

SAVREMENE TENDENCIJE U UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM - PRISTUP ODRŽAVANJU ZASNOVAN NA RIZIKU

ACTUAL MAINTENANCE MANAGEMENT TENDENCIES - RISK BASED MAINTENANCE

Prof. dr Milivoj Klarin,
Doc. dr Mirjana Misita,
Dr Vesna Spasojević-Brkić

*Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Katedra za industrijsko inženjerstvo*



REZIME

U radu su prikazani savremeni koncepti u upravljanju održavanjem tehničkih uređaja, opreme, instalacije i fabričkih postrojenja. Izložene su ukratko karakteristike pojedinih metoda i strategija održavanja. Poseban akcenat stavljen je na upravljanje održavanjem zasnovano na riziku i analizirana je mogućnost uvođenja ovog koncepta u druge industrijske segmente osim u procesnu, hemijsku, energetska industriju što je i primarna oblast primene RBIM koncepta.

Ključne reči: upravljanje održavanjem, održavanje zasnovano na riziku

ABSTRACT

Actual management concepts for maintenance technical devices, parts, instalation and facilities are presented in this paper. Characteristics of certain methods and strategies are presentes. Focus of the paper is on maintenace management based on risk. Also, application of maintenance management based on risk in other industrial sector (beside petroloum, hemical, power plant industries as primary RBIM application domain) are discused.

Key words. management, maintenance, maintenance based on risk

1. UVODNA RAZMATRANJA

Održavanje kao funkcija u preduzeću definisano je 1963.g. na Kongresu OECD-a kao funkcija kojoj su poverene stalna kontrola nad postrojenjima i obavljanje određenih opravki i revizija, čime je omogućena permanentna funkcionalna sposobnost i očuvanje proizvodnih postrojenja i ostale opreme. Upravljanje održavanjem podrazumeva proces projektovanja ciljeva, planiranje sa regulisanjem i organizovanjem funkcije održavanja.

Osnovna načela održavanja postavljena su 1972 g. u okviru EFNMS (European Federation od national Maintenance Societies, Wiesbaden), a to su:

- Čekaj i vidi (opravka kada nastane kvar)
- Oportunističko održavanje, sem čišćenja i podmazivanja (održavanje ne počinje pre pojave otkaza, ali se radi sprčavanja daljih otkaza uvodi preventivno održavanje)

- Preventivno održavanje (radovi se obavljaju pre nastanka otkaza, da bi se sprečila njihova pojava u budućnosti)
- Predviđanje održavanje (aktivnosti održavanja se obavljaju pre nastanka otkaza, a sa ciljem da se pedvidi verovatnoća otkaza)
- Održavanje prema stanju (održavanje se obavlja prema stanju tehničkog sistema)

Baldin je 1988. g. definisao metode održavanja kao:

- Preventivno održavanje na osnovu fiksnog vremenskog plana
- Preventino na osnovu utvrđenog stanja
 - a) subjektivno utvrđeno stanje (vid, sluh, dodir)
 - b) objektivno utvrđeno stanje (merenje temperature, vibracija, pritiska, itd.)

U tabeli 1. date su opšte prihvaćene podele aktivnosti na održavanju opreme, uređaja i tehničkih postrojenja.

Tabela 1. Opšta podela aktivnosti održavanja

Prema izvoru finansijskih sredstava	Prema tehnološkoj nameni	Prema vremenu u odnosu na nastanak kvara
Tekuće održavanje	Popravka iznadanah kvarova	Korektivno održavanje
	Preventivni pregledi Traženje i otklanjanje slabi mesta Kontrolni pregledi	Preventivno održavanje
Investiciono održavanje	Planske popravke (velike, srednje, male)	

2. RAZVOJ METODA I STRATEGIJA ODRŽAVANJA

Neke od poznatijih metoda i strategija održavanja izložene su u daljem tekstu:

Terotehnološko održavanje (Terotechnology, definisano 1975.) predstavlja kombinaciju inženjeringa i upavljanja troškovima održavanja tokom životnog veka posmatranog tehničkog sistema. Pod životnim vekom tehničkog sistema podrazumevaju su projektovanje, nabavka, montaža, puštanje u rad, održavanje, rekonstrukcija i isključenje iz eksploatacije.

Logističko održavanje (Logistic Maintenance) za razliku od terotehnološkog vezuje troškove održavanja tokom životnog veka tehničkog sistema sa proizvodnjim. Logistički pristup održavanju podrazumeva programiranje i planiranje održavanja, pripreme i kontrolne poslove, ekonomsko-finansijske, opšte i razvojne.

Održavanje prema rezultatima rada (Results Oriented Maintenance) predstavlja metodu u kojoj se na vrši praćenje statistički obrađenih podataka o rezultatima rada tehničkog sistema, koriste se raspoložive baze podataka o pouzdanosti i prethodnim postupcima održavanja. Postupci održavanja izvode se ukoliko je to zaista neophodno radi održavanja potrebnog nivoa pouzdanosti i raspoloživosti, čime se postiže i minimizacija troškova održavanja.

Održavanje prema radu (Operation Centered Maintenance) je metoda u kojoj osim praćenja statistički obrađenih podataka o rezultatima rada tehničkog sistema, pouzdanosti i prethodnim postupcima održavanja, za donošenje odluke koriste

se i verbalni iskazi. Korišćenjem fazi logike obrađuju se ocene ili zapažanja svih aktera u procesu održavanja posmatranog tehničkog sistema. Ipak, konačna odluka o realizaciji postupka održavanja donose kvalifikovani održavaoci u konkretnom sistemu.

Ekspertni sistemi za održavanje su softverski alati koji zahvaljujući bazi znanja mogu da pruže ekspertizu o datom problemu. U oblasti održavanja ekspertni sistemi se najčešće koriste za dijagnostiku i servisiranje, merenje i implementaciju rezultata merenja, planiranje i šta-ako analizu.

Metoda TPM (Total Productive Maintenance, odnosno Totalno produktivno održavanje) najčešće se primenjuje u složenim heterogenim sistemima, odnosno industrijskim pogonima. TPM metoda je empirijska i zasniva se na iskustvenom znanju konkretnog radnika, održavaoca određenog sistema, mašine, instalacije i sl. Upravljanje održavanjem po TPM metodi zasniva se na proceni pouzdanosti i raspoloživosti radnika koji rukuje konkretnom opremom (first-line maintenance actions), kao i na analizi troškova korišćenjem baza podataka o realizovanim postupcima održavanja iz prethodnog perioda, ali se ne vrši konkretan proračun pouzdanosti i raspoloživosti sistema. U odnosu na druge metode TPM metoda je za primenu jednostavnija, fleksibilnija i ekonomičnija.

U TPM-u prate se performanse opreme preko merenja gubitaka:

1. Gubici prekida ili ispada postrojenja
2. Gubici postavljanja, opremanja i uređenja
3. Gubici kratkih zastoja i vreme praznog hoda
4. Gubici smanjene brzine radnog ciklusa
5. Gubici kvaliteta
6. Gubici usled teškoća pri uhodavanju

Metode održavanja zasnovane na riziku

Metode održavanja zasnovane na riziku počele su da se koriste krajem 70-tih godina, najpre u petrohemijskoj industriji SAD-a. Kasnije su našle primenu i u drugim granama industrije kao što su procena industrija, elektrane i sl. Metode zasnovane na rizicima našle su primenu i u drugim zemljama, uglavnom Evropskim i Japanu.

U poznate metode zasnovane na riziku ubrajaju se:

- QRA (Kvalitativna ocena rizika)
- RBI (Inspekcija zasnovana na riziku)
- RBIM (Inspekcija i održavanje zasnovano na riziku)
- RCM (Održavanje koncentrisano na pouzdanosti)

- RBLM (Upravljanje životnim vekom zasnovano na riziku)
- RBM (Upravljanje zasnovano na riziku)

Metoda RCM (Reliability Centered Maintenance, odnosno Održavanje prema pouzdanosti) važi za jednu od najčešće primenjivanih metoda u praksi. Zasniva se na implementaciji baza podataka o svim performansama sistema (raspoloživosti, pouzadnost, gotovosti, svi elementi postupaka održavanja iz prethodnih perioda kao što su trajanje postupaka održavanja, troškovima, efektima izazvanim realizacijom planiranih postupaka održavanja, itd.). Dakle, ova metoda oslanja se na podršku informacionog sistema, pa je njena primena u praksi skuplja (server, mreža, posebni zahtevi za projektovanjem specifičnih softverskih alata), složenija za primenu (podrazumeva implementaciju informatičke infrastrukture i obučeno osoblje za rad sa informacionim sistemom), ali i pouzdanost odluka i kvalitet upravljanja održavanjem znatno je veći u odnosu na druge metode. Iz tih razloga RCM metoda primenjuje se u sistemima kod kojih se veliki značaj pridaje funkciji održavanja, gde postoji izuzetna važnost održavanja sistema i veliki rizik u slučaju otkaza (termoenergetka, nuklearana, procesna postrojenja i sl.).

U okviru Evropskog projekta RIMAP [Risk Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry (2000)] postavljeni su novi pravci razvoja u okviru optimizacije održavanja zasnovanog na riziku u industrijskim postrojenjima.

RIMAP (Risk based Inspection and Maintenance Procedures) koncept je razvijen i primenjen u petrohemijskoj, hemijskoj, energetskim postrojenjima, procesnoj industriji, itd., uz mogućnost proširenja primene u drugim industrijskim sektorima.

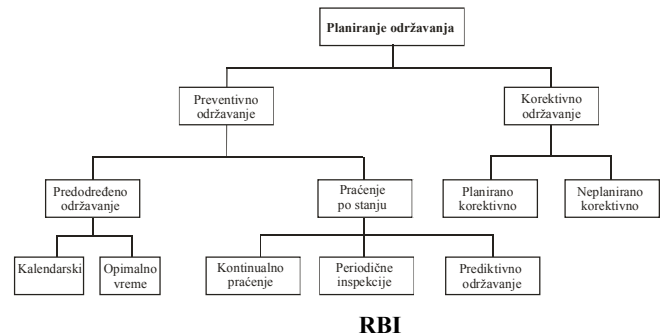
Svrha RBIM (Risk Based Inspection and Management), upravljanja održavanjem zasnovanog na riziku, je da:

- obezbedi primenu ekonomičnih i efikasnih metoda u inspekciji i održavanju u skladu sa jasno definisanim nivoima rizika po bezbednost, zdravlje i okruženje.

RBIM (Risk Based Inspection and Management) upravljanje održavanjem zasnovano na riziku predstavlja kombinaciju: Inspekcije zasnovane na riziku (Risk Based Inspection - RBI), Održavanja zasnovanog na riziku (Risk Based Maintenance), Održavanje koncentrisano na pouzdanosti (Reliability Centered Maintenance - RCM), and Upravljanje životnim vekom zasnovano na riziku (Risk Based Life Management - RBLM). RBIM takođe pokriva i

aspekte upravljanja održavanjem delova, životni ciklus u npr. energetskim postrojenjima.

RBI pristup održavanju zahvata samo jedan deo planiranja aktivnosti na održavanju i predstavljen je na sledećoj slici. RBI pristup obuhvata deo preventivnog održavanja koji se odnosi na praćenje opreme po stanju i deo korektivnog održavanja koji se odnosi na planirane korektivne aktivnosti.



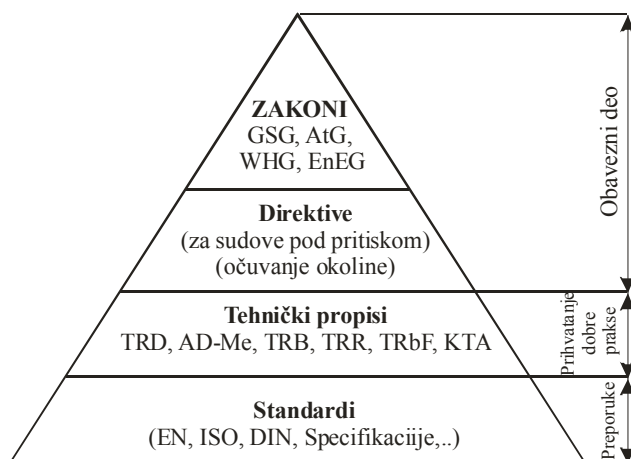
RBI

Slika 1. Planiranje održavanja

Na osnovu iskustva u primeni RIMAP metodologije u elektrani Heilbronn, Bareiß i ostali (2004) zaključili su da je primena metoda zasnovanih na riziku u inspekciji i održavanju omogućava transparentnost u procesu donošenja odluka i pruža optimalnu politiku održavanja zasnovanu na trenutnim stanjem komponenta. U fabrici je sprovedena identifikacija kritičnih komponenta, primenjena višeni-voiska analiza rizika, određen koeficijent PoF (verovatnoća otkaza), određen koeficijent CoF (posledice otkaza) i postavljen plan optimizacije inspekcije i održavanja. Kao rezultat premenjenog modela održavanja na osnovu 64 praćenih komponenta, 5 je izdvojeno za među-analizu, a samo 1 za detaljnu analizu (verovatnoća otkaza zbog visokih temperatura).

Za nas je od interesa da analiziramo mogućnost primene RBIM metodologije i u drugim granama industrije, jer postoje realne potrebe i zahtevi korisnika. Na osnovu pozitivnih iskustava primene RBIM metoda u procesnoj, hemijskoj, i dr. industrijama, odnosno pozitivnih efekata u smislu povećanja nivoa pouzdanosti opreme/postrojenja uz istovremenu primenu ekonomsko opravdanog modela održavanja, boljeg upravljanja aktivnostima održavanja, boljeg iskorišćenja unutrašnjih resursa preduzeća, postoje realni zahtevi da se održavanje zasnovano na riziku primeni u drugim oblastima poslovanja kao na primer što su prevoz opasnih materija u železničkom i drumskom saobraćaju i slično.

U tom smislu, neophodno je sagledati zakonske regulative za primenu pristupa zasnovanih na riziku. Na slici 2. data je osnovna koncepcija, tj. preporuke i obavezni deo koji se odnose na Zakon, direktive, tehničke propise i standarde u primeni pristupa zasnovanih na riziku u Nemačkoj.



Slika 2. Hijerarhija zakona, direktiva, tehničkih propisa i standarda u Nemačkoj

Primena pristupa zasnovanih na riziku u našim uslovima, podrazumevala bi sličnu hijerarhiju obaveznih i preporučenih proceduralnih postupaka. Međutim, za adekvatnu primenu pristupa zasnovanih na riziku nije dovoljno samo primeniti glavne propise. Neopodni su:

- propisi i smernice nižeg i srednjeg nivoa
- obuka inženjera, tehničara, kontrolora
- tehnička i organizaciona infrastruktura

Opšti koraci u primeni metoda zasnovanih na riziku obuvataju:

- prikupljanje i sistematizaciju opštih podataka
- prikupljanje i evaluaciju podataka koji predstavljaju pojedinačne rizike u postojenju uključujući i preliminarnu matricu rizika
- definisanje i preliminarnu evaluaciju mogućih scenarija nastanka posledica
- detaljnu analizu jednog ili više odabranih scenarija, uključujući i određivanje verovatnoće da se oni ostvare
- detaljnu tehničku analizu mogućih posledica pri različitim scenarijima i od različitih uzorka
- svekukupnu analizu mogućih posledica uključujući i analizu u smislu osiguranja i re-osiguranja

Princip odlučivanja kod metoda inspekcije i održavanja zasnovanih na riziku zasniva se na proceni rizika R_i , za svaki sistem i ($i = 1, 2, \dots, n$) u postrojenju, gde rizik predstavlja kombinovani efekat verovatnoće otkaza P_i i posledica otkaza, C_i . Ukupni rizik za čitavo postrojenje računa se kao:

$$R_{tot} = \sum_{i=1,n} R_i$$

Ukoliko se proceni da je ukupni rizik, R_{tot} , veći od dozvoljenih granica, R_{lim} , rizik je neophodno smanjiti. Dozvoljene granice rizika zavise od specifičnosti postrojenja, vrednosti fabrike, državnih propisa i sl.

U praksi važi pravilo:

ako je $R_{tot} > R_{lim}$ rizik je neophodno smanjiti.

Kako se posmatrano postrojenju sastoji od n komponenata, model odlučivanja glasi:

ako je $R_{i,C} = P_{i,C} \cdot C_{i,C} > R_{lim,C}$ rizik je neophodno smanjiti, za svaku komponentu $i = 1, \dots, n$, gde je $R_{lim,C} = R_{lim/n}$ dozvoljeni limit rizika sa svaku komponentu; gde je $P_{i,C}$ - verovatnoća otkaza posmatrane komponente, a $C_{i,C}$ - verovatnoća posledica komponente.

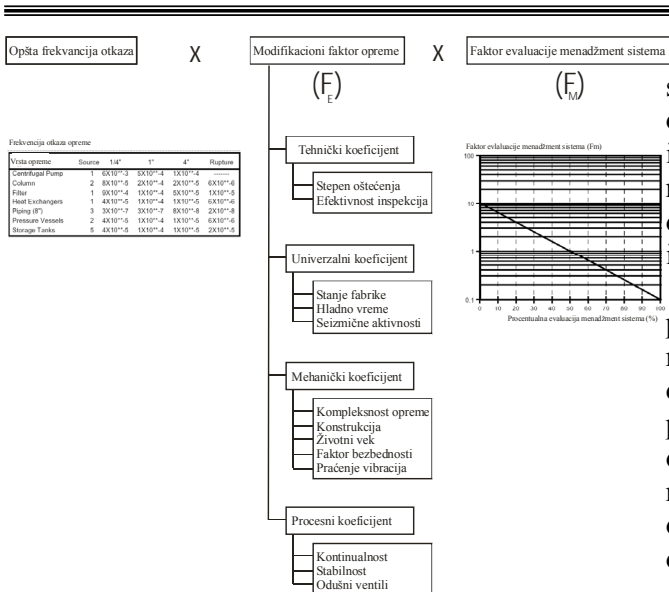
Ukoliko proračunom rizika za određeni tehnički sistem dobijemo prihvatljive veličine, u daljem postupku optimiziraju se ukupni troškovi održavanja računati kao:

$$C_{tot} = C_{preventivno} + C_{korektivno}$$

Primena standarda API 581 u petrohemijskoj industriji, prodradujeva tri nivoa proračuna rizika:

- nivo 1 - kvalitativni, zasnovan na upitnicima
- nivo 2 - polu-kvalitativni,
- nivo 3 - kvantitativni, zasnovan na stvarnim podacima o opremi, procesu, menadžmentu i dr.

Proračun verovatnoće otkaza (prema standardu API 581), dat je na slici 3, gde se vidi da se u obzir uzima niz uticajnih faktora: opšta frekvencija otkaza, modifikacioni faktor opreme koji se dobija proizvodom tehničkog koeficijenta (stepen oštećenja, efektivnost inspekcija), univerzalnog koeficijenta (stanje opreme, klimatski uticaji, seizmične aktivnosti), mehaničkog koeficijenta (kompleksnost opreme, konstrukcija, životni vek, faktor bezbednosti, praćenje vibracija) i procesnog koeficijenta (kontinualnost, stabilnost, odušni ventili), faktor evaluacije menadžment sistema.



Na slici 4 dat je primer matrice rizika, na kojoj su označena tri nivoa: prvi koji ne zahteva aktivnosti održavanja, drugi u kojem se predlaže optimizacije inspekcija i treći koji podrazumeva visoku verovatnoću otkaza i velike posledice (u odnosu na ljude, okolinu, finansijske gubitke, itd) i predlažu se hitne intervencije.

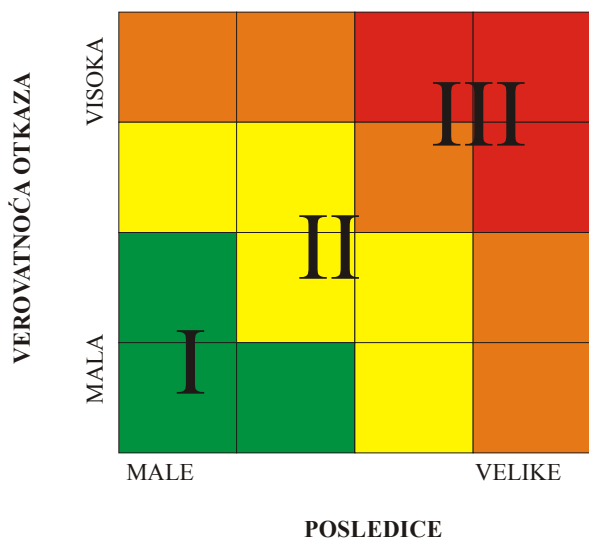
Na slici 5 prikazani su pozitivni efekti koji se postižu primenom pristupa održavnju zasnovno na riziku u smislu da se smanjuje rizik i povećava pouzdanost posmatrane opreme, mašinskog dela ili komponente, uz istovremeno smanjenje troškova održavanja. To se postiže koncentracijom troškova na relevantnim i kritičnim delovima opreme, što omogućava optimizaciju menadžment aktivnosti na održavanju.

Slika 3. Proračun verovatnoće otkaza

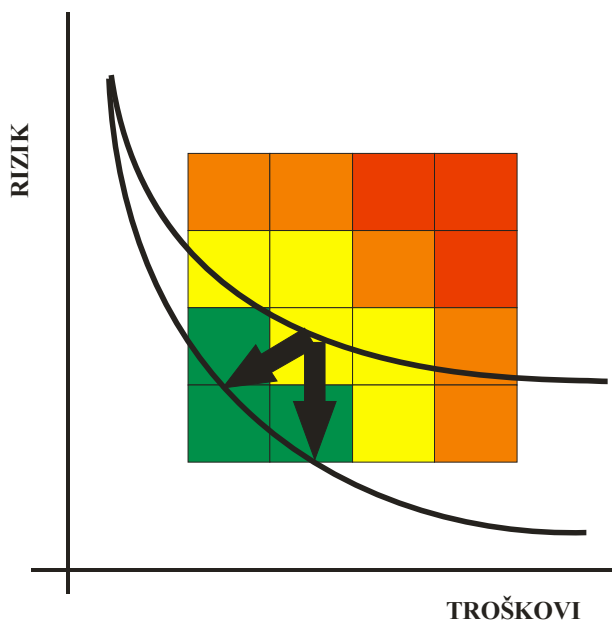
Proračun posledica po okolinu, ljude, finansijski gubitak i sl. računa se u zavisnosti od vrste materije (gas ili tečnost), zapaljivosti, trenutnog ili kontinualnog oslobađanja materijala, isparenja, zračenja, oblika vatrene lopte i dr., na osnovu preciznih pokazatelja datih u API 581 standardu.

Na sledećim dijagramima (slika 4 i 5) prikazan je u opštem slučaju prikaz matrice rizika koja označava kategoriju verovatnoće otkaza i posledica otkaza, kao i prikaz efekata koji se postižu optimizacijom aktivnosti održavanja i ukupnih troškova održavanja.

Nakon određivanja kategorije PoF (verovatnoće otkaza) i kategorije CoF (posledice otkaza) formira se matrica rizika i određuje pripradnost kvadrantu svakog dela opreme, uređaja, komponente.



Slika 4. Matrica rizika



Slika 5. Primenom pristupa zasnovanog na riziku smanjuje se rizik od otkaza i ukupni troškovi održavanja

Dakle, na osnovu izloženog može da se konstatuje da pristup zasnovan na riziku u potpunosti se uklapa u procedure i normative koji se odnose na poštovanje zakonskih normativa u pogledu održavanja opreme kao i tehničkih uputstava koje propisuje proizvođač opreme, uređaja, postrojenja, jer se odnosi samo na deo preventivnog i korektivnog održavanja (slika 1), tj. na preventivno praćenje po stanju i korektivno planirano održavanje. Pristup zasnovan na riziku suštinski se odnosi na koncentraciju aktivnosti održavanja na kritičnim delovima opreme, posledično i koncentraciju troškova na istim, što vodi ka optimizaciji i aktivnosti održavanja, povećanju pouzdanosti opreme i smanjenju

troškova održavanja, čime ovaj pristup dobija na značaju u svim segmentima industrije gde postoji verovatnoća da posledice otkaza mogu značajno uticati na ljude, okruženje, bezbednost, finansijske gubitke. U preduzećima u kojima se radi opasnim materijama, sudovima pod pritiskom, i sl, tj. gde se vodi računa o faktoru bezbednosti – troškovi održavanja predstavljaju značajnu stavku. Koncentracijom aktivnosti održavanja na relevantene, tj. kritične komponente, vrši se ušteda u troškovima održavanja, što menadžmentu omogućava optimizaciju i preusmeravanje sredstava u dalji tehnološki razvoj u cilju unapređenja poslovanja.

3. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu su izložene savremene metode i strategije održavanja tehničkih sistema, opreme, postrojenja.

Posebno su izložene metode održavanja zasnovane na riziku, s obzirom na pozitivna iskustva primene i podršku koju implementacija ovakvih pristupa ima u referentnim institucijama. U radu su ukratko izloženi osnovni koraci u primeni pristupa održavanju zasnovanog na riziku. Pristup zasnovan na riziku primenjuje se najčešće u procesnoj, hemijskoj, i sl., a bazira se na standardima ISO, IEC, CEN, Seveso II, ATEC, itd. Primena pristupa zasnovanih na riziku moguća je u preduzećima u kojima se vrši transport opasnih materija u sudovima pod pritiskom i sličnim oblastima poslovanja u kojima otkaz/kvar tehničke opreme može imati velike posledice po ljude, okruženje ili finansijski gubitak. Primenom pristupa zasnovanih na riziku postiže se veća pouzdanost opreme uz istovremeno smanjenje ukupnih troškova održavanja, čime se postiže efikasno upravljanje održavanjem i konkurentno poslovanje.

LITERATURA

1. Bareiža, J. Buckb, P. Matscheckob, B. Jovanovic, A. Balos D., Perunicic, M., RIMAP demonstration project. Risk-based life management of piping system in power plant Heilbronn, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 81, Issues 10-11, October-November 2004, Pages 807-813
2. Milosavljević, P., Modeliranje procesa održavanja tehničkih sistema na konceptu Totalnog produktivnog održavanja, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 2005.
3. Todorović, J., Održavanje tehničkih sistema – nauka ili veština, Zbornik radova SYMOPIS, 1999. Kotor.
4. <http://research.dnv.com/rimap/default.htm>
5. RIMAP CEN Workshop Document, Stuttgart, "Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry, Brussels, April, 2007, http://www.mszt.hu/dokumentumok/CWA24_RBIM%20Maindoc%20-Fina%2005042007%20gv#ver8.gif,
6. www.industrialsafety-tp.org/DE/downloaddoc.aspx?id=15