ALIAS (Advanced modular intelligent Life Assessment Software System)  $\Delta$  - model daje podatke koji imaju praktično upotrebljivu vrednost. Ovo je objašnjeno na slici 3, dok je na slici 4 shematski naznačen sistem analiza podataka koji se na ovaj način obezbeđuju.

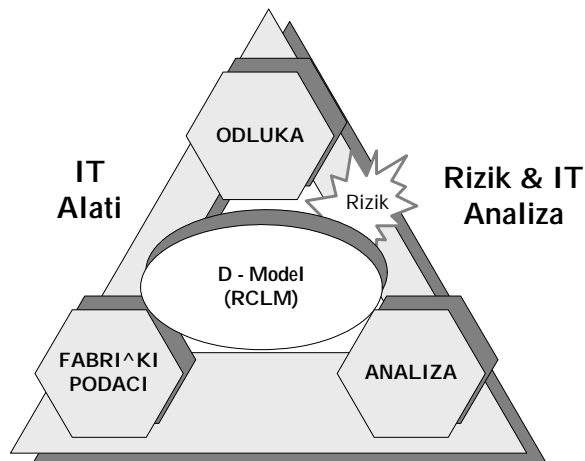
**Metoda RIMAP** ("Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures", odnosno "Postupci tehničkih pregleda i održavanja na bazi rizika") predstavlja dalju fazu u razvoju metoda upra-

vljanjem održavanjem na bazi rizika, odnosno novi projekat koji se realizuje u okviru Evropske zajednice /7/. Ovaj projekat se u velikoj meri zasniva na metodama RBI, odnosno RBLM, ali je značajno da se u samom naslovu projekta eksplicitno ukazuje da ova metoda definiše ne samo postupke tehničkih pregleda na bazi rizika već i druge postupke održavanja koji se na ovoj osnovi preduzimaju (zamene delova, popravke, rekonstrukcije ili poboljšanja). Iako je načelno zamišljen kao opšti, on je u ovoj fazi takođe usmeren prvenstveno na složena energetska, procesna, naftna i slična postrojenja velikih rizika. Cilj projekta je da se razviju smernice za donošenje odluka na bazi rizika za tehničke preglede i održavanje, koje trebe da obezbede tehničke osnove za Evropski standard u ovoj oblasti. Pri tome se ima u vidu da između SAD i Evrope u vezi sa primenom metoda odlučivanja na bazi rizika postoje značajne razlike. Između ostalog, u SAD na ovim pitanjima radi više snažnih organizacija, kao što su API, ASME, PVRC i druge, dok u Evropi ovakvih inicijativa još nema. Povrh toga, većina inicijativa u SAD je motivisana profitom, dok se u Evropi na ova pitanja gleda pre svega sa stanovišta uvođenja odgovarajuće pravne ili normativne regulative /8/.

Na projektu RIMAP radi konzorcijum od preko 30 firmi, koje predstavljaju važan deo Evropske industrije. Među njima su, na primer, Det Norske Veritas, Bureau Veritas, MPA Štuttgart, TÜV Suddeutschland, TNO Holland, Siemens AG, Exxonmobil Chemical, The Dow Chemical, Bay Zoltan Foundation Hungary, Electricite de France, MIT GmbH, Total Fina Elf i drugi. Pored toga, projekat RIMAP podržava Evropska komisija preko svoje Generalne direkcije za zajedničke razvojne programe (EC JRC - European Commission-Joint Reserach Centre) i neke druge međunarodne organizacije. Od nedavno na projektu saraduje kao posmatrač i kompanija DUNAV PREVING iz Beograda.



Slika 3. Metoda RCLM



### Inženjerska Analiza

Slika 4. Metod analize po metodi RCLM

RIMAP projekat obuhvata tri više-manje samostalna podprojekta, međusobno povezana u jedan "grozd". Prvi podprojekat se odnosi na razvoj metoda (RTD), drugi na njegovu demonstraciju (DEMO), a treći na razvoj tematske mreže (TN), koja će povezati sve učesnike i sve zemlje Evropske zajednice. Rad na projektu je započeo marta 2001. godine, a planirano je da se istraživanja završe za 3 godine, osim za podprojekat TN koji će se protegnuti na 4 godine /7/.

**Metoda PREVING** ("Preventivno Inženjerstvo") je varijanta metoda RIMAP, posebno usmerena na potrebe osiguranja. Ona se razvija u okviru Kompanije DUNAV PREVING u saradnji sa firmom STC R-Tech iz Nemačke /9/. Iako u velikom stepenu zasnovana na projektu RIMAP i iskustvima u primene ove metode u osiguravajućim kompanijama /11/, u metodu PREVING se ugrađuju i rezultati višegodišnjeg iskustva ove Kompanije u proceni šteta i rizika u industriji, transportu i skladištenju /10/.

Osnovni ciljevi metode PREVING su poboljšanja postupaka procene rizika koji se danas koriste u osiguranju, odnosno:

- utvrđivanje zavisnosti visine premije od stanja osiguranog objekta;
- utvrđivanje/procena mogućeg uticaja objekta na poslovni proces;
- utvrđivanje mogućeg uticaja objekta na okolinu;
- detaljno razdvajanje elemenata koji utiču na verovatnoću neželjenih događaja i njihovih posledica;

- detaljna procena faktora koji utiču na verovatnoću pojave neželjenih događaja i
- detaljna procena faktora koji utiču na posledice neželjenih događaja.

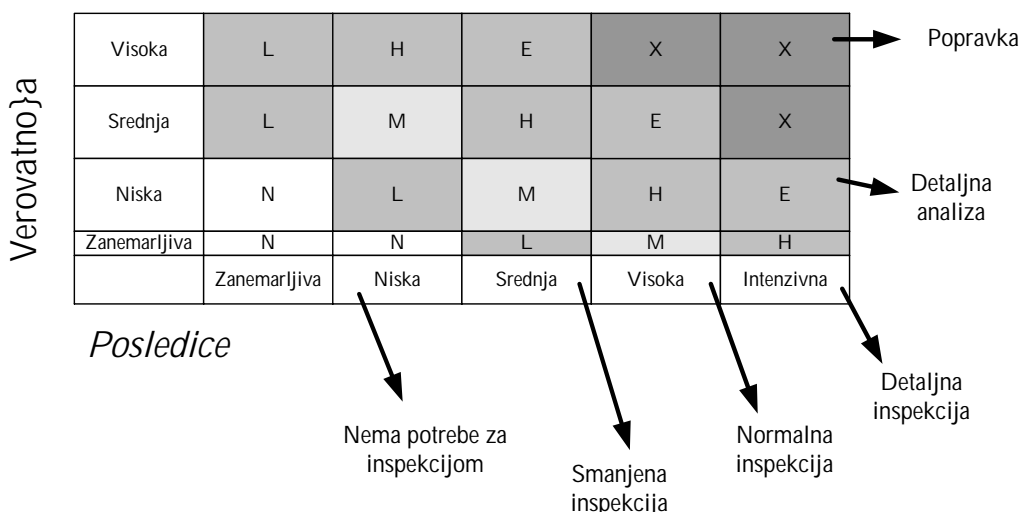
U tom smislu, metoda PREVING je, za razliku od većine drugih postupaka iste namene, vrlo kompleksna i integriše analizu svih karakteristika rizika, kako sistematskih tako i slučajnih, odnosno spoljnjih rizika (seizmički, klimatski, provale i krađe i sl.), rizika vezanih za zgrade i poslovne objekte, rizika vezanih za poslovni proces, radne procese i prekide ovih procesa, rizika opšte i protivpožarne zaštite i ostale rizike, koji mogu da potiču od održavanja, ljudskog faktora, performansi i starosti postrojenja, režima rada (preopterećenja, iskorišćenja) i slično.

Razumljivo je da se i u metodi PREVING za analizu rizika primenjuju isti postupci kao i u ranije prikazanim metodama (RBI, RBLM, RIMAP). Za kvalitativne analize vrši se rangiranje, odnosno “screening” rizika sa stanovišta nivoa verovatnoća i nivoa posledica, kako je to objašnjeno na slici 5. Na ovoj slici sa N je označeno stanje koje ne traži definisanje posebnih programa tehničkih pregleda, L označava potrebu pregleda manjeg, a M srednjeg ili normalnog obima. H su rizici koji traže detaljne programe tehničkih pregleda, a E rizici koji treba da se pored pregleda i detaljno analiziraju (proračuni, ispitivanja). Nivo rizika označen sa X je neprihvatljiv i traži preduzimanje radikalnih mera, rekonstrukciju, pa i promenu koncepta primenjenih rešenja.

Integralno posmatrano, metoda PREVING, shematski može da se objasni kao što je dato na slici 6 /9/.

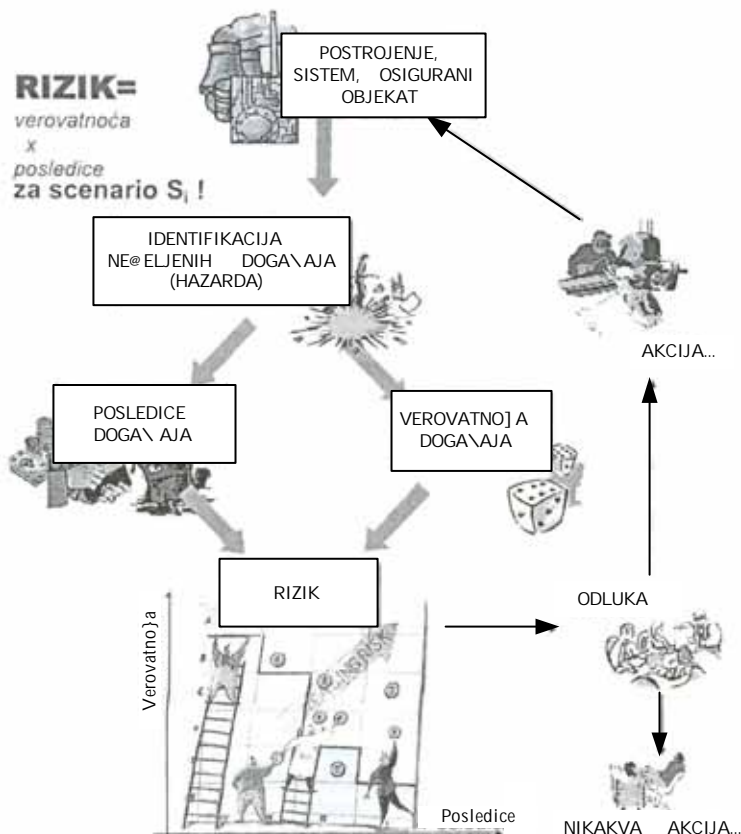
**Metoda MACRO** (“MAintenance-Cost-Risk-Optimization”, odnosno “Optimizacija održavanja sa stanovišta troškova i rizika”) je slično RIMAP-u takođe jedan novi projekat koji je pokrenut 1999. godine u okviru programa EUREKA, poznatog globalnog projekta Evropske Unije. Projekat MACRO je, međutim, koncipiran kao opšti projekat za sve vrste tehničkih sistema, za sve proizvođače i korisnike, posebno veoma složenih tehničkih sistema. Projekat je planiran sa sredstvima od preko 2 miliona dolara, a u njegovoj realizaciji učestvuje veliki broj kompanija iz svih zemalja Evropske unije. U informacijama o radu na ovom projektu /12/ navodi se da su već u prvim godinama ostvareni veoma dobri rezultati u mnogim kompanijama, na primer, u jednoj od vodećih kompanija železničkog saobraćaja u Velikoj Britaniji firmi RAILTRACK. Primenom metoda razvijenih u okviru projekta MACRO ova kompanija je već u prvim godinama značajno smanjila troškove održavanja svojih osnovnih sredstava, uz povećanje sigurnosti i bezbednosti, u skladu sa važećim propisima.

MACRO je pomogao da se u RAILTRACK-u režimi održavanja usklađuju sa rizikom, kako ekonomskom tako i bezbednosnom. Pokazano je da smanjivanjem održavanja u zonama malih rizika, gde je mali saobraćaj, može poboljšati održavanje u zonama većih rizika. Time se postiže veća bezbednost i bolje držanje reda vožnje, uz manje troškove.



**Slika 5. Rangiranje, odnosno “screening” rizika sa stanovišta nivoa verovatnoća i nivoa posledica**





**Slika 6. Shema metode PREVING**

## ZAKLJUČCI

Sve šire, takoreći plebiscitarno prihvatanje metoda analize rizika u svim sektorima života, u zdravstvu, osiguranju, zaštiti okoline, očuvanju prirodnih rezursa, gazdovanju vodama, energentima i drugim prirodnim blagom itd., nedvosmisleno upućuje na korišćenje metoda zasnovanim na analizi rizika i za upravljanje održavanjem složenih tehničkih sistema. Pri tome se rizik definiše kao složena kategorija, izražena proizvodom verovatnoće pojave neželjenog događaja i posledica tog događaja.

Imajući u vidu pozitivne efekte dosad primenjivanih metoda održavanja, zasnovanih prvenstveno na pouzdanosti, kao što je metoda RCM, nove metode upravljanja na bazi rizika ne predstavljaju zamenu za postojeće, već samo njihovu važnu i korisnu dopunu.

Već je razvijeno i predloženo više metoda upravljanja održavanjem na bazi rizika, među kojima su posebno zapažene metode RBI, RBLM i RIMAP. Ove metode su neposredno usmerene na preventivno održavanje prema stanju sistema, formulisanjem optimalnih programa tehničkih pregleda, sa ciljem

odlučivanja šta, kada i kako treba pregledati, da bi rizik bio što manji.

I u nas su se pojavile prve inicijative u ovom pravcu. Kompanija DUNAV PREVING iz Beograda, u saradnji sa inopartnerima, radi na razvoju metode analize rizika PREVING, koji posebno treba da unaredi sistem procene šteta i premija osiguranja za složene tehničke sisteme, izložene različitim rizicima. Metoda PREVING se oslanja na projekat RIMAP, a i na svoje dugogodišnje iskustvo i zapažene rezultate u ovoj oblasti. Iako prvenstveno usmerena na zahteve osiguranja, metoda PREVING se svakako može uspešno koristiti i za upravljanje održavanjem tehničkih sistema.

## LITERATURA

1. Todorović J., Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993
2. Reliability Centered Maintenance, IEC Draft 56 (Sec.) 317, 1990

3. Todorović J. Održavanje tehničkih sistema – nauka ili veština, Zbornik Simpozijuma SIMOPIS '94, Kotor, 1994
4. Haimes Y., Risk Modelling, Assesment and Management, John Willey & Sons, New York, 1998
5. Base Resource Documentation – Risk-Based Inspection, API Publication 581, 1998.
6. Risk-Based Life Management (RBLM) of critical componenets in power and process plants, MPA, Stuttgart
7. Jovanović A., Auerkari P., Practical determination of probability of failure (PoF) and corresponding risks in RIMAP project, Zbornik 10-tog Savetovanja PREVING, Beograd, 2002
8. Bareiss J. M., Results and experience from use of risk based methods in maintenance of power plants, Zbornik 10-tog Savetovanja PREVING, Beograd, 2002
9. Vujović R., Jovanović A, Todorović J., Unapređenje metoda upravljanja rizikom u industrijskim postrojenjima, Zbornik 10-tog Savetovanja PREVING, Beograd, 2002
10. Vujović R., Todorović J., Stanković M., Upravljanje rizikom i osiguranje u industriji, transportu i skladištenju, Zbornik 9-tog Savetovanja PREVING, Beograd, 2001
11. Hagn L., RIMAP Project and Insurance Aspects, Zbornik 10-tog Savetovanja PREVING, Beograd, 2002
12. Savings that couldn't be guessed at, Professional engineering, London, No. 24, May, 2000

### **RISK-BASED MAINTENANCE MANAGEMENT**

*The existing maintenance methods have a target to provide required reliability and availability of the system which has to be maintained, trying to keep expenditures as low cost as possible.*

*A new concept of management, which is applying more and more, is based on the risk, a concept which links probability of an undesirable event and its consequences. This approach applied to maintenance management, particularly to preventive on-condition maintenance, makes a important support to the existing maintenance methods based on reliability. It is of the greatest importance that risk-based maintenance methods consider all consequences of an undesired event, not only costs but other relevant aspects like safety, health and life protection, environmental influences and others.*

*Key words: Maintenance, Risk, Optimization, Preventive inspection.*