

## PRILOG POBOLJŠANJA KVALITETA ODRŽAVANJA PROCESNIH VENTILATORA POMOĆU VIBRODIJAGNOSTIČKOG NADZORA

### CONTRIBUTION TO IMPROVEMENT OF QUALITY MAINTENANCE OF PROCESS FAN, USING VIBRO-DIAGNOSTIC CONTROL

M.Sc. Alić Senad, B.Sc. Mech. Eng., Dr. Sc. Imamović Mustafa  
„ARCELOR MITTAL“ Zenica, Zenica

Dr. Sc. Sabahudin Jašarević, Dr. Sc. Safet Brdarević  
University of Zenica, Fakultetska 1,72000 Zenica BiH

#### REZIME

*Instalisanjem kontinuiranog monitoringa procesnih ventilatora sa četiri klizna ležaja na elektromotoru i radnom kolu omogućava se pravovremeno dobijanje svih radnih parametara i dijagnosticiraju sve nepravilnosti njihovog rada. Kontrolisanim i kontinuiranim praćenjem vibracija, temperatura je moguće sagledati odgovarajuća poboljšanja kvaliteta održavanja putem značajnog smanjenja troškova održavanja, efikasnijeg planskog održavanja i smanjenja stanja otkaza. Kontinuiran rad procesnih ventilatora omogućava kontinuiranu proizvodnju sintera. Signale vibracija i temperatura sa vibracionih i temperaturnih senzora daje ABB Industrial<sup>IT</sup> 800xA HMI. Vibracioni senzori su tipa ProvibTech TM016. Izlaz ovih vibracionih senzora je u obliku jačine struje od 4-20 [mA], koji se pretvara iz brzine promjene vibracija u dijapazonu 0 – 8,2 [mm/s]. Signali vibracija i temperatura se na sensorima uzimaju u analognom obliku i elektronskom aparaturom pretvaraju u digitalni oblik. Dijagramski oblik se definiše kao inverzni FFT (Brza Fourier Transformacija) od logaritamskog spektruma snage.*

**Ključne riječi:** parametri tehničkog stanja, vibracije, temperatura, vibrodijagnostički nadzor, kvalitet održavanja,

#### SUMMARY

*Continuous monitoring of process industrial fans with four sliding bearings on electro-motor enables timely acquisition of all significant parameters and diagnosing all anomalous events during process work. Continuous and controlled monitoring of vibrations and temperatures enables planning of proper improvements of maintenance quality by means of reduction of maintenance expenses and more efficient planned maintenance i reduction of failure states. Continuous work of process fans enables continuous production of sinter. Vibration and temperature signals are generated by ABB Industrial<sup>IT</sup> 800xA HMI. Vibration sensors are ProvibTech TM016. Output from these sensors is small DC current 4-20 [mA], which is transduced from changes of vibration speed in range 0-8,2 [mm/s]. Vibration and temperature signals are generated in sensors in analogue form then converted to digital form using high-precision ADC converters. Diagrammatic representation is defined as inverse FFT of logarithmic power spectrum.*

**Keywords:** parameters of the technical condition, vibrations, temperatura, subpressure, continuous monitoring, quality of maintenance

## 1.UVOD

U savremenim proizvodnim i prerađivačkim postrojenjima procesni ventilatori se većinom nalaze u kontinuiranom procesu rada. Neočekivani otkaz ventilatora može da poremeti čitav proces, uz skoro nevjerojatne gubitke u vidu količine proizvedene opreme, troškova radne snage i popravke ili zamjene opreme. Današnja savremena tehnika ispitivanja bez razaranja omogućava otkrivanje oštećenja na mašini dok je ona još u radu. Kontinuiranim praćenjem vibracija, temperatura na kliznim ležajevima procesnih ventilatora doveli su do značajnog smanjenja troškova održavanja, efikasnijeg planskog održavanja i smanjenja stanja otkaza ovih mašina. Ovaj sistem praćenja parametara tehničkih parametara stanja mašina je omogućen stalnom softverskom podrškom računara.

## 2. MEHANIČKA ANALIZA RADA EKSHAUSTORA 4, 5 i 6

Ekshaustori tipa 6500 – II – 4 je centrifugalni ventilator koji je konstruisan i izrađen u Novskoj tvornici strojeva V.I. Lenjin, a predviđen je za usisavanje vazduha kroz zasip na aglomashini koji se prži, te uklanjanje stvorenih plinova aglomashine kod suhog čišćenja plina.

Osnovni parametri ekshaustora su:

- zapreminski kapacitet vlažnog plina u odnosu na osnovne uslove 6500 [m<sup>3</sup> / min],
- kapacitet suhog plina u odnosu na 0 ° C i 1 bar živinog stuba 3680 [Nm<sup>3</sup> / min],
- povećanje pritiska / razlika između apsolutnog statičkog krajnjeg i početnog pritiska 0,1245 [bar],
- potrebna snaga 1700 [KW],
- početni pritisak plina na ulazu u usisnu cijev 0,91 [bar],
- početna temperatura plina na ulazu u usisnu cijev 150 [° C],
- relativna vlažnost 20 [%],
- specifična težina suhog plina u odnosu na 0 [° C] i 1 [bar] ŽS 1,33 [kg / Nm<sup>3</sup>],
- broj okretaja rotora ekshaustora 1500 [o / min],
- sinhroni elektromotor tipa 140/74-4 snage 2500 [KW], napona 6000[V], zatvoreni sa zračnim hlađenjem i sa prođuvavanjem zatvorenog ciklusa,
- zamajni moment rotora ekshaustora na spojnici elektromotora 6550 [ kgm<sup>2</sup>].

Postrojenje ekshaustora 4,5,6 imaju 4 kućišta ležajeva sa kliznim ležajevima ( elektromotor je oslonjen na dva klizna ležaja i rotor ekshaustora na dva klizna ležaja ). Na svim ležajevima se kontinuirano mjere :

- temperatura kliznih ležajeva TT4101, 4102, 4201, 4202 , 5101, 5102, 5201, 5202, 6101, 6102, 6201, 6202, temperatura dimnih plinova na ulazu u ekshaustor 4,5,6 TT4131, 5131, 6131, temperatura vode za hlađenje motora u sistemu hlađenja sa zrakom ekshaustora 4,5,6 TT4121, 5121, 6121, temperatura ulja za podmazivanje kliznih ležajeva na ulazu u hladnjak koje se hladi vodom ekshaustora 4,5,6 TT4112, 5112, 6112, temperatura ulja iza hladnjaka ulja koje se hladi vodom za ekshaustor 4,5,6, TT4111, 5111, 6111,
- vibracije ležajeva VT 4211, 4212, 4213,4214, 5211, 5212, 5213, 5214, 6211, 6212, 6213, 6214, za klizne ležajeve ekshaustora 4,5,6,
- pritisak dimnih plinova na ulazu u ekshaustor 4,5,6 PT 4171, 5171, 6171.



Slika 1. Šematki prikaz postrojenja ekshaustora br. 4 , 5 i 6 sa mjestima za mjerenje radnih parametra

### 3. RAČUNARSKA OBRADA IZLAZNIH PARAMETARA VIBRACIJA I TEMPERATURA EKSHAUSTORA 4, 5 i 6

Signali vibracija i temperatura u trajanju od 3600 sekundi sa vibracionih i temperaturnih senzora VT4211,2,3,4 i TT4101,2,3,4 ekshaustora br. 4, VT5211,2,3,4 i TT5101,2,3,4 ekshaustora br. 5 i VT6211,2,3,4 i TT6101,2,3,4 ekshaustora br. 6 su uzeti sa ABB Industrial<sup>IT</sup> 800xA HMI. Vibracioni senzori su ProvibTech TM016. Izlaz je od 4-20 [mA], proporcionalan vibracijama na mašini. Vibracioni senzor TM016 mjeri brzinu promjene vibracija u mm/s. Kontinuirani monitoring stanja rotirajućih mašina (stacionarnih i nestacionarnih) metodom mjerenja vibracija i temperatura ima dva važna aspekta:

- a) monitoringom ovog tipa se stvara mogućnost pravovremenog uvida u nepravilnosti rada ovakvih skupih mašina, mogućnost planiranja troškova održavanja i ušteda u izbjegavanju kvarova i prekida rada,
- b) ovim pristupom se povećava sigurnost rada ljudi na opsluživanju ovih postrojenja, proaktivno sprečavanje havarija.

Signali temperatura, vibracija i pritisaka se na sensorima uzimaju kontinuirano u analognom obliku i odgovarajućom elektronskom automatskom aparaturom pretvaraju u digitalni oblik. Postupak je vizualno prikazan na slikama 3. - 5. Dijagramski oblik za vibracije se definira kao inverzni FFT (Brza Fourier Transformacija) od logaritamskog spektruma snage.

Ova metoda sa signalima vibracija i temperatura može pokazati razvoj ranih kvarova na ležajevima ovih ventilatora velikih snaga. Dijagnostika ranih kvarova na ležajevima se radi u 2 klase: normalan rad i rani kvar (anomalija). Ako se vibracije na dijagramima kreću u intervalu 0 – 8,2 mm/s ekshaustor će ostati u radu, ali su optimalne vrijednosti vibracija 2,5 – 3 mm/s. Temperature imaju vrijednosti 0 – 72 ° C, ekshaustor će ostati u radu, ali optimalna temperatura je 30-40 ° C. Podpritisak na ulazu u ekshaustor se kreće između 55 – 160 mbar. Poruka na HMI za ovakve parametre će biti “**nominalan rad**“. Ako vrijednosti temperatura, vibracija i pritisaka nisu u optimalnom režimu rada, onda će poruka na HMI biti “**kvar (problem)**“. Pristup analize vibracija na kliznim ležajevima radnih kola ekshaustora br.4, 5 i 6 se naziva inverzni periodogram vibracija ili kepstum snage. Na ovaj način se inverznim putem dolazi do saznanja šta se dešava unutar mašine na osnovu mjerenja izlaznih parametara, kao što su u ovom slučaju vibracije, tj. dobija se kontinuirani vremensko-frekventni prikaz ponašanja ovih parametara. Na slici 2. dat je šematski prikaz kontinuiranog vibrodijagnostičkog nadzora koji se na osnovu instalisanog softvera prati u numeričkom i dijagramskom obliku u operativnom centru. Bilo kakve anomalije koje se pojave u radu procesnih ventilatora preko praćenja mjerenih parametara se uočavaju i mogu se poduzeti odgovarajući koraci održavanja, što ima značajnu ulogu sa aspekta kvaliteta održavanja ovih postrojenja. Vrijednosti vibracija, temperature, pritisaka se kontinuirano registruju u numeričkom i dijagramskom obliku, a pohranjuju se u računaru u OP centru.

Višekanalni signali vibracija se sastoje od 4 ProvibTech TM016 senzora na svakom ekshaustoru. Na svakom senzoru imaju superponirane komponente vrijednosti vibracija sa druga 3 senzora. Stoga je neophodno je napraviti de-miksovanje signala vibracija. Senzorski vremenski redovi imaju oblik mješane matrice  $X = T \times n$  (T samplova, n senzora). Prvo se ova matrica transponira u  $X' = n \times T$ . Sa izrazom  $B = \text{jadeR}(X')$  računa matrica B, iz koje se pseudo-inverznim postupkom izračuna procjena mješane matrice A:  $A = \text{pinv}(B)$ , a zatim se iz B izračuna procjena izvornih de-miksovanih signala (matrica S):  $S = B \times X$ . Matrica S ima format  $n \times T$ , što u primjeru ekshaustora je na primjer 4 x 20000 (4 senzora, 20000 samplova). Transponovanjem S se dobije čista de-miksovana matrica  $S' = T \times n$  (T samplova, n senzora), tj. format izvornih de-miksovanih senzorskih vremenskih redova (20000x4). Zatim se računa spektrum snage na čistim signalima, te na signalima spektruma snage se računa kepstum snage (engl. power cepstrum). Kepstrum snage se definira kao dB/s.

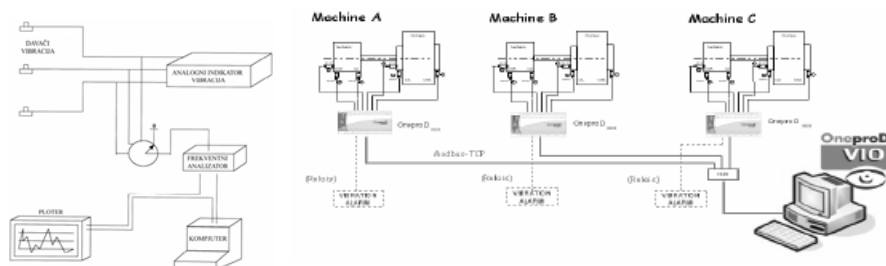
Kepstrum snage se definiira kao inverzni FFT (Brza Fourier transformacija) od logaritamskog spektruma snage:

$$C_p = P^{-1} \{ \log F_{xx}(f) \} \quad (1)$$

gdje je  $F_{xx}(f)$  spektrum snage, a  $P^{-1}$  je inverzni FFT.

Kepstrum snage detektira periodičnost u stohastičnim signalima vibracija, što je znak razvijanja anomalija na ležajevima (engl. spalling, pitting). Dijagnostika ranih kvarova na ležajevima sa limitnim pragovima na dijagramu kepstruma snage se klasificira u 2 klase: normalan rad i rani kvar (anomalija). Ako je kepstrum snage u intervalu  $C_p = (0-5)$  dB/s, onda poruka na HMI "**normalan rad**". Ako je kepstrum snage  $C_p > 7$  dB/s, onda poruka na HMI "**rani kvar (anomalija)**".

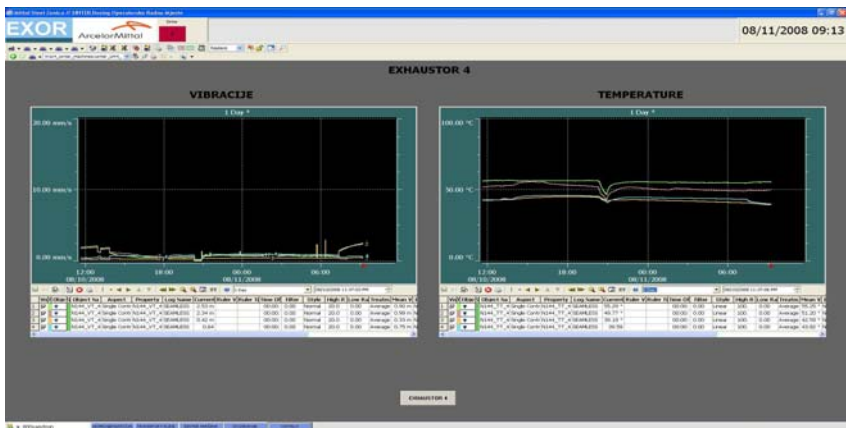
ABB Industrial<sup>IT</sup>



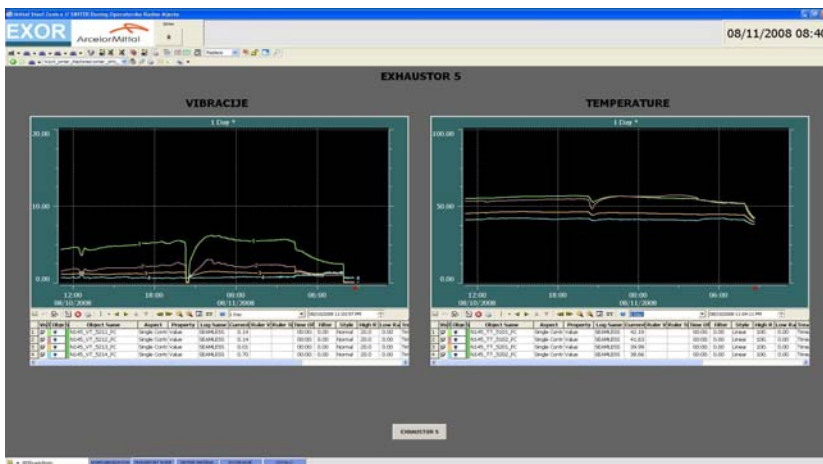
Slika 2. Vibrodijagnostički nadzor vibracija i temperatura ležajeva procesnih ventilatora

Tabela 1. Numeričke vrijednosti temperatura i vibracija ekshaustora 4,5 i 6 za jedan dan

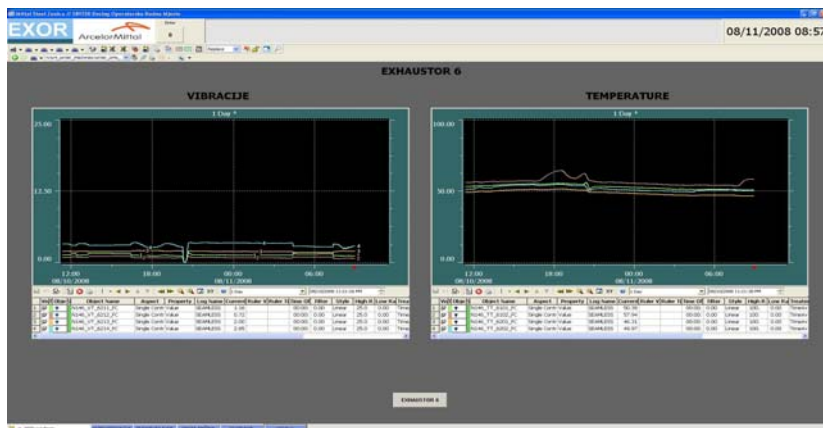
10.	EKSHAUSTOR 4								EKSHAUSTOR 5								EKSHAUSTOR 6											
	Temperatura ležaja				Vibracije ležaja				Temperatura ležaja				Vibracije ležaja				Temperatura ležaja				Vibracije ležaja							
8.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
08.	55	50	43	44	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	55	54	45	40	5,4	2,4	1,4	0,8	52	55	48	50	1,3	0,8	1,9	3,3			
7	55	50	43	44	0,8	0,8	0,3	0,6	0,6	54	54	45	41	5,1	2,1	1,3	0,6	52	55	48	50	1,4	0,9	1,9	3,2			
8	55	50	42	43	1,5	1,5	0,4	0,6	0,6	54	54	45	41	5,2	2,1	1,3	0,4	52	55	48	51	1,4	0,9	1,9	3,2			
9	56	50	42	43	1,9	1,8	0,3	0,6	0,6	55	54	45	41	5,2	2,1	1,3	0,4	52	55	48	51	1,4	0,9	1,9	3,2			
10	56	51	42	43	1,6	1,5	0,2	0,5	0,5	55	53	45	41	4,4	1,6	1,2	0,6	53	56	49	51	1,3	0,9	2	3,1			
11	56	52	42	43	1,9	1,8	0,3	0,4	0,4	55	53	45	41	4,6	1,8	1,1	0,6	53	56	49	51	1,4	0,9	2	3,2			
12	56	53	43	43	2,1	1,9	0,2	0,4	0,4	55	53	46	42	4,4	1,8	1,2	0,6	54	56	50	52	1,3	0,9	2	3,3			
13	56	53	43	43	1,1	1,2	0,3	0,7	0,7	56	53	46	42	4,5	1,8	1,1	0,7	54	57	50	53	1,6	1,1	1,9	3,1			
14	56	56	44	46	0,6	0,9	0,2	0,7	0,7	56	54	46	42	4,7	1,9	1,1	0,6	55	57	51	54	1,5	1,1	1,9	3			
15	56	56	44	46	0,5	0,8	0,3	0,7	0,7	56	54	46	42	4,8	1,9	1,2	0,6	55	57	51	54	1,6	1	2	3,1			
16	56	54	45	46	0,4	0,6	0,2	0,5	0,5	56	54	46	42	5	2,2	1,2	0,7	55	60	51	54	1,2	0,9	2	2,7			
17	56	53	45	46	0,4	0,6	0,3	0,5	0,5	56	54	46	41	5,2	2,2	1,3	0,7	55	62	51	54	1,2	1	2,1	2,7			
18	56	54	46	46	0,4	0,6	0,2	0,5	0,5	54	53	46	40	3,4	2,2	1,3	0,7	55	62	51	55	1,3	1	2,1	2,7			
19	56	54	46	46	0,4	0,6	0,2	0,5	0,5	53	51	44	40	3,4	1	1	0,7	55	61	51	55	1,2	0,9	2	2,2			
20	53	51	44	46	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	53	51	44	40	3,4	1	1	0,7	52	56	50	48	1,1	0,7	1,9	2			
21	54	50	42	44	0,7	0,8	0,4	0,9	0,9	56	55	45	40	6	3	1,4	0,6	53	56	49	51	1,3	0,9	2	3,5			
22	55	51	43	44	0,7	0,9	0,4	0,9	0,9	56	56	45	41	6	2,6	1,5	0,6	53	56	48	51	1,3	0,9	1,9	3,4			
23	55	51	43	44	0,7	0,9	0,4	1	1	56	56	45	41	5,8	2,1	1,3	0,9	52	55	48	50	1,3	0,9	2	3,5			
24	55	51	43	44	0,7	0,9	0,4	0,8	0,8	56	56	45	41	5,6	2,1	1,2	0,6	52	55	48	50	1,3	0,8	2	3,3			
1	55	51	42	44	0,7	0,9	0,4	0,9	0,9	55	57	45	41	5,5	2,4	1,3	0,7	52	55	47	50	1,3	0,8	1,9	3,4			
2	55	51	42	44	0,6	0,8	0,4	0,9	0,9	55	57	45	41	5,5	2,3	1,3	0,8	51	54	47	49	1,3	0,8	1,9	3,4			
3	55	50	41	43	0,7	0,8	0,4	0,9	0,9	54	56	45	41	5,5	2,3	1,3	0,8	51	54	47	49	1,3	0,8	1,9	3,3			
4	55	50	41	43	0,7	0,9	0,4	0,9	0,9	53	54	44	41	4,1	1,3	1,5	1	51	54	47	50	1,5	1	1,8	2,9			
5	55	49	41	43	0,7	0,9	0,4	0,9	0,9	53	52	45	42	3	0,9	1,2	1,1	51	54	47	51	1,5	1	1,8	2,8			
6																												



Slika 3. Prikaz vibracija, temperatura na četiri klizna ležaja ekshaustora br.4 za jedan dan



Slika 4 Prikaz vibracija, temperatura na četiri klizna ležaja ekshaustora br.5 za jedan dan

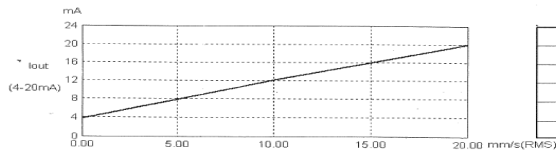


Slika 5. Prikaz vibracija, temperatura na četiri klizna ležaja ekshaustora br.6 za jedan dan

**CALIBRATION DATA**

2009-11-13

Serial Number : SN89370458  
Part Number : TM016-001-514-00-0



X(mm/s)	Y(mA)
0.00	3.96
5.00	7.99
10.00	12.21
15.00	16.12
20.00	20.10

Operator : 084  
Shaker : GA0608  
Auto-Tester : GA0809

Calibrated with parts : Standard Part  
Standard Part

An ISO9001 Certified Company

000020

*Slika 6. Odnos između jačine struje (mA) i brzine promjene vibracija (mm/s)*

Na osnovu ovog dijagrama i tabele se može zaključiti da postoji linearan odnos između jačine struje i brzine promjene vibracija na kliznim ležajevima.

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu izloženog načina praćenja vibracija pomoću instalisanog softvera i ovim pristupom obrade izlaznih vrijednosti vibracije može se zaključiti sljedeće:

- Uzroci vibracija na ekshaustorima su: debalans radnih kola ventilatora, nesaosnost osa vratila elektromotora i radnog kola ventilatora, neodgovarajuća krutost veze ekshaustora i elektromotora sa temeljima, nesaosnost ose rukavca vratila u odnosu na osu ležaja, ugibanje vratila, deformisanost rotora elektromotora i radnog kola, neispravnost količine i kvaliteta ulja za podmazivanje kliznih ležajeva, olabavljenost spojeva, povećani zazor u ležajevima, poremećaj horizontalnosti cijelog sistema, odstupanje obrtnog momenta,
- Kontinuirano praćenje vibracija putem računara iz operativnog centra na kliznim ležajevima sinhronih elektromotora i radnih kola ventilatora velikih snaga omogućava pravovremeno otkrivanje nepravilnosti u radu ovakvih agregata, njihovo zaustavljanje, remontovanje i smanjivanje troškova održavanja, obzirom da su dijelovi ovih postrojenja skupi za nabavku,
- Praćenjem vibracija na kliznim ležajevima, odnosno na osnovu trenda rasta vibracija mogu se predvidjeti periodi ispravnog rada ovih postrojenja, tj. zakonitost promjene vibracija na ovakvim postrojenjima,
- Metod kepstruma snage daje mogućnost detektiranja periodičnosti u stohastičnim signalima vibracija, što je znak razvijanja početnih anomalija na ležajevima.
- Ovakvim pristupom praćenja vibracija moguće je planirati vrijeme zaustavljanja i remontovanja ovih postrojenja, radnu snagu za remontovanje, tj. planirati troškove održavanja ovih postrojenja, pokušavati smanjiti troškove održavanja i na taj način povećati kvalitet održavanja ovih postrojenja.

#### 5. LITERATURA

- [1] Brdarević, S.: Održavanje sredstava za rad, Zenica, 1993.
- [2] Adamović, Ž.: Planiranje i upravljanje održavanjem pomoću računara, Beograd, 1987.
- [3] Avdić, H., Tufekčić, Dž.: Terotehnologija I, Tuzla, 2007.
- [4] Sebastijanović, S. dr. Dž. Tufekčić, Održavanje, Tuzla, 1998.
- [5] Adamović, Ž.: Upravljanje održavanjem tehničkih sistema, OMO, Beograd, 1986.