



STRATEGIJA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA I KVALITET RADNOG MESTA I RADNE OKOLINE

TECHNICAL SYSTEM MAINTENANCE STRATEGY AND WORKING PLACE AND WORKING ENVIRONMENT QUALITY

dr Branislav Jeremić¹⁾, mr Ivan Mačužić²⁾, mr Petar Todorović³⁾

Rezime: Od tehničkih sistema u eksploataciji se zahteva zadovoljenje postavljenih kriterijuma cilja (efektivnost, raspoloživost, gotovost itd.), a da pri tome ne ugrožavaju bezbednost i zdravlje zaposlenih kao i radnu okolinu. Sve navedeno u najvećem obimu se obezbeđuje pravilnom strategijom održavanja. Šire posmatrano bezbednost tehničkih sistema kao i uticaj bezbednosti na kvalitet radnog mesta i radne okoline su primarno determinisani u fazi dizajniranja, izrade, eksploatacije i održavanja. Prema svetskoj statistici više od 80% akcidenta kod složenih tehničkih sistema za posledicu imaju neželjeni događaj, koji dovode do smrti, narušavanja zdravlja, povrede, oštećenja ili drugih gubitaka, nastaje zbog greške u procesu eksploatacije ili kod održavanja opreme. Najveći broj faktora rizika u fazi eksploatacije koji dovode do ugrožavanja bezbednosti i zdravlja radnika, kao i radne okoline, je vezan za neadekvatnu strategiju održavanja. Da bi se obezbedio kvalitet svakog radnog mesta i radne okoline prvenstveno treba, u zavisnosti od složenosti i procesa koji se odvijaju u tehničkim sistemima, sistematizovati informacije o opasnostima koje mogu da se jave zbog neadekvatnog održavanja. Pri tome treba napomenuti da je strategija održavanja u najvećem broju slučajeva povezana sa nivoom potencijalnog rizika koji dovodi do ugrožavanja zdravlja i bezbednosti na radu kao i radne okoline.

Gljučne reči: strategija održavanja, bezbednost na radu, radno mesto, radna okolina, kvalitet

Abstract: Technical systems in exploitation need to satisfy number of resettled target criteria (effectiveness, availability, reliability) while occupational safety and health neither working environment safety should not been endangered. All of previous facts mostly could be achieved by adequate maintenance strategy. Through wider objective technical systems safety and influence of safety measures on work place and work environment quality are primary determinate in phase of designing, manufacturing, exploitation and maintenance. According to global statistic more than 80% of complex technical systems accidents have consequences which lead to the death cases, illnesses, health damaging and other loses, are caused by mistakes in process of exploitation or maintenance. Largest number of risk factors in phase of exploitation, which could threat occupational safety and health and safety of working environment is related with inadequate maintenance strategy. In order to ensure work place and work environment quality, depending of complexity and type of processes in technical systems, efforts should be mainly focused on systematization of informations related to hazards influenced by inappropriate maintenance. It should be said that maintenance strategy in most cases is connected with level of potential risk which lead to endangering of occupational safety and health and working environment safety.

Key words: maintenance strategy, occupational safety, work place, working environment, quality

1. STRATEGIJA ODRŽAVANJA I FAKTORI RIZIKA

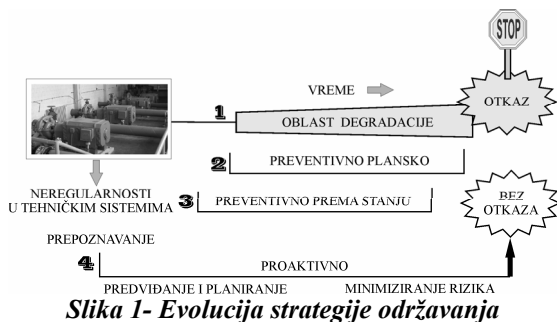
U industrijski razvijenim zemljama održavanje se, prethodnih decenija, razvijalo (Slika 1) od najjednostavnijih oblika kada je degradacija tehničkih sistema dovela do havariskih zastoja

(1), preko preventivno planskog (2), pa sve do ovog vremena kada se identifikuje rana faza potencijalne degradacije u održavanju prema stanju (3) ili iskorak u budućnost vezan za potpunu implementaciju proaktivnog održavanja (4).

1) dr Branislav Jeremić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: bane@kg.ac.yu

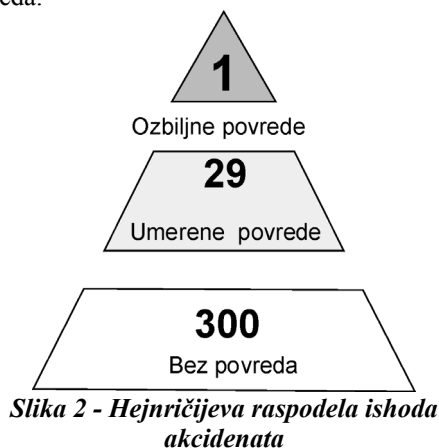
2) mr Ivan Mačužić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: ivanm@kg.ac.yu

3) mr Petar Todorović, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: petar@kg.ac.yu



Slika 1 - Evolucija strategije održavanja

Sve ljudske aktivnosti u procesu eksploatacije i održavanja tehničkih sistema u sebi nose određeni nivo rizika. Ovaj rizik je kombinacija verovatnoće i posledice (a) određenog opasnog događaja koji se prvenstveno manifestuje kroz negativan uticaj na zdravlje i bezbednost ljudi kao i radnu okolinu. Osim navedenog mogu nastati i značajni ekonomski gubici a pogotovu kada dođe do ozbiljnih otkaza-havarija, požara, eksplozija itd. Uvek treba imati na umu Hejnričijevu raspodelu (Slika 2) po kojoj je od 330 akcidenata jedan sa ozbiljnim povredama, 29 sa umrenim a 300 bez povreda.

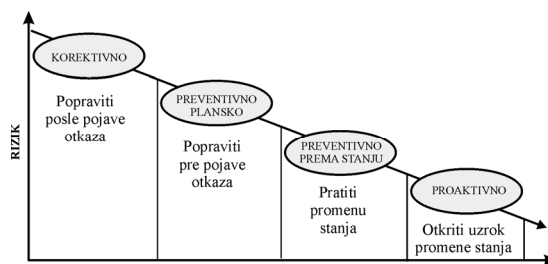


Slika 2 - Hejnričijeva raspodela ishoda akcidenata

Veliki broj neželjenih događaja na tehnološki složenoj i skupoj opremi je mogao biti predupređen kroz sistemski pristup kod definisanja strategije održavanja zasnovane na kvantifikaciji i praćenju potencijalnih uzročnika otkaza.

Najjednostavniji oblik održavanja je takozvano korektivno održavanje, koje je na prvi pogled i najjeftinije sa aspekta direktnih troškova vezanih za angažovanje materijalnih i ljudskih resursa. Kod ovakve strategije održavanja je i potencijalno najveći rizik (Slika 3) koji dovodi do ugrožavanja bezbednosti i zdravlja operatora kao i ugrožavanja radne okoline. Kod korektivnog održavanja, koje je na žalost jako prisutno u našoj industrijskoj praksi, dopušta se eksploatacija tehničkog sistema do pojave otkaza, a bez prethodnih pregleda i praćenja stanja tog sistema. Ovakva strategija održavanja kod složenih i skupih tehničkih sistema

za posledicu ima duge zastoje i ugrožavanje ljudi i okoline. Jedan od najsavremenijih pristupa održavanju je zasnovan na proaktivnoj strategiji.



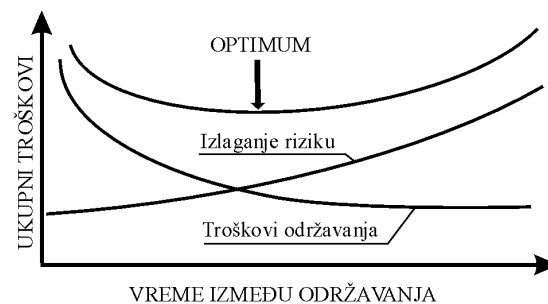
Slika 3 - Uticaj strategije održavanja tehničkih sistema na nivo rizika

Koncept proaktivnog održavanja se relativno skoro pojavio u industrijskoj praksi. Proaktivni pristup problemu održavanja tehničkih sistema baziran je na stalnom praćenju i kontroli osnovnih uzročnika otkaza i aktivnostima na njihovom eliminisanju ili značajnom smanjenju negativnog dejstva.

Proaktivni koncept ne prihvata otkaz kao normalno i moguće stanje, već se sprovodi niz adekvatnih mera da do otkaza uopšte ne dođe. Jednostavno rečeno teži se da svaki tehnički sistem "vodi zdrav život" i da mu se na taj način maksimalno produži vek eksploatacije.

Osnovni princip u proaktivnom održavanju je identifikacija i eliminacija uzročnika otkaza. Iskustvo je pokazalo da i pored velikog broja mogućih uzročnika samo je nekoliko njih odgovorno za najveći deo problema (prihvaćeno je da je samo 10% svih mogućih uzročnika otkaza odgovorno za više od 90% problema). Kod ovakve strategije održavanja je skoro u potpunosti eliminisano ugrožavanje bezbednosti i zdravlja radnika kao i radne okoline, odnosno obezbeđen je maksimalni efekat u pogledu kvaliteta radnog mesta i radne okoline.

Kod definisanja strategije održavanja uvek treba voditi računa o optimalnim troškovima, uzimajući pri tome u obzir i rizik. Tako je na primer optimalni interval za sprovođenje preventivnih aktivnosti održavanja onaj pri kome su troškovi održavanja minimalni (Slika 4).



Slika 4 - Optimizacija troškova održavanja i rizika

Ukupni troškovi predstavljaju sumu troškova održavanja i troškova usled nastanka opasnog događaja zbog prisutnog rizika. Direktni troškovi održavanja se smanjuju sa povećanjem vremenskog intervala između preventivnih aktivnosti ali se istovremeno povećava rizik nastanka događaja sa visokom materijalnom štetom i negativnim uticajem na zdravlje i bezbednost ljudi kao i radnu okolinu.

2. KVANTIFICIRANJE UTICAJNIH PARAMETARA VEZANIH ZA KVALITET RADNOG MESTA I OKOLINE

Na današnjem nivo razvoja, definisanje strategije održavanja složenih tehničkih sistema se fokusira na razvoj i implementaciju savremenih tehnologija koje treba da omoguće prognozu preostalog raspoloživog radnog resursa i pripadajućeg nivoa rizika. Polazni osnov za ovo je definisanje kritičnih strukturnih komponenti i mehanizama koji dovodi do njihove degradacije. Ovo podrazumeva kreiranje vremenskog scenarija kod kojeg se predviđa ponašanje strukturnih komponenta na osnovu prethodnog kvantificiranja relevantnih neregularnosti koje ugrožavaju obavljanje funkcije tehničkog sistema i negativno se manifestuju na kvalitet radnog mesta i radne okoline.

Menadžeri u održavanju na sadašnjem nivou razvoja tehnike i tehnologije mogu da donose odluke na bazi definisanog stepena degradacije tehničkog sistema i u najvećem broju slučajeva da veoma tačno procenjuju preostali raspoloživi resurs (prognostika). Polaz za ovo je identifikacija i razumevanje neregularnosti u tehničkom sistemu kao indikatora koji služe za mapiranje potencijalnih oštećenja u procesu degradacije komponenta tehničkih sistema. Pri tome mehanizam degradacije rezultira fizičkim oštećenjem a stepen degradacije je u korelaciji sa intenzitetom neregularnosti.

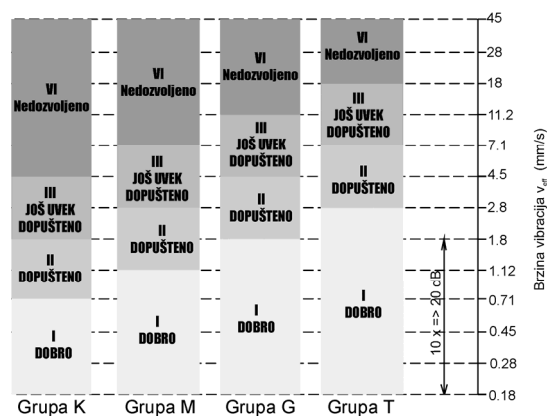


Slika 5 - Pogonska stanica

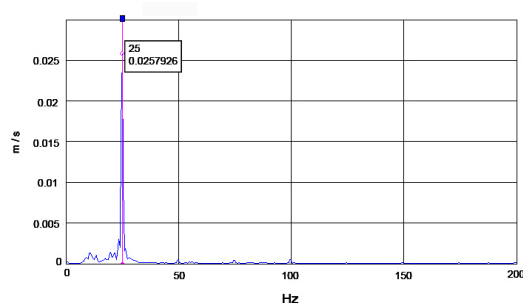
Za transport jalovine na površinskom kopu uglja pogonska stanica služi za pogon transportne trake (Slika 4). Osnovnu strukturu pogonske stanice čini pogonska jedinica (Slika 5-pozicija 1) i noseća struktura sa platformom i kabinom operatora (Slika 5-pozicija 2).

Pogonska jedinica (1) je sastavljena od elektromotora (400 kW, 1486 min⁻¹) i zupčastog trostepenog reduktora. Na osnovu naših istraživanja na jednom površinskom kopu utvrdili smo neregularnost u procesu rotacije kod 19 od ukupno 20 pogonskih pogonskih jedinica. Najčešći uzročnik neregularnosti je bio od debalansa na učestanosti obrtanja elektromotora (1486 min⁻¹ a što odgovara približno 25 Hz) i nesaosnosti osovina pogonskog elektromotora i reduktora. Pored navedenog su bili prisutni i multipli prethodno pomenute učestanosti nastali kao posledica poremećenih veza mehaničkih elemenata, načina oslanjanja itd.

Neregularnost vezana za proces rotacije u zavisnosti od vrste i pogonske snage tehničkog sistema se kvantificira preko dozvoljenog nivoa efektivne brzine vibracija (ISO 2372 i ISO 10816), definišući pri tome moguća stanja – Slika 6.



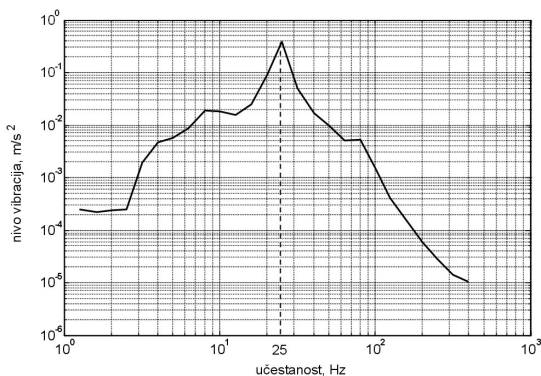
Slika 6 - Ocena stanja tehničkog sistema na osnovu oscilatornog ponašanja (ISO 2372)



Slika 7 - Tipičan oblik frekventnog dijagrama brzine vibracija na pogonskim jedinicama

Sa slici 7 vidi se da je najviši nivo brzine vibracija na učestanosti broja obrtaja

elektromotora (25 Hz). Kvantificirano stanje nastalo zbog navedene neregularnosti povećava rizik pojave otkaza. Sa druge strane ova neregularnost utiče na pogoršanje kvaliteta radnog mesta i može direktno ugroziti zdravlje radnika ako je duže vreme izložen vibracijama. Radno mesto u navedenom primeru se nalazi u kabini na platformi (Sl.5-pozicija 2). Merenje nivoa vibracija koji se prenose na operatora je sprovedeno u skladu sa preporukama internacionalnog standarda ISO 2631-1:1997, a jedan od tipičnih rezultata je prikazan na Slici 8. Na žalost, u našoj praksi smo se susreli sa velikim brojem sličnih primera.



Slika 8 - Tipičan oblik frekventnog dijagrama nivoa vibracija na sedištu operatora pogonske stanice

Održavanje koje nije eliminisalo debalans i nesaosnost elektromotora i reduktora stvorilo je probleme vezane za visok nivo brzine vibracija na učestanosti od 25 Hz a što pripada obratanju elektromotora (slika 8.). Istovremeno najveći nivo vibracija na sedištu operatora je na učestanosti 25 Hz a dolazi kao pobuda od pogonske jedinice.

Očigledno je da neadekvatna strategija održavanja utiče na kvalitet radnog mesta, jer za navedeni primer prema standardu ISO 2631-1:1997 stanje se definiše kao MALA NEUDOBNOST. Vibracije kao neregularnost u obavljanju funkcije velikog broja tehničkih sistema uvek se negativno manifestuju na zdravlje i bezbednost ljudi. Zbog toga vibracije kroz preventivne aktivnosti održavanja treba kvantificirati i minimizirati.

Drugi najčešće prisutan problem visokog rizika se generiše kod električnih ili elektroenergetskih instalacija. Tipična električna instalacija se sastoji od većeg broja strukturnih komponenata povezanih na međusobno različite načine. Pored nedozvoljenog zagrevanja strukturnih komponenata, najčešće dolazi do zagrevanja kontaktne zone i kontaktnih elemenata (spojeva) a pogotovu ako se radi o prenosu većih sanga. Pregrevanje kontakta često dovodi do promene provodnosti, prekida električnog toka,

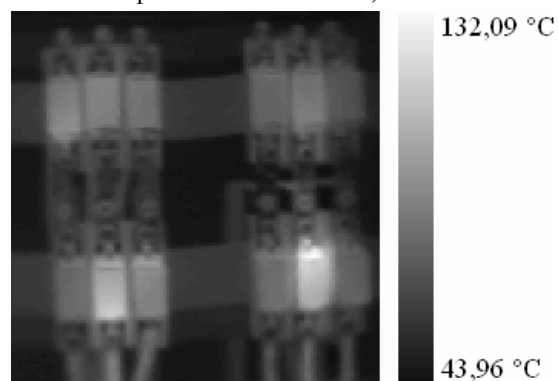
topljena izolacije na kablovima i na kraju paljenja kompletnih električnih instalacija. Osnovni uzročnik velikog broja požara, a samim tim i ugrožavljiva radne okoline, vezan je za navedene probleme kod električnih instalacija. Adekvatnom strategijom održavanja zasnovanoj na primeni infracrvene termografije navedeni problemi se u fazi nastanka mogu identifikovati, kvantificirati i eliminisati.

Polazni osnov za definisanje nivoa kritičnosti je razlika utvrđene temperature i temperature okoline. Na osnovu ovoga se preporučuje određena aktivnost koju treba sprovesti (Tabela 1).

Kategoriya	Iznad temeprature okoline	Nivo kritičnosti	Preporučena Aktivnost
1	Do 10 ⁰ C	Nije kritično	Nisu potrebne aktivnosti
2	Između 10 ⁰ C i 20 ⁰ C	Malo kritično	Nastaviti sa monitoringom
3	Između 20 ⁰ C i 40 ⁰ C	Polu kritično	Prekinuti sa monitoringom i pripremiti se za rešavanje problema
4	Iznad 40 ⁰ C	Kritično	Treba odmah rešavati problem pre nastanka štete sa većim posledicama

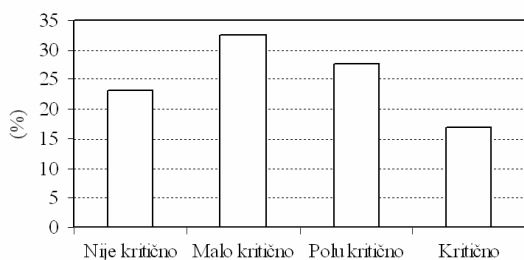
Tabela 1

Najbolji način za kvantificiranje nivoa kritičnosti kod električnih instalacija je primena infracrvene termografije. Priprema iziskuje određeno vreme dok se ne definišu merna mesta, a ponovni monitoring samo dopunjava postojeće baze podataka sa novim IC snimcima. Jedno merno mesto (zona koju obuhvata objektiv infracrvene kamere) prikazano je na slici 9. Na ovom mernom mestu koje se odnosi na blok za kompenzaciju reaktivne energije registrovana je zona sa temperaturom od čak 132,09⁰C.



Slika 9 - IC snimak bloka za kompenzaciju reaktivne energije

Na osnovu kriterijuma datih u Tabeli 1 i redovne termovizijske kontrole koju smo sproveli 2005. godine u dve veoma uspešne fabrike u našoj zemlji (jedna domaća a druga strana), na ukupno 185 mernih mesta dobili smo rezultate koji su prikazani na slici 10. Jedno od kritičnih mernih mesta gde je požar veoma blizu prikazano je na Slici 9.



Slika 10 - Stanje električnih instalacija

Na osnovu dobijenih rezultata službe održavanja su preduzele aktivnosti i eliminisale registrovane probleme a što je potvrđeno u naknadnom termovizijskom ispitivanju. Na ovaj način je u značajnoj meri eliminisan rizik od požara koji je u velikoj meri mogao negativno da utiče na radnu i životnu okolinu. Na osnovu onoga što je prikazano na Slici 10 za dve veoma uspešne fabrike u našoj zemlji, može se samo pretpostaviti kakvo je stanje kod ostalih.

3. ZAKLJUČAK

U radu je na ilustrativan način, kroz dva tipična primera iz naše industrijske prakse, prikazano postojanje snažne interakcije i međusobne zavisnosti između strategije održavanja tehničkih sistema, odnosno problema koji proističu kao posledica nepravilno definisanog i sprovedenog koncepta održavanja sa jedne strane i posledica koje iz toga proizilaze i koje se, između ostalog, manifestuju i kroz značajno smanjenje kvaliteta radnog mesta i radne okoline. Očigledno je da propusti koji se čine u oblasti održavanja tehničkih sistema imaju za direktnu posledicu povećanje nivoa rizika vezanih za bezbednost i zdravlje radnika i to kako kroz povećanje verovatnoće nastanka akcidenata, tako i kroz kompleksnost i ozbiljnost posledica koje iz akcidenta proističu.

Ovakva uslovljenost donosi sasvim novu dimenziju funkciji održavanja, pre svega složenih tehničkih sistema, u uslovima koje nameće savremena industrijska proizvodnja, nivo tehničkog razvoja i sve strožiji zahtevi za podizanjem nivoa kvaliteta poslovanja. U tom smislu, definisana i implementirana strategija

održavanja postaje jedan do ključnih faktora u procesu uvođenja integrisanog sistema upravljanja kvalitetom obzirom na jasno izdiferenciran uticaj na sve vitalne segmente poslovanja, uključujući i bezbednost i zaštitu zdravlja radnika i zaštitu životne sredine.

Polazeći od iskustava razvijenih zemalja, kao set najefikasnijih preventivnih i proaktivnih mere usmerenih ka ranom uočavanju simptoma otkaza, odnosno eliminisanju njihovih uzročnika, nameću se različite metode tehničke dijagnostike i primena savremenih dijagnostičkih instrumenata i procedura u svakodnevnoj industrijskoj praksi. Osim direktnog uticaja na podizanje efektivnosti, raspoloživosti i gotovosti tehničkih sistema i smanjivanju troškova održavanja, njihova primena dovodi i do značajnog smanjenja velikog broja faktora rizika po bezbednost i zdravlje zaposlenih, odnosno do podizanja nivoa kvaliteta na radnom mestu i u radnoj okolini.

LITERATURA

- [1] S. Takata, F. Kimura, F.J.A.M. van Houten, E. Westkämper, M. Shpitalni, D. Ceglarek, J. Lee, Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management, SME, Feb 04, 2005
- [2] S. Dunn, Condition Monitoring in the 21st Century, Plant Maintenance Resource Center, <http://www.plant-maintenance.com/>
- [3] Report of Japanese industry, Towards Risk-Based Life Cycle Assessment, <http://www.iias.or.jp>
- [4] M. Pilling, Reliability – based Maintenance and Condition Monitoring, <http://www.iam-uk.org/>
- [5] S.P.Garnaik, Thermography: A Versatile Technology For Condition Monitoring And Energy Conservation, Maintenance Journal Australia, February 2006, pp 32-34,
- [6] Mašinski fakultet u Kragujevcu, Centar za terotehnologiju, Izveštaji broj CT 05-5/2006 i CT 05-6/2006 o ispitivanju vibromehaničkog stanja i nivoa vibracija na sedištima operatera pogonskih jedinica za pogon transportera na DTO sistemu
- [7] Mašinski fakultet u Kragujevcu, Centar za terotehnologiju, Izveštaji broj CT 08-1/2005 i 10-2/2005 o termovizijskoj dijagnostici tehničkih sistema