

PRIMENA TERMOVIZIJE KAO ALATA ZA UNAPREĐENJE PROAKTIVNOG ODRŽAVANJA U WCM KONCEPTU

IMPLEMENTATION OF THERMOVISION AS A TOOL FOR IMPROVEMENT OF PROACTIVE MAINTENANCE IN WCM CONCEPT*

Aleksandar Brković¹⁾, dr Branislav Jeremić²⁾, doc Petar Todorović³⁾, Uroš Proso⁴⁾

Rezime: U sadašnjim uslovima, konkurentnost na svetskom tržištu se obezbeđuje povoljnim odnosom cena/kvalitet i isporukom proizvoda na vreme. Kvalitet i cena proizvoda su u direktnoj vezi sa stanjem proizvodne opreme, odnosno nivoom njenog održavanja. Ako se analiziraju svetski trendovi u oblasti održavanja, može se izvesti zaključak da se globalna strategija menja i prilagođava onoj koja je vezana za rad opreme bez otkaza. U radu su prikazani preliminarni rezultati sprovedenih termovizijskih ispitivanja u kompaniji koja od 2001. godine uspešno posluje primenjujući WCM metodologiju. World Class Manufacturing je koncept upravljanja preduzećem i osmišljen je u Japanu gde je i prvo počeo da se primenjuje početkom osamdesetih godina prošlog veka, a kasnije su je primenile mnoge svetske kompanije iz raznih oblasti industrije. Aktivnom primenom termovizije u vremenskom intervalu od dve godine broj opasnih mesta sveden je sa prvobitnih deset na samo jedno i značajno su umanjeni troškovi održavanja.

Ključne reči: održavanje, World Class Manufacturing, infracrvena termografija

Abstract: In present conditions of highly concurrency on world market, company survival and growth could be assured through highly beneficial price/quality ratio and on time delivery and customer supply. Quality and price of products are in direct relations with condition of production equipment and its present level of maintenance. If we analyze world trends in area of production equipment maintenance, basic conclusion is that global maintenance strategy is in constant change and adaptation to those which enable fault free operating. This paper presents results from IR thermography inspections in one production facility of large multinational company which successfully work using WCM concept from 2001. World Class Manufacturing is concept of enterprise management created and primary implemented in Japan in early eighties of XX century. In previous period many large and well known world companies in various area of industry implement this concept in its business strategy. With active implementation of IR thermography in two years interval significant reduction of places marked as dangerous is achieved (from primary ten to just one), with significant corresponding reduction in maintenance costs.

Key words: maintenance, World Class Manufacturing, infrared thermography

1. UVOD

Na aktuelnom nivou razvoja, svetska konkurencija je izazov i prinuda za kompanije. Neospornu globalnu konkurenciju karakteriše stalni pritisak novih tehnologija i tržište koje stalno inovira zahteve. To znači da brza implementacija novih tehnologija i porast zahteva kupaca zajedno nameću menadžerima dosta izazova. Jedan od veoma bitnih izazova odnosi se na proizvodnu opremu. Ona je sve kompleksnija, pri čemu njenu osnovnu strukturu čine mehaničke, hidraulične i

pneumatske komponente, kao i elektronske i električne komponente. Otkazi kod ovako složenih sistema dovode do prekida funkcionisanja celine (zbog neblagovremenog uočavanja promene radnih parametara i parametara stanja) i smanjenja efektivnosti, uz značajno povećavanje direktnih i indirektnih troškova održavanja. Iz svega navedenog je više nego očigledno da je održavanje proizvodne opreme determinisano procesima koji se odvijaju na globalnom svetskom tržištu. [1]

Stoga je poslednjih godina u našoj zemlji, kao i u okruženju, svest o neophodnosti održavanja

1) PhD student Aleksandar Brković, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: brko@kg.ac.rs

2) Prof. dr Branislav Jeremić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: bane@kg.ac.rs

3) Doc. dr Petar Todorović, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: petar@kg.ac.rs

4) PhD student Uroš Proso, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: urosproso@kg.ac.rs

tehničkih sistema i njihovog unapređenja sve prisutnija i sve više se obraća pažnja na ovu oblast. Razlozi su mnogobrojni ali pre svega iz razloga bezbednosti i zdravlja zaposlenih, zaštite okoline kao i naravno povećanja sveukupnog profita kroz optimalno upravljanje troškovima održavanja.

Ispitivanja koja se pominju u radu izvršena su u domaćem preduzeću sa potpunim učešćem stranog kapitala. Ovo preduzeće pripada multinacionalnoj kompaniji koja generalno u svim svojim fabrikama u svetu ima isti prilaz sa aspekta poslovne politike i implementacije WCM strategije. Cilj ovog rada je da se sagleda mesto termovizije u WCM konceptu i opiše način njene implementacije u planove proaktivnog održavanja.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE WCM STRATEGIJE

World class manufacturing (WCM) – Proizvodnja svetske klase je koncept upravljanja proizvodnjom i održavanjem koji potiče iz Japana osamdesetih godina prošlog veka. U originalu je poznat kao TPM ili Total productive maintenance – Totalno produktivno održavanje. Smisao koncepta, odnosno finalni cilj, je proizvodni sistem koji radi prema Nula logici – Nula zaliha (just – in – time proizvodnja) i Nula defekata (totalno upravljanje kvalitetom). WCM donosi promene strategije upravljanja i to naročito na operativnom nivou, koji se smatra ključnim za kompaniju. Ovaj koncept obezbeđuje sistem kontinualnog unapređenja kroz korišćenje sistemskih i konkretnih metodologija zasnovanih na činjenicama i proračunima na transparentan i vizuelni način. Uključuje sve zaposlene od radnika u pogonu, do top menadžmenta. [2]

Kroz ovaj koncept unapređuje se cela fabrika i sve njene oblasti. Poboljšanje ljudskih resursa promenom načina razmišljanja o upravljanju opremom i kvalitetom, preko stalne obuke i edukacije radi poboljšanja sveukupnog nivoa znanja. Teži se da svaki radnik bude što obučeniji u raznim oblastima. Poboljšanje opreme kroz povećanje njene efektivnosti, odnosno održavanjem na maksimalnom nivou, autonomnim održavanjem i ranim upravljanjem opremom. Neprekidno poboljšanje kvaliteta podešavanjem uslova kojim nećemo proizvoditi greške, “prvi put dobro” tj. nema škarta na početku proizvodnje, održavanje najvišeg kvaliteta. Promenom “kulture rada” odnosno načina ophođenja radnika prema poslu poboljšati sveukupnu efikasnost cele fabrike. Ključna stvar jeste da se razvije fleksibilna organizacija koja neprestano teži ka novim saznanjima i unapređenjima, pri tom koristeći svo raspoloživo ljudstvo, a ne samo inženjere i menadžere.

U savremenom pristupu održavanju WCM nije samo strategija već i potpuno nov način razmišljanja u kome je stalno napredovanje i timski rad osnova koja stvara osećaj vlasništva kako kod rukovodaca opremom, tako i kod održavaoca. Svaki zaposleni u preduzeću ima tačno definisane obaveze i odgovornosti.

Na današnjem nivou razvoja, WCM karakteriše [3, 4]:

- Inovativni pristup usmeren na stalno unapređenje procesa proizvodnje kroz optimizaciju funkcionisanja proizvodne opreme i minimizaciju tehničkog rizika,
- Implementacija savremenih tehnologija i metoda održavanja na kompletnu proizvodnu opremu tokom njenog životnog ciklusa,
- Obaveznu saradnju na svim upravljačkim nivoima preduzeća. Od glavnog menadžera pa do srednjeg menadžmenta, rukovodaca opremom i radnika na poslovima održavanja stvaraju se timovi koji zajedno rade i saraduju,
- Usklađivanje funkcionisanja svih sektora preduzeća i stalna saradnja visoko edukovanog kadra, rukovodaca opremom i osoblja održavanja i
- Promovisanje i implementacija timskih aktivnosti u cilju pojave što manjeg broja otkaza i zastoja na opremi, što manje defekata gotovih proizvoda i što nižih troškova.

3. MESTO TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE U WCM KONCEPTU

3.1 Tehnička dijagnostika

Delikatna uloga očuvanja funkcije sistema iznad zadatog nivoa u toku celog veka trajanja pripada funkciji održavanja. Ono objedinjuje različite aktivnosti kao što su monitoring promene stanja komponenti i sistema, dijagnostiku njihove funkcije, kao i defmisanje i preduzimanje konkretnih akcija čišćenja, podmazivanja, regeneracije, popravke, zamene elemenata itd. Nezavisno od vrste preventivnog održavanja (preventivno plansko ili preventivno prema stanju – produktivno), sprovođenje aktivnosti iz oblasti tehničke dijagnostike je osnovni preduslov za sprečavanje otkaza.

Pod pojmom tehnička dijagnostika podrazumeva se naučno – tehnička disciplina kojoj pripadaju teorija, metode i sredstva raspoznavanja stanja tehničkih sistema u uslovima ograničenih informacija. Tehnička dijagnostika ja relativno mlada naučno – tehnička disciplina i na njen razvoj presudno utiče uvođenje novih koncepcija održavanja. [5,6]

Osnovni cilj tehničke dijagnostike je da se otkrije i spreči potencijalni otkaz tehničkih

sistema. To se postiže merenjem karakterističnih, odnosno dijagnostičkih parametara i na osnovu određenih kriterijuma donosi zaključak o tome da li se oni nalaze u dozvoljenim granicama ili ne. Najbolje je za ocenu stanja nekog tehničkog sistema uzeti u razmatranje više dijagnostičkih parametara.

Ako se analiziraju svetski trendovi u oblasti održavanja, može se izvesti zaključak da se globalna strategija menja i prilagođava onoj koja je vezana za rad opreme bez otkaza. To znači da u svakom trenutku treba pratiti karakteristične parametre stanja opreme i postavljati dijagnozu na osnovu koje se određuju dalje aktivnosti održavanja. Sve ovo ukazuje na veliku ulogu tehničke dijagnostike, koja poslednjih godina doživljava ekspanziju razvojem novih metoda dijagnostike (primena lasera, ultrazvuka, infracrvenog zračenja, savremenih metoda analize vibracija i sl.).

Kod tehničkih sistema, koji su danas u upotrebi, najzastupljenije su metode tehničke dijagnostike zasnovane na:

- merenju i analizi vibracija,
- praćenju termičkog stanja (termovizija) i
- analizi produkata habanja u ulju za podmazivanje.

Ako se uzme u obzir da se otkazi tehničkih sistema pojavljuju u najgore moguće vreme, odnosno kada se najviše žuri sa ispunjenjem plana proizvodnje i kada je mogućnost prodaje i cena proizvoda na tržištu dobra, onda je veoma jasno kolika je uloga i značaj preventivnog i proaktivnog održavanja koji postaju glavni oslonac službe održavanja u WCM konceptu.

Kao osnovni uslov za dobru implementaciju sistema proaktivnog održavanja ili održavanja prema stanju (CBM – Condition Based Maintenance) u WCM konceptu, neophodno je imati određenu opremu za dijagnostiku stanja mašina kao što su uređaj za merenje nivoa vibracija, termovizijska kamera i uređaj za analizu ulja i produkata habanja. Pomoću ovih uređaja se vrši stalno praćenje i kontrola osnovnih uzročnika otkaza i na osnovu rezultata propisuju se aktivnosti za njihovu eliminaciju i smanjenje negativnog dejstva.

Upotreba savremenih dijagnostičkih uređaja ima čitav niz prednosti:

- Brzim i rutinskim kontrolama koje mogu biti dodate već postojećim CIL (Cleaning Inspection and Lubrication) standardima operateri mogu efikasnije vršiti kontrolu mašina,
- Uređaji su razumljivi i jednostavni za upotrebu tako da je vreme za obuku relativno kratko, a cena prihvatljiva za obim posla koji se može samo sa jednim uređajem obaviti,

- Kvalitet uređaja je visok i njihov eksploatacioni vek je jako dug, što smanjuje potrebu za novim uređajima za dijagnostiku,
- Mogućnost arhiviranja i praćenja preko samog uređaja ili kompjutera smanjuje administrativne troškove.

U proaktivnom konceptu održavanja se uz pomoć tehničke dijagnostike sprovodi niz adekvatnih mera da do otkaza uopšte ne dođe, odnosno ne prihvata se otkaz kao normalno i moguće stanje. Jednostavno rečeno teži se da svaki tehnički sistem unutar fabrike "vodi zdrav život" i da mu se na taj način maksimalno produži vek eksploatacije.

3.2 IC termografija (termovizija)

IC termografija kao dijagnostička metoda za preventivnu i proaktivnu dijagnostiku industrijskih postrojenja je jedna od najsavremenijih metoda i zauzima sve veći značaj u održavanju tehničkih sistema. Ona predstavlja najsavremeniju beskontaktnu metodu za merenje temperature i koristi se pri merenju u temperaturnom rasponu od -30°C , pa sve do 2000°C sa osetljivošću i do $0,05^{\circ}\text{C}$. Osnovna prednost IC termografije, u odnosu na ostale metode merenja temperature, jeste što se dobija vizuelna slika temperaturnog polja na kojoj se lako mogu uočiti tačke sa maksimalnim ili minimalnim vrednostima temperature, kao i njihov raspored i međusobna zavisnost. Ubrzan razvoj i smanjenje cene instrumenata za sprovođenje IC termografije - termovizijskih kamera, omogućava sve širu i intenzivniju primenu ove dijagnostičke metode.

Razvoj sofisticiranih i širem krugu korisnika dostupnih prenosnih IC termografskih kamera i sve prednosti koje nosi sa sobom ova dijagnostička metoda učinile su da ona postane (uz vibrodijagnostiku) osnovna aktivnost za dijagnostiku stanja tehničkih sistema u okviru koncepta preventivnog održavanja prema stanju. Ova metoda otkriva korisniku čitav niz različitih potencijalnih otkaza na veoma različitim tehničkim sistemima i to bez potrebe prekida procesa proizvodnje i troškova koji su povezani sa tim prekidom.

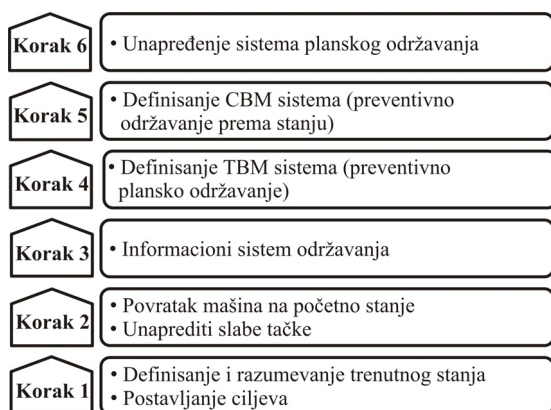
4. PRIMENA TERMOVIZIJE KAO ALATA ZA UNAPREĐENJE PROAKTIVNOG ODRŽAVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1 Implementacija IC termografije

U posmatranoj kompaniji dijagnostički uređaji se trenutno i koriste, ali kao usluga trećeg lica ili od strane same službe održavanja. Cilj je da uz pomoć savremenih dijagnostičkih uređaja operateri

moгу da obavljaju jednostavnije tehničke preglede, a sve u cilju poboljšanja već postojećeg i primenjivanog CBM tj. održavanja prema stanju. Pre svega, operaterima je usađena svest o tome da je neophodno da budu svestrano obučeni, a zatim se vrši odgovarajuća obuka i trening u specijalno opremljenoj prostoriji – trening soba. Nakon obuke oni su osposobljeni za pravilnu primenu ovih uređaja koji mogu biti veoma moćno oružije u borbi protiv otkaza i praćenja stanja mašina.

Metodologija implementacije WCM koncepta u strukture održavanja podrazumeva podelu na takozvane pilare (eng. stubove) Planskog održavanja (PM) i Autonomnog održavanja (AM). Na slici 1 prikazana je struktura i koraci PM pilara i može se videti da se služba održavanja unapređuje kroz šest koraka gde se u petom koraku javlja potreba za uvođenjem savremenih dijagnostičkih metoda u već postojeće planove održavanja. Dijagnostička metoda u koju se najviše ulagalo poslednjih godina i od koje se očekuje da podigne nivo održavanja na još viši nivo jeste termovizija.



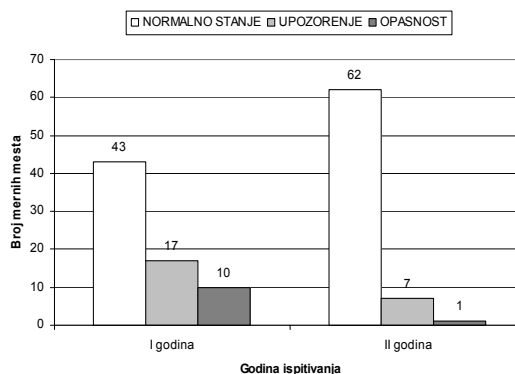
Slika 1 – Koraci pilara Planskog održavanja

4.2 Rezultati ispitivanja

Proces termovizijskih ispitivanja sproveden je za period od 2 godine. U prvoj godini se lansira prvi tzv. "pilot projekat" termovizijskih ispitivanja određenog mašinskog sistema. Ispitivanjem su bile obuhvaćene mehaničke i električne komponente. Kako metodologija nalaže, za prva termovizijska ispitivanja angažuje se treće lice, što je u ovom slučaju bio Mašinski fakultet iz Kragujevca. Cilj ovog ispitivanja bio je da se definiše postojeće stanje grupe različitih tehničkih sistema, odnosno da se utvrdi trenutna situacija koja će pri narednim ispitivanjima biti osnova i glavna referenca za utvrđivanje da li je došlo do određenih promena ili anomalija, kao i da se daju predlozi za saniranje kritičnih tačaka. Nakon dve godine ispitivanja su ponovljena na istom uzorku gde će rezultati ovih merenja dati odgovor o neophodnosti uvođenja termovizijskih ispitivanja u već postojeće planove

održavanja, kao i njihove implementacije na sve tehničke sisteme i opremu u preduzeću.

Termovizijska ispitivanja su izvršena kamerom za termovizijsku inspekciju elektroinstalacija, mašina i opreme poslednje generacije renomiranog svetskog proizvođača "FLIR" USA, model ThermaCAM P640. Merenja su izvršena na uzorku od 70 mernih mesta i dobijeni rezultati su prikazani na slici 2:



Slika 2 - Rezultati termovizijskih ispitivanja

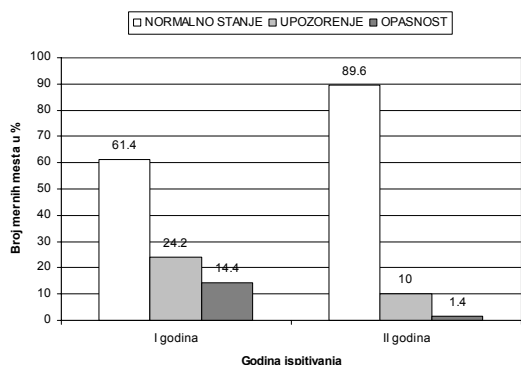
Na mestima označenim kao OPASNA propisane su hitne mere korekcije za otklanjanje uzroka povišenih temperatura, jer izmerene temperature odreda prelaze 100°C (i do 132°C) i prema primarnoj analizi uzrok su, pre svega, loši kontakti. Merna mesta koja su označena markerom UPOZORENJE potrebno je detaljnije analizirati i pratiti u narednom periodu.

Ispitivanjem je utvrđeno da je na najvećem broju tehničkih sistema na kojima su tokom prvog ispitivanja utvrđena mesta sa izrazitim povećanjem temperature (OPASNOST) izvršena neophodna izmena komponenti ili rekonstrukcija, tako da je ukupno stanje prilikom druge inspekcije znatno povoljnije.

Na najvećem broju mernih mesta koja su u prvom ispitivanju označena kao UPOZORENJE, utvrđeno je da nije došlo do povećanja temperature u posmatranim zonama pa su pri drugom merenju označeni kao NORMALNO STANJE. Merna mesta koja su prvi put ispitivana tretirana su u skladu sa preporukom da se markerom UPOZORENJE označi svako mesto sa značajnijim povećanjem temperature, da bi se ovi markeri spustili na nivo normalnog stanja pri sledećem ispitivanju ukoliko nema povećanja temperature.

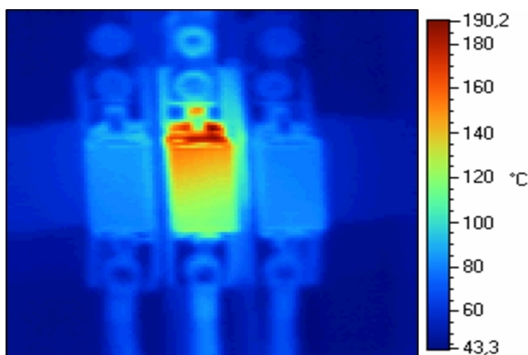
Na Slici 3 dat je uporedni prikaz dobijenih rezultata termovizijskih ispitivanja iz I i II godine. Može se zaključiti da je stanje nakon perioda od 2 godine znatno bolje nego na početku ispitivanja zahvaljujući pravovremenim intervencijama koje su usledile nakon prve inspekcije. Broj opasnih

mesta sveden je sa prvobitnih 10 na samo 1, što je poboljšanje za 90 %.



Slika 3 - Smanjenje broja opasnih mesta

Na slici 4 prikazan je termovizijski snimak tri električna osigurača koji je snimljen prilikom ispitivanja u prvoj godini. Može se primetiti da srednji osigurač ima znatno višu temperaturu od druga dva pri istim uslovima što znači da je došlo do slabljenja kontakta ili oštećenja osigurača. To predstavlja direktnu pretnju po ispravno funkcionisanje tehničkog sistema. Na ovom mestu su sprovedene hitne mere na otklanjanju uzroka povišene temperature čime su izbegnuti iznenadni otkazi kao i materijalna i finansijska šteta.



Slika 4. - IC slika elektro osigurača u I godini



Slika 5. - IC slika elektro osigurača u II godini

Prilikom ispitivanja u drugoj godini isti električni osigurači su snimljeni što je prikazano na slici 5.

Kao što se može videti srednji osigurač sada ima normalnu temperaturu, ali smo pronašli novo mesto mogućeg otkaza na kontaktu trećeg osigurača koji je odmah zamenjen jer je izmerena temperatura preko 350°C što je znatno preko dozvoljenih granica.

Nakon veoma uspešnih termovizijskih inspekcija izvršenih od strane Mašinskog fakulteta iz Kragujevca gde su dobijeni značajni rezultati i načinjen veliki pomak u održavanju tehničkih sistema prema stanju, sledeći korak službe održavanja u implementaciji tehničke dijagnostike bio je kupovina savremene termovizijske kamere.

Naredni korak u implementaciji termovizije u preventivno održavanje jeste unapređenje planova proaktivnog održavanja tj. uvođenje termovizije kao jedan od najbitnijih alata za dijagnostiku. Ona je u 2008. godini, na osnovu prikazanih rezultata, zauzela prvo mesto po značajnosti.

Navedeni način preventivnog održavanja uz podršku termovizije zahteva veoma malo vremena, oko sat vremena sedmično, ali ostvaruje se velika ušteda i kraće traje nego kada bi se primenjivalo korektivno održavanje.

5. ZAKLJUČAK

U današnje vreme stalnih promena, nestabilnog i zahtevnog tržišta, WCM koncept održavanja može predstavljati liniju između opstanka i propasti. Poznato je da otkazi izazivaju jako velike troškove, a uštede koje se postižu uvođenjem i primenom IC termografije izuzetno su velike. Uz redovnu i svakako ispravnu i opravdanu primenu pri održavanju, IC termografija će maksimalno zaštititi uređaje i njihovu ispravnost, otkriti finese potencijalnih otkaza i uvek omogućiti popravku u najpovoljnijem trenutku za korisnika. Kao beskontaktna metoda merenja temperature, infracrvena termografija omogućuje korisniku otkrivanje raznolikih potencijalnih grešaka i to bez potrebe za prekidom procesa proizvodnje i troškova koji su povezani sa tim prekidom. U prikazanim ispitivanjima, za period od 2 godine broj potencijalnih uzročnika otkaza umanjeno je za 90 % i značajno je umanjeno vreme potrebno za održavanje.

LITERATURA

- [1] Luxhoj, J.T. & Riis, J.O. & Thorteinsson, U. 1997. Trends and perspectives in industrial maintenance management. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 16, Issue 6, 1997: 462
- [2] Mahadevan, B.: Principles of World Class Manufacturing, *The Management Accountant*, September 1998.

- [3] Nakajima, S., Introduction to TPM, Productivity Press, 1988.
- [4] Chan, F., Lau, H., Ip, R., Chan, H., and Kong S., Implementation of total productive maintenance: *A case study*., International Journal of Production Economics, Volume 95, Issue 1, 28 January 2005, Pages 71-94.
- [5] Jeremić B., Todorović P., Mačužić I., Koković V., Tehnička dijagnostika, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Srbija 2006.
- [6] Jeremić B., Terotehnologija, tehnologija održavanja tehničkih sistema, ESKOD, 1992.