

Optimizacija pouzdanosti sistema papir mašine primjenom metoda tehničke dijagnostike

DEJAN LJ. BRANKOVIĆ, SHP Celex, a.d. Banja Luka,
Bosna i Hercegovina

ZDRAVKO N. MILOVANOVIĆ, Univerzitet u Banja Luci,

Mašinski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 676.056:621-191

658.58:665.7

DOI: 10.5937/tehnika1706936B

Obezbjedenje kontinualnih uslova proizvodnje predstavlja osnovni zadatak službe održavanja u okviru velikih industrijskih proizvodnih sistema. Danas se na održavanje ne gleda kao na slučajnu aktivnost popravke trenutnih oštećenja usljed otkaza dijelova ili elemenata proizvodnog sistema već kao na plansku analizu i procjenu stanja u smislu preduzimanja svih neophodnih aktivnosti koje mogu spriječiti otkazno stanje. Ovu veoma zahtjevnu ulogu moguće je kvalitetno obezbijediti pravilnim izborom odgovarajuće koncepcije održavanja. Pokazuje se da je za kontinualne proizvodne sisteme koncepcija održavanja prema stanju veoma prihvatljiva jer analiza trenutnog stanja i istorija praćenja ponašanja elemenata sistema može pravovremeno ukazati na moguće probleme u bliskoj budućnosti. Primjenom metoda tehničke dijagnostike moguće je stepen pouzdanosti podići na znatno viši nivo i time spriječiti otkaze proizvodnog sistema i velike proizvodne troškove.

Ključne riječi: *efektivnost, održavanje prema stanju, tehnička dijagnostika, proizvodnja*

1. UVOD

Uloga održavanja u okviru obezbjeđenja kontinuiteta proizvodnje u velikim industrijskim sistemima je izuzetno značajna. Pravilnim izborom koncepcije održavanja mogu se ostvariti značajni ekonomski rezultati u smislu smanjenja ukupnog broja otkaza i povećanja produktivnosti. Dobar pokazatelj i mjerilo stepena efektivnosti je praćenje i kontrola pouzdanosti proizvodnog sistema.

Pouzdanost predstavlja vjerovatnoću kojom sistem zadržava potrebne radne karakteristike tokom vremena eksploatacije sa svim ograničenjima koja se tom prilikom javljaju [1]. Za velike industrijske sisteme od velikog je značaja da rade u režimu visoke pouzdanosti i raspoloživosti. Jedan od načina za obezbjeđenje ovih uslova nivoa pouzdanosti je primjena koncepcija održavanja prema stanju. Jedna od definicija održavanja prema stanju opisuje koncepciju kao oblik preventivnog održavanja na bazi strategije donošenja odluka o interventnom djelovanju zasnovanom na periodičnoj

Rad prihvaćen: 14.11.2017.

ili neprekidnoj kontroli tehničkog stanja sistema u procesu eksploatacije [2]. Mjerenje trenutnih veličina moguće je uz primjenu metoda i mjera tehničke dijagnostike koja je prvi preduslov za uvođenje koncepcije održavanja prema stanju. Nerijetko, uvođenje tehničke dijagnostike zahtijeva značajne investicione troškove. Međutim, ukoliko se troškovi ulaganja u dijagnostičku opremu uporede sa troškovima nastalim kao posljedica otkaza proizvodnog sistema i velikog gubitka proizvodnje pokazuje se ekonomska isplativost primjene koncepcije održavanja prema stanju.

2. IMPLEMENTACIJA TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE NA SISTEMU PAPIR MAŠINE

Analiza pouzdanosti i uticaj implementacije mjera tehničke dijagnostike prikazana je u studiji slučaja u proizvodnom industrijskom sistemu za proizvodnju i preradu higijenskog papira, SHP Celex a.d. Banja Luka. Kako se radi o kontinualnom proizvodnom procesu sa visokim zahtjevima u smislu efektivnosti sistema i smanjenja otkaza usljed kvarova, imperativ službe održavanja je prevencija otkaza. U tom smislu analizirana su kritična mjesta papir mašine i uočena problematična mjesta pres valjaka za koje je trebalo pronaći rješenje i smanjiti uslove otkaza. Analiza istorije

Adresa autora: Dejan Branković, SHP Celex, a.d. Banja Luka, Veljka Mladenovića bb, Bosna i Hercegovina

e-mail: Dejan.Brankovic@shpgroup.eu

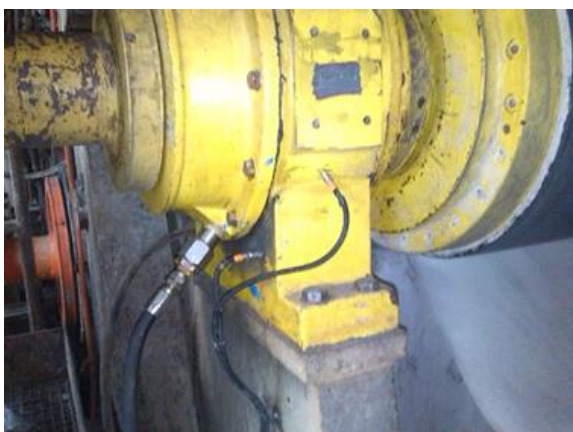
Rad primeljen: 19.10.2017.

otkaza i troškova na poziciji pres valjaka odredila je smjernice u kome pravcu djelovati a da se izvrši optimizacija pouzdanosti rada realnog sistema papir mašine. Obzirom da se radilo o definisanim ležajnim mjestima sa kontinualnim uslovima rada predložena je i realizovana instalacija sistema za on-line detekciju oštećenja ležaja. Instaliran je sistem za kontinualno praćenje vibracija tipa Octavis, proizvođača IFM Electronic, slika 1.



Slika 1 – Dijagnostički sistem IFM Electronic

Navedeni sistem je jednostavan modularni sistem praćenja stanja vibracija i stanja ležajeva uz pomoć visokofrekventne analize signala. Osnovu sistema čini četvero-kanalna monitoring PLC jedinica VSE100 koja neprekidno procjenjuje signal dobijen od četiri senzora ubrzanja VSE001 i izmjerene rezultate pohranjuje na osnovu unaprijed podešene strukture mjerenja. Monitoring jedinice VSE100 su uz pomoć mreže Ethernet priključene na upravljački računar sa instaliranim softwarom VSE 3.0.3. Putem upravljačkog software teče konfiguracija strukture mjerenih podataka, prikupljanje izmjerenih podataka, njihovo arhiviranje i prikazivanje analize oscilovanja u realnom vremenu.



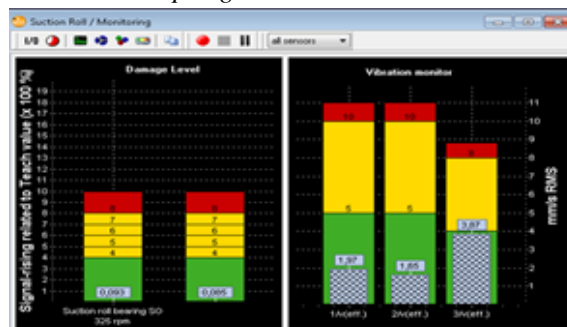
Slika 2 - Pozicija senzora na pres valjku strana opsluge

Novi dijagnostički sistem Octavis je kontinualno prikupljao informacije o stanju radnih uslova i stanju

ležajeva presa papir mašine i u više slučajeva je ukazivao na neophodnost preduzimanja preventivnih ili korektivnih aktivnosti održavanja. Svojim djelovanjem je spriječio uslove nastanka otkaznih stanja i uzrokovanja značajnih troškova u proizvodnom procesu. Praćenje i vizualizacija trenutnog stanja vibracija praćenih ležajeva prikazano je na slici 4.



Slika 3 - Pozicija senzora na usisnom pres valjku strana opsluge



Slika 4 - Vizualizacija monitoring sistema Octavis – prikaz vibracija

3. ANALIZA POUZDANOSTI PROIZVODNOG SISTEMA

Analiza i istraživanje pouzdanosti definiše ponašanje sistema i održavanje radnih karakteristika pod uticajem različitih faktora koji izaziva promjene sistema koje su u nadležnosti funkcije održavanja.

Pouzdanost se može jasno i jednoznačno kvantifikovati tek pošto se evidentiraju stanja otkaza sistema a cilj je na osnovu tih podataka predviđati trenutak otkaza. Definisane ulaznih podataka se vrši sumiranjem podataka rada realnog sistema za dva pomenuta intervala – prije i nakon instalacije sistema tehničke dijagnostike. Octavis pa je i pouzdanost realnog sistema analizirana za ta dva posmatrana intervala.

3.1. Analiza pouzdanosti proizvodnog sistema do trenutka instalacije tehničke dijagnostike

Poračun elemenata pouzdanosti se temelji na analizi podataka rada papir mašine i to sati rada realnog sistema, sati zastoja uzrokovanim održavanjem i sati rada do pojave stanja u otkazu. Rezultati analize predstavljeni su zbirno u tabeli 1.

Tabela 1. Istraživanje pouzdanosti realnog sistema do termina instalacije tehničke dijagnostike

Mjesec	Ukupna raspoloživost (sati)	Planirani zastoji održavanja (sati)	Stepen iskorišćenja – ukupno radno vrijeme (sati)	Otkazi uzrokovani održavanjem (sati)	Sati rada do pojave stanja u otkazu	
2014	avgust	744	18	724,25	11,5	62,9
	septembar	720	19	643,25	43,25	14,8
	oktobar	744	14	698	18,5	37,7
	novembar	720	14	621,75	62,25	9,9
	decembar	744	21	700,25	20	35
2015	januar	744	42	704,25	10,5	67
	februar	672	18	534	76,25	7
	mart	744	18	729,5	6,5	112,2
	april	720	18	664	23,5	28,2
	maj	744	19	717,75	2,75	261
	juni	720	18	696,5	1,25	557,2
	juli	744	157	718,25	4	179,5
	avgust	744	18	719	6,5	110,6
	septembar	720	19	664	25,5	26
	oktobar	744	19	694	21,75	31,9
	novembar	720	18	689	11,25	61,2
Ukupno:	11688	450	10917,75	345,25	31,6	

Analizu predstavlja postavljanje hipoteze o zakonu raspodjele, provjeru ispravnosti postavljene hipoteze, određivanje parametara zakona raspodjele, prikazu dijagrama – funkcije gustine vremena rada do pojave stanja u otkazu.

Rezultati analize zakona normalne i eksponencijane raspodjele pokazali su neslaganje te se analizirao Weibulov (*Weibull*) zakon raspodjele. Weibulova funkcija gustine raspodjele:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

gdje je:

$f(t) \geq 0, t \geq \gamma$ – gustina raspodjele,

$\beta > 0$ – parametar oblika,

$\eta > 0$ – parametar skale (razmjere),

$-\infty < \gamma < +\infty$ – parametar lokacije (položaja) za

troparametarske raspodjele.

Kako je:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t), \quad (2)$$

moгу se uočiti sljedeće veličine:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} - \text{intenzitet otkaza}, \quad (3)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} - \text{pouzdanost}. \quad (4)$$

Za slučaj dvoparametarske raspodjele kumulativna funkcija Weibulove raspodjele je:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (5)$$

Prema tabeli 2. maksimalna razlika $D_{max} = 0,282673$ dok je $DCR = 0,328$ prema tabličnim vrijednostima za K-S test za 16 mjerenja i faktor značajnosti 0,05 [3]. Kako je:

$$D_{max} < D_{CR} \quad (6)$$

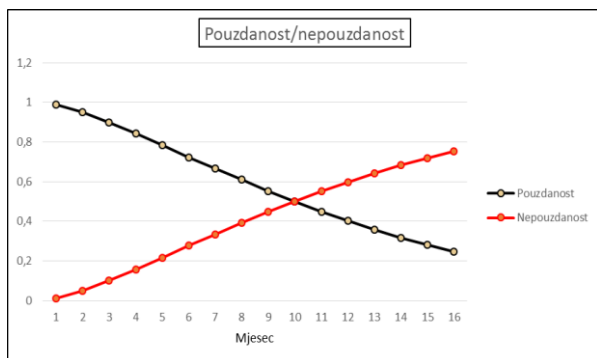
početnu hipotezu treba prihvatiti odnosno analizirani raspodjeli. Analiza prethodnih podataka predstavljena parametri realnog sistema odgovaraju Weibulovoj je u tabelama 3. i 4. i slikama 5. i 6.

Tabela 2. Test Kolmogorov – Smirnova za period do instalacije tehničke dijagnostike

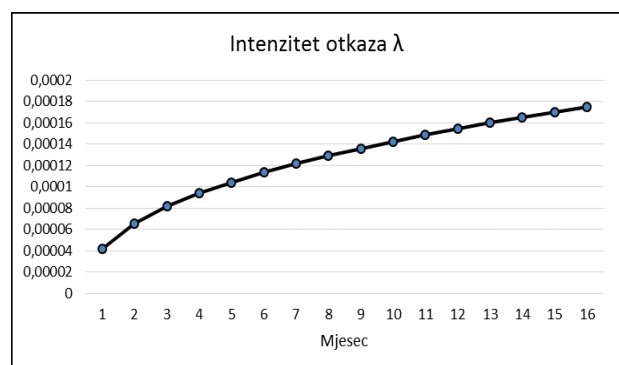
Mjeseci n_i	$F_e(t)$	$F_t(t) = 1 - e^{-(t/8955)^{1,42}}$	$ F_e(t) - F_t(t) $
1	0,039	0,01086	0,02814
2	0,048	0,049888	0,00189
3	0,071	0,100015	0,02901
4	0,078	0,156079	0,07808
5	0,1	0,215172	0,11517
6	0,141	0,276304	0,1353
7	0,146	0,334117	0,18812
8	0,216	0,390606	0,17461
9	0,233	0,446874	0,21387
10	0,396	0,500422	0,10442
11	0,744	0,550869	0,193131
12	0,856	0,597982	0,258018
13	0,925	0,642327	0,282673
14	0,941	0,682444	0,258556
15	0,961	0,719123	0,241877

Tabela 3. Statističke vrijednosti pouzdanosti za period do instalacije tehničke dijagnostike

	Raspodjela	Parametri raspodjele	Komogorov-Smirnovljev test D_{max}	Napomena
Do trenutka instalacije tehničke dijagnostike	Normalna	$SV = 31,6$ $SD = 23,2$	21,96	Ne prihvata se
	Exponencijalna	$SV = 31,6$ $\lambda = 0,03164$	0,981	Ne prihvata se
	Weibulova	$B = 1,42$ $\eta = 8955,293$	0,282673	Može se prihvatiti



Slika 5 - Grafički prikaz funkcije pouzdanosti i nepouzdanosti do instalacije tehničke dijagnostike



Slika 6 - Grafički prikaz funkcije intenziteta otkaza do instalacije tehničke dijagnostike

Tabela 4. Grafička interpretacija Weibulove raspodjele do instalacije tehničke dijagnostike

Mjeseci n_i	Sredina intervala sati (h)	Pouzdanost $R(t)$	Nepouzdanost $F(t)$	Intenzitet otkaza $\lambda(t)$
1	372	0,768836	0,231164	0,0000416833
2	1104	0,660261	0,339739	0,0000658235
3	1836	0,598106	0,401894	0,0000815005
4	2568	0,553344	0,446656	0,0000938348
5	3300	0,51814	0,48186	0,000104258
6	4044	0,488643	0,511357	0,000113552
7	4752	0,464716	0,535284	0,000121513
8	5460	0,44381	0,55619	0,000128812
9	6192	0,424672	0,575328	0,000135801
10	6924	0,407552	0,592448	0,000142326
11	7656	0,392082	0,607918	0,000148462
12	8388	0,37799	0,62201	0,000154266
13	9132	0,36486	0,63514	0,000159872
14	9864	0,352951	0,647049	0,000165134
15	10596	0,341908	0,658092	0,000170174
16	11328	0,331625	0,668375	0,000175016

3.2 Analiza pouzdanosti proizvodnog sistema nakon instalacije tehničke dijagnostike

Proračun elemenata pouzdanosti nakon instalacije tehničke dijagnostike se temelji na analizi podataka

rada papir mašine i to sati rada realnog sistema, sati zastoja uzrokovanim održavanjem i sati rada do pojave stanja u otkazu. Rezultati analize predstavljeni su zbirno u tabeli 5.

Tabela 5. Istraživanje pouzdanosti realnog sistema nakon termina instalacije tehničke dijagnostike

Mjesec	Ukupna raspoloživost (sati)	Planirani zastoji održavanja (sati)	Stepen iskorišćenja – ukupno radno vrijeme (sati)	Otkazi uzrokovani održavanjem (sati)	Sati rada do pojave stanja u otkazu	
2015	Decembar	744	19	590,5	20,75	28,46
2016	Januar	744	18	622,25	10,25	60,71
	Februar	696	17	679	15,5	43,81
	Mart	744	21	710	9,75	72,82
	April	720	16	640,5	48	13,34
	Maj	744	19	699,75	4,75	147,32
	Juni	720	15	691,75	14,25	48,54
	Juli	744	16	705,75	14,25	49,53
	Avgust	744	18	724,75	5	144,95
	Septembar	720	19	630,25	59,75	10,55
	Oktobar	744	233	609	8,5	71,65
	Novembar	720	18	672,25	25,75	26,11
	Decembar	744	19	732,5	2,5	293,00
2017	Januar	744	18	693,75	22,75	30,49
	Februar	672	18	631	8,75	72,11
	Mart	744	19	740	2,5	296,00
Ukupno:	11688	503	10712,5	273	39,46	

Kao i u prethodnom slučaju, analizu predstavlja postavljanje hipoteze o zakonu raspodjele, provjeru ispravnosti postavljene hipoteze, određivanje parametara zakona raspodjele, prikazu dijagrama – funkcije gustine vremena rada do pojave stanja u otkazu. Podaci kumulativne funkcije Vejbulove raspodjele prikazani su tabelom 6. Prema tabeli 6. Maksimalna razlika $D_{max} = 0,1204$ dok je $DCR = 0,328$

prema tabličnim vrijednostima za K-S test za 16 mjerenja i faktor značajnosti 0,05 [3].

Kako je:

$$D_{max} < D_{CR}$$

početnu hipotezu treba prihvatiti odnosno analizirani parametri realnog sistema odgovaraju Vejbulovoj raspodjeli.

Tabela 6. Test Kolmogorov – Smirnova za period nakon instalacije tehničke dijagnostike

Mjeseci n_i	$F_e(t)$	$F_t(t) = 1 - e^{-(t/979865)^{1,28}}$	$ F_e(t) - F_t(t) $
1	0,0201	0,015077	0,005023
2	0,0632	0,060107	0,003093
3	0,0943	0,110625	0,01633
4	0,146	0,16394	0,01794
5	0,1554	0,218985	0,06358
6	0,26	0,273619	0,01362
7	0,2944	0,327002	0,0326
8	0,3295	0,378563	0,04906
9	0,4324	0,428706	0,003694
10	0,4399	0,475561	0,03566
11	0,4907	0,519805	0,0291
12	0,5092	0,561363	0,05216
13	0,7171	0,600217	0,116883
14	0,7388	0,636966	0,101834
15	0,7899	0,669426	0,120474

Ukoliko poredimo podatke analize testiranja zakona normalne, eksponencijalne i Vejbulove raspodjele tabelarno, možemo uvažiti zaključak da se pouzdanost posmatranog perioda praćenja usaglašava sa

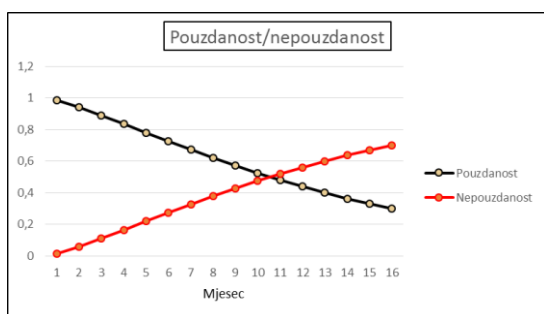
Vejbulovim zakonom raspodjele. Analiza prethodnih podataka predstavljena je u tabelama 7. i 8. Grafička interpretacija Vejbulove raspodjele prikazana je na slikama 7. i 8.

Tabela 7. Statističke vrijednosti pouzdanosti za period nakon instalacije tehničke dijagnostike

	Raspodjela	Parametri raspodjele	Komogorov-Smirnovljev test D_{max}	Napomena
Nakon instalacije tehničke dijagnostike	Normalna	$SV = 39,46$ $SD = 109,12$	1,511	Ne prihvata se
	Exponencijalna	$SV = 31,6$ $\lambda = 0,00916$	0,992	Ne prihvata se
	Vejbulova	$B = 1,28$ $\eta = 9798,65$	0,1204	Može se prihvatiti

Tabela 8. Grafička interpretacija Weibulove raspodjele nakon instalacije tehničke dijagnostike

Mjeseci n_i	Sredina intervala sati (h)	Pouzdanost $R(t)$	Nepouzdanost $F(t)$	Intenzitet otkaza $\lambda(t)$
1	372	0,984923	0,015077	0,0000522719
2	1116	0,939893	0,060107	0,0000710988
3	1836	0,889374	0,110626	0,0000817336
4	2556	0,83606	0,16394	0,0000896672
5	3288	0,781015	0,218985	0,0000962182
6	4020	0,726381	0,273619	0,000101789
7	4752	0,672998	0,327002	0,00010667
8	5484	0,621437	0,378563	0,000111036
9	6228	0,571293	0,428707	0,000115063
10	6960	0,524439	0,475561	0,000118699
11	7692	0,480195	0,519805	0,00012207
12	8424	0,438637	0,561363	0,000125216
13	9156	0,399783	0,600217	0,000128172
14	9900	0,363034	0,636966	0,000131007
15	10608	0,330574	0,669426	0,000133565
16	11316	0,300485	0,699515	0,000136004



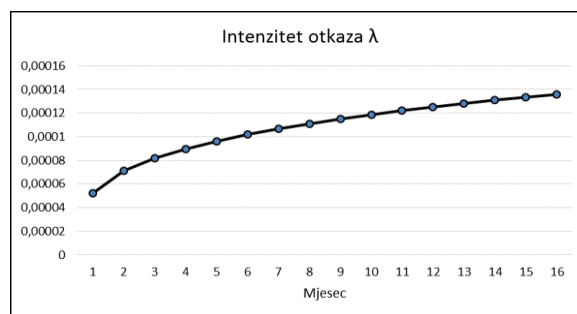
Slika 7 - Grafički prikaz funkcije pouzdanosti i nepouzdanosti nakon instalacije tehničke dijagnostike

Poredeći presjek funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti za dva intervala unutar vremena praćenja rezultata implementacije mjera tehničke dijagnostike može se uočiti pozitivan rezultat povećanja ukupnog vremena rada proizvodnog sistema papir mašine. Za isti period praćenja rezultata rada proizvodnog sistema, rad uz primjenu mjera tehničke dijagnostike je za približno jedan mjesec duži od istog prethodnog perioda rada bez mjera praćenja radnih veličina.

4. ZAKLJUČAK

Uvođenje mjera tehničke dijagnostike u složeni sistem papir mašine na prethodno definisanim kritičnim pozicijama presa omogućilo je preventivno djelovanje službe održavanja u smislu prevencije otkaza cjelokupnog sistema.

Nerijetko, ulaganja u moderne sisteme za nadzor veličina stanja nisu zanemarljiva ali poredeći visinu investicionog ulaganja sa troškovima zastoja



Slika 8 - Grafički prikaz funkcije intenziteta otkaza nakon instalacije tehničke dijagnostike

proizvodnje i korektivne zamjene oštećenih dijelova ovakva ulaganja se pokazuju kao opravdana.

Realizacija instalacije tehničkog sistema nadzora radnih veličina sistema presa papir mašine omogućila je određeno povećanje ukupnog vremena rada i podizanje stepena pouzdanosti na viši nivo u odnosu na prethodni rad bez sistema za praćenje radnih parametara.

LITERATURA

- [1] Bulatović M. *Održavanje i efektivnost tehničkih sistema*, Univerzitet Crne Gore – Mašinski fakultet u Podgorici, 2008.
- [2] Papić Lj, Milovanović Z. *Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema*, Systems Maintainability and Reliability, Prijedor, 2007.
- [3] Zeljković V, Papić LJ. *Testiranje pouzdanosti*, Lola institut Beograd, 2001.

SUMMARY

THE RELIABILITY OPTIMIZING OF THE PAPER MACHINE SYSTEM BY USING OF METHOD OF TECHNICAL DIAGNOSTIC

The continuous production conditions providing is the main task of the maintenance department within large industrial production systems. Today, maintenance is not viewed as an accidental activity of repairing the current damage due to the failure of parts or elements of the production system, but as a planning analysis and assessment of the situation in the sense of undertaking all necessary activities that can prevent the failures. This, very demanding role can be provided with a good selection of appropriate maintenance concepts. It is shown that for continuous production systems, the concept of condition based maintenance is very acceptable, because the analysis of the current state and the history of monitoring the behavior of system elements can timely point to a possible problem in the near future. By using the method of technical diagnostics, it is possible to increase the reliability level to a significantly higher level, thus preventing the failure of the production system and large production costs.

Key words: *efficiency, condition based maintenance, technical diagnostic, production*